

Gabriela Czapiewska

Uniwersytet Pomorski w Słupsku

Instytut Geografii

gabriela.czapiewska@upsl.edu.pl,  <https://orcid.org/0000-0002-5638-9831>

Cyfrowa transformacja w sektorze rolnym Polski

Zarys treści: W obliczu narastających wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi, degradacją gleb oraz rosnącym zapotrzebowaniem na żywność, rolnictwo cyfrowe stanowi kluczowy element transformacji sektora rolnego w kierunku zrównoważonego rozwoju. Celem artykułu jest zaprezentowanie koncepcji rolnictwa cyfrowego oraz wskazanie możliwości zastosowania innowacyjnych technologii w sektorze rolnym. W opracowaniu uwypuklono aktualne trendy i stan cyfryzacji rolnictwa w Polsce. Zwrócono uwagę na założenia, cele, wytyczne dla systemów rolnictwa cyfrowego formułowane w deklaracjach i dokumentach strategicznych. Zobrazowano innowacyjne, cyfrowe technologie stosowane w produkcji rolnej, korzyści z nich wynikające oraz bariery utrudniające ich wdrażanie. Kluczowe działania przyspieszające proces cyfryzacji w sektorze rolnym to wsparcie finansowe, edukacja oraz integracja nowych technologii z istniejącą infrastrukturą gospodarstw rolnych.

Słowa kluczowe: rolnictwo, transformacja cyfrowa, cyfryzacja, cyfrowe rolnictwo

Wprowadzenie

Jednym z najważniejszych aspektów dążenia do spójności gospodarczej wsi jest jej ukierunkowanie na nowoczesne strategie gospodarowania, oparte na zasobach intelektualnych, wiedzy, informacji oraz technologiach nowych generacji w rolnictwie. Innowacyjne rozwiązania mogą stanowić ważną, trwałą determinantę rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich (Kiniorska i in. 2021).

Kluczowym etapem w rozwoju wielu sektorów gospodarki, zwłaszcza przemysłu i rolnictwa, była cyfrowa rewolucja, zapoczątkowana w drugiej połowie XX w. rozpowszechnieniem się komputerów cyfrowych oraz cyfrowego przechowywania danych. Z procesem tym wiążą się terminy – cyfryzacja i digitalizacja. Często są one używane zamiennie, jednakże reprezentują różne aspekty transformacji cyfrowej (Zmija 2025). Digitalizacja jest procesem konwersji danych z formy analogowej na cyfrową (techniczny aspekt transformacji). Z kolei cyfryzacja,

pomimo że wydaje się podobnym zjawiskiem, jest określeniem opisującym całkowity proces wdrażania technologii cyfrowej oraz jej wykorzystania w celu modyfikacji sposobu działania przedsiębiorstwa. Zdaniem Runowskiego (2020) cyfryzacja to zmiana paradygmatu zarządzania oparta na danych, które przekształcone w formę cyfrową stają się podstawą do dalszej transformacji i innowacji. Warto jednocześnie podkreślić, że obydwie te pojęcia wywodzą się od słowa w języku angielskim *digitisation*, a ich zamiennie stosowanie funkcjonuje w terminologii polskojęzycznej. Zatem dylematy terminologiczne, choć kluczowe dla polskojęzycznej literatury przedmiotu, nie mają odniesienia w literaturze międzynarodowej. Często są wynikiem próby precyzyjnego przełożenia angielskiego kontekstu na grunt polski (Runowski 2021).

Rozwój technologii cyfrowych oraz postępujące procesy cyfryzacji prowadzą do głębokich przeobrażeń w systemach organizacji produkcji i sposobach tworzenia wartości w gospodarce. Proces ten zmienia również rolnictwo – produkcyjną działalność rolniczą, zarządzanie gospodarstwem oraz współpracę i kontakty producentów żywności z otoczeniem (Lorencowicz 2018, Figiel 2019, Trendov i in. 2019, Ekielski i in. 2023).

Powszechne wdrażanie technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT), dostęp do Internetu, smartfonów, a także coraz bardziej przystępnych cenowo nowoczesnych narzędzi rolniczych, sensorów, dronów oraz sztucznej inteligencji, prowadzi sektor rolny ku głębokiej transformacji technologicznej (Luyckx, Reins 2022, Sharma i in. 2022). Rozwiązania te odgrywają zasadniczą rolę w podnoszeniu efektywności produkcji polskiego rolnictwa (TSIC-RoC-19517: Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce 2025).

Transformacja w kierunku rolnictwa cyfrowego jest obecnie jednym z najważniejszych wyzwań rozwojowych, przed którymi stoją gospodarstwa rolne w Polsce. Korzystanie z technologii cyfrowych i inteligentnych narzędzi, optymalizujących produkcję rolną i procesy zarządzania gospodarstwem oraz redukujące pracę ludzką, jest nie tylko kwestią wyboru, ale również koniecznością, uwarunkowaną dążeniami do osiągnięcia celów klimatyczno-środowiskowych (Kosior 2023). W obliczu narastających trudności związanych ze zmianami klimatycznymi, degradacją gleb oraz rosnącym zapotrzebowaniem na żywność, rolnictwo cyfrowe stanowi kluczowy element transformacji sektora rolnego w kierunku zrównoważonego rozwoju (Secundo i in. 2022, Sanyaolu, Sadowski 2024). Gebresenbet i in. (2023) opracowali koncepcję mającą na celu ułatwienie pełnej integracji technologii cyfrowych w celu ulepszenia przyszłych inteligentnych i zrównoważonych systemów rolniczych.

Celem artykułu jest zaprezentowanie koncepcji rolnictwa cyfrowego oraz wskazanie możliwości zastosowania innowacyjnych technologii w sektorze rolnym. W opracowaniu uwypuklono aktualne trendy i stan cyfryzacji rolnictwa w Polsce, bazując na wynikach ministerialnego projektu „Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce” oraz badania „Rolnictwo cyfrowe w Polsce”, zrealizowanego w ramach projektu Partners for International Business (PIB) „Soil Improvement Poland”. Zwrócono uwagę na założenia, cele i wytyczne dla systemów rolnictwa cyfrowego, formułowane w deklaracjach i dokumentach strategicznych.

Zobrazowano cyfrowe technologie stosowane w produkcji rolnej, a także korzyści wynikające z rozwoju rolnictwa cyfrowego. Wskazano także bariery utrudniające wdrażanie innowacyjnych technologii w sektorze rolnym. Wykorzystane w pracy metody badawcze obejmowały przede wszystkim studia literatury, zarówno krajowej, jak i zagranicznej z zakresu podjętej problematyki badawczej, a także analizy raportów realizowanych projektów badawczych.

Idea rolnictwa cyfrowego

Rolnictwo cyfrowe (*digital farming*) to nowoczesna koncepcja zarządzania gospodarstwem oparta na wykorzystaniu technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) oraz zaawansowanej analizy danych do optymalizacji produkcji roślinnej i zwierzęcej. W literaturze przedmiotu *digital farming* jest definiowane jako ewolucyjne rozwinięcie koncepcji rolnictwa precyzyjnego i inteligentnego (*smart farming*), stanowiące filar Rolnictwa 4.0. Jest to system oparty na połączeniu tradycyjnych praktyk rolniczych z nowoczesnymi technologiami, takimi jak Internet Rzeczy (IoT), sensory, drony, sztuczna inteligencja (AI) oraz analiza Big Data. Według organizacji branżowych, takich jak CEMA (Europejskie Stowarzyszenie Maszyn Rolniczych), *digital farming* to spójne połączenie obserwacji polowych (satelitarnych, meteorologicznych) z szybkim przetwarzaniem informacji, co pozwala rolnikowi na podejmowanie precyzyjnych decyzji o zabiegach agrotechnicznych. W publikacjach naukowych rolnictwo cyfrowe przedstawiane jest jako paradygmat mający na celu jednoczesną poprawę efektywności ekonomicznej, zwiększenie wydajności produkcji żywności oraz realizację postulatów rolnictwa zrównoważonego i ochrony środowiska.

Zatem rolnictwo cyfrowe obejmuje nie tylko transfer danych, lecz szerzej: pozyskiwanie, łączenie, przetwarzanie, analizę i wykorzystanie danych w zarządzaniu produkcją, integrując elementy rolnictwa precyzyjnego, *smart farming*, sieciowania gospodarstwa, platform danych i zaawansowanej analityki.

Rolnictwo cyfrowe jest koncepcją produkcji rolnej, umożliwiającą zwiększenie wydajności pracy, produktywności, maksymalizację zysków poprzez redukcję kosztów wytwarzania, a także bezpieczeństwo pracy oraz dobrostan zwierząt. Umożliwia kontrolowanie procesów zachodzących w gospodarstwie, zarówno z poziomu komputerów, jak i urządzeń mobilnych (smartfon, tablet). *Digital farming* wykorzystuje rozwiązania rolnictwa precyzyjnego oraz inteligentne sieci transferu danych i narzędzi, które służą do zarządzania danymi. Rolnictwo cyfrowe jest częścią szerszej koncepcji – Rolnictwa 4.0, które obok cyfryzacji obejmuje również zaawansowaną automatyzację procesów wytwarzania z zaangażowaniem najnowszych osiągnięć technologicznych z dziedziny telekomunikacji, sztucznej inteligencji i rozwiązań chmurowych oraz robotyzację.

Rolnictwo cyfrowe i Rolnictwo 4.0 są pojęciami blisko powiązаныmi i częściowo nakładającymi się, a ich wzajemna relacja zależy od przyjętej perspektywy definicyjnej. Rolnictwo 4.0 to czwarta rewolucja przemysłowa w rolnictwie, polegająca na połączeniu maszyn z systemami cyfrowymi w celu automatyzacji

Tabela 1. Założenia, cele i wytyczne dla systemów rolnictwa cyfrowego formułowane w deklaracjach i dokumentach strategicznych

Nazwa dokumentu	Ogólne założenia	Główne cele i wytyczne
<p>Deklaracja w sprawie inteligentnej i zrównoważonej przyszłości cyfrowego rolnictwa i obszarów wiejskich (2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • potencjał technologii cyfrowych jako narzędzi optymalizujących wszystkie rodzaje produkcji rolnej, budujących rolnictwo bardziej odporne, produktywnie i efektywne, poprawa warunków życia na obszarach wiejskich 	<ul style="list-style-type: none"> • rozwój usług cyfrowych i innowacyjnych modeli biznesowych na obszarach wiejskich, • rozwój narzędzi smart farming, rolnictwa precyzyjnego, zastosowanie sztucznej inteligencji w rolnictwie, • wykorzystanie technologii blockchain do weryfikowania autentyczności produktów żywnościowych, • budowa wspólnej infrastruktury innowacji dla cyfryzacji europejskiego sektora rolno-żywnościowego, w tym europejskiej przestrzeni danych dla rolnictwa, • zapewnienie dostępu do wiedzy i szkoleń podnoszących poziom kompetencji cyfrowych pracowników sektora, • priorytet dla rozwiązań dostosowanych do typowych dla Europy struktur rolnych – gospodarstw rodzinnych i produkcji na małą skalę, uwzględnianie w ramach przyjmowanych rozwiązań aspektów społeczno-ekonomicznych, agronomicznych i środowiskowych
<p>Europejski Zielony Ład (2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • kluczowe znaczenie technologii cyfrowych dla osiągnięcia celów Zielonego Ładu w zakresie zrównoważonego rozwoju w wielu różnych sektorach 	<ul style="list-style-type: none"> • przyspieszenie zielonej transformacji przez wykorzystanie sztucznej inteligencji, 5G, chmury obliczeniowej, architektury rozproszonych systemów informatycznych i Internetu Rzeczy, • wzmocnienie realizacji celów środowiskowych i klimatycznych przez wykorzystanie nowych możliwości w zakresie monitorowania zjawisk na odległość, • tworzenie elektronicznych paszportów produktów, • wsparcie dla zrównoważonych praktyk rolniczych, takich jak rolnictwo precyzyjne, rolnictwo ekologiczne, agroekologia, agroleśnictwo i surowsze standardy w zakresie dobrostanu zwierząt
<p>Strategia „Od pola do stołu” (2020)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • wykorzystanie cyfryzacji do budowy łańcucha żywnościowego, który działa na rzecz konsumentów, producentów, klimatu i środowiska 	<ul style="list-style-type: none"> • podłączenie wszystkich rolników i obszarów wiejskich do szybkiego i niezawodnego Internetu (100% dostępu do sieci szerokopasmowych do 2025 r.), • wykorzystanie sztucznej inteligencji i europejskiego potencjału w dziedzinie technologii satelitarnych, • upowszechnienie rolnictwa precyzyjnego i rozszerzenie stosowania precyzyjnych technik nawożenia w celu ograniczenia wykorzystywanych pestycydów i nawozów, • wdrażanie zrównoważonych praktyk rolniczych w sektorze produkcji zwierzęcej, w tym ograniczenie stosowanych środków przeciwdrobnoustrojowych, • wzmocnienie usług doradczych, wymiany danych i wiedzy oraz umiejętności, • wsparcie systemów wiedzy i innowacji w dziedzinie rolnictwa (AKIS), • wsparcie dla nowych obszarów badań i partnerstw w ramach ramowego programu badawczego UE, gromadzenie danych w systemach rachunkowości rolnej na temat zrównoważenia gospodarstw rolnych, • utworzenie przestrzeni danych z zakresu rolnictwa, dającej nowe możliwości w zakresie przetwarzania i analizy danych dotyczących produkcji, użytkowania gruntów, danych środowiskowych i innych, a także poprawiającej monitorowanie procesów w łańcuchu dostaw żywności

<p>Krajowy Plan Strategiczny dla WPR (2023–2027)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • usuwanie barier rozwojowych wsi i rolnictwa przez upowszechnienie i wdrażanie rozwiązań naukowych i innowacyjnych, w tym cyfrowych • budowa infrastruktury cyfrowej i rozwój rolnictwa cyfrowego, • osiągnięcie 87% zasięgu sieci szerokopasmowych na obszarach wiejskich do 2025 r., • utworzenie hubu cyfrowych innowacji w rolnictwie • wzmocnienie współpracy między partnerami AKIS, wsparcie dla wymiany wiedzy i innowacji, zwiększone zaangażowanie w badania, projekty i partnerstwa programu „Horyzont Europa”, dotyczące cyfryzacji rolnictwa, • zwiększone wykorzystanie narzędzi ICT, systemów wspomagania decyzji i aplikacji cyfrowych w procesach modernizacyjnych i zarządzanych, w tym narzędzi rolnictwa precyzyjnego, narzędzi do automatyzacji i optymalizacji procesów produkcyjnych, aplikacji rolnictwa precyzyjnego, narzędzi do nadzoru i zarządzania składnikami odżywczymi, zapobiegania powstawaniu strat związanych z wystąpieniem kłesk żywiołowych, chorób zwierząt i roślin, ryzyk rynkowych, • wdrożenie koncepcji inteligentnych wsi, działania na rzecz poprawy jakości życia na obszarach wiejskich, podnoszenie kompetencji cyfrowych, • rozwój e-usług dla rolników oraz innowacyjnych aplikacji i otwartych platform ICT dla usług doradztwa rolniczego
<p>Krajowy Plan Odbudowy i Zwiększenia Odporności</p>	<ul style="list-style-type: none"> • rozwiązania cyfrowe skoncentrowane na zwiększaniu konkurencyjności i odporności rolnictwa i gospodarstw rolnych, ochrony zasobów naturalnych oraz klimatu, ograniczenia presji rolnictwa na środowisko naturalne, poprawy dobrostanu zwierząt gospodarskich • infrastruktura szerokopasmowa, platformy e-usług publicznych dla rolnictwa, rozwój infrastruktury danych przestrzennych, udostępnianie zasobów naukowych oraz dostępnych cyfrowo informacji i danych sektora publicznego, wzmocnienie infrastruktury badawczej/laboratoryjnej, • wzmocnienie podstaw dla inwestycji w Rolnictwo 4.0, • inwestycje w rozwój oprogramowania i narzędzi dla systemów rolnictwa precyzyjnego oraz platform i narzędzi umożliwiających szybki dostęp do ubezpieczeń rolniczych, w tym wsparcie inwestycji producentów rolnych w zakresie zakupu, montażu i utrzymania/aktualizacji rozwiązań cyfrowych dla rolnictwa (czujników, sensorów, dronów, aplikacji, tabletów i powiązanego oprogramowania), • rozwój zastosowań bezzałogowych statków powietrznych oraz wsparcie cyfrowych usług realizowanych na poziomie gospodarstw rolnych (natoty BSL, sporządzenie cyfrowych map użytków rolnych i planów nawożenia/nawodnienia z wykorzystaniem tworzących map), • premiowanie przedsięwzięć służących tworzeniu miejsc pracy, ochronie środowiska i zrównoważonym praktykom produkcji żywności, gospodarce o obiegu zamkniętym, zapobieganiu marnotrawieniu żywności, • wsparcie dla rolników na prowadzenie/zakładanie sprzedaży w Internecie, wraz z organizacją dostaw

Źródło: opracowanie na podstawie: Kostior (2023, s. 129–132); Deklaracja Komisji i zrównoważonej przyszłości cyfrowej dla europejskiego rolnictwa i obszarów wiejskich. 2019. Komisja Europejska, Bruksela; Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Europejski Zielony Ład. Komisja Europejska. COM (2019) 640 final; Strategia „Od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego. Komisja Europejska. COM(2020) 381 final; Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej UE na lata 2023–2027. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi (<https://www.gov.pl/web/rolnictwo/>); plan-strategiczny-dla-wspolnej-polityki-rolnej-nalata-2023-2027; dostęp: 20.10.2025); Krajowy Plan Odbudowy i Zwiększenia Odporności – KPO. Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej (<https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/109762/KPO.pdf>; dostęp: 20.10.2025).

i optymalizacji pracy. Rolnictwo cyfrowe to zestaw konkretnych narzędzi i technologii informacyjnych, które umożliwiają tę rewolucję. Obie koncepcje dążą do optymalizacji produkcji, zwiększenia efektywności (precyzyjne nawożenie, opryski), ochrony środowiska oraz redukcji kosztów. W praktyce rolnictwo cyfrowe jest fundamentem Rolnictwa 4.0 – bez cyfrowych danych nie ma możliwości wdrożenia inteligentnych systemów 4.0.

Zdaniem Lorencowicza (2018) definicja *digital farming* jest nierozzerwalnie związana z pojęciem cyfrowego zarządzania (*digital management*). Akcentuje wykorzystanie danych bieżących i historycznych do optymalizacji decyzji zarządczych. Łączy digitalizację maszyn z nowymi modelami biznesowymi. Z kolei Ekielski i in. (2023) wskazują na ewolucję od mechanizacji (1.0), przez automatyzację (2.0) i rolnictwo precyzyjne (3.0), aż po rolnictwo cyfrowe (4.0).

Założenia, cele i wytyczne dla systemów rolnictwa cyfrowego sformułowane zostały w krajowych i europejskich dokumentach strategicznych, takich jak: deklaracja w sprawie „Inteligentnej i zrównoważonej przyszłości cyfrowej dla europejskiego rolnictwa i obszarów wiejskich”, Europejski Zielony Ład, strategia „Od pola do stołu”, Krajowy Plan Strategiczny dla WPR 2023–2027 czy Krajowy Plan Odbudowy i Zwiększania Odporności. Niniejsze akty określają ogólne ramy wsparcia oraz kierunki i oczekiwania w odniesieniu do rozwoju rolnictwa oraz systemu żywnościowego w warunkach postępujących procesów cyfryzacji (tab. 1). Zdaniem Kosior (2023), dla decydentów istotne są określone kierunki rozwoju rolnictwa cyfrowego – nie tylko aspekty technologiczne związane z budową infrastruktury cyfrowej i narzędzi dla rolnictwa cyfrowego, ale również kwestie środowiskowe, zrównoważony rozwój i społeczno-ekonomiczny wymiar procesu (m.in. dopasowanie rozwijanych narzędzi do struktur rolnych w Europie, zapewnienie dostępu do wiedzy i szkoleń, podnoszenie kompetencji cyfrowych, wykorzystanie nowych narzędzi cyfrowych do tworzenia miejsc pracy na obszarach wiejskich).

Konieczność wzmacniania działań w dziedzinie rolnictwa warunkowana jest ciągłym i stosunkowo szybkim rozwojem nowych technologii cyfrowych (Idoje i in. 2021). Biorąc pod uwagę priorytety nakreślone w krajowych i unijnych dokumentach strategicznych, można oczekiwać, że w najbliższych latach liczba projektów wspierających cyfryzację polskiego sektora rolnego będzie systematycznie wzrastała.

Cyfrowe technologie w produkcji rolnej oraz korzyści wynikające z ich wdrażania

Ażeby sprostać wyzwaniom, związanym z przemianami gospodarczymi i klimatycznymi, rolnictwo potrzebuje odpowiednich praktyk rolniczych oraz narzędzi cyfrowych. Zaawansowane technologie cyfrowe, w ramach koncepcji Rolnictwa 4.0, oferują nowoczesne rozwiązania, umożliwiające precyzyjne monitorowanie, a także optymalizację procesów produkcji rolnej. Pozwalają modyfikować

produktywność i efektywność ekonomiczną, zwiększać konkurencyjność i innowacyjność, a jednocześnie minimalizować negatywny wpływ działalności rolniczej na środowisko (Almaki i in. 2021, Quy i in. 2022). Technologie te uznawane są za kluczowe z punktu widzenia możliwości realizacji celów związanych z zapewnianiem bezpieczeństwa żywnościowego, zrównoważonym rozwojem i budową neutralności klimatycznej (Hrustek 2020, Secundo i in. 2022). Zastosowanie innowacyjnych technik uprawy gleby, takich jak inteligentne systemy nawadniania, precyzyjne nawożenie czy technologie oparte na danych satelitarnych, umożliwiają gospodarowanie zasobami naturalnymi w sposób bardziej efektywny.

Podstawową korzyścią jaką oferują cyfrowe rozwiązania jest monitoring procesów produkcyjnych w czasie bieżącym. Kontrolowanie warunków pogodowych i glebowych na polach za pomocą cyfrowych narzędzi m.in. pozwala wyznaczyć odpowiednie terminy zabiegów agrotechnicznych (co ma szczególne znaczenie w przypadku ochrony chemicznej), ocenić potrzeby roślin w zakresie nawadniania upraw czy też określić ryzyko występowania chorób roślin oraz szkodników. Z jednej strony, przekłada się to na ograniczenie zużycia nawozów, pestycydów oraz wody, z drugiej zaś strony przyczynia się do znaczącego wzrostu plonów. W budynkach inwentarskich czy szklarniach narzędzia cyfrowe umożliwiają np. monitorowanie zużycia energii oraz innych mediów, co generuje oszczędności w ich wykorzystaniu.

Aplikacje zainstalowane w komórkach ułatwiają np. ocenę zagrożeń upraw i prognozowanie pogody są z jednym z wielu zastosowań programów komputerowych. Z kolei system nawigacji satelitarnej GPS (*Global Positioning System*) pozwala na precyzyjne rejestrowanie informacji o szerokości, długości i wysokości geograficznej (Nie, Yang 2021), co umożliwia rolnikom poznanie dokładnego położenia danych pól (np. występowanie szkodników, rodzaj gleby, obecność chwastów).

Poza popularnym już korzystaniem z GPS i automatyki prowadzenia maszyn pojawia się także wiele innych zastosowań, w tym wykorzystanie dronów i robotów (Kit 2017, Lorencowicz 2018). Bezzałogowe statki powietrzne (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*) oraz satelity dostarczają cennych informacji na potrzeby cyfrowego rolnictwa. Fotografie uzyskane z powietrza czy z kosmosu pozwalają m.in. na przeprowadzenie monitoringu upraw w zakresie ich kondycji. Z kolei mapowanie pola z użyciem wskaźników wegetacji jest niezbędne do obliczenia zmiennego dawkowania nawozów mineralnych, nasion oraz pestycydów. Drony w rolnictwie znajdują zastosowanie do oceny szkód wyrządzonych przez zjawiska atmosferyczne i dziką zwierzynę. Najnowszym trendem w zastosowaniu dronów jest oprysk lokalny (obszarów wymagających interwencji). W ostatnich latach wzrasta liczba mobilnych robotów przeznaczonych dla rolnictwa, głównie automatów przeznaczonych do pielenia upraw, siewu punktowego czy wspomnianego lokalnego oprysku. Dostępne są również roboty pełniące rolę autonomicznych ciągników rolniczych, z którymi można stosować różnego rodzaju sprzęt rolniczy. Roboty w rolnictwie z jednej strony są środkiem zaradczym na niedobór siły roboczej, z jakim boryka się sektor rolny, z drugiej zaś strony są sposobem na odciążenie rolnika od różnego rodzaju prac w gospodarstwie.

Fundamentem bezpieczeństwa żywnościowego, pozwalającym produkować „więcej za mniej” (*more with less*) w obliczu zmian klimatycznych i rosnącej populacji są sensory. Generują one ogromne zbiory danych, które po przetworzeniu przez algorytmy sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego pozwalają na tworzenie map plonów oraz zaawansowane prognozowanie zbiorów. Sensory umożliwiają monitorowanie w czasie rzeczywistym warunków glebowych (wilgotność, pH, zawartość składników odżywczych) oraz stanu upraw, co pozwala na optymalne nawożenie i nawadnianie, a tym samym zmniejszenie zużycia zasobów. Wykorzystanie sensorów multispektralnych i optycznych (np. na dronach) pozwala na wczesne wykrywanie chorób, szkodników czy stresu wodnego roślin, co umożliwi punktowe stosowanie środków ochrony roślin. Bezprzewodowe sieci czujników (WSN) zbierają dane pogodowe i środowiskowe. W hodowli zwierząt sensory (akcelerometry, czujniki temperatury, bioczujniki) służą do monitorowania zdrowia i zachowań (np. czasu przeżuwania, rui). Pozwala to na indywidualne podejście do każdej sztuki w stadzie, szybką diagnostykę chorób i poprawę efektywności produkcji mleka czy mięsa. Warto podkreślić, że w dyskursie naukowym akcentuje się paradygmat zrównoważonego rozwoju poprzez implementację systemów sensorycznych. Precyzyjna aplikacja agrochemikaliów minimalizuje ryzyko eutrofizacji wód podziemnych oraz ogranicza ślad węglowy produkcji rolnej.

Jedną z najważniejszych technologii cyfrowych wykorzystywanych w rolnictwie jest Internet Rzeczy (IoT – *Internet of Things*) – koncepcja polegająca na szeroko stosowanym łączeniu urządzeń i zbieraniu oraz przetwarzaniu otrzymanych z nich danych (Tzounis i in. 2017, Jacoby, Usländer 2020). W Internet Rzeczy wchodzi różnego rodzaju czujniki, sterowniki maszyn, chmury obliczeniowe, a także komputery i urządzenia mobilne (smartfon, tablet). W ramach danego systemu wiele urządzeń może w sposób ciągły tworzyć strumienie wzajemnie połączonych danych i przetwarzać różnorodne informacje, które pozwalają na usprawnienie niemal wszystkich praktyk rolniczych (Dhanaraju i in. 2022). Narzędzia te wspierają odporność gospodarstw na zmiany klimatyczne, takie jak susze, ekstremalne opady czy wahania temperatury, co usprawnia dostosowanie produkcji do dynamicznie zmieniających się warunków środowiskowych (Farooq i in. 2020, Soil Water Deficit Index, SWDI).

Do monitorowania i pomiaru upraw wykorzystywane są czujniki – temperatury, wilgotności, monitorowania wzoru gleby, przepływu powietrza, lokalizacji, CO₂, ciśnienia, światła i wilgotności (Kobus-Cisowska, Dziedziński 2023). Odgrywają one istotną rolę w inteligentnych systemach nawadniania.

Podkreślić należy, że Internet Rzeczy nie ogranicza się jedynie do produkcji roślinnej (Tzounis i in. 2017). Czujniki IoT znajdują również coraz szersze zastosowanie w produkcji zwierzęcej. Urządzenia pomiarowe montowane w budynkach inwentarskich, mierzące temperaturę i wilgotność powietrza, zawartość w powietrzu CO₂ i amoniaku oraz siłę wiatru, pozwalają na bieżąco monitorować warunki bytowania zwierząt, a to umożliwia zapewnienie ich dobrostanu. Internet Rzeczy to nie tylko urządzenia pomiarowe w gospodarstwie, ale też możliwość łączenia się z doradcami rolnymi, instytucjami administracji rządowej, jak i producentami czy dystrybutorami sprzętu rolniczego. Internet Rzeczy to możliwość

uzyskania zdalnego wsparcia technicznego ze strony producentów maszyn czy służb serwisowych.

Powszechne są także chmury obliczeniowe (*cloud computing*), które umożliwiają zdalne gromadzenie, przetwarzanie oraz analizę danych (Big Data) z czujników, dronów i satelitów w czasie rzeczywistym, a także szybkie ich udostępnianie. Pozwalają na precyzyjne zarządzanie uprawami (*smart farming*), automatyzację maszyn, optymalizację zużycia zasobów (woda, nawozy) oraz prognozowanie plonów. Coraz częściej w chmurze obliczeniowej umieszczane są systemy informatyczne przeznaczone dla rolnictwa w postaci programów do zarządzania całym gospodarstwem lub tylko określonym jego działem.

Cyfrowe technologie mogą zatem wspierać wykrywanie czy prognozowanie zagrożeń w rolnictwie. Umożliwiają dokładne monitorowanie warunków glebowych, atmosferycznych oraz zdrowia roślin. Działania te przekładają się na skuteczność stosowanych praktyk zarządzania przestrzennego, które zwiększają produkcję roślinną i pozwalają uniknąć nadmiernego stosowania nawozów i pestycydów (Venkatesan i in. 2018).

Rolnictwo cyfrowe jest ściśle powiązane z monitoringiem środowiskowym, stanowiąc kluczowe narzędzie do zwiększania efektywności produkcji przy jednoczesnym zmniejszaniu negatywnego wpływu na środowisko. Cyfryzacja rolnictwa opiera się na nieprzerwanej analizie warunków środowiskowych, co stanowi fundament dla inteligentnego nawadniania i nawożenia. Synergia Internetu Rzeczy, dronów oraz danych satelitarnych zapewnia precyzyjny nadzór nad wegetacją, wspierając strategię ograniczania chemizacji upraw. Współczesne badania podkreślają konieczność łączenia izolowanych dotąd źródeł danych – od satelitarnych i teledetekcji z dronów (UAV) po naziemne sieci czujników polowych. Integracja tych danych stanowi fundament dla cyfrowych bliźniaków gospodarstw, pozwalających na bieżącą wizualizację i analizę dynamiki ekosystemu.

Kluczowym elementem nowoczesnego rolnictwa precyzyjnego (*smart farming*) jest technologia RFID (*Radio-Frequency Identification*), która umożliwia automatyczną, bezdotykową identyfikację obiektów (zwierząt, maszyn, plonów) za pomocą fal radiowych. Zapewnia ciągłość transferu danych o pochodzeniu, warunkach uprawy czy transportu w czasie rzeczywistym, co buduje zaufanie konsumentów i ułatwia spełnienie wymogów regulacyjnych. RFID odgrywa kluczową rolę w śledzeniu produktów „od pola do stołu”. Systemy te pełnią rolę kluczowego ogniwa w cyfrowym zarządzaniu dobrostanem, gwarantując bezbłędne przypisanie parametrów zdrowotnych do konkretnych jednostek. Technologia RFID (*Radio-Frequency Identification*) stanowi fundament nowoczesnej identyfikacji zwierząt (EID) i automatyzacji chowu (kolczyki elektroniczne, bolusy, implanty podskórne). Wykorzystanie transponderów umożliwia pełną integrację cyfrową systemów nadzoru nad stadem, eliminując potrzebę manualnej obsługi danych. Istotnym aspektem jest również implementacja RFID w obszarze zarządzania parkiem maszynowym. Technologia ta umożliwia autonomiczną rejestrację czasu eksploatacji agregatów, co sprzyja precyzyjnemu planowaniu przeglądów technicznych oraz optymalizacji aplikacji środków produkcji, skutkując wymierną redukcją kosztów operacyjnych. W literaturze podkreśla się integrację RFID z Internetem Rzeczy.

Publikacje naukowe akcentują synergię technologii RFID z ekosystemem Internetu Rzeczy (IoT). Tagi pełnią funkcję „nośników danych”, które w połączeniu z czujnikami (np. wilgotności czy temperatury) tworzą kompleksowe bazy danych niezbędne do zaawansowanej analityki Big Data w gospodarstwie.

Technologie oparte na sztucznej inteligencji (AI – *Artificial Intelligence*) podlegają szerokiej implementacji w różnicowanych sektorach gospodarki, stając się istotnym czynnikiem transformacji cyfrowej również w sektorze rolniczym (Ekielski, Żelaziński 2021, Garske i in. 2021, Kaushal i in. 2022, Runowski, Kramarz 2025, Wiliński, Książopolski 2025, Żmija 2025). Główne zastosowania obejmują: monitoring upraw, analizę gleby, prognozowanie pogody, wykrywanie chorób oraz inteligentną irygację, co zwiększa zrównoważony rozwój i efektywność ekonomiczną gospodarstw. Predykcje sztucznej inteligencji oparte na modelach prognostycznych pomagają rolnikom planować produkcję oraz efektywnie zarządzać zasobami. Za pośrednictwem mocy obliczeniowej, którą dysponują algorytmy sztucznej inteligencji zaadaptowane na potrzeby działań rolniczych, możliwe jest m.in. prognozowanie plonów z wysoką dokładnością, optymalizacja zużycia wody i nawozów oraz wczesne wykrywanie chorób roślin i szkodników (Podstawka 2025). Algorytmy AI zyskują istotne znaczenie w analizie danych pogodowych, monitoringu teledetekcyjnym oraz wizyjnej diagnostyce zachwaszczenia upraw. Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe (ML – *Machine Learning*) są kluczowymi narzędziami do optymalizacji pracy maszyn rolniczych, zwiększając ich efektywność, dokładność i zrównoważony rozwój (Garske i in. 2021, Subesh, Mehta 2021, Podstawka 2025). Algorytmy AI optymalizują zużycie paliwa, trasę przejazdu oraz precyzję aplikacji zasobów (nawozy, środki ochrony), redukując w ten sposób koszty i wpływ na środowisko. Z kolei algorytmy ML poprzez analizę predykcyjną, identyfikują ryzyko awarii przed jej wystąpieniem, co pozwala zminimalizować nieplanowane przestoje oraz nakłady na obsługę techniczną. Sztuczna inteligencja, oprócz optymalizacji produkcji roślinnej, znajduje analogiczne zastosowanie w precyzyjnej hodowli zwierząt, wspierając produktywność i dobrostan zwierząt poprzez ciągły monitoring behawioralny oraz algorytmiczną analizę danych w czasie rzeczywistym (Pawar i in. 2024). Wdrażanie nowoczesnych technologii umożliwi pełną automatyzację procesów żywieniowych (żywienie precyzyjne) oraz udojowych (AMS – *Automatic Milking Systems*), co skutkuje optymalizacją konwersji paszy oraz wzrostem efektywności gospodarowania.

W literaturze przedmiotu rolnictwo cyfrowe w obszarze chowu zwierząt utożsamiane jest z terminem *Precision Livestock Farming* (PLF). Głównym komponentem tego paradygmatu jest monitoring behawioralny, służący do obiektywizacji oceny statusu zdrowotnego zwierząt. Implementacja technologii obserwacyjnych w inteligentnych gospodarstwach koncentruje się na trzech priorytetach: wczesnej diagnostyce weterynaryjnej, optymalizacji wskaźników prokreacyjnych oraz zapewnieniu wysokiego poziomu dobrostanu.

Precyzyjna produkcja zwierzęca integruje technologie czujnikowe, RFID, analizę danych (IoT, Big Data) i AI w celu ciągłego, zautomatyzowanego monitorowania parametrów życiowych zwierząt w czasie rzeczywistym (Berckmans 2022, Kleen, Guatteo 2023). Zapewnia to indywidualną opiekę nad zwierzęciem

w dużych stadach, redukując koszty i wpływ środowiskowy. Fundamentem PLF są systemy wspomagania decyzji oparte na:

- algorytmach uczenia maszynowego i analizie statystycznej, które przetwarzają dane z sensorów na konkretne informacje o stanie zdrowia czy wydajności;
- połączeniu wiedzy eksperckiej z danymi cyfrowymi, co pozwala minimalizować ryzyko błędnych decyzji hodowlanych.

Zastosowanie koncepcji cyfrowego bliźniaka (DTs – *digital twin*) to obecnie najwyższy poziom zaawansowania w Inteligentnej Hodowli Zwierząt. W ujęciu teoretycznym cyfrowy bliźniak stanowi implementację systemu cyberfizycznego, w którym synchronizacja danych w czasie rzeczywistym pozwala na pełną integrację fizycznego inwentarza z jego wirtualnym modelem. W kontekście monitoringu behawioralnego zwierząt, CPS to układ, w którym procesy fizyczne (zachowanie zwierzęcia) są ściśle zintegrowane z procesami obliczeniowymi (algorytmy AI). Podczas gdy Internet Rzeczy polega na łączeniu zasobów i gromadzeniu danych o świecie fizycznym, *digital twin* to wirtualne reprezentacje zasobów, które organizują informacje i zarządzają nimi, ściśle integrując się ze sztuczną inteligencją, uczeniem maszynowym i usługami kognytywnymi w celu dalszej optymalizacji i automatyzacji produkcji (Jacoby, Usländer 2020). Realny stan wdrożeń technologii cyfrowego bliźniaka (*digital twin*) w rolnictwie znajduje się obecnie w fazie przejścia od koncepcji teoretycznych i projektów badawczych do pierwszych wdrożeń pilotażowych. Pełnoskalowe systemy cyfrowych bliźniaków pracujące w czasie rzeczywistym pozostają rozwiązaniem niszowym, ograniczonym do wysokozmechanizowanych przedsiębiorstw rolnych (Escribà-Gelonch i in. 2024, Subees, Chauhan 2026). Największe postępy w ich wdrażaniu notuje się w krajach o silnie rozwiniętej technologii rolniczej – głównie w Stanach Zjednoczonych, Chinach i Holandii czy Japonii (np. rolnictwo szklarniowe). W Polsce pionierami we wdrażaniu technologii cyfrowego bliźniaka są krajowe gospodarstwa pokazowe oraz centra badawcze. Tworzą przestrzeń do testowania zaawansowanych systemów PLF i promują cyfryzację wśród lokalnych producentów rolnych. Kluczową inicjatywą w tej dziedzinie jest partnerstwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) oraz firmy Syngenta, realizowane w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Wilanów-Obory. W ramach tego projektu utworzono modelowe gospodarstwo, w którym systemy cyfrowe współpracują z nowoczesną mechanizacją w celu optymalizacji procesów uprawnych. Przykładem działań wdrożeniowych jest program AGROSTRATEG (2026), realizowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR), wspierający m.in. cyfrowych bliźniaków gospodarstw. Stanowi on kluczowy instrument finansowania innowacji w polskim sektorze rolno-spożywczym. Ponadto Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sięciowe (PCSS) aktywnie kreuje rozwiązania z zakresu Rolnictwa 4.0, opierając je na integracji infrastruktury IoT, bezzałogowych statków powietrznych oraz danych satelitarnych. Tworzone przez PCSS zaawansowane platformy wymiany danych stanowią bazę dla systemów typu cyfrowy bliźniak, co w praktyce – na przykładzie projektu Teledis – umożliwia realizację precyzyjnych, punktowych oprysków. Z perspektywy rozwoju cyfrowe bliźniaki mają ogromny potencjał w rewolucjonizowaniu Rolnictwa 5.0. Zniwelowanie rozbieżności

między zaawansowanymi technologiami a codziennymi praktykami rolniczymi będzie kluczowe dla ich powszechnego wdrożenia i zapewnienia, że cyfrowe bliźniaki wniosą znaczący wkład w globalne bezpieczeństwo żywnościowe, zrównoważony rozwój środowiska i cyfrowe wzmocnienie społeczności rolniczych. Aby jednak w pełni wykorzystać potencjał cyfrowych bliźniaków w rolnictwie, przyszłe badania muszą priorytetowo traktować rozwój opłacalnych, modułowych i skalowalnych rozwiązań dostosowanych do gospodarstw o różnej wielkości i zasobach.

W ostatnich latach znaczenia w rolnictwie nabierają także technologie wirtualnej rzeczywistości (VR – *virtual reality*) oraz rozszerzonej rzeczywistości (AR – *augmented reality*). Systemy te znajdują się obecnie w punkcie dojrzałości rynkowej – przejścia z fazy koncepcyjnej do wdrożeń praktycznych, głównie w zakresie edukacji, serwisu maszyn, precyzyjnego zarządzania uprawami oraz dobrostanu zwierząt – umożliwiając ich stabilną integrację z procesami technologicznymi Rolnictwa 4.0. Praktyka wdrożeniowa technologii VR i AR w rolnictwie cyfrowym koncentruje się na optymalizacji procesów decyzyjnych, wsparciu operacyjnym w czasie rzeczywistym oraz nowoczesnej edukacji kadry rolniczej. Według literatury naukowej, technologie te pełnią rolę „cyfrowego pomostu” między danymi zbieranymi przez czujniki IoT a działaniami człowieka w terenie (Pulley i in. 2025). Integracja wizualizacji AR/VR z systemami monitorowania pól w czasie rzeczywistym nie tylko intensyfikuje transfer wiedzy o dynamice procesów wegetacyjnych, lecz przede wszystkim stanowi zaawansowane narzędzie wspierające architekturę zarządzania precyzyjnego, co prowadzi do racjonalizacji kosztów i optymalizacji plonowania. Mimo dużego potencjału istnieją także istotne bariery wdrożeniowe, głównie wysokie koszty zakupu sprzętu, **złożoność integracji** z istniejącymi czujnikami oraz problemy z mobilnością i czasem pracy baterii okularów AR w terenie. Implementacja rozwiązań z zakresu rzeczywistości rozszerzonej (AR) oraz wirtualnej (VR) stanowi istotny paradygmat w dziedzinie transferu wiedzy i kształtowania kompetencji kadr rolniczych. W świetle dynamicznej zmienności uwarunkowań makroekonomicznych wykorzystanie narzędzi VR/AR w procesach dydaktycznych staje się fundamentem budowania przewagi konkurencyjnej gospodarstw, zapewniając ich wysoką zdolność adaptacyjną oraz gotowość do operacjonalizacji zaawansowanych innowacji technologicznych.

Projekt „Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce”

Projekt „Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce” został wdrożony przez Ministerstwo Cyfryzacji, we współpracy z Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz konsorcjum: PricewaterhouseCoopers (PwC, lider), Instytutem Rozwoju Wsi i Rolnictwa PAN oraz AgroHorti Media. Realizowany był dzięki wsparciu Komisji Europejskiej (SG REFORM) w ramach Instrumentu Wsparcia Technicznego (TSI).

Inicjatywa miała na celu optymalizację ram prawno-organizacyjnych, sprzyjających asymilacji technologii przełomowych – w tym IoT, AI oraz

robotyzacji – w paradygmat Rolnictwa 4.0. Szczególny nacisk położono na konieczność efektywnego zarządzania danymi, dostosowania rozwiązań technologicznych do potrzeb mniejszych gospodarstw, usprawnienia transferu wiedzy oraz nieustannego rozwoju kompetencji cyfrowych w sektorze rolnym. Głównym zadaniem było zwiększenie zdolności cyfrowych polskich gospodarstw oraz podniesienie świadomości rolników na temat korzyści wynikających z zastosowania technologii cyfrowych. Do realizacji tego celu posłużyła szeroko zakrojona kampania informacyjna, wykorzystująca komunikację opartą na mediach społecznościowych, prasie branżowej oraz specjalnie dedykowanej rolnikom stronie internetowej. Głównym założeniem było likwidowanie barier informacyjnych oraz podniesienie kompetencji cyfrowych w środowisku rolniczym.

Metodologia badania w ramach projektu (realizowanego w latach 2024–2025) opierała się na podejściu wielowymiarowym, łączącym analizy systemowe z bezpośrednim badaniem opinii uczestników rynku. Przeprowadzono analizę desk research, a następnie zrealizowano badania na reprezentatywnej grupie rolników (w lutym 2025 r.), które pozwoliły określić poziom świadomości cyfrowej oraz główne bariery (finansowe, kompetencyjne i infrastrukturalne). Zastosowano celowy dobór próby, uwzględniający zróżnicowanie strukturalne i produkcyjne gospodarstw. Kluczowymi zmiennymi różnicującymi grupę badawczą były wielkość gospodarstw oraz ich profil produkcyjny, co zapewniło przekrojowy charakter analiz. Uwzględnienie w strukturze próby gospodarstw o profilu roślinnym i zwierzęcym umożliwiło wieloaspektową analizę dyfuzji innowacji, takich jak systemy zarządzania inwentarzem oraz techniki nawożenia, adekwatnie do specyficznych potrzeb technologicznych obu grup. Badanie objęło rolników z gospodarstw o różnej wielkości, od małych (do 5–10 ha), które dominują liczebnie w Polsce, po duże gospodarstwa towarowe (powyżej 50–100 ha). Ankiety (m.in. telefoniczne metodą CATI) przeprowadzono wśród rolników z czterech wybranych województw:

- wielkopolskiego (reprezentującego region o najwyższej kulturze rolnej i dużym udziale gospodarstw towarowych, które dynamicznie wdrażają technologie Rolnictwa 4.0),
- podlaskiego (reprezentującego region o silnej specjalizacji w produkcji zwierzęcej, m.in. mleczarstwie, gdzie cyfryzacja koncentruje się na systemach monitoringu stada i automatyzacji doju),
- lubuskiego (reprezentującego region o specyficznej strukturze, gdzie obok dużych gospodarstw, m.in. powstałych na bazie dawnych PGR-ów, występują obszary o mniejszej intensywności produkcji),
- pomorskiego/kujawsko-pomorskiego (reprezentującego region o wysokim potencjale produkcyjnym i korzystnych warunkach przyrodniczych, co sprzyja testowaniu zaawansowanych systemów teledetekcyjnych i satelitarnych).

Dodać należy, że dwa ostatnie województwa pełniły odmienne role w procesie badawczym. Województwo kujawsko-pomorskie zostało wybrane jako jeden z głównych regionów do badań ankietowych i warsztatowych, z wysokim potencjałem produkcyjnym i silnymi tradycjami rolniczymi, co pozwoliło zbadać potrzeby dużych gospodarstw towarowych. Z kolei województwo pomorskie

pojawiało się w projekcie jako istotny punkt odniesienia dla technologii rolnictwa precyzyjnego, szczególnie w kontekście wykorzystania cyfrowych map i danych satelitarnych np. na Żuławach Wiślanych. Zróżnicowanie geograficzne próby badawczej pozwoliło na uchwycenie korelacji między regionalną strukturą własnościową a badanymi zjawiskami, uwzględniając skrajnie odmienne modele gospodarowania wynikające z przeciętnego areалу użytków rolnych (różnice między regionami o rozdrobionej strukturze a tymi z przewagą dużych arealów). Respondenci to zarówno młodzi rolnicy, bardziej otwarci na innowacje, jak i osoby starsze, u których częściej diagnozowano bariery kompetencyjne. Wyniki ankietowe zostały uzupełnione o serię wywiadów pogłębionych, dyskusji grupowych oraz panel Delphi, w którym uczestniczyli kluczowi eksperci sektora rolniczego, m.in. doradcy rolniczy, eksperci agrotech. Zastosowana metoda krzyżowej analizy danych pozwoliła na spójną interpretację uzyskanych rezultatów i pełniejszą diagnozę stanu cyfryzacji. Z badań wynika, że 65,7% rolników deklaruje chęć poszerzenia wiedzy o technologiach Rolnictwa 4.0. W mniejszych gospodarstwach (2–20 ha) zaawansowane technologie cyfrowe stosuje zaledwie 7,6% badanych. W segmencie gospodarstw małoobszarowych implementacja zaawansowanych technologii cyfrowych kształtuje się na poziomie marginalnym (7,6%). Wyniki te egzemplifikują istotną dysproporcję między deklaratywną świadomością benefitów płynących z cyfryzacji, a faktyczną operacjonalizacją narzędzi w procesach produkcyjnych. Najczęściej obawiają się skomplikowanej obsługi systemów i braku wsparcia technicznego (83%). Istotną barierą są również koszty inwestycyjne i brak infrastruktury. Wysokie ceny maszyn zintegrowanych z GPS, dronów czy systemów AI są poza zasięgiem małych i średnich gospodarstw bez wsparcia dotacyjnego. Słaby zasięg Internetu szerokopasmowego na obszarach wiejskich uniemożliwia pełne wykorzystanie technologii chmurowych i IoT w czasie rzeczywistym. Aby uniknąć wykluczenia cyfrowego mniejszych gospodarstw, proces ten nie może polegać tylko na zakupie sprzętu, ale musi być wsparty systemem bezpłatnego doradztwa oraz uproszczeniem przepisów prawnych dotyczących udostępniania danych rolniczych (wniosek systemowy).

W ramach projektu zorganizowano cykl warsztatów z udziałem rolników, ekspertów technologicznych oraz administracji publicznej w celu identyfikacji potrzeb i oczekiwań sektora. Wykorzystano doświadczenia z innych krajów (np. Holandii) w zakresie testowania innowacji cyfrowych na polach doświadczalnych, co posłużyło do opracowania modelu polskich farm demonstracyjnych. Gospodarstwa demonstracyjne i eksperymentalne mają duże znaczenie, gdyż stają się ośrodkami innowacji, miejscami testowania, doskonalenia i prezentacji najnowocześniejszych rozwiązań z zakresu rolnictwa 4.0. Na podstawie zebranych danych opracowano strategiczne rekomendacje oraz harmonogram wdrażania technologii takich jak AI, IoT i robotyka w perspektywie krótko- i długoterminowej. Projekt ma zatem trzy główne rezultaty: poprawę środowiska politycznego sprzyjającego wdrażaniu przełomowych technologii cyfrowych, zwiększenie zdolności cyfryzacyjnych i umiejętności polskich gospodarstw rolnych do przyjmowania nowatorskich technologii oraz zwiększenie świadomości polskich gospodarstw rolnych na temat korzyści wynikających z przełomowych technologii cyfrowych. Raport

uwypuklił znaczący potencjał, jaki niesie ze sobą wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w polskim rolnictwie, podkreślając jednocześnie bariery hamujące proces transformacji.

Z raportu końcowego projektu „TSIC-RoC-19517: Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce” wynika, że:

- brakuje planu działań na rzecz Rolnictwa 4.0 oraz skutecznej koordynacji między organami i agencjami publicznymi,
- wpływ cyfryzacji na cały łańcuch dostaw jest ograniczony, co utrudnia pełne wykorzystanie narzędzi Rolnictwa 4.0,
- niedostateczny jest poziom zachęt finansowych wspierających inwestycje innowacyjne realizowane przez rolników,
- bariery społeczne obejmują niski poziom kapitału społecznego wśród rolników, niewielką świadomość korzyści płynących z wdrażania Rolnictwa 4.0, braki kompetencji cyfrowych oraz konieczność doskonalenia programów szkoleniowych i usług doradczych,
- zauważalny jest deficyt specjalistów w ośrodkach doradztwa rolniczego, instytucjach edukacyjnych i administracji publicznej,
- w zakresie technologicznym zidentyfikowano brak otwartych systemów gromadzenia, przetwarzania i udostępniania danych, niewystarczające wykorzystanie technologii blockchain dla poprawy przejrzystości i identyfikowalności produkcji żywności, słaby dostęp do szybkiego Internetu,
- w obszarze środowiskowym stwierdzono ograniczone zastosowanie rozwiązań rolnictwa 4.0 ukierunkowanych na klimat, niewielki stopień monitorowania jakości produktów rolnych oraz niewystarczający poziom monitoringu jakości gleb.

Wysoki standard merytoryczny materiału badawczego, zgromadzonego w ramach projektu „Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce”, gwarantował udział ekspertów z IRWiR PAN oraz PwC. Badanie oparto na triangulacji metod, łącząc twarde dane statystyczne (m.in. z FADN) z opiniami zebranymi bezpośrednio od rolników i ekspertów (metoda Delphi), co pozwoliło na wzajemną weryfikację wyników. Mimo że bezpośrednie badania ankietowe objęły cztery województwa, dobór regionów (m.in. Wielkopolska i Podlasie) pozwolił na uchwycenie specyfiki gospodarstw o największym znaczeniu dla produkcji towarowej w Polsce. Materiał został oceniony pod kątem spójności z dokumentami takimi, jak Europejski Zielony Ład oraz strategia „Od pola do stołu”, co potwierdziło jego użyteczność dla planowania przyszłych reform strukturalnych. Dokumentacja projektu „Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce” jest ogólnodostępna w domenie publicznej, w tym na oficjalnych witrynach resortowych oraz stronach internetowych partnerów konsorcjum naukowego¹.

¹ <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/nowe-technologie-w-rolnictwie--podsumowanie-projektu-cyfrowa-transformacja-rolnictwa-w-polsce>; <https://www.irwirpan.waw.pl/974/badania/cyfrowa-transformacja-rolnictwa-w-polsce>; <https://www.pwc.pl/pl/raporty.html>; <https://www.cdr.gov.pl/aktualnosci-instytucje/4911-transformacja-cyfrowa-rolnictwa-w-polsce>; <https://agrohorti.pl>; <https://wir.org.pl/asp/transformacja-cyfrowa-rolnictwa-w-polsce,1,artykul,1,4880>

Podkreślić należy fakt, że obok Ministerstwa Cyfryzacji szereg działań w obszarze transformacji cyfrowej rolnictwa w Polsce podejmuje także Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Aktywnie promuje zrównoważoną produkcję żywności poprzez wdrażanie nowoczesnych technologii. Integracja innowacyjnych rozwiązań jest traktowana jako kluczowa szansa na sprostanie wyzwaniom polskiego rolnictwa. Do głównych działań należą: zrównoważona produkcja żywności oraz innowacyjne rozwiązania – wykorzystanie nowoczesnych technologii cyfrowych w różnych obszarach rolnictwa. Resort cyfryzacji priorytetowo traktuje kwestie cyberbezpieczeństwa, integracji sztucznej inteligencji i innych technologii cyfrowych, spójnej realizacji regulacji cyfrowych oraz rozwijania współpracy międzynarodowej w zakresie cyfryzacji. Ministerstwa aktywnie uczestniczą w projektach wspierających innowacje i cyfryzację w rolnictwie w ramach programu Cyfrowa Europa oraz programu Horyzont Europa (m.in. Cyfrowa Dekada w Polsce, Agriculture of Data, The Data Space for a Sustainable Green Europe, AgriFoodTEF, Rolnictwo 4.0).

Wyzwania i bariery utrudniające wdrażanie technologii cyfrowych w sektorze rolnym

Proces cyfryzacji rolnictwa jest hamowany przez synergię barier o charakterze egzogenicznym (brak infrastruktury, wysokie koszty technologii) oraz endogenicznym (niski kapitał społeczny, opór przed zmianą paradygmatu zarządzania) (Cordel 2021, Dibbern i in. 2024). Rolnictwo w Polsce jest sektorem o stosunkowo niskim poziomie cyfryzacji. Pomimo potencjału, jaki oferują technologie cyfrowe, wciąż istnieją liczne bariery, które utrudniają ich szerokie wdrażanie w sektorze rolnym. Przeszkody te obejmują głównie: brak świadomości korzyści płynących z cyfryzacji, obawy związane z kosztami inwestycji oraz trudności w adaptacji do nowych technologii. Wśród przyczyn utrudniających rozwój cyfryzacji wskazywany jest też niski poziom kompetencji cyfrowych rolników, luki w systemie wymiany wiedzy i szkoleń czy też niewystarczający dostęp do kapitału, umożliwiającego zakup nowych technologii (Knierim i in. 2019, Runowski 2020). Ponadto określone cykle w systemach produkcji zwierzęcej i sezonowy charakter produkcji roślinnej sprawiają, że procesy testowania nowych technologii oraz demonstracja efektów ich działania są rozciągane w czasie (Kosior 2023).

Kluczowym elementem w przewyżczeniu wskazanych barier jest edukacja, która ma na celu zwiększenie świadomości rolników o zaletach nowoczesnych rozwiązań oraz rozwój umiejętności niezbędnych do ich efektywnego wykorzystania (Klepacki 2020). Dzięki odpowiedniemu wsparciu edukacyjnemu możliwe jest przygotowanie sektora rolnego na wyzwania przyszłości i efektywne wdrożenie strategii rozwoju opartej na cyfryzacji i zrównoważonym rozwoju. W odpowiedzi na pojawiające się wyzwania realizowana jest kampania promująca cyfryzację w rolnictwie w ramach projektu Partners for International Business (PIB)

„Soil Improvement Poland”. Celem kampanii jest podniesienie świadomości oraz edukacja w zakresie nowoczesnych cyfrowych technologii rolniczych.

Badanie „Rolnictwo cyfrowe w Polsce”, przeprowadzone przez Polskie Stowarzyszenie Zrównoważonego Rolnictwa i Żywności w lutym 2025 r. w ramach wymienionego projektu, jest pierwszą w Polsce inicjatywą o charakterze eksploracyjnym, mającą na celu wielowymiarową analizę potencjału cyfrowego oraz gotowości technologicznej krajowego rolnictwa.

Metodologia opierała się na dwóch głównych filarach – ankietyzacji rolników reprezentujących różnej wielkości gospodarstwa o różnym stopniu zaawansowania technologicznego oraz pogłębionych wywiadach z przedstawicielami firm AgriTech (m.in. Microsoft, FarmTech, BASF, Syngenta, Agrotechnology). Badanie miało charakter jakościowo-ilościowy. Koncentrowało się na ocenie potencjału cyfryzacji i możliwości jej realnego wdrażania na polskim rynku, a także identyfikacji barier technologii cyfrowych w całym łańcuchu wartości (w układzie horyzontalnym: dostawca rozwiązań–producent rolny). Pozyskane opinie 18 firm działających w obszarze technologii rolniczych w Polsce – współpracujących z rolnikami stosującymi technologie cyfrowe, przede wszystkim w zakresie produkcji sprzętu, oprogramowania, doradztwa oraz dystrybucji – pozwoliły lepiej zrozumieć stan, wyzwania oraz perspektywy rozwoju cyfrowych rozwiązań w polskim rolnictwie.

Wnioski wskazują na konkretne postawy ankietowanych, m.in. 83% badanych wymieniło brak edukacji jako główną barierę, a 44% oceniło stan cyfryzacji jako niewystarczający. Analizy potwierdzają, że proces cyfryzacji polskiego rolnictwa znajduje się na wczesnym etapie. Rozkład opinii respondentów – wśród których 44% wskazało na poziom niski, a 56% na średni – z jednej strony potwierdza brak pełnej dojrzałości technologicznej sektora rolnego, a z drugiej przejawia znaczący potencjał rozwoju cyfrowych rozwiązań w rolnictwie. Wyniki badania pozwalają zidentyfikować główne obszary zastosowania technologii cyfrowych w polskim rolnictwie, bariery, z jakimi muszą się zmierzyć rolnicy, a także obrazują przyszłość technologiczną polskiej wsi. Do najistotniejszych barier transferu technologii zaliczono brak specjalistycznego know-how, znaczną kapitałochłonność inwestycji oraz trudności w integracji horyzontalnej wdrażanych rozwiązań. Analiza weryfikująca gotowość technologiczną i bariery (w tym edukacyjne) z podziałem na wielkość gospodarstw wykazała zróżnicowany stopień cyfryzacji w sektorze rolnym. W gospodarstwach o większym potencjale obszarowym procesy cyfryzacji przebiegają w sposób bardziej systemowy i kompleksowy, podczas gdy w gospodarstwach mniejszych adaptacja tych narzędzi ma charakter selektywny i ograniczony. Najwyższy stopień wdrożenia nowych technologii (satelity, drony, IoT, rolnictwo precyzyjne) obserwuje się w większych gospodarstwach, co sugeruje, że regiony o dużej strukturze agrarnej (np. część Wielkopolski, Pomorza) mogą przodować w cyfryzacji w porównaniu do obszarów o dużym rozdrobnieniu (np. południowo-wschodnia Polska). Badanie podkreśla, że zróżnicowanie wynika nie tylko z technologii, ale i uwarunkowań społecznych oraz infrastrukturalnych (dostęp do szybkiego Internetu), co różnicuje wschodnią Polskę od zachodniej. Konkluzje z projektu „Rolnictwo cyfrowe w Polsce” zostały opublikowane

na stronie internetowej Stowarzyszenia Zrównoważonego Rolnictwa i Żywności. Z badań SGGW przeprowadzonych w 2026 r. (grupa 432 producentów rolnych z całej Polski) przez Szymańską i in. (2026) również wynika, że technologie rolnictwa precyzyjnego stosowane są przede wszystkim w dużych gospodarstwach, zlokalizowanych w zachodniej i północnej Polsce. Badania prowadzone na Uniwersytecie w Siedlcach (Bombik, Rymuza 2022) dowodzą, że opłacalność technologii IT zależy od skali produkcji. Zaawansowane systemy (np. mapowanie plonów, VRT) stają się opłacalne dopiero powyżej 50–100 ha. W gospodarstwach powyżej 100 ha technologie cyfrowe pozwalają obniżyć koszty paliwa i nawozów o 15–20%, co daje szybki zwrot z inwestycji. Analizy potwierdzają, że nowoczesne technologie i agrotechnika są kluczowe dla efektywności ekonomicznej, zwłaszcza w gospodarstwach o dużej powierzchni.

Główne korzyści cyfryzacji (wg firm agrotechnologicznych):

- 94% badanych wskazuje na redukcję nakładów na nawozy, pestycydy i energię;
- 83% uważa, że nowe technologie zapewniają wyższą opłacalność produkcji;
- 50% dostrzega pomoc w adaptacji do zmian klimatycznych;
- inteligentne systemy oprysku mogą ograniczyć wpływ chemikaliów do gleby nawet o 93%, co wskazuje na duży potencjał środowiskowy i ekonomiczny.

W świetle przeprowadzonych analiz cyfryzacja przestaje być postrzegana w kategoriach innowacji fakultatywnej, stając się koniecznością ekonomiczną, która warunkuje rentowność i przetrwanie podmiotów na współczesnym rynku rolno-spożywczym. Cyfrowa transformacja w rolnictwie oferuje ogromne możliwości, ale jednocześnie stawia rolników przed nowymi wyzwaniami. Wyniki badań wskazują, że polscy rolnicy coraz częściej dostrzegają w cyfryzacji sposób na przetrwanie w obliczu rosnących kosztów produkcji i zmian klimatycznych. W opinii ankietowanych przyszłość rolnictwa cyfrowego jest obiecująca i może przynieść wiele korzyści polskiej wsi, jednak rolnicy muszą pokonać szereg wyzwań, aby w pełni zaimplementować nowoczesne technologie. 90% badanych widzi przyszłość w zaawansowanej analityce i sztucznej inteligencji. Rolnicy, którzy decydują się na wdrażanie technologii cyfrowych, najczęściej kierują się chęcią poprawy opłacalności produkcji poprzez jej optymalizację. Równolegle odnotowano wysoki stopień świadomości zagrożeń środowiskowych – co drugi rolnik uznaje rozwiązania cyfrowe za krytyczny element strategii zarządzania ryzykiem pogodowym. Pomimo potencjalnych korzyści w ciągu ostatnich 5 lat nastąpiła niewielka zmiana w podejściu rolników do cyfryzacji – jedynie 28% ankietowanych zauważyło wzrost zainteresowania nowoczesnymi technologiami, a 72% badanych uważa, że nadal istnieją istotne bariery, przede wszystkim edukacyjne i finansowe, które utrudniają wdrażanie rozwiązań cyfrowych.

Badania w zakresie wdrażania technologii cyfrowych w rolnictwie prowadzone były także przez ośrodki akademickie takie, jak SGGW (2026). Uzupełniły one metodologię o szczegółowe analizy regionalne (np. województwa małopolskie i podkarpackie), wskazując na wysoki poziom wykluczenia cyfrowego w mniejszych gospodarstwach (Kramarz, Runowski 2025). W polskim rolnictwie barierą wdrażania nowych technologii dla 56% rolników są finanse. 25% rolników przyznaje, że nie wie, jak korzystać z takich technologii, a w regionach takich,

jak Małopolska czy Podkarpacie, nawet 66% gospodarstw nie korzysta z żadnych narzędzi cyfrowych poza podstawowym smartfonem. W Polsce rolnicy chętnie korzystają z narzędzi do komunikacji, takich jak platformy internetowe i aplikacje ułatwiające kontakt z doradcami. Pokazuje to, że głównym priorytetem jest wymiana informacji i kontakt z ekspertami. Wiele gospodarstw używa jedynie podstawowych aplikacji, np. do diagnozowania chorób roślin. Jednocześnie mniej popularne są rozwiązania bardziej zaawansowane technologicznie, ponieważ często są drogie lub wymagają specjalistycznej wiedzy. Głównymi przeszkodami są nie tylko ograniczenia finansowe – dotyczy to 56% badanych, a w przypadku większych gospodarstw odsetek przekracza 80% – ale także brak wiedzy (25%) i zaufania (11%) do nowych rozwiązań (Kramarz, Runowski 2025).

Z raportów i sprawozdań Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa wynika, że zainteresowanie nowymi technologiami w Polsce jest ściśle skorelowane z dostępnością dotacji unijnych i krajowych². Największym zainteresowaniem cieszą się drony rolnicze, autonomiczne roboty polowe oraz oprogramowanie do zarządzania stadem. Kluczowe znaczenie ma efekt skali oraz obniżenie progu rentowności inwestycji. Dzięki systemom wsparcia dotacyjnego (do 200 tys. zł) rozwiązania z zakresu Rolnictwa 4.0 stały się dostępne dla gospodarstw średnioobszarowych, dla których wcześniej bariera kapitałowa była czynnikiem wykluczającym.

Z raportu IMAS AGRI (2021) wynika, że świadomość istnienia narzędzi informatycznych jest na obszarach wiejskich wysoka, szczególnie w największych gospodarstwach. W sondażu przeprowadzonym przez instytut IMAS International w marcu 2020 r. zbadano opinie ponad 750 rolników (sondaż metodą ankiety telefonicznej CATI) zarządzających gospodarstwami o wielkości co najmniej 30 ha. Próbę podzielono na trzy grupy różniące się wielkością powierzchni, a także umiejscowieniem na mapie Polski, dzięki czemu uzyskano reprezentatywny rozkład populacji przedsiębiorców rolnych. Producentów żywności zapytano o to, czy znają technologie komunikacyjno-informatyczne ICT wspomagające produkcję żywności i korzystają z nich. Badania dowiodły, że wraz ze zwiększaniem się wielkości gospodarstwa wzrasta świadomość oraz wykorzystanie technologii cyfrowych przez rolników. 88% ankietowanych rolników ma świadomość istnienia narzędzi cyfrowych, które pomagają w zarządzaniu gospodarstwem. Odsetek ten wzrasta do 94% w grupie właścicieli gospodarstw o powierzchni ponad 100 ha (Makroregion Województwo Mazowieckie – 93%, Makroregion Centralny – 93%, Makroregion Południowy – 95%). Najniższy wskaźnik odnotowano w Makroregionie Wschodnim (81%). Do korzystania z narzędzi cyfrowych przyznaje się 24% respondentów. Odsetek ten – podobnie do poprzedniego – rośnie wraz z wielkością gospodarstwa: od 12% wśród gospodarstw o powierzchni 30–49 ha do 39% w grupie największych gospodarstw (100 ha i więcej). Najczęściej korzystają z technologii cyfrowych rolnicy z regionów zachodnich oraz południowych

² <https://www.gov.pl/web/ncbr/rolnictwo-40-identyfikacja-trendow-technologicznych>; <https://www.gov.pl/web/arimr/sprawozdania-z-dzialalnosci-agencji-restrukturyzacji-i-modernizacji-rolnictwa>; https://www.dodr.pl/sites/default/files/2022-10/broszura_kpo.pdf; <https://itech.lukasiewicz.gov.pl/wp-content/uploads/sites/38/2025/04/Cyfryzacja-w-Rolnictwie-1.pdf>

(Makroregion Południowy – 30%, Makroregion Południowo-Zachodni – 31%). Z kolei najrzadziej z Makroregionu Centralnego – 4% oraz Makroregionu Województwo Mazowieckie – 12%. Wykorzystywana jest głównie technologia PRA-ścieżek, polegająca na określaniu stałych pasów ruchu dla wszystkich maszyn na polu (m.in. ciągnik, kombajn, opryskiwacz). Korzysta z niej 34% ankietowanych rolników, a kolejne 7% ma do niej dostęp.

Do najczęściej wymienianych zastosowań technologii cyfrowych w polskim rolnictwie należą:

- zarządzanie gospodarstwem (wdrażanie systemów monitorowania i zarządzania produkcją rolną),
- rolnictwo precyzyjne (wykorzystanie czujników, GPS, dronów oraz Big Data do optymalizacji plonów),
- automatyzacja procesów (zarządzanie inteligentnymi maszynami rolniczymi),
- cyfrowa sprzedaż i marketing (obsługa platform sprzedażowych, systemów zarządzania łańcuchem dostaw),
- monitorowanie pogody i klimatu (wykorzystanie danych meteorologicznych do optymalizacji prac rolniczych).

Wśród barier cyfryzacji w rolnictwie respondenci najczęściej wskazywali niski poziom wiedzy i kompetencji cyfrowych, ale istotnym problemem jest także brak czasu na wdrażanie nowych technologii oraz niska świadomość ich potencjalnych korzyści. Dodatkową przeszkodą są wysokie koszty inwestycyjne oraz brak integracji nowych rozwiązań z istniejącym parkiem maszynowym. Wielu rolników nie ufa nowym technologiom, co opóźnia ich wdrażanie (Runowski, Kramarz 2025). W rezultacie, mimo rosnącego zainteresowania nowoczesnymi technologiami, tempo ich wdrażania pozostaje stosunkowo wolne.

Analiza opinii respondentów wskazuje na paradygmat wsparcia instytucjonalnego jako niezbędny katalizator transformacji technologicznej sektora, umożliwiający przełamanie barier wdrożeniowych. Niewątpliwie proces ten mogłyby przyspieszyć: dotacje i programy wsparcia na zakup technologii cyfrowych (78% respondentów), ulgi podatkowe dla rolników inwestujących w nowoczesne rozwiązania (72%), organizacja szkoleń i warsztatów (75%).

Edukacja i zwiększanie świadomości rolników to kluczowe elementy transformacji technologicznej. W strukturze postulatów badawczych najwyższą rangę nadano programom edukacyjnym dla szkół rolniczych i szkoleniom uzupełniającym (78% respondentów). Istotną rolę przypisano również mechanizmom finansowania kompetencji cyfrowych (dofinansowanie szkoleń i edukacji cyfrowej – 67%) oraz instytucjonalnym formom wsparcia, takim jak partnerstwa naukowo-technologiczne i cyfrowe systemy doradztwa (odpowiednio po 67% wskazań). Zatem zidentyfikowane spektrum kluczowych inicjatyw koncentruje się wokół transferu wiedzy i wsparcia merytorycznego.

Potrzebę cyfrowej komunikacji uwidoczniała pandemia COVID-19. Wówczas, pod koniec 2021 r., Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi wraz z Ministerstwem Cyfryzacji utworzyło na portalu gov.pl podstronę „Okienko dla rolnika”, stanowiące istotny krok do cyfrowej administracji, której zasadniczym celem była

integracja usług – przestrzeń do załatwiania spraw urzędowych, a jednocześnie skoncentrowane źródło wiedzy dla rolników.

Równoległe Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR) realizuje prace nad zintegrowanym ekosystemem cyfrowym dedykowanym producentom rolnym. Inicjatywa o nazwie „Portal rolnika” stanowi kluczowy element inwestycji C2.1.1: E-usługi publiczne, rozwiązania IT usprawniające funkcjonowanie administracji i sektorów gospodarki oraz technologie przełomowe w sektorze publicznym, gospodarce i społeczeństwie, którego finansowanie zabezpieczono w ramach Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO). Portal Rolnika (rolnik.gov.pl) to kompleksowe narzędzie cyfrowe, które dostarczy użytkownikom najważniejszych informacji, usług i wsparcia społecznościowego, wzmacniając ich pozycję na dynamicznie zmieniającym się rynku rolnym. Będzie głównym instrumentem komunikacji pomiędzy rolnikiem/beneficjentem a instytucjami publicznymi z obszaru rolnictwa, takimi jak Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR), Kasa Rolniczego Ubezpieczenia Społecznego (KRUS), Główny Inspektorat Weterynarii (GIW), Inspekcja Jakości Handlowej Artykułów Rolno-Spożywczych (IJHARS), Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa (PIORiN), Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa (KOWR) oraz jednostki doradztwa rolniczego. Uruchomienie platformy planowane jest na czerwiec 2026 r.

Podsumowanie

Transformacja cyfrowa dokonuje się we wszystkich dziedzinach życia, w tym w rolnictwie. Cyfryzacja staje się coraz istotniejszym elementem nowoczesnej produkcji rolnej. Nowe technologie pozwalają na zwiększenie efektywności, optymalizację kosztów oraz poprawę jakości pracy rolników. Umożliwiają prowadzenie gospodarstw rolnych w sposób bardziej zrównoważony. Zatem to nie tylko współczesny trend, ale przede wszystkim wachlarz narzędzi, które w znacznym stopniu mogą zwiększyć konkurencyjność gospodarstw rolnych. Rozwój inteligentnego rolnictwa może przyczynić się również do zmotywowania młodych ludzi do pracy w sektorze rolnym.

Cyfryzacja i wdrażanie nowych technologii wydają się naturalną ścieżką rozwoju rolnictwa oraz koniecznym jego elementem, by zapewnić nie tylko dobrostan społeczny, ale także bezpieczeństwo pod względem klimatycznym i ekonomicznym. Cyfrowe rolnictwo jest zatem odpowiedzią na wyzwania, jakie generuje rozwój cywilizacyjny i zmiany klimatyczne.

Cyfryzacja w polskim rolnictwie ma duży potencjał, jednak jej rozwój hamują bariery edukacyjne, finansowe i technologiczne. Choć zainteresowanie nowoczesnymi rozwiązaniami rośnie, tempo ich wdrażania jest nadal wolne. Kluczowe działania przyspieszające proces cyfryzacji to wsparcie finansowe, edukacja oraz integracja nowych technologii z istniejącą infrastrukturą gospodarstw rolnych. W perspektywie kolejnych lat zasadniczą rolę odegrają analityka danych, sztuczna

inteligencja i rolnictwo precyzyjne, co może znacząco wpłynąć na efektywność i zrównoważony rozwój krajowego sektora rolniczego.

Realizowane projekty, takie jak „Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce”, pozwalają już teraz budować solidne fundamenty pod inteligentne, zrównoważone i konkurencyjne rolnictwo przyszłości. Dzięki współpracy międzyresortowej i zaangażowaniu partnerów udało się nie tylko wypracować rekomendacje systemowe, ale też dotrzeć bezpośrednio do rolników poprzez rozwój farm demonstracyjnych i kampanię informacyjną, promującą innowacje w praktyce.

Rozwój cyfryzacji w polskim rolnictwie jest bezpośrednio oparty na rezultatach projektów badawczych i naukowych (m.in. IRWiR PAN, SGGW), które posłużyły do opracowania strategicznych dokumentów, takich jak „Mapa drogowa wdrażania przełomowych technologii”. Wyniki badań nad cyfryzacją rolnictwa w Polsce wykazują silną korelację z kluczowymi dokumentami strategicznymi, identyfikując jednocześnie obszary, w których realizacja założeń napotyka bariery. Literatura naukowa z zakresu podjętej problematyki badawczej wskazuje na istnienie tzw. luki implementacyjnej – dokumenty strategiczne zakładają skok technologiczny, podczas gdy badania empiryczne pokazują, że bez systemowych zmian w edukacji i prawie (np. standaryzacja danych rolniczych) cele te pozostaną deklaratywne.

Poprawa tempa i efektów wdrażania cyfrowych zmian wymaga podjęcia badań, które wspierałyby procesy cyfryzacji w rolnictwie w sposób holistyczny, m.in. przez badanie wymogów i warunków dla rozwoju innowacyjnych produktów i usług cyfrowych dla różnych rodzajów i typów gospodarstw rolnych funkcjonujących w Polsce. Równie istotne jest wspieranie działań, które przyczyniać się będą do podnoszenia kompetencji cyfrowych oraz budowania społecznego zaufania i akceptacji dla tworzonych systemów rolnictwa cyfrowego.

W obliczu dążenia Polski do pełnej integracji cyfrowej w rolnictwie szczególnie nacisk należy położyć na zintensyfikowanie współpracy z dostawcami technologii, wspieranie procesu ciągłego kształcenia oraz kreowanie kultury innowacyjności poprzez realizację projektów pilotażowych czy tworzenie hubów innowacji. Ponadto należy wzmocnić rolę i potencjał systemu doradztwa rolniczego, koncentrując działania na wdrażaniu technologii cyfrowych i innowacyjnych rozwiązań wspierających rolników, oraz doskonalić programy edukacyjne, które akcentują znaczenie i praktyczne zastosowanie technologii cyfrowych w rolnictwie. Konieczna jest także współpraca międzynarodowa, aby móc korzystać z globalnych doświadczeń, możliwości finansowania i najlepszych praktyk. Rządowa Strategia Cyfryzacji Państwa do 2035 r. po raz pierwszy tak mocno akcentuje sektor rolny, planując system zachęt finansowych dla technologii opartych na AI i automatyzacji. Transformacja cyfrowa w rolnictwie nie jest jedynie wyborem technologicznym, lecz koniecznością wynikającą z potrzeby realizacji celów środowiskowych i klimatycznych. Rozwiązania te z pewnością wpłyną na umocnienie pozycji polskiego rolnictwa na arenie światowej.

Konflikt interesów

Autorka deklaruje brak występowania konfliktu interesów. Oświadcza, że tekst artykułu jest w całości jej dziełem.

Literatura / References

- Almalki F.A., Othman Soufiene B., Alsamhi S.H., Sakli H. 2021. A low-cost platform for environmental smart farming monitoring system based on IoT and UAVs. *Sustainability*, 13(11): 5908. <https://doi.org/10.3390/su13115908>
- Berckmans D. (red.) 2022. *Advances in precision livestock farming*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge.
- Bombik A., Rymuza K. 2022. Wykorzystanie nowoczesnych technologii w optymalizacji produkcji polowej. [W:] A. Bombik (red.). *Wybrane aspekty agrotechniczne i ekonomiczne współczesnego rolnictwa*. Uniwersytet w Siedlcach, Siedlce, s. 45–62.
- Deklaracja w sprawie inteligentnej i zrównoważonej przyszłości cyfrowej dla europejskiego rolnictwa i obszarów wiejskich. 2019. Komisja Europejska, Bruksela.
- Cordel P. 2021. Overcoming barriers to uptake of Digital Agriculture by farmers. Report (https://www.h2020fairshare.eu/wpcontent/uploads/2023/03/FAIRshare_D3.6_Overcoming_barriers_to_uptake_of_DA_by_farmers_FINAL.pdf).
- Dhanaraju M., Chenniappan P., Ramalingam K., Pazhanivelan S., Kaliaperumal R. 2022. Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture*, 12(10): 1–26. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
- Dibbern T., Santos Romani L.A., Silveira Massruh S.M.F. 2024. Main drivers and barriers to the adoption of digital agriculture technologies. *Smart Agricultural Technology*, 8: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100459>
- Ekielski A., Żelaziński T. 2021. Sztuczna inteligencja w rolnictwie 4.0. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 1: 17–20.
- Ekielski A., Pomianek B., Walczak J., Skudlarski J., Zeyland J., Hryhorowicz M. 2023. Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa.
- Escribà-Gelonch M., Liang S., van Schalkwyk P., Fisk I., van Duc Long N., Hessel V. 2024. Digital twins in agriculture: Orchestration and applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(19): 10737–10752. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c01934>
- Farooq M.S., Riaz S., Abid A., Umer T., Zikria Y.B. 2020. Role of IoT Technology in Agriculture. A Systematic Literature Review. *Electronics*, 9(2): 319. <https://doi.org/10.3390/electronics9020319>
- Figiel S. 2019. Rynki rolne i żywnościowe w dobie innowacji cyfrowych. IERiGŻ-PIB, Warszawa.
- Garske B., Bau A., Ekaradt F. 2021. Digitalization and AI in European agriculture: A strategy for achieving climate and biodiversity targets? *Sustainability*, 13(9): 1–21. <https://doi.org/10.3390/su13094652>
- Gebresenbet G., Techane B., Patterson D., Henrik P., Fischer B., Mandaluniz N., Chirici G., Zacepins A., Komasilovs V., Pitulach T., Nasirahmadi A. 2023. A concept for application of integrated digital technologies to enhance future smart agricultural systems. *Smart Agricultural Technology*, 5: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100255>
- Hrustek L. 2020. Sustainability driven by agriculture through digital transformation. *Sustainability*, 12(20): 8596. <https://doi.org/10.3390/su12208596>
- Idoje G., Dagiuklas T., Iqbal M. 2021. Survey for smart farming technologies. Challenges and issues. *Computers & Electrical Engineering*, 92: 107104. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107104>
- IMAS AGRI. 2021. Technologie cyfrowe w rolnictwie– przede wszystkim w dużych gospodarstwach [Digital technologies in agriculture– especially on large farms]. Raport (https://imas.pl/wp-content/uploads/2021/02/IMAS_Agri-Technologie-cyfrowe.pdf).

- Jacoby M., Usländer T. 2020. Digital twin and internet of things – Current standards landscape. *Applied Sciences*, 10(18): 6519. <https://doi.org/10.3390/app10186519>
- Kaushal S., Kumar S., Tabrez S. 2022. Artificial intelligence in agriculture international. *Journal of Science and Research*, 11(5): 1682–1688. <https://doi.org/10.21275/SR22524180634>
- Kiniorska I., Brambert P., Kamińska W. 2021. Inteligentne rozwiązania technologiczne w działalności rolniczej. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 55: 45–66. <https://doi.org/10.14746/rrpr.2021.55.05>
- Kit F. 2017. What next for farm robotics? *Future Farming*, 4: 13–15.
- Kleen J.L., Guatteo R. 2023. Precision livestock farming: What does it contain and what are the perspectives? *Animals*, 13(5): 779. <https://doi.org/10.3390/ani13050779>
- Klepacki B. 2020. Precision farming as an element of the 4.0 industry economy. *Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, 22(3): 119–128. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.3572>
- Knierim A., Kernecker M., Erdle K., Kraus T., Borges F., Wurbs A. 2019. Smart farming technology innovations – Insights and reflections from the German Smart-AKIS hub. *NJAS-Wageningen. Journal of Life Sciences*, 90–81 (1): 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100314>
- Kobus-Cisowska J., Dziedziński M. 2023. Możliwości i wyzwania zastosowania cyfryzacji w rozwoju zrównoważonego, inteligentnego rolnictwa na przykładzie produkcji roślinnej. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 2(112): 28–41.
- Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Europejski Zielony Ład. Komisja Europejska. COM (2019) 640 final.
- Kosior K. 2023. Projekty badawczo-rozwojowe na rzecz rolnictwa cyfrowego w Polsce. *Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, 25(1): 124–139. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.2309>
- Krajowy Plan Odbudowy i Zwiększania Odporności – KPO. Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej (<https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/109762/KPO.pdf>; dostęp: 20.10.2025).
- Kramarz P., Runowski H. 2025. Possibilities of using digital technologies in agriculture in areas with high agrarian fragmentation. *Precision Agriculture*, 26(3): 2648. <https://doi.org/10.1007/s11119-025-10244-2>
- Luyckx M., Reins L. 2022. The future of farming: The (non)-sense of big data predictive tools for sustainable EU agriculture. *Sustainability*, 14(20): 12968. <https://doi.org/10.3390/su142012968>
- Lorenkowicz E. 2018. Cyfrowe rolnictwo – cyfrowe zarządzanie. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 20(4): 104–110. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.2952>
- Nie J., Yang B. 2021. A Detailed Study on GPS and GIS Enabled Agricultural Equipment Field Position Monitoring system for Smart Farming. *Scalable Computing. Practice and Experience*, 22(2): 171–181. <https://doi.org/10.12694/scpe.v22i2.1882>
- Pawar J., Sonavale R., Sarkale P.S. 2024. Transforming cattle farming with artificial intelligence: Innovations, applications, and implications for precision livestock management and sustainable agriculture practices. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 25(1): 525–540.
- Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej UE na lata 2023–2027. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi (<https://www.gov.pl/web/rolnictwo/plan-strategiczny-dla-wspolnej-polityki-rolnej-nalata-2023-2027>; dostęp: 20.10.2025).
- Podstawka M. 2025. Wykorzystanie sztucznej inteligencji w rolnictwie. *Ubezpieczenia w Rolnictwie – Materiały i Studia*, 1(83): 251–263. <https://doi.org/10.48058/urms/83.2025.9>
- Pulley J., Clafin K., Thompson A. 2025. A Review of Virtual Reality Applications in Agriculture Education and Recommendations for Future Research. *Journal of Agricultural Education*, 66(3): 15. <https://doi.org/10.5032/jae.v66i3.3195>
- Runowski H. 2020. Digitalization in agriculture – development opportunities and barriers. [W:] J. Paliszkiwicz (red.), *Management and information technology: New challenges*. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa, s. 71–84.
- Runowski T. 2021. Digitalizacja, cyfryzacja i transformacja cyfrowa – dylematy terminologiczne. [W:] M. Matejun, M. Szczepańczyk (red.), *Nowoczesne zarządzanie. Koncepcje i instrumenty*. Politechnika Łódzka, Łódź, s. 129–141.

- Runowski H., Kramarz P. 2025. Trust in artificial intelligence in agriculture. [W:] J. Paliszkiewicz, J. Gołuchowski (red.), *Trust and Artificial Intelligence: Development and Application of AI Technology*. Routledge. s. 229–241. <https://doi.org/10.4324/9781032627236-21>
- 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. *Applied Sciences*, 12(7): 3396. <https://doi.org/10.3390/app12073396>
- Sanyaolu M., Sadowski A. 2024. The Role of Precision Agriculture Technologies in Enhancing Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 16(15): 6668. <https://doi.org/10.3390/su16156668>
- Secundo G., Schena R., Russo A., Schiavone F., Shams R. 2022. The impact of digital technologies on the achievement of the sustainable development goals: evidence from the agri-food sector. *Total Quality Management & Business Excellence*, 17: 1–17. <https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2065981>
- Sharma V., Tripathi A.K., Mittal H. 2022. Technological revolutions in smart farming: Current trends, challenges & future directions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 201: 107217. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107217>
- Stępień S., Smeździk-Ambroży K., Polcyn J., Kwiliński A., Maican I. 2023. Are small farms sustainable and technologically smart? Evidence from Poland, Romania, and Lithuania. *Central European Economic Journal*, 10(57): 116–132. <https://doi.org/10.2478/ceej-2023-0007>
- Strategia „Od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego. Komisja Europejska. COM(2020) 381 final.
- Subeesh A., Mehta C.R. 2021. Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5: 278–229. <https://doi.org/10.1016/j.iiia.2021.11.004>
- Subeesh A., Chauhan N. 2026. Agricultural digital twin for smart farming: A review. *Green Technologies and Sustainability*, 4(2): 100299. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100299>
- Szymańska E.J., Krasnodębski A., Bilik A. 2026. Regional Differentiation of Precision Agriculture in Poland – Economic Aspects and Limitations of Its Development. *Sustainability*, 18(7): 3342. <https://doi.org/10.3390/su18073342>
- Trendov N.M., Varas S., Zeng M. 2019. Digital technologies in agriculture and rural areas. Briefing paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- TSIC-RoC-19517: Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce, Raport 7: Raport końcowy. 2025. European Union, Bruksela, Belgia.
- Tzounis A., Katsoulas N., Bartzanas T., Kittas C. 2017. Internet of things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, 164: 31–48. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>
- Venkatesan R., Kathrine G.J.W., Ramalakshmi K. 2018. Internet of Things Based Pest Management Using Natural Pesticides for Small Scale Organic Gardens. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 15(9–10): 2742–2747. <https://doi.org/10.1166/jctn.2018.7533>
- Wiliński W., Księżopolski K. 2025. Zastosowania rozwiązań Agritech w rolnictwie i ich wpływ na rozwój ubezpieczeń rolnych – rekomendacje dla Polski. *Ubezpieczenia w Rolnictwie – Materiały i Studia*, 1(83): 127–145. <https://doi.org/10.48058/urms/83.2025.5>
- Żmija D. 2025. Kierunki transformacji cyfrowej sektora rolnego w Polsce i jej scenariusze w perspektywie do 2050 roku. Difin, Warszawa.

Digital transformation in the Polish agricultural sector

Abstract: In the face of the growing challenges of climate change, soil degradation, and growing demand for food, digital agriculture is a key element in the transformation of the agricultural sector towards sustainable development. The aim of this article is to present the concept of digital agriculture and identify opportunities for the application of innovative technologies in the agricultural sector. The study highlights current trends and the state of digitalisation of agriculture in Poland, drawing on the results of the ministerial project “Digital Transformation of Agriculture in Poland” and the study “Digital Agriculture in Poland”, conducted as part of the Partners for International Business (PIB) “Soil Improvement Poland” project. Attention is paid to the assumptions, goals, and guidelines for digital agriculture systems formulated in declarations and strategic documents. Digital

technologies used in agricultural production are illustrated, as well as the benefits resulting from the development of digital agriculture and the barriers hindering the implementation of innovative technologies in the agricultural sector. New technologies enable increased efficiency, cost optimisation, and improved quality of work for farmers. Key actions accelerating the digitalisation process include financial support, education, and the integration of new technologies with existing farm infrastructure. Digitalisation and the implementation of new technologies will therefore be a natural path for agricultural development and a necessary element to ensure not only social well-being but also climate and economic security. The transformation towards digital agriculture is currently one of the most important development challenges facing farms in Poland.

Keywords: agriculture, digital transformation, digitalisation, digital agriculture

Data przekazania tekstu: 27.11.2025; data zaakceptowania tekstu: 12.05.2026.

Article submitted: 27.11.2025; article accepted: 12.05.2026.