

Przesłano: 29-01-2023

Zaakceptowano do druku: 01-03-2023



## MOŻLIWOŚCI I WYZWANIA ZASTOSOWANIA CYFRYZACJI W ROZWOJU ZRÓWNOWAŻONEGO, INTELIGENTNEGO ROLNICTWA NA PRZYKŁADZIE PRODUKCJI ROŚLINNEJ

Joanna Kobus-Cisowska<sup>1</sup>, Marcin Dziedziński<sup>2</sup>

**Abstrakt:** Inteligentne rolnictwo (ang. *smart farming*, *smart agriculture*) to sposób rozwoju rolnictwa, który kładzie nacisk na technologie informacyjne i komunikacyjne w maszynach, urządzeniach i czujnikach, co pozwala nie tylko na zaawansowany technologicznie nadzór nad gospodarstwem, ale daje też możliwość zdalnego sterowania procesami i pracami. Celem stosowania tzw. cyfryzacji jest optymalizacja i zwiększenie jakości produkcji, redukcja pracy ludzkiej, redukcja przemysłowych środków produkcji oraz zmniejszenie presji środowiskowej. Przewiduje się, że innowacyjne technologie tj. *Internet Rzeczy* (IoT), technologie satelitarne, przetwarzanie w chmurze czy sztuczna inteligencja przyczynią się do rozwoju rolnictwa, a także będą sprzyjać bezpieczeństwu żywności i ograniczą zmiany klimatyczne. Zastosowanie nowych technologii budzi również pewne obawy oraz stawia nowe wyzwania rolnikom. W niniejszym artykule opisano narzędzia i urządzenia wykorzystywane w inteligentnym rolnictwie, możliwości ich zastosowania, a także przewidywane wyzwania, które pojawiają się przy łączeniu innowacyjnych technologii z konwencjonalną działalnością rolniczą.

**Słowa kluczowe:** inteligentne rolnictwo, internet rzeczy, sztuczna inteligencja

JEL: Q1, Q15, Q16

## OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF THE DIGITALIZATION IN SUSTAINABLE SMART AGRICULTURE ON THE EXAMPLE OF PLANT PRODUCTION

Joanna Kobus-Cisowska<sup>1</sup>, Marcin Dziedziński<sup>2</sup>

**Abstract:** Smart farming, or smart agriculture, is a way of agricultural development that emphasizes information and communication technologies in networked machinery, equipment and sensors, allowing not only high-tech farm supervision, but also remote

<sup>1</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Poznań University of Life Sciences) | wkład pracy (work input): 60% | ORCID: 0000-0003-2834-0405 | e-mail: joanna.kobus@up.poznan.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Poznań University of Life Sciences) | wkład pracy (work input): 40% | ORCID: 0000-0003-1069-0095 | e-mail: marcin.dziedzinski@up.poznan.pl

control of processes. The goal is to optimize and increase production quality and reduce human labor. Innovative technologies, i.e. the Internet of Things (IoT), cloud computing and artificial intelligence, are expected to inspire growth, as well as confront current difficulties, i.e. food security and climate change. The use of new technologies also raises some concerns and poses new challenges for farms. This article describes the tools and equipment used in intelligent agriculture, the possibilities for their application, as well as the anticipated challenges that arise when combining innovative technologies with conventional farming operations.

**Keywords:** smart agriculture, smart farming, internet of things, artificial intelligence ties

**JEL Classification:** Q1, Q15, Q16

## 1. Wstęp

Zrównoważone rolnictwo to zbiór praktyk, które pomagają zaspokoić obecne potrzeby społeczeństwa, w sposób pozwalający w przyszłości na ich dalsze wykorzystanie i rozwój (Velten i in., 2015). Stosowanie zrównoważonego rolnictwa sprzyja optymalnemu i oszczędnemu wykorzystaniu zasobów w sposób ekonomiczny, przy utrzymaniu jakości gleby i ograniczeniu jej degradacji. Zrównoważone rolnictwo odgrywa znaczącą rolę w zachowaniu zasobów naturalnych, powstrzymaniu utraty różnorodności biologicznej i zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych (Velten i in., 2015). Nowe technologie są jednym z kluczowych narzędzi, pozwalających na rozwój zrównoważonego rolnictwa. Jedną z najważniejszych technologii jest *Internet rzeczy* (IoT). To koncepcja polegająca na szeroko stosowanym łączeniu urządzeń i zbieraniu oraz przetwarzaniu otrzymanych z nich danych. Internet rzeczy jest używany z wieloma interfejsami i systemami IoT do obsługi interakcji pomiędzy zbieranymi danymi a prowadzonymi procesami. W ramach danego systemu wiele urządzeń, maszyn czy czujników może w sposób ciągły tworzyć strumienie wzajemnie połączonych danych i przetwarzać informacje (Khodadadi i in., 2016). Obecnie mówi się o erze rolnictwa 4.0, gdzie wykorzystywane są najnowsze narzędzia technologii informacyjnej tj. „analiza big data”, „sztuczna inteligencja”, „przetwarzanie w chmurze”, itd. Adaptacja tych koncepcji i narzędzi w rolnictwie pozwala m.in. na zdalny nadzór, automatyzację, co z kolei prowadzi do większej efektywności produkcyjnej, oszczędności zasobów, a także zwiększonego bezpieczeństwa i dobrostanu (Quy i in., 2022). Obecnie rozwiązania te znajdują zastosowanie m.in. w monitorowaniu zmian w charakterystyce gleby, czynników klimatycznych, wilgotności, co przekłada się na skuteczność stosowanych praktyk zarządzania przestrzennego, które zwiększają produkcję roślinną i pozwalają uniknąć nadmiernego stosowania nawozów i pestycydów (El Nahry i Mohamed, 2011). Innym przykładem jest możliwość zdalnego i precyzyjnego zarządzania irygacją, przy równoczesnym monitoro-

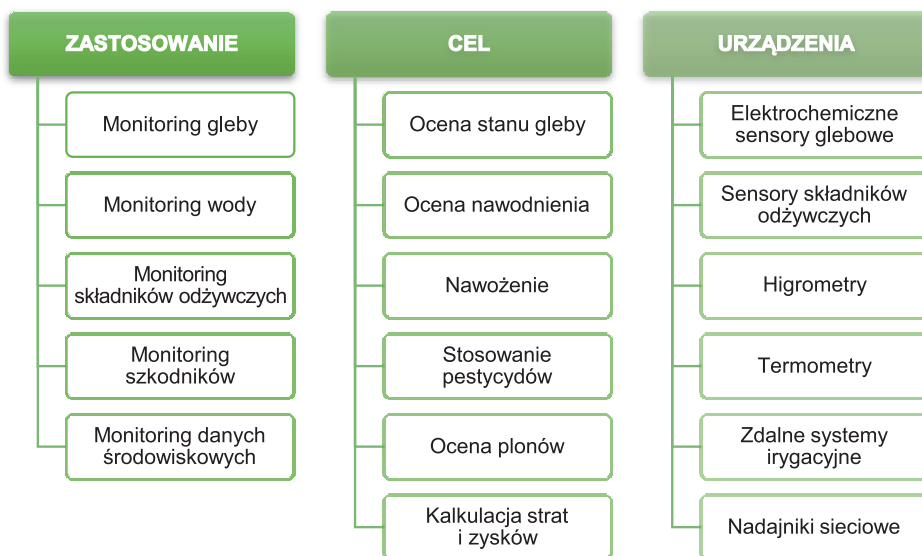
waniu wykorzystania stanu zapasów wody w czasie rzeczywistym, a także predykcja przyszłego zapotrzebowania na podstawie danych (Adamides i in., 2020). Cyfryzacja i wdrażanie nowych technologii wydaje się naturalną ścieżką rozwoju rolnictwa oraz koniecznym jego elementem, by zapewnić nie tylko dobrostan społeczny, ale także bezpieczeństwo pod względem klimatycznym i ekonomicznym. Celem artykułu jest przybliżenie koncepcji cyfryzacji rolnictwa w ujęciu zrównoważonego rozwoju, sposobu jego wdrożenia, a także oczekiwanych możliwości i wyzwań, które się z nim wiążą.

## 2. Urządzenia i narzędzia stosowane w inteligentnym rolnictwie

Rozpowszechnienie nowoczesnych urządzeń, czujników/sensorów i tzw. IoT, pozwala na usprawnienie niemal wszystkich praktyk rolniczych i odpowiada na wiele problemów, z którymi boryka się konwencjonalne rolnictwo. Usprawnienie to dotyczy m.in. oceny przydatności gruntów, stosowania nawadniania, kontroli szkodników i maksymalizacji plonów (Dhanaraju i in., 2022). Rycina 1 ilustruje przykłady zastosowań cyfryzacji w rolnictwie.

Rycina 1

### Potencjalne zastosowania IoT w inteligentnym rolnictwie



Źródło: Dhanaraju i in., 2022.

**System nawigacji satelitarnej GPS** (ang. *Global Positioning System*) pozwala na precyzyjne rejestrowanie informacji o szerokości, długości i wysokości geo-

graficznej (Palaniswami i in., 2011). Satelity globalnego systemu pozycjonowania wysyłają sygnały i pozwalają odbiorcom na obliczanie ich położenia w czasie rzeczywistym. Informacje o lokalizacji dają rolnikom możliwość poznania dokładnego położenia danych polowych, takich jak występowanie szkodników, rodzaj gleby, obecność chwastów i innych przeszkód. System ułatwia rozpoznanie różnych lokalizacji pól, aby następnie zastosować niezbędne środki (nasiona, nawozy, herbicydy, pestycydy i wodę) na danym polu (Nie i Yang, 2021). System informacji geograficznej (ang. *Geographic Information System*) obejmuje sprzęt i oprogramowanie zaprojektowane w celu wprowadzenia systemu informacyjnego służącego do wprowadzania, gromadzenia, przetwarzania oraz wizualizacji danych geograficznych, którego jedną z funkcji jest wspomaganie procesu decyzyjnego (Bharti i in., 2021). Zbierane dane mogą być wykorzystywane za pomocą metod statystycznych i przestrzennych. Baza danych pozwala dostarczyć informacji o rodzajach gleb polowych, stanie składników odżywczych, topografii, nawadnianiu, drenażu powierzchniowym i podpowierzchniowym, ilości zastosowanych środków chemicznych i produkcji roślinnej, a także ustala relacje między elementami, które wpływają na uprawy na danym polu uprawnym (Bharti i in., 2021).

**Sensory** wykorzystujące pomiary parametrów fizycznych tj. fotoelektryczność, elektromagnetyka, przewodnictwo i ultradźwięki, są stosowane do oceny tekstury i struktury gleby, poziomu składników odżywczych, roślinności, wilgotności, pary, powietrza, temperatury i innych. Pozyskane dane pozwalają charakteryzować rodzaje upraw, kategoryzować szkodniki i chwasty, oceniać warunki glebowe i suszę (Farooq i in., 2020). W celu kontroli parametrów upraw wykorzystywane są różne czujniki tj. czujniki temperatury, wilgotności, monitorowania wzoru gleby, czujniki przepływu powietrza, lokalizacji, CO<sub>2</sub>, ciśnienia, światła i wilgotności. Jeśli mierzone parametry przekroczą pewien próg, czujnik rejestruje zmiany i przekazuje je do mikrokontrolera, aby ten wykonał wymagane działania do momentu, aż dany parametr wróci do optymalnego poziomu (Srisruthi i in., 2016). Obecnie dostępne czujniki bezprzewodowe odgrywają istotną rolę w zbieraniu danych o warunkach upraw. Czujniki te są samodzielne i mogą być zintegrowane z zaawansowanymi narzędziami rolniczymi i ciężkimi maszynami, w zależności od potrzeb gospodarstwa (Aqeel-ur-Rehman i in., 2014).

W ostatnich latach dynamicznie rozwijają się technologie sieci bezprzewodowych. Obecnie w systemach IoT na świecie stosowane są różne technologie lub protokoły bezprzewodowe, takie jak WiFi, Bluetooth, ZigBee, GPRS/3G/4G, LoRa i SigFox (Jawad i in., 2017). Bezprzewodowa sieć czujnikowa, WSN (ang. *Wireless Sensor Network*) składa się z dużej liczby węzłów mikrosensorowych, które cechują się małą objętością i niskim kosztem. Tego typu sieć posiada zdolność do samoorganizacji poprzez komunikację bezprzewodową. W porównaniu

do tradycyjnych środków monitorowania środowiska, sieci te posiadają znaczące zalety: (1) nie wymagają wymiany okablowania – sieć rozmieszczana jest tylko raz, co zmniejsza wpływ człowieka na środowisko kontroli, (2) duże zagęszczenie węzłów daje wysoką zdolność pozyskiwania i gromadzenie danych, (3) węzły czujników zapewniają odpowiednią moc obliczeniową i zdolność do przechowywania danych, co umożliwia nieustanne przetwarzanie danych i współpracę między wieloma węzłami w ramach bezobsługowego zdalnego monitorowania.

Duża ilość danych, które powstają dzięki technologiom cyfrowym i są zwykle określane jako „**big data**”, oprócz edycji, analizy i interpretacji, wymaga dużych możliwości przechowywania. Te ostatnie mają znaczny potencjał, aby wnieść wartość dodaną dla społeczeństwa, środowiska i decydentów (Kamilaris i in., 2017). Niemniej jednak, duża ilość danych stanowi wyzwanie ze względu na ich tzw. wymagania, takie jak: objętość, różnorodność, szybkość, prawdziwość i wartość (Kamilaris i in., 2017). Konwencjonalne techniki przetwarzania danych nie są w stanie sprostać stale rosnącym wymaganiom w nowej erze inteligentnego rolnictwa, co stanowi istotną przeszkodę w wydobywaniu wartościowych informacji z danych polowych (Neethirajan, 2020). W tym celu powstało uczenie maszynowe będące podzbiorem sztucznej inteligencji. Uczenie maszynowe wymaga, aby program wykonał konkretne czynności, tj. zdobywanie danych, a następnie tworzenie algorytmów w celu przekształcenia ich w informacje nadające się do wykonania działania; wybór odpowiedniego algorytmu w celu osiągnięcia preferowanego wyniku oraz ciągłe dostosowywanie zaprojektowanych algorytmów i zapewnienie, że dostarczają one najbardziej dokładnych wyników (Ben Ayed & Hanana, 2021). Stosowanie uczenia maszynowego umożliwia tworzenie modeli statystycznych, co pozwala m.in. na przewidywanie plonów, chorób upraw czy zarządzanie autonomicznym systemem nawadniania (Jha i in., 2019).

Odpowiednie oprogramowanie jest niezbędne do funkcjonowania nowoczesnych urządzeń. Pozwala użytkownikowi na dostęp do danych, daje możliwość ich analizy, manipulacji oraz umożliwia zdalną obsługę urządzeń. Obecnie coraz powszechniejsze stają się usługi w chmurze lub „oprogramowanie jako usługa”, które mają takie zalety jak niskie koszty początkowe, maksymalna wydajność i międzynarodowa dostępność usług (Bo i Wang, 2011).

### 3. Korzyści i możliwości płynące z cyfryzacji rolnictwa

**Rolnictwo precyzyjne**, czyli zarządzanie systemami produkcji rolnej oparte na danych, pojawiło się wraz z rosnącą świadomością na temat zróżnicowania warunków glebowych i upraw w połączeniu z rozpowszechnieniem się technologii, takich jak globalne systemy nawigacji satelitarnej, systemy informacji geogra-

ficznej i mikrokomputery (Gebbers i Adamchuk, 2010). Rolnictwo precyzyjne obejmuje zestaw technologii, które łączą czujniki, systemy informacyjne, ulepszone maszyny i świadome zarządzanie w celu optymalizacji produkcji poprzez uwzględnienie zmienności i niepewności w systemach rolniczych. Dostosowanie nakładów produkcyjnych do konkretnego miejsca w obrębie pola pozwala na lepsze wykorzystanie zasobów w celu utrzymania jakości środowiska przy jednoczesnej poprawie zrównoważenia dostaw żywności. Rolnictwo precyzyjne zapewnia środki do monitorowania łańcucha produkcji żywności i zarządzania zarówno ilością, jak i jakością produktów rolnych (Gebbers i Adamchuk, 2010).

**Analiza gleby** pozwala na oszacowanie stanu odżywienia roślin na podstawie pozycji GPS i informacji specyficznych dla pola, a następnie na podejmowanie krytycznych decyzji w zależności od niedoborów składników odżywczych na różnych etapach uprawy. Czynnikiem kontrolującym stan żyzności gleby są topografia, typ i tekstura, sposób uprawy, stosowanie nawozów, nawadnianie, itp. (Kashyap i Kumar, 2021). Mapowanie gleby jest przydatne do oceny przydatności danych upraw lub odmian na określonym polu, a także do ustalenia głębokości sadzenia, fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości gleby tak, aby jak najlepiej wykorzystać jej zasoby (Kashyap i Kumar, 2021). Obecnie do monitorowania właściwości gleby, takich jak zdolność zatrzymywania wody, tekstura i szybkość wchłaniania, stosuje się szeroką gamę czujników i narzędzi, co pomaga rolnikom w śledzeniu jakości gleby i przyjmowaniu odpowiednich środków zaradczych w celu uniknięcia degradacji gleby, takiej jak erozja, alkalizacja, zakwaszenie, zasolenie i zanieczyszczenie (Petropoulos i in., 2015). Techniki teledetekcji, które umożliwiają uzyskanie danych dotyczących wilgotności gleby, często pomagają w analizie susz rolniczych w odległych regionach. Mapy wilgotności gleby generowane z danych satelitarnych służą do szacowania wskaźnika deficytu wody w glebie (ang. *Soil Water Deficit Index*, SWDI), co umożliwi opracowanie modeli predykcyjnych opartych na właściwościach fizycznych gleby (Martínez-Fernández i in., 2016). Przykładowo, monitoring roślin prowadzony za pośrednictwem stacji opartej na IoT ADCON połączonej z czujnikami i urządzeniami mobilnymi (smartfony i tablety), daje rolnikom możliwość zbierania danych dotyczących parametrów gleby i otoczenia, takich jak wilgotność liści, temperatura powietrza i gleby, wilgotność gleby i powietrza, w celu poprawy wydajności owocowania winogron i polepszenia jakości plonów od siewu do zbioru. Ponadto system transmisji danych analizuje interakcje gleba-roślina-atmosfera potrzebne do optymalizacji produkcji rolnej (Pallavi i in., 2017).

Zgodnie z Konwencją ONZ w sprawie zwalczania tzw. „pustynnienia” (ang. *United Nations Convention to Combat Desertification*, UNCCD) oszacowano, że do roku 2030 proces ten będzie dotyczył aż 168 krajów, a prawie 50% światowej po-

pulacji już obecnie żyje na obszarach o wysokim niedoborze wody (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020). Zasoby wodne są oszczędzane poprzez przyjęcie bardziej kontrolowanych i wydajnych systemów irygacyjnych, np. poprzez stosowanie nawadniania kropelkowego i zraszaczowego. Oszacowanie zapotrzebowania na wodę dla upraw jest określane na podstawie rodzaju gleby, opadów atmosferycznych, metody nawadniania, rodzaju uprawy i wymagań, a także retencji wilgoci w glebie (Eden i in., 2017). Korzystanie z systemów kontroli wilgotności powietrza i gleby z bezprzewodowymi czujnikami, optymalizuje zasoby wodne i poprawia efektywność upraw. Przewiduje się, że użycie jednej z technik IoT, a mianowicie gospodarki wodnej opartej na wskaźniku stresu wodnego CWSI (ang. *Crop Water Stress Index*), obliczanego na podstawie analizy upraw w różnych fazach wzrostu i temperatur powietrza, wpłynie na znaczny wzrost produktywności plonowania (Yuan i in., 2004). Model CWSI zbiera informacje z danych klimatycznych, czujników i obrazów satelitarnych, a następnie wykorzystuje je do obliczania zapotrzebowania na wodę. Prognozy wykorzystujące wartości wskaźnika nawadniania mogą być wykorzystywane dla każdego pola, w oparciu o nachylenie lub zmienność gleby w celu poprawy efektywności wykorzystania wody (Dhanaraju i in., 2022).

Zarówno niedobór składników odżywczych, jak i nadmierne stosowanie nawozów jest niekorzystne dla gleby oraz roślin, a przede wszystkim dla środowiska. Specyficzne nawożenie gleby składnikami pokarmowymi w ramach inteligentnego rolnictwa precyzyjnie szacuje wymaganą ilość składników pokarmowych i minimalizuje ich negatywne skutki poprzez nadmierne ich zużycie w glebie i środowisku (Köksal & Tekinerdogan, 2019). Technika nawożenia oparta na IoT szacuje przestrzenne wzorce dystrybucji składników odżywczych. Pozwala na to znormalizowany indeks różnic wegetacji (ang. *Normalized Difference Vegetation*, NDVI), który uzyskuje się z obrazów satelitarnych w celu obserwacji stanu odżywienia upraw, zdrowia upraw, wigoru wegetacji i gęstości roślin, a także poziomu składników odżywczych w glebie (Xue & Su, 2017). Najnowsze technologie, takie jak mapowanie GPS, technologia zmiennych dawek (ang. *Variable Rate Technology*, VRT) i pojazdy autonomiczne, w zdecydowanym stopniu przyczyniają się do inteligentnego nawożenia opartego na IoT (Lavanya i in., 2020). Skuteczne praktyki zarządzania podnoszące efektywność nawożenia obejmują również fertygację i chemigację, tj. stosowanie nawozów rozpuszczalnych w wodzie dla polepszenia jakości gleby i efektywności pestycydów (Villarrubia i in., 2017).

Organizacja Narodów Zjednoczonych do Spraw Wyżywienia i Rolnictwa (ang. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, FAO) szacuje, że roczna globalna utrata plonów rzędu 20-40% jest powodowana wyłącznie przez szkodniki i choroby, a straty te są ograniczane przez stosowanie pestycydów i innych agrochemikaliów (Newlands, 2018). Urządzenia oparte na IoT, takie jak roboty,

czujniki bezprzewodowe i drony, precyzyjnie wykrywają i kontrolują szkodniki i choroby upraw poprzez monitorowanie w czasie rzeczywistym, modelowanie i prognozowanie chorób, zwiększając ogólną skuteczność zwalczania szkodników bardziej niż tradycyjnie stosowane procedury (Venkatesan i in., 2018). Proces zarządzania chorobami i szkodnikami oparty na IoT jest uzależniony od procesu rejestrowania i przetwarzania obrazu. Obrazy teledetekcyjne i czujniki polowe służą do zbierania danych, takich jak zdrowie roślin i występowanie szkodników, na każdym polu przez cały okres uprawy. Zautomatyzowane pułapki oparte na IoT przechwytyują, liczą i opisują rodzaje owadów, a następnie przesyłają dane do chmury w celu wykonania pełnej analizy (Wietzke i in., 2018). Dzięki postępowi w technologii robotyki, w ramach systemu zarządzania IoT, do dokładniejszego wykrywania i kontrolowania problemów ze szkodnikami mogą być wykorzystywane roboty rolnicze z wielospektralnymi czujnikami obrazu i precyzyjnymi dyszami rozpylającymi (Dhanaraju i in., 2022).

**Prognozowanie upraw** pozwala na przewidywanie plonu przed zbiorami i pomaga rolnikowi w przyszłym planowaniu, podejmowaniu decyzji i dalszej analizie jakości plonów. Określenie stopnia dojrzałości, poprzez monitorowanie plonów na różnych etapach rozwoju, w tym takich czynników jak kolor owoców, ich wielkość, itp., umożliwia ustalenie właściwego czasu zbiorów. Ustalenie prawidłowego czasu zbiorów pomaga uzyskać maksymalną jakość oraz wielkość zebranego plonu oraz reguluje strategie zarządzania rynkiem (Singh i Singh, 2017). Istnieją rozwiązania takie jak monitor plonów instalowany na kombajnie, który połączony z aplikacją mobilną, pokazuje zbiory w czasie rzeczywistym i automatycznie przesyła dane do platformy internetowej (Singh i Singh, 2017). W celu oszacowania produkcji roślinnej i jej monitorowania wykorzystuje się zdjęcia satelitarne obejmujące rozległe obszary. Uzyskane wielokolorowe zdjęcia są wykorzystywane do śledzenia różnych parametrów owoców, a zwłaszcza ich wielkości i koloru, przez co odgrywają ważną rolę w szacowaniu stopnia ich dojrzewania, podejmowaniu decyzji dotyczących zbiorów i możliwości rynkowych (Udomkun i in., 2016).

#### 4. Ryzyka i wyzwania adaptacji inteligentnego rolnictwa

Mimo wielkiego potencjału inteligentnego rolnictwa, rozwój i adaptacja tego systemu stwarza wiele wyzwań, zarówno po stronie producentów technologii jak i użytkowników końcowych (rycina 2).

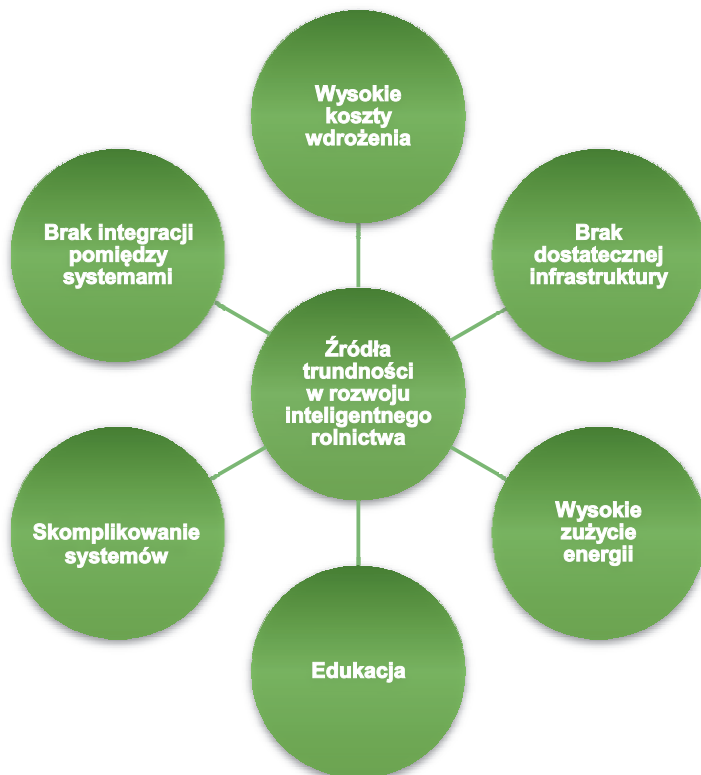
Szacuje się, że inwestycje związane z ograniczeniem zmian klimatu w krajach rozwijających się w 2030 r. wyniosą od 12,25 do 14 mld USD, a infrastruktura służąca do monitorowania pomiarów to dodatkowy koszt sięgający 5 miliardów USD (Scherr i in., 2012). O ile jest to znaczny koszt systemowy, to w skali pojedynczych



gospodarstw, koszt systemu pozwalającego na śledzenie danych tj. temperatura, natężenie światła, wilgotność powietrza i gleby, wynosi zaledwie 100 USD (Tran i in., 2017). Wprowadzenie bardziej zaawansowanych systemów, które obejmują wiele technologii, takich jak GPS, Geofence, inteligentne czujniki, big data, przetwarzanie w chmurze, to koszt rzędu 750 – 1250 USD na 1000 m<sup>2</sup> co może już stanowić barierę dla wielu gospodarstw, zwłaszcza w krajach rozwijających się (Lets Nurture, 2023). W Polsce istnieje szereg barier rozwoju inteligentnego rolnictwa, tj. struktura obszarowa gospodarstw, niski stopień wykorzystania endogennego potencjału rolnictwa, niski stopień dywersyfikacji gospodarczej wsi, tradycyjny charakter funkcjonowania, niski poziom kooperacji i aktywności grup producenckich i inne (Kiniorska i in., 2021; Ślusarz, 2015).

Rycina 2

### Wyzwania w rozwoju inteligentnego rolnictwa



Źródło: Dhanaraju i in., 2022.

Zwraca się uwagę na model inteligentnego rozwoju obszarów wiejskich, który musi uwzględniać specyficzne czynniki tj. dystans przestrzenny, a także relatywnie gorzej rozwinięta sieć infrastrukturalna; brak współpracy sieciowej i organizacji naukowo-badawczych lub instytucji, ograniczające budowanie kreatywnej gospodarki; trudności w inicjowaniu projektów innowacyjnych i pozyskiwaniu środków na ich rozwój (Kiniorska i in., 2021).

**Szkolenia rolników** są ważnym wyzwaniem we wdrażaniu technologii w krajach rozwijających się. Potrzebna specjalistyczna, nowa i zaawansowana wiedza obejmuje umiejętności edukacyjne i techniczne niezbędne do zarządzania nowymi cyfrowymi narzędziami. Szkolenia zwiększają wiedzę rolników umożliwiając im sprawne przetwarzanie pozyskanych informacji, a tym samym ułatwiając podejmowanie decyzji z wykorzystaniem technologii inteligentnego rolnictwa (Alvarez i Nuthall, 2006). W Polsce wciąż obserwowana jest niska świadomość dotycząca inteligentnego rolnictwa, która może wynikać z braku informacji i edukacji na ten temat. Dodatkowo, niektórzy rolnicy mogą być nieprzekonani o opłacalności inwestycji w technologie związane z inteligentnym rolnictwem (Klepacki, 2020)2020. Dlatego ważnym elementem wspierania rozwoju cyfrowego rolnictwa jest umożliwienie zdobycia wiedzy i wskazanie nowych technologii. Obecnie obserwuje się, że rolnicy preferują metody tradycyjne zamiast rolnictwa inteligentnego i aby wprowadzić inteligentne technologie rolnicze niezbędne jest prowadzenie szkoleń rolników z zakresu wiedzy cyfrowej, jednocześnie mając na uwadze, że firmy zajmujące się szkoleniami i nową technologią powinny zapewnić rolnikom łatwe zrozumienie przedstawianych zagadnień (Khan i in., 2016).

Do wdrożenia inteligentnego rolnictwa niezbędna jest odpowiednia **infrastruktura telekomunikacyjna**. Inteligentne rolnictwo wymaga stabilnej transmisji danych oraz połączenia z Internetem w czasie rzeczywistym, aby umożliwić korzystanie z informacji. Ponadto różne systemy kontroli operacji, takich jak np. nawożenie, stosowanie pestycydów, monitorowanie objętości nasion, wymagają wysokiej jakości połączenia internetowego, aby uzyskać rzetelne i wartościowe wyniki. Wraz z rozwojem telefonów komórkowych, obszary wiejskie zyskują dostęp do mobilnego internetu, jednak jakość sygnału oraz prędkość przesyłu i odbioru danych są często ograniczone (Dhanaraju i in., 2022).

**Integracja między systemami** jest jednym z głównych obszarów, w których należy nadal rozwijać technologie inteligentnego rolnictwa. Wiele rolniczych systemów informatycznych jest skomplikowanych i trudnych do wzajemnej integracji. Podstawą usprawnionego procesu decyzyjnego jest możliwość uzyskania w odpowiednim czasie odpowiednich danych przedstawionych w zrozumiałym i łatwym do praktycznego wdrożenia formacie dla końcowego użytkownika (Hakkim i in., 2016).

Duży obszar pokrycia wymagany w inteligentnym rolnictwie sprawia, że urządzenia bezprzewodowe są jego nieodzownym elementem. Obecnie potrzebne są rozwiązania zmniejszające zużycie energii lub wydłużające żywotność baterii urządzeń mobilnych. Rozwiązania te mogą obejmować stosowanie energii odnawialnej, ogniw fotowoltaicznych, czujników o niskim zużyciu energii oraz technologii pozwalających na efektywne zarządzanie energią (Jawad i in., 2017).

## 5. Podsumowanie

Inteligentne i wydajne metody produkcji rolniczej są niezbędne, aby rozwiązać problemy ograniczonych zasobów, niekorzystnych zmian klimatycznych i zwiększającego się zapotrzebowania na żywność rosnącej światowej populacji. Wymagane jest zwiększenie świadomości bezpieczeństwa żywnościowego w kontekście zrównoważonego rolnictwa. Rozwój nowych technologii pozwala nie tylko na zwiększenie plonów, ale też daje możliwość prowadzenia rolnictwa bardziej zrównoważonego oraz zmotywowania młodych ludzi do podejmowania pracy w innowacyjnym sektorze. W artykule tym scharakteryzowano technologie wykorzystywane w inteligentnym rolnictwie, które pozwalają na sprostanie obecnym i nadchodzącym wyzwaniom społeczno-gospodarczym. Wdrażanie inteligentnego rolnictwa wymaga jednak znacznych inwestycji, zarówno finansowych, jak i edukacyjnych. Konieczne jest nie tylko zakupienie odpowiednich urządzeń i infrastruktury, ale również dostosowanie procedur administracyjnych i regulacji do nowych technologii. Ponadto, ważne jest zwiększenie świadomości rolników na temat korzyści płynących z inteligentnego rolnictwa oraz zapewnienie odpowiedniej edukacji i szkoleń. Rozwój inteligentnego rolnictwa może przyczynić się również do zmotywowania młodych ludzi do pracy w sektorze rolniczym. Innowacyjne technologie i możliwość korzystania z nowoczesnych narzędzi mogą przyciągnąć nowe pokolenie do rolnictwa, które jest coraz bardziej zorientowane na technologię i zrównoważony rozwój. Podsumowując, inteligentne rolnictwo stanowi niezbędne narzędzie w osiągnięciu zrównoważonego rozwoju sektora rolniczego. Wprowadzenie nowych technologii umożliwia zwiększenie efektywności, optymalizację produkcji, redukcję negatywnego wpływu na środowisko oraz zwiększenie bezpieczeństwa żywnościowego. Jednakże, aby osiągnąć pełen potencjał inteligentnego rolnictwa w Polsce, konieczne są dalsze inwestycje i edukacja rolników.

## LITERATURA

1. 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), Article 6. <https://doi.org/10.3390/atmos11060557>

2. Alvarez, J., Nuthall, P. (2006). Adoption of computer based information systems: The case of dairy farmers in Canterbury, NZ, and Florida, Uruguay. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50(1), 48-60. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.08.013>
3. Aqeel-ur-Rehman, Abbasi, A. Z., Islam, N., Shaikh, Z. A. (2014). A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, 36(2), 263-270. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.03.004>
4. Ben Ayed, R., Hanana, M. (2021). Artificial Intelligence to Improve the Food and Agriculture Sector. *Journal of Food Quality*, 2021, e5584754. <https://doi.org/10.1155/2021/5584754>
5. Bharti, A., Paritosh, K., Mandla, V. R., Chawade, A., Vivekanand, V. (2021). GIS Application for the Estimation of Bioenergy Potential from Agriculture Residues: An Overview. *Energies*, 14(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/en14040898>
6. Bo, Y., Wang, H. (2011). The Application of Cloud Computing and the Internet of Things in Agriculture and Forestry. *2011 International Joint Conference on Service Sciences*, 168-172. <https://doi.org/10.1109/IJCSS.2011.40>
7. Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., Kaliaperumal, R. (2022). Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
8. Eden, M., Gerke, H. H., Houot, S. (2017). Organic waste recycling in agriculture and related effects on soil water retention and plant available water: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2), 11. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0419-9>
9. El Nahry, A. H., Mohamed, E. S. (2011). Potentiality of land and water resources in African Sahara: A case study of south Egypt. *Environmental Earth Sciences*, 63(6), 1263-1275. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0799-5>
10. 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), Article 2. <https://doi.org/10.3390/electronics9020319>
11. Gebbers, R., Adamchuk, V. I. (2010). Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327(5967), 828-831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>
12. Hakkim, V., Joseph, E., Gokul, A., Mufeedha, K. (2016). Precision Farming: The Future of Indian Agriculture. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 068-072. <https://doi.org/10.7324/JABB.2016.40609>
13. Jawad, H. M., Nordin, R., Gharghan, S. K., Jawad, A. M., Ismail, M. (2017). Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*, 17(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/s17081781>
14. Jha, K., Doshi, A., Patel, P., Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>
15. Kamilaris, A., Kartakoullis, A., Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
16. Kashyap, B., Kumar, R. (2021). Sensing Methodologies in Agriculture for Soil Moisture and Nutrient Monitoring. *IEEE Access*, 9, 14095-14121. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052478>

17. Khan, A. R., Dubey, M., Bisen, P., Saxena, K. (2016). Constraints Faced by Farmers of Narsing Kheda Village of Sihore District. *Indian Research Journal of Extension Education*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Constraints-Faced-by-Farmers-of-Narsing-Kheda-of-Khan-Dubey/8f3843426eb7f59bfe750260ae6915ed0f66ed93>
18. 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>
19. 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>
20. Klepacki, B. (2020). Precision Farming As An Element Of The 4.0 Industry Economy. *Annals Of The Polish Association Of Agricultural And Agribusiness Economists*, Xxii(3), 119-128. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.3572>
21. Köksal, Ö., Tekinerdogan, B. (2019). Architecture design approach for IoT-based farm management information systems. *Precision Agriculture*, 20(5), 926-958. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-09624-8>
22. Lavanya, G., Rani, C., Ganeshkumar, P. (2020). An automated low cost IoT based Fertilizer Intimation System for smart agriculture. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 28, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2019.01.002>
23. Lets Nurture. (2023). *How much it will cost to develop an IoT based proof of concept for Smart Farming System*. Lets Nurture - An IT Company Nurturing Ideas into Reality. <https://www.letsnurture.com/how-much-it-will-cost-to-develop-an-iot-based-proof-of-concept-for-smart-farming-system.html>
24. Martínez-Fernández, J., González-Zamora, A., Sánchez, N., Gumuzzio, A., Herrero-Jiménez, C. M. (2016). Satellite soil moisture for agricultural drought monitoring: Assessment of the SMOS derived Soil Water Deficit Index. *Remote Sensing of Environment*, 177, 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.064>
25. Neethirajan, S. (2020). The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 29, 100367. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367>
26. Newlands, N. K. (2018). Model-Based Forecasting of Agricultural Crop Disease Risk at the Regional Scale, Integrating Airborne Inoculum, Environmental, and Satellite-Based Monitoring Data. *Frontiers in Environmental Science*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2018.00063>
27. 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), Article 2. <https://doi.org/10.12694/scpe.v22i2.1882>
28. Palaniswami, C., Gopalsundaram, P., Bhaskaran, A. (2011). Application of GPS and GIS in Sugarcane Agriculture. *Sugar Tech*, 13(4), 360-365. <https://doi.org/10.1007/s12355-011-0098-9>
29. Pallavi, S., Mallapur, J. D., Bendigeri, K. Y. (2017). Remote sensing and controlling of greenhouse agriculture parameters based on IoT. *2017 International Conference on Big Data, IoT and Data Science (BIGD)*, 44-48. <https://doi.org/10.1109/BIGD.2017.8336571>
30. Petropoulos, G. P., Ireland, G., Barrett, B. (2015). Surface soil moisture retrievals from remote sensing: Current status, products & future trends. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 83-84, 36-56. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.02.009>

31. 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), Article 7. <https://doi.org/10.3390/app12073396>
32. Saiz-Rubio, V., Rovira-Más, F. (2020). From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
33. Scherr, S. J., Shames, S., Friedman, R. (2012). From climate-smart agriculture to climate-smart landscapes. *Agriculture & Food Security*, 1(1), 12. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-12>
34. Singh, R., Singh, G. S. (2017). Traditional agriculture: A climate-smart approach for sustainable food production. *Energy, Ecology and Environment*, 2(5), 296-316. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0074-7>
35. Srisruthi, S., Swarna, N., Ros, G. M. S., Elizabeth, E. (2016). Sustainable agriculture using eco-friendly and energy efficient sensor technology. *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 1442-1446. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2016.7808070>
36. Ślusarz, G. (Red.). (2015). *Koncepcja inteligentnej specjalizacji w rolnictwie i obszarach wiejskich. Dylematy i wyzwania*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.233519>
37. Tran, M. Q., Phan, T., Takahashi, A., Thanh, T., Duy, S., Thanh, M., Hong, C. (2017). *A Cost-effective Smart Farming System with Knowledge Base* (s. 316). <https://doi.org/10.1145/3155133.3155151>
38. Udomkun, P., Nagle, M., Argyropoulos, D., Mahayothee, B., Müller, J. (2016). Multi-sensor approach to improve optical monitoring of papaya shrinkage during drying. *Journal of Food Engineering*, 189, 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.014>
39. 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>
40. 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>
41. Villarrubia, G., Paz, J. F. D., Iglesia, D. H. D. L., Bajo, J. (2017). Combining Multi-Agent Systems and Wireless Sensor Networks for Monitoring Crop Irrigation. *Sensors*, 17(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/s17081775>
42. Wietzke, A., Westphal, C., Gras, P., Kraft, M., Pfohl, K., Karlovsky, P., Pawelzik, E., Tschardtke, T., Smit, I. (2018). Insect pollination as a key factor for strawberry physiology and marketable fruit quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.036>
43. Xue, J., Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*, 2017, e1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
44. Yuan, G., Luo, Y., Sun, X., Tang, D. (2004). Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 64(1), 29-40. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00193-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00193-8)