Michał Gazdecki
Paulina Luiza Wiza-Augustyniak
Maja Hodała

Rolnictwo precyzyjne – potencjał redukcji kosztów i perspektywy rozwoju w opinii użytkowników końcowych



Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

Rolnictwo precyzyjne – potencjał redukcji kosztów i perspektywy rozwoju w opinii użytkowników końcowych

Michał Gazdecki
Paulina Luiza Wiza-Augustyniak
Maja Hodała

Rolnictwo precyzyjne – potencjał redukcji kosztów i perspektywy rozwoju w opinii użytkowników końcowych

Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Publikację sfinansowano ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach Strategii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w latach 2024–2026 w zakresie doskonalenia badań naukowych i prac rozwojowych w priorytetowych obszarach badawczych.
The publication was financed by the Polish Minister of Science and Higher Education as part of the Strategy of the Poznan University of Life Sciences for 2024–2026 in the field of improving scientific research and development work in priority research areas.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu
Poznań 2025

KOMITET REDAKCYJNY
Maria Drapikowska, Ewa Kiryluk-Dryjska, Andrzej Mazur, Kamila Myszka, Karolina Ratajczak, Julita Reguła (przewodnicząca), Ewa Skrzypczak, Lucyna Borowczyk

RECENZENT
dr hab. Renata Nestorowicz, prof. UEP
Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

Opracowanie redakcyjne
Paulina Szulc

Skład i łamanie
Stanisław Tuchołka | panbook.pl

Projekt okładki
Tomasz Adamski | exemplum.pl

ISBN 978-83-68187-46-5
eISBN 978-83-68187-47-2
https://doi.org/10.17306/978-83-68187-47-2



WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO W POZNANIU
ul. Witosa 45, 61-693 Poznań
tel.: 61 848 78 08, e-mail: wydawnictwo@up.poznan.pl
https://wydawnictwo.up.poznan.pl/

Wydanie I. Ark. wyd. 7,7, ark. druk. 8,6

Wydrukowano w Zakładzie Graficznym Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 67, 60-625 Poznań, e-mail: zakgraf@up.poznan.pl

SPIS TREŚCI

ABSTRAKT 7

ABSTRACT 8

WPROWADZENIE 9

1. REWOLUCJA CYFROWA W ROLNICTWIE 12

1.1. Wyzwania dla sektora żywnościowego 12

1.2. Technologie cyfrowe a rozwój sektora żywnościowego 17

1.3. Rolnictwo oparte na danych – od rolnictwa precyzyjnego do inteligentnego 26

1.4. Istota rolnictwa precyzyjnego 32

1.5. Korzyści i wyzwania związane z wdrażaniem rolnictwa precyzyjnego i inteligentnego 39

2. SYSTEMY ROLNICTWA PRECYZYJNEGO W PRODUKCJI ROLNICZEJ 47

2.1. Rodzaje i charakterystyka rozwiązań technicznych rolnictwa precyzyjnego 47

2.2. Zarządzanie kosztami produkcji rolniczej z wykorzystaniem narzędzi rolnictwa precyzyjnego 53

3. UWARUNKOWANIA MARKETINGOWE ROZWOJU NOWYCH TECHNOLOGII W ROLNICTWIE 57

3.1. Marketing na rynkach rolnych 57

3.2. Narzędzia i kanały komunikacji oraz dystrybucji na rynku środków produkcji dla rolnictwa 64

4. KOSZTY PRODUKCJI ROLNICZEJ Z WYKORZYSTANIEM NARZĘDZI ROLNICTWA PRECYZYJNEGO – STUDIUM PRZYPADKU 73

4.1. Koszty wdrożenia i eksploatacji narzędzi rolnictwa precyzyjnego 73

4.2. Okres zwrotu inwestycji w system zmiennego nawożenia . . . 88

5. POSTRZEGANIE I PERSPEKTYWY ROZWOJU ROLNICTWA PRECYZYJNEGO WŚRÓD ROLNIKÓW 98

5.1. Metodyka badań i charakterystyka grupy docelowej 98

5.2. Postrzeganie rolnictwa precyzyjnego i źródła informacji 104

5.3. Rekomendacje dotyczące działań promocyjnych wspierających rolnictwo precyzyjne 120

ZAKOŃCZENIE 125

LITERATURA 128

Rolnictwo precyzyjne – potencjał redukcji kosztów i perspektywy rozwoju w opinii użytkowników końcowych

Abstrakt

W monografii przeanalizowano rolę rolnictwa precyzyjnego w transformacji współczesnego sektora rolno-spożywczego. Autorzy odwołują się do głównych wyzwań, przed którymi stoi rolnictwo, takich jak zmiany klimatyczne, rosnące koszty środków produkcji, degradacja gleb i niedobory siły roboczej, wskazując, że technologie cyfrowe stają się jednym z ważnych narzędzi zwiększania efektywności i równoważenia produkcji. Opracowanie obejmuje przegląd kluczowych rozwiązań technicznych, takich jak systemy GPS, czujniki glebowe, drony, obrazowanie satelitarne oraz systemy zmiennego dawkowania, podkreślając ich wpływ na optymalizację procesów i ograniczenie strat. Szczególną uwagę poświęcono uwarunkowaniom ekonomicznym oraz barierom wdrażania technologii, w tym kompetencjom cyfrowym rolników, dostępności infrastruktury i roli działań marketingowych. Monografia zawiera także studium przypadku dotyczące kosztów wdrożenia rolnictwa precyzyjnego oraz wynikających z niego oszczędności. Wyniki badań ankietowych ukazują rosnącą akceptację innowacji, a zarazem potrzebę dalszej edukacji i wsparcia technicznego. Opracowanie pokazuje, że rolnictwo precyzyjne może stać się podstawą nowoczesnej, konkurencyjnej i zrównoważonej produkcji rolnej w Polsce.

Słowa kluczowe: rolnictwo precyzyjne, cyfryzacja, technologie rolnicze, automatyzacja

Precision Farming: Cost-Saving Potential and Future Outlook from the End-User Perspective

Abstract

The monograph examines the role of precision agriculture in transforming the modern agri-food sector. The authors refer to the key challenges faced by agriculture, including climate change, rising input prices, soil degradation and labour shortages, demonstrating that digital technologies become one of the important tools for improving efficiency and sustainability. The study reviews major technological solutions, such as GPS systems, soil and environmental sensors, drones, satellite imaging and variable rate application, emphasizing their contribution to process optimization and waste reduction. Particular attention is given to economic conditions and barriers to adoption, including farmers' digital skills, infrastructure availability and the influence of marketing strategies. The monograph also presents a case study analysing the costs of implementing precision agriculture tools and the savings they generate. The survey results indicate growing acceptance of digital innovations while also highlighting the need for further education and technical support. The findings show that precision agriculture has the potential to become a cornerstone of modern, competitive and sustainable agricultural production in Poland.

Keywords: precision agriculture, digitalization, agricultural technologies, automation

WPROWADZENIE

Współczesne rolnictwo stoi przed wieloma wyzwaniami, które mogą spowodować, że pojawi się nowy model jego dalszego rozwoju. Po okresach postępującej intensyfikacji produkcji, mechanizacji i chemizacji sektor ten ponownie definiuje swoją strukturę, procesy i cele. Z jednej strony globalne systemy żywnościowe podlegają rosnącej presji, wynikającej z ograniczonych zasobów naturalnych, zmian klimatycznych, nasilających się wymogów środowiskowych oraz wzrostu zapotrzebowania na żywność wysokiej jakości. Z drugiej, dynamiczny rozwój technologii cyfrowych, robotyzacji oraz systemów automatycznego gromadzenia i analizy danych otwiera nowe możliwości kształtowania modeli produkcji opartych na precyzji, efektywności i zrównoważonym gospodarowaniu zasobami. Monografia wpisuje się w debatę nad kierunkami tych przemian, skupiając się na potencjale rolnictwa precyzyjnego jako narzędzia wspierającego redukcję kosztów produkcji, poprawę efektywności gospodarstw oraz budowanie przewag konkurencyjnych w zmieniającym się otoczeniu rynkowym.

Rozwój rolnictwa precyzyjnego stanowi odpowiedź na wielowymiarowe wyzwania stojące przed współczesnym sektorem rolno-spożywczym, które zostały szeroko opisane w pierwszej części monografii. Zalicza się do nich m.in. degradację gleb, kurczące się zasoby wody, wzrost zmienności klimatycznej, presję na ograniczanie emisji gazów cieplarnianych czy coraz większe niedobory siły roboczej. Z perspektywy ekonomicznej szczególne znaczenie mają rosnące koszty środków produkcji, w tym nawozów mineralnych, środków ochrony roślin, paliwa i energii. W takich warunkach rolnictwo oparte na danych – wykorzystujące precyzyjne mapowanie zasobów, monitoring warunków glebowych i atmosferycznych, techniki automatycznego dozowania środków produkcji – może stanowić odpowiedź na potrzebę optymalizacji procesów przy jednoczesnym utrzymaniu lub zwiększeniu plonów.

W monografii procesy te poddano analizie zarówno w wymiarze technologicznym, jak i ekonomicznym. Zaprezentowano wybrane kategorie technologii wykorzystywanych w rolnictwie precyzyjnym, od systemów prowadzenia maszyn, przez rozwiązania teledetekcyjne, po cyfrowe narzędzia wspierania decyzji. Jednocześnie autorzy podejmują próbę oceny ich wpływu na koszty zużytych nawozów sztucznych w produkcji roślinnej. Ważnym elementem opracowania jest również analiza uwarunkowań społecznych i marketingowych związanych z wdrażaniem nowych technologii. Transformacja cyfrowa w rolnictwie zależy nie tylko od dostępności technologii, lecz przede wszystkim od akceptacji takich rozwiązań wśród użytkowników końcowych – rolników. W tym zakresie szczególnego znaczenia nabierają kompetencje cyfrowe, gotowość do inwestycji, świadomość korzyści oraz zaufanie do nowych narzędzi i podmiotów dostarczających nowoczesne technologie. Monografia uwzględnia te aspekty, wskazując, że wdrożenie rolnictwa precyzyjnego wymaga zarówno inwestycji w infrastrukturę, jak i działań edukacyjnych oraz zmian w strategiach komunikacji rynkowej.

W rozdziale pierwszym omówiono rewolucję cyfrową w rolnictwie, prezentując najważniejsze wyzwania i potencjalne kierunki ich przezwyciężania za pomocą innowacji technologicznych. Część druga poświęcona jest systemom rolnictwa precyzyjnego – ich naturze, charakterystyce i zastosowaniom w produkcji rolniczej. Następnie autorzy analizują uwarunkowania marketingowe, które determinują tempo i zakres upowszechniania rozwiązań cyfrowych wśród rolników, ze szczególnym uwzględnieniem strategii produktowych, kanałów dystrybucji i narzędzi komunikacji.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono studium przypadku dotyczące kosztów wdrożenia narzędzi rolnictwa precyzyjnego oraz efektów – ograniczenia zużycia środków produkcji i skrócenia okresu zwrotu inwestycji. Analiza ekonomiczna uzupełniona została badaniem postrzegania rolnictwa precyzyjnego przez rolników, ich doświadczeń oraz oczekiwań dotyczących dalszego rozwoju technologii cyfrowych w rolnictwie. Analiza opinii użytkowników końcowych stanowi ważne dopełnienie perspektywy technicznej i ekonomicznej, podkreślając znaczenie decyzji podejmowanych w gospodarstwach rolnych.

W monografii syntetycznie omówiono zagadnienia związane z rolnictwem precyzyjnym oraz zidentyfikowano bariery i perspektywy rozwoju tych technologii, które w najbliższych latach mogą wywierać coraz silniejszy wpływ na kształtowanie modeli produkcji rolniczej. W badaniach odwołano się do globalnych i krajowych uwarunkowań rynku żywnościowego, aktualnych trendów w rozwoju internetu rzeczy, automatyzacji i robotyzacji.

Wyniki przedstawione w niniejszym opracowaniu mogą stanowić istotny punkt odniesienia dla badaczy, doradców rolniczych, producentów technologii oraz decydentów politycznych, którzy poszukują sposobów wspierania cyfrowej transformacji sektora rolnego. Autorzy mają nadzieję, że przedstawione analizy przyczynią się zarówno do lepszego zrozumienia mechanizmów wdrażania rolnictwa precyzyjnego, jak i do rozwijania praktyk sprzyjających zrównoważonej, efektywnej i konkurencyjnej produkcji żywności.

Michał Gazdecki
Paulina Wiza-Augustyniak
Maja Hodała

1. REWOLUCJA CYFROWA W ROLNICTWIE

1.1. Wyzwania dla sektora żywnościowego

Współczesne rolnictwo zarówno w Polsce, jak i na całym świecie stoi przed licznymi wyzwaniami wynikającymi z ograniczonych zasobów naturalnych, które muszą sprostać rosnącym wymaganiom bezpieczeństwa żywnościowego. Dodatkowo zmiany klimatyczne wywierają istotny wpływ na dostępność surowców żywnościowych, kształtując warunki produkcji rolnej. Coraz większego znaczenia nabierają również zmiany w modelach żywieniowych i systemach dystrybucji żywności, a także innowacyjne technologie w sektorze rolno-spożywczym, szczególnie w zakresie rozwiązań cyfrowych (Sadowski, 2017; Szymczak i Sadowski, 2019; Kordowska i in., 2023). Kluczowym celem tych transformacji jest zwiększenie efektywności i wydajności produkcji rolnej.

Negatywne skutki środowiskowe związane z zapewnieniem żywności dla rosnącej populacji przez dotychczasowy model produkcji, przetwórstwa i konsumpcji żywności wywołują konieczność zmiany paradygmatu systemów żywnościowych – AFS (agri-food systems). Do niedawna celem AFS było odsunięcie widma głodu przez zwiększenie produktywności, aby zapewnić dostarczanie energii w diecie przy wzrastającej liczbie ludności (Barrett i in., 2020). Ten główny cel został w dużej mierze osiągnięty kosztem znacznej intensyfikacji rolnictwa oraz jego obszarowej ekspansji, znacząco naruszając równowagę środowiska naturalnego oraz powodując napięcia strukturalne i społeczne (Poore i Nemecek, 2018). W perspektywie kolejnych dziesięcioleci przewidywany jest dalszy szybki wzrost liczby ludności. W związku z tym AFS nadal muszą zwiększać swoją produktywność, a jednocześnie sprostać innym istotnym potrzebom, tj. zapobiegać dalszym zmianom klimatu oraz utracie bioróżnorodności, sprzyjać budowaniu odporności, promowaniu zdrowej diety oraz zmniejszeniu ubóstwa (Barrett i in., 2020). Tym samym AFS podlegają dużym naciskom na wdrażanie

zrównoważonych praktyk i rozwiązań technicznych racjonalizujących zużycie nakładów przy jednoczesnym zwiększaniu produkcji żywności i jej wyższych standardów (Hassoun et al., 2022).

W tle wymienionych wyżej zjawisk pojawiają się specyficzne wyzwania zagrażające stabilności i trwałości systemów żywnościowych, w odniesieniu do których postęp cyfrowy może zmienić zasady ich funkcjonowania. Wśród kluczowych wyzwań związanych z rozwojem cyfryzacji można wymienić m.in.: kurczące się zasoby ziemi, niedobory siły roboczej, rosnące ceny środków produkcji, bezpieczeństwo żywności, straty i marnotrawstwo żywności.

Zmiany klimatyczne będą miały istotny wpływ na polską produkcję rolną, ponieważ powodzenie upraw i hodowli w dużej mierze zależy od warunków klimatycznych. Nawet niewielkie zmiany tych warunków mogą sprawić, że niektóre kierunki produkcji staną się niemożliwe na danym obszarze. W związku z tym sektor rolniczy stoi przed dwoma kluczowymi wyzwaniami: koniecznością redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz wdrażania działań adaptacyjnych do zmieniającego się klimatu (Kuryluk, 2020; Kordowska i in., 2023). Jednocześnie rolnictwo odgrywa istotną rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego kraju, dostarczając surowce do produkcji energii odnawialnej, w tym biomasę roślinną. Spalanie biopaliw stałych i biogazu stanowi obecnie 8% mocy zielonej energii w Polsce. W kontekście planowanego wzrostu udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w finalnym jej zużyciu – z 13% do 23% do 2030 r. – należy spodziewać się dalszego rozwoju inwestycji w tym sektorze.

W ostatnich latach obserwuje się zmiany w modelach żywieniowych oraz rosnącą świadomość konsumentów dotyczącą prawidłowego odżywiania. Mimo to istotnym wyzwaniem pozostaje poprawa jakości spożywanych produktów przy jednoczesnym utrzymaniu ich przystępnych cen, co pozwoli na zwiększenie liczby osób objętych odpowiednim poziomem bezpieczeństwa żywnościowego (Kapusta, 2015; Kordowska i in., 2023; Kraciuk, 2018). Bezpieczeństwo żywnościowe zależy od dobrej żyzności i jakości gruntów ornych. Farooqi i in. (2021) wyróżniają następujące problemy obniżające jakość gruntów ornych: rosnące zasolenie gleby, degradacja gruntów i zwiększona erozja, a także wyczerpywanie żyzności gleby z powodu ciągłej uprawy roślin oraz organicznych i nieorganicznych zanieczyszczeń (Hassoun i in., 2022). Ponadto wyjaławianie gleb oraz przeznaczanie terenów rolniczych na cele mieszkalne lub komercyjne, czyli postępująca urbanizacja, zmniejszają pulę gruntów do zastosowań rolniczych.

Obserwowany w niektórych regionach świata wzrost zasolenia gleb jest spowodowany niewłaściwymi praktykami uprawy gleby, takimi jak nadmierne nawadnianie, nadmierne stosowanie nawozów i słabe odprowadzanie wody.

Działania człowieka, które prowadzą do ocieplenia klimatu, powodują podniesienie lustra mórz i oceanów, prowadząc do podmywania i zalewania ziemi uprawnej słoną wodą (Hassoun i in., 2022).

Z kolei erozja gleby jest spowodowana rosnącymi temperaturami, gwałtownymi zjawiskami pogodowymi (intensywne opady deszczu, susze, gwałtowne wiatry), intensywnymi zabiegami uprawowymi (w tym orką) oraz nieracjonalną gospodarką wodną, w tym nieprawidłową melioracją. Do erozji gleby przyczyniają się: postępująca deforestracja, nadmierny wypas i środki chemiczne zawierające fosfor. Obniżona żyzność gleby spowodowana jest monokulturą, niewłaściwym płodozmianem oraz zanieczyszczeniami organicznymi i nieorganicznymi, zwłaszcza środkami agrochemicznymi (Gomiero, 2019).

Rozwiązania cyfrowe, takie jak rolnictwo precyzyjne, systemy informatyczne zarządzania gospodarstwem i roboty rolnicze, umożliwiają wprowadzanie zintegrowanych metod produkcji w zakresie zwalczania szkodników i dostarczania składników odżywczych przy uproszczonej uprawie roli (Curran i in., 2020). Mogą one sprawić, że praktyki rolnictwa ekologicznego będą mniej wymagające pod względem technicznym i formalnym, co doprowadzi do zwiększenia skali rolnictwa ekologicznego i obniżenia cen żywności ekologicznej dla konsumentów.

Rosnące zapotrzebowanie na żywność można zaspokoić przez rozbudowę terenów uprawnych lub intensyfikację produkcji rolnej. Intensyfikacja rolnictwa zazwyczaj wymaga większych nakładów pracy na jednostkę ziemi, ponieważ zwiększa się liczba czynności, jakie należy wykonać przy przygotowywaniu gleby do zasiewów, utrzymywaniu żyzności lub q produkcji zwierzęcej. Równolegle z procesem ekspansji obszarowej rolnictwa i intensyfikacji produkcji następuje również urbanizacja. Miasta przyciągają mieszkańców wsi wyższymi wynagrodzeniami, powodując niedobory siły roboczej, co jest szczególnie dotkliwe podczas spiętrzania się prac sezonowych. Wzrost wynagrodzeń oraz niedobory siły roboczej stwarzają przesłanki do rozwoju usprawnień technicznych i technologii, które zastępują pracę ludzi w produkcji rolniczej (Rajkhowa i Kubik, 2021). W tym kontekście szczególnego znaczenia w ostatnich latach nabiera automatyzacja i wykorzystanie robotów do wykonywania czynności w gospodarstwach rolnych (Devi i in., 2020; Bogue, 2021). Decydując się na automatyzację produkcji, rolnicy muszą jednak liczyć się z wysokimi kosztami inwestycji oraz koniecznością nauczenia się obsługi nowych rozwiązań i pracy z nimi. Naturalną konsekwencją wprowadzenia automatyzacji i robotyzacji jest uzależnienie od dostaw prądu czy paliwa, a także zależność od technologii komunikacyjnych (Karas i in., 2022).

Zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego oraz dostaw bezpiecznej żywności wymaga koordynacji wszystkich uczestników łańcucha żywnościowego, co w naturalny sposób wymusza dzielenie się danymi. Zbieranie, analizowanie i przekazywanie danych może dotyczyć warunków uprawy (np. nawożenie, zmianowanie), przechowywania, transportu, ale także danych rynkowych, takich jak wyprodukowana ilość, zapotrzebowanie na środki produkcji czy ceny skupu.

Duża skala produkcji może powodować wzmożone rozprzestrzenianie patogenów oraz chorób zwierząt hodowlanych (Badia-Melis i in., 2015). Również niedozwolone praktyki rynkowe (np. oszustwa żywnościowe) mogą doprowadzić do skażenia żywności lub obniżenia jej jakości. W ostatnim czasie powstało wiele nowych technologii, które umożliwiają weryfikację jakości i bezpieczeństwa żywności. Równolegle rozwój IoT[1] pozwala na wykorzystanie tych informacji przez różne podmioty – służby, które weryfikują bezpieczeństwo i jakość produktów.

Rosnące ceny środków produkcji oraz ograniczenia nałożone na rolnictwo celem zmniejszenia jego negatywnego wpływu na środowisko i zdrowie powodują wzrost kosztów produkcji rolniczej (Beckman in in., 2020). Zmiany cen są bardzo dotkliwe dla producentów rolnych, ponieważ mają oni ograniczone możliwości substytucji czynników produkcji, co powoduje niewielką elastyczność cenową popytu na czynniki produkcji (Suh i Moss, 2021). Ta tendencja, która może się pogłębiać, sprzyja racjonalizacji gospodarowania, w szczególności ograniczeniu ilości zużytych surowców, wyeliminowaniu przestojów w zakładach produkcyjnych oraz doborowi najlepszych parametrów do procesów, co będzie możliwe na dużą skalę dzięki IoT (Hassoun i in., 2022).

Modernizacja sektora rolnego, obejmująca upowszechnianie wiedzy, wdrażanie innowacji oraz rozwój cyfryzacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich, stanowi jedno z kluczowych wyzwań współczesności. Zachęcanie rolników do korzystania z tych zasobów może przyczynić się do dostosowania profilu produkcji gospodarstw rolnych do wymogów rynku, zwiększenia specjalizacji, redukcji kosztów jednostkowych, poprawy wydajności oraz podniesienia jakości produktów rolnych. Ponadto modernizacja ta odgrywa istotną rolę w ograniczaniu

[1] Internet Rzeczy (IoT) to sieć połączonych obiektów i urządzeń („rzeczy"), które są wyposażone w czujniki oraz technologie umożliwiające im przesyłanie i odbieranie danych – zarówno do innych rzeczy, jak i do systemów – w celu monitorowania, analizy oraz automatyzacji działań (SAP, b.d.). W szerszym ujęciu obejmuje on obiekty fizyczne podłączone bezprzewodowo do Internetu, wyposażone w czujniki, oprogramowanie lub inne technologie umożliwiające zarówno komunikację danych, jak i podejmowanie działań na jej podstawie.

negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko naturalne (Kordowska i in., 2023; Nosecka, 2018).

Zdaniem Ziętary (2018) oraz Kordowskiej i in. (2023) w polskim rolnictwie i agrobiznesie można wyróżnić trzy główne grupy trudności przy wdrażaniu nowych rozwiązań technicznych: świadomościowe, strukturalne oraz strategiczne. Najistotniejszą i zarazem największą z nich są trudności świadomościowe, które mają istotny wpływ na pozostałe wyzwania. Szybkość i skuteczność zmian w zarządzaniu gospodarstwem często zależą od poziomu świadomości przedsiębiorcy rolnego, który z kolei jest w dużej mierze determinowany przez wiek i wykształcenie. W Polsce wciąż znaczna grupa rolników to osoby powyżej 60. roku życia oraz bez wykształcenia kierunkowego. Dodatkowo wielu pracowników gospodarstw rolnych to członkowie rodzin rolników, którzy także często nie dysponują odpowiednią wiedzą teoretyczną w zakresie zarządzania gospodarstwem (Kordowska i in., 2023; Ziętara, 2018). To prowadzi do sytuacji, w której nie wszyscy właściciele gospodarstw rolnych oraz ich pracownicy rozumieją, że np. maksymalizacja produkcji nie zawsze zapewnia jej optymalną opłacalność w długiej perspektywie czasowej, a błędy w zarządzaniu glebą, wodą, środowiskiem czy energią mogą prowadzić do wzrostu kosztów w przyszłości. Dodatkowo wielu rolników wykazuje nieufność wobec nowych technologii (Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, 2022a; Kordowska i in., 2023). Nie dostrzegają oni pełnych korzyści, jakie nowoczesne technologie mogą zapewnić zarówno środowisku, jak i jakości żywności.

Polskie rolnictwo charakteryzuje się znacznym rozdrobnieniem struktury agrarnej oraz dominacją niewielkich gospodarstw rodzinnych, co ogranicza ich możliwości w zakresie integracji rynkowej, specjalizacji produkcji i wydajnego wykorzystania mechanizacji (GUS, 2022; 2023). Uwarunkowania te przekładają się na relatywnie niski wkład sektora rolnego w PKB Polski, wynoszący 2,6% w 2019 r., przy jednocześnie wysokim udziale rolnictwa w zatrudnieniu sięgającym 9,2% (Eurostat, 2019). W tym samym okresie średni udział rolnictwa w tworzeniu PKB Unii Europejskiej wynosił około 1,6–1,9%, natomiast udział sektora rolnego w ogólnym zatrudnieniu kształtował się na poziomie około 4% (Eurostat, 2019). Różnice te wskazują na niższą przeciętną wydajność pracy w polskim rolnictwie w porównaniu ze średnią unijną, co pozostaje charakterystyczną cechą tego sektora mimo postępujących procesów modernizacyjnych.

W Polsce negatywne cechy rolnictwa wiążą się z niedostatecznie sprecyzowanymi strategicznymi kierunkami rozwoju, które są opisane w krajowych dokumentach, w tym z koniecznością wdrożenia nowoczesnych technologii w gospodarstwach rolnych. Dodatkowo brakuje aktywnej polityki rolnej,

ukierunkowanej na koncentrację produkcji (Kordowska i in., 2023; Poczta i Rowiński, 2019; Sadowski i in., 2013). Ponadto środki finansowe przeznaczane na modernizację gospodarstw rolnych, podnoszenie kwalifikacji rolników oraz na badania i rozwój są niewystarczające.

1.2. Technologie cyfrowe a rozwój sektora żywnościowego

Przez ostatnie trzydzieści lat w polskim sektorze rolno-spożywczym miała miejsce głęboka transformacja. Sektor rolno-spożywczy odgrywa ważną rolę w polskiej gospodarce. Jest on istotnym źródłem dochodu narodowego, zapewnia bezpieczeństwo żywnościowe oraz wpływa na bilans handlowy kraju[2]. Krajowy sektor rolno-spożywczy dostosowuje się do wyzwań globalnych, takich jak zmiany klimatyczne, rosnące wymagania konsumentów oraz cyfryzacja procesów produkcyjnych (Kordowska i in., 2023).

Polski sektor rolno-spożywczy ma istotne znaczenie dla bilansu handlowego kraju. Polska jest jednym z największych eksporterów żywności w Unii Europejskiej, a głównymi rynkami zbytu są Niemcy, Wielka Brytania, Francja oraz kraje Europy Środkowo-Wschodniej. Do kluczowych towarów eksportowych należą mięso i jego

[2] Analiza rachunków narodowych wskazuje, że rolnictwo, mimo utrzymującego się relatywnie niewielkiego udziału w wytwarzaniu produktu krajowego brutto, pozostaje sektorem o kluczowym znaczeniu strategicznym. W 2023 r. udział sekcji „Rolnictwo, leśnictwo i rybołówstwo" w PKB Polski wyniósł 3,3%. Dla porównania przemysł generował 23,5% wartości dodanej brutto, a usługi rynkowe, obejmujące m.in. handel, transport, zakwaterowanie i gastronomię – 24% (IFP, 2024). Wartość ta lokuje polskie rolnictwo powyżej średniej unijnej wynoszącej 1,9%, co uplasowało Polskę na 7. miejscu w UE pod względem udziału rolnictwa w PKB. Należy jednak podkreślić, że specyfika tego sektora wykracza poza miary stricte makroekonomiczne. Rolnictwo pełni kluczową funkcję w zakresie bezpieczeństwa żywnościowego, zagospodarowania przestrzeni wiejskiej oraz utrzymania dochodów gospodarstw domowych na terenach o ograniczonej dywersyfikacji ekonomicznej (IFP, 2024). W okresie dwóch dekad członkostwa w Unii Europejskiej polskie rolnictwo przeszło znaczącą transformację strukturalną i ekonomiczną. Wartość dodana wytworzona w tym sektorze zwiększyła się z około 7 mld euro w 2004 r. do ponad 22 mld euro w 2024 r. Tym samym udział Polski w wartości dodanej rolnictwa wytwarzanej w całej UE wzrósł do 3,7% na początku obecnej dekady. O ile na początku integracji polska gospodarka rolna plasowała się na 8. miejscu wśród państw członkowskich, o tyle współcześnie znajduje się już w pierwszej piątce największych producentów rolnych Unii Europejskiej (IFP, 2024).

przetwory, produkty mleczne, owoce i warzywa oraz zboża (GUS, 2023). Postęp techniczny i cyfryzacja mają coraz większy wpływ na sektor rolno-spożywczy w Polsce. Wdrażanie rozwiązań rolnictwa precyzyjnego, systemów monitorowania upraw i hodowli, automatyzacja procesów przetwórczych oraz wykorzystanie sztucznej inteligencji i Big Data przyczyniają się do wzrostu efektywności produkcji oraz ograniczenia jej wpływu na środowisko. Innowacyjne rozwiązania pozwalają na optymalizację zużycia zasobów, redukcję kosztów produkcji oraz poprawę jakości i bezpieczeństwa żywności (Kobus-Cisowska i Dziedziński, 2023).

Dynamiczny rozwój technologii cyfrowych przyczynia się do zmian w funkcjonowaniu różnych sektorów gospodarczych oraz branż, w tym także sektora rolno-spożywczego (Kosior, 2018; Powell, 2017; Walter i in., 2017). Technologie cyfrowe mogą być szansą poprawy produktywności rolnictwa, a także mogą być wykorzystywane w rozwiązywaniu globalnych problemów dotyczących takich aspektów jak: zmiana klimatu oraz utrata różnorodności biologicznej. Zachodzący obecnie postęp techniczny w sektorze rolno-spożywczym wywodzi się z koncepcji rolnictwa precyzyjnego, a jednocześnie wykracza poza jego ramy (Kosior, 2018).

Zrównoważone rolnictwo obejmuje zestaw praktyk pozwalających na zaspokojenie współczesnych potrzeb społeczeństwa w sposób zapewniający ich dalsze wykorzystanie, a także rozwój w przyszłości (Kobus-Cisowska i Dziedziński, 2023; Velten i in., 2015). Jego wykorzystywanie sprzyja optymalnemu, a zarazem oszczędnemu gospodarowaniu zasobami w sposób ekonomicznie efektywny, przy jednoczesnym zachowaniu jakości gleby i ograniczeniu jej degradacji. Pełni ono kluczową rolę w ochronie zasobów naturalnych, przeciwdziałaniu utracie różnorodności biologicznej oraz redukcji emisji gazów cieplarnianych (Kobus-Cisowska i Dziedziński, 2023; Velten i in., 2015). Do kluczowych narzędzi wspierających rozwój zrównoważonego rolnictwa należą nowoczesne technologie, a w szczególności Internet rzeczy (IoT), tj. koncepcja opierająca się na szerokim zastosowaniu połączonych urządzeń, które zbierają i przetwarzają dane w celu optymalizacji procesów. Internet rzeczy współpracuje z wieloma systemami oraz interfejsami IoT, umożliwiając integrację zbieranych danych z procesami zarządzania. W ramach tych systemów liczne czujniki, maszyny i urządzenia generują strumienie wzajemnie powiązanych danych, co pozwala na ich bieżącą analizę i wykorzystanie w praktyce (Khodadadi i in., 2016; Kobus-Cisowska i Dziedziński, 2023).

Współczesne rolnictwo coraz częściej określa się mianem rolnictwa 4.0, w którym wykorzystuje się najnowsze technologie informacyjne, takie jak Big Data, sztuczna inteligencja czy przetwarzanie w chmurze. Implementacja tych narzędzi umożliwia m.in. zdalny nadzór oraz automatyzację procesów rolniczych, co przyczynia się do wzrostu efektywności produkcji, oszczędności

zasobów oraz poprawy bezpieczeństwa i dobrostanu (Quy i in., 2022; Kobus-Cisowska i Dziedziński, 2023; Gazdecki i in., 2024a, 2024b, 2024c).

Wspomniane technologie znajdują zastosowanie w monitorowaniu parametrów gleby, warunków klimatycznych oraz wilgotności, poprawiają wydajność produkcji roślinnej i pozwalają na ograniczenie stosowania nawozów oraz pestycydów (El Nahry i Mohamed, 2011; Kobus-Cisowska i Dziedziński, 2023). Przykładem zaawansowanego wykorzystania technologii jest także zdalne zarządzanie systemami nawadniania, które pozwala na bieżące monitorowanie poziomu zasobów wodnych oraz prognozowanie przyszłego zapotrzebowania na wodę na podstawie zebranych danych (Adamides i in., 2020; Gazdecki i in., 2024a, 2024b, 2024c; Kobus-Cisowska i Dziedziński, 2023).

Cyfryzacja i wdrażanie nowych technologii stanowi naturalny kierunek rozwoju współczesnego rolnictwa. Ich zastosowanie przyczynia się nie tylko do poprawy efektywności produkcji, ale również zapewnia stabilność społeczną, ekonomiczną i ekologiczną, niezbędną dla przyszłego bezpieczeństwa środowiskowego i gospodarczego (Adamides i in., 2020; Kobus-Cisowska i Dziedziński, 2023).

Technologie cyfrowe można zdefiniować jako zestaw metod służących do przygotowania i realizacji procesów produkcyjnych, których celem jest wytwarzanie lub przetwarzanie określonych dóbr bądź informacji. W rolnictwie precyzyjnym wyróżnia się trzy główne kategorie metod wykorzystywanych do przetwarzania zebranych informacji (Ekielski i Wesołowski, 2019):

- **urządzenia i czujniki** – do których zalicza się m.in. systemy określania pozycji; czujniki zawartości składników glebowych, ilości wody w glebie, prognozowania plonów itp.,
- **systemy analizy danych oraz wspierania decyzji** – zalicza się do nich standardy oraz protokoły mające zastosowanie w monitoringu produkcji, algorytmach przetwarzania danych oraz wnioskowania dla danego typu produkcji rolniczej,
- **ogólne systemy oceny pracy gospodarstwa** – ich celem jest ogólna ocena wpływu produkcji na środowisko, a także wykorzystania rolnictwa precyzyjnego na poziomie gospodarstwa w ujęciu całościowym.

W literaturze przedmiotu funkcjonuje również typologia technologii mających zastosowanie w rolnictwie precyzyjnym zgodnie z poniższym podziałem:

- **systemy prowadzenia** – układy sprzętowe oraz oprogramowanie umożliwiające precyzyjne prowadzenie maszyn i ich zestawów; obejmują one rozwiązania prowadzenia automatycznego oraz semi-automatycznego,

- **technologie pozyskiwania oraz analizowania danych** – dane pozyskiwane są z czujników zamontowanych na maszynach, z czujników stacjonarnych systemów detekcji wykorzystujących satelity oraz statki powietrzne, a także z czujników oraz systemów oceniających dobrostan zwierząt,
- **technologie wykonawcze** – oprogramowanie oraz sprzęt umożliwiający precyzyjne wykonywanie pewnych operacji technologicznych; do tej kategorii zalicza się m.in. roboty rolnicze czy automatyczne sterowanie dyszami opryskiwaczy.

Opisane wyżej kategorie metod rolnictwa precyzyjnego wymagają dostępu do globalnego systemu pozycjonowania satelitarnego. Przyspieszenie rozwoju rolnictwa precyzyjnego stało się widoczne w drugiej dekadzie XXI wieku. Zmiany w tym obszarze są efektem wdrażania nowoczesnych technologii, takich jak (Ekielski i Wesołowski, 2019):

- tańsze i bardziej odporne na uszkodzenia czujniki oraz elementy wykonawcze, w tym silniki hydrauliczne i elektryczne,
- bardziej niezawodne urządzenia mikroprocesorowe,
- większe prędkości transferu danych w sieciach komórkowych,
- systemy udostępniania danych oraz oprogramowanie oparte na chmurze informatycznej,
- narzędzia do analizy dużych zbiorów danych (Big Data analytics).

Zastosowanie tych technologii w sprzęcie rolniczym zapewniło nowe cechy użytkowe, początkowo w ciągnikach i kombajnach, a później także w innych maszynach, w tym m.in. (Ekielski i Wesołowski, 2019):

- inteligentne urządzenia sterujące oraz komputery pokładowe,
- czujniki pomiarowe, umożliwiające kontrolowanie i sterowanie szerszym zakresem parametrów procesów rolniczych,
- zaawansowane rozwiązania automatyzujące pracę maszyn (np. samodzielne prowadzenie, siew nasion, opryskiwanie),
- technologie komunikacyjne w pojazdach rolniczych, w tym wprowadzenie powszechnie stosowanej technologii telematycznej.

Rozwiązania te umożliwiają uzyskanie dodatkowej wartości, obejmującej (Ekielski i Wesołowski, 2019):

- ulepszanie produktów przez integrację oprogramowania z nowymi algorytmami, które pozwalają na przetwarzanie zgromadzonych danych na użyteczne informacje,

- optymalizację pracy maszyn i narzędzi w zależności od lokalnych uwarunkowań,
- redukcję ryzyka oraz ograniczenie wrażliwości na niekorzystne czynniki zewnętrzne, takie jak awarie maszyn, warunki pogodowe czy choroby,
- wprowadzenie sprawnego systemu, który łączy dane z różnych źródeł, czujników, wyposażenia oraz informacje pochodzące z gospodarstwa lub zewnętrznych źródeł. Operator monitoruje wszystkie operacje za pomocą panelu sterującego, otrzymując informacje w czasie rzeczywistym lub zbliżonym do rzeczywistego,
- współpracę między różnymi użytkownikami w łańcuchu produkcyjnym – dane pełnią rolę elementu łączącego poszczególne systemy (gospodarstwa), umożliwiając dostarczanie dodatkowej wartości w ramach łańcucha dostaw producentów żywności.

Decyzja o wdrożeniu nowych technologii w gospodarstwie rolnym powinna być poprzedzona dokładną analizą różnych czynników wpływających na ich efektywność i opłacalność. Kluczowe aspekty, które należy uwzględnić, obejmują (ZPE, b.d.):

- **charakterystykę gospodarstwa** – wielkość, typ oraz specjalizację produkcji, które determinują potrzeby technologiczne i potencjalne korzyści wynikające z ich zastosowania,
- **dostępne zasoby** – posiadany park maszynowy, wcześniej wdrożone rozwiązania technologiczne oraz jakość infrastruktury, w tym dostępność stabilnego połączenia internetowego,
- **specyfikę technologii** – jej funkcjonalność, zakres zastosowania oraz oczekiwane efekty wynikające z jej wdrożenia, takie jak wzrost wydajności, redukcja kosztów czy poprawa jakości produkcji,
- **koszty wdrożenia i eksploatacji** – nakłady inwestycyjne związane z zakupem technologii, koszty jej późniejszego użytkowania oraz ewentualne wydatki na szkolenia czy dostosowanie infrastruktury,
- **kompetencje użytkowników** – stopień przygotowania do korzystania z nowej technologii oraz możliwość jej stopniowego rozwijania i integracji z innymi rozwiązaniami w przyszłości,
- **doświadczenia innych użytkowników** – opinie rolników, którzy już wdrożyli daną technologię, ich ocena funkcjonalności, niezawodności oraz osiąganych rezultatów,
- **aspekty serwisowe i gwarancyjne** – długość okresu gwarancji, koszty ubezpieczenia, dostępność części zamiennych oraz jakość wsparcia technicznego oferowanego przez producenta.

Skrupulatne przeanalizowanie powyższych aspektów pozwoli na świadome i optymalne wdrożenie nowych technologii, dostosowanych do specyfiki gospodarstwa oraz jego indywidualnych potrzeb.

Wdrożenie rozwiązań rolnictwa precyzyjnego w gospodarstwie wymaga starannego planowania i realizacji kolejnych etapów, aby zapewnić ich skuteczność oraz opłacalność. Pierwszym krokiem w procesie wdrażania technologii rolnictwa precyzyjnego jest ocena specyfiki gospodarstwa. Należy przeanalizować (Adamides i in., 2020; Kobus-Cisowska i Dziedziński, 2023):

- **rodzaj i skalę produkcji** – uprawy roślinne czy hodowla zwierząt, powierzchnia gospodarstwa, intensywność produkcji,
- **warunki glebowe i klimatyczne** – skład chemiczny gleby, struktura upraw, zmienność warunków atmosferycznych,
- **dostępne zasoby** – posiadany sprzęt rolniczy, infrastruktura technologiczna, dostęp do internetu i systemów zarządzania danymi,
- **potrzeby i cele** – określenie oczekiwanych efektów wdrożenia, takich jak zwiększenie wydajności, redukcja kosztów czy ograniczenie wpływu na środowisko.

Na podstawie przeprowadzonej analizy należy dokonać selekcji technologii dostosowanych do specyfiki gospodarstwa. Do rozwiązań najczęściej stosowanych w rolnictwie precyzyjnym należą (Adamides i in., 2020; Kobus-Cisowska i Dziedziński, 2023):

- **systemy GPS (Global Positioning System) i GNSS (Global Navigation Satellite Systems)** – precyzyjne nawigowanie maszyn rolniczych, automatyzacja procesów,
- **czujniki glebowe i atmosferyczne** – monitorowanie warunków glebowych i klimatycznych w czasie rzeczywistym,
- **drony i obrazowanie satelitarne** – analiza kondycji upraw i szybka diagnostyka problemów,
- **systemy zmiennego dawkowania – VRT (Variable Rate Technology)** – optymalizacja stosowania nawozów i środków ochrony roślin,
- **cyfrowe systemy zarządzania gospodarstwem – FMS (Farm Management Systems)** – integracja danych i automatyzacja procesów decyzyjnych.

Zanim nowe technologie zostaną w pełni zaimplementowane, warto przeprowadzić ich testy. Etap ten obejmuje (Adamides i in., 2020):

- sprawdzenie działania systemów na wybranym obszarze gospodarstwa,

- analizę efektywności i wprowadzanie ewentualnych korekt,
- porównanie uzyskanych wyników z wcześniejszymi metodami.

Po pomyślnym zakończeniu fazy testowej następuje implementacja technologii na całym obszarze gospodarstwa. Kluczowe działania obejmują (Adamides i in., 2020):

- systematyczne monitorowanie efektów wdrożenia,
- dostosowywanie parametrów i optymalizację procesów,
- analizowanie zebranych danych i podejmowanie decyzji opartych na ich wynikach.

Wdrożenie rolnictwa precyzyjnego wymaga starannego planowania i realizacji kilku kluczowych etapów: analizy potrzeb, wyboru technologii, przygotowania infrastruktury, testowania, pełnej implementacji oraz ciągłego doskonalenia. Proces ten pozwala na optymalizację produkcji rolnej, zwiększenie efektywności gospodarstwa oraz redukcję kosztów i negatywnego wpływu na środowisko.

Cyfrowa transformacja w sektorze rolno-spożywczym postępuje wolniej niż w innych branżach (CEPS, 2019; Kosior, 2020), choć w niektórych ogniwach łańcucha wartości zmiany zachodzą szybciej i są bardziej zauważalne. Sektorami bardziej zaawansowanymi cyfrowo są dostawcy środków produkcji, dystrybutorzy oraz sprzedawcy. Zmiany cyfrowe w rolnictwie i przetwórstwie rolno-spożywczym mają miejsce, ale ich zasięg wciąż pozostaje ograniczony (ABB, 2018). Technologie cyfrowe oraz zaawansowane analizy danych są wykorzystywane głównie przez duże gospodarstwa rolne, korporacje międzynarodowe i większe przedsiębiorstwa przemysłu spożywczego. Natomiast wiele małych gospodarstw rolnych oraz mniejszych zakładów produkcyjnych nie nadąża za cyfryzacją, korzystając jedynie z podstawowych narzędzi, takich jak dostęp do Internetu, strony internetowe oraz urządzenia mobilne (Kosior, 2020).

Sektor dostawców środków produkcji dla rolnictwa stanowi kluczowe ogniwo w łańcuchu żywnościowym, w którym procesy cyfryzacji wykazują szczególnie transformacyjny charakter (Kosior, 2020). W tym obszarze pojawiły się podmioty, które dotychczas nie były bezpośrednio związane z produkcją żywności ani szeroko rozumianym sektorem agrobiznesu. Należą do nich zarówno duże przedsiębiorstwa z branży zaawansowanych technologii (high tech), platformy internetowe, producenci oprogramowania oraz firmy zajmujące się produkcją chipów i czujników, jak i mniejsze przedsiębiorstwa działające w obszarze agtech oraz start-upy specjalizujące się w analizie danych,

świadczeniu usług doradczych i rozwoju aplikacji cyfrowych dedykowanych rolnictwu. Kolejną istotną zmianą w tym sektorze jest rosnąca koncentracja siły rynkowej dostawców środków produkcji dla rolnictwa (Kosior, 2020; Pham i Stack, 2018). Proces ten, choć rozpoczął się już wcześniej, w ostatnich latach uległ wyraźnemu nasileniu. Nowe możliwości biznesowe związane z wykorzystaniem technologii cyfrowych stanowią jeden z głównych impulsów do łączenia przedsiębiorstw. W wyniku licznych przejęć i fuzji doszło do bezprecedensowej konsolidacji firm na rynkach nasion, agrochemicznym, nawozowym, genetyki zwierząt oraz maszyn rolniczych (IPES-Food, 2017). Ponadto dostawcy środków produkcji dla rolnictwa coraz częściej wdrażają złożone strategie pozyskiwania i monetyzowania danych rolniczych. Strategie te realizowane są nie tylko za pomocą przejęć i fuzji, ale również przez strategie oparte na partnerstwie i współpracy. Kooperacja między producentami maszyn rolniczych, środków ochrony roślin oraz innych elementów produkcji umożliwia osiąganie wyższych marż – przedsiębiorstwa wzbogacają swoje istniejące produkty o nowe rozwiązania cyfrowe i funkcjonalności lub opracowują nowe produkty i usługi, bazując na wspólnych zasobach danych rolniczych (Kosior, 2020).

Wprowadzenie sprzedaży za pośrednictwem platform internetowych stanowi kolejną transformację w łańcuchu rolno-spożywczym, będącą efektem postępującej cyfryzacji. W obrocie produktami rolno-spożywczymi, na poziomie handlu hurtowego i detalicznego coraz częściej wykorzystywane są różnorodne platformy e-commerce (Figiel, 2019; Kosior, 2020). Platformy te znacząco usprawniają dostęp do informacji rynkowych i handlowych, umożliwiając szybsze i bardziej efektywne łączenie popytu z podażą. Ponadto redukują liczbę pośredników w łańcuchu dostaw, skracają dystans między producentami a konsumentami, wzmacniają pozycję drobnych producentów rolnych poprzez eliminowanie barier w dostępie do rynków, a także promują przejrzystość cenową na rynkach żywnościowych. Dzięki wykorzystaniu platform internetowych producenci mogą uzyskać globalny zasięg i łatwiejszy dostęp do globalnych łańcuchów wartości (OECD, 2019a; Kosior, 2020). Internet zmniejsza znaczenie lokalizacji producentów, uniezależniając ich od tradycyjnych sieci sprzedaży. W efekcie dochodzi do zmian w strukturze relacji między podmiotami łańcucha dostaw żywności (Figiel, 2019; Kosior, 2020). Skutki rozwoju platform handlowych w sektorze rolno-spożywczym nie zostały jednak w pełni zrozumiane. Z jednej strony, szybszy i tańszy dostęp do informacji handlowych i potencjalnych nabywców może przyczynić się do ograniczenia nieefektywności rynków żywnościowych,

rozwoju handlu rolno-spożywczego i zwiększenia konkurencyjności sektora. Z drugiej strony, charakterystyczne dla gospodarki cyfrowej korzyści skali i zakresu mogą prowadzić do dominacji kilku platform e-commerce, a w efekcie do podwyższenia cen dostępu (Kosior, 2020).

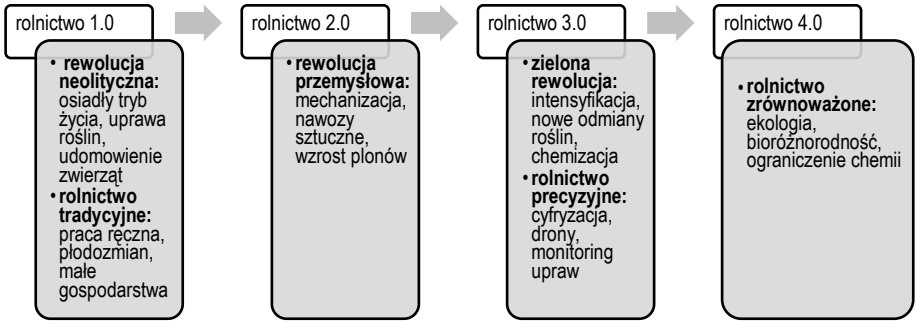
Cyfryzacja w sektorze produkcji rolnej wzmocniła pozycję dużych i bardzo dużych gospodarstw rolnych (Carbonell, 2016; Kosior, 2020). Gospodarstwa te częściej korzystają z zaawansowanego sprzętu rolniczego, który może być zintegrowany z nowoczesnymi rozwiązaniami cyfrowymi. Właściciele dużych gospodarstw częściej inwestują w nowe technologie, co sprzyja koncentracji technologii cyfrowych w tym segmencie rynku. Według Kosiora (2020) rynek produktów i usług cyfrowych dla rolnictwa faworyzuje większe gospodarstwa, ponieważ wielu dostawców usług analitycznych uzależnia oferowanie ich od wielkości gospodarstwa, powierzchni upraw lub liczby utrzymywanych zwierząt. W ramach systemu subskrypcyjnego opłaty za usługi analityczne często są naliczane na podstawie powierzchni użytków rolnych lub liczby zwierząt (Kosior, 2020).

Ponadto nie tylko względy biznesowe, ale także techniczne i metodologiczne sprzyjają rozwojowi produktów i usług cyfrowych skierowanych do większych gospodarstw. Przykładowo analizy wykorzystujące sztuczną inteligencję oraz algorytmy maszynowego uczenia się, które generują wskazówki dla producentów w czasie rzeczywistym, wymagają dostępu do dużych zbiorów danych, co łatwiej mogą zapewnić większe gospodarstwa. W przypadku mniejszych gospodarstw dane są zazwyczaj rozproszone, co utrudnia osiąganie porównywalnych zwrotów z inwestycji. W konsekwencji cyfryzacja jest bardziej zaawansowana w gospodarstwach dużych i bardzo dużych (Kosior, 2020).

Odpowiednio dobrane i wdrożone technologie cyfrowe stają się kluczowym czynnikiem zwiększającym konkurencyjność gospodarstw rolnych oraz innych podmiotów w łańcuchu rolno-spożywczym. Przy rosnącym zapotrzebowaniu przetwórców, sprzedawców i konsumentów na produkty rolne o wysokiej jakości oraz odpowiednie metody produkcji, gospodarstwa, które stosują systemy informatyczne do zarządzania produkcją oraz technologie umożliwiające monitorowanie procesów produkcyjnych, zyskują przewagę konkurencyjną w łańcuchu dostaw żywności. Korzyści płynące z cyfryzacji wykraczają jednak poza obszar samej produkcji. Producenci i przetwórcy, którzy osiągnęli wysoki poziom zaawansowania cyfrowego, mają możliwość aktywnego uczestnictwa w nowoczesnych oraz rozbudowanych sieciach współpracy, co otwiera przed nimi nowe perspektywy biznesowe.

1.3. Rolnictwo oparte na danych – od rolnictwa precyzyjnego do inteligentnego

Rolnictwo, jako jedna z najstarszych form działalności człowieka, przeszło długotrwały proces ewolucji (rys. 1), który znacząco wpłynął na rozwój społeczno-gospodarczy cywilizacji. Początki rolnictwa sięgają okresu neolitu, kiedy ludzie zaczęli prowadzić osiadły tryb życia i uprawiać rośliny przy użyciu prymitywnych, wykonanych ręcznie narzędzi. W miarę upływu czasu dokonujący się postęp technologiczny umożliwił zastępowanie pracy ludzkiej oraz zwierzęcej coraz bardziej zaawansowanymi narzędziami i maszynami (Ekielski i Wesołowski, 2019; Kordowska i in., 2023).



Rys. 1. Etapy rozwoju rolnictwa
Źródło: opracowanie własne na podstawie Ekielski i Wesołowski, 2019; Kordowska i in., 2023.

Przełomowym momentem w rozwoju rolnictwa na przełomie XIX i XX w. było wprowadzenie mechanizacji w wyniku rewolucji przemysłowej. W tym okresie pojawiły się pierwsze maszyny napędzane silnikami parowymi, a następnie spalinowymi i elektrycznymi. Zastosowanie nowoczesnych technologii przyczyniło się do znacznego zwiększenia efektywności produkcji rolnej, zmniejszając jednocześnie zapotrzebowanie na pracę fizyczną ludzi i zwierząt. Mechanizacja rolnictwa pozwoliła na usprawnienie procesów agrotechnicznych, co wpłynęło na wzrost wydajności oraz optymalizację kosztów produkcji (Ekielski i Wesołowski, 2019; Kordowska i in., 2023).

Wprowadzenie podstawowej mechanizacji zapoczątkowało nowy etap w organizacji pracy rolniczej, określany mianem Rolnictwa 1.0 (Ekielski i Wesołowski, 2019). Kolejne fazy rozwoju rolnictwa, związane z postępem naukowym

i technologicznym, doprowadziły do dalszej modernizacji tego sektora, prowadząc do powstania Rolnictwa 2.0 oraz Rolnictwa 3.0. Natomiast Rolnictwo 4.0, charakteryzuje się automatyzacją, cyfryzacją oraz wykorzystaniem zaawansowanych systemów analizy danych i sztucznej inteligencji (Ekielski i Wesołowski, 2019; Kordowska i in., 2023).

Tak zwane Rolnictwo 1.0 powstało w wyniku rewolucji przemysłowej XIX w. Do rolnictwa zaczęto w tym czasie wprowadzać maszyny uprawowe oraz ciągniki napędzane silnikami spalinowymi lub parowymi. Miało to na celu ograniczenie fizycznej pracy rolników na rzecz maszyn, które zapewniały większą wydajność procesów produkcji. Człowiek nadal był jednak niezbędnym elementem produkcji rolniczej. Mimo znaczącej jak na tamte czasy rewolucji rolnictwo nadal było bardzo czasochłonne i wymagało zaangażowania wielu ludzi. Wraz z rozwojem gospodarczym i postępem technologicznym rolnicy coraz lepiej wykorzystywali rozwiązania techniczne i zgłaszali zapotrzebowanie na dalsze ulepszenia, co wymusiło kolejny etap rozwoju, tj. Rolnictwo 2.0. Opierało się ono na optymalizacji dotychczasowych procesów, ponieważ sama mechanizacja nie rozwiązała wszystkich wyzwań, przed którymi stawali producenci. Zaczęto stosować nawozy sztuczne oraz środki ochrony roślin, co pozwoliło na zwiększenie produktywności. W latach 50. XX w. okres rozwoju Rolnictwa 2.0 nazwano zieloną rewolucją. Rozwój mechanizacji, produkcja nawozów oraz pestycydów również wywarły wpływ na strukturę rolnictwa i sposób prowadzenia gospodarstw rolnych. Nastąpiło stopniowe zwiększanie powierzchni gospodarstw rolnych i zastępowanie pracy przez kapitał. Osiągnięcie bezpieczeństwa żywnościowego w krajach bardziej rozwiniętych spowodowało, że zaczęto zastanawiać się nad jakością żywności oraz oddziaływaniem produkcji żywności na środowisko naturalne. Zauważono, że nadmierne stosowanie chemicznych środków ochronny roślin może powodować akumulację pozostałości substancji czynnych w glebie oraz w surowcach roślinnych. Nadmierne użycie nawozów może prowadzić do ich przenikania do wód gruntowych oraz jezior i rzek, co powoduje skażenie. Rozwój genetyki roślin z wykorzystaniem biotechnologii zapoczątkował wprowadzanie nowych odmian roślin uprawnych, bardziej odpornych na zagrożenia biologiczne oraz atmosferyczne lub wykazujących odporność na wybrane substancje czynne stosowane w ochronie roślin. Tworzyło to nowe możliwości i wyzwania w obszarze produkcji roślinnej. Chodziło głównie o bardziej precyzyjne dozowanie nawozów, jak i środków ochrony roślin w celu lepszego dostosowana do zmiennych warunków glebowych. W pewnym uproszczeniu działania takie polegają na ograniczaniu zużycia tych środków produkcji w tych miejscach,

w których warunki glebowe lub kondycja roślin nie pozwalają na uzyskanie wyższego plonu. Pozwala to na zmniejszenie całkowitego zużycia nawozów. Odpowiedzią na takie potrzeby było Rolnictwo 4.0, nazywane inaczej rolnictwem precyzyjnym.

Postęp techniczny pozwolił na doskonalenie procesów produkcyjnych w rolnictwie. Efektem zmian technicznych była ewolucja parku maszynowego w gospodarstwach rolnych. Zmianom ulegały zarówno ciągniki rolnicze, jak i maszyny służące do uprawy, aplikacji nawozów i środków ochrony oraz zbioru. Zaawansowane maszyny, wyposażone w różnego rodzaju systemy elektroniczne, pozwalały na dokładny monitoring procesów produkcyjnych oraz gromadzenie dużej ilości danych. Dało to impuls do rozwoju rozwiązań, które ułatwiały prowadzenie całego gospodarstwa rolnego, zarządzanie wybranymi kierunkami produkcji (produkcja roślinna, produkcja zwierzęca) lub pojedynczymi procesami produkcyjnymi. Postęp technologiczny pozwala obecnie na bardziej racjonalne, bezpieczne dla środowiska i zdrowia ludzi stosowanie nawożenia i środków ochronny roślin (Dominik, 2010).

Rozwój cyfryzacji dotyczy również maszyn, upraw, środków ochrony roślin, stanu zwierząt oraz kosztów produkcji. To w obszarze cyfryzacji i automatyzacji upatruje się dalszych możliwości zwiększania wydajności maszyn. Jak stwierdził Lorencowicz (2018), „wielkość i wydajność maszyn rolniczych osiągnęły już swoje maksima i chociaż w dalszym ciągu nowe konstrukcje charakteryzują się lepszymi parametrami, to jednak ogromne, niewykorzystane do tej pory możliwości zwiększania wydajności i jakości pracy tkwią w optymalizacji procesów roboczych oraz procesów zarządzania".

Pierwsza definicja rolnictwa precyzyjnego pojawiła się w USA w 1997 r., w jednym z dokumentów opublikowanych przez Izbę Reprezentantów. Określono je 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" (Escamilla-García i in., 2020; Monteleone i in., 2020).

Rolnictwo 4.0 stanowi dynamicznie rozwijający się obszar badań, który zyskuje coraz większe zainteresowanie w literaturze naukowej. Pomimo rosnącej liczby publikacji wciąż istnieje stosunkowo niewiele opracowań skupiających się na identyfikacji jego kluczowych cech (Escamilla-García i in., 2020; Monteleone i in., 2020). Brak jednoznacznej definicji tego pojęcia sprawia, że różni autorzy przedstawiają odmienne ujęcia koncepcyjne, bazujące na integracji technologii cyfrowych z procesami produkcji rolniczej.

Badacze podejmujący się konceptualizacji Rolnictwa 4.0 najczęściej określają je jako integrację nowoczesnych technologii w celu automatyzacji procesów cyber-fizycznych, umożliwiającą bardziej precyzyjne planowanie i kontrolę produkcji rolniczej (Ekielski i Wesołowski, 2019; Escamilla-García i in., 2020). Węższa definicja, przedstawiona przez Griepentroga (2017), odnosi się do zastosowania technologii informatycznych w celu optymalizacji przepływu zasobów i działań. Natomiast Sott i in. (2020) podkreślają, że Rolnictwo 4.0 obejmuje także adaptację technologii na potrzeby stworzenia zintegrowanego łańcucha wartości, łączącego przedsiębiorców, konsumentów i innych interesariuszy sektora rolniczego.

W literaturze Rolnictwo 4.0 postrzegane jest jako proces transformacji sektora rolniczego, który obejmuje zmianę tradycyjnych modeli biznesowych na cyfrowe oraz rozwój strategii bazujących na nowoczesnych technologiach. Celem tych zmian jest usprawnienie funkcjonowania całego łańcucha dostaw w rolnictwie (Maffezzoli i in., 2022). Na potrzeby niniejszej analizy przyjęto definicję Rolnictwa 4.0 zaproponowaną przez Goela i in. (2021), według której jest to „koncepcja prowadzenia rolnictwa w innowacyjny sposób, z wykorzystaniem najnowszych technologii w celu zwiększenia ilości i jakości produktów rolnych". Na podstawie analizy definicji przyjętych w literaturze należy stwierdzić, że rolnictwo precyzyjne nie jest synonimem Rolnictwa 4.0, lecz stanowi jeden z jego kluczowych komponentów technologicznych, koncentrujących się na operacyjnym poziomie produkcji rolnej.

„Rolnictwo precyzyjne było początkowo traktowane jako nowość w wielu krajach i przedsiębiorstwach, a jego praktyczne zastosowanie było niewielkie. Staje się ono jednak coraz bardziej obiecującą i powszechnie stosowaną metodą uprawy" (Klepacki, 2020). Aktualnie jest połączeniem i współdziałaniem technik z zakresu automatyki, technologii informacyjnych oraz cyfrowego modelowania danych agronomicznych. Raport Parlamentu Europejskiego na temat rolnictwa (Van Woensel i Vrščaj, 2015) precyzyjnego definiuje je jako: „nowoczesną koncepcję zarządzania rolnictwem, wykorzystującą techniki cyfrowe do monitorowania i optymalizacji procesów produkcji rolnej" (Gazdecki, 2022). Beluhova-Uzunova i Dunchev (2019) definiują rolnictwo precyzyjne jako koncepcję opartą „na obserwacji, pomiarach i reakcji na zmienność warunków na polach uprawnych lub aspektów hodowli zwierząt".

Istotnym zagadnieniem, które pojawia się w kontekście rolnictwa precyzyjnego, jest zrównoważony rozwój. Wiele badań wskazuje, że środowisko naturalne oraz grunty uprawne ulegają coraz szybszej degradacji i tracą swoiste cechy, co uniemożliwia ich dalsze wykorzystywanie na cele rolnicze (Maffezzoli

i in., 2022). Czynnikami, które mają bezpośredni wpływ na taki stan rzeczy, są intensyfikacja produkcji, wycinka terenów leśnych pod grunty uprawne czy nieprzemyślane stosowanie środków ochrony roślin. Rolnictwo precyzyjne to narzędzie, które może mieć realny wpływ na ograniczenie tych procesów przy jednoczesnym zwiększaniu produkcji żywności. Celem dalszego rozwoju rolnictwa jest utrzymanie tempa wzrostu produkcji rolniczej pozwalającego na wyżywienie świata przy pełnym odtworzeniu zasobów. Rozwój rolnictwa oparty na postępie technicznym uzasadnia tezę, że rolnictwo precyzyjne, którego istotą jest wykorzystywanie zaawansowanej technologii, to siła sprawcza i nieodzowny warunek rozwoju zrównoważonego (Korzeniowski, 2013). Przyszłość stawia przed rolnictwem precyzyjnym wiele oczekiwań, takich jak efektywne gromadzenie i zarządzanie danymi, minimalizacja zużycia środków produkcji i pracy ludzkiej, ochrona zanikających zasobów naturalnych oraz ciągły rozwój.

Ze względu na stale wzrastającą wielkość populacji coraz częściej poruszane są tematy bezpieczeństwa żywnościowego oraz bezpieczeństwa żywności. „Aby do 2050 r. osiągnąć globalne bezpieczeństwo żywności i żywienia, łączna produktywność czynników produkcji rolnej na świecie – porównując produkty ogółem do całkowitych nakładów wykorzystanych do produkcji tych produktów – powinna rosnąć średnio w tempie co najmniej 1,8% rocznie" (IFP, 2024). Działająca w Komisji Europejskiej Dyrekcja Generalna ds. Rolnictwa (DG AGRI) szacuje na podstawie danych Eurostatu, że wzrost łącznej produktywności czynników produkcji w unijnym rolnictwie stale pozostaje poniżej wartości procentowej wymaganej, by UE w znaczący sposób przyczyniała się do bezpieczeństwa żywnościowego na świecie (Schrijver, 2016). Rozwój rolnictwa precyzyjnego może przyczynić się do wzrostu bezpieczeństwa żywnościowego w każdym z jego wymiarów, tzn. rozporządzalności, dostępności i adekwatności (Leśkiewicz, 2012). Rozporządzalność oznacza „posiadanie wystarczającej ilości dostępnej żywności dla całej ludności w każdym czasie, aby podtrzymać życie ludzkie". „Dostępność" to nieograniczanie podaży żywności; zaś „adekwatność" rozumiana jest jako „zbilansowana racja pokarmowa", „wolna od chorób i substancji trujących" (Leśkiewicz, 2012). Dzięki zastosowaniu rozwiązań rolnictwa precyzyjnego można dokładnie monitorować produkcję żywności, obserwować wszystkie jej etapy, planować kolejne działania. Najważniejszą korzyścią jest jednak możliwość optymalizacji procesu produkcji przez zwiększenie produkcji, przy jednoczesnym utrzymaniu nakładów lub ich redukcji. Rolnictwo precyzyjne może być również wykorzystane w zapewnieniu bezpieczeństwa żywności. W bezpieczeństwie żywności chodzi o „zagwarantowanie, by żywność była bezpieczna dla zdrowia i życia ludzi, gdyż te wartości są przedmiotem ochrony

prawnej" (Leśkiewicz, 2012). Rozwiązania systemowe zapewniają kontrolę stanu zdrowia zwierząt hodowlanych i monitoring ich dobrostanu, co ma bezpośredni wpływ na jakość wytworzonego mięsa. Dzięki rozwiązaniom rolnictwa precyzyjnego można również ograniczyć stosowanie środków ochrony roślin i nawozów sztucznych przy jednoczesnym utrzymaniu skuteczności ich stosowania.

Smart farming – tj. inteligentne rolnictwo – wykorzystuje technologie informacyjne i komunikacyjne w maszynach, urządzeniach i sensorach stosowanych w systemach produkcji rolnej. Technologie takie jak Internet Rzeczy (Internet of Things, IoT) i przetwarzanie w chmurze jeszcze bardziej przyspieszają ten rozwój, wprowadzając do rolnictwa roboty i sztuczną inteligencję (Gazdecki, 2022). Jest to etap rozwoju rolnictwa, który charakteryzuje się bardzo dużym tempem zmian, co może powodować, że jednostki badawcze i naukowe nie będą w stanie nadążyć za nowościami. Informacje dotyczące najnowszych rozwiązań systemowych są często w rękach firm komercyjnych i samych użytkowników. „Tryb transferu wiedzy w rolnictwie precyzyjnym opiera się głównie na procedurze odgórnej, w której innowacje pochodzą od prywatnych firm, które opracowują i dostarczają rozwiązania technologiczne" (Ajena, 2021). W literaturze przedmiotu smart farming (inteligentne rolnictwo) bywa niekiedy utożsamiane z rolnictwem precyzyjnym, jednak pojęcia te nie są tożsame znaczeniowo. Rolnictwo precyzyjne koncentruje się na monitorowaniu, analizie i optymalizacji procesów produkcyjnych, natomiast smart farming stanowi kolejny etap rozwoju rolnictwa, oparty na integracji systemów cyfrowych, automatyzacji podejmowania decyzji oraz wykorzystaniu technologii takich jak Internet Rzeczy, sztuczna inteligencja i przetwarzanie w chmurze. W tym ujęciu smart farming należy traktować jako praktyczny wymiar Rolnictwa 4.0, wykraczający poza operacyjny poziom zarządzania produkcją rolną.

W Polsce rozwój Rolnictwa 4.0 zależy od wielu czynników, obejmujących aspekty techniczne, ekonomiczne, społeczne i regulacyjne. Czynniki te będą oddziaływać również na wdrażanie technologii z zakresu smart farming (tab. 1).

Kluczowym wyzwaniem pozostaje integracja tych elementów w celu zapewnienia skutecznej i trwałej transformacji sektora rolniczego. Przy odpowiednim wsparciu politycznym oraz zwiększeniu świadomości rolników co do korzyści płynących z cyfryzacji, Rolnictwo 4.0 ma potencjał znacząco przyczynić się do zwiększenia efektywności i konkurencyjności polskiego rolnictwa. Rolnictwo precyzyjne jest połączeniem nowoczesnych technologii oraz praktycznych rozwiązań, które znajdują zastosowanie u użytkowników. Opiera się na technologii, gromadzeniu danych oraz wspomaganiu podejmowania decyzji na podstawie danych. Wiele rozwiązań rolnictwa precyzyjnego jest relatywnie łatwo dostępnych,

Tabela 1. Uwarunkowania rozwoju technologii Rolnictwa 4.0 w Polsce

Czynniki	Oddziaływanie	Opis
Techniczne	Postęp techniczny jest jedną z kluczowych determinant wdrażania Rolnictwa 4.0	Główne aspekty: · dostępność Internetu i sieci 5G – kluczowa dla skutecznego działania systemów IoT i analizy Big Data · automatyzacja i robotyzacja – rozwój inteligentnych maszyn rolniczych umożliwiających precyzyjne zarządzanie produkcją · sztuczna inteligencja i analityka danych – wykorzystywane do przewidywania warunków uprawy i optymalizacji procesów rolniczych · blockchain w rolnictwie – stosowany do zwiększenia transparentności i efektywności łańcucha dostaw
Ekonomiczne	Rozwój technologii Rolnictwa 4.0 w Polsce wymaga znacznych inwestycji, zarówno ze strony przedsiębiorców, jak i instytucji publicznych	Kluczowe aspekty ekonomiczne: · finansowanie innowacji – fundusze unijne oraz krajowe programy wspierające cyfryzację sektora rolnego · koszty wdrażania nowych technologii – bariera dla mniejszych gospodarstw rolnych · efektywność ekonomiczna – potencjalne korzyści wynikające ze zwiększonej produktywności i optymalizacji zasobów
Społeczne i edukacyjne	Adaptacja technologii Rolnictwa 4.0 zależy od poziomu akceptacji społecznej oraz dostępności wykwalifikowanej kadry	Istotne elementy: · edukacja i szkolenia – potrzeba kształcenia rolników w zakresie nowoczesnych technologii · gotowość do zmian – postawy rolników wobec innowacji i ich skłonność do inwestowania w nowe rozwiązania · współpraca sektora publicznego i prywatnego – kluczowa dla skutecznej implementacji technologii
Regulacje prawne	Rozwój Rolnictwa 4.0 zależy od polityki państwa oraz regulacji prawnych	· strategie rozwoju rolnictwa – krajowe i unijne dokumenty strategiczne wspierające cyfryzację rolnictwa · regulacje dotyczące ochrony danych – istotne w kontekście wykorzystania IoT i sztucznej inteligencji · subwencje i programy wsparcia – instrumenty wspierające wdrażanie nowych technologii w gospodarstwach rolnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kordowska i in., 2023.

a ich użycie nie wymaga wykształcenia informatycznego, co może przyczyniać się do jego upowszechniania.

1.4. Istota rolnictwa precyzyjnego

Rolnictwo, które zlokalizowane jest na początku łańcucha marketingowego żywności, od zawsze poszukiwało sposobów na usprawnienie procesów i ograniczenie kosztów produkcji. Strategia skierowana na redukcję kosztów wynika

głównie z relatywnie mniejszej siły rynkowej gospodarstw rolnych wobec innych podmiotów, które tworzą sektor żywnościowy. Niewielkie możliwości odziaływania na ceny sprzedaży produktów rolniczych powodują, że bardziej korzystne są działania ukierunkowane na optymalizację procesów wewnętrznych. Uzasadnia to potrzebę tworzenia narzędzi, które ułatwiają zarządzanie gospodarstwem oraz redukcję kosztów produkcji (Gazdecki, 2022).

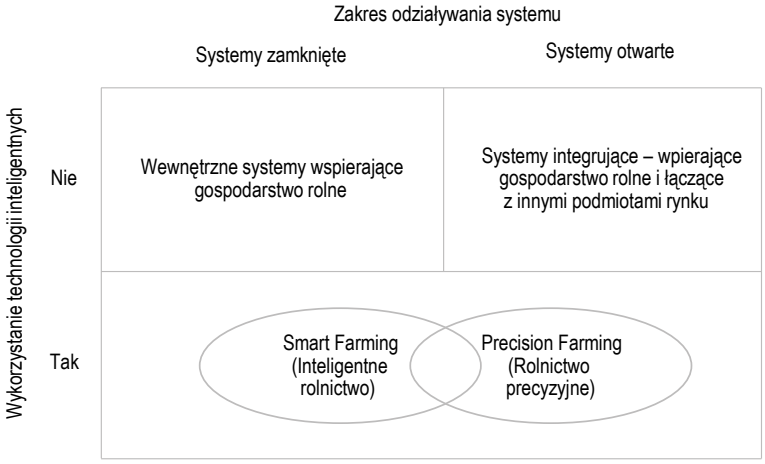
Rozwój nowoczesnych technologii i tak zwana Rewolucja 4.0[3] dostarczyły wielu (nieistniejących wcześniej) możliwości technicznych, które są podstawą do opracowania wielu elektronicznych systemów wspierających produkcję rolniczą i prowadzenie gospodarstw rolnych. Rewolucja 4.0 nabiera rozpędu i w coraz większym stopniu dotyczy rolnictwa i całego sektora żywnościowego, a najbliższe lata z pewnością przyniosą dalszy postęp w tym zakresie.

Obecnie na rynku dostępnych jest wiele rozwiązań, które mieszczą się w ramach szeroko pojętych systemów elektronicznych wspierających działalność rolniczą. Zostały one przedstawione na rysunku 2. Można je pogrupować wg dwóch kryteriów: wykorzystania tzw. inteligentnych technologii[4] oraz odziaływania systemu, gdzie można wymienić systemy otwarte i zamknięte.

Systemy konwencjonalne (takie, które nie są wyposażone w inteligentne technologie) mogą być przeznaczone tylko do obsługi wewnętrznej gospodarstwa rolnego lub umożliwiać połączenie z innymi podmiotami rynku, np. odbiorcami produktów rolnych. W ramach systemów wyposażonych w technologie inteligentne wyróżnia się tzw. rolnictwo inteligentne (smart farming) oraz rolnictwo precyzyjne (precision farming), a każde z tych rozwiązań może funkcjonować jako system otwarty lub zamknięty. Systemy te mają pewną część wspólną, tzn. dane gromadzone w systemach smart farming mogą być wykorzystywane jako informacja wsadowa w rolnictwie precyzyjnym.

[3] Rewolucja 4.0 (Przemysł 4.0) to nowy etap rewolucji przemysłowej, który koncentruje się na wzajemnych połączeniach, automatyzacji, uczeniu maszynowym i danych w czasie rzeczywistym. Przemysł 4.0, określany również czasem jako IIoT lub inteligentna produkcja, łączy fizyczną produkcję i działania z inteligentną technologią cyfrową, uczeniem maszynowym i Big Data, tworząc bardziej holistyczny i lepiej połączony ekosystem dla firm, które koncentrują się na produkcji i zarządzaniu łańcuchem dostaw. Chociaż każda firma i organizacja działająca w dzisiejszych czasach jest inna, wszystkie one stoją przed wspólnym wyzwaniem – potrzebą połączenia i dostępu do informacji w czasie rzeczywistym w zakresie procesów, partnerów, produktów i ludzi (Epicor, b.d.).

[4] Na przykład: sensory, sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe.



Rys. 2. Elektroniczne systemy wspomagające zarządzanie gospodarstwem rolnym – spektrum rozwiązań
Źródło: Gazdecki i in., 2024b.

Smart farming (inteligentne rolnictwo) wykorzystuje technologie informacyjne i komunikacyjne w maszynach, urządzeniach i sensorach stosowanych w systemach produkcji rolnej. Technologie takie jak Internet rzeczy – IoT (Internet of things i przetwarzanie w chmurze jeszcze bardziej przyspieszają ten rozwój, wprowadzając do rolnictwa roboty i sztuczną inteligencję. Pojęcie smart farming zwane jest również Farming 4.0 (Rolnictwem 4.0), digital farming (rolnictwem cyfrowym) lub smart agriculture (inteligentnym rolnictwem). Ta złożoność terminologii jest konsekwencją ciągłego rozwoju zarówno technologii, jak i gotowych rozwiązań, które dzięki niej powstają. Można jednak przyjąć, że terminy te są tożsame.

Na przykład rolnicy mogą korzystać ze smartfonów i tabletów, aby uzyskać dostęp w czasie rzeczywistym do danych o stanie niemal wszystkiego, co jest związane z ich codzienną działalnością: gleby, roślin, pogody, stanu i lokalizacji aktywów, żywego inwentarza i użycia zasobów. Inteligentne praktyki rolnicze (smart agricultural) pozwalają na generowanie dużej ilości danych. Rolnicy mogą wykorzystywać te informacje do podejmowania decyzji w celu poprawy wydajności i rentowności.

Precision farming oznacza natomiast wiele strategii i narzędzi, które pozwalają rolnikom zoptymalizować i podnieść jakość produkcji przez precyzyjne stosowanie środków produkcji. Jest to sposób produkcji żywności przez precyzyjny monitoring nakładów i procesu zarządzania produkcją i gospodarstwem

(Auernhammer, 2001; Day, 2005; Mourik i in., 2021). Raport Parlamentu Europejskiego na temat rolnictwa precyzyjnego definiuje je jako: „nowoczesną koncepcję zarządzania rolnictwem wykorzystującą techniki cyfrowe do monitorowania i optymalizacji procesów produkcji rolnej" (Ajena, 2021).

W przeciwieństwie do rolnictwa precyzyjnego, inteligentne rolnictwo nie koncentruje się na precyzyjnych pomiarach i wydatkowaniu środków produkcji. Skupia się raczej na dostępie do danych, ich analizie i zastosowaniu. Tak więc dane cyfrowe uzyskane za pomocą rozwiązań rolnictwa inteligentnego mogą być wykorzystywane jako informacje wsadowe w rolnictwie precyzyjnym.

Pojęciami, które rozwinęły się w związku z postępem technologicznym i dotyczą również systemów rolnictwa inteligentnego oraz precyzyjnego, są: Internet rzeczy, sztuczna inteligencja, blockchain i machine learning[5].

Internet rzeczy to dynamiczna sieć złożona z fizycznych obiektów wyposażonych w sensory i autonomiczne czujniki, połączona za pomocą platform i aplikacji zdolnych do gromadzenia danych oraz dzielenia się nimi między sobą oraz z otoczeniem. Innymi słowy, maszyny i urządzenia stają się częścią autonomicznych sieci komunikujących się i wchodzących ze sobą w rozmaite interakcje (PARP, b.d.). Internet Rzeczy (IoT) umożliwia zdalne sterowanie obiektami za pośrednictwem infrastruktury sieciowej dzięki bezpośredniej integracji świata fizycznego z systemami cyfrowymi. IoT w rolnictwie może być również wykorzystywany do automatyzacji technik rolniczych, optymalizacji wykorzystania zasobów i minimalizacji ryzyka. W rolnictwie za pomocą IoT można wykonać wiele czynności, takich jak: automatyczne nawadnianie, zarządzanie inwentarzem żywym, prognozowanie pogody, precyzyjna aplikacja (np. środków ochrony roślin, nawozów), monitorowanie stanu gleby, poziomu magazynowania, logistyki i dystrybucji oraz zdalne monitorowanie zasobów, poprawa jakości produktu, monitorowanie szklarni w czasie rzeczywistym czy monitoring zachwaszczenia, analiza predykcyjna (np. przewidywanie plonowania lub terminu zbioru).

Sztuczna inteligencja – AI (artificial intelligence) sprawia, że dzięki odpowiednim algorytmom maszyny mogą naśladować procesy decyzyjne podejmowane przez ludzi i wykonywać zadania, od najprostszych do bardziej złożonych. Blockchain, inaczej zwany łańcuchem bloków, jest współużytkowanym, niezmienianym rejestrem, który ułatwia dokumentowanie zdarzeń,

[5] Przetwarzanie w chmurze to udostępnianie wszelkich zasobów obliczeniowych, od aplikacji po centra przetwarzania danych na żądanie, za pośrednictwem Internetu, na zasadzie płatności za faktyczne wykorzystanie.

śledzenie zasobów i budowanie zaufania (Klerkx i in., 2019; Torky i Hassanein, 2020).

Machine learning (uczenie maszynowe) jest podzbiorem sztucznej inteligencji (AI) (Walter i in., 2017). Jego istotę stanowi doskonalenie procesów w wyniku „zdobywania doświadczenia", tzn. powtarzania pewnej procedury. Procesy uczenia się i doskonalenia nie są zaprogramowane. W uczeniu maszynowym algorytmy są trenowane pod kątem znajdowania wzorców i korelacji w dużych zbiorach danych oraz podejmowania najlepszych decyzji i formułowania prognoz na podstawie wyników takiej analizy. Systemy wykorzystujące uczenie maszynowe z czasem stają się coraz skuteczniejsze, a im lepszy mają dostęp do danych, tym większą wykazują dokładność (SAP, b.d.).

Smart farming ma potencjał, aby przekształcić systemy rolnicze w kierunku większego zrównoważenia. Światowe rolnictwo stoi w obliczu różnych wyzwań. Zaspokojenie popytu na żywność i inne surowce rolnicze w nadchodzących latach wymaga utrzymania produktywności bez dalszego zanieczyszczania gleby, wody i środowiska (Cole i in., 2018; Finger i in., 2019). Oczekuje się, że smart farming pomoże sprostać tym wyzwaniom, wykorzystując technologie informacyjno-komunikacyjne do gromadzenia i analizowania danych w celu wspierania procesów rolniczych (OECD, 2019b; Bacco i in., 2019). Cyfrowe technologie rolnicze obejmują szerokie spektrum rozwiązań, od aplikacji mobilnych do wspierania decyzji, przez sensory polowe i technologie teledetekcji do gromadzenia danych, aż po drony i roboty do automatyzacji produkcji (zob. OECD, 2019a; 2019b).

Celem smart farming jest możliwość obserwowania i rejestrowania danych oraz automatyzacja procesów w celu poprawy wydajności produkcji, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów i ochronie zasobów. Niektóre korzyści stosowania rozwiązań smart farming to (Gazdecki, 2022):

- **eliminowanie błędów ludzkich** – korzystanie z inteligentnych sensorów ogranicza pracę ręczną, a tym samym błędy ludzkie. Na przykład osoba mierząca temperaturę zwierząt może wykonać lub zarejestrować niedokładny odczyt, podczas gdy bolus temperaturowy wprowadzony do żołądka zwierzęcia wysyła dokładne dane o temperaturze bezpośrednio do urządzenia rejestrującego,
- **gromadzenie i analiza danych** – dane rejestrowane przez sensory rolnicze można wykorzystać do śledzenia stanu przedsiębiorstwa, bezpieczeństwa, wydajności pracowników, wydajności sprzętu i wielu innych,
- **większa kontrola nad procesami wewnętrznymi** – dzięki większej kontroli (nawet zdalnej) rolnicy mogą zmniejszyć ryzyko i lepiej planować.

Na przykład możliwość przewidywania wielkości plonu pozwala lepiej zaplanować sprzedaż produktów rolniczych oraz ich przechowywanie,

- **lepsza jakość produktów i wydajność produkcji** – automatyzacja pozwala rolnikom zwiększyć kontrolę nad procesem produkcji oraz utrzymać wyższe standardy jakości upraw oraz wyższe plony,
- **zarządzanie kosztami** – większa kontrola nad procesem produkcji pozwala na efektywniejsze zarządzanie kosztami. Na przykład wczesne ostrzeganie o wszelkich anomaliach we wzroście plonów lub zdrowiu zwierząt pozwala rolnikom wprowadzić działania zaradcze i zmniejszyć skalę strat,
- **poprawa efektywności procesów produkcji** – urządzenia mogą pomóc w zautomatyzowaniu niektórych procesów produkcji w gospodarstwie rolnym, np. nawadniania, nawożenia i zwalczania szkodników,
- **zmniejszanie zapotrzebowania na pracę żywą** – automatyzacja pracy ręcznej, zmniejszająca zależność od zasobów ludzkich,
- **wczesne wykrywanie chorób i zapobieganie im** – na przykład przez monitoring temperatury ciała zwierząt,
- **większe bezpieczeństwo** – sensory mogą wykrywać niepożądane działania w gospodarstwie, takie jak: otwieranie bram, przekraczanie przez zwierzęta miejsc objętych ogrodzeniem i inne. Technologie IoT mogą również pomóc w ochronie przechowywania plonów (ochrona magazynów), nawozów i paliwa, zabezpieczeniu granic gospodarstwa i budynków oraz ochronie pracowników.

Wdrażając rozwiązania smart farming, należy zwrócić szczególną uwagę na wiele kwestii związanych z techniką i organizacją gospodarstwa rolnego, które warunkują ich skuteczność. Należą do nich (Gazdecki, 2022):

- **sprzęt komputerowy** – wybór sprzętu zależy od rodzaju informacji, które rolnik chce zebrać, ogólnych celów inteligentnego rolnictwa, możliwości budżetowych oraz warunków, w jakich będzie użytkowany dany sprzęt,
- **oprogramowanie umożliwiające analizę zebranych danych** – możliwość analizy zebranych danych pozwala w pełni wykorzystać potencjał tkwiący w rozwiązaniach smart farming,
- **odporność i konserwacja sprzętu** – sensory używane w terenie muszą być odporne na niekorzystne warunki środowiska, w którym są używane. Sprzęt musi być trwały i łatwy w utrzymaniu,
- **mobilność** – sprzęt musi zapewnić dostęp do informacji w każdym miejscu i w dowolnym czasie,

- **łączność** – każde urządzenie powinno mieć wystarczający zasięg bezprzewodowy, aby komunikować się z innymi urządzeniami i wysyłać dane do centralnego serwera. Połączenie między obiektami IoT powinno być wystarczająco niezawodne, aby wytrzymać trudne warunki pogodowe i zapewnić nieprzerwane działanie,
- **infrastruktura** – aby narzędzia smart farming działały z właściwą wydajnością, konieczne jest stworzenie odpowiedniej infrastruktury informatycznej w gospodarstwie,
- **częstotliwość gromadzenia danych** – bezpieczne i terminowe dostarczanie dużego zakresu danych jest jednym z wyzwań stawianych rozwiązaniom smart farming. Dane z sensorów muszą być dostarczone na czas, aby osoby zarządzające gospodarstwem rolnym mogły podejmować na ich podstawie właściwe decyzje,
- **bezpieczeństwo danych** – technologia IoT w rolnictwie wiąże się z pracą z dużymi zbiorami danych. Oznacza to również więcej potencjalnych zagrożeń, takich jak kradzież danych i ataki hakerskie. Ważne jest, aby wszystkie urządzenia i aplikacje działające w ramach smart farming były szyfrowane i bezpieczne.

Rolnicy dzięki IoT mogą zdalnie monitorować swój sprzęt, uprawy i zwierzęta gospodarskie za pomocą smartfonów lub innych urządzeń podłączonych do Internetu.

W ramach szerokiego zakresu dostępnych zastosowań rolnictwa precyzyjnego można wyróżnić trzy główne (Gazdecki, 2022): rolnictwo precyzyjne – PA (precision agriculture), ogrodnictwo precyzyjne – PH (precision horticulture) i precyzyjny chów zwierząt gospodarskich – PLF (precision livestock farming).

- Rolnictwo precyzyjne dotyczy systemów upraw polowych. Jego celem jest zwiększenie efektywności wykorzystania środków produkcji (np. nawozów, środków ochrony roślin) przez stosowanie ich zgodnie z zapotrzebowaniem roślin w danym miejscu (Oliver i in., 2013a; 2013b). Osiąga się to przez precyzyjne dawkowanie środków produkcji (np. woda, nawozy, pestycydy) i odpowiednie działania (np. odchwaszczanie, zbiory). Jako przykład można podać kontrolowane nawadnianie kropelkowe (Prathyusha i Suman, 2012), zautomatyzowany wysiew nasion, precyzyjne stosowanie pestycydów oraz zrobotyzowane zwalczanie chwastów (Slaughter i in., 2008).
- Ogrodnictwo precyzyjne dotyczy systemów produkcji polowej (np. uprawy sadownicze, uprawa warzyw) i pod osłonami (np. uprawy szklarniowe, farmy wertykalne). Polega ono głównie na precyzyjnej kontroli wybranych

nakładów (np. oświetlenie, woda, nawozy). Działania (np. przycinanie, zbiory) są wykonywane w zależności od stanu poszczególnych roślin lub owoców (np. ilość liści, dojrzałość) i opierają się na wykorzystaniu robotów rolniczych (Hemming i in., 2014). Przykładem może być autonomiczny robot odchwaszczający, który identyfikuje chwasty za pomocą kamer i specjalnego oprogramowania. Maszyna ta może laserowo usunąć ponad 100 000 chwatów w ciągu godziny (Carbon Robotics, b.d.).

- Precyzyjny chów zwierząt gospodarskich dotyczy systemów produkcji zwierząt (np. bydła, drobiu, ryb (Føre i in., 2017), głównie optymalizacji wykorzystania zasobów i dobrostanu zwierząt (Berckmans, 2017). Wybrane środki produkcji (np. pasza, antybiotyki, zabiegi weterynaryjne) są stosowane zgodnie z potrzebami poszczególnych zwierząt. Przykłady technologii PLF obejmują zrobotyzowany udój, monitorowanie zdrowia zwierząt gospodarskich (Berckmans, 2014), zautomatyzowane monitorowanie i kontrolę wzrostu zwierząt (Aerts i in., 2003), żywienie (Halachmi i in., 1998), klimatyzację pomieszczeń oraz szacowanie masy zwierząt za pomocą kamer (Song i in., 2018).

1.5. Korzyści i wyzwania związane z wdrażaniem rolnictwa precyzyjnego i inteligentnego

Działalność innowacyjna w sektorze rolnictwa i agrobiznesu w Polsce rozwija się pomimo licznych wyzwań, a zainteresowanie nowoczesnymi technologiami wśród rolników pozostaje wysokie. Badania Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie i firmy Microsoft (Mroczkowski i Bazylia, 2021) wskazują, że polscy rolnicy szczególnie cenią technologie zwiększające efektywność nawożenia (72%), nowoczesne narzędzia do mechanicznego zwalczania chwastów (54%), systemy wspierające uprawę gleby (48%), technologie automatycznego naprowadzania maszyn (54%) oraz rozwiązania telemetryczne (48%).

Z analizy danych zawartych na stronie internetowej magazynu AgroProfil (Tomaszewski, 2025) wynika, że 34,3% polskich rolników zna pojęcie rolnictwa precyzyjnego, a co trzeci z nich już stosuje te technologie. Wśród rolników korzystających z technologii Rolnictwa 4.0 aż 90% uznaje ich wdrożenie za opłacalne. Główne bariery dla niestosujących tych technologii obejmują brak rentowności w ich gospodarstwach oraz trudności we wdrożeniu. Mimo to 75% rolników deklarujących brak wiedzy na temat technologii Rolnictwa 4.0 wyraża

chęć jej zdobycia. Adaptacja tych technologii jest najczęstsza w gospodarstwach o powierzchni powyżej 20 ha (38,4%), podczas gdy w gospodarstwach o wielkości 2–20 ha wynosi 7,6%, a poniżej 2 ha jedynie 3,6%.

Dane Systemu Wiedzy i Innowacji Rolniczych – AKIS (Agricultural Knowledge and Innovation System) wskazują, że 100 największych firm z sektora rolno-spożywczego odpowiada za 95% wszystkich innowacji w rolnictwie, generując w 2018 r. przychody na poziomie około 25 mld euro. Większość z tych firm dysponuje własnymi laboratoriami lub centrami badawczo-rozwojowymi, a jedynie 30% współpracuje z instytucjami naukowymi (Mroczkowski i Bazylia, 2021).

Wdrożenia innowacyjnych technologii koncentrują się w dużych gospodarstwach i firmach rolno-spożywczych. Szacuje się, że jedynie 300–400 tys. gospodarstw (z około 1,2 mln oficjalnie zarejestrowanych w Polsce) utrzymuje się wyłącznie z rolnictwa i ma odpowiednie możliwości inwestycyjne. Najwięcej innowacji wdrażanych jest w gospodarstwach powyżej 30 ha, głównie w centralnej i zachodniej Polsce. Mali i średni rolnicy, posiadający niewielkie areały, mają ograniczone możliwości inwestycyjne, co stanowi istotną barierę rozwoju technologii Rolnictwa 4.0. Brak zasobów finansowych nie pozwala małym gospodarstwom samodzielnie inwestować w innowacyjne rozwiązania Rolnictwa 4.0, które nie dają szybkiego zwrotu z inwestycji, a poniesione przez nich ryzyko nie przynosi efektów w krótkim terminie od wdrożenia, co stanowi poważną barierę stosowania nowych technologii (Wołowiec i in., 2021).

System wdrażania innowacji rolniczych obejmuje administrację publiczną, szkoły rolnicze, instytucje naukowe, doradztwo rolnicze, producentów środków produkcji oraz rolników jako ostatecznych odbiorców. Kluczową rolę w transferze wiedzy pełni system AKIS, który obejmuje sieć publicznych doradców rolniczych (16 Ośrodków Doradztwa Rolniczego i Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie) oraz prywatnych doradców. System ten wspiera platforma eDWIN, oferująca usługi doradcze online. Ponadto sieć KSOW oraz Sieć na rzecz innowacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich (SIR) wspiera wymianę wiedzy i tworzenie Grup Operacyjnych EIP-AGRI, promujących wdrażanie innowacji.

Cechą polskiego systemu transferu wiedzy i innowacji są pokrywające się kompetencje instytucji, co utrudnia rolnikom identyfikację odpowiednich źródeł informacji. Uproszczenie tego systemu mogłoby przyspieszyć wdrażanie technologii 4.0 w rolnictwie. Istotnym wyzwaniem pozostaje również wysoki koszt nowoczesnych technologii oraz oczekiwanie szybkich efektów finansowych, co utrudnia ich popularyzację. W kontekście konkurencji na rynku technologii rolniczych przewaga globalnych marek stanowi barierę dla wprowadzania polskich rozwiązań (Kordowska i in., 2023).

Start-upy mogłyby odegrać kluczową rolę w implementowaniu innowacji, jednak w Polsce branża AgriTech jest słabo rozwinięta. W programie Bridge Alfa (1.3 POIR[6]) w 2020 r. tylko 6,3% inwestycji venture capital trafiło do start-upów rolniczych. Zmiany w tym obszarze wymagają lepszego wsparcia dla start-upów oraz większego zaangażowania nauki w rozwój technologii rolniczych. Jak wskazuje Christensen (2010), duże firmy są zazwyczaj niechętne wprowadzaniu przełomowych innowacji. Wiąże się to dla nich z dużym ryzykiem, które w skrajnych przypadkach może doprowadzić do upadku przedsiębiorstwa. Według Christensena (2010) wynika to m.in. z faktu, że specyfiką branży rolniczej jest zależność od wielomiesięcznych procesów produkcyjnych i różnych czynników zewnętrznych, stąd proces wdrażania nowych rozwiązań i ich ulepszania jest trudny i wymaga testowania w ciągu kilku okresów wegetacyjnych (Kordowska i in., 2023).

Dalszy rozwój Rolnictwa 4.0 będzie wymagać nie tylko dostępu do kapitału i infrastruktury, ale także regulacji prawnych dotyczących zarządzania danymi cyfrowymi. Upowszechnienie systemów zarządzania produkcją rolniczą, rozwój biotechnologii oraz automatyzacja będą kluczowymi kierunkami zmian, które pozwolą rolnikom efektywniej zarządzać swoimi gospodarstwami oraz dostosować się do zmieniających się regulacji i warunków rynkowych (Kordowska i in., 2023).

Wdrażanie innowacyjnych technologii 4.0 w rolnictwie przynosi korzyści różnym podmiotom zaangażowanym w proces wprowadzania innowacji. Korzyści te można podzielić na: strategiczne, operacyjne, ekonomiczne, rynkowe, środowiskowe oraz społeczne, co opisano w tabeli 2. Wdrażanie innowacyjnych technologii Rolnictwa 4.0 przynosi korzyści różnym podmiotom zaangażowanym w proces tworzenia i wdrażania innowacji, w tym rolnikom i gospodarstwom rolnym, przedsiębiorstwom agrotechnologicznym i dostawcom technologii, podmiotom przetwórstwa i dystrybucji żywności, instytucjom doradczym i badawczym, a także konsumentom oraz administracji publicznej. Należy jednak podkreślić, że korzyści te mają często charakter wielowymiarowy i przenikający się, dlatego w tabeli 2 zostały one uporządkowane według rodzaju (strategiczne, operacyjne, ekonomiczne, rynkowe, środowiskowe i społeczne), a nie według grup interesariuszy.

[6] Program BRIdge Alfa jest realizowany w ramach podziałania 1.3.1 Wsparcie programów badawczo-rozwojowych w fazie preseed przez fundusze typu proof of concept Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020 (NCBR, b.d.).

Tabela 2. Korzyści związane z wdrażaniem technologii Rolnictwa 4.0

Rodzaj korzyści	Opis	Przykład zastosowania w rolnictwie
Strategiczne	Większy udział w rynku, zdolność do realizacji strategii, zdolność wchodzenia na nowe rynki, lepsza wiedza o gospodarstwie, doradztwo	Wczesne wykrywanie problemów – technologie precyzyjnego rolnictwa pomagają wykrywać wczesne problemy, takie jak choroby i szkodniki; szybsza interwencja to mniejsze straty i koszty
Operacyjne	Wyższy stopień indywidualizacji produktów lub większa precyzja, uproszczenie procesów, większa wartość dodana, niższe koszty bezpośrednie, oszczędność czasu dzięki automatyzacji	Zwiększenie plonów – precyzyjne zarządzanie nawożeniem i irygacją zwiększa plony, co przekłada się na wyższe dochody gospodarstw. Minimalizacja przestojów – systemy takie jak JDLink™ umożliwiają zdalne monitorowanie maszyn i szybką diagnostykę problemów, ryzyko przestojów jest mniejsze, a efektywność pracy większa
Ekonomiczne	Optymalizacja zasobów, mniejsze zużycie środków produkcji, niższy próg kompetencji wejścia do rolnictwa dzięki bazom wiedzy i doradztwu	Oszczędność zasobów – dzięki zmiennemu dawkowaniu nawozów i pestycydów możliwe jest zmniejszenie ich zużycia, co obniża nie tylko koszty, ale również chroni środowisko. Optymalizacja produkcji – cyfryzacja może pomóc rolnikom w podejmowaniu lepszych decyzji, optymalizacji działalności i zwiększeniu wydajności, prowadząc do wyższych zysków i bardziej zrównoważonego sektora rolnego. Technologie rolnictwa precyzyjnego zmniejszają nakłady i koszty produkcji oraz ślad środowiskowy działalności rolniczej przez optymalizację wykorzystania zasobów i zmniejszenie ilości odpadów
Rynkowe	Wyższa marża dzięki redukcji kosztów, większe zadowolenie klientów, zróżnicowana oferta, silniejsze związki z klientami, większa elastyczność	Wzrost konkurencyjności – cyfryzacja pomaga europejskiemu sektorowi rolnemu utrzymać konkurencyjność w skali globalnej przez dostarczanie innowacyjnych rozwiązań i tworzenie nowych możliwości biznesowych dla wszystkich podmiotów w łańcuchu wartości.
Środowiskowe	Podejście zgodne ze zrównoważonym rozwojem (np. zmniejszenie zużycia paliwa i środków chemicznych, zapobieganie zanieczyszczeniu zasobów wodnych, mniejsze obciążenia środowiskowe generowane przez łańcuchy żywnościowe i produkcję rolną, mniejszy ślad węglowy), większa bioróżnorodność obszarów wiejskich	Dokładna analiza gleby – nowoczesne technologie umożliwiają dokładne mapowanie gleby, poprawia to zrozumienie jej potrzeb i umożliwia optymalizację zasobów i upraw. Lepszy dobrostan zwierząt – zastosowania cyfrowe mogą poprawić dobrostan zwierząt, np. poprzez śledzenie warunków zdrowotnych
Społeczne	Wyższa jakość produktów, dostęp do szczegółowych informacji o spożywanym produkcie, poprawa warunków pracy dzięki wsparciu cyfrowych i innowacyjnych narzędzi, szybsze tempo absorbcji intuicyjnych cyfrowych rozwiązań	Lepsze warunki pracy – automatyzacja i optymalizacja dzięki technologiom cyfrowym, w tym robotyce, zmniejszają fizyczne i psychiczne obciążenie rolników pracą, prowadząc do poprawy warunków pracy. Większa przejrzystość – technologie cyfrowe poprawiają identyfikowalność i produktów rolnych w łańcuchu wartości, umożliwiając konsumentom dokonywanie bardziej świadomych wyborów

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kordowska i in., 2023.

Wdrożenie technologii 4.0 w polskim rolnictwie stwarza realne możliwości zwiększenia jego konkurencyjności i efektywności, co tworzy wiele korzyści o charakterze strategicznym. Kluczowym aspektem jest zwiększenie wydajności produkcji. Eksperci Banku Światowego podkreślają, że powinna jej towarzyszyć poprawa jakości żywności oraz przechodzenie na produkty, które generują wyższe korzyści społeczne. Takie podejście może stanowić szansę dla krajów o dużym rozdrobnieniu gospodarstw, umożliwiając im znalezienie rynkowej niszy i skoncentrowanie się na produkcji premium.

Nowe technologie, w tym rozwiązania Rolnictwa 4.0, pozwalają głównie na redukcję kosztów produkcji. Szczególną rolę odgrywają tutaj innowacje kontynuacyjne, czyli wdrażanie technologii sprawdzonych na innych rynkach (Popczyk, 2014). W połączeniu z technologiami Rolnictwa 4.0 oraz założeniami strategii Europejskiego Zielonego Ładu elementy te otwierają szerokie perspektywy wzrostu konkurencyjności europejskiego i polskiego rolnictwa na arenie międzynarodowej.

Ponadto wdrażanie technologii 4.0 przyczynia się do niwelowania różnic dochodowych między sektorem rolniczym a pozostałymi gałęziami gospodarki, co może pozytywnie wpłynąć na ograniczenie wykluczenia społeczno-ekonomicznego ludności wiejskiej (Sadownictwo, 2023).

Jednym z kluczowych wyzwań w procesie skutecznego transferu wiedzy w zakresie Rolnictwa 4.0 do gospodarstw rolnych są nakładające się kompetencje instytucji odpowiedzialnych za popularyzację informacji i wdrażanie innowacji w Polsce. Sieci AKIS, KSOW, grupy operacyjne na rzecz innowacji EPI[7] oraz SIR[8] zajmują się pokrewnymi obszarami, a mimo przypisanych im ról dla przeciętnego użytkownika ich funkcje pozostają niejasne. Dodatkowo zadania tych instytucji są częściowo realizowane przez Ośrodki Doradztwa Rolniczego, co pogłębia dezorientację rolników w zakresie wyboru właściwych źródeł pozyskiwania wiedzy o innowacjach. Częstym problemem jest także brak kompetencji wśród doradców rolnych i innych instytucji otoczenia rolnictwa, co utrudnia

[7] European Innovation Partnerships łączą odpowiednie podmioty na szczeblu unijnym, krajowym i regionalnym w celu usprawnienia, uproszczenia i zapewnienia lepszej koordynacji istniejących instrumentów i inicjatyw finansowych. Koncentrują się one na wyzwaniach, które mogą przynieść korzyści społeczeństwu, unowocześnić sektory i rynki (EC, b.d.).

[8] Sieć na rzecz innowacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich (SIR) funkcjonuje w ramach Krajowej Sieci Rozwoju Obszarów Wiejskich i ma charakter otwarty. Struktura SIR oparta jest na publicznym doradztwie rolniczym. Funkcjonowanie SIR zapewniają publiczne jednostki doradztwa rolniczego (SIR, 2020).

wsparcie rolników w procesie wdrażania innowacji. W związku z tym konieczne jest uproszczenie systemu transferu wiedzy i jednoznaczne przypisanie poszczególnym podmiotom określonych zadań.

Istotną barierą rynkową w Polsce są także wysokie koszty nowoczesnych technologii oraz sposób ich postrzegania przez użytkowników końcowych. Rolnicy oczekują szybkich korzyści finansowych po wdrożeniu technologii, podczas gdy efekty mogą być odczuwalne dopiero w dłuższej perspektywie. To ogranicza ich zainteresowanie innowacjami, pomimo potencjalnych korzyści wynikających ze zmniejszenia zużycia paliwa, środków produkcji i pracy ludzkiej. Dodatkowo producenci krajowych technologii napotykają trudności w popularyzacji swoich produktów, co wynika z dominacji dużych międzynarodowych marek na rynku. W związku z tym należy położyć większy nacisk na praktyczne aspekty wdrażania innowacji. Choć badania podstawowe stanowią ważny element transferu wiedzy, działania pilotażowe powinny odgrywać kluczową rolę w procesie promocyjno-transferowym. Konieczne jest zacieśnienie współpracy i zwiększenie wymiany wiedzy między szkołami średnimi, uczelniami oraz instytucjami otoczenia rolnictwa. Poprawy wymaga także system sprawozdawczości instytucji wspierających innowacje, zwłaszcza w ramach Systemu Wiedzy i Innowacji Rolniczych. W tym celu należy opracować mierniki pozwalające ocenić poziom wykorzystania technologii cyfrowych w transferze wiedzy oraz ich skuteczność w praktyce rolniczej. Kluczowe znaczenie mają również systematyczne monitorowanie i ewaluacja tych procesów.

Podnoszenie kompetencji wszystkich interesariuszy sektora rolnego oraz usprawnienie systemu transferu wiedzy rolniczej to fundamentalne aspekty postępu technologicznego. Aby rolnicy mogli zaufać technologiom cyfrowym, niezbędne jest wcześniejsze zaznajomienie się z ich potencjałem przez doradców, naukowców i urzędników. Transfer wiedzy powinien być realizowany zarówno przez szkolenia prowadzone przez praktyków i naukowców, jak i działania pilotażowe w formie Living Lab[9].

Wolne tempo adaptacji innowacyjnych rozwiązań przez rolników wskazuje na potrzebę większego zaangażowania ich w proces tworzenia innowacji.

[9] Living Lab (żywe laboratorium) to otwarty ekosystem innowacji działający w rzeczywistych warunkach, skupiający się na współtworzeniu i testowaniu nowych rozwiązań z udziałem obywateli, firm, akademii i administracji. Jest to proces badawczy i innowacyjny, w którym użytkownicy stają się centralnym elementem procesu, pomagając w tworzeniu, prototypowaniu i wdrażaniu innowacji społecznych, technologicznych lub biznesowych w ich codziennym środowisku (UJ, b.d.).

Badania ilościowe przeprowadzone przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi wykazały, że 35% respondentów wyraziło chęć uczestnictwa w pokazach maszyn rolniczych oraz demonstracjach na polach doświadczalnych. Ponadto 25% badanych zadeklarowało zainteresowanie udziałem w projektach pilotażowych realizowanych w ich gospodarstwach, a 18% wyraziło chęć uczestnictwa w wizytach studyjnych (MRiRW, 2022).

W przyszłości gospodarstwa towarowe mogą być zobligowane do stosowania cyfrowych systemów zarządzania gospodarstwem (Farm Management Systems, Farm Management Information Systems), obejmujących planowanie produkcji, ewidencję zabiegów, zarządzanie danymi oraz systemy wspomagania decyzji, a zmniejszająca się podaż siły roboczej – zwłaszcza pracowników sezonowych – przyspieszy proces automatyzacji przez wykorzystanie robotów i autonomicznych maszyn. To rodzi wyzwania związane z własnością i zarządzaniem danymi cyfrowymi, infrastrukturą oraz kompetencjami rolników i instytucji otoczenia rolnictwa. W Polsce nadal istnieją znaczne niedobory w tych obszarach, dlatego konieczne jest wprowadzenie klarownych regulacji dotyczących własności danych, dostępu do nich oraz możliwości ich komercjalizacji. Takie rozwiązania zwiększyłyby zaufanie producentów do nowych technologii i zapewniłyby stabilne ramy prawne ich funkcjonowania.

Niezbędne jest również rozwijanie infrastruktury umożliwiającej zbieranie, gromadzenie i przetwarzanie danych. W Polsce inwestowanie w nowoczesne technologie cyfrowe napotyka bariery, takie jak niewystarczające pokrycie kraju szerokopasmowym Internetem, niekompletne i rozproszone bazy danych publicznych, brak odpowiednich systemów do ich obsługi oraz niewystarczająca liczba czujników. Te ograniczenia sprawiają, że tzw. próg wejścia w rolnictwo cyfrowe jest wysoki, co negatywnie wpływa na efektywność sektora rolnego. Warto jednak podkreślić, że na rynku dostępne są rozwiązania umożliwiające przezwyciężenie istniejących barier i dostosowanie technologii do krajowych uwarunkowań, co mogłoby znacząco skrócić czas implementacji Rolnictwa 4.0.

Wdrażanie innowacji w rolnictwie wymaga także zaangażowania liderów zmian, którzy jako pierwsi użytkownicy nowych technologii będą promować ich wdrażanie i napędzać proces transformacji. W obliczu niskiej reprezentacji innowatorów w sektorze rolnym ich rola staje się kluczowa dla tworzenia efektu „kuli śnieżnej" i przyspieszania adaptacji nowoczesnych rozwiązań w rolnictwie. Pomimo płynących z tego korzyści nadal istnieją zatem określone wyzwania (tab. 3).

Tabela 3. Wyzwania związane z wdrażaniem Rolnictwa 4.0

Wyzwania	Opis
Wysokie koszty początkowe	Początkowy koszt zakupu i instalacji technologii precyzyjnego rolnictwa, takich jak systemy GPS, sensory, drony czy oprogramowanie, może być znaczny, co stanowi barierę dla wielu małych gospodarstw
Wymagana wiedza i umiejętności	Rolnictwo precyzyjne wymaga od rolników zaawansowanej wiedzy z zakresu technologii, danych i analizy informacji. Wymaga to inwestycji w szkolenia i podnoszenie kwalifikacji
Integracja z istniejącymi systemami	Wdrożenie nowych technologii może być trudne w przypadku starszych maszyn i infrastruktury. Integracja nowoczesnych systemów z istniejącymi urządzeniami może wymagać znacznych nakładów inwestycyjnych
Brak świadomości i umiejętności	Wielu rolników może nie być świadomych potencjalnych korzyści płynących z cyfryzacji i może nie posiadać umiejętności i zasobów niezbędnych do korzystania z nowych technologii
„Przepaść" cyfrowa	Wiele obszarów wiejskich nadal nie ma niezawodnego i przystępnego cenowo dostępu do Internetu, co utrudnia przyjęcie technologii cyfrowych i jest jednym z kluczowych czynników powodujących „przepaść cyfrową" między rolnikami
Brak efektywności kosztowej	Koszt wdrożenia niektórych technologii cyfrowych może być wyższy niż potencjalne korzyści, zwłaszcza dla drobnych producentów rolnych
Ochrona danych	Obawy dotyczące prywatności danych i własności wśród rolników mogą utrudniać wymianę danych między różnymi podmiotami w sektorze rolnym
Niedociągnięcia w zakresie interoperacyjności	Brak interoperacyjności między różnymi systemami, ponieważ wiele aplikacji cyfrowych lub maszyn różnych marek może nie być kompatybilnych, co utrudnia udostępnianie danych oraz ich integrację

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kordowska i in., 2023.

Aby cyfryzacja była inkluzywna i dostępna dla wszystkich, decydenci polityczni, liderzy branży i dostawcy technologii muszą współpracować w celu przejrzystego promowania korzyści płynących z cyfryzacji i wspierania rolników przez szkolenia, zasoby i zachęty do przyjmowania nowych technologii. W ten sposób europejski sektor rolny może zmaksymalizować korzyści płynące z ery cyfrowej, poprawiając zrównoważony rozwój i rentowność, a jednocześnie zajmując się pilnymi kwestiami, takimi jak bezpieczeństwo żywnościowe i zmiana klimatu.

2. SYSTEMY ROLNICTWA PRECYZYJNEGO W PRODUKCJI ROLNICZEJ

2.1. Rodzaje i charakterystyka rozwiązań technicznych rolnictwa precyzyjnego

Rolnictwo precyzyjne to podejście, które wykorzystuje nowoczesne technologie do monitorowania, zarządzania i optymalizacji procesów rolniczych w celu zwiększenia wydajności, efektywności oraz minimalizowania negatywnego wpływu na środowisko. Istnieje wiele rodzajów rozwiązań technicznych rolnictwa precyzyjnego (tab. 4). W formie tabelarycznej przedstawiono charakterystykę technologii, ich praktyczne zastosowanie oraz uzyskiwane efekty, przy czym w kolumnie Korzyści celowo skupiono się wyłącznie na rezultatach wdrożeń, aby uniknąć powielania opisów funkcjonalnych.

Tabela 4. Rodzaje rozwiązań technicznych rolnictwa precyzyjnego

Rodzaj rozwiązania	Charakterystyka	Zastosowanie	Korzyści
1	2	3	4
Systemy GPS i teledetekcja	Używanie technologii GPS oraz zdjęć satelitarnych i dronowych do monitorowania gleb i upraw. Dzięki tym systemom rolnicy mogą określić, które obszary wymagają nawożenia, nawadniania czy ochrony przed szkodnikami	Mapowanie pól, monitorowanie stanu upraw, określanie optymalnych stref do uprawy różnych roślin	· ograniczenie zużycia nawozów i środków ochrony roślin, · obniżenie kosztów produkcji, · poprawa trafności decyzji agrotechnicznych
Systemy zarządzania danymi – FMS (Farm Management Systems)	Oprogramowanie umożliwiające zbieranie danych, analizowanie i zarządzanie nimi. Dotyczy to danych na temat ponoszonych nakładów, np. dotyczących plonów, zużycia wody, nawozów, pogody itp.	Integracja różnych danych z urządzeń GPS, czujników i innych technologii w celu usprawnienia procesów decyzyjnych w gospodarstwach rolnych	· lepsza kontrola kosztów i nakładów, · wzrost efektywności wykorzystania zasobów, · wsparcie planowania i prognozowania produkcji

Tabela 4 – cd.

1	2	3	4
Czujniki i systemy monitorowania gleby	Czujniki zainstalowane w glebie, umożliwiające pomiar wilgotności, temperatury, pH oraz innych parametrów, które wpływają na zdrowie roślin	Monitorowanie warunków glebowych w czasie rzeczywistym, co pozwala na lepsze dostosowanie nawadniania oraz nawożenia do potrzeb roślin	· zmniejszenie strat wynikających z niedoboru lub nadmiaru wody, · redukcja zużycia nawozów, · stabilizacja warunków wzrostu roślin
Automatyzacja maszyn rolniczych (np. ciągniki rolnicze, kombajny)	Ciągniki rolnicze, kombajny i inne maszyny samojezdne wyposażone w systemy automatycznego prowadzenia, które pozwalają na precyzyjne wykonywanie prac polowych, takich jak siew, nawożenie czy zbiór plonów	Automatyczne sterowanie maszynami rolniczymi z minimalną interwencją człowieka, zwiększające precyzję i redukujące błąd ludzki	· redukcja kosztów paliwa i pracy, · wzrost wydajności pracy maszyn, · ograniczenie błędów ludzkich
Drony	Drony wyposażone w kamery multispektralne i termalne, które pozwalają na monitorowanie stanu roślin, wykrywanie chorób, szkodników, a także ocenę efektywności nawożenia i nawadniania	Inspekcje pola, tworzenie map kondycji roślin, wykrywanie problemów na wczesnym etapie	· szybsza identyfikacja zagrożeń, · ograniczenie strat plonów, · bardziej efektywne wykorzystanie środków produkcji
Precyzyjne systemy nawadniania	Systemy umożliwiające nawadnianie precyzyjne, np. nawadnianie kropelkowe sterowane przez czujniki wilgotności gleby i dane pogodowe	Optymalizacja procesów nawadniania w zależności od rzeczywistych potrzeb roślin i warunków pogodowych	· oszczędność zasobów wodnych, · obniżenie kosztów nawadniania, · zwiększenie odporności upraw na stres wodny
Precyzyjne nawożenie	Technologie pozwalające na precyzyjne dawkowanie nawozów, np. systemy fertygacji, które wykorzystują czujniki do monitorowania potrzeb roślin	Optymalizacja dawkowania nawozów w zależności od warunków glebowych, etapu wzrostu roślin oraz warunków pogodowych	· poprawa efektywności wykorzystania nawozów, · zmniejszenie presji środowiskowej, · stabilniejsze i wyższe plony
Systemy monitorowania zdrowia roślin (np. analiza obrazu z wykorzystaniem AI)	Wykorzystanie sztucznej inteligencji i technologii rozpoznawania obrazów do analizy zdjęć roślin w celu wykrywania chorób, niedoborów składników odżywczych czy obecności szkodników	Automatyczne rozpoznawanie problemów z roślinami na podstawie zdjęć i analizy danych z czujników	· wcześniejsza reakcja na zagrożenia, · ograniczenie strat produkcyjnych, · zmniejszenie zużycia środków ochrony roślin
Internet Rzeczy (IoT) w rolnictwie	Integracja urządzeń i czujników za pomocą sieci IoT, które gromadzą dane o stanie pól, maszyn i narzędzi w czasie rzeczywistym	Monitorowanie, analiza i optymalizacja procesów rolniczych przy użyciu połączonych urządzeń, co pozwala na zdalne zarządzanie gospodarstwem	· szybsze podejmowanie decyzji, · wzrost elastyczności zarządzania gospodarstwem, · obniżenie kosztów operacyjnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kordowska i in., 2023.

Dane odgrywają bardzo ważną rolę w rolnictwie precyzyjnym, umożliwiając rolnikom dokładne monitorowanie i optymalizację ich działalności rolniczej. Wprowadzenie danych do procesu decyzyjnego pozwala na bardziej świadome i efektywne zarządzanie gospodarstwem. Najważniejsze rodzaje danych, które są zbierane i wykorzystywane w rolnictwie precyzyjnym, zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Rodzaje danych wykorzystywanych w rolnictwie precyzyjnym

Rodzaj danych	Opis
Dane meteorologiczne	Dane pogodowe, takie jak temperatura, opady, wilgotność powietrza i prędkość wiatru, są niezbędne do planowania optymalnych terminów siewu, aplikacji środków ochrony roślin i innych zabiegów
Dane z sensorów glebowych	Sensory mierzą różne parametry gleby, w tym wilgotność, pH, temperaturę oraz zawartość składników odżywczych. Umożliwiają one dostosowanie technik nawadniania i nawożenia do aktualnych potrzeb gleby, co zwiększa efektywność tych działań
Obrazy z dronów i satelitów	Zdjęcia i wideo dostarczają informacji o stanie upraw, umożliwiają wykrywanie problemów takich jak choroby roślin, niedobory wody lub nawozów, a także ocenę wpływu warunków atmosferycznych na roślinność
Dane z maszyn rolniczych	Nowoczesne maszyny rolnicze są często wyposażone w sensory, które zbierają dane o wydajności pracy, zużyciu paliwa, a także o ilości i rozkładzie plonów. Te informacje pomagają w analizie efektywności poszczególnych części działki oraz w optymalizacji użycia maszyn
Mapy plonów	Tworzone na podstawie danych zbieranych podczas zbiorów, mapy plonów wskazują na różnice w wydajności poszczególnych obszarów pola. Są one wykorzystywane do planowania przyszłych działań takich jak zmiany w obróbce gleby, siewie czy nawożeniu
Informacje o zdrowiu i dobrostanie zwierząt	Dane dotyczące zdrowia, wzrostu, konsumpcji paszy i zachowania zwierząt umożliwiają optymalizację warunków hodowli i interwencji zdrowotnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kordowska i in., 2023.

Rolnictwo precyzyjne rozwija się bardzo dynamicznie, dlatego wiedza na ten temat może się szybko dezaktualizować. Każde z przedsiębiorstw zajmujących się sprzedażą komponentów oraz usług z zakresu rolnictwa precyzyjnego tworzy własne rozwiązania i marki. W dalszej części pracy scharakteryzowano wybrane rozwiązania oraz usługi rolnictwa precyzyjnego, które są oferowane na rynku polskim. Przedstawiono wybrane kategorie rozwiązań technologicznych charakterystycznych dla rolnictwa precyzyjnego, które obejmujące kolejno: systemy pozycjonowania i automatycznego prowadzenia maszyn, systemy zarządzania

danymi i wsparcia decyzji, technologie monitorowania warunków środowiskowych oraz rozwiązania oparte na analizie obrazu i wizji komputerowej. Dobór konkretnych producentów i produktów ma charakter ilustracyjny i wynika z dostępności danych oraz materiałów źródłowych, natomiast sam wybór kategorii technologicznych odzwierciedla kluczowe obszary funkcjonalne rolnictwa precyzyjnego. Oferta rynkowa jest znacznie bogatsza, a w najbliższych latach z pewnością będzie się rozwijać ze względu na atrakcyjność rynku polskiego, pojawianie się nowych przedsiębiorstw oraz programy wspierające wdrażanie rolnictwa precyzyjnego.

Trimble to amerykański producent rozwiązań dla rolnictwa precyzyjnego, który oferuje między innymi: systemy kontroli sekcji i zmiennego dawkowania, systemy aktywnego prowadzenia maszyn o wysokiej dokładności (rys. 3).

Podstawą systemu nawigacji satelitarnej jest terminal, za pomocą którego obsługuje się daną maszynę. Oferowane przez producenta terminale wykorzystują system operacyjny Android, który współpracuje z systemem ISOBUS. Dodatkowo posiadają moduł Bluetooth oraz Wi-Fi, które pozwalają na łatwą komunikację oraz zdalne wsparcie operatora.



Rys. 3. Wyświetlacz Trimble GFX 750
Źródło: https://www.kuhncenter.pl/produkt/gfx-750/ (dostęp: 10.03.2025).

Kolejnym komponentem systemu jest odbiornik (rys. 4). Producent oferuje odbiorniki zapewniające różny poziom dokładności, który sięgać może 2,5 cm.



Rys. 4. Odbiornik Trimble NAV 900
Źródło: https://www.kuhncenter.pl/produkt/nav-900/ (dostęp: 10.03.2025).

Oferowane są również systemy wspierające prowadzenie maszyn. Jest to flagowe rozwiązanie rolnictwa precyzyjnego. Wiele osób właśnie od automatycznego prowadzenia zaczyna wprowadzanie rolnictwa precyzyjnego w swoim gospodarstwie. Systemy te opierają się na wykorzystaniu kierownicy elektronicznej fabrycznego, zintegrowanego hydraulicznego układu prowadzenia (rys. 5). Asystent prowadzenia odciąża operatora, który swoją uwagę może skupić na obserwacji pracy maszyny zagregowanej z ciągnikiem. Zapewnia również dokładność oraz powtarzalność przejazdów, dzięki czemu ścieżki technologiczne nie nakładają się na siebie.



Rys. 5. Kierownica Trimble SAM 200
Źródło: https://www.kuhncenter.pl/produkt/ez-pilot-pro/ (dostęp: 10.03.2025).

Inną marką, która tworzy rozwiązania dla rolnictwa precyzyjnego, jest METOS by Pessl instruments. Oferuje on rozwiązania wspomagające podejmowanie decyzji w produkcji roślinnej. Znaczącą pozycję w ofercie tego producenta zajmują stacje pogodowe (rys. 6). Monitorują one wiele parametrów, takich jak: opady atmosferyczne, promieniowanie słoneczne, ciśnienie, temperatura powietrza i gleby, wilgotność względna, hygroclip[10] oraz prędkość i kierunek wiatru.

[10] Pomiar wilgotności względnej i temperatury powietrza.

Dzięki łączności mobilnej użytkownik stacji ma bieżący podgląd wszystkich tych parametrów oraz dostęp do prognozy pogody wyznaczonej dla danego obszaru, dostępnej na platformie FieldClimate. Stacja pogodowa oferuje również dostęp do modeli chorobowych, za pomocą których można planować zabiegi ochrony roślin.



Rys. 6. Stacja pogodowa METOS NBIoT
Źródło: https://metos.at/pl/micrometos-nbiot/ (dostęp: 10.03.2025).

Innym oferowanym rozwiązaniem jest system kamer CropVIEW (rys. 7). Są to kamery o wysokiej rozdzielczości, wyposażone w oprogramowanie do wizji komputerowej, które przy użyciu zdjęć jest w stanie rozpoznawać obiekty.



Rys. 7. System kamer METOS CropVIEW
Źródło: https://www.kuhncenter.pl/produkt/cropview/ (dostęp: 10.03.2025).

Omówione wyżej rozwiązania stanowią przykłady kluczowych kategorii technologii stosowanych w rolnictwie precyzyjnym, jednak nie wyczerpują w pełni tego zagadnienia. Rynek tych rozwiązań rozwija się bardzo dynamicznie, a większość producentów maszyn i systemów rolniczych oferuje własne, często autorskie rozwiązania, które mimo różnic technologicznych opierają się na podobnych zasadach działania, takich jak wykorzystanie danych satelitarnych, systemów informatycznych oraz zaawansowanej analizy danych. Należy też oczekiwać, że oferta rynkowa rozwiązań rolnictwa precyzyjnego będzie się stopniowo rozwijać i będą się pojawiać nowi dostawcy tego rodzaju rozwiązań.

2.2. Zarządzanie kosztami produkcji rolniczej z wykorzystaniem narzędzi rolnictwa precyzyjnego

Zarządzanie kosztami produkcji rolniczej przy użyciu narzędzi rolnictwa precyzyjnego prowadzi do zmniejszenia kosztów operacyjnych, co pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie zasobów. Precyzyjne metody (np. zmienne dawkowanie nawozów czy sterowane nawadnianie) umożliwiają aplikowanie środków produkcji w miejscu i w czasie, gdy są one potrzebne, co zapewnia bardziej efektywne ich wykorzystywanie. W efekcie produkcja może stać się wydajniejsza, a gospodarstwo osiąga wyższą rentowność przy jednoczesnym zmniejszeniu negatywnego wpływu na środowisko.

Narzędzia rolnictwa precyzyjnego, takie jak **precyzyjne nawożenie, nawadnianie, monitorowanie stanu upraw**, **zarządzanie maszynami** czy **analityka danych**, pomagają rolnikowi podejmować bardziej świadome decyzje i eliminować zbędne wydatki. Poniżej wymieniono kluczowe praktyki rolnictwa precyzyjnego wspomagające redukcję kosztów:

- **precyzyjne nawożenie (zmienne dawki nawozów)** – wykorzystanie map glebowych i systemów GPS pozwala aplikować nawozy tylko w niezbędnych miejscach i optymalnych dawkach. Unikając nadmiernego nawożenia, gospodarstwo zmniejsza zużycie drogich nawozów, tym samym obniżając koszty produkcji;
- **precyzyjne nawadnianie** – systemy irygacji sterowane czujnikami wilgotności gleby oraz danymi pogodowymi dostarczają roślinom dokładnie tyle wody, ile potrzeba. Dzięki temu unika się marnowania wody i energii (pobranej do pompowania), co obniża koszty nawadniania i chroni uprawy przed stresem wodnym;

- **monitorowanie zdrowia roślin** – drony, satelity i czujniki polowe umożliwiają bieżące śledzenie kondycji upraw. Wczesne wykrywanie objawów niedoborów, chorób czy szkodników pozwala zastosować środki ochrony roślin tylko tam i wtedy, gdy jest to konieczne. To ogranicza zużycie pestycydów oraz zapobiega stratom plonu, jednocześnie redukując wydatki na chemiczną ochronę;
- **zarządzanie maszynami rolniczymi** – technologie GPS eliminują nakładanie się przejazdów na polu, zmniejszając zużycie paliwa i skracając czas pracy maszyn. Przykładowo prowadzenie ciągnika z sygnałem RTK[11] pozwala ograniczyć zużycie paliwa nawet o 13% dzięki redukcji nakładania się pasów roboczych w trakcie przejazdów. Monitorowanie telematyczne maszyn umożliwia także lepsze planowanie tras, unikanie przestojów i optymalizację konserwacji, co w sumie obniża koszty utrzymania parku maszynowego;
- **analityka danych i planowanie** – nowoczesne oprogramowanie do zarządzania gospodarstwem (Farm Management Systems) gromadzi dane o zabiegach, zużytych środkach, plonach, pogodzie itp. Analiza tych informacji (tzw. podejście **data-driven**) pozwala planować produkcję na podstawie faktów, np. precyzyjnie wyliczyć opłacalność nawożenia danej uprawy czy optymalny termin siewu. Lepsze planowanie i budżetowanie ogranicza wydatki na zbędne działania i zwiększa efektywność ekonomiczną całej produkcji.

Wszystkie powyższe rozwiązania sprawiają, że rolnik może zmniejszyć koszty operacyjne gospodarstwa przy jednoczesnym utrzymaniu lub zwiększeniu plonów. Dzięki precyzyjnemu dozowaniu nakładów produkcyjnych, ograniczeniu strat oraz lepszemu wykorzystaniu maszyn i pracy jednostkowy koszt produkcji maleje, a to przekłada się na poprawę wyników finansowych gospodarstwa. Rolnictwo precyzyjne często wiąże się też z praktykami przyjaznymi środowisku (ograniczenie nadmiaru nawozów i pestycydów), co może przynieść dodatkowe korzyści, takie jak niższe opłaty środowiskowe lub lepszy dostęp do programów rolno-środowiskowych.

Prowadzenie produkcji rolnej zawsze wiąże się z kosztami. W rolnictwie jednym z najbardziej istotnych czynników mających wpływ na wynik końcowy są warunki atmosferyczne. Zdaniem Sadowskiego (2020), w przypadku wysokich cen środków produkcji dochody gospodarstw, które nie stosują rozwiązań

[11] Real-Time Kinematic – to precyzyjny system pozycjonowania GPS, który umożliwia prowadzenie ciągnika z dokładnością około 2–3 cm. RTK wykorzystuje sygnał GNSS, stację bazową lub sieć stacji referencyjnych oraz korekty przesyłane w czasie rzeczywistym do ciągnika (Perez-Ruiz i in., 2012).

rolnictwa precyzyjnego, będą niższe niż tych, które wykorzystują takie rozwiązania. Ponadto przy zastosowaniu rozwiązań rolnictwa precyzyjnego możliwa jest szybsza reakcja na zachodzące zmiany pogody oraz podejmowanie decyzji na podstawie wiarygodnych analiz (Chmielewska i Mądra, 2008).

Należy pamiętać, że produkcja rolna zawsze wiąże się z ryzykiem i zmiennością warunków, zwłaszcza pogodowych. Warunki atmosferyczne są jednym z najbardziej istotnych czynników wpływających na wyniki produkcji i koszty. Rolnictwo precyzyjne pomaga gospodarstwom lepiej radzić sobie z tymi wyzwaniami przez stały monitoring pogody i szybkie reagowanie na jej zmiany. Lokalne stacje meteorologiczne i czujniki rozmieszczone na polach dostarczają aktualnych danych o opadach, temperaturze czy wilgotności, a systemy analityczne natychmiast sygnalizują potencjalne zagrożenia (np. przymrozki, suszę). Dzięki temu rolnik może wprowadzić korekty w planie upraw – na przykład opóźnić zastosowanie środków ochrony roślin przed zapowiadanym deszczem albo zwiększyć dawkę nawadniania w obliczu nadchodzącej fali upałów – co pozwoli na ograniczenie niekorzystnego wpływu czynników atmosferycznych. Takie proaktywne podejście minimalizuje ryzyko i zapobiega niepotrzebnym wydatkom na naprawę szkód. Chmielewska i Mądra (2008) podkreślają, że podejmowanie decyzji na podstawie wiarygodnych analiz danych (np. prognoz i historycznych trendów pogodowych) pozwala gospodarstwu szybciej reagować na kaprysy pogody, a tym samym lepiej kontrolować koszty w zmiennych warunkach.

Wśród kosztów działalności gospodarstw rolnych wyróżnia się koszty bezpośrednie, ogólnogospodarcze (pośrednie) oraz pozostałe (Bórawski, 2011). Koszty bezpośrednie to wydatki, które można jednoznacznie przypisać do konkretnego procesu produkcji, takie jak koszty materiału siewnego, nawozów czy pasz. Koszty ogólnogospodarcze są wspólne dla całego gospodarstwa i nie odnoszą się do pojedynczego działania produkcyjnego – zalicza się do nich m.in. koszty paliwa, energii elektrycznej, wody czy ubezpieczeń. Koszty pozostałe obejmują wydatki, których nie można zakwalifikować do dwóch wcześniejszych grup, lecz są związane z funkcjonowaniem gospodarstwa rolnego; to np. koszty transportu, opłat bankowych, marketingu, szkoleń czy działań z zakresu ochrony środowiska.

Podstawą racjonalnego zarządzania gospodarstwem rolnym jest skrupulatna ewidencja wszystkich kategorii kosztów. Dokładne rejestrowanie kosztów produkcji – z podziałem na uprawy, pola czy poszczególne zabiegi agrotechniczne – umożliwia późniejszą analizę efektywności działań oraz identyfikację obszarów wymagających korekty. Dysponując rzetelnymi danymi kosztowymi, osoba zarządzająca gospodarstwem może podejmować decyzje oparte na faktach, a nie na intuicji, co sprzyja lepszemu wykorzystaniu zasobów i poprawie wyników ekonomicznych.

Istotnym wyzwaniem w zarządzaniu kosztami są również wahania cen środków produkcji, takich jak nawozy, paliwa czy pasze, które bezpośrednio wpływają na poziom kosztów ponoszonych przez gospodarstwo. W okresach gwałtownych wzrostów cen tych nakładów przewagę konkurencyjną uzyskują gospodarstwa rolne stosujące rozwiązania rolnictwa precyzyjnego. Technologie precyzyjnego dozowania umożliwiają ograniczenie zużycia kosztownych środków produkcji przy zachowaniu wysokiej efektywności wytwarzania. Jak wskazuje Sadowski (2020), w warunkach wysokich cen środków produkcji dochody jednostkowe gospodarstw niewdrażających rozwiązań rolnictwa precyzyjnego są niższe niż w gospodarstwach korzystających z takich technologii. Oznacza to, że precyzyjne zarządzanie nawożeniem, ochroną roślin czy zużyciem paliwa pełni funkcję bufora chroniącego dochodowość rolnika w trudnym otoczeniu rynkowym.

Wdrożenie narzędzi rolnictwa precyzyjnego ułatwia kontrolę i optymalizację wszystkich kategorii kosztów, przy czym najbardziej zauważalny efekt dotyczy kosztów bezpośrednich. Dzięki precyzyjnemu nawożeniu, siewowi czy ochronie roślin można zmniejszyć zużycie nasion, nawozów i środków ochrony roślin bez obniżania poziomu plonów. W wielu przypadkach ograniczeniu ulegają również koszty ogólnogospodarcze, m.in. dzięki redukcji zużycia paliwa wynikającej z automatyzacji prowadzenia maszyn (mniejsza liczba przejazdów, krótszy czas pracy) oraz bardziej racjonalnemu gospodarowaniu wodą i energią. Pośrednie korzyści mogą pojawić się także w odniesieniu do kosztów pozostałych, np. spełnianie norm środowiskowych zmniejsza ryzyko dodatkowych opłat lub sankcji.

Znaczącym wsparciem w zarządzaniu kosztami jest również wykorzystanie cyfrowych narzędzi rolnictwa precyzyjnego, które automatyzują proces ewidencji danych. Systemy te zapisują informacje dotyczące zużycia nawozów, paliwa, czasu pracy maszyn czy wielkości plonów uzyskiwanych na poszczególnych polach. Dzięki temu kontrola kosztów jest mniej czasochłonna, a analiza ekonomiczna bardziej precyzyjna. Ciągłe monitorowanie kosztów i rezultatów produkcyjnych umożliwia ocenę skuteczności wdrożonych rozwiązań oraz bieżące korygowanie strategii gospodarowania.

Podsumowując, zarządzanie kosztami produkcji rolnej z wykorzystaniem narzędzi rolnictwa precyzyjnego prowadzi do wymiernych korzyści ekonomicznych. Precyzyjne gospodarowanie środkami produkcji i danymi sprzyja obniżeniu kosztów operacyjnych, efektywniejszemu wykorzystaniu zasobów oraz wzrostowi wydajności. W efekcie poprawia się rentowność gospodarstwa rolnego, które staje się bardziej konkurencyjne i lepiej przygotowane na wyzwania związane z rosnącymi cenami środków produkcji oraz zmiennymi warunkami rynkowymi i klimatycznymi.

3. UWARUNKOWANIA MARKETINGOWE ROZWOJU NOWYCH TECHNOLOGII W ROLNICTWIE

3.1. Marketing na rynkach rolnych

Marketing to proces zorientowany na zaspokajanie potrzeb nabywców poprzez tworzenie, komunikowanie i dostarczanie wartościowych ofert dla klientów. Kluczowym elementem marketingu jest stawianie potrzeb konsumenta na pierwszym miejscu (Kotler i Hermawan, 2023). W literaturze spotyka się wiele definicji marketingu. Można go rozumieć zarówno praktycznie (jako działalność gospodarczą obejmującą m.in. sprzedaż, promocję, badanie rynku), jako naukę o marketingu, a także kolokwialnie, gdzie często utożsamiany jest (błędnie) wyłącznie z działaniami promocyjnymi. We współczesnych gospodarkach marketing traktowany jest jako integralna część prowadzenia działalności gospodarczej. W przypadku gospodarstw rolnych służy on budowaniu przewagi rynkowej i osiąganiu celów gospodarczych (Gazdecki, 2020). Można niekiedy spotkać się z poglądem, że marketing w rolnictwie jest zbyteczny lub niemożliwy do zastosowania, jednak praktyka pokazuje, że wiele gospodarstw z powodzeniem prowadzi działania marketingowe, co sprzyja ich rozwojowi i zapewnia stabilną pozycję rynkową. Marketing porządkuje działania w firmie (gospodarstwie) i pozwala w sposób profesjonalny oceniać szanse i zagrożenia, które niesie rynek, przy jednoczesnej analizie własnych mocnych i słabych stron (Gazdecki, 2020).

Koncepcja marketingu ewoluowała wraz z rozwojem gospodarki i zmianami na rynkach Można przedstawić ją na przykład jako następujące po sobie orientacje działania przedsiębiorstw (Mruk i in., 2012):

- orientacja produkcyjna – koncentracja na efektywności produkcji i obniżaniu kosztów; niedobory na rynkach w tamtym okresie powodowały, że

przedsiębiorcy kładli nacisk na wytwarzanie, ponieważ produkty łatwo znajdowały nabywców,
- orientacja sprzedażowa – założenie, że popyt można wykreować agresywną sprzedażą i promocją; potrzeby konsumentów schodziły tu na dalszy plan; ten etap rozwoju marketingu był reakcją na pojawiającą się barierę popytową wynikającą z wysycania się rynków;
- orientacja marketingowa – uznaje się ją za fundament współczesnego marketingu; przedsiębiorstwa koncentrują się na potrzebach klientów i dostarczeniu oferty zaspokajającej te potrzeby lepiej niż konkurenci, co ma zapewnić długoterminowy zysk i rozwój;
- orientacja strategiczna – związana z dużą zmiennością warunków, w których działają przedsiębiorstwa; w tym podejściu długofalowy rozwój przedsiębiorstwa wymaga znajomości uwarunkowań zewnętrznych i umiejętności ich wykorzystania przez przedsiębiorstwo; Implementacja tej orientacji oznacza włączenie marketingu do planowania strategicznego w przedsiębiorstwie;
- orientacja społeczna – pojawienie się tej orientacji wynikało z uznania, że w decyzjach marketingowych należy uwzględniać nie tylko potrzeby pojedynczych konsumentów, lecz także dobro społeczeństwa.

Nieco inny sposób ujęcia ewolucji marketingu zaproponowali Kotler i in. (2016) oraz Kotler i Hermawan (2023), podkreślając znaczenie rozwoju technicznego jako siły wprowadzającej marketing na kolejny etap rozwoju. Wyróżnili oni:

- Marketing 1.0 – zorientowany na produkt i produkcję;
- Marketing 2.0 – stawiający na pierwszym miejscu potrzeby konsumentów, przez co odpowiada współczesnym założeniom marketingu;
- Marketing 3.0 – zorientowany na ludzi, co oznaczało, że dbałości o potrzeby konsumentów rozszerzono o zagadnienia związane ze społeczną odpowiedzialnością, tworzeniem wartości i rolą emocji w podejmowaniu decyzji; przedsiębiorstwa dbają nie tylko o klientów, lecz również o otoczenie społeczne i środowisko;
- Marketing 4.0 – etap marketingu cyfrowego bazującego na wykorzystaniu Internetu i technologii mobilnych; w dobie Gospodarki 4.0 marketing wchodzi w nowy etap, gdzie kluczową rolę odgrywają technologie cyfrowe i cyfrowy łańcuch wartości;
- Marketing 5.0 – w tym okresie do procesu digitalizacji marketingu zostaje włączona sztuczna inteligencja, która pozwala na naśladowanie zachowań ludzkich zachodzących w trakcie obserwowanych procesów

marketingowych; stosowanie jej może się przełożyć na przewagi kosztowe oraz na dostarczenie wyższej wartości dla klientów;
- Marketing 6.0 – określany jako marketing immersyjny; dzięki technologiom cyfrowym i zastosowaniu sztucznej inteligencji przenikają się tu doświadczenia klientów, które generowane są przez świat cyfrowy i rzeczywisty.

Opisane procesy ewolucji pokazują, że marketing to dynamiczna dziedzina, która nieustannie zmienia się i dostosowuje do nowych uwarunkowań rynkowych oraz technologicznych. Obecnie przedsiębiorstwa – w tym gospodarstwa rolne – muszą nie tylko zaspokajać potrzeby nabywców, ale też uwzględniać w swoich strategiach marketingowych aspekty społeczne, środowiskowe i technologiczne (Cellary, 2019).

Marketing rolniczy dotyczy działań marketingowych związanych z produktami rolnymi (surowcami i płodami rolnymi) oraz środkami do produkcji rolnej, natomiast marketing produktów żywnościowych obejmuje całość działań – od wytworzenia żywności aż po jej dostarczenie konsumentom (Cellary, 2019). Rynek produktów rolnych koncentruje się na pierwszych ogniwach łańcucha żywnościowego: producentach rolnych (gospodarstwach), firmach skupowych i przedsiębiorstwach przetwórstwa pierwotnego. Z kolei rynek produktów żywnościowych obejmuje pełen łańcuch wartości „od pola do stołu" – od produkcji surowców, przez przetwórstwo i wytwarzanie produktów finalnych, po dystrybucję i sprzedaż żywności konsumentom (Cellary, 2019).

W praktyce granica między marketingiem rolniczym a marketingiem żywnościowym bywa płynna. Marketing rolniczy można rozpatrywać w ujęciu podmiotowym – kto go prowadzi (np. rolnik sprzedający zboże pośrednikowi vs. przetwórca skupujący surowce) – oraz przedmiotowym – czego dotyczy (np. promocja środków do produkcji rolnej vs. promocja żywności ekologicznej). Marketing żywnościowy operuje na wyższych poziomach łańcucha dostaw, bliżej konsumenta, często obejmując branding produktu spożywczego, opakowanie, marketing w miejscu sprzedaży itp. Wielu rolników funkcjonuje głównie na rynku surowców (sprzedając swoje produkty podmiotom skupującym), ale coraz więcej z nich próbuje także działać bliżej konsumenta finalnego, np. przetwarzając swoje produkty i sprzedając je jako żywność bezpośrednio odbiorcom. Wymaga to innego podejścia marketingowego niż sprzedaż surowców.

Rynek produktów rolnych i spożywczych ma wiele cech szczególnych, które wpływają na prowadzenie działań marketingowych w tym sektorze. Do najważniejszych należą m.in. (Gazdecki, 2015, 2020):

- rozdrobnienie i zróżnicowanie podmiotów działających na tym rynku: na rynku rolno-spożywczym współistnieje wiele podmiotów o różnej skali – od drobnych gospodarstw rodzinnych działających lokalnie po duże korporacje o zasięgu globalnym (Khoury i in., 2014; Roberts i Schlenker, 2009); przekłada się to na zróżnicowaną siłę rynkową uczestników rynku i wymaga mechanizmów kooperacji (np. grupy producenckie, spółdzielnie) lub regulacji, aby podmioty o nierównych pozycjach mogły współdziałać;
- zazwyczaj mniejsza w stosunku do innych podmiotów siła przetargowa rolników – większość producentów rolnych ma ograniczony wpływ na ceny zarówno kupowanych środków produkcji, jak i sprzedawanych płodów rolnych (Ruhlman, 2017); rolnicy jako dostawcy surowców często są tzw. biorcami cen (price-takers) – ceny dyktują rynek lub silniejsi partnerzy (np. przedsiębiorstwa handlowe, przetwórcy, przedsiębiorstwa handlu detalicznego), co utrudnia rolnikowi kształtowanie polityki cenowej i wymusza poszukiwanie sposobów na wzmocnienie pozycji (np. przez zrzeszanie się lub oferowanie unikatowego produktu);
- ograniczony dostęp do informacji rynkowych – wielu rolników (zwłaszcza mniejszych) ma utrudniony dostęp do aktualnych danych o rynku, np. o trendach cenowych na rynkach światowych, zmianach popytu czy preferencjach konsumentów (Khoury i in., 2014); utrudnia to szybkie reagowanie na zmiany;
- charakter masowy i surowcowy produkcji rolnej – produkty rolne mają często postać niezróżnicowanych masowych surowców (zboże, mleko, żywiec itp.), co oznacza niewielkie możliwości wyróżnienia się samym produktem na poziomie gospodarstwa. Innowacje produktowe w rolnictwie są rzadkie, rolnicy w nielicznych przypadkach mają możliwość tworzenia zupełnie nowych produktów; innowacje dotyczą częściej procesu produkcji lub sposobu sprzedaży (Ruhlman, 2017), a w efekcie konkurencja dotyczy głównie ceny i kosztów produkcji;
- długie cykle produkcyjne i zależność od czynników przyrodniczych – rolnictwo cechuje sezonowość i w większości przypadków długi cykl produkcji (np. uprawy wymagają miesięcy od siewu do zbioru); produkcja opiera się na procesach biologicznych, a jej przebieg jest silnie uzależniony od warunków pogodowych i innych czynników środowiskowych; powoduje to małą elastyczność podaży – rolnik nie może szybko zwiększyć produkcji, a niekorzystne warunki (susza, powódź, choroby) mogą spowodować niepewność w zakresie prowadzenia działalności rolniczej, co utrudnia planowanie marketingowe i wymaga uwzględnienia ryzyka (Gazdecki, 2015);

- fizyczna wrażliwość na transport i przechowywanie – większość produktów żywnościowych jest nietrwała – świeże owoce, warzywa, mleko czy mięso szybko się psują; konieczne jest zapewnienie odpowiednich warunków przechowywania i transportu (np. łańcuch chłodniczy), co zwiększa koszty i komplikuje dystrybucję (Khoury i in., 2014; Roberts i Schlenker, 2009); wrażliwość produktów rolnych na transport oznacza, że przy ich zazwyczaj niskiej wartości jednostkowej i dużej masie koszty przewozu odgrywają znaczącą rolę (Khoury i in., 2014; Roberts i Schlenker, 2009), a jest to szczególnie istotne przy sprzedaży na większe odległości;
- powszechność i rozproszenie popytu na żywność – każdy jest konsumentem żywności, co oznacza, że popyt ma charakter masowy i jest geograficznie rozproszony; aby dotrzeć do szerokiego grona odbiorców, produkty spożywcze muszą być dystrybuowane przez rozbudowaną infrastrukturę handlową (sklepy, hurtownie, targowiska, sprzedaż online);
- częsta i drobna konsumpcja – zakupy żywności dokonywane są często (wiele transakcji w ciągu tygodnia) i w niewielkich ilościach, w przeciwieństwie np. do zakupu dóbr trwałych (Khoury i in., 2014; Roberts i Schlenker, 2009); dla marketingu oznacza to konieczność zapewnienia wygodnej pod względem miejsca i czasu dostępności produktów; pojedyncze zakupy żywności przez gospodarstwa domowe mają zwykle małą wartość, jednak wydatki na żywność stanowią znaczącą część budżetu domowego (w Polsce wydatki na żywność to ok. 25% wydatków konsumenckich (GUS, 2025);
- zróżnicowane preferencje konsumentów żywności – współcześni konsumenci żywności są coraz bardziej wymagający i świadomi; popyt na żywność jest zróżnicowany ze względu na upodobania smakowe, dietetyczne, rosnącą dbałość o zdrowie i środowisko; obserwuje się m.in. wzrost popytu na produkty ekologiczne, lokalne, tradycyjne, „bio", żywność funkcjonalną itp.; Ddla marketingu oznacza to możliwość znajdowania rynkowych nisz i segmentacji rynku – np. gospodarstwo może ukierunkować ofertę na konsumentów poszukujących żywności bezpośrednio od rolnika, wysokiej jakości czy unikatowej (Nestorowicz i Pilarczyk, 2010).

Powyższe cechy sprawiają, że marketing w rolnictwie wymaga dostosowania strategii do specyfiki sektora. Rolnicy muszą radzić sobie z ograniczeniami (mała skala, psucie się produktów, brak wpływu na ceny masowych surowców) i wykorzystywać szanse (powszechne zapotrzebowanie na żywność, nowe trendy konsumenckie, sprzyjające np. produktom lokalnym).

Każde gospodarstwo rolne prowadzi w pewnym stopniu działalność marketingową, choć jej zakres i forma mogą się różnić. Nie istnieje jeden uniwersalny model marketingu dla rolników – każde gospodarstwo powinno z dostępnych narzędzi skomponować własny model działań marketingowych, najlepiej dostosowany do swojej specyfiki, rodzaju produktu i charakterystyki odbiorców (Gazdecki, 2020). Inaczej będzie wyglądał marketing małego gospodarstwa sprzedającego sery na lokalnym rynku, a inaczej dużej farmy produkującej zboża.

Kluczowym czynnikiem decydującym o wyborze modelu marketingu jest określenie, komu sprzedajemy – innymi słowy, czy gospodarstwo nastawia się na sprzedaż do innych firm (model B2B) czy bezpośrednio konsumentom (model B2C). W praktyce gospodarstwa rolne mogą łączyć oba podejścia (np. część produkcji sprzedawać do przedsiębiorstw przetwórczych, a część bezpośrednio na targowiskach). Jednak świadome przyjęcie określonej orientacji marketingowej pozwala lepiej dobrać narzędzia i strategie.

Jeśli gospodarstwo sprzedaje swoje produkty innym przedsiębiorstwom (np. zakładom przetwórczym, hurtownikom), to działa w układzie B2B (business-to-business) i będzie stosować metody odpowiednie dla rynku profesjonalnego. Z kolei gdy rolnik sprzedaje bezpośrednio konsumentom (np. w sklepie firmowym, przez Internet, dostarczając produkty do handlu detalicznego), przyjmuje podejście B2C (business-to-consumer). W obu przypadkach zestaw dostępnych narzędzi marketingowych jest podobny, ale ich dobór i sposób użycia będą różne w zależności od odbiorcy. Przykład: sprzedaż ziemniaków jadalnych do hurtowni wymaga negocjacji ceny hurtowej i spełnienia wymogów jakościowych oraz stworzenia relacji biznesowych z odbiorcą; natomiast sprzedaż tych samych ziemniaków bezpośrednio konsumentom wymaga estetycznej prezentacji, dostarczenia informacji o ich walorach kulinarnych, obsługi klienta itp.

Segmentacja odbiorców – na biznesowych i konsumentów – jest zatem pierwszym krokiem w budowaniu modelu marketingu gospodarstwa. W dalszej kolejności rolnik powinien określić swoje cele (np. zwiększenie lokalnej sprzedaży detalicznej vs. długoterminowa współpraca z przetwórcą), przeanalizować swoje zasoby i ograniczenia, a następnie dobrać odpowiednie działania marketingowe. Brak jednej prostej recepty – każda decyzja powinna być poparta analizą sytuacji gospodarstwa oraz odpowiedzią na pytanie: kto jest moim klientem i co chcę osiągnąć?

W działalności marketingowej wyróżnia się dwa komplementarne wymiary (poziomy): marketing strategiczny i marketing operacyjny (AMA, 2020). Marketing strategiczny polega na analizie bieżącej sytuacji oraz opracowaniu długofalowej wizji rozwoju i celów rynkowych. Na poziomie strategicznym

podejmowane są kluczowe decyzje o kierunkach rozwoju, wyborze rynku docelowego, pozycjonowaniu produktu, przewagach konkurencyjnych do rozwijania itp. Efektem marketingu strategicznego jest strategia – ogólny plan działania określający, co gospodarstwo chce osiągnąć i jak zamierza konkurować (AMA, 2020). Przykładowe decyzje strategiczne w gospodarstwie to np. specjalizacja w produkcji ekologicznej albo przeciwnie – maksymalizacja skali produkcji i sprzedaż na rynku surowców, gdzie przewagę konkurencyjną osiąga się głównie dzięki niższym kosztom. Marketing operacyjny to realizacja założeń strategii na poziomie bieżących działań marketingowych. Obejmuje on zestaw instrumentów i czynności określanych jako marketing mix, które firma wykorzystuje, by zrealizować swoje cele na wybranym rynku (Waśkowski, 2022). Najczęściej wskazuje się tu cztery podstawowe obszary: produkt, cenę, dystrybucję i promocję. Marketing operacyjny odpowiada na pytania: jakimi działaniami dotrzemy do klienta? jakie produkty mu zaoferujemy, w jakiej cenie, gdzie będą dostępne i jak je wypromujemy? Ten poziom marketingu ma charakter krótkookresowy i elastyczny – plany operacyjne zazwyczaj obejmują okres roczny lub sezon, a działania są na bieżąco dostosowywane do reakcji rynku. Skuteczny marketing operacyjny powinien wynikać ze strategii (by działania były spójne z długofalowymi celami), a jednocześnie obejmować mierzalne plany (np. plan sprzedaży, harmonogram promocji) (Waśkowski, 2022). Praktyka wskazuje, że dobrze jest spisywać plany marketingowe i konsultować je z innymi (np. z doradcami lub innymi rolnikami), by zwiększyć ich realizm i skuteczność.

Warto podkreślić, że marketing w rolnictwie nie odnosi się wyłącznie do sprzedaży produktów rolnych i żywności, lecz obejmuje również rynek środków produkcji dla rolnictwa, takich jak nawozy, środki ochrony roślin, maszyny, urządzenia i – coraz częściej – rozwiązania cyfrowe oraz technologie rolnictwa precyzyjnego. Rynek ten funkcjonuje głównie w relacji B2B, a jego uczestnikami są producenci i dystrybutorzy technologii oraz gospodarstwa rolne jako nabywcy profesjonalni. W tym obszarze marketing odgrywa istotną rolę w kształtowaniu oferty produktowej, komunikowaniu wartości innowacyjnych rozwiązań, budowaniu relacji z klientami oraz wspieraniu procesu adopcji nowych technologii. Z tego względu marketing stanowi ważne narzędzie analizy i opisu mechanizmów funkcjonowania rynku nowoczesnych rozwiązań dla rolnictwa, co uzasadnia jego uwzględnienie w dalszej części pracy.

Podsumowując, marketing strategiczny wyznacza, *co* i *dlaczego* chcemy osiągnąć, a marketing operacyjny – *jak* to realizujemy na co dzień. Oba poziomy są konieczne: strategia bez wdrożenia pozostaje jedynie deklaracją, a działania bez strategii mogą być chaotyczne i nieskuteczne.

3.2. Narzędzia i kanały komunikacji oraz dystrybucji na rynku środków produkcji dla rolnictwa

Polityka komunikacji i promocji odgrywa ważną rolę w kształtowaniu popytu na środki produkcji dla rolnictwa oraz w budowaniu przewagi konkurencyjnej ich dostawców. Promocja obejmuje zintegrowany zestaw działań komunikacyjnych, których celem jest przekazywanie informacji o produktach i przedsiębiorstwie, kształtowanie postaw nabywców oraz zachęcanie ich do zakupu. W literaturze marketingowej podkreśla się również, że komunikacja marketingowa pełni określone funkcje – obok tradycyjnych funkcji (informacyjnej, perswazyjnej i przypominającej) coraz większego znaczenia nabierają tzw. funkcje nowoczesne, w szczególności funkcja edukacyjna (Taranko, 2018). Ma ona szczególne znaczenie na rynku środków produkcji dla rolnictwa, gdzie decyzje zakupowe wymagają specjalistycznej wiedzy oraz umiejętności właściwego stosowania oferowanych rozwiązań.

W literaturze marketingowej wyróżnia się kilka podstawowych instrumentów promocji, które w odniesieniu do rynku środków produkcji dla rolnictwa można scharakteryzować następująco:

- reklama – płatna, nieosobowa i masowa forma komunikacji, realizowana za pośrednictwem mediów tradycyjnych i cyfrowych; w sektorze rolno-spożywczym obejmuje ona m.in. ogłoszenia w prasie branżowej, reklamy internetowe, spoty radiowe czy banery reklamowe kierowane do rolników; jej głównym celem jest informowanie o ofercie oraz budowanie świadomości i rozpoznawalności marki;
- promocja sprzedaży – działania krótkookresowe, mające na celu bezpośrednie pobudzenie zakupu przez zastosowanie dodatkowych bodźców ekonomicznych lub rzeczowych; na rynku środków produkcji dla rolnictwa są to m.in. rabaty ilościowe i sezonowe, gratisy przy zakupie, darmowe próbki, programy lojalnościowe dla stałych klientów czy konkursy; do tej kategorii zalicza się również katalogi produktowe oraz ekspozycje w punktach sprzedaży, które wspierają decyzje zakupowe i oddziałują bezpośrednio na nabywców w miejscu zakupu;
- sprzedaż osobista – obejmuje działania prowadzone przez sprzedawców i przedstawicieli handlowych, w tym doradców agronomicznych zatrudnianych przez firmy dystrybucyjne; polega ona na bezpośrednich kontaktach z rolnikami, prezentowaniu oferty (np. nasion, nawozów, środków ochrony roślin) oraz doradztwie w zakresie ich stosowania; sprzedaż osobista

odgrywa istotną rolę w realizacji funkcji edukacyjnej komunikacji marketingowej oraz w budowaniu długookresowych relacji z klientami;
- public relations – działania ukierunkowane na kreowanie pozytywnego wizerunku przedsiębiorstwa oraz utrzymywanie dobrych relacji z otoczeniem rynkowym; w sektorze agro obejmują one m.in. sponsorowanie lokalnych wydarzeń, organizację dni pola, pokazów demonstracyjnych, szkoleń i seminariów dla rolników, a także wydawanie poradników i biuletynów branżowych; działania te sprzyjają budowaniu zaufania do marki oraz postrzeganiu firmy jako eksperta i partnera w działalności rolniczej;
- marketing bezpośredni – forma komunikacji polegająca na bezpośrednim kontakcie z indywidualnym klientem, z pominięciem masowych mediów. Obejmuje on m.in. mailingi z ofertami handlowymi, katalogi wysyłane do gospodarstw, telemarketing, a także działania realizowane w środowisku internetowym, takie jak platformy e-commerce czy aplikacje mobilne dla rolników; współcześnie marketing bezpośredni coraz częściej łączy funkcje komunikacyjne i sprzedażowe.

Współczesna komunikacja marketingowa na rynku środków produkcji dla rolnictwa ma charakter zintegrowany, a istotną rolę w realizacji poszczególnych instrumentów odgrywają media społecznościowe, które stanowią kanał komunikacji wykorzystywany w ramach reklamy, marketingu bezpośredniego, public relations oraz sprzedaży osobistej. Pozwala to na jednoczesne informowanie, edukowanie, budowanie relacji oraz wspieranie procesów sprzedażowych.

Wdrażając zintegrowaną komunikację marketingową, przedsiębiorstwa korzystają jednocześnie z różnych narzędzi promocji w celu uzyskania spójnego przekazu. Na przykład kampania promocyjna nowej odmiany nasion może obejmować reklamę w prasie i Internecie, wysyłkę ulotek, obecność na targach rolniczych z prezentacją odmiany na poletkach, oferty rabatowe na pierwszy zakup oraz publikacje wypowiedzi zadowolonych klientów w mediach społecznościowych. Ważne jest, by komunikaty były ze sobą spójne i wzajemnie się wzmacniały.

Przedsiębiorstwa dostarczające środki produkcji dla rolnictwa stosują pełny wachlarz nowoczesnych instrumentów promocji, niejednokrotnie wyznaczając standardy dla marketingu w agrobiznesie. Kluczem jest ich odpowiednie dobranie i zintegrowanie, z uwzględnieniem specyfiki odbiorców, ich preferencji informacyjnych, sezonowości podejmowania decyzji zakupowych oraz zaufania, które stanowi element relacji biznesowych z dostawcami. Skuteczna polityka promocyjna może nie tylko przyczynić się do wzrostu sprzedaży (np. dzięki

promocjom cenowym), ale także budować długofalową lojalność klientów i reputację marki.

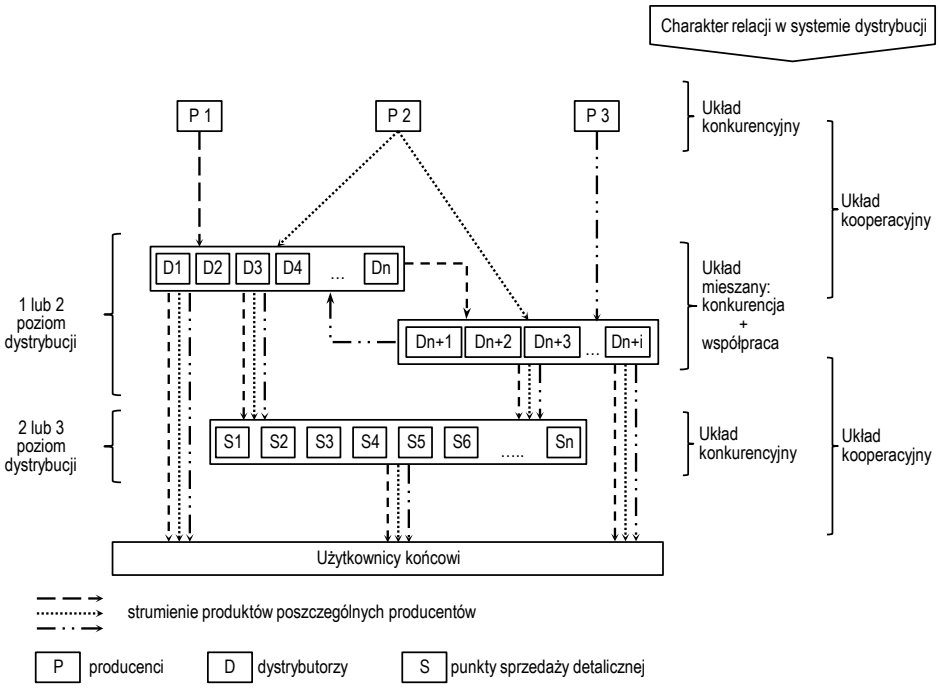
Dystrybucja to kolejny kluczowy element marketingu mix, zapewniający klientom wygodę miejsca i czasu zakupu. Kanały dystrybucji na rynku środków produkcji dla rolnictwa obejmują zróżnicowane konfiguracje podmiotów i działań, dostosowane do charakteru produktów i struktury klientów. Można wyróżnić następujące podstawowe rozwiązania w tym zakresie:

- sprzedaż bezpośrednia (producent –> rolnik) – niektórzy producenci środków produkcji (zwłaszcza maszyn rolniczych czy specjalistycznego sprzętu) stosują kanały bezpośrednie, sprzedając swoje wyroby gospodarstwom rolnym bez udziału pośredników; sprzedaż bezpośrednia może odbywać się przez własnych przedstawicieli handlowych producenta, sklepy firmowe lub platformy internetowe; zaletą jest bliski kontakt z klientem i pełna kontrola nad sposobem prezentacji produktu, jednak zasięg geograficzny bywa ograniczony, a koszty obsługi rozproszonej bazy klientów mogą być wysokie;
- dystrybucja przez pośredników (sprzedawców hurtowych i detalicznych) – jest to powszechny model dystrybucji w sektorze środków do produkcji rolnej; producent (np. nawozów lub produktów paszowych) sprzedaje produkty hurtowemu dystrybutorowi, który następnie rozprowadza produkt do sprzedawców detalicznych (np. sklepów agrochemicznych) lub bezpośrednio do gospodarstw; w Polsce działa wiele firm specjalizujących się w zaopatrzeniu rolnictwa w środki produkcji, które często oferują pełen asortyment produktów różnych marek; atutem tego modelu sprzedaży jest szeroki zasięg i możliwość dotarcia do wielu odbiorców, a wadą bywa wydłużenie łańcucha dostaw, rozproszenie marży i możliwość utraty kontroli nad produktami;
- dystrybucja przez spółdzielnie i grupy producentów – choć w Polsce formy te nie są jeszcze tak powszechne, istnieje możliwość zaopatrywania się rolników w środki produkcji przez spółdzielnie rolnicze lub zorganizowane grupy zakupowe; w modelu tym grupa rolników wspólnie negocjuje z dostawcami warunki zakupu (np. niższe ceny, terminy dostaw itp.), a nabyte środki produkcji są dystrybuowane między członków grupy; tego typu kanał wzmacnia pozycję nabywczą rolników wobec dużych dostawców i obniża koszty jednostkowe środków produkcji, wymaga jednak zorganizowanej struktury i zaufania wewnątrz grupy; w krajach UE dużą rolę odgrywają spółdzielnie, które zaopatrują swoich członków w nawozy, pasze czy sprzęt,

działając jako wielofunkcyjne podmioty integrujące sferę zaopatrzenia i zbytu; dają one również możliwość prowadzenia wspólnej sprzedaży;
- kontrakty i integracja pionowa – szczególnym kanałem dystrybucji jest sprzedaż powiązana umowami kontraktacyjnymi lub w ramach integracji pionowej. Przykładem są programy partnerskie firm nasiennych czy paszowych z wybranymi gospodarstwami – producent dostarcza im środki produkcji (np. kwalifikowane nasiona, koncentraty paszowe), często wraz z doradztwem, a w zamian odbiera od nich produkty (np. zboże, żywiec) po uzgodnionej cenie. Taka integracja zapewnia zbyt rolnikowi, a dostawcy gwarantuje odbiór określonej ilości produktu finalnego;
- sprzedaż przez Internet – z upływem czasu pojawiają się również internetowe kanały dystrybucji; niektóre przedsiębiorstwa oferują sprzedaż swoich produktów online z dostawą bezpośrednio do gospodarstwa, powstają internetowe platformy rolnicze umożliwiające zakup nasion, środków ochrony roślin czy części zamiennych do maszyn; tego typu kanały sprzedaży mają jak dotąd znaczenie uzupełniające tradycyjne formy dystrybucji, ale ich znaczenie stopniowo rośnie; kluczowym wyzwaniem pozostaje logistyka oraz zaufanie – stąd istotne jest łączenie e-sprzedaży z solidną informacją (opisy, opinie) i obsługą posprzedażową.

Złożoność kanałów dystrybucji na rynku rolnym ilustruje schemat kanałów dystrybucyjnych na rynku środków ochrony roślin (rys. 8). Producenci stosują tu wyłącznościowe lub szerokie modele dystrybucji, dlatego przedsiębiorstwa handlowe tworzące kanały dystrybucji występują często w podwójnej roli. Dotyczy to przedsiębiorstw, które na rysunku 8 oznaczono jako „1 lub 2 poziom dystrybucji". Podmioty te współpracują bezpośrednio z producentem P2, który stosuje dystrybucję szeroką. Pozostali producenci prowadzą dystrybucję wyłącznościową, przy czym P1 współpracuje bezpośrednio z podmiotami D1–Dn, natomiast P3 z podmiotami Dn+1 do Dn+i. Jeżeli założymy, że na rynku wykorzystywana jest tylko współpraca bezpośrednia, przedsiębiorstwa dystrybucyjne mają ograniczone możliwości rozwijania swojej oferty handlowej. Podmioty D1–Dn mają w swojej ofercie produkty producentów P1 oraz P2, natomiast podmioty Dn+1 do Dn+i mogą sprzedawać produkty producentów P2 oraz P3. Dążąc do rozszerzenia swojej oferty handlowej, firmy dystrybucyjne zaopatrują się wzajemnie w produkty producentów, z którymi nie prowadzą bezpośredniej współpracy (Gazdecki, 2014, 2016). Konsekwencją opisanych powiązań handlowych jest specyficzny układ relacji. Wśród podmiotów występujących na jednym poziomie kanału dystrybucji dominują układy konkurencyjne. Sytuacja komplikuje się

jednak w przypadku przedsiębiorstw dystrybucyjnych (na rys. 8 oznaczono je literami D). Występują one względem siebie zarówno w układach kooperacyjnych, jak i konkurencyjnych, który określa się jako koopetycję (Gazdecki, 2016).



Rys. 8. Specyfika powiązań i charakter relacji w systemie dystrybucji środków ochrony roślin
Źródło: Gazdecki, 2016.

Na rynku środków produkcji dla rolnictwa dostawcy muszą docierać do licznych, rozproszonych geograficznie nabywców (gospodarstw rolnych), zapewniając dostępność swoich produktów w odpowiednim miejscu i czasie. Efektywna dystrybucja wymaga utrzymywania rozwiniętej logistyki (magazynowanie, transport na obszarach wiejskich) oraz – często – współpracy z lokalnymi pośrednikami dobrze znającymi specyfikę regionalnego rolnictwa. Ważnym trendem jest oferowanie przez dystrybutorów wartości dodanej, np. dowóz towaru bezpośrednio do gospodarstwa rolnego, elastyczne terminy płatności czy usługi doradcze. Z każdym takim rozwiązaniem związane są pewne koszty i korzyści. W literaturze sugeruje się, że producenci powinni rozważać szersze uczestnictwo w kanałach dystrybucji przez integrację i koncentrację.

Reasumując, kanały dystrybucji na rynku środków produkcji są wielopoziomowe i dostosowane do realiów sektora oraz uwarunkowań lokalnych. Sprawność tych kanałów wpływa na dostępność i koszty zaopatrzenia rolników w środki produkcji, a tym samym na konkurencyjność całego sektora rolniczego. W dalszej części przywołano przykłady ukazujące, jak w praktyce realizowane są strategie promocji i dystrybucji na rynkach środków produkcji dla rolnictwa.

Wybrane przykłady historycznych i współczesnych działań marketingowych związanych z promocją i dystrybucją na rynku środków produkcji dla rolnictwa ilustrują omawiane wcześniej koncepcje.

Przykład historyczny – Cyrus McCormick i promocja sprzętu rolniczego. Wynalazca mechanicznej żniwiarki (XIX w.) jest często przywoływany jako pionier marketingu na rynku środków produkcji. Około 1850 r. wdrożył kompleksowy system działań marketingowych przy sprzedaży swoich maszyn rolniczych. Obejmował on m.in. demonstracje sprzętu w terenie (dzisiejszy odpowiednik pokazów polowych), zbieranie opinii użytkowników (badanie rynku), politykę cen dostosowaną do możliwości klientów (w tym sprzedaż ratalną – nowość na owe czasy) oraz serwis posprzedażowy i dostępność części zamiennych. Dzięki tym działaniom McCormick zbudował przewagę nad konkurentami, a jednocześnie stworzył podwaliny pod nowoczesny marketing mix na rynku rolniczym: odpowiedni produkt (innowacyjna maszyna), cena dostosowana do klienta, dystrybucja (sieć agentów zapewniających dostawę i serwis) oraz promocja (pokazy, reklama szeptana, budowanie reputacji marki). Ten przypadek pokazuje, że już ponad 170 lat temu skuteczna promocja i sprawny kanał dystrybucji były kluczem do upowszechnienia nowego środka produkcji w rolnictwie.

Rynki zorganizowane i integracja – spółdzielnie rolnicze w dystrybucji. W krajach Europy Zachodniej od dziesięcioleci funkcjonują silne spółdzielnie rolników, które stanowią ciekawy przykład integracji funkcji marketingowych. Spółdzielnie te często pełnią podwójną rolę – z jednej strony zajmują się zbiorową sprzedażą płodów rolnych swoich członków (pełniąc funkcję kanału dystrybucji produktów rolnych), z drugiej zaś dzięki efektowi skali zaopatrują ich w środki produkcji (nawozy, pasze, nasiona, paliwo itp.) po konkurencyjnych cenach. Przykładowo duńskie czy holenderskie spółdzielnie mleczarskie nie tylko skupują mleko od rolników i sprzedają je (lub przerabiają na nabiał), ale często prowadzą działy zajmujące się dystrybucją pasz i materiału hodowlanego dla swoich członków. Korzyści płynące z tego modelu to m.in.: lepsza pozycja negocjacyjna (wspólne zakupy, które dają możliwość uzyskania niższych cen; wspólna sprzedaż, która gwarantuje lepsze warunki handlowe), usprawniona logistyka oraz udział rolników (członków spółdzielni) w zyskach z działalności

handlowej. W niektórych krajach UE spółdzielnie kontrolują duże udziały rynku środków produkcji dla rolnictwa, np. we Francji czy Skandynawii większość skupu płodów i zaopatrzenia rolnictwa przechodzi przez tego typu organizacje. Polski sektor rolno-żywnościowy ma tu wciąż pole do rozwoju – po okresie transformacji ustrojowej tradycje spółdzielcze osłabły, ale obecnie ponownie dostrzega się ich potencjał poprawy efektywności marketingu rolnego.

Kampanie informacyjne i budowanie marki w sektorze środków produkcji. Jako przykład działań promocyjnych można wskazać kampanie edukacyjne prowadzone przez firmy z branży agrochemicznej. Wielu producentów środków ochrony roślin czy nawozów organizuje cykliczne szkolenia dla rolników, pokazy polowe i konferencje, podczas których promują oni swoje produkty, dostarczając wiedzy o nowoczesnych technologiach. Strategie te wpisują się w koncepcję marketingu partnerskiego – przedsiębiorstwo nie tylko sprzedaje produkt, ale staje się doradcą klienta. Na przykład kampania wprowadzająca nowy środek ochrony roślin może obejmować ogólnopolski cykl szkoleń prowadzonych przez firmowych ekspertów, którzy spotykają się z rolnikami, tłumaczą jego działanie, prezentują wyniki badań i rekomendują stosowanie. Towarzyszy temu często dystrybucja materiałów informacyjnych (np. broszury, ulotki), reklama w prasie rolniczej oraz promocja sprzedaży (np. zniżki dla uczestników szkoleń). Takie działania łączą promocję (reklama + PR) z dystrybucją informacji i budowaniem relacji, co przynosi długofalowe efekty w postaci świadomości marki i zaufania klientów. Można tu wspomnieć również o inicjatywach branżowych, takich jak np. wspólne programy certyfikacji jakości (np. GLOBALG.A.P./EurepGAP) w produkcji rolniczej, które przez promowanie określonych standardów upraw pośrednio popularyzują środki produkcji spełniające te standardy (np. biodegradowalne środki ochrony czy specjalistyczne nawozy wymagane w rolnictwie integrowanym). Choć jest to przykład jednej firmy, pokazuje szerszy kontekst: promocja w sektorze agro wymaga często działań edukacyjnych i budowania świadomości praktyk rolniczych, co finalnie przekłada się na popyt na określone środki produkcji.

Analiza narzędzi promocji oraz kanałów dystrybucji na rynku środków produkcji dla rolnictwa prowadzi do kilku kluczowych wniosków. Po pierwsze, marketing w agrobiznesie jest nieodzownym elementem zwiększania efektywności i konkurencyjności – zwłaszcza w warunkach rosnącej konkurencji na jednolitym rynku europejskim oraz globalizacji handlu rolno-spożywczego. Tradycyjne koncentrowanie się wyłącznie na ekonomii podaży (produkcji) musi zostać uzupełnione orientacją na popyt i rynek. Oznacza to, że zarówno przedsiębiorstwa dostarczające środki produkcji dla rolnictwa, jak i same gospodarstwa rolne powinny przyjmować podejście marketingowe w planowaniu swojej działalności.

Po drugie, widoczna jest asymetria w rozwoju marketingu w ramach sektora: większe przedsiębiorstwa przetwórcze i dostawcy środków produkcji są na ogół bardziej zaawansowani marketingowo, podczas gdy indywidualne gospodarstwa rolne wykazują opóźnienia na tym polu. Trzeba jednak nadmienić, że obserwuje się postęp w zakresie działań marketingowych prowadzonych przez gospodarstwa rolne, zarówno w obszarze B2B, jak i B2C.

Po trzecie, z przeprowadzonej analizy wynika, że zintegrowane podejście do marketingu w sektorze rolnym przynosi wymierne korzyści. Skuteczna strategia powinna obejmować spójne działania w sferze produktu (dostosowanie oferty do wymogów rynku, dbałość o jakość), promocji (wykorzystanie pełnej gamy narzędzi komunikacji, w tym nowoczesnych, by kształtować popyt), dystrybucji (zapewnienie dogodnych kanałów zaopatrzenia i zbytu, udział producentów w kolejnych ogniwach łańcucha dla przechwycenia wartości dodanej) oraz ceny (prowadzenie świadomej polityki cenowej uwzględniającej elastyczność popytu). Ważne jest również ograniczanie ryzyka, np. przez dywersyfikację kanałów (aby unikać uzależnienia od jednego dominującego odbiorcy) i korzystanie z narzędzi zabezpieczających (ubezpieczenia, kontrakty terminowe). Warto podkreślić, że orientacja marketingowa w rolnictwie znacznie wykracza poza działania promocyjne. Obejmuje również filozofię zarządzania sprzedażą: planowanie produkcji pod kątem potrzeb rynku, komunikację z odbiorcami przed rozpoczęciem i w trakcie produkcji, a także elastyczne reagowanie na zmiany popytu.

Po czwarte, rola państwa i instytucji z otoczenia rynkowego w tworzeniu sprzyjających warunków dla marketingu rolnego jest szczególnie istotna ze względu na silne odziaływanie państwa na sektor agro przez politykę rolną i gospodarczą. Polityka państwa powinna wspierać rozwój infrastruktury rynkowej, zapobiegać monopolizacji kanałów zbytu, zachęcać do tworzenia branżowych organizacji producentów oraz zapewniać zaplecze naukowe, doradcze i informacyjne dla rolnictwa. W warunkach polskich, o niskim poziomie samoorganizacji, aktywna polityka wspierania grup producenckich i edukacji marketingowej jest wręcz konieczna. Tylko wtedy możliwe będzie pełne wykorzystanie narzędzi promocji i kanałów dystrybucji dla poprawy sytuacji ekonomicznej rolników i firm z otoczenia rolnictwa.

Efektywna promocja i sprawna dystrybucja na rynku środków produkcji dla rolnictwa tworzą przewagę konkurencyjną i wspierają zrównoważony rozwój podmiotów tego rynku. Przedsiębiorstwa powinny kontynuować integrowanie nowoczesnych instrumentów marketingowych, a producenci rolni – aktywnie z nich korzystać i działać wspólnie, by zwiększać swoją siłę rynkową. Doświadczenia z rynku rolnego pokazują, że marketing nie jest wyłącznie domeną dużych

przedsiębiorstw, ale może i powinien być narzędziem wzmacniania pozycji ekonomicznej rolników oraz budowania trwałych relacji w łańcuchu żywnościowym. W dobie rosnących wymagań jakościowych, zmian preferencji konsumentów i globalnych wyzwań umiejętne zarządzanie promocją i dystrybucją staje się ważnym czynnikiem sukcesu na rynku rolno-żywnościowym – zarówno dla dostawców środków produkcji, jak i dla samych producentów rolnych.

4. KOSZTY PRODUKCJI ROLNICZEJ Z WYKORZYSTANIEM NARZĘDZI ROLNICTWA PRECYZYJNEGO – STUDIUM PRZYPADKU

4.1. Koszty wdrożenia i eksploatacji narzędzi rolnictwa precyzyjnego

Rolnictwo precyzyjne rozwija się dynamicznie zarówno w sferze rozważań naukowych, jak i rozwiązań praktycznych. Stanowi też ważny kierunek rozwoju systemów produkcji rolniczej, pozwalając rozwiązać niektóre z wyzwań, przed jakimi staje produkcja rolnicza. Dzięki nowym technologiom współczesne rolnictwo jest w stanie dostosowywać się do zmiennych warunków rynkowych i przyrodniczych. Pozwalają one optymalizować zużycie środków produkcji, co podnosi efektywność produkcji rolniczej oraz zmniejsza oddziaływanie na środowisko i lokalne ekosystemy. Umożliwiają bieżące monitorowanie produkcji roślinnej i zwierzęcej, a w rezultacie analizę i podejmowanie decyzji na podstawie danych i prognoz. Rozwiązania techniczne ułatwiają działanie na wielu płaszczyznach, od analizy warunków atmosferycznych i zawartości składników w glebie po zdrowie i dobrostan zwierząt.

Redukcja kosztów produkcji jest zagadnieniem, które interesuje przedstawicieli wielu branż. Pozwala zoptymalizować proces produkcji i bezpośrednio wpływa na wynik finansowy, jaki generuje gospodarstwo rolne. Sposobów na redukcję kosztów w gospodarstwach rolnych jest wiele, a jeden z nich to zmniejszenie zużycia środków produkcji (takich jak nawozy, środki ochrony roślin) oraz kosztów zabiegów. W tym podrozdziale przedstawiono zagadnienie obniżania kosztów produkcji na podstawie *case study* i oceny inwestycji, a także omówiono wyniki badań przeprowadzonych wśród rolników, dotyczących postrzegania przez nich rozwiązań rolnictwa precyzyjnego.

Celem badań było określenie potencjału redukcji kosztów oraz zwrotu inwestycji polegającej na wprowadzeniu rozwiązań rolnictwa precyzyjnego w gospodarstwach rolnych wraz z określeniem perspektyw rozwoju tych rozwiązań w polskim rolnictwie.

Jednym z nich jest system precyzyjnego (zmiennego) nawożenia, który pozwala na dostosowanie dawki nawozów mineralnych do warunków glebowych oraz kondycji roślin w danej lokalizacji działki uprawnej. Dzięki temu można zmniejszyć zużycie nawozów mineralnych w porównaniu do konwencjonalnych systemów nawożenia, w których na całej powierzchni działki stosuje się jednakową dawkę nawozu. Z uwagi na postawiony cel badań omówiono koszty wdrożenia oraz eksploatacji systemu nawożenia precyzyjnego. Następnie na podstawie wielkości redukcji zużycia i kosztów stosowanych nawozów sztucznych dokonano oceny zwrotu inwestycji w sprzęt zapewniający stosowanie zmiennego nawożenia. Rozpatrzone zostały warianty redukcji nawozów produkcji na poziomie 5%, 10% oraz 15%. Obliczono okres zwrotu inwestycji oraz minimalną powierzchnię, jaką powinno dysponować gospodarstwo, by inwestycja zwróciła się po 10 latach. Przyjęto założenie, że inwestycja będzie finansowana ze środków własnych podmiotu. W praktyce możliwe jest również wykorzystanie finansowania zewnętrznego w postaci kredytu bankowego oraz/lub uzyskanie dofinansowania ze środków publicznych. Każde z tych rozwiązań implikuje odmienne konsekwencje dla poziomu całkowitych kosztów inwestycji oraz długości okresu jej zwrotu, wpływając tym samym na ekonomiczną efektywność przedsięwzięcia.

Koszty inwestycji, która prowadzi do wyposażenia gospodarstwa rolnego w rozwiązania rolnictwa precyzyjnego, obejmują kilka komponentów. W niniejszej pracy dokonano analizy inwestycji polegającej na wprowadzeniu systemu zmiennego dawkowania nawozów mineralnych. Wybór ten był podyktowany względami merytorycznymi: koszty nawozów stosowanych w uprawie głównych roślin polowych wynoszą 20–35% kosztów całkowitych; w ostatnich latach znacząco poszerzyła się oferta rynkowa rozwiązań, które umożliwiają stosowanie zmiennego nawożenia, a zakup tego sprzętu jest wspierany dzięki środkom UE. Systemy te są więc relatywnie łatwo dostępne, a zmniejszenie zużycia nawozów może znacząco wpłynąć na redukcję kosztów produkcji roślinnej.

Przyjęto, że wartość inwestycji będzie związana z wielkością gospodarstwa rolnego. Większa powierzchnia determinuje wyższe zużycie nawozów i potrzebę korzystania z bardziej wydajnego sprzętu. Z tego powodu, przyjmując założenia do określenia koszów inwestycji, posłużono się wybranymi charakterystykami gospodarstw rolnych różnych klas wielkości ekonomicznej pochodzącymi z danych FADN Polska z roku 2021 i 2023 (tab. 6).

Tabela 6. Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2021 i 2023 r.

Wyszczególnienie	Rok	Klasa wielkości ekonomicznej gospodarstwa wg polskiego FADN*					
		bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
Powierzchnia użytków rolnych (ha)	2021	8,6	14,2	24,5	41,0	82,8	671,0
	2023	8,2	13,8	24,6	41,2	81,3	678,5
Powierzchnia dodzierżawionych użytków rolnych (ha)	2021	0,9	2,5	6,4	13,8	27,7	427,3
	2023	1,0	2,3	6,6	14,0	28,8	415,6
Powierzchnia użytków rolnych razem (ha)	2021	9,5	16,7	30,9	54,8	110,5	1 098,3
	2023	9,2	16,1	31,2	55,2	110,1	1 094,1

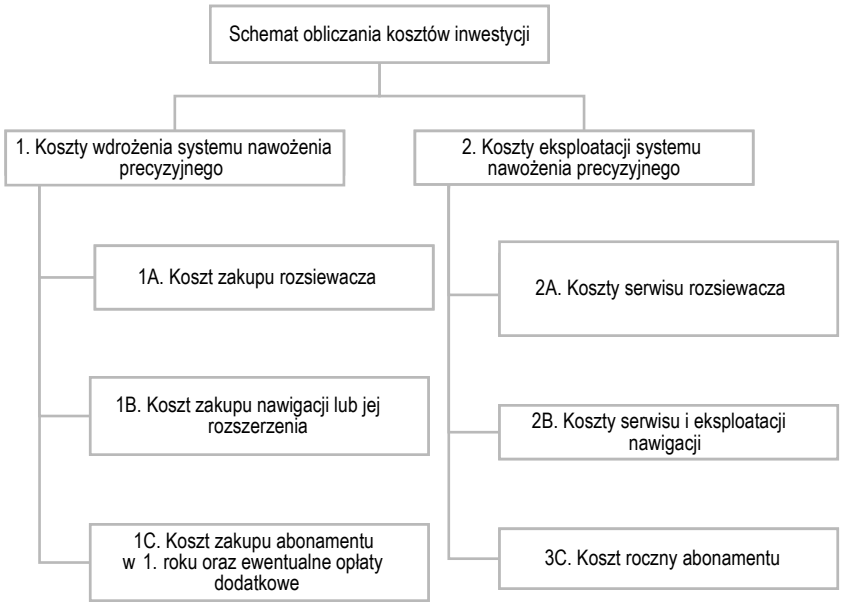
*W kolejnych tabelach użyto skróconego określenia „wielkość gospodarstwa".
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN, http://fadn.pl/wp-content/uploads/2023/01/WS_2021_Polska_cz1.pdf; chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://fadn.pl/wp-content/uploads/2023/01/WS_2023_Polska_cz1.pdf (dostęp: 12.05.2025).

Na podstawie wybranych publikacji (Bijańska, 2011; Kubik, 2018) oraz konsultacji z ekspertami przyjęto, że koszty wdrożenia systemu nawożenia precyzyjnego w gospodarstwie rolnym obejmują dwa główne komponenty: koszty wdrożenia tego systemu (1) oraz koszty jego eksploatacji (2) (rys. 9). Na koszty wdrożenia składają się:

- zakup rozsiewacza nawozów wyposażonego w system zmiennego dawkowania (1A),
- zakup nawigacji lub jej rozszerzenia[12] (1B),
- zakup abonamentu w 1. roku oraz ewentualne opłaty dodatkowe (1C).

Kluczowym elementem wyposażenia jest rozsiewacz nawozów, wyposażony w system zmiennego dawkowania oraz osprzęt, który współpracuje z nawigacją. Na potrzeby analizy uwzględniono koszt zakupu nowego rozsiewacza nawozów. Wynika to z założenia, że analizowany jest przypadek gospodarstwa rolnego, które nie stosuje nawożenia precyzyjnego, a zatem wdrożenie tego rozwiązania wymaga nakładów inwestycyjnych związanych z zakupem odpowiedniego

[12] Dla bardzo małych, małych oraz średnio-małych gospodarstw wytypowana została nawigacja marki Trimble. Decyzja jest uzasadniona możliwością instalacji nawigacji na ciągnikach każdej marki oraz na starszych modelach maszyn. Dla gospodarstw średnio-dużych, dużych oraz bardzo dużych wytypowano markę John Deere. Jest to bardziej rozwinięty wariant nawigacji rolniczej. Zawiera między innymi większy wyświetlacz, który będzie bardziej komfortowy przy uprawianiu większego areału.



Rys. 9. Komponenty kosztów wdrożenia systemu precyzyjnego nawożenia
Źródło: opracowanie własne.

rozsiewacza nawozów. Nie uwzględniono zakupu maszyny używanej, gdyż dostępność tego typu ofert na rynku jest ograniczona, co utrudnia przeprowadzenie rzetelnej i porównywalnej analizy ekonomicznej. Ceny rozsiewaczy do analizy zostały przyjęte jako średnie cen maszyn o różnych pojemnościach dostosowanych do gospodarstw o różnej wielkości ekonomicznej na maj 2023 r. oraz 2025 r. Przedstawione w tabeli 7 ceny z roku 2023 dotyczą marek: RAUCH, Kverneland, Unia oraz Amazone. Natomiast dla roku 2025 wykorzystano ceny marek: KVERNELAND EXACTA EL 900 GEOSPRED, RAUCH AXIS EMC ISOBUS, AXIS 20.2 M-EMC ISOBUS, ZAV 1400 SPT z terminalem, ZAV 200 SPT z terminalem, KVERNELAND EXACTA CL GEOSPREAD. Cenniki wymienionych wyżej marek podano na podstawie ofert handlowych dystrybutorów (tab. 7).

Uwzględniono też inne koszty, których wysokość została ustalona na podstawie średniej ceny montażu nawigacji z dojazdem do klienta oraz transakcji zakupu. Przyjęto, że wartość rezydualna sprzętu wynosi 10% wartości początkowej rozsiewacza. Okres użytkowania został określony na 10 lat. Okres użytkowania i wartość rezydualną przyjęto na podstawie analizy ofert sprzedaży używanego sprzętu do rozsiewania nawozów mineralnych z portalu OLX (Olx, b.d.). Na podstawie konsultacji z autoryzowanymi serwisami rozsiewaczy wcześniej

Tabela 7. Koszty netto wdrożenia systemu nawożenia precyzyjnego w roku 2023 i 2025 (zł)

Wyszczególnienie	Rok	Wielkość gospodarstwa					
		bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
Dostosowanie ciągnika	2023	25 515,00	25 515,00	25 515,00	62 500,00	62 500,00	62 500,00
	2025	27 075,00	27 075,00	27 075,00	37 100,00	37 100,00	37 100,00
Zakup rozsiewacza	2023	65 000,00	73 000,00	80 000,00	84 000,00	88 000,00	138 000,00
	2025	64 785,00	71 650,00	84 800,00	96 856,41	99 503,81	114 356,00
Inne koszty	2023	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
	2025	214,00	214,00	214,00	214,00	214,00	214,00
Razem	2023	90 715,00	98 715,00	105 715,00	146 700,00	150 700,00	200 700,00
	2025	92 074,00	98 939,00	112 089,00	134 170,41	136 817,81	151 670,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie ofert handlowych zebranych dla marek Trimble, John Deere, Unia, Rauch, Kverneland, Amazone.

wspomnianych marek przyjęto roczne koszty eksploatacji i napraw rozsiewaczy na poziomie 10% ceny zakupu nowego sprzętu. Serwis osprzętu ciągnika (nawigacji) nie został ujęty w kosztach, ponieważ zgodnie z deklaracjami autoryzowanych serwisów wyżej wymienionych marek nawigacji nie wymaga on serwisowania ani okresowych przeglądów, w związku z czym nie ponosi się kosztów rocznych. Specyfikacja wytypowanej nawigacji nie wymaga zakupu corocznych licencji, ponieważ działa na darmowym sygnale. Koszt eksploatacji obejmuje abonament w aplikacji SatAgro, na podstawie której wykonywane są mapy zmiennego dawkowania, bazujące na zdjęciach satelitarnych.

Koszty eksploatacji systemu zmiennego dawkowania nawozów obejmują (tab. 8):

- serwis rozsiewacza (2A) – za całkowity koszt serwisu rozsiewacza przyjęto 10% wartości początkowej maszyny (tab. 4); to kwota na pokrycie kosztów napraw oraz wymiany części; została ona przyjęta po konsultacjach z przedstawicielami autoryzowanych sprzedawców maszyn rolniczych;
- serwis eksploatacji nawigacji (2B) – serwis osprzętu ciągnika (nawigacji) nie został ujęty w kosztach, ponieważ autoryzowani sprzedawcy nawigacji, z którymi się konsultowano, poinformowali, że nawigacja nie wymaga serwisowania ani okresowych przeglądów, więc koszty te nie występują;
- roczny abonament systemu SatAgro (2C) – koszt abonamentu aplikacji SatAgro, która na podstawie zdjęć satelitarnych wykonuje mapy zmiennego dawkowania, wynosił 14 zł/1 ha w 2023 r. oraz 20 zł/1 ha 2025 r.

Tabela 8. Koszt eksploatacji wyposażenia do zmiennego nawożenia wg wielkości ekonomicznej gospodarstwa w całym okresie użytkowania (zł)

Wyszczególnienie	Rok	Wielkość gospodarstwa					
		bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
Serwis rozsiewacza	2023	6 500,00	7 300,00	8 000,00	8 400,00	8 800,00	13 800,00
	2025	6 478,50	7 165,00	8 480,00	9 685,64	9 950,38	11 435,60
Abonament usługi SatAgro za 1 ha	2023	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
	2025	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie SatAgro, https://satagro.pl/#pricing (dostęp: 14.06.2023, 12.05.2025).

Na podstawie danych FADN określona została średnia powierzchnia upraw zbóż, pozostałych upraw polowych oraz upraw pastewnych w gospodarstwach o różnej wielkości ekonomicznej (tab. 9). Dane te stanowiły punkt wyjścia do wyznaczenia powierzchni upraw kluczowych gatunków roślin, którą następnie wykorzystano w analizach kosztów.

Tabela 9. Powierzchnia upraw według klas wielkości ekonomicznej (ha)

Gatunki roślin	Rok	Wielkość gospodarstwa					
		bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
Pszenica ozima	2021	2,69	4,42	7,23	11,78	26,75	221,32
	2023	2,72	4,31	7,24	11,92	25,43	217,94
Pozostałe zboża	2021	1,80	2,94	4,82	7,86	17,84	147,55
	2023	1,82	2,87	4,82	7,94	16,96	145,30
Rzepak	2021	0,29	0,95	1,83	4,03	11,20	103,64
	2023	0,31	0,91	1,85	4,01	11,62	116,90
Kukurydza ziarnowa	2021	0,20	0,64	1,22	2,68	7,46	69,09
	2023	0,21	0,61	1,23	2,68	7,75	77,93
Kukurydza kiszonkowa	2021	2,16	3,19	6,67	11,38	14,64	119,64
	2023	1,93	3,15	6,79	11,51	14,95	110,23

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN, http://fadn.pl/wp-content/uploads/2023/01/WS_2021_Polska_cz1.pdf; chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://fadn.pl/wp-content/uploads/2023/01/WS_2023_Polska_cz1.pdf (dostęp: 12.05.2025).

Na potrzeby tych analiz przyjęto dla uproszczenia, że struktura upraw we wszystkich klasach wielkości ekonomicznej jest jednakowa, co ułatwiło

porównywanie wyników między gospodarstwami należącymi do różnych klas. Powierzchnia upraw zbóż została podzielona na pszenicę ozimą i pozostałe zboża w relacji 60% do 40%. W przypadku pozostałych upraw polowych założono, że 60% powierzchni stanowi rzepak ozimy, natomiast 40% kukurydza przeznaczona na ziarno. Przyjęto również, że jedyną rośliną pastewną będzie kukurydza uprawiana na kiszonkę.

Takie ujęcie struktury zasiewów nie w pełni odzwierciedla rzeczywiste zróżnicowanie produkcji roślinnej w poszczególnych grupach gospodarstw. W praktyce te mniejsze częściej charakteryzują się mniejszą dywersyfikacją upraw, natomiast większe wykazują wyższy udział upraw towarowych, np. rzepaku. Przyjęte uproszczenie należy uwzględnić przy interpretacji wyników. Mogą one być uogólniane w zakresie tendencji i relacji między wielkością ekonomiczną gospodarstwa a poziomem kosztów produkcji, a nie jako dokładne odzwierciedlenie kosztów ponoszonych przez wszystkie gospodarstwa w danej grupie. Uzyskane wyniki mogą jednak stanowić wartościowy punkt odniesienia dla dalszych analiz, w których możliwe byłoby uwzględnienie rzeczywistego zróżnicowania struktur zasiewów oraz dodatkowych uwarunkowań produkcyjnych i organizacyjnych.

Do kalkulacji przyjęto zalecane normy nawożenia i plony referencyjne z publikacji *Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej* przygotowanej w IUNG-PIB (Jadczyszyn i in., 2010). Dane te stanowią podstawę do ustalenia dawki podstawowych składników pokarmowych zawartych w nawozach przy zakładanym poziomie plonu. Dodatkowo wykorzystano dane o strukturze zasiewów z polskiego FADN. Na przykład uśrednioną strukturę zasiewów przyjęto na podstawie wyników standardowych uzyskanych przez gospodarstwa rolne uczestniczące w Polskim FADN z roku 2021 i 2023 (FADN, 2022).

Założono, że celem produkcji będzie uzyskanie plonów średnio-wysokich typowych dla każdej uprawy, zgodnie z założeniami Jadczyszyna i in. (2010) oraz praktyką rolniczą. Przyjęte następujące plony docelowe: pszenica ozima 7 t/ha, pozostałe zboża (jęczmień, żyto, pszenżyto) 6 t/ha, rzepak ozimy 4,5 t/ha, kukurydza (na ziarno) 10 t/ha, kukurydza na kiszonkę 60 t biomasy z 1 ha. Na tych wartościach plonów oparto obliczenia zapotrzebowania na składniki pokarmowe. W celu uproszczenia analizy pominięto zmienność dawek wynikającą z zasobności gleby w składniki pokarmowe.

Zapotrzebowanie roślin na podstawowe składniki pokarmowe (tj. N, P, K) przyjęto z tabel zaleceń nawozowych (Jadczyszyn i in., 2010), podając je w kg czystego składnika na 1 ha. Następnie wyznaczono dawkę nawozów mineralnych, dzieląc zapotrzebowanie na dany składnik pokarmowy przez jego

zawartość w nawozie wyrażoną w procentach. Nawozy przyjęte do analiz oraz ich składy są następujące:

- saletra amonowa (NH_4NO_3) ~34% N,
- mocznik ($CO(NH_2)_2$) ~46% N,
- polifoska – wieloskładnikowy nawóz NPK (np. Polifoska 6) zawierający ok. 6% N, 20% P_2O_5 i 30% K_2O oraz ok. 7% siarki,
- fosforan amonu (DAP NP 18–46) – ok. 18% N oraz 46% P,
- sól potasowa (chlorek potasu) – ok. 60% K_2O,
- kizeryt (siarczan magnezu) – 25% MgO i 50% SO_3.

Przy wyborze stosowanych nawozów oraz ich dawek kierowano się wymaganiami poszczególnych gatunków roślin uprawnych. Starano się przyjąć możliwie uniwersalne wytyczne, które będą sprawdzały się w przypadku większości gospodarstw rolnych (Korzeniowski, 2024). Dla zbóż i rzepaku podstawowym źródłem azotu jest saletra amonowa (dzielona na kilka dawek w okresie wiosennym) lub mocznik (zwłaszcza jako dawka jesienna lub przedsiewna). Nawozy wieloskładnikowe (np. polifoska) dostarczają fosfor i potas oraz niewielkie ilości azotu. Aby zapewnić potas, stosuje się też sól potasową, jeśli nie użyto pełnej dawki potasu w polifosce. Fosforan amonu (DAP) jest istotny w uprawie kukurydzy ze względu na dużą zawartość fosforu. Stosowanie kizerytu pozwala na dostarczenie magnezu i siarki, zwykle jednorazowo w okresie przedsiewnym lub wczesną wiosną.

W niniejszym opracowaniu zmniejszenie kosztów nawożenia jest rozpatrywane jako efekt ograniczenia zużycia nawozów sztucznych, dlatego pominięto kwestie podziału nawożenia na dawki oraz koszty związane z wykonywaniem zabiegów nawożenia.

Dawki poszczególnych nawozów mineralnych dla roślin uprawnych uwzględnionych w opracowaniu przyjęto na podstawie zaleceń nawozowych (Jadczyszyn i in., 2010; Korzeniowski, 2024). Do nawożenia pszenicy ozimej zaplanowano użycie saletry amonowej w łącznej dawce 330 kilogramów. Polifoska/DAP stosowana jest zwykle jednorazowo przedsiewnie lub wczesną wiosną, sól potasowa najczęściej przedsiewnie, często jesienią dla upraw ozimych lub wiosną razem z uprawką przedsiewną w przypadku upraw jarych. Kizeryt stosowany jest zwykle jednorazowo – najczęściej przedsiewnie; w przykładach zaplanowano po jednej dawce kizerytu dla każdego gatunku roślin (dla uzupełnienia S i Mg).

Dla uprawy zbóż ozimych pozostałych zaplanowano dawki nawozów przy zakładanym plonie 6 t z 1 ha. Ze względu na wybór saletry amonowej nie zastosowano mocznika. Saletra amonowa zaplanowana została na trzy dawki w jednym cyklu produkcyjnym, natomiast polifoska w jednej dawce w jednym cyklu.

Ponieważ zastosowano polifoskę, nie zaplanowano użycia soli potasowej. Dla zapewnienia siarki i magnezu uwzględniono zabieg zastosowania kizerytu.

W przypadku uprawy rzepaku przy zakładanym plonie 4,5 t z 1 ha zaplanowano dawkę mocznika przedsiewnie. Przy jednym cyklu produkcyjnym zaplanowano dwie dawki saletry amonowej, przedsiewnie dawkę polifoski. Sól potasowa została przewidziana w jednej dawce, tak jak kizeryt. Dawki nawozów mineralnych zaczerpnięto z branżowej witryny (Jadczyszyn i in., 2010).

W przypadku uprawy kukurydzy ziarnowej oraz kiszonkowej (przy zbiorze masy, bez stosowania obornika) przy zakładanym plonie 10 t ziarna z 1 ha oraz 60 t biomasy z 1 ha wymaga się przedsiewnego stosowania mocznika. Pominięto dawkę saletry amonowej ze względu na stosowanie mocznika oraz polifoski z uwagi na zaplanowane nawożenie solą potasową. Sól potasowa została zaplanowana w jednej dawce przedsiewnie, fosforan amonu w jednej dawce w podsiewaczu, a kizeryt w jednej dawce. Dawki nawozów mineralnych dla kukurydzy na ziarno oraz na kiszonkę zaplanowano na podstawie danych z branżowej witryny (Jadczyszyn i in., 2010).

Na potrzeby obliczeń przyjęto, że bez względu na wielkość ekonomiczną gospodarstwa stosowane będą takie same dawki nawozów. Dzięki temu założeniu z analizy i porównań wyeliminowano wpływ różnic technologii nawożenia w gospodarstwach o różnej skali działalności. Przedstawione w tabeli 10 dawki nawozów stanowią punkt wyjścia do obliczeń redukcji kosztów zużycia nawozów i zostały przyjęte jako jednakowe w gospodarstwach należących do analizowanych klas wielkości ekonomicznej. Zastosowanie jednolitych dawek nawożenia oznacza, że w dalszych analizach zarówno zmniejszenie zużycia nawozów na 1 ha, jak i wartość redukcji kosztów nawozów w przeliczeniu na 1 ha będą identyczne we wszystkich klasach wielkości ekonomicznej.

Tabela 10. Zakładane zużycie całkowite nawozów sztucznych na 1 ha uprawy (kg)

Nawóz	Uprawa				
	pszenica ozima	pozostałe zboża	rzepak	kukurydza ziarnowa	kukurydza kiszonkowa
Mocznik	0	0	310	430	350
Saletra amonowa	330	300	420	0	0
Polifoska (lub odpowiednik)	260	230	340	0	0
Sól potasowa (lub odpowiednik)	0	0	140	210	300
Kizeryt	90	80	100	240	270
Fosforan amonu	0	0	0	240	160

Źródło: opracowanie własne na podstawie Jadczyszyn i in., 2010.

Na podstawie przeglądu literatury oraz konsultacji z przedstawicielami przedsiębiorstw sprzedających systemy rolnictwa precyzyjnego przyjęto trzy poziomy zmniejszenia zużycia nawozów: 5%, 10% i 15%. Publikacje dotyczące metod rolnictwa precyzyjnego oraz wykorzystania metod zmiennej dawki nawożenia wskazują na redukcję zużycia nawozów w zakresie 2,5–30% (Van Alphen, Stoorvogel, 2020; Cai i in., 2025; Sapkota i in., 2021; Vatin i in., 2024; Wrzaszcz i Wigier, 2024). Przyjęte w niniejszym opracowaniu warianty zmniejszenia zużycia nawozów wydają się odpowiadać zakresom obserwowanym w praktyce rolniczej i przywoływanym w literaturze przedmiotu.

Wartości przedstawione w tabelach 11–13 należy traktować jako scenariusze, oparte na zaleceniach nawozowych i możliwościach systemów zmiennego nawożenia. Stanowią one punkt wyjścia do wyznaczenia okresu zwrotu inwestycji w technologie precyzyjnego nawożenia.

Tabela 11. Zmniejszenie zużycia nawozów mineralnych na 1 ha uprawy przy poziomie redukcji 5% (kg)

Nawóz	Uprawa				
	pszenica ozima	pozostałe zboża	rzepak	kukurydza ziarnowa	kukurydza kiszonkowa
Mocznik	0,00	0,00	15,50	21,50	17,50
Saletra amonowa	16,50	15,00	21,00	0,00	0,00
Polifoska (lub odpowiednik)	13,02	11,50	17,00	0,00	0,00
Sól potasowa (lub odpowiednik)	0,00	0,00	7,00	10,50	15,00
Kizeryt	4,50	4,00	5,00	12,00	13,50
Fosforan amonu	0,00	0,00	0,00	12,00	8,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie Jadczyszyn i in., 2010.

Tabela 12. Zmniejszenie zużycia nawozów mineralnych na 1 ha uprawy przy poziomie redukcji 10% (kg)

Nawóz	Uprawa				
	pszenica ozima	pozostałe zboża	rzepak	kukurydza ziarnowa	kukurydza kiszonkowa
Mocznik	0,00	0,00	31,00	43,00	35,00
Saletra amonowa	33,00	30,00	42,00	0,00	0,00
Polifoska (lub odpowiednik)	26,04	23,00	34,00	0,00	0,00
Sól potasowa (lub odpowiednik)	0,00	0,00	14,00	21,00	30,00
Kizeryt	9,00	8,00	10,00	24,00	27,00
Fosforan amonu	0,00	0,00	0,00	24,00	16,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie Jadczyszyn i in., 2010.

Tabela 13. Zmniejszenie zużycia nawozów mineralnych na 1 ha uprawy przy poziomie redukcji 15% (kg)

Nawóz	Uprawa				
	pszenica ozima	pozostałe zboża	rzepak	kukurydza ziarnowa	kukurydza kiszonkowa
Mocznik	0,00	0,00	46,50	65,50	52,50
Saletra amonowa	49,50	45,00	63,00	0,00	0,00
Polifoska (lub odpowiednik)	39,06	34,50	51,00	0,00	0,00
Sól potasowa (lub odpowiednik)	0,00	0,00	21,00	31,50	45,00
Kizeryt	13,50	12,00	15,00	36,00	40,50
Fosforan amonu	0,00	0,00	0,00	36,00	24,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie Jadczyszyn i in., 2010.

W celu oszacowania zmniejszenia kosztów zużytych nawozów sztucznych konieczne było zgromadzenie informacji o ich cenach. W tabeli 14 zebrano średnie ceny nawozów z roku 2023 oraz 2025, zaczerpnięte z witryny Wielkopolskiej Izby Rolniczej (WIR, 2025). Publikuje ona regularne notowania cen środków produkcji rolniczej, w tym nawozów mineralnych, na podstawie ofert wybranych punktów sprzedaży. Dane prezentowane są w formie zestawień zawierających:

- nazwy handlowe nawozów (np. saletra amonowa, mocznik, polifoska, sól potasowa, fosforan amonu, kizeryt),
- ceny jednostkowe (najczęściej w przeliczeniu na tonę),
- wskazanie dostawcy lub punktu sprzedaży,
- zakres cenowy (od najniższej do najwyższej oferty w regionie),
- średnią arytmetyczną cen poszczególnych nawozów.

Tabela 14. Ceny za tonę wybranych nawozów w roku 2023 oraz 2025 (zł)

Nawóz	2023	2025
Mocznik	3 068,19	2 240,45
Saletra amonowa	2 634,23	1 753,86
Polifoska (lub odpowiednik)	4 295,33	2 901,00
Sól potasowa (lub odpowiednik)	2 950,00	1 550,00
Fosforan amonu	3 920,00	2 900,00
Kizeryt	2 650,00	1 370,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie WIR, 2025.

Do obliczeń wykorzystano średnie arytmetyczne ceny danego nawozu z ofert różnych podmiotów handlowych.

Na podstawie danych o zmniejszeniu zużycia nawozów (tab. 11–13) oraz cen nawozów (tab. 14) obliczono wartość, o jaką zmniejszone zostaną koszty zużytych nawozów sztucznych w zł na 1 ha. Dane te zostały przedstawione w tabelach 15–17.

Tabela 15. Zmniejszenie kosztów zużytych nawozów na 1 ha uprawy przy redukcji zużycia nawozu 5% – dane dla roku 2023 i 2025 (zł)

Rok	Uprawa				
	pszenica ozima	pozostałe zboża	rzepak	kukurydza ziarnowa	kukurydza kiszonkowa
2023	111,32	99,51	209,80	175,78	165,08
2025	72,88	65,15	138,58	115,68	104,15

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 16. Zmniejszenie kosztów nawozów na 1 ha uprawy na poziomie redukcji zużycia nawozu 10% – dane dla roku 2023 i 2025 (zł)

Rok	Uprawa				
	pszenica ozima	pozostałe zboża	rzepak	kukurydza ziarnowa	kukurydza kiszonkowa
2023	222,64	199,02	419,59	351,56	330,16
2025	145,75	130,30	277,15	231,37	208,31

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 17. Zmniejszenie kosztów nawozów na 1 ha uprawy na poziomie redukcji zużycia nawozu 15% – dane dla roku 2023 i 2025 (zł)

Rok	Uprawa				
	pszenica ozima	pozostałe zboża	rzepak	kukurydza ziarnowa	kukurydza kiszonkowa
2023	333,96	298,53	629,39	527,34	495,23
2025	218,63	195,45	415,73	347,05	312,46

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych zestawionych w tabelach 15–17 wyliczono całkowite zmniejszenie kosztów zużytych nawozów dla gospodarstw reprezentujących poszczególne klasy wielkości ekonomicznej – wartości zostały pomnożone przez powierzchnię poszczególnych upraw (tab. 9).

Powyższe obliczenia pozwalają stwierdzić, o jaką wartość mogą zostać zmniejszone koszty nawozów sztucznych przy zastosowaniu nawożenia z wykorzystaniem systemów rolnictwa precyzyjnego.

Przedstawione wyniki wskazują, że zastosowanie systemu zmiennego nawożenia może prowadzić do zauważalnego zmniejszenia kosztów zużytych nawozów, ale jego skala zależy od poziomu redukcji zużycia nawozów (na potrzeby analiz przyjęto 5%, 10% lub 15%) oraz od powierzchni upraw objętych precyzyjnym nawożeniem. W ujęciu jednostkowym (na 1 ha) zmniejszenie kosztów nawożenia jest proporcjonalne do przyjętego poziomu redukcji zużycia, natomiast w ujęciu całkowitym (na gospodarstwo) różnice między klasami wielkości ekonomicznej zwiększają się wraz z powierzchnią upraw.

Z zestawień tabelarycznych (tab. 15–17) wynika po pierwsze, że największy potencjał oszczędności jednostkowych występuje w uprawach o wysokim poziomie nawożenia i/lub dużym udziale nawozów wieloskładnikowych. Wdrażanie nawożenia precyzyjnego jest szczególnie uzasadnione w gospodarstwach, w których uprawiane są gatunki roślin wymagające intensywnego nawożenia.

Po drugie, spadek cen nawozów ogranicza możliwości redukcji kosztu ich zużycia. Oznacza to, że w okresach niższych cen nawozów ekonomiczna motywacja do inwestycji w systemy rolnictwa precyzyjnego może być słabsza, a okres zwrotu inwestycji – dłuższy. Jednocześnie należy zaznaczyć, że ceny nawozów są zmienne, dlatego ocena opłacalności powinna uwzględniać scenariusze cenowe (np. wariant ostrożny i wariant wysokich cen).

Po trzecie, dane zagregowane dla gospodarstw (tab. 18–20) wskazują, że efekt skali jest kluczowy: im większa powierzchnia upraw, tym wyższa całkowita kwota redukcji kosztów zużytych nawozów w skali roku. W gospodarstwach bardzo dużych potencjalne oszczędności rosną wielokrotnie w porównaniu z gospodarstwami małymi, co wynika bezpośrednio z większego wolumenu zużywanych nawozów. Z ekonomicznego punktu widzenia oznacza to, że technologie zmiennego dawkowania są naturalnie bardziej atrakcyjne dla gospodarstw o większej skali produkcji, ponieważ łatwiej „rozłożyć" koszt inwestycji na większą liczbę hektarów.

Po czwarte, należy podkreślić, że przedstawione wartości zmniejszenia kosztów zużytych nawozów należy interpretować jako scenariusze teoretyczne, oparte na zalecanych dawkach nawożenia, założonych plonach docelowych oraz przyjętych poziomach redukcji zużycia (5–15%). W praktyce efekt kosztowy może być zarówno niższy, jak i wyższy, m.in. zależnie od zmienności siedliskowej pól, jakości map aplikacyjnych, trafności kalibracji sprzętu, rzeczywistego poziomu zasobności gleb, warunków pogodowych oraz dyscypliny technologicznej w gospodarstwie.

Tabela 18. Całkowite zmniejszenie kosztów zużytych nawozów dla gospodarstw o różnej wielkości ekonomicznej przy poziomie redukcji zużycia nawozów 5% – dane dla roku 2023 i 2025 (zł)

Uprawa	Rok	Wielkość gospodarstwa					
		bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
Wszystkie uprawy	2023	931,46	1 623,55	2 984,82	5 290,52	10 836,21	93 008,32
	2025	601,83	1 051,99	1 931,00	3 425,70	7 055,51	60 594,37

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 19. Całkowite zmniejszenie kosztów nawozów na gospodarstwo według powierzchni z FADN przy poziomie redukcji 10% – dane dla roku 2023 i 2025 (zł)

Uprawa	Rok	Wielkość gospodarstwa					
		bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
Wszystkie uprawy	2023	1 862,92	3 247,10	5 969,64	10 581,05	21 672,41	186 016,64
	2025	1 203,66	2 103,98	3 862,01	6 851,39	14 111,03	121 188,73

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 20. Całkowite zmniejszenie kosztów nawozów na gospodarstwo według powierzchni z FADN przy poziomie redukcji 15% – dane dla roku 2023 i 2025 (zł)

Uprawa	Rok	Wielkość gospodarstwa					
		bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
Wszystkie uprawy	2023	2 794,37	4 870,65	8 954,45	15 871,57	32 508,62	279 024,96
	2025	1 805,49	3 155,97	5 793,01	10 277,09	21 166,54	181 783,10

Źródło: opracowanie własne.

Warto również zauważyć, że w analizie skoncentrowano się na redukcji kosztów zużytych nawozów, pomijając koszty wykonywania zabiegów (czas pracy, paliwo, organizacja prac), co z jednej strony upraszcza porównania, ale z drugiej ogranicza pełną ocenę ekonomiczną. W praktyce wdrożenie nawożenia zmiennego może powodować także efekty pośrednie: lepsze dopasowanie dawki może stabilizować plon lub poprawiać jego jakość, a także zmniejszać ryzyko strat składników i presję środowiskową. Te elementy – choć trudniejsze do wyceny – mogą mieć znaczenie dla całościowej opłacalności.

Należy mieć na uwadze, że niezależnie od klasy wielkości ekonomicznej gospodarstwa przyjęto jednakowe dawki nawożenia na 1 ha, a także tę samą

strukturę upraw. W efekcie uzyskane wyniki przedstawiają przede wszystkim mechanizm wpływu redukcji zużycia nawozów na koszty oraz znaczenie skali gospodarstwa, natomiast nie odzwierciedlają zróżnicowania technologii nawożenia między gospodarstwami (np. większej intensywności nawożenia w gospodarstwach wyspecjalizowanych lub różnic regionalnych). Uogólnianie wyników jest zatem zasadne głównie w zakresie: (1) relacji „procent redukcji => zmniejszenie kosztów", (2) znaczenia efektu skali, (3) wrażliwości na zmiany cen nawozów sztucznych.

Na podstawie wyników analiz można sformułować zalecenia dotyczące:

- priorytetyzacji upraw o najwyższym potencjale oszczędności – wdrażanie zmiennego nawożenia jest szczególnie uzasadnione w gospodarstwach z większym udziałem gatunków roślin wymagających intensywnego nawożenia (np. rzepak);
- weryfikacji zasadności inwestycji w zależności od cen nawozów – ponieważ wartość zmniejszenia kosztów zużytych nawozów spada wraz z obniżką ich cen, rekomenduje się prowadzenie oceny inwestycji w ujęciu scenariuszowym (np. lata niskich vs. wysokich cen), a także aktualizację kalkulacji w kolejnych sezonach;
- doboru technologii do skali gospodarstwa – w gospodarstwach mniejszych zakup pełnego zestawu może być mniej opłacalny; alternatywą może być: współdzielenie sprzętu, korzystanie z usług zewnętrznych (np. wykonywanie map i aplikacji) lub etapowe wdrażanie (najpierw mapowanie i doradztwo, później sprzęt);
- nacisku na jakość danych i kompetencje użytkownika – efekt ekonomiczny zależy od poprawności map aplikacyjnych, kalibracji rozsiewacza i konsekwentnej realizacji zaleceń; potrzebne są szkolenia oraz testy wdrożeniowe na wybranych polach przed pełnym skalowaniem;
- uzupełnienie analiz o efekty pozakosztowe – w kolejnych etapach badań warto uwzględnić wpływ nawożenia precyzyjnego na plon i jego jakość oraz na bilans składników (a także ewentualne korzyści środowiskowe), gdyż mogą one istotnie wzmacniać argumenty za wdrożeniem technologii, nawet w okresach niższych cen nawozów.

4.2. Okres zwrotu inwestycji w system zmiennego nawożenia

W tym podrozdziale przedstawiono analizy okresu zwrotu inwestycji w system zmiennego nawożenia dla gospodarstw rolnych różnych klas wielkości ekonomicznej.

Okres zwrotu inwestycji wyznaczono przy następujących założeniach:

- wartość inwestycji obejmuje koszty wdrożenia systemu zmiennego nawożenia oraz jego eksploatacji (rys. 9),
- dla gospodarstw rolnych reprezentujących poszczególne klasy wielkości ekonomicznej przyjęto powierzchnie upraw zgodnie z założeniami z tabeli 9,
- zwrot inwestycji następuje w wyniku zmniejszenia kosztu zużytych nawozów sztucznych; kwotę, o którą pomniejszone zostały koszty nawozów, wyznaczono na podstawie redukcji ich zużycia na poziomie 5%, 10% i 15% (tab. 11, 12 i 13) oraz cen nawozów w latach 2023 i 2025 (tab. 14),
- inwestycja polega na zakupie nowego rozsiewacza nawozów wyposażonego w system zmiennego dawkowania nawozów oraz system nawigacji rolniczej,
- inwestycja zostanie sfinansowana ze środków własnych gospodarstwa, a w analizie pominięto zmiany wartości pieniądza w czasie, ponieważ wielkość przyszłych redukcji kosztów będzie w decydującym stopniu zależna od zmian cen nawozów.

Okres zwrotu inwestycji został obliczony przy założeniu, że „jest to czas niezbędny do odzyskania początkowych nakładów wydatkowanych na realizację zamierzenia inwestycyjnego z osiąganych w okresie eksploatacji nadwyżek finansowych" (Ciborowski i in., 2001). Ogólna formuła na wyznaczenie okresu zwrotu inwestycji (Ciborowski i in., 2001) to:

$$T = \frac{M - R}{G}$$

gdzie:

M – wartość zainwestowanego kapitału,

R – wartość końcowa projektu,

G – wartość przepływów netto z inwestycji w danym roku.

Wartość przepływów netto w przypadku inwestycji w system zmiennego nawożenia będzie stanowiła wartość zmniejszenia kosztów zużytych nawozów sztucznych w ciągu roku pomniejszoną o koszty serwisu oraz koszty abonamentu wg wzoru:

$$G = R_k - K_s - K_a$$

gdzie:

G – przepływy netto,
R_k – zmniejszenie kosztu zużytych nawozów w danym roku,
K_s – roczny koszt serwisu,
K_a – roczny koszt abonamentu.

Wyznaczono również formułę do obliczenia minimalnej powierzchni nawożonej w gospodarstwie rolnym, która zapewni zwrot z inwestycji przy zakładanej liczbie lat użytkowania. Wykorzystując ogólną formułę do obliczenia okresu zwrotu inwestycji, umieszczono w mianowniku wzór na przepływy netto (G) analizowanej inwestycji:

$$T = \frac{M - R}{R_k - K_s - K_a}$$

Zmniejszenie kosztu zużytych nawozów (R_k) można przedstawić jako:

$$R_k = Z \cdot x$$

gdzie:

Z – zmniejszenie kosztów zużytych nawozów na 1 ha w danym roku,
x – powierzchnia upraw poddana nawożeniu, w hektarach.

Koszty abonamentu (K_a) usługi satelitarnego monitoringu pól można przedstawić jako iloczyn stawki abonamentu na 1 hektar i powierzchni upraw poddanych nawożeniu w hektarach:

$$K_a = A \cdot x$$

gdzie:

K_a – roczny koszt abonamentu,
A – roczny abonament na 1 hektar,
x – powierzchnia upraw poddana nawożeniu, w hektarach.

Zatem wartość przepływów netto z inwestycji w danym roku może być wyrażona jako:

$$G = Z \cdot x - K_s - A \cdot x$$

Podstawiając tę formułę do ogólnego wzoru na okres zwrotu inwestycji, uzyskujemy:

$$T = \frac{M - R}{Z \cdot x - K_s - A \cdot x}$$

Wykonując dalsze przekształcenia, możemy wyznaczyć formułę, która pozwoli obliczyć, jaka liczba hektarów poddanych nawożeniu z wykorzystaniem systemu zmiennego dawkowania zapewni zwrot inwestycji w zakładanym czasie:

$$T = \frac{M - R}{Z \cdot x - A \cdot x - K_s}$$

$$T = \frac{M - R}{x(Z - A) - K_s}$$

$$T \cdot (x(Z - A) - K_s) = M - R$$

$$x(Z - A) - K_s = \frac{M - R}{T}$$

$$x(Z - A) = \frac{M - R}{T} + K_s$$

$$x = \frac{\frac{M - R}{T} + K_s}{Z - A}$$

Przy założeniu, że redukcja zużycia nawozów sztucznych osiągnie 5%, kalkulacja z wyliczeniami dotyczącymi okresu zwrotu została przedstawiona w tabelach 21 (dla roku 2023) i 22 (dla roku 2025). Dla gospodarstwa bardzo dużego okres zwrotu w 2023 r. został wyznaczony na 2,67 lat, dla gospodarstwa dużego okres ten wyniósł 150,91 lat (tab. 21). Natomiast w 2025 r. okres zwrotu inwestycji dla gospodarstwa bardzo dużego wyniósł 3,77 (tab. 22). Oznacza to, że w badanych latach okres zwrotu inwestycji wydłużył się, co wynika ze spadku cen nawozów sztucznych. Dla gospodarstw mniejszych roczne przepływy netto

Tabela 21. Okres zwrotu inwestycji przy zmniejszeniu zużycia nawozów na poziomie 5% w 2023 r. (dane w jednostkach pieniężnych podano w tys. zł)

Wyszczególnienie	Wielkość gospodarstwa					
	bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
Wartość inwestycji (*M*)	90,72	98,72	105,72	146,70	150,70	200,70
Wartość rezydualna (*R*)	6,50	7,30	8,00	8,40	8,80	13,80
Roczny koszt serwisu (K_s)	6,50	7,30	8,00	8,40	8,80	13,80
Roczny koszt abonamentu na 1 ha (*A*)	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Zmniejszenie kosztów nawożenia na 1 ha (*Z*)	0,130	0,134	0,137	0,140	0,139	0,141
Powierzchnia upraw (ha) poddana nawożeniu (*x*)	7,14	12,14	21,77	37,73	77,89	661,24
Roczny koszt abonamentu ($K_a = A \cdot x$)	0,10	0,17	0,30	0,53	1,09	9,26
Zmniejszenie kosztów nawozów (R_k)	0,93	1,62	2,98	5,29	10,83	92,96
Okres zwrotu (*T*)						
Inwestycja ($M - R$)	84,22	91,42	97,72	138,30	141,90	186,90
Przepływy netto ($R_k - K_s - K_a$)	–5,67	–5,85	–5,32	–3,64	0,94	69,90
$T = (M - R)/(R_k - K_s - K_a)$	x	x	x	x	150,91	2,67
Minimalna powierzchnia upraw przy zakładanym okresie zwrotu = 10 lat						
Powierzchnia (ha)	128,15	137,36	144,41	176,19	183,84	256,67

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 22. Okres zwrotu inwestycji przy zmniejszeniu zużycia nawozów na poziomie 5% w 2025 r. (dane w jednostkach pieniężnych podano w tys. zł)

Wyszczególnienie	Wielkość gospodarstwa					
	bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
1	2	3	4	5	6	7
Wartość inwestycji (*M*)	92,07	98,94	112,09	134,17	136,82	151,67
Wartość rezydualna (*R*)	6,48	7,17	8,48	9,69	9,95	11,44
Roczny koszt serwisu (K_s)	6,48	7,17	8,48	9,69	9,95	11,44
Roczny koszt abonamentu na 1 ha (*A*)	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Zmniejszenie kosztów nawożenia na 1 ha (*Z*)	0,084	0,087	0,089	0,091	0,092	0,093
Powierzchnia upraw (ha) poddana nawożeniu (*x*)	6,99	11,85	21,93	38,06	76,71	668,30
Roczny koszt abonamentu ($K_a = A \cdot x$)	0,14	0,24	0,44	0,76	1,53	13,37
Zmniejszenie kosztów nawozów (R_k)	0,59	1,03	1,95	3,45	7,02	62,04

Tabela 22 – cd.

1	2	3	4	5	6	7
Okres zwrotu (T)						
Inwestycja ($M - R$)	85,60	91,77	103,61	124,48	126,87	140,23
Przepływy netto ($R_k - K_s - K_a$)	–6,03	–6,38	–6,97	–7,00	–4,46	37,24
$T = (M - R)/(R_k - K_s - K_a)$	x	x	x	x	x	3,77
Minimalna powierzchnia upraw przy zakładanym okresie zwrotu = 10 lat						
Powierzchnia (ha)	236,03	245,49	273,84	313,24	316,42	349,52

Źródło: opracowanie własne.

z wdrożenia rolnictwa systemu zmiennego dawkowania nawozu są ujemne, dlatego nie wyznaczono okresu zwrotu. Ujemna wartość przepływów netto wynika z wysokich kosztów serwisu sprzętu, które przewyższają wartość zmniejszenia kosztów zużytych nawozów.

Zwrot dla wyceny inwestycji w wariancie 1 i przy redukcji zużycia nawozów na poziomie 10%

Obliczenia dotyczące zmniejszenia zużycia nawozów o 10% przedstawiono w tabelach 23 i 24. Dla takiej opcji przewidywany okres zwrotu w 2023 r. w przypadku bardzo dużych gospodarstw wynosi rok, a dla dużych – 12 lat. Minimalna powierzchnia upraw, która zapewnia zwrot inwestycji w ciągu 10 lat w bardzo dużych gospodarstwach, to 122 ha. W przypadku gospodarstw dużych jest to 87 ha (tab. 23). Średnio-duże gospodarstwa musiałyby dysponować powierzchnią 83 ha, by inwestycja była opłacalna (tab. 23). W 2025 r. zwiększył się okres zwrotu inwestycji dla bardzo dużych gospodarstw, który wyniósł 1,41 roku (tab. 24). Dla gospodarstw mniejszych roczne przepływy netto z wdrożenia systemu zmiennego dawkowania nawozu są ujemne, dlatego nie wyznaczono okresu zwrotu (tab. 24). Minimalna powierzchnia upraw, która zapewnia zwrot inwestycji w ciągu 10 lat w bardzo dużych gospodarstwach, to 154 ha. Dla gospodarstw dużych jest to 139 ha (tab. 24).

Przy założeniu redukcji zużycia nawozów na poziomie 15% (tab. 25 i 26) zwrot inwestycji w 2023 r. w przypadku bardzo dużych gospodarstw wyniesie mniej niż rok, a duże gospodarstwa osiągną zwrot już po 6 latach. W przypadku mniejszych gospodarstw rolnych okres zwrotu przekracza 10 lat. Minimalna powierzchnia, jaką muszą dysponować bardzo duże gospodarstwa, by po 10 latach

Tabela 23. Okres zwrotu inwestycji przy zmniejszeniu zużycia nawozów na poziomie 10% w 2023 r. (dane w jednostkach pieniężnych podano w tys. zł)

Wyszczególnienie	Wielkość gospodarstwa					
	bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
Wartość inwestycji (M)	90,72	98,72	105,72	146,70	150,70	200,70
Wartość rezydualna (R)	6,50	7,30	8,00	8,40	8,80	13,80
Roczny koszt serwisu (K_s)	6,50	7,30	8,00	8,40	8,80	13,80
Roczny koszt abonamentu na 1 ha (A)	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Zmniejszenie kosztów nawożenia na 1 ha (Z)	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28
Powierzchnia upraw (ha) poddana nawożeniu (x)	7,14	12,14	21,77	37,73	77,89	661,24
Roczny koszt abonamentu ($K_a = A \cdot x$)	0,10	0,17	0,30	0,53	1,09	9,26
Zmniejszenie kosztów nawozów (R_k)	1,86	3,25	5,97	10,58	21,66	185,92
Okres zwrotu (T)						
Inwestycja ($M - R$)	84,22	91,42	97,72	138,30	141,90	186,90
Przepływy netto ($R_k - K_s - K_a$)	–4,74	–4,22	–2,34	1,65	11,77	162,86
$T = (M - R)/(R_k - K_s - K_a)$	x	x	x	83,87	12,06	1,15
Minimalna powierzchnia upraw przy zakładanym okresie zwrotu = 10 lat						
Powierzchnia (ha)	60,44	64,89	68,32	83,47	87,05	121,61

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 24. Okres zwrotu inwestycji przy zmniejszeniu zużycia nawozów na poziomie 10% w 2025 r. (dane w jednostkach pieniężnych podano w tys. zł)

Wyszczególnienie	Wielkość gospodarstwa					
	bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
1	2	3	4	5	6	7
Wartość inwestycji (M)	92,07	98,94	112,09	134,17	136,82	151,67
Wartość rezydualna (R)	6,48	7,17	8,48	9,69	9,95	11,44
Roczny koszt serwisu (K_s)	6,48	7,17	8,48	9,69	9,95	11,44
Roczny koszt abonamentu na 1 ha (A)	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Zmniejszenie kosztów nawożenia na 1 ha (Z)	0,167	0,173	0,178	0,181	0,183	0,186
Powierzchnia upraw (ha) poddana nawożeniu (x)	6,99	11,85	21,93	38,06	76,71	668,30
Roczny koszt abonamentu ($K_a = A \cdot x$)	0,14	0,24	0,44	0,76	1,53	13,37
Zmniejszenie kosztów nawozów (R_k)	1,17	2,05	3,89	6,90	14,04	124,09

Tabela 24 – cd.

1	2	3	4	5	6	7
Okres zwrotu (T)						
Inwestycja ($M - R$)	85,60	91,77	103,61	124,48	126,87	140,23
Przepływy netto ($R_k - K_s - K_a$)	–5,45	–5,35	–5,02	–3,55	2,56	99,29
$T = (M - R)/(R_k - K_s - K_a)$	x	x	x	x	x	1,41
Minimalna powierzchnia upraw przy zakładanym okresie zwrotu = 10 lat						
Powierzchnia (ha)	102,01	106,71	119,55	137,20	138,81	153,67

Źródło: opracowanie własne.

osiągnąć zakładany zwrot, to 80 ha. Dla gospodarstw dużych i średnio-dużych ta powierzchnia musi wynosić 55–57 ha. Mniejsze gospodarstwa powinny dysponować areałem nieosiągalnym dla swojej kategorii wielkości (tab. 25). Natomiast w 2025 r. okres zwrotu inwestycji w odniesieniu do gospodarstw bardzo dużych wyniósł niespełna 1 rok, a dużych – 13 lat. Zaś w przypadku mniejszych gospodarstw rolnych roczne przepływy netto z wdrożenia rolnictwa systemu zmiennego dawkowania nawozu są ujemne, dlatego nie wyznaczono okresu zwrotu (tabela 26). Minimalna powierzchnia, jaką muszą dysponować bardzo duże gospodarstwa, by po 10 latach osiągnąć zakładany zwrot, to 98 ha. Dla gospodarstw dużych i średnio-dużych obliczono, że powierzchnia musi wynosić około 88–89 ha. Mniejsze gospodarstwa powinny dysponować areałem nieosiągalnym dla swojej kategorii wielkości (tab. 26).

Tabela 25. Okres zwrotu inwestycji przy zmniejszeniu zużycia nawozów na poziomie 15% w 2023 r. (dane w jednostkach pieniężnych podano w tys. zł)

Wyszczególnienie	Wielkość gospodarstwa					
	bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
1	2	3	4	5	6	7
Wartość inwestycji (M)	90,72	98,72	105,72	146,70	150,70	200,70
Wartość rezydualna (R)	6,50	7,30	8,00	8,40	8,80	13,80
Roczny koszt serwisu (K_s)	6,50	7,30	8,00	8,40	8,80	13,80
Roczny koszt abonamentu na 1 ha (A)	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Zmniejszenie kosztów nawożenia na 1 ha (Z)	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42

Tabela 25 – cd.

1	2	3	4	5	6	7
Powierzchnia upraw (ha) poddana nawożeniu (x)	7,14	12,14	21,77	37,73	77,89	661,24
Roczny koszt abonamentu ($K_a = A \cdot x$)	0,10	0,17	0,30	0,53	1,09	9,26
Zmniejszenie kosztów nawozów (R_k)	2,79	4,87	8,95	15,87	32,49	278,87
Okres zwrotu (T)						
Inwestycja ($M - R$)	84,22	91,42	97,72	138,30	141,90	186,90
Przepływy netto ($R_k - K_s - K_a$)	–3,81	–2,60	0,65	6,94	22,60	255,82
$T = (M - R)/(R_k - K_s - K_a)$	x	x	151,03	19,94	6,28	0,73
Minimalna powierzchnia upraw przy zakładanym okresie zwrotu = 10 lat						
Powierzchnia (ha)	39,55	42,47	44,74	54,69	57,03	79,68

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 26. Okres zwrotu inwestycji przy zmniejszeniu zużycia nawozów na poziomie 15% w 2025 r. (dane w jednostkach pieniężnych podano w tys. zł)

Wyszczególnienie	Wielkość gospodarstwa					
	bardzo małe	małe	średnio-małe	średnio-duże	duże	bardzo duże
Wartość inwestycji (M)	92,07	98,94	112,09	134,17	136,82	151,67
Wartość rezydualna (R)	6,48	7,17	8,48	9,69	9,95	11,44
Roczny koszt serwisu (K_s)	6,48	7,17	8,48	9,69	9,95	11,44
Roczny koszt abonamentu na 1 ha (A)	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Zmniejszenie kosztów nawożenia na 1 ha (Z)	0,251	0,260	0,266	0,272	0,275	0,279
Powierzchnia upraw (ha) poddana nawożeniu (x)	6,99	11,85	21,93	38,06	76,71	668,30
Roczny koszt abonamentu ($K_a = A \cdot x$)	0,14	0,24	0,44	0,76	1,53	13,37
Zmniejszenie kosztów nawozów (R_k)	1,76	3,08	5,84	10,35	21,07	186,13
Okres zwrotu (T)						
Inwestycja ($M - R$)	85,60	91,77	103,61	124,48	126,87	140,23
Przepływy netto ($Rk - K_s - K_a$)	–4,86	–4,32	–3,08	–0,10	9,58	161,33
$T = (M - R)/(Rk - K_s - K_a)$	x	x	x	x	13,24	0,87
Minimalna powierzchnia upraw przy zakładanym okresie zwrotu = 10 lat						
Powierzchnia (ha)	65,06	68,18	76,46	87,84	88,90	98,48

Źródło: opracowanie własne.

W bieżącym rozdziale omówiono znaczenie rolnictwa precyzyjnego jako kierunku rozwoju współczesnych systemów produkcji rolniczej oraz jego potencjał w zakresie poprawy efektywności ekonomicznej i ograniczania presji środowiskowej. Podkreślono, że technologie cyfrowe umożliwiają monitorowanie procesów produkcyjnych i podejmowanie decyzji na podstawie danych, co sprzyja racjonalizacji wykorzystania środków produkcji, w tym nawozów mineralnych.

Celem badań było określenie potencjału redukcji kosztów oraz możliwego zwrotu inwestycji związanej z wdrożeniem rozwiązań rolnictwa precyzyjnego w gospodarstwach rolnych, ze szczególnym uwzględnieniem systemu zmiennego dawkowania nawozów. Przedmiotem analizy była inwestycja obejmująca zakup rozsiewacza z funkcją zmiennej dawki, wyposażenie w nawigację oraz koszty związane z użytkowaniem systemu (serwis i abonament narzędzia satelitarnego do tworzenia map aplikacyjnych). Przyjęto 10-letni okres użytkowania oraz wartość rezydualną sprzętu na poziomie 10% wartości początkowej.

Do oszacowania kosztów oraz parametrów gospodarstw wykorzystano dane FADN dla Polski (2021 i 2023), co pozwoliło powiązać skalę inwestycji z klasą wielkości ekonomicznej gospodarstwa. W analizie przyjęto uproszczoną, uśrednioną strukturę zasiewów. Wskazano jednocześnie, że rzeczywista struktura zasiewów zależy od skali i specjalizacji gospodarstwa, a przyjęte uśrednienia należy traktować jako założenie, które ułatwia porównywanie wyników między klasami wielkości ekonomicznej.

Na podstawie zaleceń nawozowych IUNG-PIB oraz założonych plonów referencyjnych określono dawki nawozów dla pięciu kluczowych upraw. Następnie – bazując na przeglądzie literatury i konsultacjach – przyjęto trzy scenariusze redukcji zużycia nawozów dzięki technologii zmiennego dawkowania: 5%, 10% oraz 15%. Wykazano wrażliwość efektu ekonomicznego na poziom cen nawozów – niższe ceny w 2025 r. przełożyły się na obniżenie kosztów zużytych nawozów w porównaniu do 2023 r.

Przeprowadzone analizy potwierdziły silny **efekt skali**: im większa powierzchnia upraw poddanych nawożeniu precyzyjnemu, tym wyższa wartość całkowitego zmniejszenia kosztów zużytych nawozów. To z kolei bezpośrednio wpływa na możliwość osiągnięcia dodatnich przepływów netto po uwzględnieniu kosztów serwisu i abonamentu. W wariancie redukcji 5% w 2023 r. dodatnie przepływy netto uzyskano dopiero w gospodarstwach dużych i bardzo dużych, przy czym okres zwrotu był skrajnie długi dla gospodarstw dużych, a relatywnie krótki dla bardzo dużych. W 2025 r., wskutek spadku cen nawozów, okres zwrotu dodatkowo się wydłużył, a dla większości klas (poza bardzo dużymi) przepływy netto pozostawały ujemne.

W wariancie redukcji 10% inwestycja staje się bardziej uzasadniona ekonomicznie: w 2023 r. bardzo duże gospodarstwa mogą osiągnąć zwrot inwestycji po około roku, a duże – w horyzoncie zbliżonym do okresu użytkowania, tj. 10 lat. Natomiast w 2025 r. opłacalność pogorszyła się i dodatnie przepływy netto utrzymywały się głównie w gospodarstwach o największej skali. W wariancie redukcji 15% okres zwrotu uległ dalszemu skróceniu.

Dodatkowym wynikiem analizy było wyznaczenie minimalnej powierzchni upraw poddanych nawożeniu, która umożliwia uzyskanie zwrotu inwestycji w przyjętym horyzoncie 10 lat. Opłacalność wdrożenia systemu zmiennego nawożenia w modelu zakupu własnego sprzętu jest w największym stopniu osiągalna dla gospodarstw dużych i bardzo dużych, natomiast w gospodarstwach małych i średnich może wymagać alternatywnych rozwiązań organizacyjnych, np. wspólnego użytkowania maszyn.

W rozdziale podkreślono także ograniczenia przeprowadzonej analizy. Kluczowe z nich to: jednakowa struktura zasiewów we wszystkich klasach wielkości ekonomicznej gospodarstw rolnych, przyjęcie jednakowych dawek nawozów niezależnie od klasy gospodarstwa oraz pominięcie wpływu zasobności gleb, zróżnicowania plonów i kosztów wykonywania zabiegów nawożenia. W efekcie wyniki należy traktować jako scenariusze ilustrujące zależności między redukcją zużycia nawozów, cenami oraz skalą gospodarstwa, a nie jako bezpośrednie odzwierciedlenie sytuacji każdego gospodarstwa w danej klasie.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że system zmiennego nawożenia może istotnie ograniczać koszty nawożenia, jednak jego opłacalność jest silnie zależna od warunków rynkowych (ceny nawozów), poziomu możliwej redukcji zużycia oraz skali gospodarstwa. Potencjał ekonomiczny analizowanej inwestycji rośnie wraz z powierzchnią upraw poddanych precyzyjnemu nawożeniu.

5. POSTRZEGANIE I PERSPEKTYWY ROZWOJU ROLNICTWA PRECYZYJNEGO WŚRÓD ROLNIKÓW

5.1. Metodyka badań i charakterystyka grupy docelowej

Zagadnienia dotyczące promocji rolnictwa precyzyjnego wśród rolników zostały omówione na podstawie danych pochodzących z wywiadów online (CAWI[13]). Metoda ta polega na udostępnieniu formularza elektronicznego respondentom, którzy następnie samodzielnie udzielają odpowiedzi (Mącik, 2014). Celem badania było określenie poziomu świadomości i znajomości rolnictwa precyzyjnego w grupie rolników, a także identyfikacja możliwości i wyzwań, które mogą determinować jego rozwój, na postawie opinii rolników. Szczególny nacisk położono na postrzeganie przez rolników korzyści z wdrożenia rolnictwa precyzyjnego.

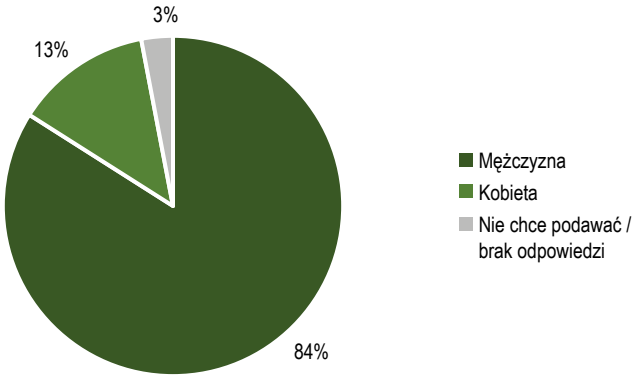
Kwestionariusz do badania składał się z 15 pytań dotyczących rolnictwa precyzyjnego oraz metryczki. Został on podzielony na kilka bloków tematycznych. W pierwszej części zgromadzono informacje dotyczące charakterystyki respondentów oraz stopnia znajomości rolnictwa precyzyjnego w badanej grupie. Kolejny blok dotyczył identyfikacji pozytywnych i negatywnych opinii na temat analizowanych rozwiązań. Następnie respondenci zostali poproszeni o wskazanie marek dostawców technologii rolnictwa precyzyjnego oraz o uszeregowanie kluczowych wyróżników rolnictwa precyzyjnego pod względem ważności. W badaniu uwzględniono również zagadnienia istotne z perspektywy komunikacji marketingowej, w tym sposoby pozyskiwania informacji przez rolników oraz wykorzystywane przez nich kanały komunikacji. Ostatnia część ankiety

[13] CAWI – computer assisted web interviews.

obejmowała pytania dotyczące planów inwestycyjnych związanych z wdrażaniem rozwiązań rolnictwa precyzyjnego.

Badania terenowe prowadzono w roku 2023 i 2025. Formularz został rozpowszechniony przez internetowe fora rolnicze, grupy branżowe na portalach społecznościowych oraz grupy tematyczne dotyczące rolnictwa w serwisie społecznościowym Facebook. Taka forma rozpowszechnienia miała zapewnić dotarcie do zróżnicowanej grupy respondentów.

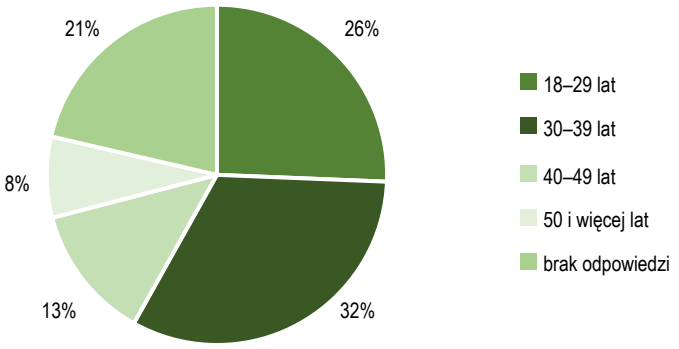
Badanie było anonimowe i wzięło w nim udział 119 osób, głównie właściciele oraz pracownicy gospodarstw rolnych. Z całości próby badawczej 84% respondentów stanowili mężczyźni, 13% kobiety, a 3% nie podało płci (rys. 10).



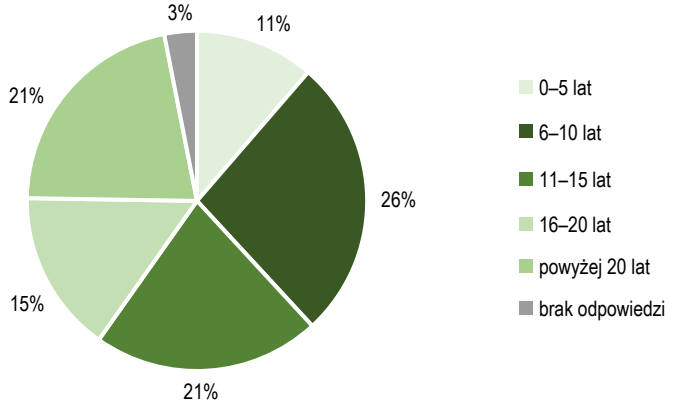
Rys. 10. Podział respondentów wg płci
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

Najliczniejszą grupę stanowiły osoby w wieku 30–39 lat (32%) oraz 18–29 lat (26%), co łącznie daje 58% wszystkich badanych. Udział respondentów w wieku 50 lat i więcej wyniósł jedynie 8% (rys. 11).

Większość badanych ma znaczące doświadczenie zawodowe w rolnictwie (rys. 12). Najliczniejszą grupę stanowili rolnicy z doświadczeniem przekraczającym 10 lat, co wskazuje na ich długotrwałą obecność w sektorze oraz styczność z różnymi warunkami produkcyjnymi i rynkowymi. Nieco mniejszy odsetek stanowiły osoby z doświadczeniem 5–10 lat, natomiast najmniej liczną grupą byli respondenci prowadzący działalność rolniczą krócej niż 5 lat. Oznacza to, że badanie objęło zarówno rolników o wieloletnim stażu, jak i osoby na wcześniejszym etapie rozwoju gospodarstwa. Okres funkcjonowania respondenta w sektorze rolnym oraz ekspozycji na zmieniające się warunki technologiczne,



Rys. 11. Wiek respondentów
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

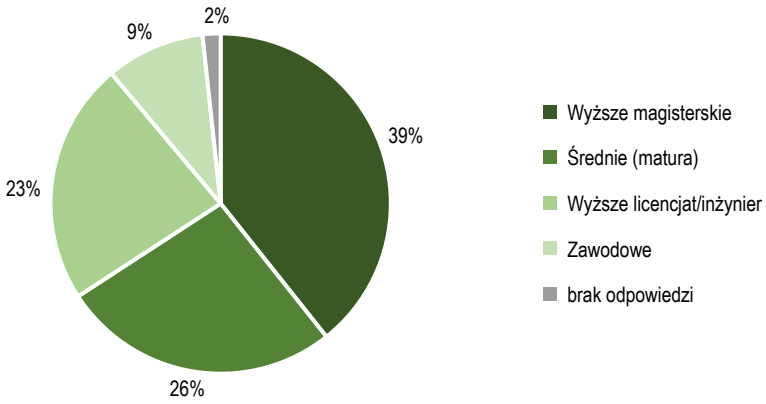


Rys. 12. Doświadczenie respondentów w sektorze rolniczym
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

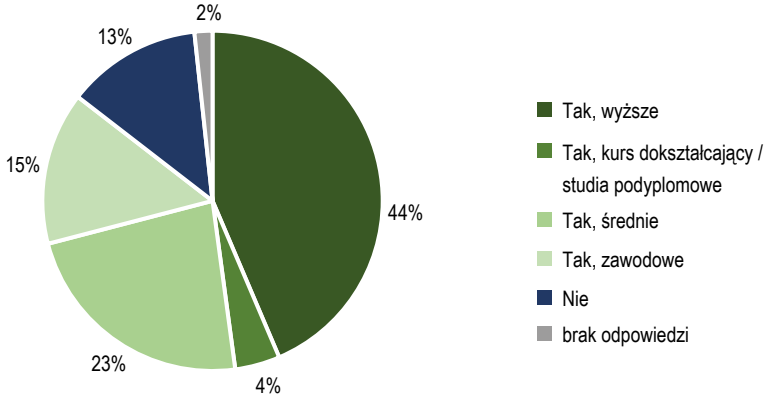
organizacyjne i rynkowe może wpływać na postrzeganie i ocenę rozwiązań rolnictwa precyzyjnego.

Na rysunku 13 przedstawiono poziom wykształcenia respondentów. W grupie tej przeważają osoby z wykształceniem średnim i wyższym. Osoby z wykształceniem zasadniczym zawodowym stanowiły niewielki odsetek, co wpisuje się w trend podnoszenia kwalifikacji wśród producentów rolnych.

Z kolei dane przedstawione na rysunku 14 wskazują, że większość respondentów mała wykształcenie kierunkowe rolnicze – zarówno średnie, jak i wyższe.



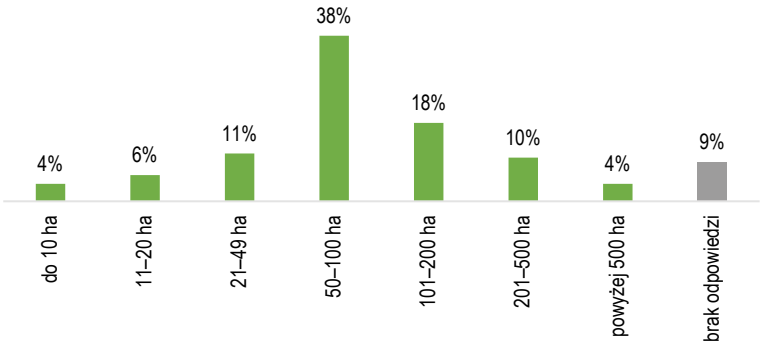
Rys. 13. Wykształcenie respondentów
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.



Rys. 14. Posiadanie kierunkowego wykształcenia rolniczego wśród respondentów
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

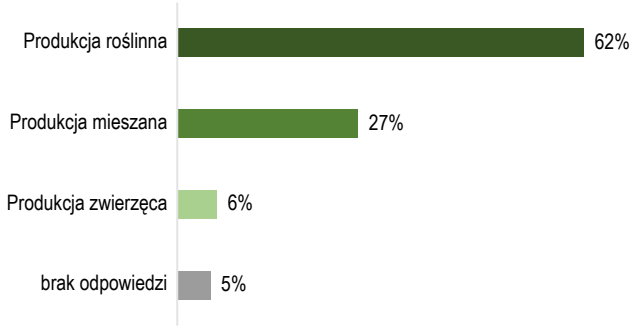
Niewielka część badanych nie miała formalnego wykształcenia rolniczego, co jednak nie przekreśla ich praktycznych kompetencji.

Na rysunku 15 przedstawiono rozkład gospodarstw rolnych pod względem powierzchni użytków rolnych. W badaniu uczestniczyli właściciele zarówno małych gospodarstw (do 10 ha), jak i dużych – powyżej 100 ha. Najliczniejszą grupę stanowiły gospodarstwa o powierzchni 20–50 ha, co odzwierciedla dominujący w Polsce model gospodarstwa rodzinnego.



Rys. 15. Wielkość gospodarstwa rolnego
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

Profil działalności badanych gospodarstw rolnych był zróżnicowany (rys. 16). Obejmował zarówno produkcję roślinną, jak i zwierzęcą, a niekiedy także działalność mieszaną.



Rys. 16. Profil gospodarstwa rolnego
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

Tabela 27 ilustruje zróżnicowanie powierzchni upraw poszczególnych roślin w gospodarstwach badanych rolników. Dominującą uprawą były zboża (średnio 111 ha) oraz kukurydza (średnio 135 ha). Mniejsze areały zajmowały uprawy rzepaku, ziemniaków, buraków i roślin strączkowych. Należy zaznaczyć, że prezentowane wartości średnie prezentowane w tabelach 27 i 28 obliczono dla całej próby badawczej (N = 119) i one obejmują zarówno gospodarstwa ukierunkowane wyłącznie na produkcję roślinną, jak i gospodarstwa prowadzące produkcję mieszaną.

Tabela 27. Powierzchnia poszczególnych upraw posiadanych przez właścicieli gospodarstwa rolnego (ha)

Uprawa	Powierzchnia		
	minimalna	maksymalna	średnia
Zboża	3	1 000	111
Kukurydza	1	2 400	135
Rzepak	0,5	1 000	85
Ziemniaki	1	200	46
Buraki	3	200	37
Rośliny strączkowe	2	100	25

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

Z kolei w tabeli 28 przedstawiono pogłowie zwierząt gospodarskich w analizowanych gospodarstwach. Średnio utrzymywano 90 krów mlecznych, 57 sztuk bydła opasowego oraz 828 sztuk trzody chlewnej, co wskazuje na duże zróżnicowanie skali produkcji zwierzęcej w badanych podmiotach. Ponadto produkcja zwierzęca była prowadzona głównie w gospodarstwach rolnych dysponujących większą powierzchnią użytków rolnych, co pozwalało na zapewnienie bazy paszowej.

Tabela 28. Pogłowie zwierząt utrzymywanych w gospodarstwach rolnych respondentów (szt.)

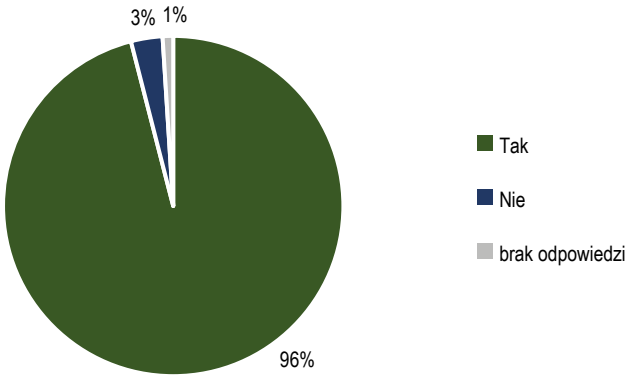
Zwierzęta gospodarskie	Pogłowie		
	najmniejsze	największe	średnie
Krowy mleczne (N = 25)	10	300	71
Bydło opasowe (N = 23)	5	280	51
Trzoda chlewna	13	3000	925

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych.

Podsumowując, badana grupa respondentów jest zróżnicowana, ale reprezentuje dobrze wykształcone środowisko rolnicze, o wysokim poziomie kompetencji i dużym doświadczeniu praktycznym. Dominują osoby młode lub w średnim wieku, z wykształceniem rolniczym oraz wieloletnim stażem w branży.

5.2. Postrzeganie rolnictwa precyzyjnego i źródła informacji

Większość respondentów deklarowała, że zna pojęcie rolnictwa precyzyjnego i potrafi wskazać jego podstawowe cechy (rys. 17). Tylko niewielka część badanych przyznała, że nie zetknęła się wcześniej z tym terminem. Wynik ten świadczy o dużej świadomości technologicznej w badanej grupie rolników, a także o skuteczności przekazu medialnego i edukacyjnego w zakresie nowoczesnych metod agrotechnicznych.



Rys. 17. Czy zna pan/pani pojęcie rolnictwo precyzyjne?
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

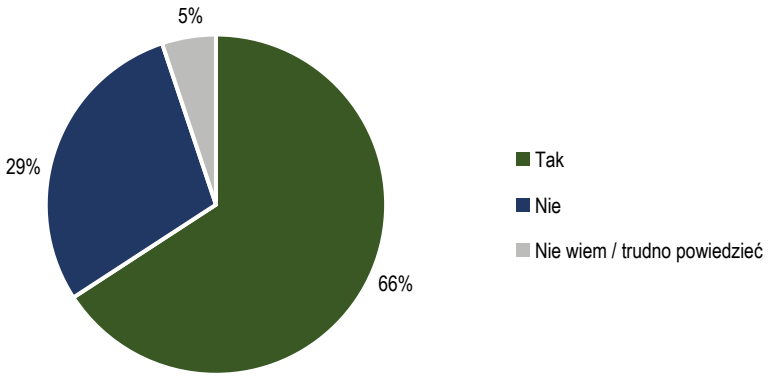
Pierwsze skojarzenia związane z rolnictwem precyzyjnym mają wśród rolników wyraźnie pozytywny i praktyczny charakter. W pytaniu otwartym poproszono uczestników badania o opisanie własnymi słowami, czym jest rolnictwo precyzyjne. Odpowiedzi były zróżnicowane, dlatego pogrupowano je w kategorie o zbliżonym znaczeniu. Najczęściej wymieniane skojarzenia należały do kategorii *dokładna aplikacja środków produkcji rolnej (nawozy, pestycydy, nasiona)* – wskazało na nią 44% respondentów (rys. 18). Drugą najpowszechniejszą kategorią skojarzeń były *ułatwienia w prowadzeniu gospodarstwa* (około 28% odpowiedzi) (rys. 17). Respondenci kojarzą rolnictwo precyzyjne przede wszystkim z dokładnym gospodarowaniem środkami produkcji (lepsze dawkowanie, unikanie strat) oraz wynikającą z tego redukcją kosztów. Inne często pojawiające się wątki to m.in. *niższe koszty* (26%), *nowoczesne maszyny* (22%), *rolnictwo oparte o dane* (15%) czy *narzędzia cyfrowe* (14%) (rys. 18). Powyższe



Rys. 18. Zagadnienia, z którymi rolnicy kojarzą rolnictwo precyzyjne (możliwe odpowiedzi wielokrotne)
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

wyniki wskazują, że w świadomości badanych rolnictwo precyzyjne jawi się przede wszystkim jako praktyczny zestaw narzędzi usprawniających zarządzanie gospodarstwem, pozwalający dokładniej prowadzić zabiegi agrotechniczne i zmniejszać zużycie środków produkcji, a tym samym obniżać koszty.

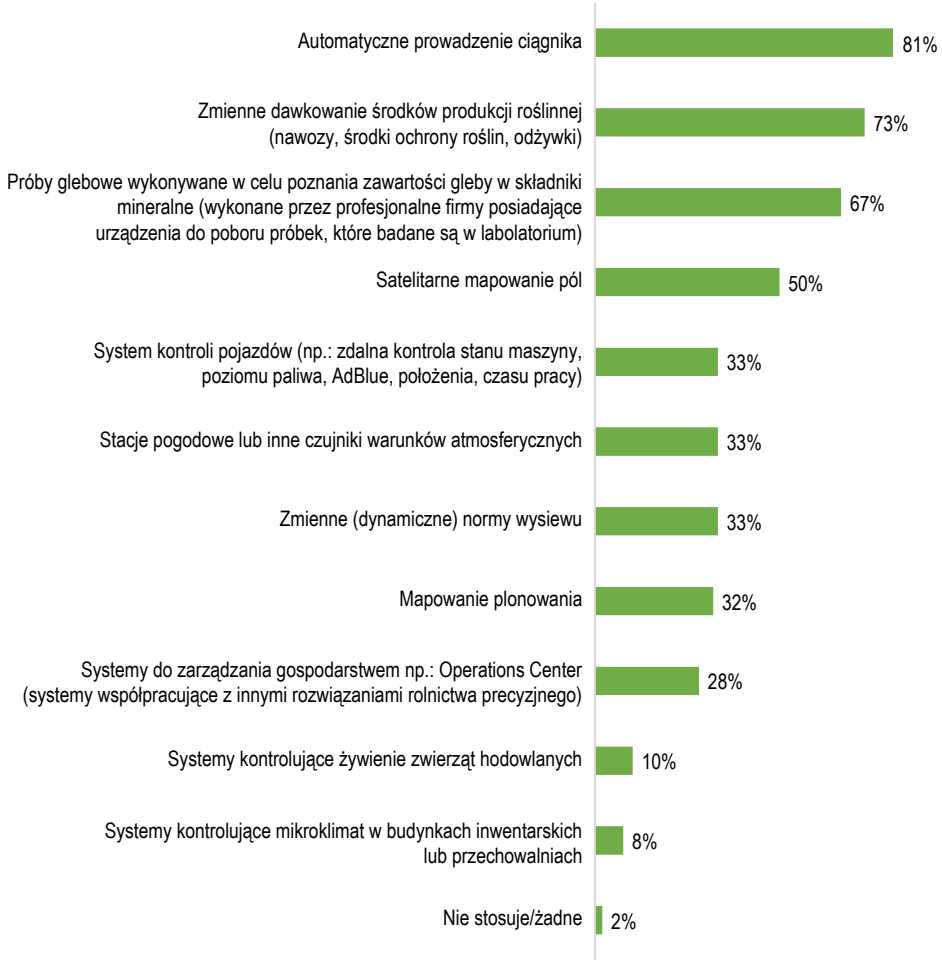
W badanej grupie wielu rolników miało już praktyczne doświadczenia z rolnictwem precyzyjnym. Ponad 66% respondentów zadeklarowało, że korzysta w swoim gospodarstwie z rozwiązań rolnictwa precyzyjnego, natomiast około jednej trzeciej (ok. 29%) przyznało, że jeszcze takich narzędzi nie używa (rys. 19). Wynik ten wskazuje na relatywnie wysoką penetrację technologii precyzyjnych wśród badanych rolników. Większość respondentów już wdrożyła w praktyce przynajmniej część elementów tej koncepcji. Warto zaznaczyć, że w badaniu wzięli udział zarówno aktualni użytkownicy rozwiązań rolnictwa precyzyjnego, jak i osoby znające temat, lecz dopiero rozważające inwestycje, co pozwala zbadać ich opinię przed wdrożeniem.



Rys. 19. Doświadczenie praktyczne respondentów z rozwiązaniami rolnictwa precyzyjnego (pytanie jednokrotnego wyboru)
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

Najbardziej rozpowszechnionym rozwiązaniem wykorzystywanym przez badanych były systemy automatycznego prowadzenia ciągnika, których używa 53% badanych posiadających technologie rolnictwa precyzyjnego (rys. 20). Jest to zbieżne z obserwacjami z branży. Automatyczne prowadzenie maszyn bywa pierwszym krokiem wdrożenia rolnictwa precyzyjnego, często promowanym przez producentów ciągników jako względnie przystępna i efektywna ekonomicznie innowacja. Na drugim miejscu uplasowały się systemy zmiennego dawkowania środków produkcji roślinnej (np. nawozów) – wdrożyło je 48% badanych korzystających z narzędzi rolnictwa precyzyjnego (rys. 19). Trzecim pod względem powszechności korzystania rozwiązaniem okazały się profesjonalne badania gleby i usługi wykonywania prób glebowych – zadeklarowało je 44% użytkowników rolnictwa precyzyjnego (rys. 20). Oznacza to, że więcej niż jedna trzecia badanych opiera decyzje agrotechniczne na precyzyjnej diagnozie zasobności gleby, co jest fundamentem precyzyjnego nawożenia.

Pozostałe technologie były mniej rozpowszechnione, choć również obecne: satelitarne mapowanie pól (gromadzenie danych z satelitów o kondycji upraw) stosuje około 50% respondentów korzystających z narzędzi rolnictwa precyzyjnego, a mapowanie plonów (analiza plonu za pomocą sensorów, w które wyposażony jest kombajn) około 32% (rys. 19). Mniej popularne wśród badanych okazały się zaawansowane systemy zarządzania gospodarstwem (specjalistyczne oprogramowanie określane jako farm management system, FMS) czy automatyka w budynkach inwentarskich – te rozwiązania wskazywało poniżej 30% użytkowników (rys. 20). Należy jednak podkreślić, że badani wdrażający

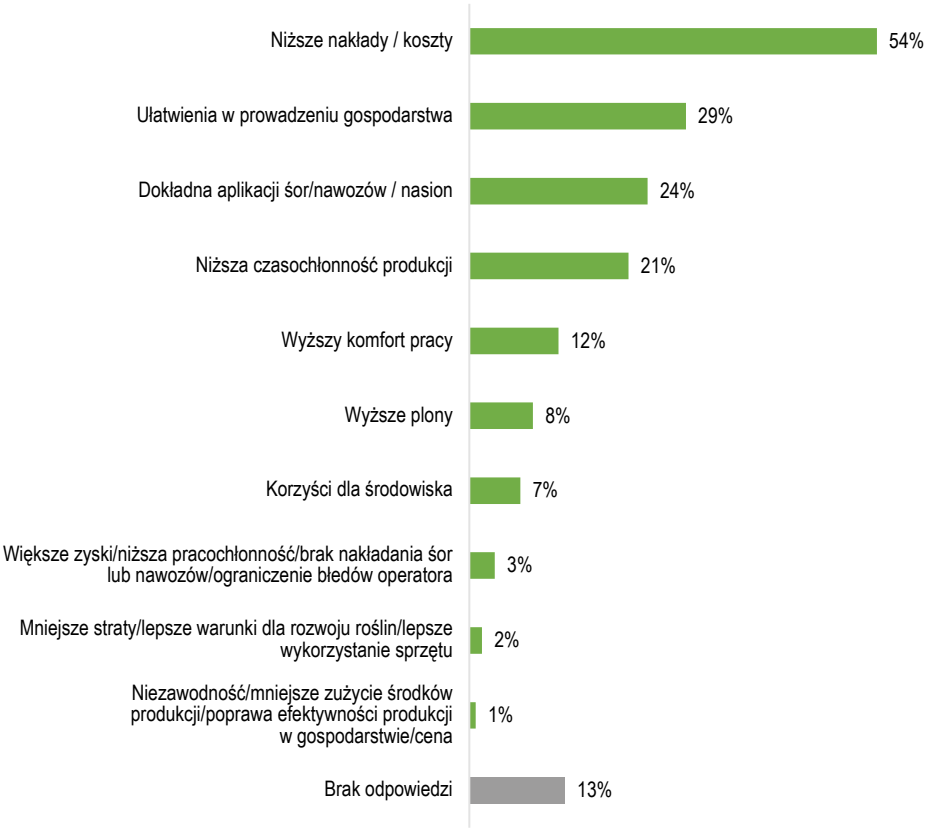


Rys. 20. Ranking rozwiązań rolnictwa precyzyjnego wśród respondentów (możliwe odpowiedzi wielokrotne)
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 78.

rolnictwo precyzyjne często korzystają z wielu uzupełniających się narzędzi jednocześnie, integrując np. nawigację GPS, zmienną aplikację i monitoring danych, co pozwala im w pełni wykorzystać potencjał technologii. Świadczy to o rosnącej dojrzałości technologicznej tych gospodarstw.

Z perspektywy rolników korzystających (bądź zainteresowanych) technologiami rolnictwa precyzyjnego kluczowe są korzyści, jakie oferują te rozwiązania. W ankiecie poproszono wszystkich respondentów o wskazanie, jakie są ich

zdaniem najważniejsze zalety rolnictwa precyzyjnego. Pytanie miało charakter otwarty co dawało respondentom swobodę wypowiedzi, dzięki temu możliwa była identyfikacja szerokiego spektrum zalet rolnictwa precyzyjnego. Spontaniczne odpowiedzi respondentów zostały przeanalizowane i skategoryzowane, co pozwoliło na analizę frekwencji. Najczęściej wymieniane zalety dotyczyły obniżenia kosztów produkcji. Aż 54% badanych stwierdziło, że rolnictwo precyzyjne umożliwia redukcję kosztów i nakładów (np. przez ograniczenie zużycia nawozów, paliwa czy środków ochrony roślin) (rys. 21). Jest to zdecydowanie najczęściej powtarzająca się zaleta, co oznacza, że aspekty ekonomiczne mogą odgrywać kluczową rolę jako czynniki wyboru technologii rolnictwa precyzyjnego. Na drugim miejscu uplasowały się wypowiedzi, które wskazywały, że rozwiązania rolnictwa precyzyjnego ułatwiają prowadzenie gospodarstwa rolnego. Tę kategorię zalet dostrzega



Rys. 21. Zalety rolnictwa precyzyjnego w opinii respondentów (możliwe odpowiedzi wielokrotne)
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

29% badanych (rys. 21). Rolnicy wymieniali tu między innymi odciążenie ich w codziennych obowiązkach, większą wygodę oraz możliwość lepszego planowania zabiegów dzięki dostępowi do danych. Co piąty z respondentów wskazał na oszczędność czasu i zwiększenie efektywności pracy (rys. 21).

Warto zauważyć, że korzyści ekonomiczne zdecydowanie dominują w świadomości rolników. Poza redukcją kosztów i oszczędnością czasu część respondentów wskazała także zwiększenie opłacalności produkcji rolnej, rozumiane zarówno jako wzrost przychodów (np. dzięki zwiększeniu plonów lub poprawie ich jakości), jak i redukcja kosztów (np. przez ograniczenie zużycia środków produkcji czy nakładu pracy). Stosunkowo niewiele osób spontanicznie wskazywało korzyści środowiskowe, takie jak ograniczenie negatywnego oddziaływania rolnictwa na otoczenie (np. przez zmniejszenie zużycia środków chemicznych). Może to sugerować, że argumenty środowiskowe nie są pierwszoplanowe dla rolników rozważających wdrożenie tych technologii.

Jednocześnie wyniki analiz ekonomicznych przedstawionych w rozdziale 4 wskazują, że rzeczywista skala korzyści finansowych z wdrożenia rolnictwa precyzyjnego jest bardzo zróżnicowana i w dużym stopniu zależna od powierzchni gospodarstwa oraz osiąganego poziomu obniżenia zużycia środków produkcji. W szczególności w gospodarstwach małych potencjał bezpośrednich oszczędności kosztowych może być ograniczony, a okres zwrotu inwestycji wydłużony. W gospodarstwach najmniejszych inwestycja może być ekonomicznie nieuzasadniona przy pełnym wdrożeniu własnych systemów – w takich przypadkach rozważać można wspólne użytkowanie maszyn, ewentualnie korzystanie z usług.

W związku z powyższym w działaniach informacyjnych i promocyjnych warto akcentować wymierne korzyści finansowe wdrożenia rolnictwa precyzyjnego przede wszystkim w odniesieniu do gospodarstw średnich i dużych, gdzie efekt skali sprzyja szybszemu zwrotowi inwestycji. W przypadku gospodarstw mniejszych komunikacja powinna być uzupełniona o alternatywne argumenty, takie jak możliwość korzystania z usług zewnętrznych, etapowe wdrażanie technologii, poprawa organizacji pracy, ograniczenie ryzyka produkcyjnego czy potencjalne korzyści środowiskowe i regulacyjne.

Oprócz licznych zalet respondenci dostrzegają też bariery i wady związane z wdrażaniem rolnictwa precyzyjnego. W kolejnym pytaniu otwartym poproszono ich o wskazanie, jakie największe wady widzą w tych technologiach. Odpowiedzi zostały przeanalizowane i pogrupowane, tak aby odzwierciedlały najczęściej powtarzające się problemy. Najpowszechniej wskazywaną barierą związaną z rolnictwem precyzyjnym okazały się wysokie koszty wdrożenia i implementacji tych systemów – takiej odpowiedzi udzieliło aż 72% badanych



Rys. 22. Wady rolnictwa precyzyjnego w opinii respondentów (możliwe odpowiedzi wielokrotne)
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

(rys. 22). Na drugim miejscu wśród wskazywanych przeszkód znalazły się problemy natury organizacyjno-technicznej, zwłaszcza długi czas potrzebny na naukę obsługi nowych narzędzi oraz konieczność dostosowania innych elementów wyposażenia gospodarstwa rolnego. Około 12% respondentów uznało, że opanowanie skomplikowanych urządzeń i oprogramowania, które wspiera rolnictwo precyzyjne, wymaga wiele czasu i może zniechęcać potencjalnych użytkowników (rys. 22). Kolejną wymienianą wadą był duży stopień skomplikowania i znaczna ilość elementów elektronicznych – stanowiło to problem dla 6% badanych (rys. 22). Kilka osób (około 5% wskazań) zwróciło uwagę na braki wiedzy użytkowników (niski poziom przeszkolenia rolników w zakresie nowych technologii), możliwe awarie sprzętu oraz koszty utrzymania i serwisu (rys. 22). Pojedyncze osoby wspomniały też o takich kwestiach, jak niekompatybilność różnych systemów czy konieczność modernizacji całego gospodarstwa pod kątem stosowania nowych technologii (po około 3% wskazań) (rys. 22). Ogólny obraz, który wyłania się z tych badań, jest zgodny z wnioskami z innych opracowań. Przykładowo Bothwell i Morris (2024) wskazali, że rolnicy jako największe bariery wdrożenia postrzegają kwestie finansowe i kompetencyjne.

Niezbędne wysokie nakłady inwestycyjne oraz niedostatek wiedzy (szkolenia, doradztwa) zostały zidentyfikowane jako kluczowe przeszkody zarówno przez naszych ankietowanych, jak i w szerszych analizach sektora.

Interesującym elementem badania była próba określenia, które aspekty rolnictwa precyzyjnego respondenci uważają za najistotniejsze, a które za mniej ważne. Badani otrzymali listę różnych potencjalnych cech i rezultatów wdrożenia rozwiązań rolnictwa precyzyjnego (ekonomicznych, organizacyjnych, technicznych) i zostali poproszeni o uszeregowanie ich od najważniejszych do najmniej ważnych. Na podstawie odpowiedzi respondentów wyznaczono średnią pozycję każdej cechy w rankingu – dla ułatwienia interpretacji wyników skala odpowiedzi została odwrócona. Zadanie to miało na celu sprawdzić dodatkowo znaczenie ekonomicznych wyróżników rolnictwa precyzyjnego w predefiniowanej liście czynników. Wyniki jednoznacznie wskazują, że badani rolnicy przykładają największą wagę do czynników ekonomicznych. Najwyżej ocenioną cechą (najważniejszą w rankingu) okazało się zmniejszenie kosztów produkcji (rys. 23). Podobną pozycję w rankingu zajęła cecha: zwiększenie opłacalności produkcji rolnej (rys. 23). Dla porównania najniższą pozycję w rankingu miało dostosowanie gospodarstwa do regulacji prawnych (rys. 23). Innymi słowy, spełnianie wymogów formalnoprawnych dzięki technologiom precyzyjnym jest przez rolników traktowane jako poboczna korzyść, znacznie mniej ważna niż wymierne efekty ekonomiczne. Większość pozostałych cech zajęła pozycje pośrednie, np. wzrost plonowania roślin czy ułatwienie prac w gospodarstwie znalazły się w środku stawki (rys. 23). Jak łatwo zauważyć, czynniki o charakterze ekonomicznym mają



Rys. 23. Klasyfikacja cech rolnictwa precyzyjnego na podstawie wyboru respondentów (możliwe odpowiedzi wielokrotne, skala odwrócona)
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

dla badanych rolników kluczowe znaczenie w kontekście rolnictwa precyzyjnego, natomiast aspekty takie jak dostosowanie do przepisów czy ogólna modernizacja gospodarstwa są postrzegane jako mniej istotne (rys. 23).

Skuteczna popularyzacja rolnictwa precyzyjnego wymaga dotarcia do rolników przez odpowiednie kanały komunikacji. Z tego powodu w kwestionariuszu umieszczono pytania dotyczące źródeł informacji na temat rolnictwa precyzyjnego. Uzyskane dane potwierdzają, że głównym medium, z którego korzystają badani, jest Internet (rys. 24). Respondenci określali ważność różnych źródeł informacji w skali 1–5 (od „nieistotne" do „bardzo istotne"). Najwyżej oceniono branżowe portale internetowe poświęcone rolnictwu (przeciętne oceny bliskie 4 na pięciostopniowej skali) (rys. 24). Strony internetowe producentów maszyn (z oficjalnymi informacjami technicznymi, danymi o produktach itp.) są drugim co do istotności źródłem informacji (rys. 24). Dla badanych ważne są również informacje pozyskiwane od innych rolników, czyli wymiana doświadczeń o obrębie grupy zawodowej – jest to trzecie pod względem ważności źródło informacji (rys. 24). Na kolejnych pozycjach znalazły się m.in. kanały rolnicze na YouTube czy fachowa prasa rolnicza, które także były cenione przez część badanych. Wyniki te wskazują, że rolnicy poszukują informacji pochodzących od ekspertów lub producentów, dostępnych online, a także wiedzy popartej praktyczną znajomością rozwiązań rolnictwa precyzyjnego od innych rolników (rys. 24). Znacznie mniejsze znaczenie przypisano mediom społecznościowym i działalności



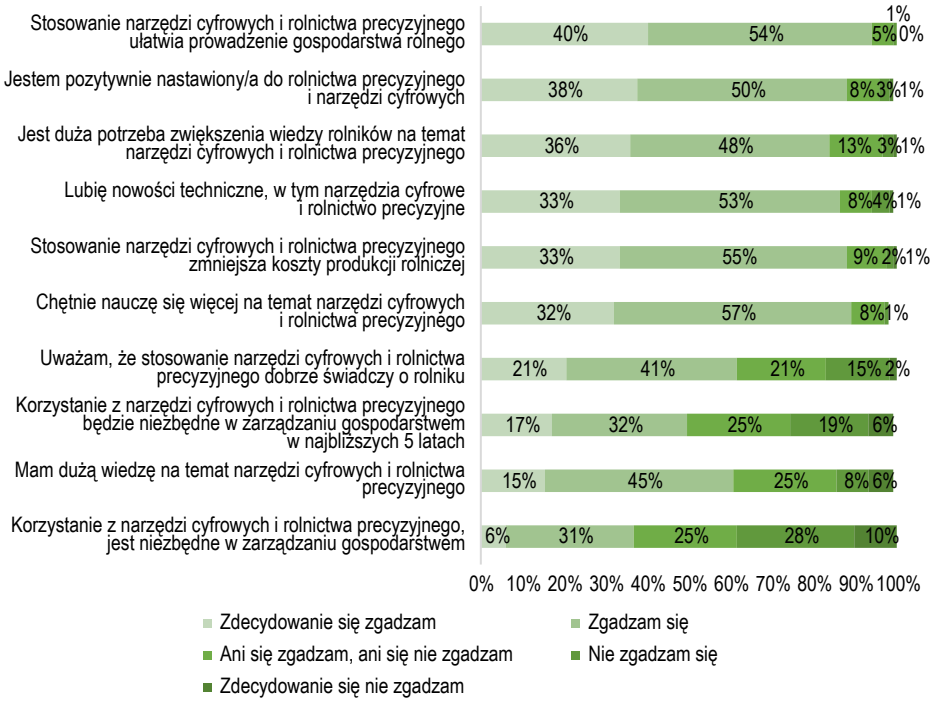
Rys. 24. Ocena istotności źródeł zdobywania wiedzy o rolnictwie precyzyjnym (średnia z ocen, skala 1–5 pkt)

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

agroinfluencerów. Przeciętna ocena ważności tych źródeł informacji była najniższa wśród wszystkich ocenianych (około 2,4 na skali od 1 do 5) (rys. 24). Również tradycyjne drukowane materiały promocyjne (ulotki, broszury) uznano za mało przydatne źródło informacji (rys. 23). Niewielkim zaufaniem cieszą się też sprzedawcy i handlowcy. Informacje od przedstawicieli handlowych oceniono jako mało istotne (rys. 24). Uzyskane wyniki sugerują, że promocja rolnictwa precyzyjnego powinna opierać się na kanale internetowym (zwłaszcza portalach branżowych i stronach producentów), uzupełnionym o formy budujące zaufanie przez społeczność rolników (studia przypadków, rekomendacje innych użytkowników). Rolnicy szukają przede wszystkim fachowej, pogłębionej wiedzy, która jest wsparta własnym doświadczeniem.

Ogólną postawę badanych wobec rolnictwa precyzyjnego określono za pomocą serii stwierdzeń, które odwoływały się do komponentów poznawczych, afektywnych i behawioralnych; każde z nich było oceniane na pięciostopniowej skali Likerta. Analiza odpowiedzi wskazuje na przewagę postaw pozytywnych i otwartość na innowacje w badanej grupie. Respondenci dostrzegają przede wszystkim potrzebę dalszej edukacji i popularyzacji wiedzy o technologiach rolnictwa precyzyjnego. Ponad 36% zdecydowanie zgodziło się ze stwierdzeniem, że „Jest duża potrzeba zwiększenia wiedzy rolników na temat narzędzi cyfrowych i rolnictwa precyzyjnego" (rys. 25), a pozostali w większości również wyrazili umiarkowaną zgodę z tym zdaniem. Oznacza to, że sami respondenci zauważają „lukę wiedzy" w środowisku rolniczym i popierają inicjatywy zwiększające świadomość w tym zakresie. Co więcej, znaczna część badanych deklaruje chęć dokształcania się – stwierdzenia typu „Chętnie nauczę się więcej na temat narzędzi cyfrowych i rolnictwa precyzyjnego" spotkały się z powszechną akceptacją. Również ogólne nastawienie do innowacji jest pozytywne: większość respondentów zgodziła się, że „lubi nowości techniczne" i jest „pozytywnie nastawiona do rolnictwa precyzyjnego" (rys. 25).

Badani rolnicy wierzą także w korzyści płynące z wdrażania rozwiązań rolnictwa precyzyjnego, co koresponduje z wcześniejszymi odpowiedziami. Większość badanych zgodziła się ze stwierdzeniem, że „stosowanie narzędzi cyfrowych i rolnictwa precyzyjnego ułatwia prowadzenie gospodarstwa", potwierdzając tym samym praktyczną użyteczność technologii. Znaczna część jest również przekonana, że „stosowanie rolnictwa precyzyjnego zmniejsza koszty produkcji", co nie dziwi w świetle wskazywania redukcji kosztów jako głównej zalety. Co ważne, respondenci postrzegają technologie cyfrowe jako element budujący wizerunek nowoczesnego gospodarstwa – wielu zgodziło się z opinią, że korzystanie z narzędzi precyzyjnych „dobrze świadczy o rolniku" (utożsamiane



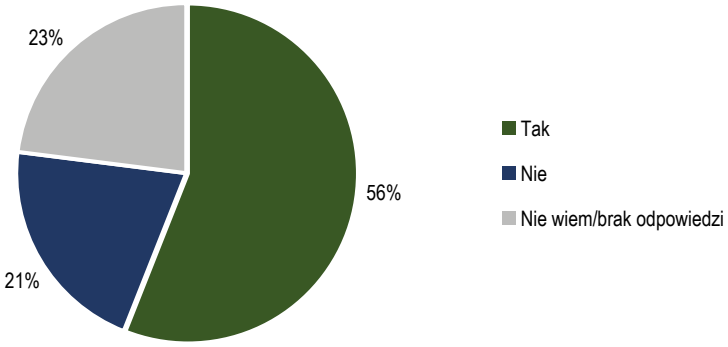
Rys. 25. Opinia respondentów na temat wybranych stwierdzeń dotyczących rolnictwa precyzyjnego (pytanie wielokrotnej odpowiedzi)
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

jest z profesjonalizmem i innowacyjnością). W przypadku stwierdzenia „mam dużą wiedzę na temat narzędzi cyfrowych" – większość respondentów zaznaczyła odpowiedzi wskazujące na neutralny stosunek lub brak zgody, co sugeruje, że rolnicy dostrzegają u siebie potrzebę podnoszenia kompetencji i są świadomi obszarów, w których mogliby się jeszcze szkolić (rys. 25).

Z perspektywy przyszłych działań istotne jest, jak badani rolnicy rozumieją kierunek rozwoju sektora. Znacząca większość badanych zgodziła się z tezą, że „korzystanie z narzędzi cyfrowych i rolnictwa precyzyjnego będzie niezbędne w zarządzaniu gospodarstwem w najbliższych 5 latach". Wielu uważa, że już obecnie jest to konieczne, jeśli prowadzone gospodarstwo ma być konkurencyjne. Tylko nieliczni nie podzielają tej opinii. Oznacza to, że technologie Rolnictwa 4.0 czy też 5.0 są postrzegane jako nieuchronny element przyszłości branży – nawet ci rolnicy, którzy jeszcze ich nie wdrożyli, zdają sobie sprawę, że prawdopodobnie już niebawem będzie to standard. Tak ukształtowane

postawy – ciekawość nowości, gotowość do nauki, przekonanie o użyteczności i świadomość nadchodzących zmian – stanowią bardzo dobry prognostyk dalszego rozwoju rolnictwa precyzyjnego. Wyzwaniem pozostaje skuteczne dotarcie do tych rolników z wiedzą i wsparciem oraz zniwelowanie barier finansowych, na co wskazywali we wcześniejszych odpowiedziach.

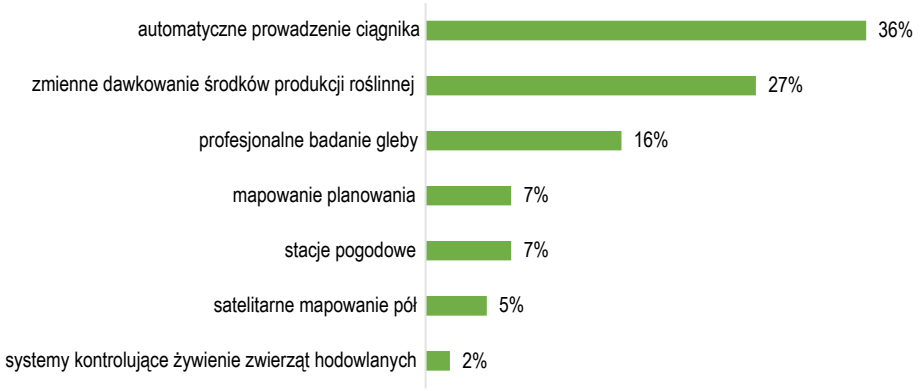
Ostatni blok tematyczny dotyczył planów inwestycyjnych rolników związanych z technologiami rolnictwa precyzyjnego oraz zainteresowania pomocą finansową przy wdrażaniu innowacji. Ponad połowa badanych deklarowała zamiary inwestycyjne w tym zakresie – około 56% respondentów wskazało, że w ciągu najbliższych 5 lat chcą zainwestować w nowe narzędzia rolnictwa precyzyjnego (rys. 26). Co piąty badany (22%) stwierdził, że nie przewiduje takich inwestycji, zaś pozostali (około 21%) są jeszcze niezdecydowani lub nie mają sprecyzowanych planów (rys. 26). Zatem grupa „zdecydowanych inwestorów" jest znacząca, choć warto zauważyć, że duży odsetek rolników wciąż się waha, prawdopodobnie uzależniając decyzję od czynników ekonomicznych i efektów obserwowanych u innych.



Rys. 26. Plany inwestycyjne respondentów na 5 lat
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

Zapytano również osoby deklarujące chęć inwestycji, na jaki cel planują przeznaczyć środki. Odpowiedzi otwarte pogrupowano w kategorie odpowiadające poszczególnym technologiom. Plany zakupowe badanych rolników w największym stopniu pokrywają się z wcześniej wymienianymi najpopularniejszymi rozwiązaniami. Ponad jedna trzecia (36%) planujących inwestycje chce zakupić automatyczny system prowadzenia ciągnika (rys. 27). Jest to najczęściej wymieniana planowana inwestycja, co po raz kolejny podkreśla kluczową rolę

automatyki maszyn w rolnictwie precyzyjnym. Co czwarty badany (27%) zamierza wdrożyć systemy zmiennego dawkowania środków produkcji (nawozów, nasion), czyli inwestować w sprzęt do aplikacji zmiennej lub usługę VRA[14] (rys. 27). Na trzecim miejscu znalazły się plany związane z zaawansowaną diagnostyką gleby: 16% respondentów chce zainwestować w profesjonalne badania gleby (intensywne próbkowanie, skanowanie pola) w celu lepszego dopasowania nawożenia (rys. 27). Poza tym kilka osób wspomniało o zamiarze zakupu stacji pogodowych i czujników do monitorowania warunków polowych, systemów mapowania plonów montowanych na kombajnie czy rozwiązań do precyzyjnego chowu zwierząt (np. automatycznych systemów żywienia) (rys. 27). Priorytetem inwestycyjnym są zatem narzędzia dające bezpośrednie i łatwe do zidentyfikowania korzyści ekonomiczne – automatyzacja maszyn i zmienne dawkowanie natychmiast przekładają się na oszczędności i efektywność, stąd duże zainteresowanie nimi. Natomiast bardziej zaawansowane czy niszowe rozwiązania (np. robotyka w oborach) znajdują się w planach nielicznych respondentów, jest to też związane z kierunkiem produkcji występującym w gospodarstwie rolnym.



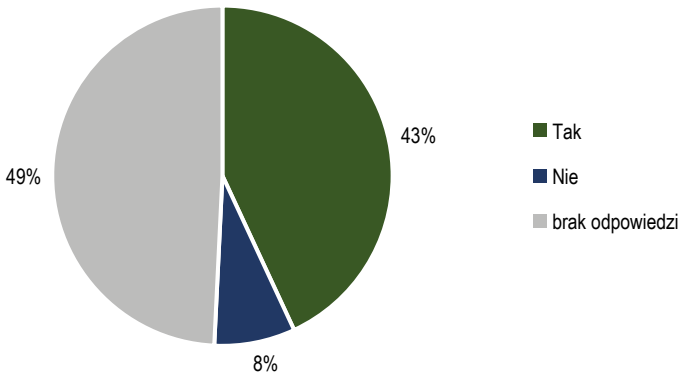
Rys. 27. Plany inwestycyjne respondentów (pytanie otwarte, możliwe odpowiedzi wielokrotne)
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych, N = 119.

Istotnym zagadnieniem jest pytanie, czy rolnicy byliby skłonni korzystać z zewnętrznego wsparcia finansowego przy realizacji planów inwestycyjnych związanych z rolnictwem precyzyjnym. Inwestycje technologiczne są bowiem

[14] Variable Rate Application, VRA – oznacza stosowanie zmiennych dawek nawozów lub środków ochrony roślin.

kapitałochłonne, a jednocześnie istnieją instrumenty polityki rolnej oferujące możliwość dofinansowania takich działań. W ankiecie znalazło się pytanie: „Gdyby istniał dedykowany program dotacji pomagający finansować rozwiązania rolnictwa precyzyjnego – czy skorzystałby Pan/skorzystałaby Pani z niego?", które zadano tylko osobom, które deklarowały zamiar inwestycji w rozwiązania rolnictwa precyzyjnego w ciągu najbliższych 5 lat. Jak przedstawiono na rysunku 28, 43% respondentów zadeklarowało chęć skorzystania z takiego programu. Jedynie 8% odpowiedziało negatywnie, natomiast około połowy respondentów (49%) nie wyraziło jednoznacznej opinii na ten temat. Wysoki odsetek „braku odpowiedzi" może świadczyć o niepewności respondentów, ograniczonej wiedzy na temat mechanizmów wsparcia finansowego lub trudności w ocenie opłacalności inwestycji bez znajomości szczegółowych warunków potencjalnego programu dotacyjnego.

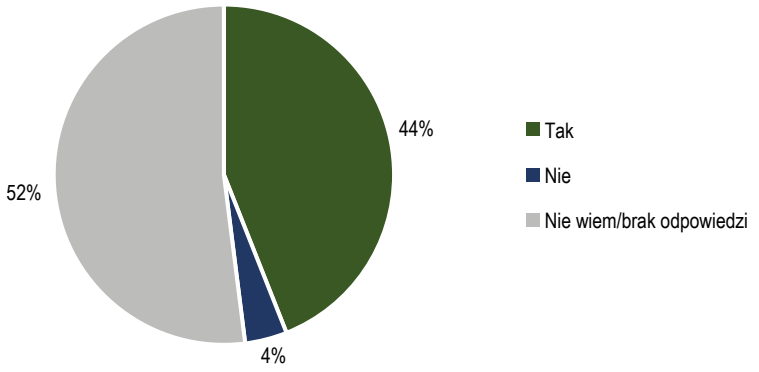
Uzyskane wyniki wskazują, że choć bezpośrednia deklaracja chęci skorzystania z dotacji pojawia się u znacznej części badanych planujących inwestycje w rolnictwo precyzyjne, to wciąż występuje duża grupa osób niepewnych w tym zakresie. Może to sugerować istnienie bariery informacyjnej oraz potrzeby lepszej komunikacji zasad, korzyści i warunków ewentualnych programów pomocowych. Można przypuszczać, że przy bardziej precyzyjnie zdefiniowanych instrumentach wsparcia oraz uproszczonych procedurach aplikacyjnych więcej rolników byłoby skłonnych do skorzystania z dotacji.



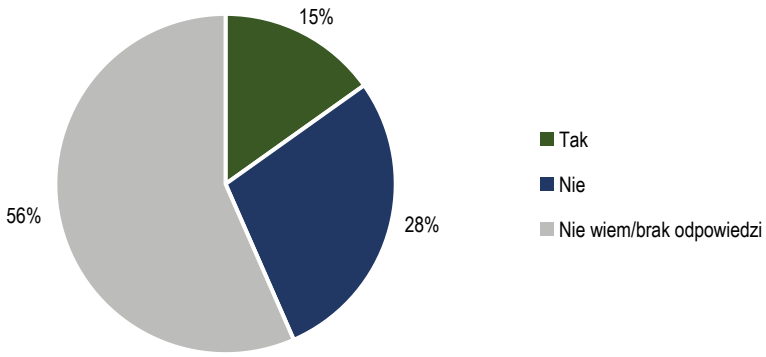
Rys. 28. Gdyby istniał dedykowany program dotacji, który pomagałby w finansowaniu rozwiązań rolnictwa precyzyjnego – czy zdecydowałby/zdecydowałaby się Pan/Pani na skorzystanie z niego? (pytanie jednokrotnego wyboru)
N = 65 (osoby, które planują inwestycję związaną z rolnictwem precyzyjnym).
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych.

W kontekście powyższego warto odnieść się do realnie funkcjonujących programów wsparcia. Program „Rolnictwo 4.0", uruchomiony w Polsce w 2023 r., był pierwszą tak dużą inicjatywą dofinansowującą zakup systemów rolnictwa precyzyjnego. Cieszył się on dużym zainteresowaniem. Z sukcesem skorzystało z niego prawie 7400 rolników w pierwszym naborze. Nasze badanie przeprowadzono częściowo w okresie, w którym ten program był realizowany, dlatego sprawdzono również świadomość i udział respondentów w programie „Rolnictwo 4.0".

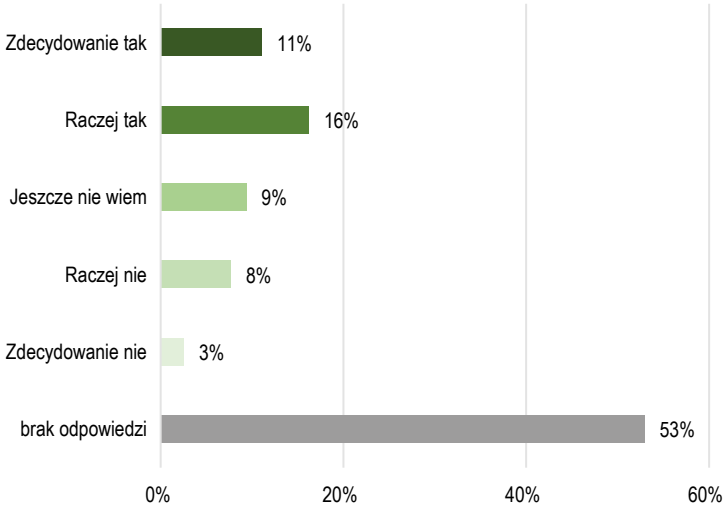
O istnieniu programu słyszała znaczna część badanych (choć nie wszyscy, co pokazuje wciąż ograniczony przepływ informacji). Stosunkowo niewielu rolników z naszej próby złożyło wniosek o dofinansowanie (rys. 29–31). Spośród tych, którzy nie aplikowali lub nie zdążyli z niego skorzystać, większość zadeklarowała, że jeśli program będzie kontynuowany, zamierzają ubiegać się o dotację w przyszłości (rys. 31). Świadczy to o dużej roli zewnętrznego wsparcia finansowego jako czynnika umożliwiającego wdrożenie innowacji. Rolnicy wyraźnie liczą, że programy takie jak „Rolnictwo 4.0" pozwolą im przełamać barierę kosztów początkowych i szybciej dołączyć do grona użytkowników rolnictwa precyzyjnego. Jednocześnie fakt, że sporo respondentów nie było w pełni zorientowanych w szczegółach programu, wskazuje na potrzebę lepszej komunikacji i promocji dostępnych form wsparcia, tak aby informacje o naborach docierały do wszystkich potencjalnie zainteresowanych (np. przez wspomniane wyżej preferowane kanały internetowe i doradcze).



Rys. 29. Czy słyszał/słyszała Pan/Pani o programie Rolnictwo 4.0, w ramach którego można uzyskać dofinansowanie na zakup rozwiązań rolnictwa precyzyjnego? (pytanie jednokrotnego wyboru)
N = 119.
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych.



Rys. 30. Czy składał/składała Pan/Pani wniosek w ramach programu Rolnictwo 4.0? (pytanie jednokrotnego wyboru)
N = 119.
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych.



Rys. 31. Jeżeli program będzie kontynuowany, to czy będzie Pan/Pani składać wnioski w przyszłości? (pytanie jednokrotnego wyboru)
N = 119.
Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych.

Podsumowując powyższe analizy, wśród świadomych polskich rolników stwierdzono pozytywne nastawienie do rolnictwa precyzyjnego, a główne determinanty decyzji o wdrożeniu koncentrują się wokół czynników ekonomicznych. Rolnicy dobrze rozumieją koncepcję i kojarzą ją z praktycznymi usprawnieniami

gospodarstwa rolnego – przede wszystkim z precyzyjnym gospodarowaniem zasobami, które przekłada się na redukcję kosztów. Wielu badanych ma już pierwsze doświadczenia z tymi technologiami lub planuje je zdobyć w najbliższym czasie, koncentrując się na najbardziej opłacalnych rozwiązaniach (automatyka maszyn, zmienne dawkowanie). Jednocześnie dostrzegają oni bariery: wysokie koszty inwestycyjne oraz niedostatek wiedzy, które pozostają głównymi wyzwaniami hamującymi szerszą adopcję. Widać wyraźnie, że wsparcie finansowe (dotacje) oraz działania edukacyjne mogłyby znacząco przyspieszyć upowszechnienie rolnictwa precyzyjnego. Rolnicy deklarują gotowość do korzystania z obu tych form pomocy. Dlatego wnioskiem praktycznym płynącym z badania jest postulat, by promocja rolnictwa precyzyjnego w Polsce prowadzona była dwutorowo: akcentując wymierne korzyści ekonomiczne (czego oczekuje grupa docelowa) oraz zapewniając instrumenty redukujące bariery wdrożenia – od dofinansowań po szkolenia i rzetelne informacje. Takie holistyczne podejście może zapewnić dalszy dynamiczny rozwój Rolnictwa 4.0 w polskich gospodarstwach rolnych.

5.3. Rekomendacje dotyczące działań promocyjnych wspierających rolnictwo precyzyjne

Możliwość zmniejszenia kosztów użytych nawozów przez systemy rolnictwa precyzyjnego ma znaczący potencjał do wykorzystania w promocji tych rozwiązań, które powinny być realizowane wielopłaszczyznowo, by docierać do wszystkich grup wiekowych, trafiać do inwestorów lub przyszłych inwestorów. Promocja powinna nosić znamiona edukacji i budować świadomość marki, korzyści i rozwiązań.

Pierwszym z proponowanych sposobów promocji rozwiązań rolnictwa precyzyjnego jest wykorzystanie kanałów internetowych. Producent lub sprzedawca powinien mieć własną stronę internetową, zawierającą treści promocyjno-edukacyjne. W badaniu ankietowym ponad 36% respondentów zdecydowanie zgodziło się ze stwierdzeniem, że „jest duża potrzeba zwiększenia wiedzy rolników na temat narzędzi cyfrowych i rolnictwa precyzyjnego". Strona internetowa powinna zawierać rozszerzone treści, w dłuższej i bardziej technicznej formie. Jest to miejsce, które odwiedzą zainteresowane osoby, by uzyskać dokładniejsze informacje. Warto zatem publikować artykuły opracowane przez specjalistów. Bardzo istotne jest też podanie numeru kontaktowego lub adresu e-mail, które łatwo odnaleźć, by umożliwić szybkie nawiązywanie kontaktu.

Wartościowym kanałem promocji może być współpraca z branżowymi portalami informacyjnymi. Podjęcie współpracy i zaproszenie do pisania artykułów jest formą, która może być dobrze odebrana przez potencjalnych odbiorców. Warto zadbać, by artykuły były wartościowym źródłem rzetelnej informacji. Wiele portali korzysta z notatek prasowych zamieszczanych na stronie producenta; ważne, by były one ciekawe i zamieszczane regularnie. Istnieje też możliwość płatnej promocji w Internecie – przystępnym narzędziem jest tu platforma Google Ads. Za pomocą poprawnie skonfigurowanej płatnej kampanii można dotrzeć do osób zainteresowanych i wyprzedzić konkurencję w kolejności wyszukiwania.

Kolejnym aspektem promocji rolnictwa precyzyjnego jest budowanie relacji i świadomości marki. Narzędziami, które mogą być wykorzystane do tego celu, są media społecznościowe. Warto promować rozwiązania rolnictwa precyzyjnego za pomocą najpopularniejszych mediów, takich jak Facebook, Instagram, LinkedIn czy TikTok. Tworzone treści trzeba dostosowywać do specyfiki danej platformy. Należy nadmienić, że w badaniu respondenci oceniali ogólnie znaczenie mediów społecznościowych jako źródła informacji, natomiast nie identyfikowano wprost, z których platform korzystają najczęściej. W związku z tym media społecznościowe traktuje się w rekomendacjach jako kanał wspierający komunikację (np. budowanie wizerunku, publikowanie opinii ekspertów), a nie jako podstawowe źródło wiedzy technicznej, co jest spójne z wynikami oceny źródeł informacji (rys. 24). Na Facebooku powinny pojawiać się treści średniej długości, przybliżające temat w średniozaawansowany sposób. Korzystając z Instagrama, trzeba zadbać o estetyczne grafiki i zdjęcia przyciągające uwagę. By utrzymać kontakt z użytkownikiem, marka promująca rozwiązania rolnictwa precyzyjnego powinna korzystać z narzędzi dostępnych na tych platformach, takich jak Reels, Relace czy Karuzele. Na platformie LinkedIn promocja musi skupiać się na docieraniu do profesjonalistów i budowaniu wizerunku stabilnego, rzetelnego partnera biznesowego. Promocja rozwiązań rolnictwa precyzyjnego za pomocą TikToka powinna odbywać się w prosty sposób, zapadać w pamięć i celować w krótkie treści, najlepiej przedstawiać najpopularniejsze korzyści. Podczas promocji za pomocą mediów społecznościowych można skorzystać z promocji płatnych, które ułatwiają dotarcie do potencjalnie zainteresowanych osób.

Kolejnym sposobem promocji pozytywnie odbieranym wśród rolników jest platforma YouTube. To właściwe rozwiązanie, by dotrzeć do osób, które szukają wiedzy. Promocja na tym kanale powinna odbywać się przez regularne publikacje wartościowych treści, które mogą mieć charakter teoretyczny oraz prezentować rozwiązania w praktyce.

Omówione wyżej narzędzia mają charakter masowy i opierają się na stosowaniu nowoczesnych technologii. Dla wielu potencjalnych klientów istotny jest też kontakt z człowiekiem, dlatego warto podejmować działania promocyjne skupione na interakcjach interpersonalnych.

Organizacja warsztatów i szkoleń to skuteczny sposób na promowanie rozwiązań rolnictwa precyzyjnego. W ten sposób można dotrzeć do osób, które są zaciekawione tematem, ale nie dysponują wystarczającą wiedzą. Przekazanie im wiedzy i umożliwienie zrozumienia zasad działania systemów daje szerszą perspektywę. Osoby świadome mogą być bardziej skłonne wejść w świat rolnictwa precyzyjnego. We wcześniej wspomnianej ankiecie, przeprowadzonej na potrzeby niniejszej monografii, znaczna część badanych osób wśród wad rolnictwa precyzyjnego wymieniła potrzebę przyswojenia dużej ilości wiedzy i obawę przed problemami z obsługą. Osoby dobrze poinformowane mogą pozbyć się tych obaw.

Uczestnictwo w wydarzeniach branżowych może być sposobem promocji, który pozwoli dotrzeć do nowych odbiorców i pozwoli zaprezentować ideę oraz elementy rolnictwa precyzyjnego osobom, które wcześniej nie myślały o korzystaniu z tego rodzaju rozwiązań. Poznanie i zbudowanie relacji z klientami może być stabilnym fundamentem relacji, która doprowadzi do faktycznej sprzedaży.

Opisane wyżej działania promocyjne dotyczące rozwiązań rolnictwa precyzyjnego mogą być wykorzystane do opracowania strategii komunikacji i rozwoju świadomości wśród rolników. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań ankietowych (N = 119) oraz wniosków z analiz ekonomicznych przedstawionych w rozdziale 4 sformułowano rekomendacje dotyczące działań promocyjnych wspierających rozwój rolnictwa precyzyjnego. Wynikają one bezpośrednio z identyfikowanych motywacji, barier oraz preferowanych źródeł informacji wskazywanych przez respondentów.

- **Akcentowanie wymiernych korzyści ekonomicznych** – badania jednoznacznie wskazują, że czynniki ekonomiczne stanowią kluczową determinantę zainteresowania rolnictwem precyzyjnym. Wskazując zalety tych technologii, respondenci najczęściej odwołują się do czynników ekonomicznych, a w rankingu cech najwyżej ocenili zmniejszenie kosztów oraz wzrost opłacalności produkcji. Zaleca się, aby komunikacja z grupą docelową koncentrowała się na prezentowaniu specyficznych, możliwych do oszacowania efektów finansowych (np. mniejsze zużycie nawozów), z uwzględnieniem zróżnicowania efektu skali w gospodarstwach rolnych o różnej powierzchni użytków rolnych poddanych nawożeniu, co potwierdzają analizy ekonomiczne z rozdziału 4.

- **Edukacyjny charakter komunikacji marketingowej** – respondenci wskazywali potrzebę uzupełnienia wiedzy na temat narzędzi cyfrowych oraz rolnictwa precyzyjnego. Jednocześnie jako istotne bariery wdrażania wymieniali wysoki stopień skomplikowania technologii i konieczność zdobycia nowych kompetencji. W związku z tym działania promocyjne powinny pełnić również funkcję edukacyjną, wyjaśniając zasady funkcjonowania systemów, etapy wdrożenia oraz praktyczne aspekty użytkowania. Szczególnie istotne jest prezentowanie technologii w sposób przystępny, ograniczający postrzegane ryzyko i obawy związane z ich obsługą.
- **Wykorzystanie źródeł informacji o wysokim poziomie zaufania** – z badań wynika, że rolnicy najwyżej oceniają branżowe portale internetowe, strony producentów oraz wymianę doświadczeń z innymi rolnikami jako źródła wiedzy o rolnictwie precyzyjnym. Na tych kanałach powinny opierać się strategie komunikacji wspierające rozwiązania rolnictwa precyzyjnego. Można rozważyć wykorzystywanie studiów przypadków, opisów rzeczywistych wdrożeń oraz doświadczeń użytkowników, które pozwalają rolnikom ocenić efekty technologii w warunkach podobnych do ich własnych gospodarstw.
- **Różnicowanie przekazu zależnie od wielkości i profilu gospodarstwa** – przeprowadzone analizy wskazują, że ekonomiczne uzasadnienie wdrażania rozwiązań rolnictwa precyzyjnego jest powiązane ze skalą działalności gospodarstwa. W związku z tym rekomenduje się różnicowanie komunikatów promocyjnych: w odniesieniu do gospodarstw średnich i dużych akcentowanie bezpośrednich efektów kosztowych i inwestycyjnych, natomiast w przypadku gospodarstw mniejszych – podkreślanie możliwości stopniowego wdrażania technologii, korzystania z usług zewnętrznych oraz poprawy organizacji pracy i zarządzania gospodarstwem.
- **Uwzględnianie roli wsparcia finansowego w komunikacji** – respondenci jednoznacznie identyfikują koszty inwestycyjne jako główną barierę wdrażania rolnictwa precyzyjnego. Jednocześnie wykazują oni zainteresowanie programami wsparcia finansowego, choć często towarzyszy temu niepewność i brak wiedzy o szczegółowych zasadach ich funkcjonowania. Działania promocyjne powinny zatem uwzględniać jasne i zrozumiałe informacje dotyczące dostępnych form dofinansowania, procedur aplikacyjnych oraz potencjalnego wpływu wsparcia na opłacalność inwestycji.
- **Oparcie promocji na praktycznym doświadczeniu użytkowników** – pewna część respondentów ma już doświadczenie w stosowaniu narzędzi rolnictwa precyzyjnego. Stwarza to możliwość wykorzystania ich wiedzy

i opinii dotychczasowych użytkowników w działaniach promocyjnych. Można zaproponować eksponowanie praktycznych przykładów zastosowań oraz opinii użytkowników jako elementu budującego wiarygodność przekazu i ograniczającego niepewność potencjalnych nowych odbiorców.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że w każdym z powyższych sposobów komunikacji warto przekazywać informacje o redukcji kosztów jako istotnym czynniku decyzyjnym.

ZAKOŃCZENIE

Przeprowadzona analiza rolnictwa precyzyjnego oraz jego zastosowań w polskim rolnictwie pozwala sformułować wnioski o charakterze ekonomicznym i społecznym. Zgromadzony materiał dowodzi, że rolnictwo precyzyjne, będące elementem szerszej rewolucji cyfrowej w sektorze rolno-spożywczym, stanowi obecnie jeden z kierunków rozwoju produkcji rolnej. Wobec nasilających się wyzwań – takich jak zmienność klimatyczna, degradacja zasobów naturalnych, rosnące ceny środków produkcji oraz niedobory siły roboczej – technologie cyfrowe umożliwiają wprowadzenie nowych standardów efektywności, racjonalizację zużycia zasobów oraz automatyzację procesów produkcyjnych, co potwierdziły zarówno przegląd literatury, jak i wyniki badań własnych.

W pierwszej części monografii przedstawiono szerokie tło przemian, które wpływają na współczesne rolnictwo. Wynika z nich, że rolnictwo precyzyjne jest częścią globalnej transformacji opartej na danych, automatyzacji, robotyzacji oraz integracji systemów informatycznych w procesie zarządzania gospodarstwem. Systemy GPS i GNSS, czujniki glebowe, stacje meteorologiczne, drony, rozwiązania teledetekcyjne oraz zaawansowane systemy prowadzenia maszyn tworzą nową infrastrukturę rolnictwa, które reaguje na zmienność warunków produkcji w czasie rzeczywistym. Jak wykazano w pracy, wszystkie te narzędzia mają wspólny cel: zapewnić większą precyzję, ograniczyć straty i zwiększyć ekonomikę decyzji produkcyjnych.

Studium przypadku opisane w monografii potwierdza, że wdrożenie technologii precyzyjnych wpływa na redukcję kosztów zużytych nawozów, zmniejszając tym samym całkowite koszty produkcji. Koszty nawozów, środków ochrony roślin, paliwa oraz energii stanowią kluczowe pozycje w budżetach gospodarstw, a ich gwałtowne wahania mogą istotnie zaburzać stabilność ekonomiczną producentów rolnych. Opisane w pracy rozwiązania – w tym zmienne dawkowanie,

automatyczne prowadzenie maszyn, mapowanie zasobności gleb oraz cyfrowa dokumentacja nakładów – pozwalają optymalizować zużycie środków produkcji, zwiększyć dokładność wykonywanych zabiegów i minimalizować ryzyko błędu ludzkiego. Wyniki analizy ekonomicznej wskazują, że rozwiązania dotyczące precyzyjnego stosowania nawozów będą opłacalne w większych gospodarstwach rolnych. Na podstawie przyjętych w pracy założeń można stwierdzić, że w gospodarstwach bardzo dużych pod względem ekonomicznym, które stosują nawożenie precyzyjne na powierzchni powyżej 500 ha, zwrot inwestycji może nastąpić po około 3 latach. Przyjmując, że inwestycja ma się zwrócić w ciągu 10 lat, powierzchnia nawożona powinna wynosić 80–100 ha. Wartości te mają charakter orientacyjny, ponieważ czynnikami zmiennymi są ceny nawozów, ceny sprzętu do nawożenia precyzyjnego, intensywność nawożenia mineralnego w gospodarstwie (która może wynikać z dostępności nawozów organicznych) oraz warunki agrotechniczne na poziomie gospodarstw. W mniejszych podmiotach inwestycje w nawożenie precyzyjne będą miały sens ekonomiczny, np. w przypadku wspólnego zakupu i użytkowania maszyn. Analizy przeprowadzone w niniejszej pracy nie opierają się na rzeczywistych, faktycznie poniesionych kosztach, jednak przyjęte założenia umożliwiają formułowanie wniosków dotyczących zasadności realizacji inwestycji w rolnictwo precyzyjne w gospodarstwach rolnych o zróżnicowanej powierzchni użytków rolnych. Tego rodzaju inwestycje okazują się szczególnie atrakcyjne w przypadku gospodarstw o dużym areale oraz wysokim poziomie intensywności nawożenia, gdyż okres zwrotu nakładów inwestycyjnych wynosi wówczas kilka lat. Należy również podkreślić, że programy wsparcia publicznego ukierunkowane na wdrażanie rozwiązań z zakresu rolnictwa precyzyjnego mogą istotnie zwiększać zainteresowanie tymi technologiami. W analizach wykonanych na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto założenie finansowania inwestycji ze środków własnych gospodarstwa. Przy uwzględnieniu dofinansowania ze środków publicznych na poziomie 50% okres zwrotu inwestycji uległby skróceniu o połowę. Takie wsparcie finansowe ma szczególne znaczenie w przypadku gospodarstw rolnych o mniejszej skali produkcji.

Istotnym elementem monografii była również analiza postaw i opinii rolników na temat rolnictwa precyzyjnego. Wyniki przeprowadzonych wśród rolników badań ankietowych wskazują, że większość respondentów kojarzy rolnictwo precyzyjne przede wszystkim z dokładnym stosowaniem środków produkcji oraz realnym ograniczaniem kosztów. Rolnicy postrzegają je jako zestaw praktycznych narzędzi ułatwiających zarządzanie gospodarstwem, a nie jako abstrakcyjną technologię wymagającą specjalistycznej wiedzy. Jednocześnie jednak

identyfikowane są bariery wdrażania – wśród najczęściej wymienianych znalazły się obawy dotyczące skomplikowanej obsługi urządzeń, duże nakłady inwestycyjne oraz ograniczone kompetencje cyfrowe. Wyniki badań potwierdzają znaczenie działań edukacyjnych, doradztwa oraz dostosowanej komunikacji rynkowej, które mogą ułatwić wejście rolników w świat technologii precyzyjnych.

Analizując uwarunkowania marketingowe i proces dyfuzji innowacji, monografia podkreśla rolę strategii informacyjnych, właściwie dobranych kanałów komunikacji oraz kontaktu bezpośredniego z użytkownikami. Warsztaty, demonstracje polowe, szkolenia i udział w wydarzeniach branżowych to kluczowe narzędzia, które mogą zwiększyć zaufanie i świadomość korzyści wśród rolników, co potwierdzają także wyniki badań własnych. Wskazano również, że informacje o redukcji kosztów produkcji – jako najważniejszym czynniku decyzyjnym – powinny stanowić centralny element strategii promocyjnych skierowanych do rolników.

Podsumowując, materiał przedstawiony w monografii wskazuje, że rolnictwo precyzyjne nie jest technologiczną ciekawostką, lecz odpowiedzią na najważniejsze potrzeby współczesnej produkcji rolnej. Łączy ono wymiar technologiczny, ekonomiczny i środowiskowy, umożliwiając jednocześnie zwiększenie konkurencyjności gospodarstw oraz poprawę ich odporności na zmienne warunki rynkowe i klimatyczne. W perspektywie najbliższych lat rolnictwo oparte na danych będzie wyznaczać kierunek rozwoju sektora rolnego. Jednak skuteczność tego procesu zależy nie tylko od dostępności technologii, ale przede wszystkim od wsparcia finansowego, a także od działań edukacyjnych i wsparcia doradczego oraz dopasowanych strategii marketingowych.

Monografia wnosi wkład do dyskusji na temat rolnictwa precyzyjnego, prezentując zarówno przegląd technologii, jak i spojrzenie ekonomiczne oraz perspektywę użytkowników końcowych. Wskazuje również obszary wymagające dalszych badań i inwestycji – przede wszystkim rozwój kompetencji cyfrowych, standaryzację danych, bezpieczeństwo informacji oraz integrację narzędzi cyfrowych między różnymi segmentami produkcji rolniczej. Autorzy wyrażają nadzieję, że przedstawione w opracowaniu wnioski przyczynią się do lepszego rozumienia potencjału rolnictwa precyzyjnego oraz będą inspiracją dla praktyków, decydentów i badaczy podejmujących wysiłki na rzecz zrównoważonego, efektywnego i konkurencyjnego rozwoju polskiego rolnictwa.

LITERATURA

ABB (2018). Prepare your food and beverage facility and workforce for the digital future. Webinarium ABB z dn. 27.09.2018 r.

Adamides, G., Kalatzis, N., Stylianou, A., Marianos, N., Chatzipapadopoulos, F., Giannakopoulou, M., Papadavid, G., Vassiliou, V., Neocleous, D. (2020). Smart farming techniques for climate change adaptation in Cyprus. Atmosphere, 11(6), 6. https://doi.org/10.3390/atmos11060557

Aerts, J.-M., Van Buggenhout, S., Vranken, E., Lippens, M., Buyse, J., Decuypere, E., Berckmans, D. (2003). Active control of the growth trajectory of broiler chickens based on online animal responses. Poul. Sci., 82(12), 1853–1862. https://doi.org/10.1093/ps/82.12.1853

Ajena, F. (2021). Rolnictwo 3.0 czy (inteligentna) agroekologia? Green Eur. J. Pobrano 4.02.2025 z: https://www.greeneuropeanjournal.eu/rolnictwo-3-0-czy-inteligentna-agroekologia/

AMA (American Marketing Association) (2020). AMA Dictionary. Pobrano z: https://www.ama.org/the-definition-of-marketing-what-is-marketing/

Auernhammer, H. (2001). Precision farming – the environmental challenge. Comp. Electron. Agric., 30(1–3), 31–43. https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00153-8

Bacco, M., Barsocchi, P., Ferro, E., Gotta, A., Ruggeri, M. (2019). The digitisation of agriculture: a survey of research activities on Smart Farming. Array 3-4, 100009. https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100009

Badia-Melis, R., Mishra, P., Ruiz-García, L. (2015). Food traceability: New trends and recent advances. A review. Food Contr., 57, 393–401. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.05.005

Barrett, C.B., Benton, T.G., Cooper, K.A., Fanzo, J., Gandhi, R., …, Wood, S. (2020). Bundling innovations to transform agri-food systems. Nat. Sustain., 3(12), 974–976. https://doi.org/10.1038/s41893-020-00661-8

Beckman, J., Ivanic, M., Jelliffe, J.L., Baquedano, F.G., Scott, S.G. (2020). Economic and Food Security Impacts of Agricultural Input Reduction Under the European

Union Green Deal's Farm to Fork and Biodiversity Strategies. Pobrano z: https://doi.org/10.22004/ag.econ.307277

Beluhova-Uzunova, R.P., Dunchev, D.M. (2019). Rolnictwo precyzyjne – koncepcje i perspektywy. Zagad. Ekon. Roln., 360(3), 142–155.

Berckmans, D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. Rev. Sci. Technol., 33(1), 189–196. https://doi.org/10.20506/rst.33.1.2273

Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. Anim. Front., 7(1), 6–11. https://doi.org/10.2527/af.2017.0102

Bijańska, J. (2011). Analiza i ocena ekonomicznej efektywności innowacji. Zesz. Nauk. Org. Zarz. Polit. Śląska, 56, 7–26. Pobrano z: https://delibra.bg.polsl.pl/dlibra/publication/84352/edition/75075/content

Bogue, R. (2021). Robots poised to transform agriculture. Inf. Retriev., 48(5), pp. 637–642. Available at: https://doi.org/10.1108/ir-05-2021-0097

Bothwell, B., Morris, S.D. (2024). Technology Assessment. Precision Agriculture. Benefits and Challenges for Technology Adoption and Use. Pobrano z: https://www.gao.gov/assets/d24105962.pdf

Bórawski, P. (2011). Zróżnicowanie kosztów gospodarstw rolnych w zależności od wielkości ekonomicznej. Pr. Nauk. UE Wroc., 182, 46–53. Pobrano z: https://dbc.wroc.pl/Content/73967/Borawski_Zroznicowanie_kosztow_gospodarstw_rolnych.pdf

Cai, B., Shi, F., Geremew, B.A., Addis, A.K., Abate, M.C., Dessie, W., Bayu, T. (2025). Precision agriculture techniques for optimizing chemical fertilizer use and environmental sustainability: A systematic review. Front. Agron., 7. https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1665444

Carbonell, I. (2016). The ethics of Big Data in Big Agriculture. Intern. Polic. Rev., 5(1), 1–13. https://doi.org/10.14763/2016.1.405

Carbon Robotics (b.d.). Carbon Robotics weed elimination robot. Pobrano 4.02.2025 z: https://www.youtube.com/watch?v=WUUt4E0N1f0

Castrignanò, A., Buttafuoco, G., Mouazen, A.M., Moshou, D., Naud, O., & Naud, O. (2020). Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming. Pobrano 4.02.2025 z: https://www.semanticscholar.org/paper/Agricultural-Internet-of-Things-and-Decision-for-Castrignan%C3%B2-Buttafuoco/85edbe0dd3c256b53028e5a1417adff8f673fc8d

Cellary, W. (2019). Non-technical Challenges of Industry 4.0. W: L.M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, D. Antonelli (red.), Collaborative Networks and Digital Transformation (s. 3–10). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28464-0_1

CEPS (2019). Digitizing Agri-Food. Pathways and Challenges. CEPS – Centre for European Policy Studies Barilla Center for Food & Nutrition Foundation. Pobrano z: https://www.ceps.eu/wp-content/uploads/2019/12/Digitising-Agrifood.pdf

Chmielewska, M., Mądra, M. (2008). Wskaźniki kosztowe w indywidualnych gospodarstwach rolniczych. Zesz. Nauk. SGGW Ekon. Org. Gosp. Żywn., 64, 201–213. https://doi.org/10.22630/EIOGZ.2008.64.16

Christensen, C.M. (2010). Przełomowe innowacje. Warszawa: Wyd. Nauk. PWN.

Ciborowski, R.W., Gruszewicz, E., Meredyk, K. (2001). Podstawy rachuku efektywności inwestycyjnej. Białystok: Wyd. Uniwersytetu w Białymstoku.

Cole, M.B., Augustin, M.A., Robertson, M.J., Manners, J.M. (2018). The science of food security. npj Sci. Food, 2(14). https://doi.org/10.1038/s41538-018-0021-9.

Curran, M., Gabel, V., Stolze, M., Lazzarini, G., Blockeel, J. …, Epple, R. (2020) Representative Farm-Based Sustainability Assessment of the Organic Sector in Switzerland Using the SMART-Farm Tool. Front. Sustain. Food Syst., 4. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.554362

Czakon, W. (2012). Sieci w zarządzaniu strategicznym. Warszawa: Ofic. Wolters Kluwer.

Day, W. (2005). Engineering precision into variable biological systems. Ann. Appl. Biol., 146 (2), 155–162. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.040064.x

Derehajło, B. (2018). Zarządzanie gospodarstwem rolnym w warunkach gospodarki rynkowej. W: E. Czernyszewicz, E. Kołodziej (red.), Jakość i zarządzanie w agrobiznesie wybrane aspekty (s. 57–67). Lublin: UP w Lublinie.

Devi, T.S., Rashmitha, Raveena, Janani, M., Kiran, C.H. (2020). Robot Technologies in Agriculture: A Review. Institute of Scholars (InSc). Pobrano z: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3667504

DG AGRI (2020). https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DataPortal/home.html

Dominik, A. (2010). System rolnictwa precyzyjnego. Radom: Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Radomiu.

EC (European Commission) (b.d.). European Innovation Partnerships (EIPs). Pobrano 26.10.2025 z: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/past-research-and-innovation-policy-goals/open-innovation-resources/european-innovation-partnerships-eips_en

Ekielski, A., Wesołowski, K. (2019). Systemy agrotroniczne. Toruń: Polska Izba Gospodarcza Maszyn i Urządzeń Rolniczych.

El Nahry, A.H., Mohamed, E.S. (2011). Potentiality of land and water resources in African Sahara: A case study of south Egypt. Env. Earth Sci., 63(6), 1263–1275. https://doi.org/10.1007/s12665-010-0799-5

Epicor (b.d.). What is Industry 4.0—the Industrial Internet of Things (IIoT)? Pobrano z: https://www.epicor.com/en/blog/technology-and-data/what-is-industry-4-0/

Escamilla-García, A., Soto-Zarazúa, G.M., Toledano-Ayala, M., Rivas-Araiza, E., Gastélum-Barrios, A. (2020). Applications of artificial neural networks in greenhouse technology and overview for smart agriculture development. Appl. Sci., 10(11), 3835. https://doi.org/10.3390/app10113835

EUROSTAT (2019). Gross value added and income by main industry (NACE Rev.2): https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nama_10_a10/default/table?lang=en&category=na10.nama10.nama_10_bbr

FADN (Polski FADN System Zbierania i Wykorzystywania Danych Rachunkowych z Gospodarstw Rolnych) (2022). Wyniki Standardowe 2021 uzyskane przez gospodarstwa rolne uczestniczące w Polskim FADN. Pobrano 12.05.2025 z: http://fadn.pl/wp-content/uploads/2023/01/WS_2021_Polska_cz1.pdf

FAO (2022). FRA 2020 Remote Sensing Survey. No. 186. Rome: FAO. Pobrano 25.01.2023 z: https://www.fao.org/documents/card/en?details=cc0463en

Farooqi, Z.U.R., Ayub, M.A., Nadeem, M., Shabaan, M., Ahmad, Z, …, Iftikhar, I. (2021). Precision Agriculture to Ensure Sustainable Land Use for the Future: Precision Agriculture and Arable Land Use'. W: G.N.T. Hasnat, M.K. Hossain (red.), Examining International Land Use Policies, Changes, and Conflicts (s. 210–230). IGI Global Scientific Publishing. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4372-6.ch011

Figiel, S. (2019). Rynki rolne i żywnościowe w dobie innowacji cyfrowych. Studia i Monografie, nr 176. Warszawa: IERiGŻ-PIB.

Finger, R., Swinton, S.M., El Benni, N., Walter, A. (2019). Precision Farming at the nexus of agricultural production and the environment. Ann. Rev. Resour. Econ., 11(1), 313–335. https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929

Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J.A., Dempster, T., Eguiraun, H., Watson, W., Stahl, A., Sunde, L.M. (2017). Precision fish farming: a new framework to improve production in aquaculture. Biosyst. Eng., 173, 176–193.

Gazdecki, M. (2014). Struktura i procesy konsolidacji handlu na rynku środków produkcji na przykładzie rynku chemicznych środków ochrony roślin. Market. Rynek, 8 (CD), 837–843. Pobrano z: http://bazekon.icm.edu.pl/bazekon/element/bwmeta1.element.ekon-element-000171304107

Gazdecki, M. (2015). Sektor usług żywieniowych jako kanał dystrybucji żywności. Poznań: Wyd. UPP.

Gazdecki, M. (2016). Hierarchizacja czynników kształtujących relacje przedsiębiorstw w kanałach dystrybucji środków ochrony roślin. Zesz. Nauk. SGGW Ekon. Org. Gosp. Żywn., 113. https://doi.org/10.22630/EIOGZ.2016.113.11

Gazdecki, M. (2020). Marketing dla rolników. Podstawy teoretyczne i wskazówki dla praktyków. Poznań: Wyd. WODR Pozn.

Gazdecki, M. (2022). Elektroniczne systemy wspomagające zarządzanie gospodarstwem rolnym. [Przedmiot w programie studiów podyplomowych z ekonomiki gospodarstwa rolnego]. Poznań: UPP.

Gazdecki, M., Goryńska-Goldmann, E., Wielicka-Regulska, A. (2024a). Farming with use of the IoF. W: A. Rogala, R. Nestorowicz, E. Jerzyk (red.), Internet of Things in the Food Industry: Challenges and Opportunities for the Internet of Food Things (pp. 58–75). Routledge: Taylor & Francis Group. https://doi.org/10.4324/9781003401421-7

Gazdecki, M., Wielicka-Regulska, A., Goryńska-Goldmann, E. (2024b). Smart farming. W: A. Rogala, R. Nestorowicz, E. Jerzyk (red.), Internet of Things in the Food Industry: Challenges and Opportunities for the Internet of Food Things (pp. 47–57). Routledge, Taylor & Francis Group. https://doi.org/10.4324/9781003401421-6

Gazdecki, M., Wielicka-Regulska, A., Goryńska-Goldmann, E. (2024c). The concept of the Internet of Food. W: A. Rogala, R. Nestorowicz, E. Jerzyk (red.), Internet of Things in the Food Industry: Challenges and Opportunities for the Internet of Food Things (pp. 16–26). Routledge, Taylor & Francis Group. https://doi.org/10.4324/9781003401421-3

Goel, R., Yadav, Ch., Vishnoi, S., Rastogi, R. (2021). Smart agriculture – Urgent need of the day in developing countries. Sustain. Comp. Infor., 30, 100512. https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100512

Gomiero, T. (2019). 2 - Soil and crop management to save food and enhance food security. W: C.M. Galanakis (red.), Saving Food (s. 33–87). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815357-4.00002-X

Griepentrog, H.W. (2017). Green Future – Smart Technology: Opportunities and challenges of digitization in agriculture. DLG Pressemitteilung. Pobrano z: https://www.oemoffhighway.com/market-analysis/industry-news/agriculture/news/20975855/german-agricultural-society-dlg-green-future-smart-technology-opportunities-and-challenges-of-digitization-in-agriculture

GUS (Główny Urząd Statystyczny) (2022). Powszechny Spis Rolny 2020. Warszawa: GUS. Pobrano z: https://stat.gov.pl/spisy-powszechne/powszechny-spis-rolny-2020/

GUS (Główny Urząd Statystyczny) (2023). Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2022. Warszawa: GUS. Pobrano z: https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rolnictwa-2022,6,16.html

GUS (Główny Urząd Statystyczny) (2025). Budżety gospodarstw domowych w 2024 r. Warszawa: GUS. Pobrano z: https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/warunki-zycia/dochody-wydatki-i-warunki-zycia-ludnosci/budzety-gospodarstw-domowych-w-2024-r-,9,23.html

Halachmi, I., Edan, Y., Maltz, E., Peiper, U., Moallem, U., Brukental, I. (1998). A real-time control system for individual dairy cow food intake. Comp. Electr. Agric., 20(2), 131–144. https://doi.org/10.1016/S0168-1699(98)00013-1

Hassoun, A., Aït-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, A.M., Rathod, N.B., Bader, F., … Regenstein, J. (2022). The fourth industrial revolution in the food industry – Part I: Industry 4.0 technologies. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 63(23), 6547–6563. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2034735

Hemming, J., Bac, C., van Tuijl, B., Barth, R., Bontsema, J., …, van Henten, E. (2014). A Robot for Harvesting Sweet-Pepper in Greenhouses. AgEng. Pobrano z: https://www.geyseco.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C01140001.pdf

IFP (Instytut Finansów Publicznych) (2024). 20 lat polskiego rolnictwa w UE. Perspektywa makroekonomiczna. Wybrane fakty. Pobrano 29.10.2025 z: https://www.

ifp.org.pl/20-lat-polskiego-rolnictwa-w-ue-perspektywa-makroekonomiczna-wybrane-fakty/

IPES-Food (2017). Too Big to Feed. Exploring the impacts of mega-mergers, consolidation and concentration of power in the agri-food sector. International Panel of Experts on Sustainable Food Systems. Pobrano z: https://www.ipes-food.org/_img/upload/files/Concentration_FullReport.pdf

Jadczyszyn, T., Kowalczyk, J., Lipiński, W. (2010). Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. Materiały szkoleniowe nr 95. Puławy: IUNiG-PIB. Pobrano z: https://iung.pl/images/pdf/ZaleceniaNawozowe2010.pdf

Kapusta, F. (2015). Bezpieczeństwo żywnościowe jako indykator zrównoważonego spożycia. J. Agribus. Rural Dev., 4(38), 695–703.

Karas, J., Skýpalová, R., Tomšík, P. (2022). Human capital in agriculture: barriers to industry 4.0. J. Interdiscip. Res., 12(2), 298–301. Pobrano z: https://www.magnanimitas.cz/ADALTA/1202/papers/G_skypalova.pdf

Khodadadi, F., Dastjerdi, A.V., Buyya, R. (2016). Chapter 1 – Internet of Things: An overview. W: R. Buyya, A. Vahid Dastjerdi (red.), Internet of Things (s. 3–27). Morgan Kaufmann. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805395-9.00001-0.

Khoury, C.K., Bjorkman, A.D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A., Rieseberg, L.H., Struik, P.C. (2014). Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. Proceedings of the National Academy of Sciences, 201313490. https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111

Klepacki, B. (2020). Precision farming as an element of the 4.0 industry economy. Ann. Pol. Assoc. Agric. Agribus. Econ., XXII(3), 119–128. https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.3572

Klerkx, L., Jakku, E., Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, Smart Farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. NJAS Wagenin. J. Life Sci., 90–91, 100315. https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315

Kobus-Cisowska, J., Dziedziński, M. (2023). Możliwości i wyzwania zastosowania cyfryzacji w rozwoju zrównoważonego, inteligentnego rolnictwa na przykładzie produkcji roślinnej. Zagad. Doradz. Roln., 112(2), 28–41. Pobrano z: https://zdr.cdr.gov.pl/archiwum.html

Kordowska, M., Baranowski, M., Pisarek, J., Ziemacki, Z., Wawer, R., Czech, T. (2023). Rolnictwo 4.0 Identyfikacja trendów technologicznych. Warszawa: NCBR.

Korzeniowski, S. (2013). Rolnictwo energetyczne i precyzyjne wybrane zagadnienia. Suwałki: Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. prof. E.F. Szczepaniaka w Suwałkach.

Korzeniowski, S. (2024). Polowa produkcja roślinna. T. 2. Technologie produkcji surowców roślinnych. Cz. I–III. Technologie uprawy roślin zbożowych. Technologie uprawy roślin okopowych. Technologie uprawy roślin bobowatych

grubonasiennych (strączkowych). Suwałki: Państwowa Uczenia Zawodowa im. Prof. E.F. Szczepanika.

Kosior, K. (2020). Ekonomiczne i etyczno-prawne aspekty cyfryzacji w sektorze rolno-spożywczym. Zagad. Ekon. Roln., 2(363), 53–72. https://doi.org/10.30858/zer/120456

Kosior, K. (2018). Cyfrowa transformacja w sektorze rolno-spożywczym – szanse i wyzwania. Rocz. Nauk. SERiA, 20(2), 98–104. https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.8122

Kotler, P., Hermawan, K. (2023). Marketing 6.0: The Future Is Immersive. John Wiley & Sons Inc.

Kotler, P., Kartajaya, H., Setiawan, I. (2016). Marketing 4.0: Moving from Traditional to Digital. Pobrano z: https://www.drnishikantjha.com/booksCollection/Marketing%204.0_%20Moving%20from%20Traditional%20to%20Digital%20(%20PDFDrive%20).pdf

Kraciuk, J. (2018). Bezpieczeństwo żywnościowe Polski na tle wybranych krajów Europy Wschodniej. Zesz. Nauk. SGGW Ekon. Org. Gosp. Żywn., 121, 41–53. https://doi.org/10.22630/EIOGZ.2018.121.3

Kubik, T. (2018). Autonomiczność ocen przedsięwzięć innowacyjnych w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Zesz. Nauk. PP Org. Zarz., 76, 149–157. Pobrano z: https://zeszyty.fem.put.poznan.pl/pdf-125897-53814?filename=Innovative%20projects.pdf

Kuhn (Kuhn Center Jelonek) (b.d.a). CropView. Pobrano 10.03.2025 z: https://www.kuhncenter.pl/produkt/cropview

Kuhn (Kuhn Center Jelonek) (b.d.b). EZ-Pilot Pro. Pobrano 10.03.2025 z: https://www.kuhncenter.pl/produkt/ez-pilot-pro/

Kuhn (Kuhn Center Jelonek) (b.d.c). GFX-750. Pobrano 10.03.2025 z: https://www.kuhncenter.pl/produkt/gfx-750/

Kuhn (Kuhn Center Jelonek) (b.d.d). NAV-900. Pobrano 10.03.2025 z: https://www.kuhncenter.pl/produkt/nav-900/

Kuryluk, R. (2020). O problemie z wodą w rolnictwie – okiem rolnika. Woda w rolnictwie – ekspertyza.

Leśkiewicz, K. (2012). Bezpieczeństwo żywnościowe i bezpieczeństwo żywności – aspekty prawne. Poznań: Wyd. Nauk. UAM.

Lorencowicz, E. (2018). Cyfrowe rolnictwo – cyfrowe zarządzanie. Rocz. Nauk. SERiA, 4. https://doi.org/10.22004/ag.econ.293715

Maffezzoli, F., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., Renga, F. (2022). Agriculture 4.0: A systematic literature review on the paradigm, technologies and benefits. Futures, 142(5), 102998. https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102998

Mącik, R. (2014). Ankiety internetowe w percepcji osób korzystających i niekorzystających z nich w pracy zawodowej. Stud. Ekon., 195, 125–139. Pobrano z: https://www.researchgate.net/publication/282120000_Ankiety_internetowe-_w_percepcji_osob_korzystajacych_i_niekorzystajacych_z_nich_w_pracy_za-

wodowej_Web_Surveys_Cawi_Perception_by_Marketing_Professionals_Classified_as_Cawi_Users_and_Non-Users#full-text
McCormick (2021). Precision farming: what is it and what benefits does it offer? Pobrano 4.02.2025 z: https://www.mccormick.it/as/precision-farming/#What%20is%20precision%20farming
Metos (Metos by PESSL Instruments) (b.d.). µMETOS Następny poziom stacja meteorologiczna. Pobrano 10.03.2025 z: https://metos.at/pl/micrometos-nbiot/
MRiRW (Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi) (2022a). Wybrane wyniki badania opinii publicznej Polska wieś i rolnictwo, seminarium nt. zmian zachodzących na obszarach wiejskich i w sektorze rolno-spożywczym na podstawie badań prowadzonych na zlecenie MRiRW w kontekście aktualizacji Strategii zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa 2030, 31 stycznia 2023 r.
MRiRW (Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi) (2022b). Wzmocnienie kompetencji cyfrowych w szkołach rolniczych. Pobrano z: https://www.gov.pl/web/rolnictwo/wzmocnienie-kompetencji-cyfrowych-w-szkolach-rolniczych
Monteleone, S., de Moraes E.A., Tondato de Faria B., Aquino Junior, P.T., Maia, R.F., Neto, A.T., Toscano, A. (2020). Exploring the adoption of precision agriculture for irrigation in the context of Agriculture 4.0: The key role of internet of things. Sensors, 20(24), 7091. https://doi.org/10.3390/s20247091
Mroczkowski, J., Bazylia, Ś. (2021). Technologie w rolnictwie. Warszawa: Startup Poland.
Mruk, H., Pilarczyk, B., Sławińska, M. (2012). Marketing. Koncepcje – strategie – trendy. Poznań: Wyd. UEP.
NCBR (Narodowe Centrum Badań i Rozwoju) (b.d.). BRIdge Alfa. Pobrano 29.10.2025 z: https://www.gov.pl/web/ncbr/bridge-alfa
Nestorowicz, R., Pilarczyk, B. (2010). Marketing ekologicznych produktów żywnościowych (I). Warszawa: Wolters Kluwer.
Nosecka, B. (2018). Gospodarka oparta na wiedzy w polskim rolnictwie. W: M. Grzelak, J. Gawryś, Zastosowanie metod ilościowych do oceny zjawisk ekonomicznych i społecznych, Przedsiębiorczość i zarządzanie (t. XIX, z. 3, część II, s. 179–192). Wydawnictwo SAN.
OECD (2019a). An Introduction to Online Platforms and Their Role in the Digital Transformation. Paris: OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/53e5f593-en
OECD (2019b). Digital Opportunities for Better Agricultural Policies. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/571a0812-en
Oliver, M., Bishop, T., Marchant, B. (2013a). Improving Food Security through Increasing the Precision of Agricultural Development. Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection. Routledge.
Oliver, M., Bishop, T., Marchant, B. (2013b). An Overview of Precision Agriculture. Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection. Routledge.
Olx (b.d.). Oferta – rozsiewacz nawozu. Pobrano 14.06.2023; 12.05.2025 z: https://www.olx.pl/oferty/q-rozsiewacz-nawozu/#836665619

PARP (b.d.). Czym jest cyfryzacja? Pobrano 4.02.2025 z: https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/technologia-organizacja-i-procesy-trzy-obszary-transformacji-cyfrowej/

Perez-Ruiz, M., Slaughter, D.C., Gliever, C., Upadhyaya, S.K. (2012). Tractor-based Real-time Kinematic-Global Positioning System (RTK-GPS) guidance system for geospatial mapping of row crop transplant. Biosys. Eng., 111(1), 64–71. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.10.009

Pham, X., Stack, M. (2018). How data analytics is transforming agriculture. Bus. Horiz., 61(1), 125–133. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.09.011

Poczta, W., Rowiński, J. (red.) (2019). Struktura polskiego rolnictwa na tle Unii Europejskiej. Warszawa: Wyd. CeDeWu.

PFPK (Polska Fundacja Przemysłu Kosmicznego) (2021). Rolnictwo precyzyjne w Polsce, raport. Pobrano z: https://pfpk.org.pl/wp-content/uploads/2023/11/Rolnictwo-Precyzyjne-w-Polsce-pl.pdf

Poore, J., Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science, 360(6392), 987–992. https://doi.org/10.1126/science.aaq0216

Popczyk, J. (2014). Mikrobiogazownia jako innowacja przełomowa. Czys. Energ., 2, 1–11. Pobrano z: https://www.cire.pl/pliki/2/edukacja_popczyk_.pdf

Powell, A. (2017). Bringing big data to the farm. Harv. Gazet., April 7. Pobrano z: http://news.harvard.edu/gazette/story/2017/04/the-future-of-food-will-be-proactive-efficient-and-digitized-or-else.

Prathyusha, K., Suman, M.C. (2012). Design of embedded systems for the automation of drip irrigation. Int. J. Appl. Innov. Eng. Manag., 1(2), 254–258. Pobrano z: https://scispace.com/pdf/design-of-embedded-systems-for-the-automation-of-drip-4zsihxd146.pdf

Quy, V.K., Hau, N.V., Anh, D.V., Quy, N.M., Ban, N.T., Lanza, S., Randazzo, G., Muzirafuti, A. (2022). IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges. Appl. Sci., 12(7), 7. https://doi.org/10.3390/app12073396

Rajkhowa, P., Kubik, Z. (2021). Revisiting the relationship between farm mechanization and labour requirement in India. Ind. Econ. Rev., 56, 487–513. https://doi.org/10.1007/s41775-021-00120-x

Ratajczak-Mrozek, M. (2010). Sieci biznesowe a przewaga konkurencyjna przedsiębiorstw zaawansowanych technologii na rynkach zagranicznych. Poznań: Wyd. UEP.

Roberts, M.J., Schlenker, W. (2009). World Supply and Demand of Food Commodity Calories. Am. J. Agric. Econ., 1235–1242. Pobrano z: https://www.jstor.org/stable/20616288

Ruhlman, M. (2017). Grocery: The Buying and Selling of Food in America. Abrams.

Sadownictwo.com.pl (Portal sadowniczy) (2023). Rekordowe zainteresowanie wdrażaniem nowych technologii. Pobrano 29.10.2025 z: https://www.sadownictwo.com.pl/rekordowe-zainteresowanie-wdrazaniem-nowych-technologii-wsrod-sad

ownikowSadowski, A. (2017). Wyżywieniowe i środowiskowe funkcje światowego rolnictwa – analiza ostatniego półwiecza. Poznań: Wyd. UPP.

Sadowski, A., Baer-Nawrocka, A., Poczta, W. (2013). Gospodarstwa rolne w Polsce na tle gospodarstw Unii Europejskiej – wpływ WPR. Powszechny Spis Rolny 2010. Warszawa: GUS. Pobrano z: https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/psr-2010/powszechny-spis-rolny-2010-gospodarstwa-rolne-w-polsce-na-tle-gospodarstw-unii-europejskiej-wplyw-wpr,12,1.html

Sadowski, A. (2020). Rolnictwo w świecie zmian – wyzwania dla doradztwa. Zagad. Dor. Roln., 102(4), 7–19. Pobrano z: https://share.google/Y22uQbX61XkJ7XmI2

SAP (b.d.). What is machine learning? Pobrano z: https://www.sap.com/products/artificial-intelligence/what-is-machine-learning.html

SAP (SAP Business Technology Platform) (b.d.). Czym jest Internet rzeczy (IoT)? Pobrano 28.10.2025 z: https://www.sap.com/poland/products/technology-platform/what-is-iot.html

Sapkota, T.B., Jat, M.L., Rana, D.S., Khatri-Chhetri, A., Jat, H.S., Bijarniya, D., Sutaliya, J.M., Kumar, M., Singh, L.K., Jat, R.K., Kalvaniya, K., Prasad, G., Sidhu, H.S., Rai, M., Satyanarayana, T., Majumdar, K. (2021). Crop nutrient management using Nutrient Expert improves yield, increases farmers' income and reduces greenhouse gas emissions. Sci. Rep., 11(1), 1564. https://doi.org/10.1038/s41598-020-79883-x

Schrijver, R. (2016). Rolnictwo precyzyjne a przyszłość rolnictwa w Europie. Bruksela: STOA.

Shang, L., Heckelei, T., Gerullis, M.K., Börner, J., Rasch, S. (2021). Adoption and diffusion of digital farming technologies – integrating farm-level evidence and system interaction. Agric. Syst., 190, 103074. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103074

SIR (Sieć na rzecz Innowacji w Rolnictwie i na Obszarach Wiejskich) (2020). Pobrano 26.10.2025 z: https://sir.cdr.gov.pl/czym-jest-sir/

Slaughter, D.C., Giles, D.K., Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: a review. Comp. Electr. Agric., 61(1), 63–78. https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.05.008

Song, X., Bokkers, E., van der Tol, P., Koerkamp, P.G., van Mourik, S. (2018). Automated body weight prediction of dairy cows using 3-dimensional vision. J. Dairy Sci., 101(5), 4448–4459. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13094

Sott, M.K., Furstenau, L.B., Kipper, L.M., Giraldo, F.D., Lopez-Robles, J.R., Cobo, M.J., Imran, M.A. (2020). Precision techniques and Agriculture 4.0 technologies to promote sustainability in the coffee sector: State of the art, challenges, and future trends. IEEE Access, 8, 149854–149867. https://doi.org/10.1109/ACCESS.f2020.3016325

Suh, D.H. and Moss, C.B. (2021). Examining the input and output linkages in agricultural production systems. Agriculture, 11(1), 54. https://doi.org/10.3390/agriculture11010054

Szymczak, J., Sadowski, A. (2019). Technologia blockchain jako stymulanta zachowania bezpieczeństwa żywności w łańcuchu dostaw. Zagad. Dor. Roln., 2(96), 49–63. https://share.google/AdOa1zKTeBo6JNva7

Taranko, T. (2018). Komunikacja marketingowa. Istota, uwarunkowania, efekty. Warszawa: Wydawnictwo Nieoczywiste.

Tomaszewski, D. (2025). Rolnictwo precyzyjne w praktyce – dane zamiast domysłów. Mag. Roln. AgroProfil. Pobrano z: https://agroprofil.pl/wiadomosci/rolnictwo-precyzyjne-w-praktyce-dane-zamiast-domyslow/

Torky, M., Hassanein, A.E. (2020). Integrating blockchain and the internet of things in precision agriculture: Analysis, opportunities, and challenges. Comp. Electr. Agric., 178, 105476. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105476

UJ (Uniwersytet Jagielloński w Krakowie) (b.d.). Wizja, misja i obszary aktywności CaLiLab. Pobrano 29.10.2025 z: https://calila.id.uj.edu.pl/o-projekcie/opis

Van Alphen, B.J., Stoorvogel, J.J. (2020). A Methodology for Precision Nitrogen Fertilization in High-Input Farming Systems. Prec. Agric., 2(4), 319–332. https://doi.org/10.1023/A:1012338414284

Van Mourik, S., Van der Tol, R., Linker, R., Reyes-Lastiri, D., Kootstra, G., Koerkamp, P.G., van Henten, E.J. (2021). Introductory overview: Systems and control methods for operational management support in agricultural production systems. Env. Model. Soft., 139. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105031

Van Woensel, L., Vrščaj, D. (2015). Towards Scientific Foresight for the European Parliament, PE 527.415. EPRS. https://doi.org/10.2861/367909

Vatin, N.I., Joshi, S.K., Acharya, P., Sharma, R., Rajasekhar, N. (2024). Precision Agriculture and Sustainable Yields: Insights from IoT-Driven Farming and the Precision Agriculture Test. BIO Web of Conferences, 86, 01091. https://doi.org/10.1051/bioconf/20248601091

Velten, S., Leventon, J., Jager, N., Newig, J. (2015). What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review. Sustainability, 7(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/su7067833

Walter, A., Finger, R., Huber, R., Buchmann, N. (2017). Opinion: Smart Farming is key to developing sustainable agriculture. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 114 (24), 6148–6150. https://doi.org/10.1073/pnas.1707462114

Waśkowski, Z. (2022). Marketing. Podręcznik akademicki. Poznań: Wydawnictwo UEP.

Witkowska, E.A. (2022). Systemy informatyczne a internet rzeczy w kontekście zarządzania gospodarstwem rolnym. Zesz. Nauk. Pol. Częstoch. Zarz., 46, 101–116. Pobrano z: https://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.ojs-doi-10_17512_znpcz_2022_2_08

WIR (Wielkopolska Izba Rolnicza) (2025). Ceny środków produkcji. Pobrano 12.05.2025 z: http://wir.org.pl/asp/ceny-srodkow-produkcji,188,,1Wołowiec, T., Gwoździewicz, S., Dahl, M. (2021). Źródła pozyskiwania innowacji w rolnictwie,

przetwórstwie rolno-spożywczym i pozostałej działalności gospodarczej prowadzonej przez podmioty gospodarcze na obszarach wiejskich.

Wrzaszcz, W., Wigier, M. (2024) (red). Środowiskowo-Klimatyczne uwarunkowania rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce w latach 2004–2030. Warszawa: Wyd. IERiGŻ-PIB.

Ziętara, W. (2018). Gospodarstwa rodzinne w Polsce, stan i kierunki rozwoju. Probl. Drob. Gosp. Roln., 4, 89–103. http://dx.doi.org/10.15576/PDGR/2018.4.89

ZPE (Zintegrowana Platforma Edukacyjna) (b.d.). Ebook – Rolnictwo precyzyjne. Pobrano 12.02.2025 z: https://zpe.gov.pl/a/wybor-i-wdrozenie-technologii-rolnictwaprecyzyjnego/DRCFCODjn

Nowoczesne rolnictwo stoi dziś przed wyzwaniami, które wymagają innowacyjnych i efektywnych rozwiązań. Niniejsza monografia stanowi aktualne i wartościowe opracowanie, w którym Autorzy w przejrzysty i uporządkowany sposób przedstawiają istotę rolnictwa precyzyjnego oraz jego znaczenie dla rozwoju zrównoważonej produkcji żywności.

Publikacja łączy solidne podstawy teoretyczne z pogłębioną analizą empiryczną. Autorzy sięgają po zróżnicowane metody badawcze, od analizy literatury i przeglądu technologii po studium przypadku i badania ankietowe. W efekcie ukazują potencjał redukcji kosztów oraz perspektywy rozwoju sektora rozwiązań rolnictwa precyzyjnego z perspektywy jego użytkowników.

Książka wypełnia istotną lukę na rynku wydawniczym i stanowi cenne źródło wiedzy dla naukowców, studentów, doradców rolniczych, producentów technologii oraz decydentów. Jest to opracowanie dla wszystkich, którzy chcą lepiej zrozumieć kierunki rozwoju współczesnego systemu żywnościowego i jego przyszłość.



Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

UNIWERSYTET PRZYRODNICZY W POZNANIU

ISBN 978-83-68187-46-5