

1. ROLNICTWO PRECYZYJNE, ZRÓWNOWAŻONE, INTELIĞENTNE – POJĘCIA

W rozdziale przedstawiono podstawowe technologie związane z rolnictwem precyzyjnym i inteligentnym. Wyszczególniono etapy rozwoju technologii rolniczej, przedstawiając podstawowe różnice pomiędzy rolnictwem 3.0 i 4.0, oraz korzyści wynikające z ich stosowania.

Rolnictwo, podobnie jak wszystkie inne gałęzie przemysłu rozwija się, zmieniając narzędzia i wykorzystywane technologie. Każdy etap rozwoju rolnictwa był uwarunkowany wymogiem produkowania coraz większej ilości żywności oraz ograniczeniami związanymi z możliwościami technologicznymi.

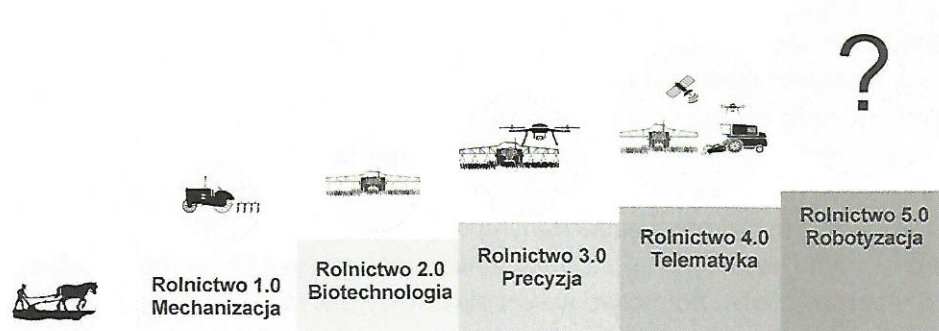
1.1. Etapy rozwoju rolnictwa

W wyniku rewolucji przemysłowej XIX wieku do rolnictwa wprowadzono ciągniki i maszyny, dając początek pierwszej rewolucji rolniczej, jaką było zastąpienie w najbardziej energochłonnych zajęciach pracy zwierząt i ludzi pracą maszyn. Wprowadzenie mechanizacji na poziomie podstawowym wyodrębniło rodzaj organizacji pracy, który można nazwać **rolnictwem 1.0**. Za rzeczywisty początek rolnictwa 1.0 można uznać pierwsze lata XX wieku. Bardzo pracochłonne prace w rolnictwie wykonywane przez siłę żywą stopniowo zastępowano maszynami napędzanymi silnikami spalinowymi, parowymi lub elektrycznymi. Nadal jednak zaspokojenie popytu na żywność wymagało dużej liczby pracowników. Rolnictwo w tym okresie było w stanie wyżywić ludność, ale nadal podstawę gospodarki rolnej stanowiły małe gospodarstwa. W efekcie dla 30-procentowej populacji rolnictwo było podstawowym zajęciem.

Wprowadzanie mechanizacji w gospodarstwach stopniowo pozwalało na zwiększenie powierzchni upraw i stopniowe zmniejszenie liczby osób potrzebnych do pracy w rolnictwie. Z czasem okazało się, że sama mechanizacja to za mało i do dalszego zwiększenia wydajności i produktywności gospodarstw konieczne jest intensywne nawożenie oraz wprowadzenie ochrony roślin.

Druga rewolucja rolnicza, którą można nazwać **rolnictwem 2.0**, była związana z pojawieniem się stosunkowo tanich sztucznych nawozów oraz selektywnych pestycydów. Zmiany związane z wprowadzaniem nowych elementów do łańcucha produkcyjnego okrzyknięto mianem „zielonej rewolucji”. Rozpoczęła się ona w latach 50. XX wieku, gdy zaczęto stosować duże ilości nawozów sztucznych, pestycydów oraz dużą liczbę specjalistycznych maszyn, pozwalających na osiągnięcie większych korzyści przy relatywnie niskich nakładach. Dlatego w tym okresie obserwowano gwałtowny wzrost plonów z jednostki przeliczeniowej i postępującą konsolidację oraz łączenie gospodarstw.

Równocześnie z wprowadzaniem nawozów i środków ochrony roślin, pod koniec lat 50. XX wieku zaczęto coraz częściej zwracać uwagę na brak możliwości podnoszenia wydajności upraw tylko przez proste zwiększanie dostępności składników pokarmowych w glebie. Rolnictwo 2.0 doszło do kolejnej fazy rozwoju, którą było zastosowanie zdobyczy biotechnologii. Wprowadzenie nowych odmian roślin przy zastosowaniu obfitego nawożenia dawało zdumiewające efekty. Po okresie, gdy podstawowym celem było zapewnienie jak największej ilości żywności, zaczęto zwracać uwagę na jej jakość. Okazało się, że intensywne stosowanie środków ochrony roślin i nawozów prowadzi w wielu przypadkach do akumulowania się ich pozostałości w żywności, a pozostałości nawozów unoszone przez wody powierzchniowe skażają inne, często bardzo odległe tereny. Zatem pojawia się pytanie, jak ograniczyć ilość stosowanych środków do niezbędnego minimum bez ograniczenia, a nawet przy wzroście wydajności w rolnictwie.



Rysunek 1.1.1. Kolejne fazy rozwoju rolnictwa, opisane słowami kluczowymi dla każdego z etapów.

Źródło: opracowanie własne.

Odpowiedzią na to pytanie jest indywidualizacja podejścia do każdej rośliny i każdego elementu hodowli. Tak, po raz pierwszy pojawia się pojęcie **rolnictwa 3.0** lub **rolnictwa precyzyjnego**. Z założenia rolnictwo precyzyjne

traktuje indywidualnie każdy obiekt, próbując stworzyć mu optymalne warunki rozwoju. Równoległe z rolnictwem precyzyjnym pojawiła się koncepcja **rolnictwa zrównoważonego**, czyli takiego, które redukuje ilość odpadów niewykorzystywanych w procesie produkcyjnym. **Rolnictwo zrównoważone w porównaniu do rolnictwa precyzyjnego ukierunkowane jest na zmniejszenie wpływu rolnictwa na obszary pozarolnicze.**

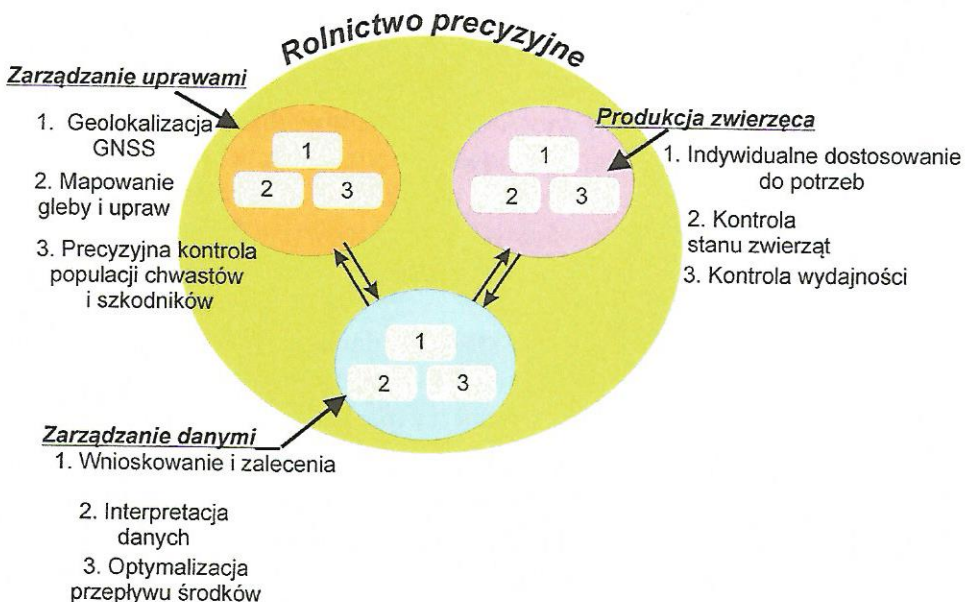
Rolnictwo 3.0, nazywane również rolnictwem precyzyjnym, rozpoczęło się w chwili, gdy powszechnie udostępniono sygnał nawigacji satelitarnej. Rolnictwo precyzyjne wiąże się następującymi terminami:

- ❑ **Prowadzenie.** Pierwsze rozwiązania pojawiły się w połowie lat 90. XX wieku, gdy wykorzystywano sygnały pozycjonowania satelitarnego do ręcznego prowadzenia pojazdów. Dalsze prace prowadziły do wykorzystania technologii w równoległym prowadzeniu opryskiwaczy. Pierwsze automatyczne układy prowadzenia pojawiły się pod koniec lat 90. XX wieku. Na początku XXI wieku, dzięki zastosowaniu urządzeń wspomagających, pojazdy można było nawigować z dokładnością do 1 cm.
- ❑ **Czujniki i sterowanie.** W latach 90. ubiegłego wieku kombajny wyposażono w urządzenie monitorujące wielkość plonów w trakcie zbioru. System wykorzystywał zespół czujników mierzących wielkość przepływu ziarna i wiązał go z lokalizacją na polu. Dzięki temu pojawiły się pierwsze mapy plonowania. Również w tym czasie na rynku zaprezentowano pierwsze systemy automatyczne do stosowania zmiennych dawek nawozów i środków ochrony roślin (ang. *variable rate application*). Niskie ceny nawozów i wysokie koszty wprowadzania tej technologii początkowo ograniczały jej powszechność. W początkowych latach systemy precyzyjnego dozowania nawozów wykorzystywały informacje pozyskiwane z przeprowadzonych prób glebowych. Dopiero powiązanie prób glebowych z monitorowaniem wielkości plonu znacznie zwiększyło użyteczność tej technologii.
- ❑ **Telematyka** – wyrażenie powstałe z połączenia dwóch słów: telekomunikacja i informatyka. Określa ono technologię umożliwiającą obserwację i zmianę parametrów pracy maszyn przy wykorzystaniu sieci telekomunikacyjnej jako nośnika informacji. Telematyka pojawiła się na początku XXI wieku, wspierana początkowo przez firmy transportowe. Na początku XXI wieku pierwsze systemy telematyczne znalazły zastosowanie w rolnictwie. Technologia ta wykorzystuje przesyłanie danych głównie za pomocą sieci komórkowych. W rolnictwie precyzyjnym wykorzystywana jest to do zdalnej obserwacji ruchu maszyn oraz zdalnej ich diagnostyki. Klasycznym przykładem są systemy obserwujące

zmiany położenia maszyn na polu. Na podstawie tych zmian można bez bezpośredniego kontaktu z operatorem określić wydajność jego pracy oraz zużycie środków produkcji.

- **Zarządzanie danymi.** Oprogramowanie dedykowane dla rolnictwa stało się szeroko dostępne od czasu narodzin komputerów personalnych (PC) na początku lat 80. XX wieku. W rolnictwie systemy analizy danych wykorzystywane są np. do obliczeń zależności pomiędzy ilością wysianych nawozów a uzyskanym plonem.

Rolnictwo precyzyjne w swoich założeniach ukierunkowane jest na wprowadzenie większej dokładności i staranności podczas wykonywania wszystkich procesów rolniczych, umożliwia również reagowanie na zmienne lokalne warunki środowiskowe. Nie traktuje zatem pola jako całości, a dzieli je na mniejsze obszary, wymagające stosowania dopasowanych do warunków procedur. W przypadku produkcji zwierzęcej, warunki dostosowywane są do poszczególnych zwierząt i nie są uśredniane dla całego stada. Główną intencją w rolnictwie precyzyjnym jest stworzenie każdej roślinie dokładnie takiego środowiska, w którym rozwija się optymalnie, z ciągłym monitorowaniem kosztów tak, aby realizować podstawową regułę „więcej z mniej”.



Rysunek 1.1.2. Schemat rolnictwa precyzyjnego.

Źródło: opracowanie własne.

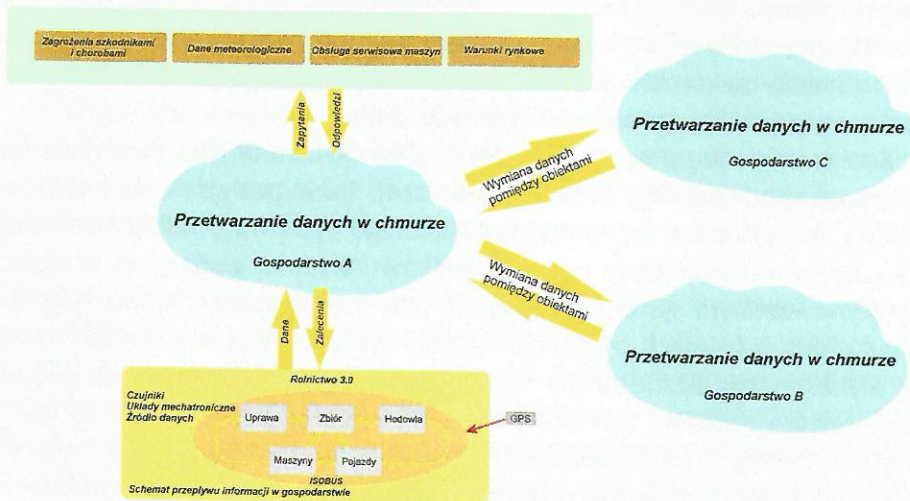
Rolnictwo 3.0 może być postrzegane, jako wprowadzające coraz bardziej zaawansowane i dojrzałe technologicznie rozwiązania do rolnictwa. Głównymi celem w przypadku rolnictwa precyzyjnego jest odejście od czystej wydajności, w rozumieniu maksymalizacji wielkości plonów, a przejście do zmniejszenia kosztów produkcji, przy zachowaniu wysokiej produktywności.

Zatem rolnictwo precyzyjne może być zdefiniowane jako koncepcja systemowego podejścia do produkcji rolniczej. Takie podejście do rolnictwa zakłada poszukiwanie takiej organizacji całego systemu produkcji rolniczej, aby uzyskać minimalizację wkładu środków i wysoką wydajność produkcji w zrównoważonym systemie produkcji, przy wykorzystaniu w możliwie dużym stopniu informacji o procesie produkcyjnym. W tym systemie muszą być wykorzystane liczne nowo opracowane technologie, takie jak: geograficzne pozycjonowanie przestrzenne (GIS), systemy pozycjonowania (GPS), elementy mikro- i minikomputerowe, automatyczne sterowanie, systemy czujników działające w warunkach terenowych, systemy pozwalające na wykonywanie zdalnych obliczeń, zaawansowana obróbka danych i systemy telekomunikacyjne.

Rolnictwo 4.0 jest zbiorem technologii informatycznych wykorzystywanych do optymalizacji przepływu środków i działań. Jego podstawową zaletą jest możliwość szybkiej reakcji na zmiany warunków zewnętrznych. Jest to możliwe przez szybką analizę danych oraz wnioskowanie na podstawie informacji zebranych nie w jednym gospodarstwie, a w wielu, oraz danych zebranych z otoczenia rolnictwa (np. wzrost popytu na mleko w przetwórnictwie). Niemniej, informacja wyjściowa z systemu analitycznego jest dostosowana i kierowana do określonego pojedynczego gospodarstwa. Szybka i optymalna reakcja na zmianę warunków produkcji spowodowała, że rolnictwo z rozbudowanymi modułami – telematycznym i analizy danych – nosi nazwę **rolnictwa inteligentnego** (ang. *smart farming*). Na rysunku 1.1.3 schematycznie przedstawiono powiązania między elementami rolnictwa 4.0. Podstawowym celem stosowania rolnictwa 4.0 jest maksymalne wykorzystanie możliwości produkcyjnych, przy minimalizacji kosztów wytwarzania oraz wpływu produkcji roślinnej i zwierzęcej na środowisko.

Nawet najlepsze systemy przesyłania danych nie będą poprawnie pracowały, jeżeli będzie brakowało rzetelnej informacji i możliwości precyzyjnego sterowania elementami wykonawczymi. Niezbędne jest wprowadzenie elementów mechatroniki do maszyn i urządzeń rolniczych. **W porównaniu do rozwiązań stosowanych w rolnictwie 3.0 (precyzyjnym), rolnictwo 4.0 (inteligentne) wprowadza wymianę informacji, jako podstawowy element systemu organizacji produkcji rolniczej.**

Rolnictwo 4.0



Rysunek 1.1.3. Porównanie rolnictwa 3.0 i rolnictwa 4.0.

Źródło: opracowanie własne.

W wyniku wprowadzanych zmian sprzęt wykorzystywany w rolnictwie stał się jednym z wielu elementów w kompletnym systemie produkcyjnym, ale jednym z najważniejszych. Termin rolnictwo 4.0, w analogii do przemysłu 4.0, oznacza zintegrowanie wewnętrznej i zewnętrznej sieci transmisji informacji podczas produkcji rolniczej. Oznacza to, że informacja w cyfrowej formie pojawia się na wszystkich etapach produkcji rolniczej we wszystkich typach gospodarstw. Komunikacja z zewnętrznymi partnerami, takimi jak dostawcy i końcowi odbiorcy jest również przeprowadzana elektronicznie w sposób zautomatyzowany. Wykorzystanie portali internetowych może ułatwiać przemieszczanie dużych ilości danych, jak również tworzyć sieć wewnątrz gospodarstwa i z partnerami zewnętrznymi.

Obecnie dostępna jest bardzo duża ilość danych. Jednak sama obecność danych i ich dostępność w rolnictwie 4.0 umożliwią uzyskanie wartości dodatkowej z różnych ich konfiguracji:

- ❑ **Dane uruchamiają nowe parametry technologiczne.** Rolnictwo 4.0 pozwala wykorzystać w sposób bardziej efektywny narzędzia rolnictwa precyzyjnego. Na przykład, zmienna wydajność technologiczna (VRT), wykorzystując próbkowanie gleby była początkowo ograniczona do pojedynczych próbek gleby, ale w trakcie rozwoju technologii została udoskonalona przez monitorowanie ilości plonu uzyskiwanego z danego fragmentu pola. Następnym krokiem było

poprawianie map zmienności wydajności, przez użycie algorytmów wykorzystujących dane z wielu obszarów i uwzględniających parametry niezwiązane bezpośrednio z samym polem, takie jak rodzaj nasion i warunki środowiskowe.

- ❑ **Poprawa procesu produkcyjnego**, ukierunkowana na maksymalną satysfakcję końcowych odbiorców. Dołączenie do łańcucha produkcji informacji o wprowadzeniu dodatkowych procesów, przez automatyczne zbieranie danych i ukierunkowana analiza danych pozwalają na całkowicie nowy poziom transparentności i oceny bieżących warunków, wprowadzając nowe możliwości przy sterowaniu działaniami.
- ❑ **Wsparcie przy podejmowaniu decyzji**. Dla otrzymywanych danych opisujących przebieg procesu, system ekspertowy jest w stanie przeprowadzić analizę danych skierowaną do użytkownika końcowego, która mogłaby być trudna lub niemożliwa dla pojedynczych gospodarstw przy danych otrzymywanych tylko z jednego gospodarstwa. Rolnik podejmując decyzje na podstawie lokalnych pomiarów i doświadczeń może wykorzystać doświadczenie innych rolników. Dzięki temu jego decyzje powinny uzyskać wyższy poziom wiarygodności.
- ❑ **Wymiana danych/ocena**. Sieć utworzona z zewnętrznymi partnerami, a szczególnie automatyczna integracja pozyskiwanych danych, prowadzi do wydatnego poszerzenia bazy wiedzy i do dobrze przemyślanych oraz szybko podejmowanych decyzji. Wartość (algorytmy) tworzy się wykorzystując dane zebrane na innych obszarach łańcucha produkcyjnego.
- ❑ **Działanie gospodarstw, optymalizacja wartości wejściowych i wyjściowych**. Nasiona są optymalnie dobierane do pola i warunków środowiskowych, wyposażenie jest optymalizowane do zakresu wykonywanych prac. Dane są wykorzystane do zwiększenia wydajności maszyn przez uzupełnienie ich o dodatkowe dane technologiczne.

Rolnictwo 4.0, jest obecnie wdrożone w niektórych obszarach działalności rolniczej, np. za pomocą sygnału GPS steruje się ruchem maszyn i pojazdów w gospodarstwie, pomiary wymagań nawozowych lub ochrony roślin tworzą część kompletnego cyklu produkcyjnego, wykorzystującego podłączenie do danych umieszczanych w chmurze. Takie automatyczne przetwarzanie danych i kompletna integralność oraz możliwość ciągłego przekazywania danych przez sieć dostępna będzie dla rolnictwa i maszyn rolniczych już w niedalekiej przyszłości. Do realizacji tej przyszłościowej idei wymagane są ukierunkowane wysiłki wszystkich elementów wchodzących w skład łańcucha produkcyjnego.

1.2. Wizja przemysłu maszyn rolniczych z punktu widzenia rolnictwa 4.0

Wytwórcy maszyn rolniczych jako pierwsi skupili się na opracowaniu wysoko sprawnych maszyn, które będą odpowiednie dla rolnictwa 4.0. Podobnie, przemysł skupia się na opracowaniu maszyn, które są kompatybilne z cyfrową infrastrukturą gospodarstw i mogą wnieść odpowiedni udział do optymalizacji procesów produkcyjnych. Wymagania stawiane maszynom przystosowanym do pracy w gospodarstwach w systemie rolnictwa 4.0 (*smart farms*) to przede wszystkim:

- ❑ zdolność do otrzymywania i przekazywania danych oraz informacji z czujników i urządzeń przesyłających dane,
- ❑ ułatwianie automatyzacji operacji,
- ❑ umożliwienie optymalnego wykorzystania maszyn,
- ❑ wspieranie operatora sprzętu.

Podczas gdy w przeszłości przemysł skupiał się przede wszystkim na optymalizacji konstrukcji samych maszyn, obecnie zainteresowanie to jest stopniowo przesuwane w kierunku optymalnej integracji maszyn rolniczych z systemem produkcyjnym. Poza tym, wytwórcy maszyn przenoszą część nakładów z opracowywania maszyn na ułatwianie ich obsługi. Dane z czujników nie tylko pozwalają na dodatkowe funkcjonalności maszyny w gospodarstwie, ale po uruchomieniu dodatkowych funkcjonalności również zwiększają wydajność całych agregatów. Dane pozwalają na lepsze dostosowanie pracy maszyn i narzędzi do wykonywanego zabiegu. Wraz z systematycznie przeprowadzanymi zabiegami serwisowymi i konserwacjami, wzrasta efektywny czas pracy maszyny i zmniejsza się czas przestojów, a więc obniżeniu ulegają koszty operacyjne dla rolnika.

Dla producentów maszyn rolniczych postęp taką ścieżką rozwoju jest bardzo istotny i pozwala użytkownikom uzyskać dostęp do danych zebranych z maszyn rolniczych w celu poprawienia wykorzystania maszyn w gospodarstwie, np. przez dostarczanie danych poprawiających ustawienie parametrów pracy maszyny, oraz zróżnicowania projektów maszyn dostosowanych do wniosków wynikających z zebranych przez użytkowników danych.

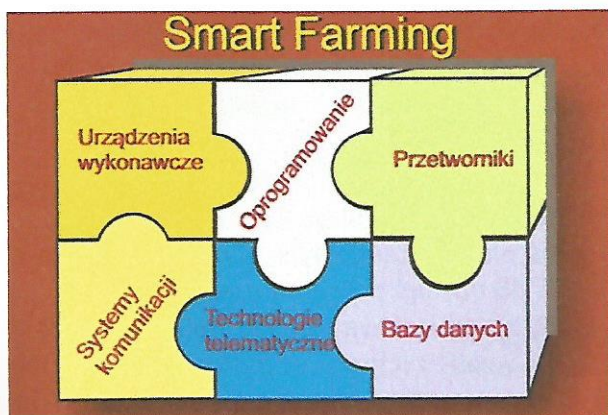
Rolnictwo 4.0 jest na drodze do kolejnego etapu w ewolucji, polegającego na wprowadzeniu maszyn bezzałogowych i autonomicznych systemów decyzyjnych. W **rolnictwie 5.0** będą wykorzystywane roboty i pewne formy sztucznej inteligencji.

1.3. Technologie rolnictwa precyzyjnego

1.3.1. Elementy rolnictwa precyzyjnego

Rolnictwo precyzyjne opiera się na trzech podstawowych elementach:

- 1. Informacja.** Dla współczesnego rolnika najbardziej wartościowe są aktualne i dokładne informacje. Dane powinny zawierać informacje dotyczące: charakterystyki upraw, właściwości gleb, wymagań nawozowych, prognozy pogody, liczebności występowania chwastów i szkodników, fazy rozwoju roślin, oczekiwanej wielkości plonu, niezbędnych zabiegów pozbiorowych oraz prognoz marketingowych. Rolnik na każdym etapie uprawy powinien mieć możliwość zlokalizowania miejsca, z którego podawane są informacje, właściwej analizy tych danych, a także wykorzystania dostarczonych obliczeń i informacji.
- 2. Technologia.** Każdy indywidualny producent musi ocenić, jak nowe technologie mogą być wykorzystane do jego działań w celu poprawienia efektywności. Na przykład rolnicy mogą wykorzystać komputery osobiste do przeprowadzenia analizy i wykorzystania zgromadzonych danych. Informacje mogą być łatwo dostępne i wykorzystane do rozwoju strategii działania. Przez połączenie komputera z czujnikami zamontowanymi na pojazdach lub maszynach rolniczych, rolnik ma możliwość zdobycia dostępu do informacji w rzeczywistym czasie i w ten sposób może wykorzystać zdobyte informacje do przeprowadzenia zmiany ustawień parametrów pracy urządzenia.
- 3. System wspomagania podejmowania decyzji** jest istotnym składnikiem systemu rolnictwa precyzyjnego. Wsparcie decyzyjne jest kombinacją tradycyjnych umiejętności zarządzania z technologiami rolnictwa precyzyjnego, pozwalającymi użytkownikom na wsparcie przy podejmowaniu najlepszych decyzji dla systemu produkcji.



Rysunek 1.3.1. Powiązanie poszczególnych elementów rolnictwa 4.0.

Źródło: opracowanie własne.

Zbiory danych w połączeniu z informacją dotyczącą dokładnego miejsca, w którym dane zostały pobrane stanowią bazę do tworzenia mapy zmian mierzonej wielkości. W przypadku rolnictwa precyzyjnego tworzone są **mapy** następujących **parametrów**:

- plonowania (w postaci masy zbioru lub przychodu),
- dynamiki wzrostu (odczyty z map satelitarnych, ze zdjęć z dronów lub wykonane podczas zabiegów ochronnych),
- rodzaju gleby,
- zawartości składników odżywczych w glebie (makro i mikro) oraz dostępności wody,
- zagrożenia szkodnikami znajdującymi się w glebie (np. nicienie),
- zwięzłości i przewidywanego oporu gleby podczas uprawy,
- zdolności do akumulowania ciepła i pojemności cieplnej gleby.

Przy złożoności obecnie stosowanych technologii produkcji rolniczej, optymalizacja działań w celu obniżenia entropii układu, jakim jest pojedyncze gospodarstwo, jasno wskazuje brakujący element układanki czwartej rewolucji rolniczej, którym jest pewny i szybki przepływ informacji pomiędzy poszczególnymi elementami systemu, przez szeroko stosowane systemy zdalnej obserwacji i sterowania, nazywane systemami telematycznymi (rys. 1.3.1).

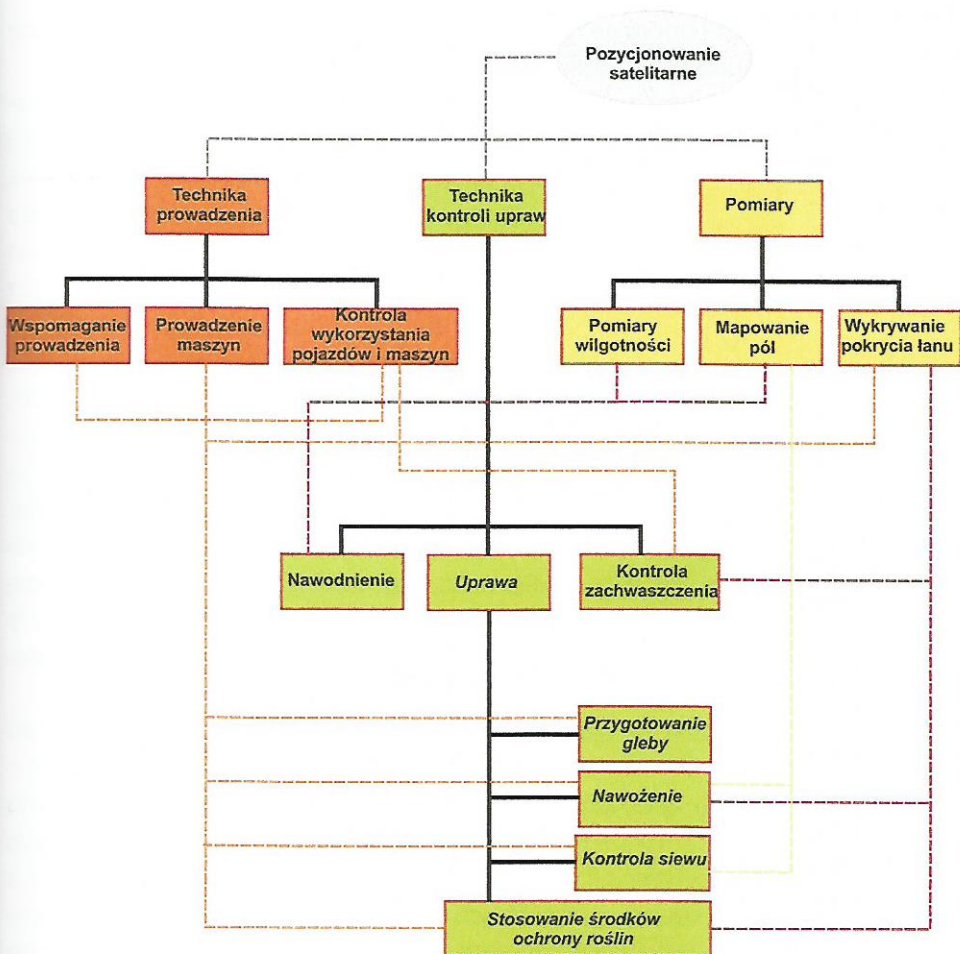
1.3.2. Technologie stosowane w rolnictwie precyzyjnym, klasyfikacja (typologia)

W systemach klasyfikacji rolnictwa precyzyjnego można wyróżnić kilka metod porządkowania typologii opisujących technologie związane z rolnictwem precyzyjnym. Jedną z nich klasyfikuje elementy technologii rolnictwa precyzyjnego na trzy kategorie:

1. Urządzenia i czujniki – systemy określania pozycji, czujniki zawartości składników glebowych, ilości wody w glebie, prognozowania plonów, środowiskowe, przygotowania gleby do siewu, rozmieszczenia nawozu w glebie.
2. Systemy analizy danych i wspierania decyzji – standardy i protokoły wykorzystywane do monitorowania produkcji, algorytmy przetwarzania danych i wnioskowania dla poszczególnych rodzajów produkcji (roślinna, zwierzęca), łatwe do obsługi oprogramowanie.
3. Ogólne systemy oceny pracy gospodarstwa – ocena wpływu produkcji na środowisko oraz zastosowania rolnictwa precyzyjnego na poziomie gospodarstwa, jako całości.

Innym podejściem jest wprowadzenie bardziej wszechstronnej typologii, przedstawionej na rysunku 1.3.2. Dzieli ona technologie wykorzystywane w rolnictwie precyzyjnym na trzy kategorie:

1. Systemy prowadzenia – układy sprzętowe i oprogramowanie pozwalające prowadzić pojazdy i maszyny po polu. Zawiera wszystkie rozwiązania prowadzenia automatycznego lub semi-automatycznego pojazdów i maszyn.
2. Technologie pozyskiwania danych – z czujników zamontowanych na maszynach, jak i ze stacjonarnych umieszczonych na ziemi, z systemów detekcji wykorzystującej satelity i statki powietrzne, z baz danych zbierających i przechowujących dane przestrzenne (w skład danych przestrzennych wchodziły mapy plonu, zasobności gleby, pokrycia roślin-



Rysunek 1.3.2. Przegląd technologii wykorzystywanych w rolnictwie precyzyjnym.

nością podłoża, zasobności wodnej gleby) oraz z czujników i systemów oceniających dobrostan zwierząt hodowlanych.

3. Technologie wykonawcze – oprogramowanie i sprzęt pozwalający na aktywny wpływ na mierzone wielkości. Do tej grupy zaliczane są automatycznie sterowane dysze opryskiwaczy, roboty rolnicze, systemy siewników nawozowych z automatyczną zmianą dawki nawozów, w zależności od informacji zawartych w mapie zasobności gleby.

Wszystkie przedstawione technologie wymagają dostępu do **globalnego systemu pozycjonowania satelitarne (GNSS)**. Systemy pozyskiwania danych i GNSS są systemami wsparcia dla technologii rolnictwa precyzyjnego.

Przyspieszenie w zakresie rozwoju rolnictwa precyzyjnego można zaobserwować w drugiej dekadzie XXI wieku. Działania zmieniające oblicze rolnictwa wiążą się z wprowadzeniem do rolnictwa nowych technologii, takich jak:

- tanie i bardziej odporne na uszkodzenia czujniki i elementy wykonawcze (silniki hydrauliczne, elektryczne),
- obniżenie cen i podniesienie niezawodności urządzeń mikroprocesorowych,
- zwiększenie szybkości transferu danych w sieciach komórkowych,
- wprowadzenie systemów udostępniania danych i oprogramowania umieszczonego w chmurze informatycznej,
- wprowadzenie narzędzi analizy dużych zbiorów danych (ang. *big data analytics*).

Zastosowanie tych technologii w sprzęcie rolniczym spowodowało pojawienie się nowych cech użytkowych, początkowo w ciągnikach i kombajnach, a później także w pozostałych maszynach, m.in.:

- inteligentne (*smart*) urządzenia sterujące, komputery pokładowe,
- zwiększenie liczby czujników pomiarowych pozwalających na kontrolowanie i sterowanie większą liczbą parametrów procesowych,
- zaawansowane rozwiązania automatyzujące pracę (samodzielne prowadzenie, umieszczanie nasion, opryskiwanie),
- instalowanie w pojazdach technologii komunikacyjnych wprowadzających powszechnie technologię telematyczną w rolnictwie.

Zastosowanie tych rozwiązań pozwala na uzyskanie dodatkowej wartości, takich jak:

1. Ulepszenie produktów przez wprowadzenie do nich oprogramowania z nowymi algorytmami, przeznaczonymi do przetwarzania dostarczonych danych na użyteczne informacje. Zastosowanie rozwiązań pozwalających na optymalizację pracy maszyny lub narzędzi do lokalnych uwarunkowań. Zmniejszenie ryzyka i ograniczenie wrażliwości na zewnętrzne niekorzystne uwarunkowania (awarie maszyn, pogoda i choroby).

2. Wprowadzenie zamkniętego systemu, z platformami łączącymi dane z różnych źródeł i czujników lub wyposażenia oraz dane otrzymywane z gospodarstwa lub z zewnętrznych źródeł. Rolnik monitoruje wszystkie operacje na desce rozdzielczej, otrzymując informacje w rzeczywistym czasie lub zbliżonym do realnego podejmuje decyzje, bazując na ustalonych algorytmach i regułach w celu zwiększenia rezultatu finansowego.
3. Współpraca pomiędzy różnymi użytkownikami w łańcuchu produkcyjnym – dane są czynnikiem wiążącym pojedyncze systemy (gospodarstwa) w celu dostarczania dodatkowej wartości do łańcucha producentów żywności.

1.3.3. Podstawowe pojęcia rolnictwa precyzyjnego i inteligentnego

Wiele technologicznych opracowań stworzonych na przełomie wieków XX i XXI wpłynęło i znalazło zastosowanie w kolejnych fazach rozwoju rolnictwa. Zarówno rolnictwo 3.0 jak i 4.0 wykorzystuje ogromny potencjał związany z nowymi technologiami. Atrakcyjność rolnictwa precyzyjnego i inteligentnego polega na integracji wszystkich stosowanych technologii w jeden kompletny system, który może być wykorzystany na poziomie gospodarstwa rolnego przy umiarkowanym obciążeniu osób obsługujących. Poniżej opisano podstawowe technologie wykorzystywane w rolnictwie precyzyjnym.

Sieci i systemy komputerowe. Połączenie komputerów za pomocą sieci lokalnej lub globalnej (internet) jest jedną z najważniejszych technologii wykorzystywanych w rolnictwie 3.0 i 4.0. Pozwala to na gromadzenie i przesyłanie informacji niezbędnych do prowadzenia analiz przy podejmowaniu decyzji. Ogromną rolę odgrywa internet bezprzewodowy, który wypełnił lukę pomiędzy dostawcą informacji i użytkownikiem końcowym. W rolnictwie, podobnie jak w innych rodzajach przedsiębiorczości, internet umożliwia szybkie dostarczenie informacji o zmianie warunków technologicznych.

Systemy globalnego pozycjonowania satelitarne (GNSS). Umożliwienie odbierania poprawnego sygnału wysyłanego przez satelity GNSS otworzyło nowe możliwości przy określeniu obiektów w przestrzeni. Niezależnie od nazwy systemu, zasada pracy każdego z nich jest zbliżona. System GNSS jest systemem pasywnym, co oznacza, że urządzenia pokładowe mogą odbierać tylko sygnały nadawane z satelitów i na podstawie pomiaru czasu, który był potrzebny na dotarcie do odbiornika i określają jego odległość od satelity. Najbardziej popularnym dostawcą sygnału GNSS jest system GPS. Administratorem systemu jest amerykańska agencja kosmiczna. W skład systemu

wchodzi 31 satelitów, rozmieszczonych na orbitach kołowych o nachyleniu 55° względem płaszczyzny równika. Innym dostawcą sygnału satelitarnego jest rosyjski system GLONASS, składający się z 29 czynnych i zapasowych satelitów. Satelity rozmieszczone są na orbitach kołowych pod większym kątem niż satelity GPS, wynoszącym $64,8^\circ$ względem płaszczyzny równika. W 2020 roku powinien wejść do użytkowania europejski system GNSS o nazwie GALILEO. Wśród innych systemów dostępnych na rynku światowym należy wymienić chiński system BEIDOU, który docelowo ma się składać z 35 satelitów, stając się systemem ogólnoswiatowym. Lokalne systemy GNSS to: indyjski system o nazwie NAVIC, składający się z 7 satelitów. System ten jest użytkowany tylko w rejonie półwyspu indyjskiego. Innym lokalnym systemem nawigacji jest system japoński o nazwie QZSS, stanowiący uzupełnienie systemu GNSS i wykorzystywany jest w rejonie Wschodniej Azji i Oceanii, poprawiając dokładność systemu GNSS (GPS).

GPS (ang. *Global Positioning System*) – nazwa jednego z globalnych systemów GNSS opracowanego w USA. Nazwa GPS jest często przypisywana do każdego systemu lokalizacji satelitarnej GNSS, stanowiąc synonim skrótu GNSS.

DGPS (ang. *Differential Global Positioning System*) jest szczególnym przypadkiem systemu GNSS, opracowanym w celu zwiększenia dokładności i szybkości pozycjonowania odbiornika. Opracowanie znalazło zastosowanie w systemach mobilnych wymagających dużej dokładności pomiaru położenia. System DGPS składa się z odbiornika sygnału GNSS oraz dodatkowo stacjonarnego odbiornika umieszczonego w miejscu o dobrze określonej lokalizacji. Znając dokładnie jego umieszczenie, odbierając sygnał z satelitów można określić różnicę pomiędzy znaną lokalizacją odbiornika i chwilowo wskazywaną przez sygnał odebrany z satelitów. Dzięki temu można określić błędy, które pojawiły się w czasie transferu sygnału pozycjonowania z satelity do odbiornika. Różnica pomiędzy chwilową pozycją odbiornika a jego rzeczywistą lokalizacją jest błędem określenia pozycji dla wszystkich urządzeń nawigacji satelitarnej w najbliższej okolicy. Dlatego w celu usunięcia tego błędu odbiornik wysyła sygnał zawierający wartość poprawki dla danego rejonu. Sygnał tej poprawki nosi nazwę sygnału poprawki różnicowej, gdyż informuje o różnicy pomiędzy sygnałem odbieranym przez urządzenia i rzeczywistym ich położeniem. Odebranie poprawki różnicowej jest automatycznie uwzględniane przez odbiorniki umieszczone na pojazdach lub maszynach.

Stacja RTK (ang. *Real Time Kinematics*) jest jednym z możliwych rozwiązań technicznych wytwarzających sygnały poprawki różnicowej. Stacja RTK pozwala szybko uzyskać centymetrowe dokładności prowadzenia pojazdu w określonych warunkach i nie zachodzi potrzeba korzystania z innych źródeł poprawki różnicowej. Wadą rozwiązania jest stosunkowo niewielki zasięg stacji.

Teledetekcja – zdalne systemy pomiarowe stanowią jeden z wyróżników rolnictwa precyzyjnego, przede wszystkim dzięki możliwości wykonywania pomiarów wybranych parametrów bez konieczności przebywania w pobliżu czujników. Dzięki temu możliwe jest ich kontrolowanie w długich okresach.

System przestrzennej informacji geograficznej (GIS) jest komputerowym systemem pozyskiwania i przechowywania danych geoprzestrzennych. Dane geoprzestrzenne są to informacje wiążące dwie wielkości: położenie geograficzne i badaną wielkość. Typową daną GIS jest np. średnia liczba ciągników użytkowanych w powiatach danego województwa. Liczba ciągników jest przypisana do danej współrzędnej, jaką jest powiat. Dane te mogą być później wykorzystane przez system do ich przetwarzania w celu uzyskania przestrzennego zobrazowania danej wielkości. System GIS umożliwia analizowanie informacji i umieszczanie ich na mapach, które pozwalają na lepsze zrozumienie interakcji zachodzących pomiędzy wielkościami mierzonymi na polu. Dzięki mapom opracowanym przez oprogramowanie pracujące w systemie GIS, można porównać rozkład wielkości uzyskanego plonu na polu z rozkładem ilości nawozów dostarczonych do gleby. Niewątpliwą zaletą systemu GIS jest możliwość gromadzenia kolejnych danych w następujących okresach. Dzięki temu możliwa jest obserwacja zmian w dłuższym czasie.

Systemy wspomaganie decyzji (ang. *Spatial Decision Support System – SDSS*). Przestrzenne systemy wspomaganie decyzji mają pomóc plantatorom w rozwiązywaniu złożonych problemów przestrzennych i w podejmowaniu decyzji dotyczących planowania nawadniania, nawożenia, stosowania regulatorów wzrostu roślin i innych środków chemicznych. Przestrzenne systemy wspomaganie decyzji ewoluowały równolegle z systemami wspomaganie decyzji.

Ponadto, aby skutecznie wspierać proces decyzyjny w przypadku złożonego problemu przestrzennego system umożliwia:

- ❑ **zmienne dawkowanie nawozów i środków ochrony roślin** (ang. *variable rate application*) – najbardziej zaawansowany technologicznie składnik rolnictwa precyzyjnego. W swoim działaniu wykorzystuje systemy GIS oraz wskaźniki i sensory umieszczone na siewnikach nawozowych i opryskiwaczach do zmiany dawki nawozów lub środka ochrony roślin w zależności od potrzeb.
- ❑ **mapy plonowania i zasobności gleby** – mapowanie plonów i próbkowanie gleby jest jednym z podstawowych elementów kojarzonych z rolnictwem 3.0. Mapy plonów są tworzone dzięki przetwarzaniu danych zebranych z czujników umieszczonych w kombajnach, łączonych z informacją dotyczącą położenia pojazdu w chwili odczytywania wartości przepływu.

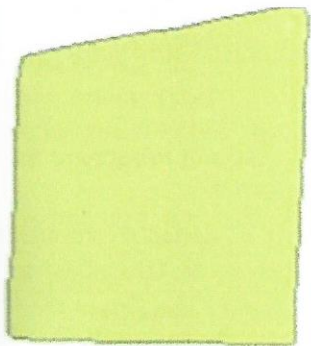
1.4. Zalety i ograniczenia rolnictwa precyzyjnego

Każda nowa technologia stosowana w systemie produkcji związana jest z korzyściami, które wnoszą do procesów produkcyjnych. Korzyści związane z wprowadzeniem nowych rozwiązań napotykać jednak na pewne bariery przed ich masowym upowszechnieniem. Ograniczenia te mogą być tymczasowe – np. związane z brakiem infrastruktury technicznej, lub trwałe – związane z nieprzystosowaniem wprowadzanej technologii do warunków lokalnych. W przypadku rolnictwa 4.0 czasowym ograniczeniem jest np. brak dostępu do sieci GSM i brak możliwości szybkiej transmisji sygnału. Ograniczenie to może być usunięte przez rozbudowę lokalnych przekaźników. Ograniczenia stałe związane są z trwałymi rozwiązaniami uniemożliwiającymi stosowanie określonej technologii, np. zakaz upraw roślin modyfikowanych genetycznie. Stałe ograniczenia mogą po pewnym czasie stać się tymczasowymi.

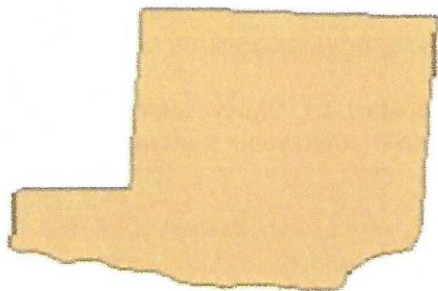
1.4.1. Korzyści wynikające ze stosowania rolnictwa precyzyjnego

Pojazdy, urządzenia pomiarowe i systemy sterujące rozwijały się przez ostatnie lata niezwykle dynamicznie. Czujniki umieszczone na maszynach i pojazdach rolniczych obecnie są w stanie mierzyć wartości wielu parametrów. Użytkownik ma możliwość tworzenia różnych zestawień, bazując na wielkościach pomiarowych, takich jak: wydajność pracy maszyny, wielkość uprawionego obszaru, zużycie paliwa i ilość środków wykorzystanych na jednostkę powierzchni. Automatyczne systemy sterowania sekcjami roboczymi stanowią technologię, która jest jednym z najważniejszych osiągnięć technologicznych w rolnictwie precyzyjnym. Wykorzystanie sygnału GPS wspólnie z automatycznym sterowaniem sekcjami, pozwala na lokalizację maszyny na polu i zapisywanie wielkości uprawionego obszaru. Jeżeli maszyna przemieszcza się po obszarze poprzednio uprawionym, system automatycznie wyłącza właściwe sekcje (dysze opryskiwacza lub elementy robocze narzędzia), tak aby uniknąć nakładania się zabiegów. Uzupełnienie systemu kontroli sekcji roboczych z układem wspomaganie toru jazdy, np. systemem automatycznego prowadzenia, zwiększa zakres stosowania technologii, jak i korzyści, które mogą się pojawić.

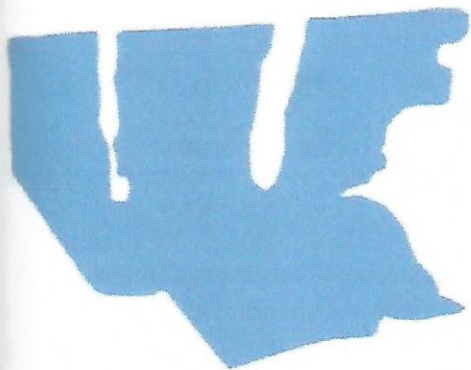
Najbardziej znacząca korzyścią związaną ze stosowaniem systemu sterowania sekcjami roboczymi jest zmniejszenie nakładania się opryskiwanych obszarów. Na dużych areałach i polach o nieregularnym kształcie istnieje wysokie ryzyko nakładania się zabiegów przy stosowaniu środków chemicznych, dlatego opisywana technologia pozwala na obniżenie kosztów ponoszonych w trakcie zabiegów ochronnych.



Pole A – o regularnym kształcie i powierzchni 40 ha



Pole B – o regularnym kształcie i powierzchni 4 ha



Pole D – nieregularny kształt i powierzchni 100 ha



Pole C – nieregularny kształt i powierzchni 3 ha

Rysunek 1.4.1. Kształt pola decyduje również o korzyściach wynikających z wprowadzenia metod rolnictwa precyzyjnego.

Źródło: opracowanie własne na podstawie¹.

Na rysunku 1.4.1 przedstawiono kształty czterech pól, na których wykonano zabieg opryskiwania, stosując 24-metrowej szerokości samojezdny opryskiwacz i 16-rzędowy automatyczny siewnik. W tabeli 1.4.1 przedstawiono wyniki uzyskane przy stosowaniu urządzeń wyposażonych w system automatycznego wyłączania sekcji roboczych. Otrzymane wyniki wskazują na 2,16% zmniejszenie kosztów materiału siewnego. Przeciętne zmniejszenie nakładania się zabiegów na badanych polach przy wykorzystaniu technologii kontroli sekcji roboczych wynosiło 9% w przypadku zabiegów wykorzystujących

opryskiwacz i 6% w przypadku siewnika. W wielu praktycznych doświadczeniach otrzymywano lepsze wyniki, przemawiające na korzyść automatycznych systemów sterowania sekcjami roboczymi.

Tabela 1.4.1. Wpływ zastosowania systemu sterowania sekcjami roboczymi na udział dublowania podczas wykonywanych zabiegów roboczych

Zabieg	Kształt A (40 ha)	Kształt B (4 ha)	Kształt C (3 ha)	Kształt D (100 ha)
	nakładanie się obszarów			
Wykonanie oprysku				
Brak sterowania sekcjami (%)	4,43	12,62	16,96	4,77
Niezależne sterowanie 10 sekcjami (%)	0,56	1,30	1,73	0,49
Siew punktowy				
Brak sterowania sekcjami wysiewającymi	2,31	7,27	12,83	2,44
Indywidualne sterowanie sekcjami	0,15	0,47	0,80	0,15

Źródło: obliczenia własne.

Warto zauważyć, że niezależnie od wielkości pola wprowadzenie sterowania sekcjami roboczymi przynosi znaczne zmniejszenie udziału nakładających się powierzchni. Informacje o położeniu agregatu otrzymane za pomocą systemu pozycjonowania, mogą być wykorzystane nie tylko do prowadzenia pojazdu. Wyposażenie sadzarek w czujniki optyczne oraz systemy analizy danych ułatwia wykonanie precyzyjnych map zasiewów, z równoczesną kontrolą zachwaszczenia.

Tabela 1.4.2a. Oczekiwane korzyści środowiskowe wynikające z procesów stosowania rolnictwa precyzyjnego

Proces	Technika	Oczekiwane korzyści
Harmonogramowanie wykonania prac w najlepszych warunkach pogodowych	Automatyczne prowadzenie maszyn wspomagane GNSS/GPS.	Zmniejszenie ugniatania gleby. Zmniejszenie śladu węglowego (carbon footprint), wynikającego z 10% zmniejszenia zużycia paliwa w czasie zabiegów polowych.
Pozostawienie ciągłej okrywy roślinnej w ustalonych miejscach i na granicach pól	Automatyczne prowadzenie i uprawa konturowa na pochylonych terenach.	Zmniejszenie rocznej erozji gleby z 17 t/ha do najwyżej 1 t/ha. Zmniejszenie spływu wody powierzchniowej i nawozów z pól. Zmniejszenie ryzyka podtopień.

Proces	Technika	Oczekiwane korzyści
Zmniejszenie lub spowolnienie spływu wody z międzyrzędzi	Mikrotamy i mikro-zbiorniki pomiędzy redlinami (powiązane grzbiety). Redliny dookoła obrysu pola.	Zmniejszenie uciekania osadów Ograniczenie wypływu nawozów.
Zachowanie odpowiedniej odległości przy stosowaniu nawożenia i ochrony chemicznej od zbiorników i cieków wodnych	Automatyczne prowadzenie pojazdów wykorzystujące informacje GIS. Sterowanie sekcjami opryskiwaczy i rozrzutników nawozu.	Uniknięcie bezpośredniego zanieczyszczenia wód powierzchniowych.

Źródło: pracowanie własne.

Tabela 1.4.2b. Oczekiwane korzyści środowiskowe wynikające z procesów stosowania rolnictwa precyzyjnego

Proces	Technika	Oczekiwane korzyści
Uniknięcie nakładania się zbiegów: oprysków pestycydami i nawożenia	Indywidualne sterowanie sekcjami opryskiwaczy i rozrzutnikami nawozów	Zmniejszenie wprowadzania nadmiernej ilości związków chemicznych do gleby i zanieczyszczenia wód gruntowych
Stosowanie zmiennej dawki nawozu	Dostosowanie dawki i składu nawozu do wymagań glebowych (mapa zapotrzebowania) Właściwa dla uprawy głębokość aplikowania nawozu	Zmniejszenie zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Zmniejszenie emisji azotu do atmosfery, lepsze zachowanie azotu w glebie
Precyzyjne nawodnienie	Mapa zawartości wody	Uniknięcie nadmiernego zużycia wody lub przesuszenia Zmniejszenie zużycia wody użytkowej
Punktowe opryski herbicydami	Wykrywanie chwastów, on-line lub mapy zachwaszczenia	Zmniejszenie zużycia herbicydów dzięki wykorzystaniu map zachwaszczenia (w zbożach ozimych redukcja wynosi od 6 do 81% dla herbicydów przeciwko chwastom dwuliściennym i 20-79% przeciwko chwastom jednoliściennym).

Proces	Technika	Oczekiwane korzyści
		Zmniejszenie o 152-17,5% na powierzchniach, w których wykorzystano automatyczne sterowanie sekcjami na belce opryskiwacza w stosunku do rozwiązań przy braku sterowania
Wczesne i precyzyjna identyfikacja zagrożenia działaniami szkodników lub wystąpieniem chorób grzybowych	Wykrywanie zagrożenia: wieloczuJNIKOWE systemy identyfikacji optycznej: <ul style="list-style-type: none"> ▪ sensory wykrywające zarodniki w powietrzu, ▪ sensory związków lotnych 	Zmniejszenie zużycia pestycydów przy poprawnym procesie identyfikacji i dobrym modelu decyzyjnym (możliwa oszczędność ilości pestycydu do 85%)
Precyzyjnie prowadzone opryski sadów i winnic	Czujniki wykrywania wielkości i kształtu drzew Sterowanie dyszami opryskiwaczy	Zmniejszenie wykorzystania pestycydów do 20-30%. Zmniejszenie obszaru wykorzystania oprysku od 50 do 80%
Zmienna ilość nawożenia azotem zgodnie z wymaganiami upraw i warunkami pogodowymi	Wykorzystanie wskaźnika CVI (Crop Vegetation Index) Mapa zasobności gleby	Poprawa wykorzystanie azotu Zmniejszenie resztek niewykorzystanego azotu w glebie do 30-50%
Zmienna dawka nawożenia fosforem zgodnie z wymaganiami roślin i warunkami pogodowymi	Wykorzystanie wskaźnika CVI Mapa zasobności gleby	Poprawia wykorzystanie i zatrzymanie fosforu w glebie o 25%
Oszacowanie ilości biomasy w uprawie	Wskaźnik CVI	Reguluje poprawne dawki fungycydów dopasowując do ilości biomasy w uprawie
Zmniejszenie ilości mykotoksyn	CVI i oszacowanie zagrożenia chorobami grzybowymi	Optymalizacja dawki nawozu i fungycydów zmniejsza wysokość ryzyka wystąpienia chorób na polu na obszarach o wysokiej gęstości uprawy

1.4.2. Ograniczenia związane z wprowadzeniem metod rolnictwa

Podstawową wadą związaną z wprowadzeniem metod rolnictwa 3.0 i 4.0 są wysokie koszty przystosowania maszyn starego typu do współpracy z urządzeniami pomiarowo-sterującymi. W wielu przypadkach nie jest możliwe zainstalowanie takich urządzeń bez ingerencji w system konstrukcji pojazdu. Przykładem może być instalowanie systemu automatycznego prowadzenia w ciągnikach niewyposażonych w system wspomaganie układu kierowniczego. W takim przypadku konieczny jest montaż dodatkowych siłowników wspomagających układ kierowniczy. Koszty dopasowania maszyn i urządzeń wykorzystywanych w gospodarstwie mogą stanowić nawet do 50% ich wartości.

Kolejnym ograniczeniem jest brak zasięgu sieci komórkowej i internetowej. Ze względu jednak na stały rozwój tych mediów, niedogodność ta przestaje być problematycznym elementem.

Jednym z poważniejszych problemów jest brak odpowiednich baz diagnostycznych i naprawczych przystosowanych do napraw i kalibracji systemów pomiarowych.

1.4.3. Pytania sprawdzające opanowanie materiału

- 1. Jakie są podstawowe elementy rolnictwa precyzyjnego.*
- 2. Wymień różnice pomiędzy rolnictwem 3.0 i 4.0*
- 3. Jak stosowanie rolnictwa 3.0 i 4.0 wpływa na zmniejszenie obciążenia środowiska naturalnego?*