

Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania



Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie
Operacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Schematu II Pomocy Technicznej
„Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich” Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020
Instytucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020 – Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi
Podmiot odpowiedzialny za treść publikacji: Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa

**Precyzyjne i inteligentne
rolnictwo –
stan i perspektywy
wdrażania**

Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

Autorzy monografii

Adam Ekielski • Jacek Walczak • Jacek Skudlarski
Bogdan Pomianek • Joanna Zeyland • Magdalena Hryhorowicz

Autorzy aneksu

Jakub Zieliński • Jacek Jarząbek • Anna Mączka
Jan Walczak • Magdalena John • Grzegorz Cieśliński
Iwona i Przemysław Kawula
Sebastian Rublewski • Piotr Pawłowski

Redakcja naukowa

Adam Ekielski • Jacek Walczak

Autorzy monografii

Adam Ekielski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Jacek Walczak, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy
Jacek Skudlarski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Bogdan Pomianek, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi
Joanna Zeyland, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Magdalena Hryhorowicz, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Autorzy aneksu

Jakub Zieliński, Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa
Jacek Jarząbek, Centrum Nowych Technologii dla Polityk Publicznych – Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa PIB
Anna Mączka, Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa
Jan Walczak, Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa
Magdalena John, Stadnina Koni „Nowe Jankowice” Sp. z o.o.
Grzegorz Cieśliński, Lely Center Sp. z o.o.
Iwona i Przemysław Kawulowie, Gospodarstwo Iwona i Przemysław Kawula
Sebastian Rublewski, Vantage Polska Sp. z o.o.
Piotr Pawłowski, Vantage Polska Sp. z o.o.

Redakcja naukowa

Adam Ekielski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Jacek Walczak, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

Recenzenci

prof. dr hab. Roman Niżnikowski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
prof. dr hab. inż. Paweł Sobczak, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Redakcja i korekta

Julia Sabarańska, Małgorzata Wróbel-Marks

Projekt okładki

Katarzyna Juras

Copyright © by Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa (FDPA), Warszawa 2023

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tego opracowania nie może być kopiowana, powielana lub rozpowszechniana bez uprzedniej pisemnej zgody FDPA. Prezentowane w publikacji treści wyrażają poglądy autorów i mogą nie być zbieżne z oficjalnym stanowiskiem FDPA.

ISBN 978-83-67450-62-1

doi 10.7366/9788367450621

Monografia naukowa „Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania” powstała w ramach projektu „Europejski Zielony Ład – wyzwania i szanse dla polskiego rolnictwa”. Operacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Schematu II Pomocy Technicznej „Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich” Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020. Instytucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020 – Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.



Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, ul. Gombrowicza 19, 01-682 Warszawa
telefon: +48 22 864 03 90; e-mail: fdpa@fdpa.org.pl; www.fdpa.org.pl



INSTYTUT ZOOTECHNIKI
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Partner projektu: Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy



Monografia naukowa bezpłatna przygotowana w ramach operacji „Europejski Zielony Ład – Wyzwania i szanse dla polskiego rolnictwa” w ramach Planu Działania Krajowej Sieci Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020. Odwiedź portal KSOW – www.ksow.pl
Zostań Partnerem Krajowej Sieci Obszarów Wiejskich

Monografia naukowa wydana na zlecenie FDPA przez Wydawnictwo Naukowe Scholar Sp. z o.o., ul. Oboźna 1, 00-340 Warszawa,
e-mail: info@scholar.com.pl; www.scholar.com.pl

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	7
Rozdział I: Precyzyjna produkcja zwierzęca	9
Rozdział II: Precyzyjne nawożenie mineralne	29
Rozdział III: Precyzyjna uprawa gleby i systemy monitorowania jej stanu	46
Rozdział IV: Inżynieria genetyczna w hodowli roślin i zwierząt	64
Rozdział V: Wykorzystanie narzędzi sztucznej inteligencji w rolnictwie	81
Rozdział VI: Możliwości wdrażania rozwiązań rolnictwa precyzyjnego w ramach Planu strategicznego WPR na lata 2023–2027 oraz innych polityk publicznych	90
 Aneks	
Podsumowanie seminarium „Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania” ...	101
Paszportyzacja polskiej żywności – innowacyjne narzędzie wspierające polskich producentów rolnych	111
Budowa Systemu Satelitarnego Monitorowania Upraw Rolnych na obszarze Polski	120
Rozwiązania i narzędzia wykorzystywane w Gospodarstwach Stadniny Koni „Nowe Jankowice” Sp. z o.o.	125
Gospodarstwo Rolne Iwony i Przemysława Kawulów – zastosowanie rozwiązań precyzyjnego rolnictwa w produkcji zwierzęcej	129
Rolnictwo precyzyjne – rozwiązania służące osiągnięciu założeń Europejskiego Zielonego Ładu w opinii praktyków	140





WPROWADZENIE

Na przestrzeni dziejów rozwój rolnictwa odbywał się zarówno w toku stopniowej ewolucji, jak i przez rewolucyjne przeskoki. Nie wchodząc w szczegóły procesów prowadzących do rewolucji, nie sposób nie zauważyć, że nagłe zmiany w rolnictwie zawsze miały olbrzymie znaczenie dla całej cywilizacji. Tak było z rewolucją neolityczną czy zieloną rewolucją. Na rolnictwo wpływał też rozwój innych gałęzi gospodarki, jak w przypadku rewolucji przemysłowej XVIII w. i spowodowanej nią drugiej rewolucji rolniczej czasów wiktoriańskich, zwanej też brytyjską. To właśnie wtedy zapoczątkowane zostały współczesne metody chowu i uprawy. Dziś ich czas dobiega końca, a my stoimy u progu czwartej zmiany, zarówno w przemyśle i rolnictwie, jak i w całej powiązanej wewnętrznie gospodarce, zmierzającej do obiegu zamkniętego.

Rolnictwo 4.0, dzięki wprowadzeniu szybkiego obiegu i przetwarzania informacji, integruje wcześniej wprowadzone technologie: rolnictwa precyzyjnego, precyzyjnego chowu zwierząt, inteligentnego rolnictwa. Kolejna rewolucja polega na zwiększeniu produktywności i wydajności sektora rolniczego poprzez odpowiednie wykorzystanie danych.

Znane są skrótowe hasła, pod którymi kryje się jednak ogrom myśli technicznej i innowacji. M2M, IoT, B2B, Big Data, 5G, sieci neuronowe, uczenie maszynowe to w istocie zaawansowane terminy, których znaczenie rzadko jest rozumiane, a więc budzą one rezerwę i obawy¹. Żadne inne pokolenie w historii ludzkości nie doświadczyło takich zmian technologicznych, jakie były naszym udziałem na przestrzeni ostatnich 40 lat. A przecież bramy gospodarstw przekracza już sztuczna inteligencja zarządzająca w pełni autonomicznymi systemami produkcji.

Postęp w rolnictwie przez stulecia był społecznie akceptowalny jako naturalny sposób osiągnięcia bezpieczeństwa żywnościowego. Pierwsze protesty luddystów w XIX w. dotyczyły użycia maszyn parowych, także w majątkach ziemskich. Właściciele ziemscy protestowali wiek wcześniej przeciwko wprowadzeniu siewników zbożowych. Dziś w bardziej parlamentarny sposób reguluje się stosowanie genetycznie modyfikowanych organizmów (GMO) czy, ostatnio, nowych technik genomowych (NGTs). Obawy przed masowym wykorzystaniem zdobyczy biotechnologii w rolnictwie są bodaj najmocniej zakorzenione wśród konsumentów. Ale producenci również, z przyczyn ekonomicznych, podważają w debatach słuszność strategii UE (takich jak Europejski Zielony Ład, strategia „od pola do stołu”, strategia na rzecz bioróżnorodności)

¹ Skróty wyjaśnione w treści rozdziałów.






Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

zmierzających do redukcji strat przy stosowaniu nawozów, ograniczenia środków ochrony roślin, antybiotyków czy restytucji naturalnych ekosystemów.

I właśnie z tych względów precyzyjne bądź inteligentne rolnictwo, a więc rozwiązania odpowiadające współczesnemu postępowi, stały się narzędziem realizacji Europejskiego Zielonego Ładu. Pozwalają one na redukcję użycia zasobów, w tym zmniejszenie nakładów robocizny, wyższą plonów, ograniczenie kosztów i dodatkowy zysk. Ich wykorzystanie w praktyce podwyższa jakość i bezpieczeństwo żywności, a także poprawia zdrowotność i dobrostan zwierząt gospodarskich. A to wszystko przy mitygacji oddziaływań rolnictwa na środowisko i klimat oraz poprawie zdrowia społeczeństwa.

Precyzyjne i inteligentne rolnictwo jest bez wątpienia jedyną drogą zaspokojenia potrzeb żywieniowych rosnącej populacji ludzkości. W miarę upowszechniania się należących do niego metod, obniżyć się będą koszty ich aplikacji, co gwarantuje transfer technologii również do mniejszych gospodarstw. Mimo udanych prób z pewnością daleko nam jeszcze do znanych z filmów SF wizji powszechnego rolnictwa w całkowicie kontrolowanym środowisku (CEA), na Marsie lub Tatooine, ale już teraz można kupić paszę dla zwierząt z uprawy wertykalnej, nie wspominając o warzywach doświetlanych jedynie światłem LED. W pogoni dnia codziennego nie zauważamy, jak szybko powiększa się grupa krajowych gospodarstw korzystających z mapowania satelitarne, pozycjonowania urządzeń za pomocą systemów GNSS, chipowania zwierząt i tagowania produktów, autonomicznych pielników czy robotów udojowych. Rewolucja 4.0 dzieje się na naszych oczach.





Rozdział I

Precyzyjna produkcja zwierzęca

1. Wstęp

Precyzyjna produkcja zwierzęca (*Precision Livestock Farming* – PLF) wraz z precyzyjnym rolnictwem (*Precision Agriculture* – PA) wchodzi w skład tzw. *Smart Agriculture* (SA), czyli inteligentnego rolnictwa. Pierwszą próbą zastosowania PA był *Geographic Information System* (GIS), użyty do celów nawozowych jeszcze w latach 60. ubiegłego wieku. Natomiast komercyjnie po raz pierwszy zastosowano PA w postaci protokołu komunikacyjnego LBS (prekursor ISOBUS) w ciągnikach rolniczych w 1991 r. Pojęcie precyzyjnej produkcji zwierzęcej odnosi się do czynności zarządzania realizowanych na podstawie gromadzonych w czasie rzeczywistym informacji zwrotnych, zmierzających do wyeliminowania zmienności zaburzającej efektywność samego procesu produkcji. Odpowiednikiem PA w przemyśle jest termin „przemysł 4.0” (*Industry 4.0*). Powstał on w Niemczech w 2011 r. i od tego czasu szybko upowszechnił się na całym świecie. Pod pojęciem tym rozumie się procesy automatyzacji fabryk, włączenie internetu do procesów przemysłowych oraz rozpowszechnianie technologii informacyjno-komunikacyjnych (*Information and Communication Technologies* – ICT) w celu tworzenia inteligentnych urządzeń, maszyn i systemów produkcji (Lasi i in. 2014). Rolnictwo 4.0 jest podobne do przemysłu 4.0., gdyż odnosi się do zintegrowanego wewnątrznie i zewnątrznie tworzenia sieci działań. Oznacza to, że dla wszystkich gospodarstw, sektorów i procesów muszą istnieć informacje w formie cyfrowej. Korzystające z portali internetowych, rolnictwo 4.0 ułatwia zarządzanie dużymi ilościami danych, a także tworzy sieci informatyczne w gospodarstwach (CEMA 2017a, 2017b). Rzeczywiście rolnictwo 4.0 toruje drogę następnej jego ewolucji, polegającej na operacji bezzałogowych i zautomatyzowanych systemów podejmowania decyzji na podstawie przetwarzania danych w chmurze i IoT (Lee, Lee 2015).

Wkroczenie chowu zwierząt w etap produkcji precyzyjnej związane jest z rozwojem technologii cyfrowych oraz mikroprocesorowych sensorów optycznych, biofizycznych i chemicznych do monitorowania zarówno zwierząt, jak i ich produktów, a także samego wyposażenia wspomagającego hodowcę. Przepływ pochodzących stąd informacji, a następnie poleceń zwrotnych



był jednak możliwy dopiero z nadejściem technologii teleinformatycznych. Podstawowe znaczenie mają przy tym kwestie samych algorytmów i wyspecjalizowanych programów komputerowych, nie tylko sterujących wszystkimi tymi narzędziami, ale finalnie pozwalających również na przetworzenie informacji do poziomu systemu wspomagania decyzji (*Decision Support System* – DSS). Te z kolei rozwinęły się dzięki zgromadzonym bazom danych (*Big Data*) i wprowadzeniu tzw. uczenia maszynowego, do których użycia niezbędne są odpowiednie moce obliczeniowe. Rozwiązania te często klasyfikowane są już na wyższym poziomie organizacyjnym, czyli inteligentnej produkcji zwierzęcej (*Smart Livestock Farming*) lub właśnie SA. O różnicy w hierarchii stanowi również wykorzystanie choćby narzędzi typu ICT czy IoT (*Internet of Things*) lub M2M (*Machine to Machine*).

IoT to sieć połączonych ze sobą urządzeń, które komunikują się, wykrywają i wchodzą w interakcje ze środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym za pośrednictwem wbudowanej technologii (Lee i in. 2015, Liu i in. 2020). IoT składa się z czterech głównych komponentów: struktury fizycznej, pozyskiwanych danych, przetwarzania i analizy danych. Struktura fizyczna jest najbardziej krytycznym elementem IoT i samego rolnictwa precyzyjnego (Lee i in. 2015, Liu i in. 2020).

Z IoT powiązany jest internet energii (IoE), odnoszący się do modernizacji i automatyzacji infrastruktury elektroenergetycznej dla producentów i wytwórców energii. Termin ten wywodzi się z coraz bardziej znaczącego rynku technologii internetu rzeczy (IoT), która pomogła rozwinąć rozproszone systemy energetyczne składające się na IoE. Technologia ta pozwala na bardziej wydajną i czystsza produkcję energii przy najmniejszej ilości odpadów. Ekspansja IoT i IoE spowodowała znaczny wzrost ilości danych. Przetwarzanie i przechowywanie danych w chmurze oferuje liczne narzędzia do rozwiązania problemów wszystkich wymagań i ograniczeń związanych z inteligentnym rolnictwem.

Ogromna ilość informacji, które są produkowane i gromadzone codziennie w PLF, wykracza poza możliwości konwencjonalnych technik i jest przetwarzana oraz analizowana za pomocą narzędzi *Big Data*. Aplikacje *Big Data* oceniają i odróżniają informacje ważne od mniej ważnych, zwiększając w ten sposób zdolność dotarcia do nie tyle jedynych, ile najbardziej prawdopodobnych wniosków.

Wiele urządzeń i maszyn wyposażonych w IoT wymaga ciągłej, stabilnej i dużej prędkości łącza internetowego do wymiany dużych ilości danych. Służy do tego technologia sieci komórkowej piątej generacji (5G). Aby osiągnąć niezwykle wysoką prędkość przesyłu dużych pakietów danych z małym opóźnieniem, sieć komórkowa 5G wykorzystuje wysokie pasmo widma częstotliwości. Maksymalna szybkość transmisji danych tej sieci ma przepustowość od 10 do 20 Gb/s. Pod względem szybkości pobierania i wysyłania danych 5G przewyższa poprzednie standardy 4G i 4G LTE nawet 100 razy. Ze względu na słabą dostępność internetu na obszarach wiejskich wdrażanie PLF napotyka duże trudności, a nawet na obszarach z szybkimi połączeniami występują liczne ograniczenia z powodu masowego popytu i przeciążenia sieci (Martin i in. 2021).

2. Korzyści ze stosowania PLF

Podstawowe korzyści płynące ze stosowania PLF to wzrost produktywności, obniżenie kosztów operacyjnych, w tym pracy, zwiększenie dochodowości i bezpieczeństwa żywnościowego, poprawa bezpieczeństwa samej żywności i dobrostanu zwierząt, większe bezpieczeństwo pracy, wyższa jakość produktów, niższe zużycie energii oraz surowców. Takie zalety PLF czy PA wpłynęły na to, że zostały one uznane za systemy przydatne do realizacji celów Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ). Cele redukcji zużycia nawozów i środków ochrony roślin, uzyskiwane nie tylko przez dokładność przejazdu, ale przede wszystkim dzięki precyzyjnemu określeniu potrzeb zastosowania są tu bardzo łatwe do uzyskania. Szeroki monitoring wielu elementów środowiska i reakcji zwierząt, dostępny w wielu systemach precyzyjnego zarządzania stadem albo w przeznaczonych do wykrywania chorób narzędziach, szybko informują o subklinicznych zagrożeniach zdrowia, co może wspomagać eliminację stosowania antybiotyków, podobnie jak sama poprawa dobrostanu dzięki stosowaniu PLF. Precyzyjne żywienie i zautomatyzowane systemy utrzymania zwierząt gospodarskich redukują oddziaływanie na środowisko naturalne i przeciwdziałają zmianom klimatu. Niektóre z precyzyjnych rozwiązań, zwłaszcza w zakresie wentylacji pomieszczeń, pozwalają na lepszą adaptację do już obecnych zmian klimatu (UNECE 2015).

Inne korzyści ze stosowania rozwiązań PLF i PA przekładają się na wielkości fizyczne, jak zmniejszenie zużycia paliwa o 10%, ograniczenie kosztów ochrony upraw o 30%, czasu zabiegów agrotechnicznych o 6 % i o 40% obsługi w chowie zwierząt. Na skutek wykorzystania PA koszty nawożenia mogą spaść nawet o 0,5–1,66 euro/m² (CEMA 2017b). PLF w żywieniu zwierząt ograniczają jego koszt do 25% i zwiększają strawność paszy do 70% (Alexandratos i Bruinsma 2012, Andretta i in. 2014). Nie dziwi zatem, że już w 2016 r. całość obrotu na rynku precyzyjnych technologii rolniczych szacowano na 4,8 mld USD z prognozą wzrostu do 12,5 mld USD w 2025 r. Aktualne prognozy mówią o rynkowym obrocie w wysokości 6,45 mld USD, a w 2030 r. 23 mld USD (*Market Report 2019, Market Research Report 2019*).

Z obowiązku wspomnieć należy też o ograniczeniach w upowszechnianiu PLF. Pierwszym z nich i podstawowym jest wysoki koszt inwestycyjny precyzyjnych instalacji, nieopłacalny dla ekstensywnych i niskotowarowych gospodarstw (Hartung i in. 2017). Przy ograniczonych mocach produkcyjnych amortyzacja PLF trwa przez wiele lat i nie ma możliwości redukcji kosztów jednostkowych, tak jak w chowie przemysłowym. Stąd PLF nakierowana jest raczej na aplikacje w dużych stadach. Jednakże przy specyficznych ograniczeniach na rynku pracy np. roboty udojowe mogą już być opłacalne dla stad poniżej 100 sztuk krów (Martin i in. 2021). Wiele zależy tu od samej rentowności produkcji zwierzęcej i rynkowej koniunktury. Ograniczeniem jest też możliwość przyswajania nowej wiedzy i technologii przez hodowców, zazwyczaj wykształconych w okresie niższego poziomu rozwoju techniki. Należy też wspomnieć, że rolnicza młodzież ma mocno ograniczony dostęp do praktycznej nauki obsługi topowych rozwiązań komercyjnych PLF. Rolnicze szkoły i uczelnie mają zbyt ograniczone finansowanie, aby podołać takim technologicznym wyzwaniom. Natłok informacji generowanych przez systemy PLF również może być przeszkodą w ich szerszym wdrożeniu. Oczywiście współczesne gospodarstwa hodowlane mogą być już całkowicie bezobsługowe, ale tam, gdzie jeszcze człowiek bierze udział

w procesie decyzyjnym, ogrom informacji płynących z PLF może być problematyczny. Stąd producenci starają się ograniczać ilość informacji dostępnych na poziomie panelu użytkownika i raczej sugerować niezbędne posunięcia. W końcu wspomnieć należy o braku dostępności sieci 5G na obszarach wiejskich, co skutecznie unieruchamia systemy PLF lub generuje poważne błędy w ich działaniu.

Mimo wszystko PA w coraz szerszym zakresie wkracza do gospodarstw rolnych. USDA ERS (2023) raportuje, że średnio w USA 22% gospodarstw wykorzystuje PA, chociaż w niektórych stanach udział ten przekracza 60%. W UE dane o wdrażaniu są dość zróżnicowane i mówią o 20% udziału w Danii czy nawet 30% w Niemczech. Według europejskich dostawców narzędzi, maszyn i wyposażenia dla gospodarstw rolnych obecnie przeszło 80% rynkowej oferty posiada już jakieś elementy PA i PLF (USDA ERS 2023).

3. Precyzyjne żywienie zwierząt

Koszty żywienia stanowią 50–75% całości kosztów produkcji w chowie zwierząt gospodarskich. Jakakolwiek optymalizacja zabiegów żywienia przynosi zatem spore oszczędności i generuje dodatkowy zysk gospodarstwa. Współczesne zalecenia dla zwierząt gospodarskich, będących w większości gatunków zwierzętami stadnymi, nakazują stosowanie chowu grupowego. Z natury również żywienie w takich systemach odbywa się dla całej grupy, choć wiadomo, że każda sztuka ma w tym względzie indywidualne potrzeby. Racjonalne jest zatem podejście systemów PLF oferujących indywidualne żywienie dla grupowo utrzymywanych zwierząt. Oczywiście warunkiem jest możliwość poprawnej identyfikacji każdego zwierzęcia i osobne określenie jego zapotrzebowania pokarmowego w odniesieniu do potrzeb bytowych i produkcyjnych. Dlatego indywidualne żywienie stanowi najczęściej jeden z komponentów systemu zarządzania stadem. Z kolei w celu zmniejszenia wydalania azotu (Dyrektywa EWG 91/676/EWG), fosforu oraz emisji GHG, a także amoniaku (Dyrektywa PEiR 2016/2284), założonych w Europejskim Zielonym Ładzie i strategii „od pola do stołu” oraz innych regulacjach, jak choćby w BAT, należy wdrażać metody precyzyjnego żywienia zwierząt gospodarskich (IIASA 2012, MRiRW 2016, UNECE 2015). Polegają one na generalnym obniżeniu poziomu białka ogólnego w paszy o 15–20%, przy jednoczesnym pokryciu potrzeb żywieniowych dla każdej grupy technologicznej zwierząt, precyzyjnym bilansowaniu dawek, żywieniu wielofazowym, dodatkach paszowych, w tym enzymatycznych. Takie dodatki mogą być stechiometrycznie aplikowane poprzez sterowane elektronicznie podzespoły wozów paszowych czy stacji odpajania. Elektroniczne stacje odpasowe (*Electronic Feeding Station* – EFS), pozwalające na pełną indywidualizację żywienia, znane od lat 90. ubiegłego wieku z chowu loch czy krów mlecznych, w nieco zmienionej formule znajdują obecnie wykorzystanie w wypadku innych grup technologicznych i gatunków. Precyzyjne żywienie z udziałem ESF warchlaków czy tuczników w systemie *Exafan* bądź IPF (Pomar, Remus 2019) wymaga co najmniej dwóch różnych pasz, o różnych poziomach energii netto i standaryzowanych na strawność aminokwasów. Jedna z pasz jest bardzo bogata w składniki odżywcze, druga ma niższą gęstość składników odżywczych i spełnia wszystkie potrzeby mniej wymagającej świni pod koniec okresu końcowego. System żywienia automatycznie miesza dwie

Precyzyjna produkcja zwierzęca

pasze dla każdego zwierzęcia osobno, aby precyzyjnie zaspokoić jego potrzeby. Oczywiście niezbędny jest nie tylko pomiar wagi każdej świni, ale również sposób rozróżniania świń. W sukurs przychodzą plastikowe znaczniki guzikowe umieszczone w uchu, zawierające pasywne transpondery (RFID – 134,2 kHz, ISO 11784). Sama dawka w całym przedziale odchowu może być tu płynnie zmieniana przez komputer sterujący, nawet w ciągu tego samego dnia. Możliwe jest wykorzystanie EFS zarówno w systemach ściółkowych, jak i rusztowych. Niewątpliwą zaletę stanowią mniejsze zużycia paszy (o 30%), większe przyrosty i mniejszy o 40% wolumen N i P wydalanych do środowiska, a także mniejsza o 6% emisja GHG (Pomar, Remus 2019). Podobne rozwiązania testowane są dla kurcząt brojlerów, indyków oraz niosek (Andretta i in. 2014, Tu i in. 2011, Vranken, Berckmans 2017, Xin, Liu 2017, Zuidhof i in. 2017). Wykorzystuje się w nich zminiaturyzowane znaczniki RFID wielkości zapałki, przyczepiane do kończyn ptaków, oraz wielopłytkowy system ważący, montowany na wielostanowiskowym karmniku (Campbell i in. 2017). ESF standardowo już używane są do odpajania mlekiem cieląt w systemach grupowego utrzymania (rys. 1).



Rys. 1. Automatyczna stacja do odpajania mlekiem cieląt

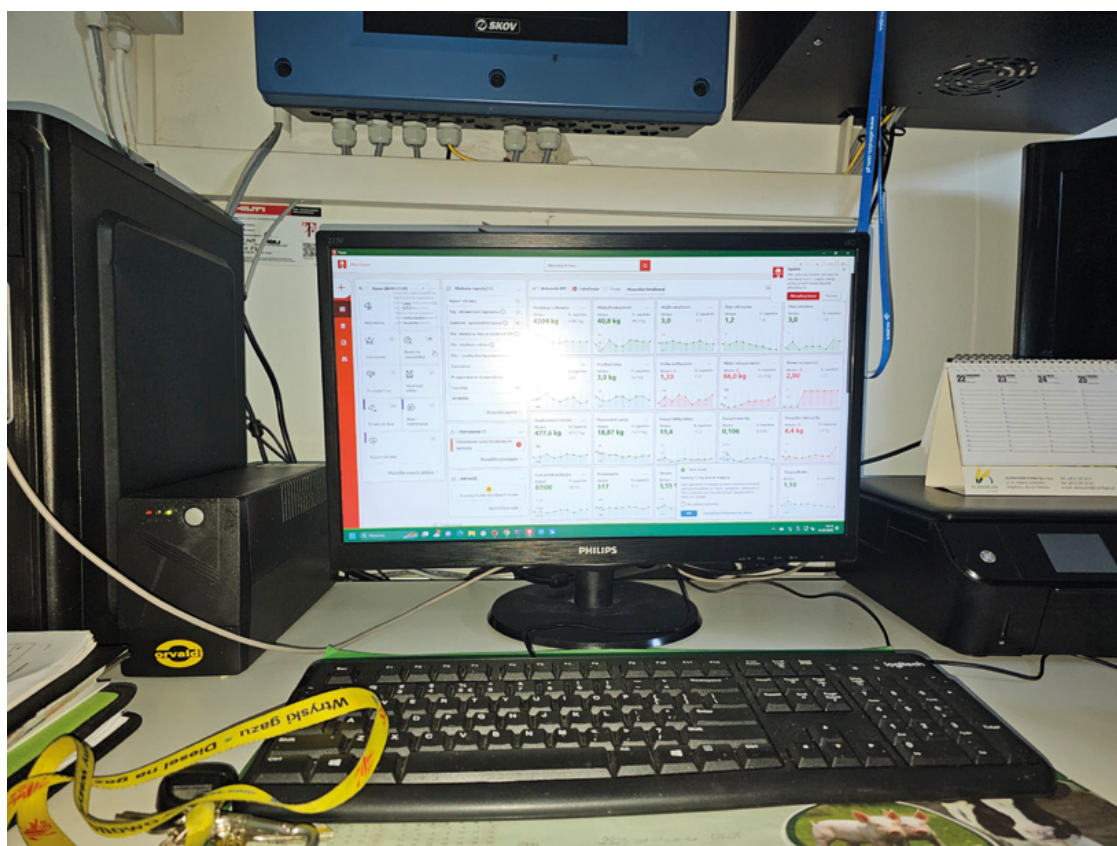
Źródło: Opracowanie własne, fot. J. Walczak.

Szczególnością popularnością wśród hodowców świń cieszą się systemy samoważąco-separujące. Umożliwiają one identyfikację pojedynczego zwierzęcia i jego przekierowanie do sektora z paszą o większej koncentracji białka i energii lub dla sztuk cięższych – z paszą o mniejszej koncentracji. Systemy te również pozwalają na selekcję sztuk przeznaczonych do sprzedaży i mogą być sprzężane z nastawami wentylacji – zwierzęta o wyższej masie wymagają większej wymiany powietrza w pomieszczeniu. Podobnie płytkowe systemy automatycznego ważenia drobiu nie tylko mogą być stosowane do uzyskania informacji o przyrostach i wykorzystaniu paszy, ale sprzęgnięte ze sterownikami wentylacji, regulują mikroklimat odpowiednio do potrzeb rosnących ptaków (jak np. system *Flockman*).

Do określania masy ciała nie są już potrzebne klasyczne wagi. Dostępnych jest bowiem szereg komercyjnych systemów (*Weight Detect*, *eYeScan*, *Pigwei*, *OptiScan*, *GroStat* i *WUGGL*) wyznaczających masę ciała zwierzęcia na podstawie zapisu kamer 3D. Zapis odbywa się poprzez automatyczne wykrycie zwierzęcia, a następnie posegmentowanie jego obrazu na charakterystyczne odcinki i obliczenie powierzchni ciała, jego długości i szerokości. W ostatnim etapie za pomocą modelu matematycznego wyznacza się masę z dokładnością około 1,5 kg.

4. Analiza obrazu i dźwięku

Systemy wizyjne i technologia przetwarzania obrazu umożliwiają przede wszystkim prowadzenie modelowania matematycznego do monitorowania reakcji związanych ze zdrowiem i dobrostanem zwierząt i są coraz częściej wykorzystywane w praktyce (Kashiha i in. 2013). Na przykład asystent Smart Farm oferuje zarządzanie stadem dla różnych gatunków drobiu i służy wczesnemu ostrzeganiu i planowaniu produkcji, jedynie na podstawie analizy obrazu i danych zbieranych ze standardowego wyposażenia. W kurnikach pojawiają się również samobieżne roboty (*FLOX*, *Spoutnic NAV*, *Octopus XO*), które oprócz napowietrzania ściółki przepędzają ptaki z miejsc nadmiernego skupienia oraz dostarczają analizy obrazu w czasie rzeczywistym. Kolejnym przykładem robota jest *Chickenboy*, przeznaczony do chowu brojlerów. Podwieszony do sufitu na szynie, samodzielnie monitoruje komfort cieplny, jakość powietrza, prawidłowość funkcjonowania sprzętu oraz zdrowie i dobrostan ptaków. Innym rozwiązaniem umożliwiającym sterowanie stadem ptaków i wyposażeniem poprzez ilościową analizę rejestrowanego obrazu jest stacjonarny system *eYeNamic*. Dane z kamer zawieszonych pod sufitem przetwarzane są tu do poziomu sterowania wentylacją lub alertów o wadliwym działaniu wyposażenia (karmniki, poidelka) (Berckmans i in. 2015). System ten może być stosowany również do ferm trzody chlewnej. Wielofunkcyjne sensory umieszczone w aparatach wylęgowych sterują ich temperaturą i wilgotnością (np. *OvoScanHD*).



Rys. 2. Widok panelu komputerowego systemu zarządzania stadem krów

Źródło: Opracowanie własne, fot. J. Walczak.

Precyzyjna produkcja zwierzęca

Zmiany w aktywności zwierząt mogą być spowodowane nieprawidłowym zachowaniem, w tym agresją (Viazzi i in. 2014), kulawizną lub innymi problemami ze zdrowiem (Kashiha i in. 2013, Peña Fernández i in. 2018). Niestety optyczne i elektrochemiczne sensory potrafiące dokonywać zdalnej identyfikacji schorzeń, zwłaszcza chorób zakaźnych, w czasie rzeczywistym nie wyszły jeszcze poza drzwi laboratoriów. Zasada działania biosensora opiera się na wykrywaniu cząsteczki biomarkera w pobranej próbce, którym może być dowolne białko, antygen lub przeciwciało czynnika zakaźnego. Cząsteczka biomarkera jest wykrywana przez bioreceptor umieszczony na chipie. Stąd takie systemy muszą mieć dostęp do płynów ustrojowych, oddechu itp., co nastęrcza kłopotów z samplowaniem próbek. W laboratoryjnej, szybkiej diagnostyce weterynaryjnej takie biosensory są już coraz częściej stosowane. Standardem jest też analiza mleka, przebiegająca w trakcie doju, która na poziomie LKS, czy stosunku białkowo-tłuszczowego, może wykazać zagrożenie infekcją lub schorzeniem metabolicznym i kulawizną. Automatycznie najłatwiej byłoby pobierać do analizy pot zwierząt, który również może dostarczyć ważnych informacji dotyczących ich zdrowia, lecz monitory potu nie weszły jeszcze na rynek komercyjny ze względu na ograniczenia rozmiarowe urządzeń. W praktyce są już natomiast wykorzystywane kamery termowizyjne, umożliwiające identyfikację stanów zapalnych gruczołu mlekowego czy racic. W końcu analiza obrazu cech biometrycznych zwierzęcia z powodzeniem może zastępować RFID w zakresie identyfikacji osobniczej.

Protokół wczesnego ostrzegania o schorzeniach układu oddechowego opracowano dla świni. Procedura generowania alertów została oparta na porównaniu rzeczywistych punktów danych dotyczących kaszlu z limitami kontrolnymi z wykorzystaniem średniej ruchomej i odpowiadających jej odchyłeń standardowych. Alerty generowane są w zależności od punktów danych przekroczenia kontrolnych linii granicznych dla wystarczająco wysokiego poziomu kaszlu świń (Berckmans i in. 2015). Dźwięk rozchodzący się po powłokach skórnych krów wykorzystywany jest w niektórych akcelerometrach barkowych do analizy intensywności pracy żwacza.

5. Precyzyjne systemy utrzymania

Kolejnym etapem produkcji zwierzęcej, który może być objęty metodami redukcyjnymi, jest system utrzymania. Podejmowane tu działania mają na celu ograniczenie emisji gazów takich jak amoniak i podtlenek azotu czy metan. Już sama zmiana wielkości powierzchni zarusztowania kojca w chowie świń pozwala na redukcję emisji tych gazów nawet o 50%. Dalsze ograniczenie powierzchni rusztów do 1/3 powierzchni kojca skutkuje 70-procentową redukcją. Podobny efekt uzyskuje się szybko poprzez oddzielenie kału od moczu, choćby dzięki montażowi podrusztowych przenośników odchodów. Współczesne technologie bezściołowe oferują również szereg innych rozwiązań, jak choćby wysokociśnieniowy *flushing*, splukujący odchody z części podrusztowej kojca (Komisja Europejska 2017). W zakresie systemów ściółkowych dostępne są rozwiązania zintegrowane z wentylacją, jak np. *Xaletto*. System głębokiej ściółki wzbogacono tu o odpowiednio skonstruowaną wentylację i dodatki ściółkowe, sprzyjające tlenowemu rozkładowi nawozu w obniżonej wilgotności i temperaturze nieprzekraczającej 40°C. Taki przebieg przemian gwarantuje utrzymanie azotu w połączeniach organicznych i redukcję

emisji amoniaku. Zwiększa niestety, ale tylko nieznacznie, emisję N₂O. Redukcję emisji gazów poprzez mechaniczny system wentylacji można również uzyskać w systemie rusztowym, modyfikując kierunek przepływu powietrza do części podrusztowej. Umieszczenie podciśnieniowego wylotu powietrza w części podrusztowej uniemożliwia parowanie cieczy z kanału do pomieszczenia i samą emisję.

Jeśli chodzi o systemy wentylacji, to usuwane z budynku powietrze może zostać oczyszczone z domieszek gazowych przez jonizatory montowane na przewodach wentylacyjnych lub biofiltry (rys. 2) oraz płuczki, sytuowane na zewnątrz chlewni czy kurnika. O ile jonizatory powodują przeprowadzenie reaktywnych form związków chemicznych do obojętnych gazów, o tyle płuczki wiążą domieszki gazowe w postaci roztworów soli, które mogą zostać wykorzystane nawozowo. Natomiast sposób działania biofiltracji opiera się na procesach fizykochemicznych zachodzących przy współdziałaniu mikroflory zasiedlającej złoża filtrujące. Domieszki gazowe zawarte w wentylowanym z budynku powietrzu w trakcie przepuszczania przez filtr ulegają adsorpcji, rozpuszczeniu i związaniu przez sam materiał filtrujący, wypełniającą go wodę bądź przez film mikrobiologiczny, powlekający naturalny materiał wypełniający biofiltr. Po okresie wysycenia materiału filtrującego i namnożeniu się mikroorganizmów wkład filtrujący trzeba wymienić. Zużyty materiał może być następnie wykorzystany jako nawóz naturalny. Skuteczność tych metod zawiera się między 70% redukcji emisji dla jonizacji i biofiltracji a 94% – dla płuczek chemicznych. Dodatkową zaletą tych metod jest redukcja pyłów PM₁₀.



Rys. 2. Kompaktowy biofiltr do oczyszczania powietrza z chlewni

Źródło: Opracowanie własne, fot. J. Walczak.

Precyzyjna produkcja zwierzęca

Bliską zasadzie działania płuczek jest metoda zakwaszania gnojowicy. Polega ona na dodaniu 96-procentowego kwasu siarkowego do gnojowicy w proporcji około 5 kg na tonę w celu uzyskania co najmniej $\text{pH} = 5,5$. Zmiana pH unieczynnia enzym ureazę odpowiedzialny za proces amonifikacji. UNECE (2015) wycenia ten efekt redukcji na 60% emisji amoniaku. Możliwe jest zakwaszanie zarówno w części podrusztowej budynku, jak i w samym zbiorniku gnojowicowym, a nawet w trakcie aplikacji nawozowej. Do tego celu niezbędna jest jednak odpowiednia instalacja sterowana mikroprocesorem, odmierzającym stechiometryczne dawki kwasu. Metoda stosowana jest zarówno w chowie świń, jak i bydła. Samo nachylenie bocznych ścian kanału gnojowego również obniża wielkość uwalnianych gazów. Emisję można jeszcze zmniejszyć, schładzając gnojowicę zdeponowaną w kanale (o 45–75%), poprzez instalację wymienników ciepła, co może wspomagać system ogrzewania.



Rys. 3. Automat do czyszczenia rusztów

Źródło: Opracowanie własne, fot. J. Walczak.

W przypadku utrzymania bydła na podłodze rusztowej (korytarz spacerowo-gnojowy) dostępne są rodzaje podłóg powodujących szybkie rozdzielanie i odprowadzanie kału oraz moczu do podrusztowego zbiornika. Innym rozwiązaniem jest zmodyfikowana konstrukcja rusztów rozdzielająca kał od moczu (podłogi ryflowe, podłogi separujące). Oczyszczanie podłóg rusztowych w całości realizować mogą autonomiczne, elektryczne scrubery i odkurzacze.

Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

Systemy te redukują emisję amoniaku o 40%, ale umożliwiają również dalsze jego przetwarzanie nawet na nawozy mineralne. Z kolei dla klatkowego chowu drobiu zaleca się suszenie pomiotu, czy to na taśmie, czy w specjalnej suszarni. Metoda ta skutkuje redukcją emisji amoniaku o 30%. Separacja gnojowicy polega na rozdzieleniu, za pomocą pras, pomp membranowych lub wirówek, jej fazy ciekłej od stałej (rys. 4). Stosowana jest ona powszechnie w wielu krajach UE oraz sporadycznie w Polsce do ograniczenia ilości, wolumenu gnojowicy bydlęcej o 15–20%. Zmniejsza się w ten sposób zawartość suchej masy w fazie ciekłej, a zwiększa – w fazie stałej. Faza stała w postaci sypkiej stosowana bywa ponownie jako ściółka dla bydła (Komisja Europejska 2017, MRiRW 2019). W przypadku dalszej przeróbki fazy stałej możliwe jest jej peletowanie z przeznaczeniem na sprzedaż lub wytwarzanie energii cieplnej (spalanie). Faza stała winna być zmagazynowana pod zadaszeniem (uwodnienie na skutek opadów zwiększa emisję). Jest to metoda bardzo droga, a jej najwyższy efekt redukcji osiągnąć jest przy sprzedaży peletu i wynosi do 70% (bez sprzedaży 30%) całkowitego rozpraszania azotu. Efekt redukcji amoniaku dla samej separacji szacuje się na 15–23%.



Rys. 4. Separator gnojowicy

Źródło: Opracowanie własne, fot. J. Walczak.

Ochrona środowiska w dobie EZŁ jest głównym wyznacznikiem rozwoju technologii chowu, ale nie tylko. Istotne są ponadto kwestie ograniczania kosztów produkcji. Przykładem

Precyzyjna produkcja zwierzęca

jest wykrywanie rui u loch. Poprawność jej identyfikacji przekłada się na koszty bezproduktywnego utrzymania i zmniejszenia liczby miotów w roku, będącego kolejnym wskaźnikiem produktywności zwierząt. Dlatego opracowano automatyczny system detekcji rui, oparty wzorem bydła na wzroście aktywności ruchowej zwierząt (*PigWatch*). Różnica polega na tym, że jest on w całości stacjonarny, gdyż w czasie okresu krycia lochy utrzymywane są w jarzmach. Zamontowane w belce zawieszanej nad jarzmem czujniki podczerwieni pozwalają na zliczanie liczby bocznych wychyleń zwierzęcia i w razie przekroczenia wartości progowej zapala się zielona lampka sygnalizująca konieczność inseminacji.

6. Precyzyjny chów bydła

W przypadku bydła, zwłaszcza mlecznego, istnieje cała gama rozwiązań wspomagających kwestie żywienia, zarządzania stadem, wykrywania rui, wycielenia, pastwiskowania itd. (tabela 1). Mnogość zintegrowanych rozwiązań systemowych może uczynić ten dział produkcji rzeczywiście bezobsługowym. Ze względu na rozmiar zwierząt stosunkowo prosto można je wyposażać w różnego rodzaju oprzyrządowanie. Oprócz swojej pierwotnej funkcji, jaką była detekcja rui poprzez nasilenie aktywności ruchowej, współczesne pedometry, akcelerometry, tagi i kolczyki potrafią również określić proporcje udziału poszczególnych typów zachowań, zmiany temperatury ciała, nasilenie procesów przeżuwania i trawienia czy nawet pobierania paszy i wody oraz liczby oddechów (np. *Fullwood*, *Afimilk*, SCR, ITIN-HOCH). Nieodmiennie każde z tych urządzeń nadal zawiera znacznik RFID i możliwość transmisji danych. O ich funkcjach decydują zamontowane sensory, łącznie z nadajnikami GPS, mikrofonami czy termistorami, a nawet czujnikami ciśnienia, jak ma to miejsce przy określeniu pobierania paszy (*RumiWatch*) (Zehner i in. 2017). Precyzyjne żywienie wspomagać mogą również automatyczne systemy oceny BCS, wykorzystujące obraz 3D i przesyłające informację do programu zarządzającego stadem.

Istotnym *novum* w precyzyjnym chowie bydła są możliwości detekcji nie tylko kulawizn, ale również *mastitis*, i to nawet przez tzw. tagi montowane do uszu krów (*Smartbow*). Służą do tego również czujniki pH żwacza, tzw. bolusy, pozwalające również na pomiar temperatury (*eCow*, *SmaXtec*). Same sensory umieszczane są w żwaczu, a odczyt ich zapisów może odbywać się przez oprogramowanie zarówno smartfonów, jak i akcelerometrów. Podobny endogeny charakter posiadają sensory wycielenia. One również mogą być częścią współpracującą z oprogramowaniem akceleratorów. Bazujący na zmianach temperatury (np. *Medria*) albo ciśnienia sensor, generuje sygnały dostępne nawet na specjalistycznych aplikacjach telefonów komórkowych, poprzez oprogramowanie wskazując czas pozostały do spodziewanego wycielenia (np. *SmaXtec*). Sam sensor wydalany jest wraz z płodem. Na marginesie omawiania technik śledzących aktywność krów, zaznaczyć należy, że nowoczesne oprogramowanie potrafi przeanalizować i zinterpretować dany parametr dla całego stada.

Tabela 1. Przykłady praktycznych narzędzi PLF dla bydła mlecznego

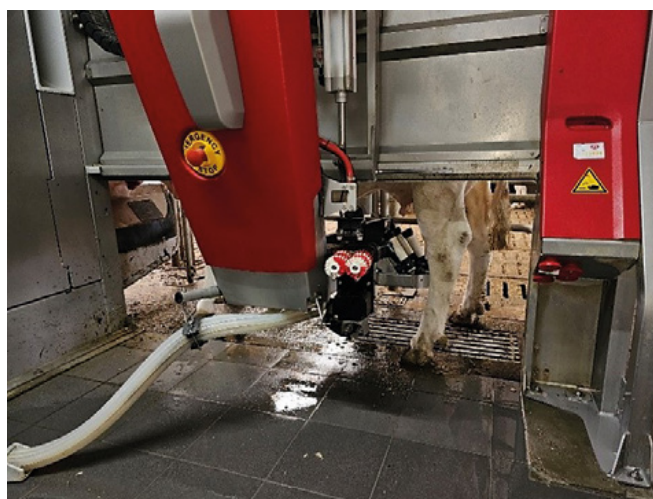
Zakres	Nazwa	Rodzaj	Metoda
Skład mleka	<i>AfiLab, Afimilk</i>	<i>In-line</i> skład mleka	NIR
LKS	<i>OCC, DeLaval</i>	LKS dla każdej ćwiartki	Fluorescencja UV
Punktowy wskaźnik Kondycji (BCS)	<i>DeLaval BCS</i>	Obraz, położenie punktów zadu	Obrazowanie 3D
Biomarkery metaboliczne	<i>Lattec</i>	Biomarkery w mleku	MIR
Zarządzanie stadem – behawior, ruja, czas pobrania paszy, zdrowie	<i>CowManager, SensOor, Herd navigator, Agis Automatisering, Cow Alert, IceRobotics, CowScout, GEA, Qwes Activity meter, RumiWatch, Itin+Hoch</i>	Transponder uszny, pedometr lub transponder barkowy	RFID, 3-osiowy akcelerometr
Kulawizny	<i>StepMetrix, BouMatic</i>	Platforma do chodzenia	Czas i nacisk powierzchniowy
	<i>Gaitwise, ILVO</i>	Mata z sensorami	Czas i nacisk powierzchniowy
Alert krycia	<i>Celotor</i>	Czujnik na uprząży, położenie ogona	RFID, SMS
Alert wycielenia	<i>Vel'Phone, Medria, iVET birth-monitoring</i>	Pomiar temperatury sromu	Termistor, SMS
	<i>Moocall</i>	Pierścień na ogonie	Akcelerometr
Funkcje żwacza	<i>eCow, Devon</i>	Bolus żwaczowy, pH, picie	RFID, phmetr, SMS
Wielofunkcyjny	<i>SmaXtec Sensor, SmaXtec Animal Care</i>	Bolus żwaczowy, pH, picie, temperatura, wycielenie itd.	RFID, akcelerometr phmetr, SMS
Lokalizacja, wielofunkcyjny	<i>WildCell, Lotek</i>	Transponder barkowy, uszny	GPS, RFID, akcelerometr, SMS

Źródło: Opracowanie własne.

Absolutnym przełomem w doju bydła mlecznego było zastosowanie w Holandii w 1992 r. pierwszego robota udojowego. Jeszcze w 2003 r. na całym świecie zainstalowanych było zaledwie 2200 takich systemów (*Automatic Milking System – AMS*). Obecnie ich liczbę szacuje się na 50 tys. sztuk (Marcos i in. 2020). Aktualnie w USA 5% stad krów używa tego systemu, podczas gdy w Kanadzie w ten sposób dojone jest 15% pogłowia. W szczególności w Europie AMS przyjął się bardzo szeroko (90% wyprodukowanych AMS) i oczekuje się, że do 2025 r. aż 50% krów mlecznych w EU-15 będzie dojonych w ten sposób. Roboty udojowe nie są już żadną nowinką techniczną, ale pozostają najbardziej szandarowym przykładem wdrożonego na szeroką skalę PLF. AMS (rys. 5) składa się z ramienia robota do automatycznego zakładania i zdejmowania

Precyzyjna produkcja zwierzęca

kubków udojowych, gdzie zamocowane są szczotki i dysze do mycia wymienia, laserowy czujnik położenia strzyków, oraz systemu furtek do kontrolowania ruchu krów, a także ESF dozującej paszę treściwą dla dojrzałej krowy. Kiedy kierowana fizjologią krowa zdecyduje się oddać mleko, odbiornik RFID odczytuje etykietę identyfikacyjną z transpondera umieszczonego na krowie i przekazuje tę informację do komputerowego systemu zarządzania stadem. Jeśli zwierzę było niedawno dojrzałe, to system nie zadziała.



Rys. 5. Robot udojowy

Źródło: Opracowanie własne, fot. J. Walczak.

W trakcie doju monitorowana jest każda z ćwiartek wymienia, co pozwala na odrzucenie mleka np. w przypadku wykrycia wysokiego LKS. Krowy o wysokiej mleczności mogą korzystać z robota nawet ponad trzy razy dziennie. W porównaniu z halą udojową daje to olbrzymie oszczędności nakładów pracy. Niektóre badania wykazały wzrost produkcji mleka od 2% do 12% u krów dojonych dziennie ponad dwukrotnie w AMS w porównaniu z krowami dojonymi w tradycyjnych halach udojowych (Jacobs, Siegford 2012). Zrobotyzowana technologia i czujniki, zwłaszcza te monitorujące zdrowie wymion, jakość mleka, stan reprodukcji, spożycie paszy i zmiany masy ciała, dostarczają wyczerpujących informacji o konkretnym zwierzęciu podczas każdego procesu doju. W związku z tym stan zdrowia i produkcji indywidualnego zwierzęcia może być scharakteryzowany na niespotykaną dotąd skalę. Zaawansowane technologicznie AMS sprawiają, że niezbędne jest użycie systemów wspomaganie decyzji (DSS), aby pomóc hodowcom w reagowaniu odnośnie do wczesnego wykrywania wszelkich produkcyjnych nieprawidłowości i chorób zwierząt.

Roboty udojowe nie są rozwiązaniem idealnym. Nadają się jedynie do zastosowania w stadach niekorzystających z pastwiskowania i żywionych według PMR. Oczywiście są przykłady zastosowania ich w innych warunkach, ale nigdy nie funkcjonują one wtedy w pełni efektywnie. Ekonomiczna efektywność stosowania AMS ujawnia się w gospodarstwach posiadających między 100 a 250 sztuk krów (Hansen i in. 2019). Można oczywiście multiplikować stacje w gospodarstwie, ale dla większych hodowli bardziej opłacalne są nowoczesne dojarnie karuzelowe. W końcu zakup robota prawie zawsze wiąże się z późniejszym zwiększeniem skali produkcji gospodarstwa.

Wczesne wykrycie kulawizny ma duże znaczenie w branży mleczarskiej. To jeden z czynników obniżających dochodowość w wielu gospodarstwach mlecznych, poprzez zmniejszoną reprodukcję, produkcję mleka i brakowania. Kulawizna jest uważana za trzecią pod względem ekonomicznego znaczenia chorobę krów mlecznych (Van Nuffel i in. 2015). Do identyfikacji kulawizn wykorzystuje się akcelerometrię (2D i 3D), pedometrię i krokomierze, rejestrujące wzorce ruchu zwierzęcia (AHDB 2016).

Na przykładzie wykrywania kulawizn warto zwrócić uwagę na symptomatyczną sytuację dotyczącą użycia różnych rozwiązań technicznych dla określania tej samej cechy. Kulawiznę można bowiem równie dobrze wykryć na podstawie ruchów głowy (kolczyki uszne), jak i analizy obrazu ruchu, krokomierzy, czujników tensometrycznych w podłożu czy analizy różnic w przyspieszeniach punktów i elektronicznych układów żyroskopowych. Podobnie ma się rzecz z identyfikacją rui krów. Pod względem kosztów produkcji przeoczenie terminu krycia ma dość duże znaczenie, stąd w praktyce używa się do tego celu hormonalnej synchronizacji rui bądź dedykowanych rozwiązań PLF. Ruję można wykryć zarówno za pomocą opasek zakładanych na ogon, jak i głównie pedometrów rejestrujących wzrastającą aktywność ruchową, a nawet analizując odgłosy pracy żwacza (akcelerometrię) czy ruchy głowy (tagi uszne).

W ramach etapu przygotowania mieszanek paszowych również znajdują zastosowanie techniki mikroprocesorowe. Samobieżne, zautomatyzowane wozy paszowe, wspomagane przez samoważące dozowniki paszowe, realizują w ściśle precyzyjny sposób odmierzanie poszczególnych materiałów paszowych, ale równie sprawnie zadają gotową mieszankę na stół paszowy, wykorzystując nie tylko znacznik laserowy, ale jeszcze kilka innych rodzajów, choćby do pozycjonowania w stosunku do krawędzi stołu paszowego. Takie samobieżne dozowniki mogą poruszać się nie tylko po zatopionej w podłożu metalowej szynie, ale także jak suwnica podwieszona pod stropem. Sama „kuchnia paszowa” też może być zaopatrywana przez autonomiczne frezy do pobierania kiszzonek (*Aura*). PLF jest wykorzystywana również w klasycznym pastwiskowaniu. W handlu dostępne są już stacjonarne czujniki śledzące tempo wzrostu runi albo drony o podobnym oprogramowaniu oraz pierwsze autonomiczne przyczepy samozbiegające (*Exos*). Biomasa pastwiska jest też komercyjnie wyceniana na podstawie zdjęć satelitarnych. W połączeniu z komercyjnym systemem „elektronicznego pastucha” (CSIRO, *eShepherd*, *Agersen*), wykorzystującym bodźce akustyczne albo elektryczne i ostrzegającym w ten sposób zwierzęta o zbliżaniu się do ogrodzenia, a nawet wirtualnych wygradzeń, uzyskuje się automatyczny system sterowania wypasem. Sprzęgnięte z akcelerometrami nadajniki GPS pozwalają nie tylko zlokalizować zwierzęta na pastwisku, ale także określić czas i miejsce ich przebywania oraz wyznaczyć trasę ruchu. System oparty na IoT pozwala nawet na automatyczny przepęd na nową kwaterę. Przykładowo, technologia wypasu *Nofence* składa się z obroży GPS zasilanej energią słoneczną i cyfrowej granicy wyznaczonej w oprogramowaniu. Obroża komunikuje się z aplikacją i portalem internetowym za pośrednictwem sieci komórkowej. Funkcja ogrodzenia opiera się tylko na GPS, ale zalecany jest również udział telefonii mobilnej w głównych częściach pastwiska w celu jeszcze precyzyjniejszego monitorowania i kontroli. Gdy zwierzę przekroczy wirtualną granicę, obroża *Nofence* zaczyna odtwarzać ostrzeżenie dźwiękowe, będące skalą tonów, od niskiego do stopniowo rosnącego, gdy zwierzę przekracza strefę graniczną. Jeśli cała skala została wyemitowana, generowany jest łagodny, ale skuteczny impuls elektryczny.

Precyzyjna produkcja zwierzęca

Opisana reakcja wymaga przyuczania zwierząt, a samo rażenie prądem jest problematyczne z punktu widzenia ich dobrostanu. W przypadku niektórych systemów wirtualnego ogrodzenia konieczna jest też instalacja masztów GSM, niezależnie od wbudowanego GPS. Przykłady innych systemów przeznaczonych do pastwiskowania to *Space*, *Pasture.io*, *C-Dax*, *eShepherd*, *Smartbow*, *AfiCollar* i *AfiActII*.



Rys. 6. Autonomiczny wóz paszowy

Źródło: Opracowanie własne, fot. J. Walczak.

Automatyczne podgarniacze paszy na stole paszowym (rys. 7) pozwalają na znaczne oszczędności czasu pracy i pomagają w zwiększeniu jakości mleka i wydajności o 1–3%. Podgarniacze wyposażone są w różnego rodzaju detektory umożliwiające pozycjonowanie się w oborze i w stosunku do krawędzi stołu paszowego.



Rys. 7. Automatyczny podgarniacz paszy

Źródło: Opracowanie własne, fot. J. Walczak.

Innym obszarem wdrażania PLF w chowie bydła mlecznego jest monitoring samego mleka. Współczesne systemy udojowe pozwalają na analizę w czasie rzeczywistym takich elementów, jak białko, tłuszcz, laktoza, krew, mocznik czy liczba komórek somatycznych (*mastitis*). Zakres ten może być rozszerzony o progesteron, LDH czy BHBA. Mleko o niewłaściwych parametrach może nawet zostać przekierowane do innego zbiornika. Obecnie często stosuje się akcelerometry w postaci obroży barkowych i kolczyków. Mierzą one czas i tempo przeżuwania, temperaturę, liczbę oddechów, a także aktywność ruchową, w trybie automatycznym (CEMA 2017a).

Monitorowanie przeżuwania, a w szczególności pH żwacza poprzez endogenne bolusy pomaga wychwycić wczesne stadia ketozy, kwasicy, *mastitis* i nawet czas wycielenia u poszczególnych zwierząt. *Mastitis* jest jedną z głównych przyczyn stosowania antybiotyków w gospodarstwach mlecznych, stąd PLF znacząco eliminuje ich stosowanie. Typowa diagnoza zapalenia wymienia odbywa się na podstawie analizy liczby komórek somatycznych (LKS, SCC), możliwej do wykrycia również przez odpowiednie czujniki w trakcie doju (Hovinen, Pyörälä 2011).

7. PLF a dobrostan zwierząt

Jak dotąd, PLF był kojarzony jedynie z pozytywnym oddziaływaniem na zdrowie i dobrostan zwierząt gospodarskich. W końcu w wypadku wszystkich jego wdrożeń zwierzę pozostaje w centrum uwagi i to ono powoduje natychmiastową reakcję systemu. W miarę upowszechniania się metod precyzyjnego chowu zaczęły się jednak podnosić głosy wskazujące bardziej na potencjalne niż rzeczywiste zagrożenia związane z nimi dla dobrostanu zwierząt. Według tych opinii PLF może bezpośrednio zaszkodzić zwierzętom z powodu awarii technicznych, błędnych algorytmów, utraty bezpośredniego nadzoru hodowcy i zbytniego uzależnienia od automatyzacji procesów. Pełna automatyzacja chowu może prowadzić do całkowitego uzależnienia się hodowcy od posiadanego wyposażenia. Nie chodzi tylko o odstąpienie od kontroli, która raz dziennie jest prawnym wymogiem, ale wręcz o utratę prostych umiejętności związanych z obsługą zwierząt. Uwarunkowane względami ekonomicznymi dążenie do uzyskania bezobsługowego stada może być powodem przekształceń w pomieszczenia, wyposażeniu i zarządzaniu, które będą nakierowane na wynik finansowy, a nie na zdrowie i dobrostan zwierząt, tak jak jest to już obecnie w chowie przemysłowym.

Jak każde rozwiązanie, techniczne systemy PLF mogą podlegać awariom, nie tylko w postaci braku działania, ale również błędów w działaniu. Przykładowo przerwy w dostawie prądu, błędy oprogramowania, awarie komputerów, zakłócenia transmisji sygnału, utraty znacznika mogą prowadzić do utraty zdrowia, cierpienia, głodu, pragnienia, stresu i ogólnego obniżenia dobrostanu zwierząt. Środowisko budynków inwentarskich nie jest idealne. Zapylenie, domieszki gazowe powietrza, gryzonie i owady nie są bez znaczenia dla funkcjonowania różnych narzędzi PLF, opartych przecież na działaniu różnorodnych sensorów.

Sama natura zwierząt też stać może na przeszkodzie do właściwego funkcjonowania rozwiązań PLF. Oparcie na zasilaniu elektrycznym większości rozwiązań precyzyjnych budzi obawy o oddziaływanie słabych pól magnetycznych czy prądów wirowych na zwierzęta. Około 20% loszek nie może nauczyć się korzystania z ESF. W przypadku krów mlecznych i AMS nie ma

Precyzyjna produkcja zwierzęca

takich doniesień, ale proces przyuczania niektórych osobników może potrwać kilka tygodni. Sam AMS eliminuje niektóre krowy z racji nieprawidłowości w budowie wymienia. Wybrane technologie mogą również odgrywać rolę w przenoszeniu patogenów, zwłaszcza w żywieniu i doju (Hovinen, Pyörälä 2011). Znaczniki, akcelerometry itp. przymocowane do zwierząt nie tylko mogą ulec zgubieniu, ale też przyciągnąć niechcianą uwagę i być powodem nękania ze strony innych osobników, szczególnie u drobiu i świń.

Algorytmy obsługujące systemy PLF mogą działać wadliwie w rzeczywistych warunkach produkcyjnych. Potencjalne przyczyny takiego stanu tkwią w sposobie ich opracowania z użyciem danych treningowych. Klasyczną wadą jest tu działanie według tzw. złotych standardów, które nie korespondują z rzeczywistymi odchyleniami. Nadmierne dopasowanie jest dobrze znanym problemem w aplikacjach sztucznej inteligencji (AI), w których model ma wysoką dokładność z danymi treningowymi, ale działa wadliwie w nowej, rzeczywistej sytuacji (słaba trafność zewnętrzna). Jeżeli zbiór danych szkoleniowych jest mniej zmienny niż warunki, w których system będzie stosowany, zewnętrzna walidacja systemu wyraźnie nie wystarcza. Dobrze znanym przykładem „nadmiernego dopasowania” jest zastosowanie algorytmu sztucznej inteligencji, który umożliwiał naukę odróżniania zdjęcia psów rasy husky od zdjęć innych ras. Powstały algorytm wykazał wysoką dokładność z danymi treningowymi, ale pozory były mylące, gdyż rozróżnienie dokonywało się na podstawie obecności śniegu. W praktyce okazuje się, że jedynie 5% akcelerometrów, tagów czy pedometrów do mocowania na zwierzętach zostało formalnie zatwierdzonych (Peake, Kerr, Sullivan 2018).

8. Podsumowanie

Opisane wyżej korzyści organizacyjne, ekonomiczne i środowiskowe sprawiają, że wykorzystanie precyzyjnych metod chowu zwierząt gospodarskich bezpośrednio odpowiada współczesnym wyzwaniom stawianym przed rolnictwem przez Europejski Zielony Ład i strategię „od pola do stołu”. PLF jest praktycznie jedynym sposobem pokrycia wyzwań żywnościowych, związanych z zapowiadaniem na 2050 r. wzrostem populacji do 9,6 mld ludzi. Oznacza to również konieczność wzrostu produkcji zwierzęcej o 50%, przy równoczesnym obniżeniu presji rolnictwa na środowisko, a w przypadku UE uzyskaniu zerowej emisyjności. Inteligentne rolnictwo nie bez powodu zatem zyskało miano „trzeciej zielonej rewolucji”, która *nota bene* rozgrywa się na naszych oczach. Jak każda inwestycja, także PLF wymaga stabilnej sytuacji rynkowej i rentowności produkcji, o co trudno w ostatnich latach. Mimo wysokich kosztów zakupu nowe technologie kuszą hodowców znaczącym obniżeniem kosztów produkcji i wejściem na wyższy poziom konkurencyjności ferm. Z całą pewnością wyzwaniem dla precyzyjnej produkcji zwierzęcej będzie łączenie różnych, istniejących w obrębie ferm rozwiązań i technik, baz danych oraz ich komunikacja. Taką integrację realizuje już rolnictwo 4.0. Niemniej istotny pozostaje nadzór nad danymi i zarządzanie nimi. Już obecnie część obsługi PLF i przetwarzania zgromadzonych danych odbywa się w tzw. chmurze, udostępnianej przez dostawcę wyposażenia. Podsumowując całość prezentowanej problematyki, podkreślić należy jej ważność i perspektywiczność. PLF jest już nie tylko kierunkiem badań multidyscyplinarnych czy rodzajem oferty

handlowej producentów wyposażenia ferm. Precyzyjne rolnictwo stało się bowiem elementem polityki rolnej na szczeblu krajowym i UE, gwarantując bezpieczeństwo żywnościowe i realizację celów klimatycznych. PLF i SA, ich rozwój i integracja wydają się przy tym naturalnym kierunkiem ewolucji rolnictwa w dobie globalnej cyfryzacji.

Literatura


- AHDB Dairy (2016). *Dairy Cow Mobility and Lameness*. <https://dairy.ahdb.org.uk/technical-information/animal-health-welfare/lameness> (dostęp: 29.05.2023).
- Alexandratos N., Bruinsma J. (2012). *World Agriculture towards 2030/2050: The 2012 Revision CEMA, 2015. Towards a New Strategic Agenda for the Common Agricultural Policy (CAP) after 2020*. ESA Working Paper No. 12 (June 2012).
- Andretta I., Pomar C., Rivest J., Pomar J., Lovatto P.A., Radünz Neto J. (2014). The Impact of Feeding Growing-Finishing Pigs with Daily Tailored Diets Using Precision Feeding Techniques on Animal Performance, Nutrient Utilization, and Body and Carcass Composition. *J. Anim. Sci.*, 92: 3925–3936.
- Berckmans D., Hemeryck M., Berckmans D., Vranken E., van Waterschoot T. (2015). Animal Sound... Talks! Real-Time Sound Analysis for Health Monitoring in Livestock. W: *Proceedings of the International Symposium on Animal Environment & Welfare*. Chongqing, China: 23–26.
- Berckmans D., Norton T. (2016). Precision Livestock Farming: Examples for Poultry. W: *Proceedings of the XXV World Poultry Congress*, 6–9 Sept. 2016. Beijing, China.
- Campbell D.L., Hinch G.N., Dyall T.R., Warin L., Little B.A., Lee C. (2017). Outdoor Stocking Density in Free-Range Laying Hens: Radio-Frequency Identification of Impacts on Range Use. *Animal*, 11 (1): 121–130.
- CEMA (2017a). *Digital Farming: What Does It Really Mean?* Brussels: European Agricultural Machinery, 13 February.
- CEMA (2017b). *Smart Agriculture for All Farms*. Brussels: European Agricultural Machinery Industry Association.
- Dyrektywa (1991). Dyrektywa EWG 91/676/EWG dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (Dz. U. UE L.1991.375.1).
- Dyrektywa (2016). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych zanieczyszczeń atmosferycznych, zmiany dyrektywy 2003/35/WE oraz uchylecia dyrektywy 2001/81/WE (Dz. U. UE L.2016.344.1).
- Hansen B.G., Herje H.O., Höva J. (2019). Profitability on Dairy Farms with Automatic Milking Systems Compared to Farms With Conventional Milking Systems. *Int. Food Agribus. Manag. Rev.*, 22: 215–228.
- Hartung J., Banhazi T., Vranken E., Guarino M. (2017). European Farmers' Experiences with Precision Livestock Farming Systems. *Animal Frontiers*, 7 (1): 38–44.
- Helwatkar A., Riordan D., Walsh J. (2014). *Sensor Technology for Animal Health Monitoring*. The 8th International Conference on Sensing Technology, Sep. 2–4, 2014. Liverpool: 266–271.
- Hovinen M., Pyörälä S. (2011). Invited Review: Udder Health of Dairy Cows in Automatic Milking. *J. Dairy Sci.*, 94: 547–562.
- IIASA (2012). *Emissions from Agriculture and their Control Potentials*. <http://gains.iiasa.ac.at> (dostęp: 29.05.2023).
- Jacobs J.A., Siegford J.M. (2012). Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *J. Dairy Sci.*, 95: 2227–2247.

Precyzyjna produkcja zwierzęca

- Kashiha M., Pluk A., Bahr C., Vranken E., Berckmans D. (2013). Development of an Early Warning System for a Broiler House Using Computer Vision Biosystems Engineering 116 (1): 36–45.
- Komisja Europejska (2017). Decyzja wykonawcza 2017/302 z dnia 15 lutego 2017 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do intensywnego chowu drobiu lub świń zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE. Bruksela, 21.02.2017 (Dz. U. UE L 43/231).
- Lasi H., Fettke P., Kemper H.G., Feld T., Hoffmann M. (2014). Industry 4.0. *Bus. Inf. Syst. Eng.*, 6: 239–242.
- Lee I., Lee K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises. *Bus. Horiz.*, 58: 431–440.
- Liu Y., Ma X., Shu L., Hancke G.P., Abu-Mahfouz A.M. (2020). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Trans. Ind. Inform.*, 17: 4322–4334.
- Marcos L., Filho S., Lopes M.A., Brito S.C., Rossi G., Conti L., Barbari M. (2020). Robotic Donning of Dairy Cows: A Review. *Semina: Ciências Agrárias*, 41: 2833–2850.
- Market Report (2019). *Global Precision Agriculture Market by Technology, by Component, by Application, by Region. Competition, Forecast & Opportunities, 2024*. <https://www.prnewswire.com> (dostęp: 29.05.2023).
- Market Research Report (2019). *Precision Farming/Agriculture Market Size, Share & Trends Analysis Report by Offering (Hardware, Software, Services), by Application (Yield Monitoring, Irrigation Management) and Segment Forecasts, 2019–2025*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/precision-farming-market> (dostęp: 29.05.2023).
- Martin T., Gasselin P., Hostiou N., Feron G., Laurens L. i in. (2021). *Robots and Transformations of Work on Farms: A Systematic Review*. The 2nd International Symposium on Work in Agriculture, March 2021, Clermont-Ferrand.
- MRiRW (2019). *Kodeks dobrej praktyki rolniczej w zakresie ograniczania emisji amoniaku*. Warszawa: Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi.
- Peake J.M., Kerr G., Sullivan J.P. (2018). A Critical Review of Consumer Wearables, Mobile Applications, and Equipment for Providing Biofeedback, Monitoring Stress, and Sleep in Physically Active Populations. *Front Physiol.*, 9: 743.
- Pena-Fernandez A., Nortona T., Tullob E., van Hertem T., Youssefa A., Exadaktylosa V., Vrankena E., Guarinob M., Berckmans D. (2016). Real-Time Monitoring of Broiler flock's Welfarestatus Using Camera-Based Technology. *Biosystems Engineering* 173 (2), 103–114.
- Pomar C., Remus A. (2019). Precision Pig Feeding: A Breakthrough toward Sustainability. *Animal Frontiers*, 9 (3).
- Rozporządzenie (2018). Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018 r., wprowadzające „Program działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Program azotanowy). (Dz. U z 12 lipca 2018 r. poz. 1339).
- Tu X., Du S., Tang L., Xin H., Wood B. (2011). A Real-Time Automated System for Monitoring Individual Feed Intake and Body Weight of Group Housed Turkeys. *Comput. Electron. Agric.*, 75: 313–320.
- UNECE (2015). *Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions*. United Nations, Economic Commission for Europe, Document nr ECE/EB.AIR/129.
- USDA ERS (2023). Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on U.S. Farms. *Economic Information Bulletin*, 248.
- Van Nuffel A., Zwervaegher I., Van Weyenberg S., Pastell M., Thorup V.M., Bahr C., Sonck B., Saeys W. (2015). Lameness Detection in Dairy Cows: Part 2. Use of Sensors to Automatically Register Changes in Locomotion or Behaviour. *Animals*, 5 (3): 861–885.
- Vranken E., Berckmans D. (2017). Precision Livestock Farming for Pigs. *Animal Frontiers*, 7 (1): 32–37.



Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

- Xin H., Liu K. (2017). Precision Livestock Farming in Egg Production. *Animal Frontiers*, 7: 24–31.
- Zehner N., Umstätter C., Niederhauser J.J., Schick M. (2017). System Specification and Validation of a Noseband Pressure Sensor for Measurement of Ruminating and Eating Behaviour in Stable-Fed Cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 136: 31–41.
- Zuidhof M.J., Fedorak M.V., Ouellette C.A., Wenger I.I. (2017). Precision Feeding: Innovative Management. *Poultry Science*, 96: 2254–2263.
- Viazzi S., Ismayilova G., Oczak M., Sonoda L.T., Fels M., Guarino M., Vranken E., Hartung J., Bahr C., Berckmans D., (2014). Image Feature Extraction for Classification of Aggressive Interactions Among Pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 104, June: 57–62.
- 



Rozdział II

Precyzyjne nawożenie mineralne

Abstrakt: Podstawowym zabiegiem agrotechnicznym mającym na celu zaspokojenie potrzeb żywieniowych roślin jest nawożenie mineralne. Niewłaściwie i w nadmiarze zastosowane nawozy mineralne nie są wykorzystane przez rośliny, pozostają w glebie, a następnie wypłukiwane są z wodami opadowymi do zbiorników wodnych. Nadmierne nawożenie powoduje stałe zachwianie równowagi w zawartości składników pokarmowych. Konsekwencją tego stanu jest znaczny spadek plonów.

Pomocne w dokonaniu redukcji nawożenia mineralnego okazują się rozwiązania techniczne i technologie, jakie oferuje rolnictwo precyzyjne. Jednym z nich jest technologia VRA (*Variable Rate Application*), oparta na zwartym systemie wykorzystującym dane z modułów GPS, numerycznych map oraz danych cyfrowych z prób glebowych. Zastosowanie technologii VRA w nawożeniu mineralnym wymaga wykorzystania rozsiewaczy wyposażonych w systemy sterujące i elementy wykonawcze umożliwiające automatyczną zmianę ilości nawozu, jaki podawany jest ze zbiornika na tarcze rozsiewające. Do precyzyjnego nawożenia konieczne są też niezbędne zasoby danych, na podstawie których określa się właściwości gleby i jej zasobność w składniki pokarmowe oraz zapotrzebowanie roślin na składniki niezbędne do uzyskania określonego plonu. Do technik tych zalicza się: pomiar wielkości plonu, skanowanie elektromagnetyczne gleby, próby glebowe, teledetekcję satelitarną lub z wykorzystaniem dronów.

Jak wykazuje praktyka, precyzyjne nawożenie pozwala na oszczędności w postaci mniejszego zużycia nawozów mineralnych oraz wyrównania plonów.

1. Wstęp

Podstawowym zabiegiem agrotechnicznym mającym na celu zaspokojenie potrzeb żywieniowych roślin jest nawożenie mineralne. Wraz z nawozami dostarczane są składniki w związkach chemicznych ulegających w glebie dysocjacji (Mazur 1999). Nawozy mineralne wpływają na polepszenie właściwości: fizycznych, fizykochemicznych, chemicznych oraz biologicznych gleby, jednakże ich stosowanie może mieć niekorzystny wpływ na środowisko. Niewłaściwie



Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

i w nadmiarze użyte nawozy mineralne nie są wykorzystane przez rośliny, pozostają w glebie, a następnie są wypłukiwane z wodami opadowymi do zbiorników wodnych. Nadmierne nawożenie powoduje stałe zachwianie równowagi w zawartości składników pokarmowych. Konsekwencją tego stanu jest znaczny spadek plonów (Piwowar 2011). Za racjonalnym stosowaniem nawozów mineralnych przemawiają aspekty ekonomiczne. Na przełomie ostatnich dwóch lat miał miejsce znaczny wzrost cen nawozów mineralnych (Okła-Wierzbicka 2023), co przełożyło się na wzrost kosztów uprawy. Stan ten skłania rolników do poszukiwania oszczędności w nawożeniu mineralnym, a podstawowym krokiem w tym kierunku jest redukcja zużycia nawozów. Ograniczenie nawożenia mineralnego wynika również z założeń Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ). Zgodnie z tą koncepcją straty składników pokarmowych mają zostać zmniejszone o co najmniej 50%, przy jednoczesnym zapewnieniu, że nie doszło do pogorszenia żyzności gleby. Takie działania pozwolą ograniczyć stosowanie nawozów o co najmniej 20% do 2030 r. (Tyszka 2021).

Pomocne w dokonaniu redukcji nawożenia mineralnego okazują się rozwiązania techniczne i technologie, jakie oferuje rolnictwo precyzyjne. Przede wszystkim koncepcje rolnictwa precyzyjnego, a także rolnictwa 4.0, zmieniają spojrzenie na pole uprawne jako zasób produkcyjny. Pole uprawne nie jest już traktowane jako jednostka homogeniczna, na której powierzchni aplikuje się tę samą dawkę nawozów mineralnych, a wręcz przeciwnie – na polu wyróżnia się strefy o różnej produktywności, a nawozy dozuje się w ilości dopasowanej do potrzeb roślin w danych strefach pola (Samborski 2018).

W koncepcji rolnictwa precyzyjnego, określanego także mianem rolnictwa 3.0, pojawia się pojęcie precyzyjnego nawożenia. Oznacza ono dopasowanie dawki nawozu do potrzeb danych roślin w określonej strefie pola. W tym celu wykorzystuje się wspomniane techniki satelitarne VRA. Funkcję zmiennego dawkowania nawozów umożliwiają znajdujące się w kabinie ciągnika terminale obsługujące nawigację GPS, które sterują pracą rozsiewaczy do nawozów (rys. 1).



30

Rys. 1. Konstrukcja nowoczesnych rozsiewaczy umożliwiająca aplikowanie zmiennych dawek nawozów z wykorzystaniem nawigacji satelitarnej

Źródło: Opracowanie własne, fot. Jacek Skudlarski.

Precyzyjne nawożenie mineralne

Podstawą precyzyjnego nawożenia jest poznanie przestrzennego zróżnicowania pola zarówno w aspekcie właściwości fizykochemicznych gleby, jak i zawartości próchnicy oraz składników pokarmowych w glebie (Samborski 2018). Właściwości gleby i zawartość w niej składników pokarmowych w koncepcji rolnictwa precyzyjnego ocenia się za pomocą metod wykorzystujących techniki satelitarne.

Zastosowanie technologii VRA w nawożeniu mineralnym wymaga użycia rozsiewaczy wyposażonych w systemy sterujące i elementy wykonawcze, umożliwiające automatyczną zmianę ilości nawozu podawanego ze zbiornika na tarcze rozsiewające.

Precyzyjne nawożenie wymaga też niezbędnych zasobów danych, na podstawie których określa się właściwości gleby i jej zasobność w składniki pokarmowe oraz zapotrzebowanie roślin na składniki niezbędne do uzyskania określonego plonu. Do technik tych zalicza się: pomiar wielkości plonu, skanowanie elektromagnetyczne gleby, próby glebowe, teledetekcję satelitarną lub z wykorzystaniem dronów. Do obróbki danych niezbędne są odpowiednie programy komputerowe, w których powstają mapy aplikacyjne, wskazujące dawki nawozów przyporządkowane indywidualnie każdej strefie pola (Gaj 2018).

2. Ocena właściwości fizykochemicznych gleby

Podstawą określenia optymalnych dla roślin dawek nawozów jest poznanie właściwości fizykochemicznych gleby, które mają wpływ na jej właściwości biologiczne, rozumiane jako różnorodność i aktywność form życia. Te natomiast wpływają na wielkość plonu.

Do istotnych właściwości fizykochemicznych gleby w odniesieniu do produkcji roślinnej należą: uziarnienie, struktura, zwięzłość, pH, stosunki powietrzno-wodne oraz zawartość materii organicznej (Samborski 2018).

Istotną właściwością gleby jest jej uziarnienie. Parametr ten jest ściśle skorelowany ze stosunkami wodno-powietrznymi. Znajomość uziarnienia jest niezbędna do oceny zasobności gleby w składniki pokarmowe oraz do wapnowania.

Ważnym parametrem opisującym właściwości gleb rolniczych jest gęstość gleby. Zmiany gęstości gleby m.in. w wyniku pracy sprzętu rolniczego przekładają się na zmiany porowatości ogólnej i rozkładu wielkości porów glebowych. Parametry te decydują z kolei o przestrzennym układzie wody glebowej i jej dostępności dla roślin oraz makro- i mikrodyfuzji tlenu w glebie. Od gęstości gleby zależy też strategia nawożenia. Poprawne obliczenie potencjalnej ilości danego składnika pokarmowego oraz dawek nawozów wymaga znajomości gęstości gleby (Samborski 2018).

Istotny wpływ na właściwości gleby ma zawartość materii organicznej, na którą składa się próchnica, resztki organiczne i biomasa. Materia organiczna ma wpływ na stosunki wodno-powietrzne w glebie, a także w znacznym stopniu wpływa na akumulację i gospodarkę składnikami mineralnymi. Materia organiczna sprzyja neutralizacji jonów zakwaszających glebę oraz innych związków, które mogą stanowić realne zagrożenie dla roślin i innych organizmów żywych (Brodowska 2023).

Inny parametr, którego znajomość potrzeby wypadku nawożenia mineralnego jest bardzo ważna, stanowi odczyn gleby (Samborski 2018). Właściwości fizykochemiczne gleby mogą być

Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

badane przez pobór prób glebowych, jednakże szybszą metodą jest wykorzystanie własności elektrycznych badanego materiału. Stąd popularny w rolnictwie precyzyjnym jest pomiar przewodności elektrycznej gleb (*Electrical Conductivity* – EC). Wartość ta wskazuje ścisły związek z zasoleniem gleby oraz jej wilgotnością. Na podstawie przewodności elektrycznej można oceniać również teksturę gleby, zawartość materii organicznej oraz kwasowość gleby (pH) (Samborski 2018).



Rys. 2. Analizy z wykorzystaniem skanera elektromagnetycznego pozwalające na dokładne wyznaczenie sektorów poboru prób glebowych

Źródło: Opracowanie własne, fot. Jacek Skudlarski.

Urządzenia dokonujące pomiaru przewodności elektrycznej w połączeniu z systemami nawigacji satelitarnej umożliwiają mapowanie tych wartości, w wyniku czego można identyfikować obszary o różnej kategorii agronomicznej gleby (rys. 2). Ponadto można sporządzać mapy pojemności wodnej (zdolność gromadzenia wody), co pozwala na wyznaczenie stref o wysokim ryzyku suszowym, mapy wskaźnika CEC (pojemność wymiany kationowej), który jest miarą zdolności gleby do gromadzenia składników pokarmowych dostępnych dla roślin. W wyniku takich analiz powstawać mogą również mapy zawartości materii organicznej, mapy uwarunkowań terenowych (skłony – kierunek, nachylenie), a przede wszystkim mapy stref pobierania prób gleby do analizy zawartości składników pokarmowych (Samborski 2018).

Do pomiarów przewodności elektrycznej gleby wykorzystuje się najczęściej zjawisko oporu elektrycznego (*Electrical Resistivity*) lub indukcji elektromagnetycznej (*Electromagnetic Induction*). Urządzenia do pomiaru tej wartości (konduktometry) mogą działać kontaktowo lub bezkontaktowo. Pierwsze z nich, dokonując pomiaru oporu elektrycznego, wykorzystują elementy

Precyzyjne nawożenie mineralne

pracujące w glebie. Najczęściej są to elektrody w formie talerzy, które zagłębiają się w gruncie. Urządzenia te najczęściej mogą być agregowane z ciągnikiem rolniczym, pojazdem terenowym lub quadem. Pomiar jest wykonywany automatycznie. Dane pomiarowe wraz ze współrzędnymi przesyłane są kablem łączącym instrument z rejestratorem danych.

Konduktometry bezkontaktowe wykorzystują zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Metoda polega na pomiarze wzajemnej indukcyjności dwóch obwodów elektrycznych, gdzie obwód magnetyczny zamyka się przez glebę. Urządzenia te są zbudowane z kilku par elektrod w postaci obracających się tarcz stalowych, płytko zagłębionych w glebie. Odległość między elektrodami decyduje o głębokości pomiaru (Kielbasa i in. 2020). Wiarygodność pomiarów przewodności elektrycznej dokonywanych na polu w dużej mierze zależy od poprawności ich wykonania. Ważnym warunkiem jest zachowanie właściwej prędkości. Szczególnie dotyczy to konduktometrów kontaktowych. W przypadku tych urządzeń nadmierna prędkość może powodować utratę kontaktu pomiędzy elektrodami (talerzami) a glebą, co może zakłócić wyniki pomiaru. W przypadku konduktometrów bezkontaktowych nadmierna prędkość skutkuje zakłóceniem utrzymania jednakowej wysokości urządzenia nad powierzchnią pola.

Istotną rolę odgrywają również warunki pogodowe, a dokładniej opady. Szczególnie dotyczy to urządzeń kontaktowych. Ważne też są kierunek jazdy oraz gęstość pomiarów. Ta ostatnia wartość jest uzależniona od zmienności pola. Im pole jest bardziej zróżnicowane, tym gęstość pomiarów powinna być większa.

Kolejnym wymogiem podczas skanowania pola jest kalibracja urządzeń (Samborski 2018). P. Kielbasa i in. (2020) proponują wygenerowanie współczynnika kalibracyjnego, który zminimalizuje wpływ czynnika wilgotności na interpretację danych i ekstrakowanie innych, istotnych dla produkcji informacji o glebie. Zgromadzone przez skanery glebowe dane pozwalają określić strefy pól, które wykazują największą zasobność lub deficyt składników mineralnych (Samborski 2018). Innym źródłem danych są mapy plonów pozyskane z kombajnów zbożowych i siewkarni.

3. Monitorowanie wielkości plonów

Mapowanie plonów jest bardzo ważnym elementem rolnictwa precyzyjnego. Pomiar wielkości plonów umożliwia kontrolę wydajności poszczególnych odmian, oceny efektów nawożenia i ochrony. Wieloletnie mapy są bardzo dobrym źródłem informacji o zmienności plonowania na danym polu. Pozwalają wskazać słabsze i mocne obszary pola, które w dalszej kolejności będą poddane szczegółowym analizom. Następnie mapy plonów są wykorzystywane do tworzenia map aplikacji nawozów i nasion (Dominik 2010, Skudlarski 2017, Samborski 2018). Mapy plonów są wykreślane na podstawie zbioru danych, uzyskiwanego automatycznie podczas pracy kombajnu zbożowego lub innej maszyny wyposażonej w czujnik plonu, np. siewkarni polowej. Niezbędnym wyposażeniem maszyny zbierającej jest odbiornik sygnału GPS, czujnik plonu oraz wilgotności wraz z modułem przetwarzającym i obrazującym obie wielkości na monitorze komputera pokładowego lub dodatkowego terminala.

Analiza wielkości plonu jest dokonywana w trybie ciągłych pomiarów. Polega ona na pomiarze masy, objętości lub prędkości przepływu czystego ziarna trafiającego do zbiornika kombajnu.

W przypadku siewczarki polowej punkt pomiarowy znajduje się w rurze wylotowej. Rejestracja jest wykonywana ze stałym interwałem, wynoszącym – zależnie od systemu pomiaru – do 10 sekund. Podczas pomiarów jest wyznaczany średni plon, obliczany przez dzielenie ilości zbieranej masy zarejestrowanej przez czujnik plonu z danej powierzchni jednostkowej. Jest ona iloczynem szerokości roboczej zespołu żniwnego maszyny i odległości, jaką pokonała ona pomiędzy poszczególnymi pomiarami. Odległość przebyta przez kombajn jest mierzona za pomocą sensorów umieszczonych przy kołach maszyny.

Równoległe z pomiarem plonu są rejestrowane współrzędne geograficzne każdego miejsca pomiarów za pomocą urządzenia GPS. Dodatkowo komputer pokładowy lub terminal rejestruje datę i czas pomiaru oraz indeks HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*) pozwalający na szacowanie dokładności odczytu pozycji przez odbiornik GPS. Podczas pomiarów jest uwzględniana także prędkość maszyny.

Przed rozpoczęciem procedury mapowania plonów zalecane jest wgranie do pamięci terminala dokładnych map przedstawiających obrysy pól. Czynność ta jest także przydatna podczas obróbki danych w specjalistycznych programach do tworzenia map plonu. Na wgranej do komputera pokładowego lub terminala mapie z obrysami pola zaznaczane są punkty pomiarowe z przypisanymi wartościami plonu i wilgotności masy. Jednocześnie są zarejestrowane ślady wytyczone przez kombajn. Zapisane w pamięci terminala (komputera pokładowego) dane są przenoszone do komputera z zainstalowanym oprogramowaniem do tworzenia map plonu. Jednocześnie w pamięci urządzenia jest zapisana nazwa pola, czas zbioru, powierzchnia, z której zebrano plon, ilość zużytego paliwa, nazwa maszyny zbierającej oraz dane operatora.

Po wczytaniu danych z komputera kombajnu do specjalistycznych programów GIS (*Geographical Information System*) następuje ich opracowanie metodami geostatystycznymi (interpolacje). Oprogramowanie usuwa błędy pomiarowe wynikające z pomyłek podczas kalibracji czujników plonu oraz zakłóceń odczytu pozycjonowania GPS. Efektem końcowym jest wizualizacja danych pomiarowych w postaci mapy plonu. Ma ona postać kolorowej planszy, na której barwy odpowiadają określonym przedziałom plonu z danej powierzchni jednostkowej.

Pomiar wielkości plonu jest dokonywany za pomocą różnych typów mierników. Są to urządzenia optyczne, ultradźwiękowe, elektroniczno-optyczne i wagowe. Zależnie od konstrukcji czujniki dokonują pomiaru ilości masy bezpośrednio na podstawie wagi lub pośrednio z uwzględnieniem objętości, gęstości i wilgotności masy. Rozpoczęcie zbioru z rejestracją plonu wymaga kalibracji czujników, od której zależy dokładność pomiaru. Jest ona wymagana ze względu na zbiór różnych gatunków i odmian roślin, które cechują zróżnicowane właściwości ziaren (masa, gęstość). W przypadku czujników mierzących plon na podstawie objętości i gęstości kalibracja tych urządzeń musi być przeprowadzona około trzech razy dziennie, m.in. ze względu na różną wilgotność ziarna w ciągu dnia. Prawidłowa kalibracja zapewnia dokładność pomiaru plonu na poziomie 5% (Dominik 2010, Skudlarski 2017, Samborski 2018).

Mapy plonów pozyskane z kombajnu i z siewczarki pozwalają ustalić różnice w obrębie pola oraz dokonać szczegółowej analizy skutków przeprowadzanych czynności uprawowych. Wraz z mapami przewodności elektrycznej gleby są one wskaźnikiem do wykonania prób glebowych.

4. Precyzyjne próby glebowe

W rolnictwie precyzyjnym podstawą nawożenia jest właściwe rozpoznanie przestrzennej zmienności zawartości form przyswajalnych składników pokarmowych poprzez zwiększenie ilości pobieranych prób glebowych. Na podstawie otrzymanych wyników zawartości przyswajalnych form składników pokarmowych do klas zasobności (wartości progowych) tworzone są mapy zasobności oraz mapy wysiewu nawozów (tzw. mapy aplikacyjne) (Dominik 2010).

Celem dokonywania prób glebowych jest ocena właściwości gleby w zakresie zawartości składników pokarmowych dla całego badanego obszaru. Z racji tego, że próby glebowe opierają się na metodzie badawczej mającej charakter niszczący, pobierane są próby reprezentatywne, czyli takie części populacji, które zachowują wszelkie właściwości całej jej struktury. Stąd też podczas jej poboru spełnione są dwa warunki: losowość i niezależność. W wypadku pierwszego warunku każda jednostka populacji (w tym przypadku fragment pola) ma jednakową szansę dostania się do próby. Zgodnie z drugim warunkiem dodawanie następnych jednostek do próby jest niezależne od pobranych wcześniej jednostek. W celu określenia liczby prób stanowiących próbę reprezentatywną wykorzystywane są wielkości statystyczne, takie jak odchylenie standardowe i wariancja. Są one niezbędne z tego powodu, że przy pobraniu tej samej liczby prób z dwóch pól można uzyskać podobny wynik średni zawartości składników pokarmowych, jednakże pola te mogą różnić się znacznie zmiennością składników pokarmowych (Skudlarski 2017).



Rys. 3. Pobór prób glebowych

Źródło: Opracowanie własne, fot. Jacek Skudlarski.

Wyróżnia się trzy metody poboru prób glebowych (rys. 3): metodę losową, metodę siatki oraz metodę zarządzania strefami. Dobór metody uzależniony jest od przewidywanej liczby prób glebowych, spodziewanej zmienności pola w zakresie zawartości składników pokarmowych, dodatkowych informacji, jak np. mapy plonów, a także możliwości finansowych. W metodzie losowej, stosowanej w Polsce, bardzo często z powierzchni 4 ha pobieranych jest od 15 do 20 prób. W celu zapewnienia reprezentatywności pojedyncze próby pobierane są dowolnym sposobem, najczęściej według toru ustalonego zygzakiem. Metodę tę cechują niskie koszty. Pozwala ona na określenie średniej zawartości składników, bez pomiaru ich zmienności. W metodzie siatki badane pole podzielone jest na równe obszary za pomocą siatki kwadratów o bokach 100 na 100 m. Punkty pobrania powinny być oddalone od siebie o 100 m, czyli jedna próba ogólna reprezentować będzie powierzchnię 1 ha. W punkcie poboru pobiera się co najmniej 10 prób pojedynczych, oddalonych od siebie o 3 m. Na polach o mniejszej zmienności glebowej dopuszczalne jest zmniejszenie gęstości pobrania prób. Wtedy to jedna próba przypada na 1,5 ha. Nie zaleca się pobierania prób rzadziej niż 2,5 ha.

Zaletą metody siatki jest dobre rozpoznanie zmienności glebowej, a także większy zasób informacji o właściwościach gleby i jej potencjale produkcyjnym, dzięki czemu redukuje się nadmiar aplikacji nawozów mineralnych oraz zwiększa się efektywność stosowania składników pokarmowych. Wadą tej metody są wysokie koszty poboru próbek i analiz w stacjach chemiczno-rolnych.

W metodzie strefowej pole podzielone jest na strefy na podstawie właściwości gleby lub uzyskiwanych plonów. Podział ten dokonywany jest za pomocą nawigacji GPS. Niezbędny jest tu zasób informacji dotyczącej właściwości pola, na podstawie których tworzone są strefy poboru prób glebowych. Takim źródłem informacji może być przewodność elektromagnetyczna gleby, pozwalająca uzyskiwać dokładne mapy zmienności fizycznej gleby. Umożliwiają one rozróżnienie na danym polu stref gleb bardziej związłych oraz stref, w których gleby są lżejsze. Na podstawie takich map można wyznaczać siatki stref poboru prób glebowych. W porównaniu z metodą siatki metoda zarządzania strefami uwzględnia zmienność przestrzenną pola, wymaga mniejszych niż metoda siatki nakładów pracy, a tym samym jest bardziej ekonomiczna. Jest ona jednak na początku czasochłonna, ze względu na konieczność ustalenia stref oraz nakładów finansowych na wdrożenie zarządzania strefami. Metoda ta wymaga również dużej znajomości pola oraz szerokiej wiedzy rolnika (Skudlarski 2017, Gaj 2018).

Procedura poboru prób najpierw zakłada utworzenie map pól, z których pobierane będą próby glebowe. Sporządzanie map obejmuje utworzenie obrysu pól oraz obliczenie ich powierzchni. Mapy tworzone są z wykorzystaniem nawigacji GPS oraz specjalistycznego oprogramowania. Czynność tę może wykonać operator pojazdu dokonującego poboru prób. Objeżdża on pole, tworząc jego obraz na urządzeniu GPS, a co za tym idzie – mierzy także jego powierzchnię. Następnie na polu, które widzi na wyświetlaczu urządzenia, ustala schemat i miejsca poboru prób zgodnie z wcześniejszymi założeniami, np. 10 nakłuc na jedną próbę zbiorczą z 1 ha. Na utworzonej mapie zostają naniesione siatki. W ten sposób pola zostają podzielone na strefy, zwane także rastrami. Każdy raster otrzymuje numer identyfikacyjny, któremu odpowiada także pobrana z rastru próba glebowa.

Poboru prób glebowych dokonuje automat z dziobakiem, który wykonuje nakłucie na głębokość 30 cm. To urządzenie może być zamontowane na pojazdach typu quad lub samochodach

Precyzyjne nawożenie mineralne

terenowych. Każdy pojazd wyposażony jest w urządzenie GPS. Dzięki temu operator pojazdu zna dokładnie swoją pozycję, a ściślej – pozycję zamontowanej na nim igły, która pobiera próbę gleby. Przystępując do pracy, operator po kolei odwiedza wszystkie miejsca na polu, gdzie pobiera próbki gleby, które wskazuje mu urządzenie naprowadzające. Operator każdą próbę zbiorczą pakuje do woreczka foliowego lub innego opakowania i dokładnie opisuje, z jakiego pola i miejsca została ona pobrana. Ostatnim etapem jest dostarczenie pobranego materiału do stacji chemiczno-rolniczej. W laboratorium stacji próby glebowe są suszone, mielone, a następnie poddawane analizie chemicznej według obowiązujących norm. Następnie są tam wykonywane analizy zawartości w próbkach poszczególnych makroelementów: fosfor (P_2O_5), potas (K_2O), magnez (MgO), odczynu gleby (pH) oraz, na życzenie klienta, mikroelementów typu: mangan (Mn), miedź (Cu), cynk (Zn), żelazo (Fe) czy bor (B). Na podstawie otrzymanych wyników opracowywana jest mapa zasobności gleby w poszczególne składniki (Skudlarski 2017, Gaj 2018).

5. Przygotowanie map aplikacyjnych

Wyniki badań uzyskane ze stacji chemiczno-rolniczych, uzupełnione innymi informacjami (m.in. przewodność elektromagnetyczna, historia plonowania i kondycji roślin), obrabiane są za pomocą specjalnych metod bilansowych, dzięki którym porównuje się rozchody składników pokarmowych (wynoszenie składników z plonem, straty składników w glebie) z przychodami (nawozy organiczne, opady atmosferyczne, resztki poźniwne przedplonu, uwalnianie się składników w glebie itd.). Dzięki cyfrowemu przepływowi danych oraz korelacji wyników badań z analiz i cyfrowo oznaczonych miejsc poboru gleby tworzone są dokładne mapy zasobności gleby w poszczególne składniki. Każda mapa powstaje w ustandaryzowanym procesie.

Ostatnim etapem jest tworzenie map aplikacyjnych w formacie cyfrowym, które są wykorzystywane w terminalach sterujących pracą rozsiewaczy. Po wybraniu przez rolnika uprawy (wyboru odmiany, przeznaczenia, oczekiwanego plonu) oraz rodzajów nawozów program określa potrzebną dawkę substancji nawozowej do zaaplikowania. Zaopatrzony w funkcję kalkulacji kosztów program może wspomagać wybór nawozu, generujący najniższe koszty zabiegu (Skudlarski 2017, Gaj 2018).

6. Specjalistyczne oprogramowanie mapowe

Niezbędnym elementem w technologii zmiennego nawożenia jest specjalistyczne oprogramowanie umożliwiające generowanie map zasobności i zmienności glebowej, na podstawie których tworzone są mapy aplikacyjne wprowadzane do pamięci urządzeń GPS sterujących pracą rozsiewaczy.

Zadaniem specjalistycznego oprogramowania jest optymalizacja nawożenia mineralnego poprzez dokładne określenie potrzeb nawozowych roślin uprawnych z uwzględnieniem zmiennej zasobności pól. Dzięki temu dawki składników pokarmowych są dostosowane do rzeczywistych potrzeb danej uprawy. W ten sposób są uzyskiwane wymierne efekty w postaci zmniejszenia

nakładów finansowych, głównie za sprawą oszczędności w nawozach, oraz niezwykle istotne korzyści środowiskowe, zmniejszające ryzyko przenawożenia upraw. Aplikacje nawozowe zapewniają także możliwość precyzyjnego, interwencyjnego nawożenia w miejscach problemowych (Skudlarski 2015, Gaj 2018).

Specjalistyczne oprogramowanie mapowe jest narzędziem wczytującym i edytującym różnego rodzaju mapy. Zawiera ono wiele baz danych, które pozwalają na opis i opracowanie wektorowe map ewidencyjnych całego gospodarstwa oraz pojedynczych pól uprawnych. W bazach programu gromadzone są dane rejestrów powierzchni i sposobów użytkowania gruntów z uwzględnieniem danych katastralnych. Działanie specjalistycznych programów polega na łączeniu map topograficznych, gruntowych, zdjęć lotniczych z zasobami informacji pozyskanych z urządzeń zamontowanych na ciągnikach i maszynach rolniczych oraz z danymi teledetekcyjnymi. Zaawansowane formuły, wykorzystując historię upraw, próby glebowe i inne informacje, umożliwiają zaprojektowanie nawożenia, precyzyjnie dostosowanego do planów produkcyjnych w gospodarstwie. Specjalistyczne oprogramowanie mapowe umożliwia przeprowadzenie kalkulacji całego zapotrzebowania na nawozy oraz przewidywanych kosztów nawożenia w skali całego gospodarstwa.

Najważniejszym elementem w rolnictwie precyzyjnym są dokładne mapy, wykonane z użyciem technik GPS i GIS, przedstawiające obrys pól w gospodarstwie. Oprogramowanie mapowe zawiera moduł, dzięki któremu użytkownik programu ma możliwość stworzenia cyfrowej mapy swojego gospodarstwa. Tworzenie obrysów zasiewów, czy działek ewidencyjnych odbywa się ręcznie lub poprzez importowanie z plików, w których są zawarte pomiary GPS. Dzięki wykorzystaniu technologii GPS możliwe jest wykonanie obrysu pola za pomocą aplikacji mobilnej, wystarczy uruchomić tryb rysowania pola i przejść lub przejechać wzdłuż granicy pola. Dostępnych jest wiele funkcji w trakcie wykonywania obrysu, takich jak: marginesy obrysu, różne tryby rysowania, usuwanie ostatnio dodanego punktu czy też uśrednianie już dodanych punktów. Urządzenia pomiarowe GPS rejestrują wszystkie punkty wzdłuż granicy działki rolnej i zapisują w pamięci współrzędne tych punktów. W taki sposób powstaje obrys działki rolnej, który potem jest transmitowany do oprogramowania mapowego. W specjalnej aplikacji następuje synchronizacja z ortofotomapami oraz mapami ewidencji gruntów. Taka aplikacja umożliwia porównanie działek ewidencyjnych z działkami rolnymi, wspomagając tym samym użytkownika w wypełnianiu wniosku o dopłaty obszarowe. Oparty na mapach gruntów moduł GIS pozwala na dzielenie pól pod zasiewy, dzięki czemu wgrywane są do programu mapy plonowania i analizowana wysokość plonu w konkretnych lokalizacjach (Gaj 2018, Skudlarski 2020).

7. Informacje uzupełniające na potrzeby nawożenia

38

Specjalistyczne oprogramowanie służące do tworzenia map aplikacyjnych nawożenia często zaopatrzone jest w moduły do obróbki danych pozyskanych metodami teledetekcji. Źródłem danych teledetekcyjnych mogą być zdjęcia satelitarne, wykonane z samolotów lub bezzałogowych pojazdów latających oraz obiektów naziemnych (np. N-sensory). Na podstawie analiz

Precyzyjne nawożenie mineralne

obliczonych wskaźników kondycji roślinności, produkcji biomasy oraz niedoborów wody można uzyskać precyzyjne informacje o zróżnicowaniu lokalnych warunków upraw, co pozwala na optymalne dawkowanie nawozów, środków ochrony roślin oraz właściwą gospodarkę wodną. Informacje dotyczące biomasy oraz kondycji roślin są szczególnie przydatne na potrzeby nawożenia azotowego.

Dane teledetekcyjne mogą być także pozyskiwane z dostępnych zasobów informacyjnych, takich jak platformy internetowe (np. SatAgro), zawierające bogaty zasób zdjęć sporządzanych codziennie przez przelatujące nad Ziemią satelity.

Na podstawie zdjęć satelitarnych można szacować lub prognozować straty w plonach zbóż, spowodowane wyleganiem roślin. Poszczególne cechy biofizyczne roślin najczęściej określa się według wskaźników roślinności, opracowanych na podstawie zakresu promieniowania widzialnego oraz podczerwieni. Najczęściej wykorzystywanym wskaźnikiem jest NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), który oblicza się jako stosunek różnicy odbicia w kanale podczerwonym i czerwonym do sumy odbicia w tych kanałach. Na jego podstawie zostaje oznaczona aktywność fotosyntetyczna roślin oraz stan struktur komórkowych. NDVI wykorzystywany jest do określania kondycji roślinności, etapu jej rozwoju, przewidywania plonów oraz ilości biomasy. Innym wskaźnikiem jest NDII (*Normalized Difference Infrared Index*), na podstawie którego oceniana jest kondycja wodna roślin. Metoda teledetekcji pozwala na oszacowanie współczynnika MSI (*Moisture Stress Index*), który określa stopień stresu wodnego roślinności. Podczas badań zakłada się, że roślina znajduje się w stresie, gdy temperatura jej powierzchni jest wyższa od temperatury powietrza. Na podstawie analiz obliczonych wskaźników kondycji roślinności, produkcji biomasy oraz niedoborów wody można uzyskać precyzyjne informacje o zróżnicowaniu lokalnych warunków upraw, co pozwala na optymalne dawkowanie środków ochrony roślin, nawozów oraz właściwą gospodarkę wodną. Badania teledetekcyjne można wykonywać bezpośrednio z powierzchni ziemi, samolotów, dronów oraz z przestrzeni kosmicznej, jak ma to miejsce w przypadku takich serwisów, jak np. SatAgro.

Na podstawie wskaźników NDVI i EVI, za pośrednictwem takich serwisów, jak np. SatAgro, można określić wielkość nawożenia azotem oraz optymalny czas zastosowania nawozów. Portale te pozwalają łączyć mapy zaimportowane z zasobów własnych użytkownika z aktualnymi wartościami indeksu stanu roślinności w celu sporządzenia map aplikacji nawozów mineralnych. Aplikacje umieszczone na platformach nie wyliczają i nie sugerują dawek nawożenia danej uprawy, natomiast umożliwiają zróżnicowanie poziomu nawożenia, zależnie od kondycji roślin w poszczególnych strefach pola. Rolnik zamawiający usługę sam określa dawki nawozów dla najsłabszych oraz najproduktywniejszych części pola (korzystając z innych zasobów informacji, m.in. map plonowania, map zasobności gleby w składniki pokarmowe itp.). Pracownicy serwisu dopasowują je proporcjonalnie do produktywności konkretnych stref. Farmer może także określić stałą dawkę nawożenia dla najmocniejszych stref oraz maksymalny poziom, o jaki może być ona zmniejszona w najsłabszych miejscach pola. Na podstawie tak zadanych wartości zostaje sporządzona mapa aplikacyjna nawożenia mineralnego (Skudlarski 2017).

W serwisach tego typu są zachowane informacje pozwalające na tworzenie wieloletniej historii zmienności plonowania i kondycji upraw, nawet z okresów znacznie poprzedzających

wprowadzenie technologii zmiennego dawkowania nawozów w gospodarstwie. Dzięki temu specjalistyczne programy mapowe umożliwiają dokładną identyfikację „słabych” miejsc pola, które przyczyniają się systematycznie do zróżnicowania plonów (Skudlarski 2020).

8. Precyzyjna aplikacja nawozów

Do precyzyjnego nawożenia niezbędne są maszyny z możliwością automatycznej regulacji dawki i szerokości wysiewu na podstawie informacji GPS. Obecnie wielu producentów rozsiewaczy oraz opryskiwaczy oferuje możliwość zakupu opcji elektronicznego sterowania dawką wysiewu (oprysku) z wykorzystywaniem nawigacji satelitarnej. W technologii VRA system zmiennej aplikacji nawozów składa się z komputera polowego z GPS i oprogramowaniem, który jest sprzężony z komputerem rozsiewacza.

Do systemu VRA jest wprowadzana, przygotowana wcześniej na komputerze, mapa aplikacyjna z przydzielonymi odpowiednio dawkami. W czasie zabiegu GPS podaje dokładne położenie na polu, dzięki czemu system VRA przekazuje do sterownika rozsiewacza informację o dawce przydzielonej dla tego miejsca. W ten sposób nawóz automatycznie zostaje wysiany w zaplanowanych ilościach.

Nowoczesne rozwiązania sterujące pracą rozsiewaczy oprócz funkcji VRA skupiają w jednym urządzeniu inne przydatne opcje, takie jak np. prowadzenie równoległe, zakładanie ścieżek przejazdowych, automatyczna zmiana szerokości wysiewu, wyłączanie poszczególnych sekcji (Skudlarski 2022).

9. Precyzyjne nawożenie azotem z wykorzystaniem urządzeń typu N-sensor

W rolnictwie precyzyjnym do oceny stopnia odżywienia roślin azotem stosowane są również urządzenia montowane na ciągniku lub na innych maszynach rolniczych (np. samobieżne opryskiwacze), które poprzez odbicie światła (w zakresie widzialnym i podczerwieni) oceniają barwę liści i na tej podstawie szacują zapotrzebowanie roślin na azot (Hołownia 2019, SatAgro 2021).

Obecnie na świecie najbardziej znanymi urządzeniami oceniającymi barwę liści (a właściwie całego łanu roślin), określanymi mianem N-sensorów, są: *Crop Sensor Isaria* (niemieckiej firmy Agrocom Claas), *CropCircle* (amerykańskiej firmy Holland Scientific), *GreenSeeker* (amerykańskiej firmy NTech), *N-sensor* (norweskiej firmy Yara) oraz *OptRx* (amerykańskiej firmy Ag Leader Technology).

W rozwiązaniu *Crop Sensor Isaria*, bazującym na technologii ISOBUS i współpracującym z urządzeniami GPS, zastosowano dwa czujniki optyczne ułożone w dwóch głowicach. Są one rozmieszczone z prawej i lewej strony ramienia montowanego na przednim TUZ ciągnika. Pomiar odbywa się poprzez pionową emisję światła w podczerwieni, które zależnie od warunków emitowane jest z częstotliwością od 10 do 800 razy na sekundę. Na podstawie pomiarów ustalane są dwa indeksy: IBI – indeks biomasy oraz IMRI – indeks wegetacyjny (zawartość chlorofilu),

Precyzyjne nawożenie mineralne

które później wykorzystywane są do ustalenia precyzyjnej dawki nawozu. Korzystanie z dwóch indeksów znacznie poprawia optymalizację dawki azotu.

Na podobnej zasadzie działa N-sensor norweskiej firmy Yara. Pomiar jest wykonywany co sekundę, przez system przygotowany do pracy ciągnika w zakresie prędkości przewidzianym do wykonania zabiegu nawożenia. Informacja z czujników przekazywana jest do specjalnego komputera, który oblicza rzeczywisty pobór azotu przez uprawę. Proces określenia wymaganej dawki azotu dla uprawy odbywa się w czasie rzeczywistym.

Technologia *GreenSeeker* polega na wyznaczeniu wskaźnika NDVI zarezerwowanego do niedawna jedynie dla technologii wykonywania zdjęć satelitarnych czy lotniczych. W trakcie pomiaru zapisywanych jest wiele punktowych odczytów, pozwalających precyzyjnie określić wielkość wskaźnika NDVI w każdej strefie pomiaru. Następnie dla każdej strefy zostaje określona i zapisana zalecana dawka nawozu do wydatkowania, odpowiednio modyfikowana przez centralny układ sterujący systemem. Zalecenia nawozowe są oparte na określeniu potencjalnej ilości przyswajalnego azotu w glebie i możliwości jego pozyskania przez rośliny (Hołownia 2019, SatAgro 2021).

Urządzenie *OptRx* amerykańskiej firmy Ag Leader Technology gromadzi dane w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem zjawiska odbicia wiązki świetlnej. Źródłem światła są trzy specjalistyczne emiterzy oparte na technologii LED. Działanie *OptRx* polega na pracy trzech odrębnych czytników optycznych pracujących w specyficznych dla siebie długościach światła. Ma to na celu uzyskanie precyzyjnego odczytu każdej z długości fal. Po zebraniu danych system przypisuje roślinom wartość indeksu opartego na biomase roślin oraz zawartości azotu. Czujniki *OptRx* korzystają zarówno z indeksów NDVI, jak i NDRE, co pozwala na otrzymanie dokładnych informacji o wigorze roślin na każdym etapie wzrostu. W opinii producenta indeks NDVI sprawdza się na wczesnym etapie rozwoju, gdy między roślinami widoczna jest gleba. Ponadto nie nadaje się on do oceny zdrowia roślin. Indeks NDRE pozwala uzyskać informacje bardziej skorelowane z ilością żywej biomasy, co w nawożeniu np. na kłosa ma szczególną zaletę, ponieważ dawka azotu może być prawidłowo dobrana. Zmniejsza to prawdopodobieństwo niedoszacowania, a tym bardziej przeszacowania ilości potrzebnego azotu (Hołownia 2019, SatAgro 2021).

10. Nowoczesne rozsiewacze do nawozów

Nawożenie w systemie rolnictwa precyzyjnego nie jest możliwe bez rozsiewaczy dostosowanych do aplikowania zmiennych dawek nawozów na podstawie map aplikacyjnych (rys. 4). Od konwencjonalnych rozsiewaczy różnią się one głównie zastosowaniem w nich rozwiązań, które pozwalają w trybie automatycznym zmienić ilość nawozu, jaka ze zbiornika dostaje się na tarczy wysiewające, a także automatyczną zmianą szerokości roboczej wysiewu nawozów (Skudlarski 2022).

W rozsiewaczach dostosowanych do pracy w systemie rolnictwa precyzyjnego ilość wysypanego na tarczę nawozu jest regulowana zasuwą uruchamianą za pomocą siłownika elektrycznego sterowanego z komputera pokładowego. Takie rozwiązanie stosuje większość głównych producentów rozsiewaczy. W maszynach czołowego krajowego producenta rozsiewaczy dostępny

Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

jest system wysiewu, w którym nawóz na tarcze jest podawany przez napędzany hydraulicznie podajnik ślimakowy. Dawka wysiewu jest regulowana przez zmianę obrotów tego urządzenia sterowaną elektronicznie.



Rys. 4. Konstrukcja nowoczesnych rozsiewaczy umożliwiające aplikowanie zmiennych dawek nawozów na podstawie map aplikacyjnych

Źródło: Opracowanie własne, fot. Jacek Skudlarski.



Rys. 5. Elementy robocze rozsiewacza umożliwiające automatyczną zmianę dawki wysiewu nawozów

Źródło: Opracowanie własne, fot. Jacek Skudlarski.

Precyzyjne nawożenie mineralne

Automatyczna zmiana zarówno dawki, jak i szerokości wysiewu jest możliwa dzięki układom elektronicznym instalowanym w nowoczesnych rozsiewaczach (rys. 5). Sercem tych układów są terminale pracujące w technologii *CAN-Bus* lub *ISOBUS*. Terminale kompatybilne ze standardem *ISOBUS* oferują więcej funkcji. Poza sterowaniem zespołami roboczymi rozsiewacza i obsługą nawigacji satelitarnej terminale umożliwiają dokumentowanie wykonanej pracy, jak np. wydajność, czas pracy, obsiana powierzchnia, zużycie paliwa czy wydatek nawozu ze skrzyni maszyny.

Ważnym elementem wyposażenia nowoczesnych rozsiewaczy do nawozów są systemy wagowe, w skład których wchodzi sensory, komputer oraz sterownik. System wagowy dokonuje pomiaru ubytku nawozu ze zbiornika z częstotliwością kilkuset pomiarów na sekundę. Dane z sensorów są przekazywane do komputera pokładowego. W ten sposób można znacząco zniwelować problem różnych właściwości fizycznych nawozu oraz wpływu wiatru poprzez dobór odpowiedniej prędkości granul. Rozwiązanie ponadto umożliwia automatyczną kalibrację maszyny. W trakcie pracy komputer odpowiada za zachowanie żądanej dawki wysiewu poprzez automatyczną regulację stopnia otwarcia zasuw i ilości przepływającego nawozu. W niektórych konstrukcjach rozsiewaczy stosowane są dodatkowe czujniki nachylenia, uwzględniające pracę na skłonach.

Ważną rolę w konstrukcjach nowoczesnych rozsiewaczy odgrywają układy umożliwiające dopasowanie szerokości rozsiewanego nawozu do kształtu pola. W klasycznych rozsiewaczach stosuje się uruchamiane ręcznie lub hydraulicznie limityery (strumienice), które powodują przekierowanie nawozu wyrzucanego przez tarcze. Konstrukcja tych urządzeń składa się z kwadratowej rury z umieszczonymi wewnątrz płytkami, które można przesuwac. Ponadto regulację szerokości roboczej rozsiewacza umożliwia zmiana długości łopatek i kąta ich ustawienia na tarczy. W rozsiewaczach wpisujących się w koncepcję rolnictwa precyzyjnego regulacja szerokości wysiewu nawozów odbywa się przez zmianę miejsca podawania nawozu na tarczę. W tym celu najczęściej stosuje się siłownik elektryczny, który uruchamia drugą zasuwę zmieniającą miejsce wysypu nawozu.

Innym rozwiązaniem jest rynienka spustowa uruchamiana siłownikiem elektrycznym, a także system, który dokonuje odwrócenia obrotów tarcz wysiewających.

Postęp technologiczny umożliwił wdrożenie do konstrukcji rozsiewaczy rozwiązań mających na celu zachowanie poprawnego rozkładu poprzecznego wysiewu nawozów. Układy te składają się z czujników znajdujących się za tarczami, których może być od kilku do kilkudziesięciu. Czujniki te działają niezależnie od siebie, kontrolując na bieżąco przewidywany rozkład poprzeczny rozsiewanego nawozu. Są one sprzężone z komputerem pokładowym, który na podstawie ich wskazań monitoruje proces wysiewu nawozu. Dodatkowym rozwiązaniem jest montowana na rozsiewaczu stacja pogodowa, mierząca siłę i kierunek wiatru. Układy te, w przypadku wykrycia rozrzutu odbiegającego od normy, w ułamkach sekundy dokonują korekty w systemie dozowania i zmieniają liczbę obrotów tarcz wysiewających (Skudlarski 2022).

11. Podsumowanie

Nawożenie mineralne jest podstawowym zabiegiem w uprawie roślin. Zarówno aspekty ekologiczne, jak i ekonomiczne obligują rolników do redukcji zużycia nawozów. Sposobem na to jest stosowanie zmiennych dawek do poszczególnych stref pola różniących się produktywnością, wynikającą ze zmiennych właściwości gleby, ukształtowania terenu itp. Aplikowanie zmiennych dawek jest możliwe dzięki rozwiązaniom, jakie oferuje rolnictwo precyzyjne. W tej koncepcji ilość nawozów aplikowana w danej strefie pola jest wcześniej określona i wyrażona w postaci map aplikacyjnych wgrywanych do pamięci terminali sterujących pracą rozsiewaczy.

Stworzenie mapy aplikacyjnej wysiewu nawozów wymaga zebrania danych dotyczących gleby, jak i zawartości w niej składników pokarmowych i próchnicy. W tym celu wykonuje się próby glebowe, które poprzedza skanowanie gleby z wykorzystaniem metod przewodności elektrycznej. Pozwala ono zidentyfikować strefy o różnej produktywności, co jest podstawą do poboru prób glebowych. Strefy pola są również identyfikowane według map plonu i teledetekcji satelitarnej.

Tworzenie map aplikacji nawozów wymaga zastosowania odpowiedniego oprogramowania, które integruje dane z różnych źródeł i badań. Specjalny program dopasowuje dawki nawozów do właściwości poszczególnych stref pola i potrzeb roślin. Praca rozsiewaczy oparta na mapach aplikacyjnych wymaga zamontowania w ciągniku rolniczym nawigacji satelitarnej z dokładnością min. +/- 30 cm. Ponadto pracujące w systemie rolnictwa precyzyjnego rozsiewacze muszą być wyposażone w sterowane elektronicznie elementy robocze, dozujące w trybie automatycznym nawozy ze zbiornika na tarcze wysiewające.

Jak wykazuje praktyka, dzięki precyzyjnemu nawożeniu można uzyskać oszczędności w postaci mniejszego zużycia nawozów mineralnych oraz wyrównania plonów.

Literatura

- Brodowska M. (2023). *Dlaczego materia organiczna w glebie jest taka ważna?* <https://www.wrp.pl/dlaczego-materia-organiczna-w-glebie-jest-taka-wazna/> (dostęp: 18.06.2023).
- Dominik A. (2010). *System rolnictwa precyzyjnego*. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Radomiu. <https://cdr.gov.pl/images/wydawnictwa/2010/2010SYSTEM-ROLNICTWA-PRECYZYJNEGO.pdf> (dostęp: 18.06.2023).
- Gaj R. (2018). *Precyzyjne nawożenie roślin uprawnych*. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Poznaniu <https://www.cdr.gov.pl/images/Brwinow/wydawnictwa/2018/PRECYZYJNE%20NAWOZENIE%20DODRUK%202018.pdf> (dostęp: 18.06.2023).
- Hołownia K. (2019). *Precyzyjne nawożenie: azotem „w dziesiątkę”*. <https://www.farmer.pl/technika-rolnicza/maszyny-rolnicze/precyzyjne-nawozenie-azotem-w-dziesiatke,86239.html> (dostęp: 18.06.2023).
- Kiełbasa P., Zagóra M., Jabłoński P., Koronczok J. (2020). Porównanie zróżnicowania przewodności elektrycznej gleby wykonanej urządzeniem Topsoil Mapper i jej charakterystyk penetrometrycznych. *Przegląd Elektrotechniczny*, 96 (1): 146–150.
- Mazur T. (1999). Rolnicze i ekologiczne znaczenie nawożenia organicznego i mineralnego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 467: 151–157.

Precyzyjne nawożenie mineralne

- Okła-Wierzbicka A. (2023). *Ceny nawozów 2023. Jakie notowania w Polsce i na świecie?* <https://www.agrofakt.pl/ceny-nawozow-2023-jakie-notowania-w-polsce-i-na-swiecie/> (dostęp: 18.06.2023).
- Piwowar A. (2011). Wybrane aspekty ekonomiczne i ekologiczne stosowania nawozów mineralnych w gospodarstwach rolnych. *Ekonomia/Economics*, 5 (17): 217–230.
- Samborski S. (red.) (2018). *Rolnictwo precyzyjne*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- SatAgro (2021). *Naziemne i satelitarne sposoby oceny odżywienia roślin azotem*. <https://agronomist.pl/artykuly/naziemne-i-satelitarne-sposoby-oceny-odzywienia-roslin-azotem> (dostęp: 18.06.2023).
- Skudlarski J. (2015). Specjalistyczne oprogramowanie mapowe. *Agromechanika*, 3: 40–45.
- Skudlarski J. (2017). Precyzyjne nawożenie mineralne. *AgroProfil*, 1: 100–103.
- Skudlarski J. (2018). Najnowsze rozsiewacze nawozów mineralnych. *Przedsiębiorca Rolny*, 4 (42): 100–103.
- Skudlarski J. (2020). Mapy aplikacyjne dla rozsiewaczy. *Wiadomości Rolnicze Polska*, 1–2 (161): 26–27.
- Skudlarski J. (2022). Nowoczesne rozwiązania w rozsiewaczach do nawozów. *Wiadomości Rolnicze Polska*, 1–2 (178): 26.
- Tyszka M. (2021). *Jaka czeka nas redukcja zużycia nawozów w ramach Zielonego Ładu?* <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/nawozy/jaka-czeka-nas-redukcja-zuzycia-nawozow-w-ramach-zielonego-ladu,112959.html> (dostęp: 18.06.2023).





Rozdział III

Precyzyjna uprawa gleby i systemy monitorowania jej stanu

1. Wprowadzenie

W 2022 r. liczba mieszkańców Ziemi przekroczyła 8 miliardów. Niektórzy badacze przewidują, że produkcja żywności będzie musiała wzrosnąć o ponad 70%, aby można było wyżywić całą populację w 2050 r. W krajach rozwiniętych wykorzystanie gruntów uprawnych zbliża się do swojej maksymalnej wydajności, dlatego rozwiązaniem może być optymalizacja dostępnych zasobów produkcji rolniczej. Podstawowym ograniczeniem w takiej optymalizacji jest znaczna dynamika zmian wymagań uprawy w czasie ich wegetacji oraz niejednorodne warunki środowiskowe. Prowadzi to do konieczności wykorzystania zasobów technicznych umożliwiających indywidualne podejście do wymagań każdej rośliny. Utrzymanie możliwie najlepszych warunków wzrostu roślin wymaga integrowania w sposób ciągły działania elementów diagnostycznych i wykonawczych w stosunku do pojedynczych roślin. Przedstawiane rozwiązania systemowe składają się z trzech segmentów: systemu pozyskiwania danych, systemu analizy i predykcji oraz elementów wykonawczych. Każdy z segmentów jest niezależnym rozwiązaniem technicznym, dopiero jednak wprowadzenie ich pełnej integracji pozwala na uzyskanie efektu synergii w procesie uprawy gleby.

W rozdziale omówiono współczesne rozwiązania zintegrowanych systemów uprawy gleby, oparte na wykorzystaniu trzech segmentów: pomiarowego, wykonawczego i sterującego, stanowiące współczesne podejście do utrzymania gleby w należytej kulturze i umożliwiające zachowanie jej zasobów plonotwórczych.

W przypadku segmentu pomiarowego omówiono podstawowe typy i rozwiązania czujników do pozyskiwania danych, takich jak: położenie, parametry uprawy i gleby oraz techniki bieżącego transferu danych do dalszych segmentów systemu.

W części omawiającej systemy analizy danych przedstawiono współczesne systemy przechowywania i analizy danych wykorzystujące, w zależności od potrzeb, drzewa decyzyjne lub sieci neuronowe, do prowadzenia wnioskowania i predykcji zdarzeń.



Precyzyjna uprawa gleby i systemy monitorowania jej stanu

Segment wykonawczy został omówiony na przykładzie konstrukcji semiautomatycznych lub autonomicznych robotów, wyposażonych w aktywne elementy umożliwiające prowadzenie precyzyjnych prac uprawowych i ochronnych. Przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne robotów polowych ze szczególnym uwzględnieniem systemów ich zasilania i zapewnienia bezpieczeństwa pracy. Omówiono współczesne rozwiązania elementów wykonawczych współpracujących z robotami i przeznaczonych do uprawy gleby. Niniejsze opracowanie przedstawia architekturę integrującą różne komponenty rolnictwa inteligentnego, które zapewniają dostęp do informacji w czasie rzeczywistym.

Uprawa roli jest fundamentalnym zabiegiem umożliwiającym poprawę plonowania wszystkich roślin użytkowych. Przeprowadzenie zabiegów uprawowych powinno umożliwić roślinie pobranie i przetworzenie jak największej ilości związków chemicznych zawartych w jej środowisku na bardziej złożone struktury, takie jak białko, polisacharydy, związki lignin, co w efekcie prowadzi do wzrostu plonów. Motorem napędowym tych przemian jest utrzymanie dostępności dla roślin uprawnych: energii słonecznej, nośników substancji odżywczych zawartych w glebie oraz ograniczenie konkurencyjnego wpływu innych roślin. W każdym z tych przypadków przez wiele lat wypracowano różne strategie tworzenia optymalnych warunków środowiskowych dla uprawnych roślin. Oprócz wymienionych wyżej czynników ostatnio pojawiło się pojęcie upraw konserwujących i regeneratywnych, czyli takich, które są ukierunkowane nie tylko na zwiększenie plonów, ale również na poprawę struktury gleby.

2. Współczesne technologie uprawy gleby

Jakość uprawy gleby – czyli kruszenie gleby i jej mieszanie – jest kluczowym czynnikiem wpływającym na habitat w agrosystemach (Bai i in. 2018, O'Brien, Daigh 2019). Zmiany struktury gleby z jednej strony są konieczne, z drugiej zaś wprowadzają ogromne zmiany w lokalnych mikrosystemach glebowych. Intensywne mieszanie i rozrywanie fragmentów spowodowane uprawą gleby wpływają na wilgotność i życie biologiczne zachodzące w glebie. Jednocześnie jest to zabieg o największej energochłonności. Od wielu lat prowadzi się badania nad uzyskaniem możliwie wysokiego wpływu dobroczynnej uprawy gleby i minimalizacji jej negatywnych oddziaływań. Podstawowym zabiegiem od dawna jest uprawa pługowa, prowadzona przez mechaniczne oderwanie fragmentów podłoża i ich odwrócenie, powodujące jej wymieszanie i pokruszenie. Zabieg ten nie jest jednak korzystny we wszystkich przypadkach.

W efekcie wieloletnich badań pojawiły się nowe rozwiązania łączące odpowiednie techniki uprawy i ochrony roślin w celu uzyskania efektu synergii. Badania prowadzone w różnych częściach świata wskazują (Kumar i in. 2017), że za zły stan gleby odpowiadają w głównej mierze: niedobór wody, niewłaściwa aplikacja składników pokarmowych oraz redukcja materii organicznej w glebie. Te właśnie czynniki stanowią główną przyczynę obniżenia plonów. Zachowanie możliwie dobrego stanu gleby leży u podstaw wprowadzenia pojęcia uprawy konserwującej. Polega ona na ograniczeniu lub całkowitym eliminowaniu liczby zabiegów destrukcyjnych dla gleby w postaci orki (Shiwakoti i in. 2019) oraz na utrzymaniu możliwie długo stałej okrywy roślinnej. Uprawa konserwująca sprzyja gromadzeniu się większej ilości pozostałości na powierzchni (Bu

i in. 2020), co wspomaga gromadzenie się materii organicznej w glebie i intensyfikację naturalnych procesów biologicznych (Kennedy i in. 2006).

Zainteresowanie wprowadzaniem upraw konserwujących jest związane z niekorzystnymi zmianami klimatycznymi, które – według przewidywań – spowodują wzrost temperatur o co najmniej 2°C w XXI w. i w konsekwencji negatywnie wpłyną na produkcję roślinną poprzez zwiększenie częstości pojawiania się stresów biotycznych i abiotycznych (Raza i in. 2019). Niekorzystne prognozy dotyczące zmiany klimatu w połączeniu z koniecznością wyżywienia rosnącej liczby mieszkańców globu oraz wprowadzenie ograniczeń stosowania chemicznych środków ochrony roślin wymagają oszczędnego gospodarowania zasobami w uprawach rolnych.

Uprawa konserwująca i regeneratywna to złożony zespół decyzji podejmowanych w celu zachowania lub odbudowy zasobów gleby, aby w dłuższej perspektywie ograniczyć obszar zdegradowanych gleb i w długim okresie zachować ich zasobność pomimo efektów związanych ze stopniową zmianą klimatu. Zadanie to jest jeszcze trudniejsze w systemach rolnictwa, w których nie przewiduje się stosowania chemicznych środków ochrony roślin (Melander i in. 2013). W tym bowiem przypadku dochodzi jeszcze zadanie związane z niechemiczną kontrolą rozwoju roślin oraz organizmów żywych wpływających negatywnie na plonowanie.

Wspomniana wcześniej uprawa konserwująca związana jest z pojęciem uprawy uproszczonej gleby, należy jednak zauważyć, że to ostatnie określenie jest tylko częścią uprawy konserwującej. W przypadku gleb zdegradowanych biologicznie konieczne są działania polegające na przywróceniu glebie jej pierwotnej wydajności przez regenerację jej zasobów. Potrzeba ta stała się podstawą do wprowadzenia pojęcia rolnictwa regeneratywnego. Jest to rozwinięcie pomysłu rolnictwa konserwującego przez zastosowanie technologii wprowadzającej do gleby dodatkowe składniki.

Wprowadzenie do gleby pozostałości roślin i wynikające z tego zwiększenie akumulacji składników pokarmowych oraz zwiększenie stężenia węgla (Nandan i in. 2019) pomogłoby w poprawie parametrów zdrowotności gleby. Założenie wprowadzenia i utrzymania w glebie większej ilości węgla leży u podstaw rolnictwa węglowego.

Właściwa uprawa gleby wymaga dobrej wiedzy o jej stanie oraz odpowiednich narzędzi do jej uprawy. Rolnictwo obecnie przechodzi transformację, która jest związana z dynamicznym wprowadzaniem technologii umożliwiającej szybki transfer danych pomiarowych i sterujących w podstawowych procesach produkcyjnych. Wprowadzone w rolnictwie technologie, skoncentrowane na zbieraniu i przetwarzaniu danych istotnych dla przebiegu procesów produkcji rolniczej, w aplikacjach chmurowych są opisane za pomocą kilku zbliżonych pojęć, takich jak: rolnictwo 4.0, cyfrowe rolnictwo lub inteligentne rolnictwo (Kamilaris, Kartakoullis, Prenafeta-Boldú 2017). Postępująca automatyzacja procesów pomiarowych w rolnictwie, gdzie wymiana zdalna danych zebranych z pól jest procesem ciągłym, zwiększa wymagania dotyczące szybkiego dostępu do nich oraz związanego z nim problemu ograniczonej wydajności magistrali przesyłowych, które nie są w stanie obsłużyć tak ogromnej ilości danych. Ponieważ do przesyłania danych wykorzystywana jest sieć GSM, dopiero powszechne wprowadzenie sieci 5G na pewien czas może rozwiązać ten problem. Niemniej przy tak dużej ilości danych otrzymywanych z czujników pomiarowych wprowadzane są systemy wstępnej filtracji mierzonego sygnału i jego lokalna weryfikacja przed przesłaniem do aplikacji analitycznych. Poważnym wyzwaniem jest również integracja danych pomiarowych uzyskanych z różnych systemów pomiarowych prowadzona

Precyzyjna uprawa gleby i systemy monitorowania jej stanu

bezpośrednio na maszynach uprawowych. Wprowadzenie układów kontrolnych i pomiarowych umieszczonych na maszynach uprawowych zmienia narzędzia pomiarowe, które często są stosunkowo proste, w samodzielne i autonomiczne stacje pomiarowe.

Autonomia i wnioskowanie lokalne leży u podstaw kolejnej rewolucji, która coraz częściej nazywana jest rolnictwem 5.0. Nadrzędną ideą tych zmian jest równoprawna współpraca ludzi i maszyn. W swojej istocie oznacza ona, że w gospodarstwach nadal przestrzegane są zasady rolnictwa precyzyjnego. Wykorzystywany jest sprzęt, który jest w stanie wykonywać bez nadzoru zabiegi technologiczne i autonomiczne oraz korzysta z lokalnych lub globalnych systemów wspomagania decyzji. Zatem rolnictwo 5.0 implikuje wykorzystanie robotów i niektórych form sztucznej inteligencji (Zambon i in. 2019).

3. Czujniki i sensory wykorzystywane w rolnictwie

Zastosowanie powszechnego dostępu do sygnałów GNSS i obniżenie kosztów transmisji danych przez sieci GSM, przy pełnej ich dostępności, było impulsem wprowadzania do maszyn uprawowych elementów automatyki. W przypadku automatyzacji w maszynach uprawowych istotne jest określenie położenia maszyny, a dokładniej jej elementu roboczego na polu. Wykorzystywane do tego są dane pozycjonujące (GNSS) od różnych dostawców (GPS, Glonass, Galileo). Ponieważ satelity umieszczane są na różnych orbitach, w wielu wypadkach korzystne jest łączenie sygnałów od kilku dostawców w celu utrzymania ciągłości sygnału pozycjonowania.

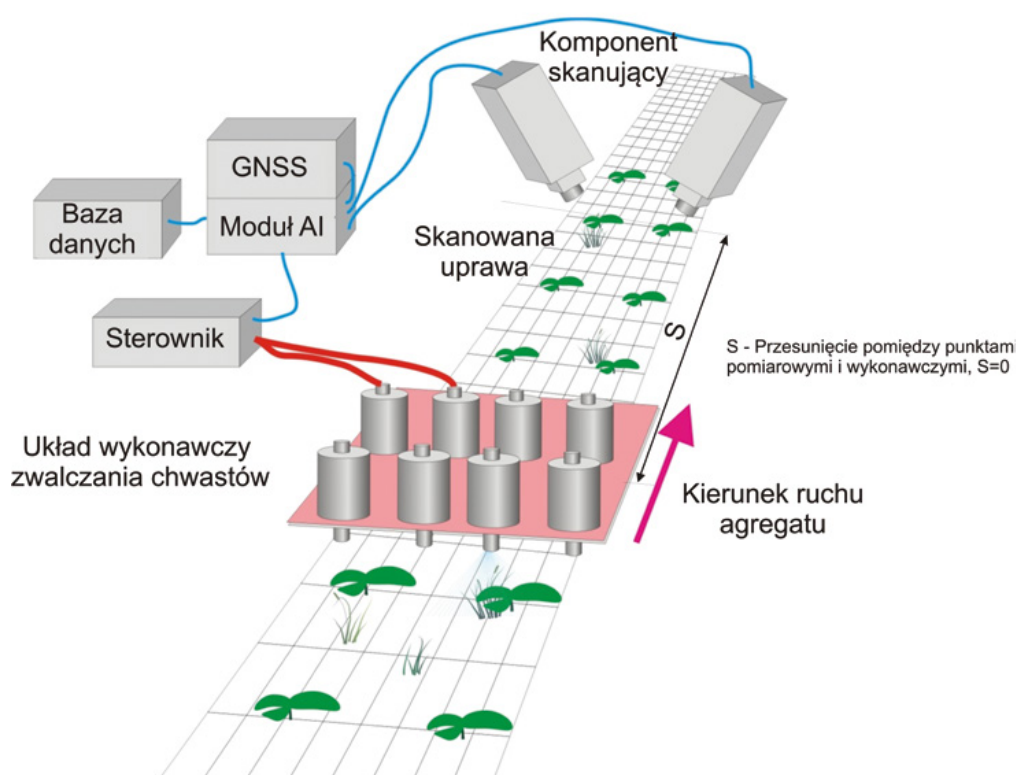
Tabela 1. Dopasowanie dokładności pozycjonowania do wykonywanych zabiegów

Dokładność	Odbiornik GNSS	EGNOS/ OmniSTAR	RangePoint RTX	OmniSTAR GNSS/XP	CenterPoint RTX	OmniStar HP/ RTK
	30–45 cm	20 cm	15 cm	10–12 cm	4 cm	2,5 cm
Zabieg	–	–	–	–	–	–
Opryski	•	•	•	•	•	•
Nawożenie	•	•	•	•	•	•
Uprawa	•	•	•	•	•	•
Mapowanie	•	•	•	•	•	•
Koszenie	–	•	•	•	•	•
Zbiór ziarna	–	–	–	•	•	•
Siew	–	–	–	•	•	•
Pielenie	–	–	–	–	•	•
Tworzenie redlin	–	–	–	–	•	•
Precyzyjne sadzenie	–	–	–	–	•	•
Uprawa pasowa	–	–	–	–	•	•

Źródło: (Ekielski, Wesolowski 2019: 208).

Współczesna uprawa gleby wymaga bardzo wysokiej dokładności pozycjonowania narzędzia. W tabeli 1 przedstawiono wymaganą dokładność pozycjonowania dla określonych zabiegów. Wymagana dokładność określenia pozycji np. dla pielienia wynosi 2–4 cm, wymagania te muszą być spełnione dla warunków pracy maszyn przemieszczających się z prędkościami do 3 km/h.

Właściwe i dokładne ustalenie pozycji narzędzia jest ważne, ale niestety często niewystarczające. Warunki środowiskowe i naturalny swobodny rozwój roślin powodują, że jeżeli siew został wykonany z wysoką precyzją, to warunki środowiskowe mogą zakłócić bezkolizyjne automatyczne prowadzenie upraw międzyrzędowych. W takich przypadkach konieczna jest weryfikacja stanu rzeczywistego położenia roślin uprawnych przez wprowadzenie do obwodu kontrolno-pomiarowego wizyjnego systemu nadzoru. System wizyjny (zobrazowania powierzchni) wykorzystuje kamery pracujące w zakresie światła widzialnego. Najprościej ujmując, system ma na celu wykrywanie statycznych i dynamicznych przeszkód na ścieżce maszyny oraz umożliwienie korekty prowadzenia maszyny najczęściej w przypadku deformacji redlin lub innych problemów zakłócających pracę maszyn uprawowych. Jest również używany do wykrywania rzędów upraw we wczesnej fazie rozwoju uprawy lub oceny zachwaszczenia uprawy. System wizyjny przedstawiony na rysunku 1 składa się z dwóch kamer wizyjnych pracujących w zakresie światła widzialnego, systemu analizy obrazu, systemu analizy przestrzennej GIS oraz elementów sterujących elementami roboczymi urządzenia lub maszyny.



Rys. 1. Schemat układu automatycznego zwalczania chwastów w uprawach z wykorzystaniem systemów wizyjnych. Objasnienia do rysunku: GNSS – Global Navigation Satellite System (system lokalizacji satelitarnej), AI – Artificial Intelligence (moduł wykorzystujący algorytmy sztucznej inteligencji do rozpoznawania roślin).

Precyzyjna uprawa gleby i systemy monitorowania jej stanu

Systemy wizyjne, aczkolwiek dokładne, wymagają dużych mocy obliczeniowych (Osipov i in. 2022). Z tego powodu często równoległe z nimi do określenia zakresu działania elementu uprawowego stosowane są tańsze rozwiązania, których zadaniem jest obliczenie odległości od roślin lub wyznaczenie śladu prowadzenia upraw. Rolę tę odgrywają czujniki radarowe lub ultradźwiękowe. W tabeli 2 przedstawiono podstawowe rodzaje technologii pomiaru odległości stosowane w maszynach rolniczych.

Tabela 2. Zestawienie najczęściej stosowanych technologii w czujnikach pomiaru odległości

Parametr	Czujnik ultradźwiękowy	Podczerwień	Laser	Czas propagacji (TOF)
Zasięg i zalety	1–250 cm Niedrogi, wrażliwy na temperaturę i ciśnienie, wrażliwe na inne roboty korzystające z tej samej częstotliwości, co może powodować błędy pomiarowe	5–80 cm	Od kilku do kilkudziesięciu metrów, w zależności od modelu	20 cm–14 m w pomieszczeniu (5–6 m w słońcu)
Kierunkowość	Stożek ok. 30°	Stożek ok. 5°	Najbardziej kierunkowy (około jednego stopnia, a nawet pół stopnia)	Stożek ok. 3°
Precyzja	Stosunkowo dokładny, ale dokładność maleje wraz z odległością, kątem pomiaru oraz warunkami temperatury i ciśnienia	Stosunkowo dokładny, ale dokładność maleje wraz z odległością	Dokładność do kilku centymetrów przy pomiarach kilku metrów	± 4 cm w trybie precyzyjnym
Koszt	Niedrogi	Niedrogi	Stosunkowo drogi	Niedrogi
Wrażliwość na zakłócenia	Wrażliwy na temperaturę i ciśnienie. Również wrażliwy na inne roboty korzystające z tej samej częstotliwości, co może powodować problemy w pracy	Wrażliwy na silne źródła światła zawierające wysoki poziom promieniowania podczerwonego, a także na kolor i rodzaj przeszkód	Nie można wykryć obiektów odbijających lasery (okna, chromowane przedmioty itp.)	Może być używany w wielu różnych środowiskach i na większości materiałów i powierzchni

Źródło: Opracowanie własne.

Czujniki ultradźwiękowe są wystarczającymi komponentami prowadzenia maszyn w przypadku możliwości dwustanowej sygnalizacji pojawienia się przeszkody, bez rozpoznania jej kształtu. Dlatego używane są one do szacowania i utrzymania stałej odległości od obiektów. Nie są stosowane do identyfikacji profilu przeszkody lub obiektu. Ich zastosowanie ograniczone jest również przez podatność na zakłócenia z innych przetworników ultradźwiękowych. Zastosowanie dalmierzy wykorzystujących promieniowanie w bliskiej podczerwieni, w warunkach

polowych ograniczone jest przez zakłócenia wprowadzane przez inne źródła promieniowania podczerwonego, np. światło słoneczne.

Najbardziej powszechnymi urządzeniami do rozpoznawania profilu, są czujniki laserowe. Na rysunku 2 przedstawiono laserowy wskaźnik krawędzi łąnu wykorzystujący obrotowy laser (Lidar).



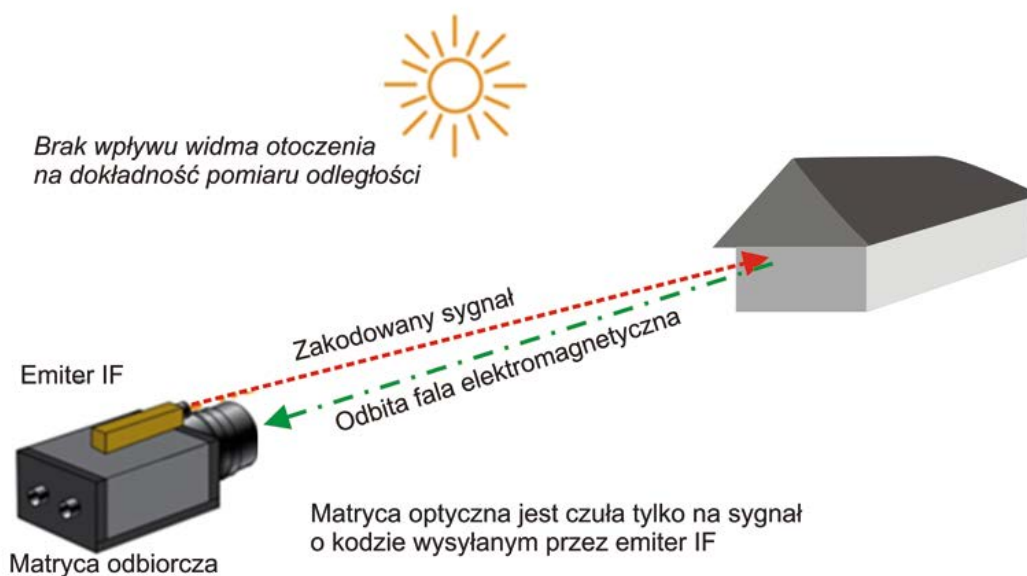
Rys. 2. Zasada kontroli przejazdu przez czujnik lidarowy zamontowany na kombajnie zbożowym

Źródło: Opracowanie własne, fot. A. Ekielski.

Lidar zbudowany jest z prostego dalmierza laserowego, który współpracuje z lustrem wykonującym ruch obrotowy w jednej lub dwóch płaszczyznach. Korelacja pomiędzy kątem wychylenia lustra i zmierzoną odległością zbioru punktów pozwala na określenie i budowę profilu odległościowego. Jego wadą jest ograniczenie wykrywania przeszkód odbijających światło (falę elektromagnetyczną). Najczęściej stosowaną odmianą profilomierza laserowego jest układ FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*) z czujnikami radarowymi o fali ciągłej z modulacją częstotliwości (*sampling 22 MHz*). Jest to system wykrywania wykorzystujący emisję mikrofalową, odpowiednią do zastosowań o krótkim zasięgu, takich jak kontrola głębokości roboczej lub ocena gleby przy kontroli przedsięwzięcia. Ma on przewagę nad czujnikami opartymi na urządzeniach optycznych lub ultradźwiękowych, ponieważ jest odporny na niekorzystne działanie elementów środowiska rolniczego, takich jak kurz i deszcz.

W ostatnich latach na rynku pojawiły się udoskonalone czujniki odległości TOF, pracujące w zakresie bliskiej podczerwieni. Ich podstawową zaletą jest wyeliminowanie wpływu rozproszonej emisji podczerwieni na wskazania czujnika. Schemat działania takiego czujnika przedstawiono na rysunku 3.

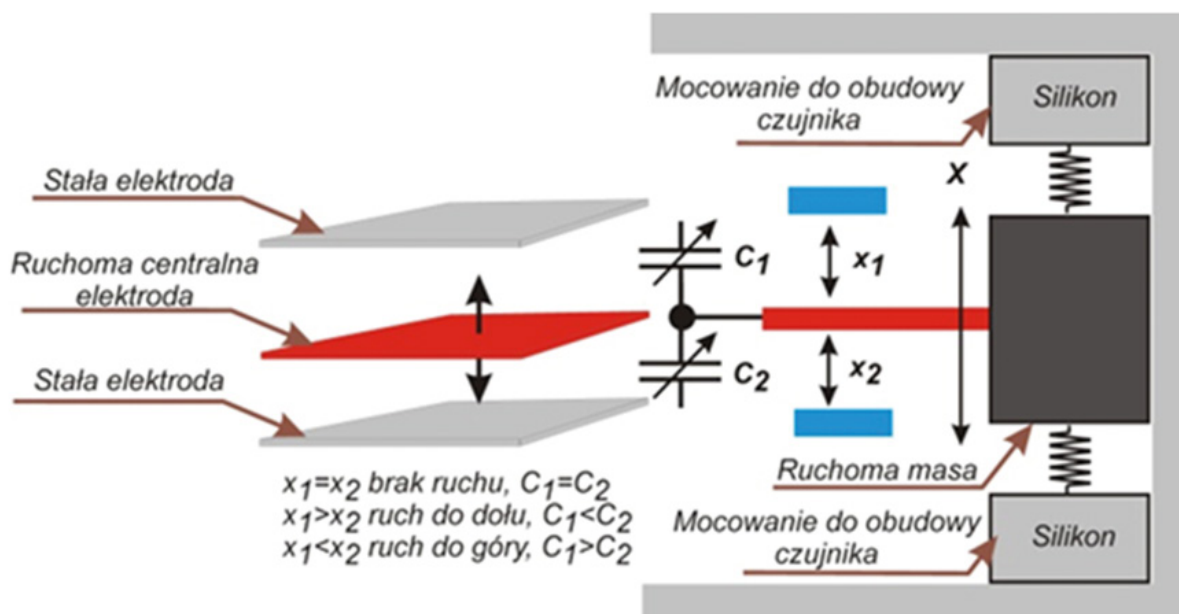
Precyzyjna uprawa gleby i systemy monitorowania jej stanu



Rys. 3. Czujniki identyfikacji profilu w technologii TOF – pomiaru czasu propagacji (*time of flight*)

Źródło: Opracowanie własne.

Ze względu na automatyzację wielu prac uprawowych, w elementach roboczych maszyn uprawowych zaczęto stosować czujniki przyspieszenia (akcelerometrów). Ich zadaniem jest wykrycie szybkich zmian położenia maszyny, np. przy zmianie kierunku narzędzia lub elementu roboczego. Stosowanych jest wiele rozwiązań konstrukcyjnych akcelerometrów. Na rysunku 4 przedstawiono akcelerometr pojemnościowy.



Rys. 4. Pojemnościowy czujnik przyspieszenia

Źródło: (Ekielski, Wesolowski 2019: 94).

Wykrycie wystąpienia przyspieszenia w jednej płaszczyźnie sygnalizowane jest zmianą pojemności dwóch kondensatorów, proporcjonalnej do wartości mierzzonego przyspieszenia. W przypadku czujników pracujących w układzie trójwymiarowym (3D), w jednej obudowie czujnika umieszczone są trzy akcelerometry, mierzące przyspieszenie dla każdej płaszczyzny.

4. Precyzyjne prowadzenie narzędzi uprawowych

4.1. Uwagi ogólne

Odbiór sygnału GNSS i automatyczne prowadzenie stało się praktycznie standardem w ciągnikach o średniej i dużej mocy. Umieszczenie odbiornika GNSS na ciągniku umożliwia aktywne sterowanie położeniem ciągnika, ale nie daje informacji o położeniu roboczym narzędzia. W miarę zwiększania dokładności układów pozycjonowania GNSS i rozwoju systemów sterowania wprowadzone zostały maszyny i urządzenia z samodzielną, aktywną korekcją położenia elementów roboczych. Należy pamiętać, że istotne dla prowadzenia uprawy jest położenie maszyny, a dokładniej jej elementu roboczego, a nie całego agregatu. Zamocowanie narzędzia za pomocą zaczepu ciągnikowego lub wykorzystanie trójpunktowego układu zawieszenia narzędzi (TUZ) zmienia geometrię ruchu narzędzia przy niewielkich nawet zmianach kierunku jazdy. Konieczne jest zatem korygowanie położenia narzędzia zawieszzonego na trójpunktowym układzie zawieszenia narzędzi (TUZ) np. w czasie jazdy po łuku lub wprowadzenie aktywnej kompensacji zmian w ukształtowaniu podłoża, lub wykrycie przez czujniki profilu braku prostoliniowości w rzędach upraw.

Prowadzenie narzędzi po wyznaczonej przez systemy rozpoznawania upraw ścieżce staje się standardem w szeroko rozumianym rolnictwie precyzyjnym. Ze względu na stopień skomplikowania systemu prowadzenia narzędzi, można wyróżnić dwie podstawowe grupy rozwiązań.

4.2. Pasywne prowadzenie narzędzi

Jest to rozwiązanie niewymagające specjalnej ingerencji w mechanizmy konstrukcyjne maszyn zaczepianych do ciągnika wyposażonego w odbiornik sygnału GNSS, za pośrednictwem klasycznego TUZ lub zaczepu. Jedynym nowym elementem jest odbiornik GNSS zamocowany nad elementem roboczym narzędzia.

System przetwarza dane dotyczące położenia zebrane z dwóch stacji GNSS zamontowanych zarówno na ciągniku, jak i narzędziu, a następnie automatycznie koryguje tor jazdy ciągnika w ten sposób, aby narzędzie zawsze pozostawało na zamierzonej ścieżce prowadzenia. Jest to bardziej ekonomiczny sposób rozwiązania problemu sterowania maszyną uprawową. W tym przypadku priorytetem jest właściwe położenie elementów roboczych narzędzia. Położenie ciągnika jest drugorzędne, co w pewnych okolicznościach może doprowadzić do niszczenia uprawy przez przemieszczający się ciągnik. Rozwiązanie to nadaje się do pracy, jeżeli mamy do czynienia ze stałym przemieszczeniem narzędzia roboczego względem toru jazdy ciągnika. Kluczowe jest odpowiednio trwałe mocowanie narzędzia do układu zaczepowego (Kunz, Weber, Gerhards 2015).

4.3. Aktywne prowadzenie narzędzi

Systemy te prowadzą narzędzie niezależnie od toru jazdy ciągnika. Aktywne prowadzenie osprzętu jest droższe, ale dodatkowa dokładność może być uzasadniona, jeżeli planuje się zwiększenie plonów przez stosowanie precyzyjnej uprawy gleby. Technologia opiera się na wyspecjalizowanych systemach automatycznego kierowania narzędziami, z których można wyodrębnić dwa główne rozwiązania (Gerhards i in. 2020): korekcję położenia zaczepu i korekcję położenia elementów roboczych.

Korekcja położenia zaczepu polega na hydraulicznym przestawieniu dyszla ciągnika lub zaczepu narzędzia na boki w celu prowadzenia narzędzia. Sterownik systemu reaguje na dane pozycji odbiornika GPS z samego narzędzia lub zamontowanego na maszynie układu optycznego lub czujnika LIDAR śledzącego położenie narzędzia względem np. bruzdy/redliny. Rozwiązanie aktywnego układu zwieszenia narzędzia przedstawiono na rysunku 5. Zastosowanie pomocniczej ramy wyposażonej w poziomo umieszczony cylinder hydrauliczny umożliwia przesunięcie narzędzia poprzecznie do kierunku jazdy, dzięki czemu standardowy trójpunktowy układ zawieszenia narzędzi jest w stanie aktywnie współpracować z systemem prowadzenia wzdłuż ścieżek przejazdowych. Zaletą rozwiązania jest zdolność do współpracy z klasycznymi maszynami biernymi.



Rys. 5. System prowadzenia narzędzi za pomocą aktywnego układu zawieszania narzędzi

Źródło: <https://ravenind.com/> (dostęp: 15.05.2023).

Ruchome zaczepy dają operatorowi większą kontrolę nad pozycją urządzenia i stopniem przesunięcia zaczepu względem osi ciągnika, nawet jeżeli elementy robocze narzędzia przemieszczają się w kierunku przeciwnym do ciągnika. Siłowniki dwustronnego działania dopasują

położenie narzędzia w obu kierunkach, aby zapobiec przedostawaniu się sprzętu do upraw i powodowaniu kosztownych uszkodzeń.

Jeżeli chodzi o korekcję położenia elementów roboczych, dzięki autonomicznemu sterowaniu lemieszem maszyny układ aktywnej kompensacji sterujący położeniem elementu skrawającego pozwala kształtować profil podłoża niezależnie od położenia ciągnika. Operator maszyny ma możliwość dokładnego sterowania głębokością pracy narzędzia. Na rysunku 6 przedstawiono rozwiązanie aktywnego prowadzenia ciągniętej równiarki. Maszyny takie spotykane są w rolnictwie np. na polach ryżowych do tworzenia idealnie płaskich poletek uprawowych. Zarówno ciągnik, jak i równiarka wyposażone są w stację lokalizacyjną GNSS. W ciągniku służy ona do wskazywania kierunku jazdy dla operatora. Stacja GNSS umieszczona w równiarce określa położenie ostrza roboczego w stosunku do poziomu morza. Niezależnie więc od tego, jak pofalowany jest teren, znając wysokość położenia odbiornika sygnału umieszczonego na maszynie od poziomu morza oraz położenie ostrza roboczego, możemy zmieniać jego położenie tak, aby jego odległość od poziomu morza była zgodna z oczekiwaniami. Oprogramowanie przewiduje możliwość tworzenia płaszczyzny o określonej pochyłości, jest to zatem bardzo dobre rozwiązanie np. dla kombajnów melioracyjnych, które układają drenaż o wybranym spadku, niezależnie od konfiguracji terenu. W porównaniu z układami laserowymi nie jest potrzebna widoczność promienia lasera, co rozszerza obszar pracy i sprawia, że system pozostaje nieczuły na wpływ pogody.



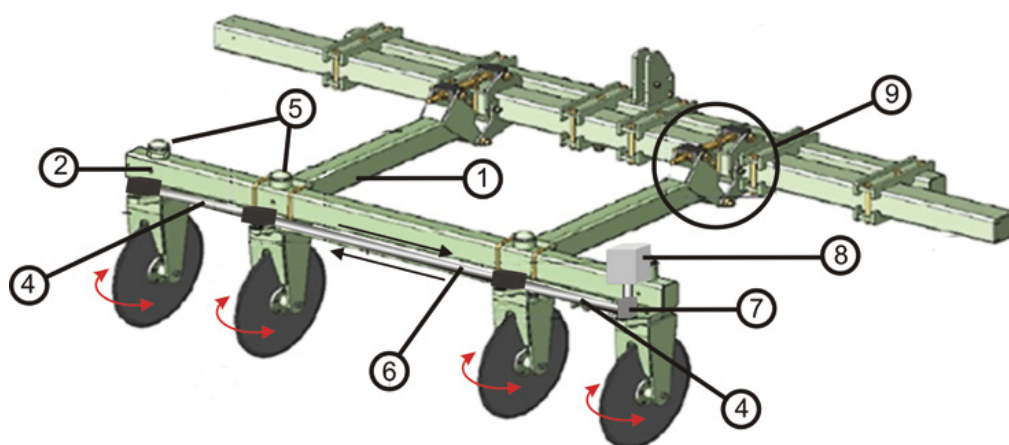
Rys. 6. Przykład rozwiązania pozycjonującego pionowe położenie narzędzia za pomocą dodatkowego odbiornika GNSS

Źródło: Opracowanie własne, fot. A. Ekielski.

Zgarniarka pracuje na dużych powierzchniach i jej zadaniem jest tylko utrzymanie właściwej głębokości pracy. W przypadku pracy urządzeń w międzyrzędziach, niezwykle istotne jest właściwe pozycjonowanie elementów roboczych w płaszczyźnie poziomej.

Precyzyjna uprawa gleby i systemy monitorowania jej stanu

Jednym z rozwiązań, przedstawionym na rysunku 7, jest system aktywnego pozycjonowania maszyny. W pewnym sensie działa on na podobnej zasadzie, jak system przedstawiony wcześniej, jest jednak aktywny względem innej płaszczyzny odniesienia. W zależności od wielkości i typu maszyny, za maszyną montowana jest co najmniej jedna tarcza lub koło sterujące ruchem narzędzia. W przypadku małych siewników i innych lekkich narzędzi często wystarcza jedna tarcza. Duże, ciężkie maszyny wymagają co najmniej dwóch elementów sterujących, które są połączone ze sobą za pomocą drążka.



Rys. 7. Zespół aktywnego prowadzenia narzędzia: 1 – rama montażowa, 2 – belka poprzeczna, 3 – obrotowe jarzmo prowadzące krój tarczowy, 5 – sworzeń obrotowy, obracający krotami, 4 i 6 – drążki poprzeczne, 7 – silownik przemieszczający drążki, 8 – czujnik położenia (GNSS), 9 – regulacja zagłębienia kroju

Źródło: Opracowanie własne.

Aktywny zespół prowadzenia narzędzia zbudowany jest z dodatkowej ramy podłączanej w tylnej części narzędzia. W tym przypadku kroje obrotowe pełnią funkcję kierownic sterujących położeniem narzędzia znajdującego się przed nim i zapewniają stabilne prowadzenie maszyny po podłożu.

5. Autonomiczne pojazdy polowe

5.1. Uwagi ogólne

Konsekwencją redukcji liczby osób zatrudnionych w rolnictwie oraz powrotu do zwiększonej pracochłonności prowadzenia upraw rolnych, np. przez eliminację ochrony chemicznej roślin, jest nieuchronna, szeroko rozumiana automatyzacja procesów produkcji w rolnictwie. Kluczowy dla rozwoju robotyki w rolnictwie stał się stały dostęp do bezprzewodowej sieci komputerowej, realizowany najczęściej przez systemy telefonii komórkowej GSM. Zdolność do szybkiej wymiany danych w połączeniu z wprowadzeniem stosunkowo tanich i niezawodnych czujników sprawia, że segment robotów przeznaczonych do prac w rolnictwie żywiłowo się rozwija, zwłaszcza w obszarze prac związanych z uprawą gleby. Wprowadzenie systemów

automatycznego prowadzenia w ciągnikach rolniczych było pierwszym krokiem do opracowania konstrukcji autonomicznych pojazdów do zastosowań rolniczych. Autonomiczne pojazdy polowe stanowią platformę dla mobilnych robotów rolniczych. Zatem autonomiczny pojazd, jeżeli zostanie połączony z robotem stacjonarnym, może stać się w pełni funkcjonalnym robotem (Rondelli i in. 2022).

Jednym z podstawowych problemów, z jakimi mierzą się konstruktorzy pojazdów autonomicznych, jest wybór źródła napędu. W czasach ograniczania emisyjności w rolnictwie pytanie o rodzaj napędu jest w pełni zasadne. Pomiar zapotrzebowania na energię wskazują, że autonomiczny pojazd o masie 500 kg, przemieszczający się po uprawianej glebie, potrzebuje przeciętnie 1 kW mocy (Gonzalez-De-Santos i in. 2017). Dlatego w przypadku pojazdów autonomicznych można zaobserwować stosowanie zarówno napędu elektrycznego, jak i napędu wykorzystującego energię wytworzoną w silniku spalinowym.

Obecnie na rynku funkcjonuje ponad 25 firm oferujących rozwiązania pojazdów autonomicznych, przygotowanych do uprawy gleby. W większości są to pojazdy z napędem elektrycznym. Pod względem aplikacyjnym jest to rozwiązanie wygodne, umożliwia bowiem zastosowanie jednego systemu napędu (elektrycznego) zarówno do napędu autonomicznej platformy, jak i napędu zamontowanych elementów robota. Elektryczny układ przeniesienia napędu charakteryzuje się łatwą realizacją bardzo precyzyjnego sterowania komputerowego, dobrą adaptacją do środowiska, łatwą konserwacją i dobrą niezawodnością. Napędy elektryczne generują siły i momenty z użyciem różnych silników elektrycznych do napędzania elementów wykonawczych, bezpośrednio lub poprzez przekładnię mechaniczną, w celu uzyskania różnych ruchów robota (Tu, Gai, Tang 2019). W projektowaniu platform mobilnych robotów rolniczych preferowany jest ruch silnika prądu stałego (DC), ze względu na dobre właściwości rozruchu i regulacji prędkości, płynny zakres regulacji prędkości, dużą przeciążalność i niski wpływ zakłóceń elektromagnetycznych (Nehme i in. 2021).

W przypadku napędu platformy za pomocą silnika spalinowego do napędu urządzeń instalowany jest dodatkowy układ zasilania elektrycznego lub system hydrostatyczny.

Zastosowanie techniki hydraulicznej zwiększyło stopień automatyzacji i przyczyniło się do popularyzacji maszyn rolniczych. Wykorzystanie technologii hydraulicznej jest wielopłaszczyznowe, zapewnia różnego rodzaju wsparcie techniczne dla maszyn rolniczych, takie jak regulacja, zasilanie i wspomaganie. Napędy hydrauliczne obejmują cylindry hydrauliczne do ruchu liniowego, silniki hydrauliczne do ruchu obrotowego i silniki wahliwe do ruchu wahlowego, które wraz ze zbiornikami oleju, pompami olejowymi, zaworami sterującymi i obwodami sterującymi tworzą hydrauliczny układ napędowy. W porównaniu z napędem układu elektrycznego jest on cięższy i wymaga staranniejszej obsługi (Yang 2022).

5.2. Roboty polowe – naziemne pojazdy autonomiczne

Pojęcie robota polowego jest bardzo ogólne, a jego definicja mówi o możliwości wykonywania nienadzorowanej pracy przez maszynę. Odnosi się ono do dwóch układów, które powinny działać wspólnie: pojazdu autonomicznego i robotów lub manipulatorów umieszczonych na przemieszczającym się pojeździe. Te dwa systemy mają wiele cech wspólnych, takich jak pewna

Precyzyjna uprawa gleby i systemy monitorowania jej stanu

autonomiczność działania oraz specjalistyczne oprzyrządowanie. Ze względu na konieczność wykonywania wspólnego zadania konieczna jest synchronizacja operacji realizowanych przez te dwa układy.

Roboty rolnicze są zaopatrzone w elementy wykonawcze (układy napędowe, sterownik, ramię robota, efektor końcowy), elementy umożliwiające percepcję otoczenia (radar, kamera) oraz inne elementy pomocnicze (Roshanianfard i in. 2020). Wydajność robocza robotów rolniczych zależy nie tylko od wydajności roboczej komponentów, ale także od zdolności koordynacji między systemami. Praktycznie w każdym robocie polowym można znaleźć cztery systemy umożliwiające jego płynną i pewną pracę:

- zespół czujników i przetworników wielkości służących do pozyskiwania danych: pozycji urządzeń (GNSS, RTK, GIS) pozwalających na geolokalizowanie miejsc odczytu danych pomiarowych oraz sensorów i czujników pomiarowych, takich jak systemy wizyjne, czujniki promieniowania podczerwieni i ultrafioletu, mierniki temperatury;
- elementy wykonawcze, fizycznie wykonujące wymagane operacje. W tej grupie mieszczą się silniki elektryczne, zawory pneumatyczne i hydrauliczne, siłowniki, jak również urządzenia pozwalające na realizację określonych prac, a zbudowane często z wielu wymienionych wcześniej elementów;
- układy przetwarzania i wymiany danych. Ta grupa urządzeń obejmuje komputery do analizy danych i uruchamiania prostych algorytmów pomagających systemowi w podejmowaniu prostych decyzji (stosowanie lub niestosowanie danego procesu, modyfikacja mapy stosowania procesu itp.);
- telematyczne systemy analizy danych. Są to rozwiązania wspierane przez zewnętrzne komputery, działające w sytuacji, kiedy potrzebna jest większa moc obliczeniowa lub wnioskowanie wymagające danych zebranych z kilku jednostek autonomicznych. Przetwarzanie w chmurze umożliwia korzystanie z usług dostępnych w chmurze (przetwarzanie, przechowywanie itp.), przy czym coraz większą zaletą są techniki *Big Data*. Wiele rolniczych zastosowań technologii *Big Data* już wprowadzono (Osinga 2021) i powinny być one obecne w przyszłych systemach robotycznych. Przykładem może być prognozowanie zmian warunków atmosferycznych lub zagrożenia suszą rolniczą.

Wydajne komputery mogą ponadto obsługiwać algorytmy sztucznej inteligencji (AI), traktując ją jako zdolność maszyny (komputera) do naśladowania inteligentnych działań człowieka (Emmi, Herrera-Diaz, Gonzalez-De-Santos 2022).

Techniki sztucznej inteligencji są również stosowane w celu zapewnienia pojazdom autonomii, dlatego autonomiczne roboty rolnicze wykorzystują powszechnie tę technologię. Systemy wizyjne, wcześniej wymienione, wykorzystujące narzędzia sztucznej inteligencji mogą pełnić następujące funkcje:

- wykrywanie statycznych lub dynamicznych obiektów w ich otoczeniu,
- wykrywanie upraw rzędowych do celów sterowania,
- identyfikacja roślin i lokalizowanie ich miejsc do pielenia, stanowiące główne przykłady obecnego wykorzystania technik sztucznej inteligencji w robotyce rolniczej (Bannerjee i in. 2018).

6. Wybrane współczesne elementy robocze stosowane do uprawy gleby

Do właściwego utrzymania gleby potrzebne są narzędzia wyposażone w odpowiednie elementy robocze. W zależności od konstrukcji narzędzia, a zwłaszcza jego części roboczych, gleba w procesie uprawy podstawowej jest spulchniana, zagęszczana, mieszana i kruszona. Znana powszechnie uprawa orkowa, polegająca na mieszaniu gleby przez jej odwracanie, jest uprawą niezwykle energochłonną i w wielu wypadkach również destrukcyjną dla gleby. W latach 70. ubiegłego wieku rozpowszechnił się sposób bezorkowej uprawy gleby. W metodzie tej nie wykorzystuje się pługa, a zabieg uprawy gleby jest ograniczony do niezbędnego dla produkcji roślinnej minimum, co znacznie osłabia erozję wietrzną i wodną gleby (Xu, Xu, Xie 2005). Obecnie jest ona jednym z obiecujących podejść do intensywnej uprawy gleby. Ogólnie technologia uprawy bezorkowej zakłada spulchnienie ziemi przez prowadzenie narzędzia w glebie powodującego jej samoistne pęknięcie pod wpływem nacisku elementu roboczego.

Wśród upraw bezorkowych, kojarzonych zwykle z terminologią uprawy uproszczonej, można wyróżnić dwa podejścia: pierwsze – uprawiane jest całe pole lub gleba spulchniana jest w miejscach rozwoju korzeni roślin; drugie – spulchnianie ograniczone jest do obszaru gleby, w której pobierane są składniki do rozwoju rośliny. Praktyczne wprowadzenie tej drugiej metody było możliwe dopiero dzięki zastosowaniu systemów umożliwiających dokładne określenie położenia narzędzia. Spulchnianie gleby w obrębie nasadzeń rośliny okazało się technologią znacznie redukującą nakłady energii w uprawie gleby. Ze względu na ograniczenia technologiczne, najbardziej popularnym rozwiązaniem w tym przypadku jest tworzenie pasów spulchnionego podłoża, zamiast punktowego spulchniania podłoża. Tego rodzaju uprawa nosi nazwę uprawy pasowej. Obniżenie oporów elementów roboczych w trakcie uprawy gleby pozwala na łączenie wielu operacji technologicznych. Dlatego obecnie praktycznie wszystkie zestawy do uprawy pasowej umożliwiają przygotowanie, siew i często nawożenie w systemie jednoprzjazdowym (Jaskulska, Jaskulski 2020).

Zastosowanie uprawy pasowej, z natury mniej energochłonnej, umożliwia wprowadzenie jej elementów do robotów rolniczych, chociaż należy przyznać, że większość rozwiązań stosowanych w robotach rolniczych, a związanych z uprawą gleby ma charakter zabiegów pielęgnacyjnych. Niemniej efekty stosowania systemów odchwaszczania są imponujące. Połączenie elementów mechanicznych z algorytmami głębokiego uczenia pozwala na uzyskanie za jednym przejazdem 85,91% skuteczności (Yang i in. 2022).

W 2021 r. firma Ekobot (<https://www.ekobot.se/contact>) wprowadziła rozwiązanie automatycznego pielniaka (rys. 8) z siłownikami elektrycznymi przeznaczonymi do mechanicznego zwalczania chwastów oraz spulchniania gleby w pobliżu sadzonek. Przy prędkości jazdy około 0,3 km/h sprawność usuwania chwastów wynosi około 58%, przy pojedynczym przejściu i 78% – przy dwukrotnym odchwaszczaniu.

Przedstawiony wyżej mechanizm pielący, wykonujący ruch posuwisto-zwrotny, charakteryzuje się wydajnością ok 0,06 ha/h pracy. Znacznie wydajniejsze są układy pielniaków wykorzystujące elementy toczne. Pielnik przedstawiony na rysunku 9 umożliwia uzyskanie wydajności 0,1 ha/h pracy.

Precyzyjna uprawa gleby i systemy monitorowania jej stanu



Rys. 8. Mechanizm wykonawczy robota przeznaczonego do pielęgnacji upraw rzędowych

Źródło: <https://www.ekobot.se/contact/> (dostęp: 20.05.2023).



Rys. 9. Pielnik z elementami obrotowymi

Źródło: <https://www.naio-technologies.com/en/home/> (dostęp: 20.05.2023).

Do autonomicznej nawigacji robotów rolniczych, oprócz standardowego systemu GNSS, zupełnie wystarczający jest tani półprzewodnikowy LiDAR 3D. Za wyższy poziom identyfikacji elementów odpowiada właściwy system dyskryminacji obiektów. Odpowiednio opracowany algorytm, wspierany rozwiązaniami sztucznej inteligencji, pozwala na identyfikację pojedynczej rośliny (Lou i in. 2022).

7. Podsumowanie

Wprowadzanie nowych rozwiązań w uprawie roli jest związane z dynamicznym rozwojem systemów pomiarowych i szybkiej transmisji danych. Obecnie roboty rolnicze mogą zastąpić człowieka w prostej produkcji rolnej, ale nadal nie spełniają wymagań złożonych operacji ze skomplikowanymi procesami agronomicznymi. Wraz z rozwojem robotyki i ciągłym doskonaleniem technologii przetwarzania obrazu badania autonomicznych robotów rolniczych pracujących na złożonych strukturalnie polach uprawnych stały się aktualnym przedmiotem wielu badań.

Literatura

- Bai Z., Caspari T., Gonzales M.R., Batjes N.H., Bunemann E.K., Goede R., Brussard L., Xu M., Ferreira C.S.S., Reitam E. (2018). Effects of Agricultural Management Practices on Soil Quality: A Review of Long-Term Experiments for Europe and China. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 265: 1–7.
- Bannerjee G., Sarkar U., Das S., Ghosh I. (2018). Artificial Intelligence in Agriculture: A Literature Survey. *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Appl. Manag. Stud.*, 7 (3).
- Bu R., Ren T., Lei M., Liu B., Li X., Cong R., Zhang Y., Lu J. (2020). Tillage and Straw-returning Practices Effect on Soil Dissolved Organic Matter, Aggregate Fraction and Bacteria Community under Rice-Rice-Rapeseed Rotation System. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 287: 106681.
- Ekielski A., Wesołowski K. (2019). *Systemy Agrotechniczne*. Toruń: PIGMiUR: 190–210.
- Emmi L., Herrera-Diaz J., Gonzalez-De-Santos P. (2022). Toward Autonomous Mobile Robot Navigation in Early-Stage Crop Growth. W: *Proceedings of the 19th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2022)*. Lisbon, Portugal, 14–16 July 2022: 411–418.
- Gerhards R., Kollenda B., Machleb J., Möller K., Butz A., Reiser D., Griegentrog H.W. (2020). Camera-Guided Weed Hoeing in Winter Cereals with Narrow Row Distance. *Gesunde Pflanz.*, 72: 403–411.
- Gonzalez-De-Santos P., Ribeiro A., Fernandez-Quintanilla C., Lopez-Granados F., Brandstötter M., Tomic S., Pedrazzi S., Peruzzi A., Pajares G., Kaplanis G. (2017). Fleets of Robots for Environmentally-Safe Pest Control in Agriculture. *Precis. Agric.*, 18: 574–614.
- <https://www.naio-technologies.com/en/home/> (dostęp: 20.05.2023).
- <https://www.ekobot.se/contact/> (dostęp: 20.05.2023).
- Jaskulska I., Jaskulski D. (2020). Strip-Till One-Pass Technology in Central and Eastern Europe: A MZURI Pro-Til Hybrid Machine Case Study. *Agronomy*, 10: 925.
- Kamilaris A., Kartakoullis A., Prenafeta-Boldú F.X. (2017). A Review on the Practice of Big Data Analysis in Agriculture. *Comput. Electron. Agric.*, 143: 23–37.
- Kennedy A.C., Schillinger W.F. (2006). Soil Quality and Water Intake in Traditional-Till vs. No-Till Paired Farms in Washington's Palouse Region. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70: 940–949.
- Kumar S., Jat K.R.D., Kumar S., Choudhary K.K. (2017). Integrated Nutrient Management for Improving Fertilizer Use Efficiency Soil Biodiversity and Productivity of Wheat in Irrigated Rice Wheat Cropping System in Indo-Gangatic Plains of India. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 6: 152–163.
- Kunz C., Weber J.F., Gerhards R. (2015). Benefits of Precision Farming Technologies for Mechanical Weed Control in Soybean and Sugar Beet – Comparison of Precision Hoeing with Conventional Mechanical Weed Control. *Agronomy*, 5: 130–142.
- Lou Z., Quan L., Sun D., Li H., Xia F. (2022). Hyperspectral Remote Sensing to Assess Weed Competitiveness in Maize Farmland Ecosystems. *Sci. Total Environ.*, 844: 157071.

Precyzyjna uprawa gleby i systemy monitorowania jej stanu

- Melander B., Munier-Jolain N., Charles R., Wirth J., Schwarz J., Van Der Weide R., Bonin L., Jensen P.K., Kudsk P. (2013). European Perspectives on the Adoption of Nonchemical Weed Management in Reduced-Tillage Systems for Arable Crops. *Weed Technol.*, 27: 231–240.
- Nandan R., Singh V., Singh S.S., Kumar V., Hazra K.K., Nath C.P., Poonia S.P., Bhattacharyya R., McDonald A. (2019). Impact of Conservation Tillage in Rice-Based Cropping Systems on Soil Aggregation, Carbon Pools and Nutrients. *Geoderma*, 340: 104–114.
- Nehme H., Aubry C., Solatges T., Savatier X., Rossi R., Boutteau R. (2021). LiDAR-based Structure Tracking for Agricultural Robots: Application to Autonomous Navigation in Vineyards. *J. Intell. Robot. Syst.*, 103: 61.
- O'Brien P., Daigh A. (2019). Tillage Practices alter the Surface Energy Balance – A Review. *Soil Tillage Res.*, 195.
- Osinga S.A., Paudel D., Mouzakitis S.A., Athanasiadis I.N. (2021). Big Data in Agriculture: Between Opportunity and Solution. *Agric. Syst.*, 195: 103298.
- Osipov A., Shumaev V., Ekielski A., Gataullin T., Suvorov S., Gataullin S. (2022). Classification of Mechanical Damage During Continuous Harvesting of Root Crops Using Computer Vision Methods, *IEEE Access*, 10: 132.
- Raza A., Razzaq A., Mehmood S.S., Zou X., Zhang X., Lv Y., Xu J. (2019). Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle its Outcome: A Review. *Plants*, 8: 34.
- Rondelli V., Franceschetti B., Mengoli D. (2022). A Review of Current and Historical Research Contributions to the Development of Ground Autonomous Vehicles for Agriculture. *Sustainability*, 14: 9221.
- Roshanianfard A., Noguchi N., Okamoto H., Ishii K. (2020). A Review of Autonomous Agricultural Vehicles (The Experience of Hokkaido University). *J. Terramechanics*, 91: 155–183.
- Shiwakoti S., Zheljzkov V.D., Gollany H.T., Xing B., Kleber M. (2019). Micronutrient Concentrations in Soil and Wheat Decline by Long-Term Tillage and Winter Wheat-Pea Rotation. *Agronomy* 9: 359.
- Tu X., Gai J., Tang L. (2019). Robust Navigation Control of a 4WD/4WS Agricultural Robotic Vehicle. *Comput. Electron. Agric.*, 164: 104892.
- Xu J.P., Xu T., Xie Y.F. (2005). Research on Development for Minimal or no-tillage System. *J. Agric. Mech. Res.*, 1: 25–27.
- Yang Y., Zhou Y., Yue X., Zhang G., Wen X., Ma B., Xu L., Chen L. (2022). Real-Time Detection of Crop Rows in Maize Fields Based on Autonomous Extraction of ROI. *Expert Syst. Appl.*, 213: 118826.
- Yang Y., Zhang G., Chen Z., Wen X., Cheng S., Ma Q., Qi J., Zhou Y., Chen L. (2022). An independent steering driving system to realize headland turning of unmanned tractors. *Comput. Electron. Agric.*, 201: 107278.
- Zambon I., Cecchini M., Egidi G., Saporito M.G., Colantoni A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs. *Processes*, 7: 36.





Rozdział IV

Inżynieria genetyczna w hodowli roślin i zwierząt

1. Wstęp

Zagadnienie inżynierii genetycznej w precyzyjnej hodowli roślin i zwierząt należy rozważać na kanwie osiągnięć biotechnologii. Według najczęściej cytowanej definicji biotechnologia to świadczenie dóbr i usług z zastosowaniem metod biologicznych. Inaczej mówiąc, biotechnologia wykorzystuje do pozyskiwania produktów i usług organizmy, komórki lub ich części oraz molekularne analogi naturalnie występujących w żywych komórkach związków. Biotechnologia jest nauką o charakterze wysoko aplikacyjnym, integrującą wiedzę i osiągnięcia z zakresu m.in. biologii ogólnej, biologii stosowanej, biologii syntetycznej, stosującą technologie oraz techniki inżynierii, bioinżynierii i inżynierii genetycznej. Produktów oraz usług biotechnologicznych lub mających charakter biotechnologiczny na rynkach światowych są niezliczone liczby w każdej kluczowej branży gospodarki. Wśród aplikacji medycznych znajdujemy zarówno terapie genowe, jak i biofarmaceutyki, wśród przemysłowych – produkcję biopolimerów czy biopaliw. W poniższym opracowaniu szerzej zostaną omówione aplikacje zielonej biotechnologii, obejmujące zagadnienia z zakresu rolnictwa, a w szczególności produkcji roślinnej i zwierzęcej.

2. Biotechnologia klasyczna a nowoczesna

W kontekście biotechnologii możemy mówić o biotechnologii tradycyjnej (klasycznej) i nowoczesnej. Biotechnologia tradycyjna obejmuje wykorzystanie żywych organizmów w procesach biotechnologicznych, takich jak warzelnictwo, silosowanie czy produkcja nabiałów. To także procesy angażujące ukierunkowane pod względem cech użytkowych (jakościowych i ilościowych) metody selekcji roślin uprawnych (wydajność plonów) i zwierząt domowych (odporność na choroby). W powyższym podejściu polega się w głównej mierze na obserwacji fenotypów



Inżynieria genetyczna w hodowli roślin i zwierząt

i właściwym doborze osobników. Metody te mają ograniczenia wynikające z wymiany genów zachodzącej w obrębie danego gatunku lub bardzo blisko spokrewnionych osobników. Dodatkowo ograniczone są możliwości zaplanowania i uzyskania szczególnej kombinacji genów przy jednoczesnym możliwym wprowadzeniu genów niepożądanych cech mających wpływ na organizm potomny. Zdecydowanie bardziej precyzyjną alternatywą jest wykorzystanie technik inżynierii genetycznej, które umożliwiają zmodyfikowanie lub bezpośrednio przeniesienie jednego lub grupy genów pomiędzy organizmami spokrewnionymi lub niespokrewnionymi w zdecydowanie krótszym czasie. Do technik w zakresie modyfikacji genetycznych organizmów należy, obok ukierunkowanej mutagenyzy genetycznej, mutagenyza losowa, wykorzystująca czynniki fizyczne (promieniowanie jonizujące) oraz chemiczne (czynniki alkilujące). Podobnie jak w przypadku klasycznych metod selekcji, trudno jest przewidzieć efekty mutagenyzy losowej, co narzuca konieczność wykonania żmudnych analiz dla dziesiątek/setek organizmów potomnych i ich selekcji (Verma i in. 2011).

3. Cisgeneza, intrageneza, transgeneza

Od lat trwa nieustanny spór dotyczący podejścia do klasyfikacji organizmów otrzymanych metodami biotechnologicznymi. Terminem „nowe techniki genomowe” (*New Genomic Techniques* – NGT) określa się metody naukowe takie jak cisgeneza czy intrageneza, stosowane do modyfikacji genomów, w celu ulepszenia cech roślin w obrębie tego samego gatunku. Naukowcy przekonują, że organizmy modyfikowane na drodze intragenezy oraz cisgenezy powinny mieć ten sam status co organizmy otrzymane tradycyjnymi metodami hodowlanymi. Cisgeneza polega na przenoszeniu określonego genu/genów między organizmami zgodnymi płciowo. A zatem można stwierdzić czysto teoretycznie, że uzyskane w ten sposób fenotypy można by uzyskać naturalnie poprzez krzyżowanie właściwie dobranych osobników. Intrageneza to z kolei modyfikacja sekwencji DNA w obrębie gatunku lub wykorzystanie technik wyciszających docelowy gen. Genotypy w ten sposób otrzymane w zasadzie są możliwe do osiągnięcia metodami hodowli konwencjonalnej, ale nie mamy tutaj do czynienia z przenoszeniem genów (Hunter 2014). Transgeneza odnosi się do procesu transferu genu/genów (transgenu/transgenów) między organizmami odległymi filogenetycznie, które nie są zdolne do naturalnego przekrzyżowania, a osobniki uzyskane tą metodą klasyfikowane są jako GMO (*Genetically Modified Organism*). Heterologiczna ekspresja transgenów w organizmach, do których zostały przeniesione, jest możliwa, co wynika bezpośrednio z właściwości (cech) kodu genetycznego, który jest uniwersalny (Kumar i in. 2020).

4. Metody edycji genomów

Wśród metod umożliwiających edycję genomów i angażujących do tego specyficzne nukleazy znajdujemy techniki wykorzystujące nukleazy z motywem palca cynkowego (*Zinc Finger Nucleases* – ZFN), nukleazy TALEN (*Transcription Activator-Like Effector Nucleases*) czy

meganukleazy. Gwałtowne przyspieszenie w zakresie modyfikacji genetycznych organizmów nastąpiło na skutek zrewolucjonizowania technik edycji genomów wraz z zaadaptowaniem bakteryjnego, obronnego systemu CRISPR na cele inżynierii genetycznej. CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* – zgrupowane regularnie rozproszone, krótkie, powtarzające się sekwencje palindromiczne) to adaptacyjny układ odpornościowy stanowiący bakteryjną obronę przed inwazją na przykład bakteriofagów. Zaadaptowanie naturalnego, ale poddanego modyfikacji systemu CRISPR/Cas pozwoliło stworzyć jedną z najpotężniejszych i najbardziej wszechstronnych platform edycji genomu, charakteryzującą się prostotą, szybkością, a przede wszystkim skutecznością modyfikacji różnego typu komórek i różnych organizmów. System ten stwarza szerokie możliwości w zakresie modyfikacji genomu, pozwalając zarówno na inaktywację genów, ich naprawę oraz wprowadzenie nowej informacji genetycznej z wykorzystaniem donorowych sekwencji. Kluczowymi elementami tego systemu edycji genomu są sgRNA (*Single Guide RNA*) oraz nukleaza *Cas*. sgRNA to zbudowany z crRNA (CRISPR RNA) i tracrRNA (*Transactivating crRNA*) kompleks odpowiedzialny za naprowadzenie nukleazy *Cas* na docelowy fragment DNA. W komórce bakteryjnej fragment tracrRNA odpowiada za dojrzewanie pre-crRNA i wytworzenie dojrzałej formy crRNA. Rozpoznanie wcześniej wspomnianej docelowej sekwencji DNA zależne jest od sekwencji PAM (*Protospacer Adjacent Motif*). Sekwencja PAM zależna jest od wykorzystywanej endonukleazy *Cas* (5'NGG-3' PAM dla *Streptococcus pyogenes*, 5'-NGGNG-3' PAM dla *Streptococcus thermophilus* i 5'NNNNGATT-3' PAM dla *Neisseria*). Po identyfikacji PAM przez enzym *Cas* dochodzi do hybrydyzacji sgRNA z docelowym DNA i cięcia obu jego nici (zwykle za trzecim bądź czwartym nukleotydem występującym powyżej sekwencji PAM). Powstałe pęknięcia w obrębie obu nici DNA – DSB (*Double-strand Breaks*) indukują endogenne komórkowe procesy naprawy DNA. Naprawa DSB może odbywać się poprzez homologiczną naprawę ukierunkowaną HDR (*Homologous Directed Repair*). W sytuacji naprawy na drodze HDR niezbędna jest obecność donorowej sekwencji matrycowej, a sama naprawa zachodzi z niską wydajnością. HDR umożliwia jednak wprowadzanie transgenów/transgenów w obrębie sekwencji docelowych oraz bardzo precyzyjną edycję genomów (np. naprawa genów w terapii genowej). Inną drogą naprawy jest niehomologiczne łączenie końców NHEJ (*Nonhomologous End Joining*). System NHEJ jest zdecydowanie bardziej wydajny niż HDR, jednakże jest podatny na błędy, co w konsekwencji doprowadza do generowania drobnych insercji i/lub delecji (*Indels*) w docelowych miejscach, co z kolei skutkuje zaburzeniem lub zniesieniem funkcji docelowego genu/genów (Hryhorowicz i in. 2017).

5. Biotechnologia w strategii zrównoważonego rolnictwa

Do najnowszych trendów światowego rolnictwa należy: produkcja wystarczającej ilości żywności w celu zaspokojenia potrzeb rosnącej populacji ludzkiej, poprawa warunków życia osób bezpośrednio związanych z sektorem rolnym oraz zrównoważony rozwój oparty na ochronie środowiska i zasobów naturalnych. Biorąc pod uwagę najnowsze osiągnięcia technologiczne biotechnologii, możemy jednoznacznie stwierdzić, że istnieją możliwości i sposoby takiego modyfikowania organizmów żywych (mikroorganizmów, roślin i zwierząt), by zaspokoić

Inżynieria genetyczna w hodowli roślin i zwierząt

potrzeby wynikające z tych trendów. Biotechnologia jest nauką o nadzwyczaj utylitarnej misji, a poziom jej wykorzystania na potrzeby inteligentnego i nowoczesnego rolnictwa zależy w zasadzie wyłącznie od stopnia akceptacji społecznej proponowanych rozwiązań oraz uwarunkowań prawno-organizacyjnych. Idąc tropem głównych założeń strategii Komisji Unii Europejskiej „od pola do stołu”, która ma przyczynić się do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r. i zmienić obecny unijny system żywnościowy w model zrównoważony, biotechnologia może zaproponować takie modyfikacje genetyczne, które będą wspierały: 1) podaż niedrogiej i pełnowartościowej żywności przy jednoczesnym propagowaniu zdrowego odżywiania, 2) obniżenie zużycia pestycydów i nawozów, 3) ograniczenie strat żywności i jej marnotrawienia poprzez m.in. zagospodarowanie odpadów, 4) rozwój technik identyfikacji prób fałszowania żywności w łańcuchu dostaw, 5) poprawę dobrostanu zwierząt. Podczas realizacji założeń strategii „od pola do stołu” należy przyjąć strategię „od pomysłu do gotowego produktu”, obejmującą działania związane z opracowaniem koncepcji produktu, merytoryczną oceną możliwości jego wytworzenia i oceną ryzyka, zaprojektowaniem doświadczeń i ich wykonaniem, a następnie z charakterystyką molekularną, cytogenetyczną oraz funkcjonalną produktu i jego biobezpieczeństwem. W dalszej części tego opracowania zostaną przedstawione praktyczne zastosowania inżynierii genetycznej jako narzędzia biotechnologicznego w precyzyjnej produkcji roślinnej i zwierzęcej, zarówno na etapie wdrożenia, jak i w fazie badań naukowych (https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en).

6. Rośliny

6.1. Uwagi ogólne

Wśród głównych kierunków modyfikacji roślin, które mogłyby znaleźć zastosowanie w ramach realizacji założeń Europejskiego Zielonego Ładu, a są już wykorzystywane w produkcji roślinnej na świecie, należy wymienić: wprowadzanie genów odpowiedzialnych za indukcję odporności na herbicydy (*Herbicide Tolerance* – HT), szkodniki (*Insect Resistance* – IR), niekorzystne warunki środowiska (*Abiotic Stress Tolerance* – ST), choroby (grzybowe, bakteryjne, wirusowe), a także modyfikacje cech jakościowych i ilościowych oraz biofortyfikację.

6.2. Odporność na herbicydy

Chwasty konkurują z roślinami uprawnymi o składniki pokarmowe, wodę, przestrzeń oraz energię słoneczną, co prowadzi do znacznych strat w plonach. Jedną ze strategii zwalczania chwastów jest stosowanie herbicydów, co nie zawsze jest możliwe ze względu na niską selektywność stosowanych preparatów i jednoczesne narażenie na ich działanie roślin uprawnych. W związku z tym rośliny genetycznie modyfikowane (GM) z zaindukowaną tolerancją na herbicydy stwarzają potencjał do zrównoważonego wykorzystania środków ochrony roślin (obniżenie stosowanej dawki, obniżenie liczby oprysków, elastyczny terminarz zabiegów, uprawa bezorkowa, obniżenie zużycia paliw i nakładów osobowych). Wśród nieselektywnych preparatów

o działaniu chwastobójczym najczęściej stosowanymi herbicydami są glifosat i glufosynat, dlatego modyfikacje genetyczne dotyczące tych dwóch aktywnych związków są najczęstsze wśród GM upraw. Roślinie można nadać odporność na herbicyd poprzez wprowadzenie do jej genomu genu kodującego enzym, który detoksyfikuje substancję aktywną herbicydu. W przypadku glifosatu możliwe jest zatem wprowadzenie do genomu rośliny genu odpowiedzialnego za powstanie enzymu GOX (oksydoreduktaza glifosatu) lub GAT (acetylotransferaza glifosatu), które neutralizują substancję aktywną. Oba enzymy wykorzystane do produkcji odmian GM roślin są pochodzenia bakteryjnego. Inną możliwością jest wprowadzenie do genomu genu kodującego zmodyfikowaną syntazę EPSPS (syntaza 5-enolopirogroniano-szikimowo-3-fosforanowa), która zastąpi aktywność niemodyfikowanego enzymu, a jednocześnie będzie charakteryzowała się brakiem wrażliwości na substancję aktywną, czyli glifosat. Drugą najczęstszą modyfikacją dotyczącą opisywanej w tej części pracy cechy jest tolerancja na glufosynat uzyskiwana na drodze ekspresji enzymu PAT (acetylotransferaza fosfotrycyny), który neutralizuje substancję aktywną poprzez acetylację glufosynatu. Wśród zmodyfikowanych i skomercjalizowanych odmian roślin uprawnych pod względem tolerancji na herbicydy należy wskazać GM: kukurydzę, rzepak, soję, ziemniaka, ryż, buraka cukrowego oraz pszenicę (Kumar i in. 2020).

6.3. Odporność na szkodniki

Nie tylko chwasty są wrogami pól uprawnych. Szkodniki powodują poważne straty w plonach tych roślin. Zidentyfikowano ponad 60 tys. gatunków owadów, które generują poważne straty gospodarcze nie tylko poprzez niszczenie wybranych lub wszystkich części roślin (liście, łodygi i korzenie), ale także przez przenoszenie patogenów wywołujących choroby wirusowe, bakteryjne oraz grzybowe u roślin (modyfikacjom genetycznym dotyczącym odporności na choroby poświęcono osobny akapit tego opracowania). Klasyczne podejście do problemu przewiduje wykorzystanie środków owadobójczych – pestycydów – do zwalczania szkodników upraw. Metoda ta nie jest przyjazna środowisku naturalnemu, ze względu na niską selektywność działania oraz koszt ekonomiczny. Możliwość zastąpienia pestycydów genetycznie modyfikowanymi uprawami daje szansę na obniżenie kosztów produkcji poprzez ograniczenie zużycia środków ochrony roślin (rośliny same chronią się przed szkodnikami), selektywne działanie wyłącznie na szkodniki, które konsumują GM uprawy oraz zmniejszenie zużycia paliw i roboczogodzin. Większość skomercjalizowanych odmian roślin uprawnych została zmodyfikowana w taki sposób, aby w roślinach dochodziło do systemowej ekspresji genu *cry* pozyskanego z glebowej bakterii *Bacillus thuringiensis* (modyfikacja Bt). Gen ten koduje trójdomenowe białko Cry, które w bakteriach tworzy krystaliczne ciała inkluzyjne. Białko to działa toksycznie po spożyciu przez owady z rzędu motyli, chrząszczy oraz muchówek. Do aktywacji protoksyny do czynnej toksyny Bt konieczne jest środowisko zasadowe w układzie pokarmowym organizmu, który spożywa GM odmianę rośliny. Opisane wyżej warunki panują w układzie pokarmowym larw owadów. Aktywacja protoksyny do toksyny umożliwia jej związanie ze specyficznymi receptorami występującymi na powierzchni błon komórek przewodu pokarmowego, co prowadzi do powstawania porów w błonie komórkowej, zniszczenia komórek i śmierci owada. Bezpieczeństwo ssakom zapewnia m.in. brak receptorów dla toksyny na powierzchni ich komórek

Inżynieria genetyczna w hodowli roślin i zwierząt

jelitowych (Rahman i in. 2012). Zastosowanie powyższej modyfikacji u roślin niespożywczych (bawełna) stanowi dodatkowe zabezpieczenie dla zwierząt wyższych oraz wytrąca argumenty przeciwnikom GMO. Wśród GM odmian roślin uprawnych znajdujemy kukurydzę (w tym odmianę kukurydzy MON810 uprawianą w Hiszpanii i Portugalii), wspomnianą wcześniej bawełnę, ziemniaka, soję, ryż, trzcinę cukrową oraz pomidora. Wśród innych możliwości sterowania odpornością roślin na owady należy wymienić modyfikacje genetyczne polegające na wprowadzeniu do roślin genów kodujących inhibitory proteaz (PI) pochodzenia roślinnego, grzybowego czy bakteryjnego. W komercyjnie dostępnych odmianach GM roślin wykorzystano np. gen PI wspięgi węzowatej u odmiany GM bawełny, gen PI strzałki wodnej u odmiany GM topoli czy gen PI ziemniaka u odmiany GM kukurydzy. Inhibitory proteaz to naturalnie pojawiające się białka w odpowiedzi na np. mechaniczne uszkodzenie rośliny lub atak owada. PI hamują (inhibują) aktywność enzymów proteolitycznych działających w jelitach larw owadzich, wskutek czego składniki odżywcze stają się dla nich niedostępne. Wprowadza się również geny *vip* kodujące wegetatywne insektycydy białkowe pochodzące z *Bacillus* spp. (*B. thuringiensis* oraz *B. cereus*) (Kumar i in. 2020).

6.4. Odporność na stres abiotyczny

Kolejna grupa modyfikacji genetycznych dotyczy czynników środowiskowych, takich jak susza i zalewanie, skrajnie wysoka i skrajnie niska temperatura czy zasolenie, które są określane mianem stresu abiotycznego. Czynniki te wywierają negatywny wpływ na wzrost i rozwój roślin uprawnych, znacząco obniżając plonowanie. Ze względu na globalne niekorzystne zmiany klimatyczne rośnie wpływ czynników wywołujących stres abiotyczny na opłacalność produkcji roślinnej. Na przestrzeni lat ewolucji rośliny wykształciły szereg mechanizmów na poziomie komórkowym, które ułatwiają im radzenie sobie ze stresem abiotycznym. Do najczęściej uruchamianych przez rośliny adaptacyjnych mechanizmów obronnych minimalizujących skutki stresu abiotycznego należą aktywacja kaskad sygnałowych i białek regulatorowych (czynników transkrypcyjnych, czynników szoku cieplnego), aktywacja systemu obrony antyoksydacyjnej w celu utrzymania homeostazy czy synteza i akumulacja związków zaangażowanych w regulację osmotyczną (na przykład poliaminy czy betainy). Na poziomie molekularnym natomiast dochodzi do zmian ekspresji genów, które w konsekwencji działania niekorzystnych warunków środowiskowych mają podtrzymać prawidłowy wzrost i rozwój rośliny. Złożoność oraz wielopoziomowość procesów związanych z odpowiedzią na stres abiotyczny powoduje, że liczba skomercjalizowanych odmian GM roślin jest zdecydowanie mniejsza w porównaniu z wcześniej opisanymi. W kontekście niekorzystnych zmian klimatycznych jednym z kluczowych czynników wpływających na obniżenie plonowania jest globalne ocieplenie, a co za tym idzie – czynnik suszy. Na rynku dostępne są zmodyfikowane odmiany kukurydzy, soi oraz trzciny cukrowej. Wśród skomercjalizowanych GM odmian odnajdujemy kukurydzę (Genuity® DroughtGard), z wprowadzonymi genami szoku zimna B (*cspB*) pochodzącymi z bakterii *Bacillus subtilis*, charakteryzującą się zwiększoną tolerancją na suszę. Ochronnie działające białka szoku zimna pojawiają się i akumulują w komórkach bakteryjnych w odpowiedzi na poddanie ich działaniu niskiej temperatury, co wykorzystano w GM roślinach. Wprowadzenie natomiast

genu *hahb-4* związanego z odpowiedzią na stres suszy u słonecznika do genomu soi pozwoliło na wytworzenie bardziej wytrzymałej na suszę odmiany GM soi (HB4® Drought Tolerant Soybeans). Wśród komercyjnie dostępnych odmian odpornych na suszę znajdujemy również GM trzcinę cukrową z ekspresją genu *betA* kodującego enzym dehydrogenazę cholicy, który katalizuje powstanie glicynobetainy. Glicynobetaina jest osmoprotektantem, który chroni roślinę przed niedoborem wody, stabilizuje enzymy oraz struktury białkowe, a także integralność błon komórkowych. W zależności od typu modyfikacji, gatunku rośliny zmodyfikowanej oraz użytku tego genu/genów wzrost plonowania odmian charakteryzujących się zwiększoną odpornością na suszę w badaniach wahał się od 14% do 30% w stosunku do odmian niemodyfikowanych, uprawianych w tych samych warunkach (Raza i in. 2019).

6.5. Odporność na choroby

Do kolejnych czynników powodujących straty w plonowaniu należą wspomniane wcześniej w kontekście szkodników choroby wirusowe, bakteryjne oraz grzybowe. Tradycyjne podejście przewiduje stosowanie środków ochrony roślin o celowanym działaniu na patogeny, jednakże z ekonomicznego punktu widzenia celowe jest poszukiwanie alternatywnych rozwiązań, zwłaszcza że patogeny są zdolne do wykształcania mechanizmów oporności na stosowane preparaty. W konsekwencji prowadzi to do zwiększania dawek agrochemikaliów przy jednoczesnej niskiej ich skuteczności i zawężonym doborze preparatów. W przypadku nadawania roślinom odporności na czynniki chorobotwórcze warto wykorzystywać i wzmacniać naturalne mechanizmy obronne roślin poprzez identyfikację i wykorzystanie genów związanych z wrodzoną odpornością na patogeny. Osiemdziesiąt sześć procent komercyjnie dostępnych odmian genetycznie zmodyfikowanych roślin w zakresie podatności na choroby wykazuje odporność na patogeny wirusowe (<https://www.isaaa.org>, 2023). Większość z nich dotyczy GM odmian ziemniaka i papai, pozostałe to pojedyncze modyfikacje odmian fasoli, cukinii, śliwy, słodkiej papryki i pomidora. W inżynierii genetycznej wykorzystuje się obecnie cztery podejścia w nadawaniu roślinom odporności na wirusy, polegające na: 1) ekspresji genów białek płaszcza otoczki wirusa celem zaindukowania odporności na patogen, 2) ekspresji wadliwej formy replikazy i/lub helikazy wirusowej, by zaindukować odporność poprzez mechanizm wyciszenia, 3) ekspresji sensownych/antysensownych RNA białka replikazy wirusowej lub 4) użyciu antysensownych RNA w celu degradacji mRNA ważnych białek wirusowych. W przypadku modyfikacji dotyczących chorób grzybowych i bakteryjnych wykorzystuje się ekspresję genów kodujących enzymy zaangażowane w rozkład ściany komórkowej grzybów (chitynazy, glukanazy) czy ekspresję genów związanych z syntezą osmotyny związanej z odpornością nabytą rośliny (Zhao i in. 2019).

W odpowiedzi na założenia Europejskiego Zielonego Ładu, a w szczególności strategii Komisji UE w zakresie podaży niedrogiej i pełnowartościowej żywności przy jednoczesnym propagowaniu zdrowego odżywiania, biotechnologia proponuje szereg modyfikacji genetycznych z zakresu cech jakościowych i ilościowych roślin. Biorąc pod uwagę, że opracowanie to powstaje na bazie założeń Europejskiego Zielonego Ładu, pewne modyfikacje nie zostaną tutaj uwzględnione i opisane, gdyż dotyczą roślin i cech o drugoplanowym znaczeniu ekonomiczno-gospodarczym dla Europy.

6.6. Kwasy tłuszczowe

Do najczęstszych przyczyn zgonów w UE należą choroby nowotworowe oraz choroby układu krążenia. Na podstawie badań naukowych dotyczących znaczenia żywienia i stylu życia w etiopatogenezie chorób układu krążenia, do czynników ryzyka związanych z dietą zaliczono m.in. nadciśnienie tętnicze, hipercholesterolemię, wysoki wskaźnik masy ciała (BMI) czy zbyt mały udział owoców i warzyw w żywieniu. Świadomość, że dieta jest jedną z najistotniejszych determinant występowania szeregu zaburzeń metabolicznych stanowiących podłoże chorób, zmusza konsumentów do modyfikacji składu produktów spożywczych w kierunku zwiększenia w diecie udziału związków korzystnie wpływających na funkcjonowanie organizmu. Jedną z ważniejszych przyczyn ograniczania spożycia mięsa i jego przetworów jest duża zawartość tłuszczów będących istotnym źródłem cholesterolu oraz nasyconych kwasów tłuszczowych (Tu i in. 2022). Potrzebna jest zatem zbilansowana dieta, bogata we właściwie dobrane tłuszcze roślinne. W diecie człowieka pożądane są zatem oleje o niskiej zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych i posiadające wyższy udział wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA). Do naturalnych roślinnych źródeł bogatych w wielonienasycone kwasy tłuszczowe należą orzechy włoskie, siemię lniane, słonecznik, krokosz barwierski, soja i kukurydza. Oleje pozyskiwane z wyżej wspomnianych roślin są źródłem niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT), takich jak kwas oleinowy czy kwas linolowy. Wzrost zawartości jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA) powoduje natomiast poprawę stabilności oraz smaku oleju. Zastąpienie w diecie tłuszczów nasyconych wielonienasyconymi ma wpływ na gospodarkę lipidową wyrażający się na przykład zmniejszeniem poziomu niekorzystnych lipoprotein o niskiej gęstości (LDL) i trójglicerydów we krwi, czyli tzw. złego cholesterolu. W zakresie skomercjalizowanych modyfikacji genetycznych obejmujących zmiany w obrębie zawartości lipidów znajdujemy odmiany rzepaku, krokosza barwierskiego oraz soi. Ważnym aspektem w kontekście produktów tłuszczowych jest nie tylko ich skład ilościowy czy jakościowy, ale także wspomniana wcześniej stabilność (w czasie obróbki termicznej oraz długotrwałego przechowywania). W odmianie GM soi Plenish™ wyciszono gen enzymu desaturazy omega-6 odpowiedzialnej za syntezę wielonienasyconego kwasu linolowego. Obecność zbyt dużej ilości kwasu linolowego powoduje niestabilność olejów sojowych. Z tego powodu są one poddawane procesowi utwardzania (stabilizacji), co skutkuje powstawaniem szkodliwych dla zdrowia kwasów tłuszczowych typu trans. Obniżenie ekspresji desaturazy omega-6 w GM soi skutkuje zwiększeniem udziału korzystnego kwasu oleinowego (MUFA) do nawet 75% (konwencjonalna odmiana soi zawiera go 22%) przy jednoczesnym obniżeniu zawartości kwasu linolowego do około 16% z 54% (odmiana konwencjonalna). Odmiana genetycznie zmodyfikowanej soi Vistive Gold® innego producenta została tak zaprojektowana, by wyciszyć aktywność dwóch genów zaangażowanych w metabolizm kwasów tłuszczowych (*FATB* i *FAD2*), co zwiększa udział kwasu oleinowego i ogranicza, podczas smażenia oraz pieczenia na oleju z niej pozyskiwanym, wydzielanie się kwasów tłuszczowych typu trans (<https://food.ussoy.org>, 2023).

6.7. Biofortyfikacja

W kontekście genetycznych modyfikacji sprzyjających dostępności niedrogiej i pełnowartościowej żywności należy wspomnieć o tzw. biofortyfikacji. Biofortyfikacja roślin odnosi się do procesów trwale zwiększających wartości odżywcze, co można osiągnąć m.in. za pomocą konwencjonalnej hodowli selektywnej lub precyzyjnej inżynierii genetycznej. Biofortyfikacja różni się od wzbogacania żywności (dodawania suplementów), ponieważ jej celem jest naturalna i trwała produkcja składników żywieniowych w roślinach. Nie sposób omówić wszystkich możliwych niedoborów składników odżywczych oraz ich skutków zdrowotnych dla globalnego społeczeństwa, dlatego w tym opracowaniu wspomniane zostaną tylko wybrane. Niedobór witaminy A jest poważnym problemem zdrowia publicznego, szacuje się, że występuje u 33% dzieci w wieku przedszkolnym i 15% kobiet w ciąży na całym świecie. W odpowiedzi na problem niedoboru witaminy A stworzone zostały GM odmiany ryżu oraz banana, które charakteryzują się zwiększoną zawartością β -karotenu będącego biochemicznym prekursorem tej witaminy. Niedobór żelaza jest kolejnym poważnym problemem dotyczącym zdrowia współczesnych Europejczyków. Niedokrwistość wywołana deficytem żelaza w szczególności dotyka kobiety w okresie przedmenopauzalnym (33%), kobiety w ciąży (77%) oraz dzieci w wieku poniżej pięciu lat (48%). Powszechność tego niedoboru wynika m.in. z niskiej biodostępności omawianego pierwiastka w pożywieniu, słabo lub źle zbilansowanej diety oraz coraz częstszego ograniczania spożycia mięsa i jego przetworów (m.in. ze względu na wspomniane wcześniej powiązanie z chorobami układu krążenia). Proponowanych modyfikacji genetycznych zwiększających zawartość i biodostępność żelaza w roślinach jest przynajmniej kilka. Polegają one na: 1) wprowadzeniu i ekspresji genu/genów kodujących białka wiążące żelazo (laktoferyna, ferrytyna), 2) wprowadzeniu i ekspresji genu/genów czynników chelatujących żelazo (*nikotianamina* – NA), 3) wprowadzeniu i ekspresji genu reduktazy żelazowej, 4) nadekspresji genów białek naturalnie występujących w roślinach, a związanych z metabolizmem oraz akumulacją żelaza (leghemoglobina), 5) wprowadzeniu i ekspresji genów transporterów żelaza, 6) wprowadzeniu i ekspresji enzymu fitazy rozkładającej kwas fitynowy będący substancją antyżywnościową (opisaną szerzej w dalszej części opracowania) zmniejszającą dostępność m.in. żelaza, 7) wprowadzeniu i ekspresji genów powiązanych z metabolizmem składników wzmacniających absorpcję żelaza, takich jak witamina C czy wspomniany wcześniej β -karoten. Przewagą biofortyfikowanej żywności nad suplementowaną są zdecydowanie niższe koszty jej produkcji oraz uniezależnienie od dostępności biokomponentów, które taką żywność mają wzbogacać. Na przykładzie różnorodności modyfikacji genetycznych dotyczących żelaza (1–7) oraz wiedzy dotyczącej niewielkiego odsetka komercjalizacji pomysłów związanych z genetyczną biofortyfikacją należy jednoznacznie stwierdzić, że czynnikami ograniczającymi nie są możliwości technologiczne czy badawcze, lecz inne, opisane w dalszej części opracowania (Malik, Maqbool 2020).

6.8. Ograniczenie strat żywności

Biotechnologia proponuje również rozwiązania dotyczące ograniczania strat żywności i jej marnotrawienia. Dla większości artykułów spożywczych kluczowy jest sposób ich przechowywania

Inżynieria genetyczna w hodowli roślin i zwierząt

i transportu. Szczególnymi produktami spożywczymi są świeże owoce i warzywa, których niewłaściwy transport i magazynowanie może znacząco obniżyć jakość i wygląd, a co za tym idzie – atrakcyjność dla klientów. Nietrwały i nieatrakcyjnie wyglądający artykuł spożywczy nie sprzedaje się, a to oznacza, że zostanie z dużym prawdopodobieństwem zmarnotrawiony. Świeży pomidor jest jednym z bardziej wrażliwych na transport artykułów spożywczych (szybko dojrzewa, mięknie i jest wrażliwy na obtłuczenia). Wśród czynników odpowiedzialnych za dojrzewanie owocu pomidora jest m.in. poligalakturonaza (PG). PG to enzym pektynolityczny, który odpowiedzialny jest za rozpad wiązań α -1,4-glikozydowych w kwasie poligalakturonowym. Kwas ten jest natomiast składnikiem pektyn, które budują ścianę komórkową owocu. Poligalakturonaza wraz etylenem będącym hormonem roślinnym stymulują intensywne dojrzewanie owocu i rozmiękczenie skórki. W skomercjalizowanej odmianie GM pomidora Flavr Savr został wyciszony gen kodujący enzym poligalakturonazę, który – jak wspomniano – jest odpowiedzialny za rozpad ścian komórkowych. Wyciszenie genu osiągnięto poprzez wprowadzenie antysensownej kasety ekspresyjnej dla sekwencji cDNA PG (Krieger i in. 2008). Wydłużyło to znacznie czas dojrzewania, a tym samym możliwość przechowywania i transportu pomidorów. W przypadku innej, ale nieskomercjalizowanej odmiany GM pomidora wyciszono gen syntazy ACC, co pozwoliło na wyeliminowanie wspomnianego wcześniej hormonu roślinnego – etylenu, współodpowiedzialnego za dojrzewanie owocu, co również znacząco wydłużyło czas przechowywania (Gupta, Pal, Rajam 2013).

Opisane wyżej zastosowania inżynierii genetycznej w precyzyjnej hodowli roślin z pewnością nie wyczerpują tematu, zwłaszcza że w większej części wskazują na skomercjalizowane odmiany GM roślin. Potencjał biotechnologii w tym zakresie jest dużo większy, niż mogłaby sugerować liczba komercyjnie dostępnych produktów, jednakże główne czynniki ograniczające, jak już wspomniano, nie są związane z samą technologią, ale dotyczą regulacji prawnych, procedury rejestracyjnej oraz niechęci społeczeństwa (szczególnie mieszkańców Unii Europejskiej).

7. Zwierzęta

7.1. Uwagi ogólne

Wykorzystanie inżynierii genetycznej do modyfikacji zwierząt jest równie dobrze udokumentowane. Można by mnożyć przykłady komercyjnie dostępnych produktów pochodzenia zwierzęcego, jednakże skupiono się na aplikacjach biomedycznych. Wprawdzie biomedyczne zastosowania biotechnologii nie są tematem niniejszego opracowania, ale niewątpliwie stanowią największą grupę modyfikacji u zwierząt i obejmują produkty przeznaczone do użytku terapeutycznego u ludzi (biofarmaceutyki – Atryn[®], komórki, tkanki, organy do transplantacji) oraz zwierzęce modele chorób człowieka umożliwiające badanie tych chorób oraz poszukiwanie nowych leków (Harvard Onco-Mouse[®]). Techniki inżynierii genetycznej w odniesieniu do precyzyjnej hodowli zwierząt angażuje się do wytwarzania produktów przemysłowych lub artykułów konsumenckich (modyfikowane genetycznie włókna) oraz poprawy ilościowych cech produkcyjnych i jakościowych żywności, a także zwiększania odporności na choroby.

Optymalizacja produkcji zwierzęcej z zachowaniem wysokiego poziomu dobrostanu zwierząt stanowi jeden z celów strategii zrównoważonego rolnictwa. Nie ma bowiem społecznego przyzwolenia na bezkrytyczną maksymalizację produkcji zwierzęcej bez uwzględnienia i zaspokajania podstawowych potrzeb zwierząt (prawidłowe żywienie, dostęp do wody, przestrzeń życiowa, relacje społeczne, oświetlenie itp.).

7.2. Przyrosty zwierząt

W latach 80. XX w. dokonano pierwszych modyfikacji dotyczących zwiększenia przyrostów masy zwierząt. Wstępne badania prowadzono z użyciem modeli mysich. Do organizmu myszy wprowadzono dodatkowe kopie genu szczura kodującego hormon wzrostu, co spowodowało dwukrotne zwiększenie masy zwierząt zmodyfikowanych genetycznie w stosunku do zwierząt kontrolnych. Hormon wzrostu (GH) jest jednołańcuchowym polipeptydem składającym się ze 191 aminokwasów, syntetyzowanym przez komórki somatotropowe w przysadce mózgowej. GH bierze udział w kontroli i regulacji wzrostu u ssaków. Niewielkie rozmiary genu hormonu wzrostu sprawiły, że łatwo poddaje się on technikom inżynierii genetycznej. Skomercjalizowanym flagowym produktem biotechnologicznym w omawianym zakresie jest genetycznie zmodyfikowany łosoś AquAdvantage (AAS). AAS został zmodyfikowany w taki sposób, że posiada gen hormonu wzrostu z największego przedstawiciela łososiowatych (czawyczy) pod kontrolą promotora pochodzącego od węgorzycy amerykańskiej. Ekspresja w ten sposób zrekombinowanej konstrukcji genowej zwiększa dwukrotnie tempo wzrostu GM łososia, skracając czas produkcji oraz zużycie pasz. AAS został dopuszczony przez Amerykańską Agencję ds. Żywności i Leków (FDA) jako żywność na rynek amerykański. Podobnie zdecydowano w Kanadzie. Wydanie zgody na hodowlę AAS zostało obwarowane rygorystycznymi warunkami utrzymania stad zwierząt wyłącznie w akwakulturach, w obiektach znajdujących się na lądzie, by zapobiec ewentualnemu uwolnieniu zmodyfikowanych genetycznie ryb do środowiska naturalnego. Akwakultura, jako forma gospodarki ludzkiej mająca na celu zwiększenie pozyskiwania żywności ze środowiska wodnego, jest jednym z najszybciej rozwijających się sektorów również w Unii Europejskiej. Około jednej piątej podaży ryb w UE pochodzi z akwakultury, a na świecie – prawie połowa (FAO). Do zalet tego typu chowu i hodowli ryb zaliczyć należy możliwość utrzymywania zwierząt w pełni kontrolowanych warunkach, wysoką jakość produktów, zminimalizowane ryzyko skażenia np. metalami ciężkimi oraz ochronę naturalnych zasobów wodnych. Wyzwaniami chowu w akwakulturze mogą stać się natomiast choroby zakaźne czy pasożytnicze atakujące ryby, których układ immunologiczny nie jest tak dobrze wykształcony jak w przypadku zwierząt hodowlanych (możliwości podniesienia odporności zwierząt na choroby poprzez modyfikacje genetyczne opisano w punkcie 7.6).

Bydło rasy belgijskiej błękitnej znane jest z wysokiego stopnia umięśnienia i dobrej jakości tuszy. Tak zwane podwójne umięśnienie jest spowodowane mutacją w genie miostatyny (MSTN) wywołującą utratę jego funkcji. Prawidłowo funkcjonująca miostatyna hamuje nadmierny wzrost tkanki mięśniowej. W przypadku belgijskiej błękitnej rasy bydła utrwalona, naturalna mutacja obejmuje delecję 11 par zasad nt821(del11) prowadzącą do pojawienia się przedwczesnego kodonu stop i powstania nieaktywnej formy miostatyny, co wywołuje hipertofię oraz hiperplazję

Inżynieria genetyczna w hodowli roślin i zwierząt

włókien mięśniowych (Grobet i in. 1997). Wykazano, że osobniki bydła rasy belgijskiej błękitnej mają o jedną piątą większą wagę masy mięśniowej w porównaniu z osobnikami z prawidłowym wariantem genu miostatyny.

Przewiduje się, że w ciągu najbliższych 30 lat światowa populacja wzrośnie do nawet 10 mld ludzi, co będzie się wiązało ze wzrostem zapotrzebowania na żywność, w tym na białko zwierzęce. Potrzeba nieustannego zwiększania wydajności produkcji przy jednoczesnym zmniejszeniu presji na środowisko spowodowała, że ta mutacja w genie miostatyny bydła rasy belgijskiej błękitnej, powstała bez pomocy metod inżynierii genetycznej, stała się inspiracją do badań nad innymi gatunkami zwierząt gospodarskich. Prace wykorzystujące metody edycji genomu, mające na celu wyłączenie genu miostatyny, prowadzone są na bydle, świniach, owcach, kozach oraz królikach (Dilger i in. 2022). Pozyskane w ten sposób GM odmiany zwierząt będą wymagały szeregu testów funkcjonalnych i poradzenia sobie ze skutkami ubocznymi mutacji w genie *MSTN*, które obserwowane są u bydła rasy belgijskiej błękitnej, np. wysoka wrażliwość na świerzb wywołujący ciężkie wysiękowe zapalenie skóry i świąd (Meyermans i in. 2022).

7.3. Skład mięsa

Wprowadzenie do organizmów zwierząt przeznaczonych na produkcję mięsną dodatkowych szlaków biochemicznych, umożliwiających syntezę nienasyconych kwasów tłuszczowych, szczególnie omega-3 oraz omega-6, może poprawić jakość i wartość odżywczą wytwarzanego mięsa. Poprawę jakości mięsa GM świnii osiągnięto poprzez ekspresję genu $\Delta 12$ -desaturazy kwasów tłuszczowych (*FAD2*) pochodzącego ze szpinaku, co zwiększyło zawartość nienasyconego kwasu linolowego (omega-6). O znaczeniu niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT) dla zdrowia ludzi wspomniano we wcześniejszej części tego opracowania. Alternatywą dla mięsa ryb bogatego w nienasycone kwasy tłuszczowe może być mięso GM świń, które produkują ośmiokrotnie więcej kwasów tłuszczowych omega-3 niż niemodyfikowane osobniki. Genom tych świń zawiera humanizowany gen desaturazy kwasów tłuszczowych omega-3 (*hftal*) pochodzący z *Caenorhabditis elegans*, który koduje enzym przekształcający kwasy tłuszczowe omega-6 w omega-3 (Whitwhort i in. 2022).

7.4. Poprawa wykorzystania pasz

Jednym z najważniejszych ekonomicznie czynników w produkcji zwierzęcej jest żywienie. Koszty paszy stanowią średnio co najmniej dwie trzecie całkowitych kosztów produkcji zwierzęcej. Producenci dążą do obniżenia kosztów produkcji i jej wyższej opłacalności, co nie powinno odbywać się kosztem jakości stosowanych w żywieniu pasz. Oszczędzanie na jakości paszy może mieć negatywny wpływ na tempo przyrostu zwierząt, a tym samym nie dać efektu w postaci obniżenia kosztów produkcji. Biotechnologia w tym zakresie proponuje rozwiązania polegające na lepszym wykorzystaniu składników pasz przez zwierzęta, co spowoduje zwiększenie wydajności przy tych samych nakładach finansowych.

Jednokomorowy żołądek monogastrycznych zwierząt gospodarskich (świnie, drób) nie ma zdolności do trawienia włókna roślinnego. Ponadto zwierzęta te nie przyswajają fosforu

występującego w formie soli oraz kwasu fitynowego u roślin. Fityniany stanowią źródło fosforanów i składników mineralnych w ziarnach zbóż (pszenicy, życie, jęczmieniu, owsie, ryżu, gryce) i nasionach roślin strączkowych, które są podstawą żywienia świni czy drobiu. Niedostępny dla monogastrycznych zwierząt i ludzi kwas fitynowy zalicza się do składników antyżywniowych, gdyż chelatuje on żelazo, wapń, cynk i magnez, obniżając przyswajalność tych składników w jelitach. Utrudnia trawienie i zmniejsza biodostępność także innych składników pokarmowych (białek). Poprawę wykorzystania paszy można osiągnąć poprzez suplementację przyswajalnymi związkami fosforu czy wzbogacenie jej dodatkiem egzogennych enzymów, np. fitazy, rozkładających składniki antyżywniowe. Daje to możliwość stosowania tańszej paszy, ale generuje koszty związane z zakupem dodawanych komponentów (Wu, Bazer 2019).

Niezdolność do przyswajania fosforu ze źródeł roślinnych przez zwierzęta hodowlane ma jeszcze drugą, ciemniejszą stronę. Obornik świński powstający w produkcji trzody chlewnej jest jednym z głównych czynników odpowiedzialnych za zanieczyszczenie środowiska fosforem i azotem na dużą skalę. Szczególnie niebezpieczne jest zanieczyszczenie azotem i fosforem naturalnych ekosystemów wodnych. Pierwiastki te promują wzrost alg i glonów, których zakwit limituje dostępność tlenu dla innych organizmów wodnych. Niektóre gatunki mogą również wytwarzać toksyczne związki szkodliwe dla ludzi i zwierząt. Badania naukowe wykazały, że dodawanie do paszy fitazy może zredukować o ponad połowę wydalanie fosforu przez zwierzęta. Odpowiedzią na opisany problem są zmodyfikowane genetycznie świnię, charakteryzujące się ekspresją bakteryjnej fitazy w śliniankach (*enviropig*), które powstały już w 2001 r. Zwierzęta, pobierając pokarm, mieszają go ze śliną, w której znajduje się enzym rozkładający kwas fitynowy. W porównaniu z niemodyfikowanymi genetycznie świnią, *enviropig* produkują 75% mniej fosforu w oborniku, który może być użyty jako bezpieczny dla środowiska nawóz. Pomimo wielu badań nad bezpieczeństwem związanym z tymi GM świnią (również dotyczącymi bezpieczeństwa, składu i jakości mięsa), do dzisiaj modyfikacja nie została zarejestrowana i dopuszczona do sprzedaży. Skomplikowane procedury rejestracyjne i niepowodzenia wynikające z zawiłych uwarunkowań prawnych nie powstrzymują naukowców przed dalszymi pracami. Gotowe rozwiązania są w zasięgu ręki, jednakże powszechna niechęć do GMO powoduje, że wiele propozycji jest na lata odkładanych. X. Zhang i in. (2018) poszli o krok dalej w stosunku do świni z ekspresją genu fitazy, tworząc zwierzęta charakteryzujące się ekspresją genów enzymów, które pozwalają im trawić zarówno fityniany, jak i nieskrobiowe polisacharydy (NSP). NSP to celuloza oraz polisacharydy niecelulozowe obecne w surowcach paszowych, zwłaszcza ziarnach zbóż. Dla żywienia zwierząt kluczowe NSP to arabinoksylany (pszenica i pszenżyto) oraz β -glukany (jęczmień i owies). Enzymy endogenne produkowane przez zwierzęta monogastryczne nie mają zdolności rozkładu NSP, co powoduje, że zalicza się je do substancji antyżywniowych. Naukowcy stworzyli policistronową kasetę ekspresyjną, wykorzystując geny pochodzące z bakterii i grzybów, którą wprowadzili do genomu świni. W ten sposób stworzyli zwierzęta wykazujące ekspresję czterech enzymów: dwóch typów β -glukanazy, ksylanazy oraz fitazy w gruczołach ślinowych. Dzięki takiemu rozwiązaniu zwierzęta lepiej wykorzystywały składniki pokarmowe z paszy oraz produkowały 24% mniej azotu i 44% mniej fosforu w odchodach, a tempo wzrostu poprawiło się średnio o około 23% dla loch i 24% dla knurów w porównaniu z innymi niemodyfikowanymi świnią na tej samej diecie (Zhang i in. 2018).

7.5. Hipoalergiczne mięso

Zespół AGS (*Alpha-Gal Syndrome*) to alergia na czerwone mięso oraz produkty pochodzenia zwierzęcego (nie tylko żywnościowe), która związana jest z obecnością u większości ssaków galaktozylo- α -1,3-galaktozy (epitop Gal, atygen Gal). Powstawanie epitopu Gal uzależnione jest od aktywności enzymu α 1,3-galaktozylotransferazy, którego gen u człowieka i małą Starożytności w drodze ewolucji uległ inaktywacji. Organizm człowieka, nie posiadając struktury epitopu Gal, produkuje przeciwciała o swoistości anty-Gal w klasie immunoglobulin M, A, G, E. Syndrom AGS najczęściej wywołany jest na skutek ukąszenia kleszcza, który wcześniej żerował na ssakach produkujących antygen Gal. Opisano przypadki tego zespołu w Stanach Zjednoczonych, Australii, RPA, Azji, kilku krajach Europy (Szwecji, Norwegii, Francji, Niemczech, jeden przypadek w Polsce). Z dużym prawdopodobieństwem niezdiagnozowanych przypadków jest więcej. Problem stanowi niewystarczający wywiad medyczny, trudności w diagnostyce oraz brak kodu w rejestrze chorób i niepodleganie obowiązkowemu zgłoszeniu. Zdiagnozowanym pacjentom zaleca się unikanie w diecie mięsa, przetworów oraz produktów wytworzonych na jego bazie (żelatyna, biofarmaceutyki), a pochodzących od zwierząt produkujących epitop Gal (wieprzowina, wołowina, konina). Zaleca się natomiast spożycie mięsa drobiu oraz ryb. W 2020 r. Amerykańska Agencja ds. Żywności i Leków dopuściła jako żywność oraz produkt terapeutyczny na rynek amerykański świnie GalSafe®, u których wyłączony został gen odpowiedzialny za powstawanie enzymu α 1,3-galaktozylotransferazy. Mięso zmodyfikowanych genetycznie świń pozbawione jest antygeny Gal, w związku z czym może być bezpiecznie spożywane przez osoby z syndromem AGS (<https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-its-kind-intentional-genomic-alteration-line-domestic-pigs-both-human-food>, 2023).

7.6. Odporność na choroby

Choroby zakaźne niekorzystnie oddziałują bezpośrednio na produkcję zwierzęcą i dobrostan zwierząt. Epidemie chorób wśród zwierząt hodowlanych mają poważne konsekwencje dla gospodarki i stanowią realne zagrożenie dla zdrowia publicznego ludzi. Choroby zwierząt mają wpływ na bezpieczeństwo żywienia i żywności, w tym na: 1) kontaminację żywności patogenami oraz środkami stosowanymi do ich zwalczania, 2) rosnącą oporność patogenów na stosowane środki w tym antybiotyki, 3) infekcje odzwierzęce. Strategie zarządzania problemami związanymi z chorobami zwierząt są różne, a biotechnologia proponuje przynajmniej dwa podejścia oparte na naturalnych cechach układu immunologicznego, polegające na wzmacnianiu nieswoistej albo swoistej odpowiedzi obronnej organizmu. Wzmacnianie odporności nieswoistej polega na wprowadzaniu genów czynników działających mniej precyzyjnie w stosunku do przeciwciał, ale niewymagających aktywacji. Do takich czynników zalicza się lizozym, enzym hydrolityczny rozkładający peptydoglikany ścian komórkowych bakterii. Ekspresja lizozymu w gruczołach mlekowych genetycznie modyfikowanych zwierząt wspomagałaby ochronę potomstwa przed infekcjami bakteryjnymi. Straty powodowane przez stany zapalne gruczołu mlekowego są ogromne, zwłaszcza w przemyśle mleczarskim. Ekspresja lizostafiny, która wydajnie rozkłada

ściany komórkowe bakterii z rodzaju *Staphylococcus*, pomogłaby zapobiegać stanom zapalnym gruczołu mlekowego wywoływanym przez gronkowce.

Wzmacnianie odpowiadzi swoistej wiąże się natomiast z dużo bardziej precyzyjnymi modyfikacjami genetycznymi związanymi z produkcją swoistych przeciwciał czy antysensownych sekwencji skierowanych przeciwko konkretnemu patogenowi. Powstało wiele modeli zmodyfikowanych genetycznie zwierząt, charakteryzujących się odpornością na różne patogeny. Dotychczas stworzono GM świnię odporne na choroby wywoływane przez: wirusa zespołu rozrodczo-oddechowego świń (PRRSV) zarówno typu 1, jak i typu 2, koronawirusa zakaźnego zapalenia żołądka i jelit (TGEV), wirusa *seneca A* (SVA), wirusa klasycznego pomoru świń (CSFV). Trwają prace nad indukcją odporności na wirusa afrykańskiego pomoru świń (ASFV) (Whitelaw i in. 2005).

7.7. Modyfikacja okrywy włosowej

Najnowsza, zarejestrowana w 2022 r. i dopuszczona przez FDA na rynek amerykański modyfikacja genetyczna (PRLR-SLICK) dotyczy bydła domowego. Do stworzenia tej modyfikacji wykorzystano platformę precyzyjnej edycji genomu CRISPR-Cas9 u ras mięsnych bydła domowego wrażliwych na stres cieplny. Do genu receptora prolaktyny wprowadzono mutację generującą przedwczesny kodon stop w sekwencji kodującej, co skutkuje skróconym białkiem PRLR i fenotypem SLICK (krótka, śliska sierść). Bydło posiadające co najmniej jeden zmutowany allel z dwóch charakteryzuje się fenotypem SLICK i zwiększoną tolerancją na stres cieplny (Sosa i in. 2022). FDA przewiduje, że produkty mięsne pochodzące od bydła PRLR-SLICK mogą być dostępne dla zwykłych konsumentów już za dwa lata, czyli w 2024 r.

8. GMO oraz NGT w Unii Europejskiej

GMO to organizmy, z wyjątkiem człowieka, w których materiał genetyczny został zmieniony w sposób niezachodzący w warunkach naturalnych, na skutek krzyżowania i/lub naturalnej rekombinacji. GMO podlegają surowym przepisom w Unii Europejskiej (UE). Głównymi ramami regulującymi sprawę związane z GMO jest wprowadzona w 2001 r. dyrektywa 2001/18/WE w sprawie zamierzonego uwalniania do środowiska organizmów zmodyfikowanych genetycznie uchylająca dyrektywę Rady 90/220/EWG. Wprowadzone 22 lata temu regulacje prawne nie nadążają za dynamicznym rozwojem nauki i coraz to nowszymi platformami edycji genomu. W 2018 r. Trybunał Sprawiedliwości Unii Europejskiej (TSUE) wydał wyrok w sprawie C-528/16, w którym stwierdził, że organizmy uzyskane w efekcie mutagenyzy to GMO, o ile zastosowane techniki/metody zmieniają materiał genetyczny organizmu w sposób, który nie występuje naturalnie. Na bazie tego wyroku Rada Unii Europejskiej w 2019 r. zawnioskowała do Komisji Europejskiej (KE) o przygotowanie opracowania na temat statusu nowych, innowacyjnych technologii genetycznych NGT na gruncie prawa Unii Europejskiej (Decyzja (EU) 2019/1904). Opracowanie opublikowano w 2021 r., w którym określono m.in., że 1) NGT to nowe technologie genetyczne opracowane po wejściu w życie dyrektywy 2001/18/WE, 2) organizmy produkowane w drodze konwencjonalnej hodowli nie są GMO w Unii Europejskiej,

Inżynieria genetyczna w hodowli roślin i zwierząt

3) organizmy wytworzone w drodze klasycznej mutagenезy, z wykorzystaniem promienionowania lub mutagenów chemicznych są GMO, ale są zwolnione z obowiązków wynikających z ustawodawstwa dotyczącego GMO (ze względu na długą historię bezpiecznego stosowania w momencie wprowadzenia przepisów w 2001 r.), 4) organizmy wyprodukowane za pomocą technik modyfikacji genetycznych i NGT są GMO i podlegają zasadom ustawodawstwa dotyczącego GMO.


Dnia 5 lipca 2023 r. Komisja Europejska przyjęła wniosek dotyczący nowych propozycji legislacyjnych dla roślin produkowanych za pomocą NGT. Jak podaje Komisja Europejska, głównym celem wniosku jest ustanowienie dwóch kategorii roślin uzyskiwanych z wykorzystaniem NGT: roślin NGT, które mogłyby również występować naturalnie lub w wyniku konwencjonalnej hodowli („rośliny NGT kategorii 1”) oraz roślin NGT z bardziej złożonymi modyfikacjami, opierającymi się przede wszystkim na transgenezie („rośliny NGT kategorii 2”). Obie kategorie przed wejściem na rynek będą podlegały różnym wymogom. Rośliny NGT kategorii 1 musiałyby zostać zgłoszone i byłyby traktowane jak rośliny konwencjonalne, zwolnione z wymogów prawa dotyczącego GMO. Przejrzystość informacji na temat roślin NGT kategorii 1 na rynku UE będzie uzyskana m.in. poprzez etykietowanie nasion. Natomiast rośliny NGT kategorii 2 podlegałyby wymogom prawnym zawartym w dyrektywie dotyczącej GMO. Nowa propozycja Komisji Europejskiej ma zachęcić do kierowania rozwojem roślin w zgodzie z głównymi założeniami teorii zrównoważonego rozwoju. Aby wniosek został przyjęty, musi być zaakceptowany przez państwa członkowskie w Radzie i Parlamencie Europejskim (https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_3565).

Literatura

- Dilger A.C., Chen X., Honegger L.T., Marron B.M., Beever J.E. (2022). The Potential for Gene-Editing to Increase Muscle Growth in Pigs: Experiences with Editing Myostatin. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3: 36.
- Grobet L., Martin L.J., Poncelet D., Pirottin D., Brouwers B., Riquet J., Schoeberlein A., Dunner S., Ménéssier F., Massabanda J., Fries R., Hanset R., Georges M. (1997). A Deletion in the Bovine Myostatin Gene Causes the Double-Muscléd Phenotype in Cattle. *Nat Genet.*, 17 (1): 71–74.
- Gupta A., Pal R.K., Rajam M.V. (2013). Delayed Ripening and Improved Fruit Processing Quality in Tomato by RNAi-mediated Silencing of Three Homologs of 1-aminopropane-1-carboxylate Synthase Gene. *J. Plant Physiol.*, 170 (11): 987–995.
- Hryhorowicz M., Lipiński D., Zeyland J., Słomski R. (2017). CRISPR/Cas9 Immune System as a Tool for Genome Engineering. *Arch. Immunol. Ther. Exp. (Warsz)*, 65 (3): 233–240.
- https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_3565 (dostęp: 10.07.2023).
- https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en (dostęp: 2.06.2023)
- <https://food.ussoy.org/> (dostęp: 5.06.2023).
- <https://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture> (dostęp: 10.07.2023).
- <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-its-kind-intentional-genomic-alteration-line-domestic-pigs-both-human-food> (dostęp: 2.07.2023).
- <https://www.isaaa.org/> (dostęp: 2.07.2023).



Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

- Hunter P. (2014). „Genetically Modified Lite” Placates Public but Not Activists: New Technologies to Manipulate Plant Genomes Could Help to Overcome Public Concerns About GM Crops. *EMBO Rep.*, 15 (2): 138–141.
- Krieger E.K., Allen E., Gilbertson L.A., Roberts J.K., Hiatt W., Sanders R.A. (2008). The Flavr Savr Tomato, an Early Example of RNAi Technology. *HortScience*, 43 (3): 962–964.
- Kumar K., Gambhir G., Dass A., Tripathi A.K., Singh A., Jha A.K., Yadava P., Choudhary M., Rakshit S. (2020). Genetically Modified Crops: Current Status and Future Prospects. *Planta*, 251 (4): 91.
- Malik K.A., Maqbool A. (2020). Transgenic Crops for Biofortification. *Front. Sustain. Food Syst.*, 3 November, *Crop Biology and Sustainability*, 4.
- Meyermans R., Janssens S., Coussé A., Gorssen W., Hubin X., Mayeres P., Veulemans W., Claerebout E., Charlier C., Buys N. (2022). Myostatin Mutation Causing Double Muscling Could Affect Increased Psoroptic Mange Sensitivity in Dual Purpose Belgian Blue Cattle. *Animal*, 16 (3): 100460.
- Rahman M., Hussain K., Khan M.A., Bakhsh A., Rao A.Q. (2012). An Insight of Cotton Leaf Curl Virus: A Devastating Plant Pathogenic Begomovirus. *Pure Appl. Bio.*, 1: 52–58.
- Raza A., Razzaq A., Mehmood S.S., Zou X., Zhang X., Lv Y., Xu J. (2019). Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. *Plants* (Basel), 8 (2): 34.
- Sosa F., Santos J.E.P., Rae D.O., Larson C.C., Macchietto M., Abrahante J.E., Amaral T.F., Denicol A.C., Sonstegard T.S., Hansen P.J. (2022). Effects of the SLICK1 Mutation in PRLR on Regulation of Core Body Temperature and Global Gene Expression in Liver in Cattle. *Animal*, 16 (5): 100523.
- Tu M., Sun Q., Zhang J., Zhang G. (2022). Comparative Effects of Traditional versus Genetically Modified Soybean Oils on Colon Tumorigenesis in Mice. *Foods*, 11 (13): 1937.
- Verma A.S., Agrahari S., Rastogi S., Singh A. (2011). Biotechnology in the realm of history. *J. Pharm. Bioallied Sci.*, 3 (3): 321–323.
- Whitelaw C.B., Sang H.M. (2005). Disease-Resistant Genetically Modified Animals. *Rev. Sci. Tech.*, 24 (1): 275–283.
- Whitworth K.M., Green J.A., Redel B.K., Geisert R.D., Lee K., Telugu B.P., Wells K.D., Prather R.S. (2022). Improvements in Pig Agriculture through Gene Editing. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3 (1): 41.
- Wu G., Bazer F.W. (2019). Application of New Biotechnologies for Improvements in Swine Nutrition and Pork Production. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 10: 28.
- Zhang X., Li Z., Yang H., Liu D., Cai G., Li G., Mo J., Wang D., Zhong C., Wang H., Sun Y., Shi J., Zheng E., Meng F., Zhang M., He X., Zhou R., Zhang J., Huang M., Zhang R., Li N., Fan M., Yang J., Wu Z. (2018). Novel Transgenic Pigs with Enhanced Growth and Reduced Environmental Impact. *Elife*, 7: e34286.
- Zhao Y., Yang X., Zhou G., Zhang T. (2020). Engineering Plant Virus Resistance: From RNA Silencing to Genome Editing Strategies. *Plant Biotechnol.*, 18 (2): 328–336.
- 



Rozdział V

Wykorzystanie narzędzi sztucznej inteligencji w rolnictwie

1. Wstęp

W ostatnim czasie rolnictwo przeszło rzeczywistą rewolucję związaną z wprowadzeniem nowych technologii pozyskiwania danych. Przez wiele lat produkcja rolnicza polegała w dużej mierze na obserwacji i własnym wnioskowaniu rolników. Zalecenia agrotechniczne dotyczyły pewnych ogólnych działań związanych z ochroną upraw i hodowanych zwierząt. Przykładowo w wypadku wysiewu pszenicy terminy wysiewu obliczano przez uśrednienie wieloletnich prób prowadzonych w określonych regionach. Sprawą oczywistą jest, że zalecane terminy siewu wynikały z nakładania się wielu czynników, takich jak: temperatura gleby, jej wilgotność, struktura i wielu innych. Nie były one jednak przedstawiane w zaleceniach, gdyż uznawano, że wiele z nich jest trudnych do zmierzenia, a przecież wiadomo, iż niezależnie od sposobu gospodarowania uprawą, z natury zakłada się pewien stopień zmienności przestrzennej warunków siedliskowych. Jest zatem oczywiste, że należy mierzyć warunki siedliskowe na możliwie małym obszarze pola. Prowadzi to jednak do problemu związanego pracochłonnością pozyskiwania danych z dużej liczby czujników.

Wraz z wprowadzeniem systemów zdalnego przesyłania danych technologie pomiarowe wyszły poza sale laboratoryjne. Pojawiło się pojęcie „internet rzeczy”, opisujące elementy struktury jako samodzielne systemy komputerowe wpięte do sieci transmisji danych, inaczej mówiąc – elementy, które posiadają podmiotowość, przez nadanie im adresu MAC, czyli unikatowego identyfikatora sieciowego. Internet rzeczy w odniesieniu do rolnictwa umożliwia automatyzację przesyłania wyników pomiarowych z dużej liczby czujników, które mogą wpływać na każdy dział produkcji rolniczej, prowadząc jednak do uzyskiwania ogromnej ilości danych. Oszacowano, że w 2018 r. w 250 tys. gospodarstwach, stanowiących od 10% do 15% ogólnej liczby amerykańskich gospodarstw, korzystano z rozwiązań internetu rzeczy (Alpha Brown 2018).

Liczne badania prowadzone w ostatnich latach wskazują, że zastosowanie precyzyjnych technik pomiarowych, przekazujących dane w czasie rzeczywistym, umożliwi zwiększenie produkcji



żywności nawet o 70% w stosunku do obecnej produkcji rolnej (Schwich, Schattenberg, Frerichs 2020). Ogromna liczba danych produkowanych przez czujniki wymusza tworzenie technologii pozwalających na ich sprawne przetworzenie i wyłuskanie z nich wiedzy użytkowej (Makulska 2021). Masowe zasypanie odbiorcy surowymi danymi prowadzi do powstania bałaganu informacyjnego, uniemożliwiającego uruchomienie działań wykonawczych. Dlatego konieczne stało się wprowadzenie technologii ułatwiających analizowanie danych i podejmowanie na ich podstawie odpowiednich decyzji i działań (Dipali, Deepa 2021).

2. Podstawowe pojęcia dotyczące inteligencji

Według jakich kryteriów określa się daną osobę jako inteligentną? Czy oznacza to, że ona szybko myśli, potrafi przyswoić i natychmiast zastosować nową wiedzę? Czy jest bardzo kreatywna, zdolna do nieskończonego generowania nowatorskich pomysłów? Być może jest bardzo spostrzegawcza i skupia się na najdrobniejszych szczegółach otaczającego ją świata?

Pojęcie inteligencji jest bardzo szerokie i istnieje wiele jej rodzajów. Najczęściej kojarzone jest z rodzajem inteligencji personalnej, niemniej istnieje inteligencja logiczna, językowa, przestrzenna. Ogólnie rzecz biorąc, można powiedzieć, że inteligencja to zdolność adaptacji do zmiennych warunków. Czym zatem jest sztuczna inteligencja? Odpowiedź jest podobna: jest to zespół algorytmów, które pozwalają maszynie na adaptowanie się do zmiennych warunków (Kohavi 1997). We współczesnych czasach sztuczna inteligencja robi karierę i jest wspomniana przy wielu okazjach, z różnym zresztą ładunkiem emocjonalnym. Oczywiście to, co obecnie nazywamy sztuczną inteligencją, nie pojawiło się z dnia na dzień. W rozwoju algorytmów na przestrzeni lat opracowywano pewne rozwiązania zdecydowanie wprowadzające progres w tym obszarze nauki. Alan Turing w 1950 r. po raz pierwszy opublikował przełomowy artykuł, w którym spekulował na temat możliwości stworzenia myślących maszyn. Rok później pojawiło się, opracowane przez Dietricha Prinza, pierwsze oprogramowanie umożliwiające grę w szachy. Stało się ono wzorem dla kolejnych generacji gier komputerowych (Goodfellow 2016).

Po raz pierwszy w 1956 r. John McCarthy użył określenia „sztuczna inteligencja”. W tym czasie zmieniła się inżynieria oprogramowania, wprowadzono nowe systemy komunikacji z odbiorcą i w konsekwencji w 1961 r. pojawił się pierwszy ChatBot o nazwie Eliza. Kolejnym przełomowym zdarzeniem pokazującym możliwości algorytmów uczących było pokonanie w 1997 r. mistrza szachowego, Garry’ego Kasparova przez opracowany w IBM algorytm nazwany Deep Blue.

Główną ideą przyświecającą opracowaniu sztucznej inteligencji (*Artificial Intelligence* – AI) jest stworzenie systemu, który działa podobnie do ludzkiego mózgu (Campbell 2014). U podstaw tej technologii jest próba stworzenia algorytmów umożliwiających odpowiedź na pytania szczegółowe, w jaki sposób ludzki mózg myśli, uczy się, dokonuje osądów i współpracuje przy rozwiązywaniu problemu.

Jest to realizowane, podobnie jak w ludzkim mózgu, przez wprowadzanie danych treningowych w postaci wartości wejściowych i podawane jest rozwiązanie poprawne dla tych wartości. Przykładem może być wizyjny system identyfikujący dojrzałość jabłek, w którym wprowadzane są obrazy owoców o różnym stopniu dojrzałości, z informacją, które z nich kwalifikują się do

Wykorzystanie narzędzi sztucznej inteligencji w rolnictwie

zbioru. Algorytm wytrenowany na odpowiednio dużej liczbie danych z dużym prawdopodobieństwem jest w stanie poprawnie wygenerować decyzję.

Ze względu na skomplikowanie algorytmu i uniwersalności zastosowania sztuczna inteligencja jest dzielona na:

- silną sztuczną inteligencję (AGI), która nazywana jest inteligencją ogólną. Odnosi się ona do maszyn o inteligencji na poziomie ludzkim lub wyższym, zdolnych do wyprowadzania uogólnionych zależności z pewnej puli doświadczeń i mających możliwość przenoszenia tej wiedzy między zdarzeniami. Silna sztuczna inteligencja obejmuje maszyny posiadające zdolność wykonywania każdego zadania intelektualnego, które może wykonać człowiek. Przykładem wykorzystania AGI mogą być roboty rolnicze, czyli rozwiązania pozwalające na wykorzystanie algorytmów samouczących;
- sztuczną wąską inteligencję (ANI), znaną również jako słaba sztuczna inteligencja. Jest ona stosowana tylko do określonych zadań. Wąsko inteligentne algorytmy mogą pokonać ludzi w określonych zadaniach, ale nie mogą zastosować tej wiedzy do innych zadań, takich jak prowadzenie samochodów lub tworzenie dzieł sztuki. Rozwiązywanie zadań wykraczających poza przeznaczenie programu wymaga zbudowania dodatkowych algorytmów. Przykładem są np. programy szachowe;
- sztuczną superinteligencję (ASI). Jest to termin odnoszący się do przewidywanych czasów, gdy możliwości komputerów przewyższą możliwości ludzi.

Niezależnie od rodzaju algorytmów sztucznej inteligencji, wszystkie one posiadają w różnym stopniu rozwinięte systemy uczenia. Proces uczenia systemów sztucznej inteligencji nosi nazwę uczenia maszynowego. Określenia „sztuczna inteligencja” i „uczenie maszynowe” używane są czasami zamiennie (Dargan i in. 2020).

Sztuczna inteligencja ogólnie jest pojęciem szerszym i odnosi się do zbioru technik obliczeniowych, ale nowoczesne rozwiązania sztucznej inteligencji opierają się na algorytmach uczenia maszynowego. Uczenie maszynowe umożliwia komputerom uczenie się bez zmiany kodu oprogramowania. Jest to dziedzina informatyki, która opiera się na statystyce i eksploracji danych. W grupie algorytmów uczenia maszynowego można wyróżnić kilka rozwiązań technologicznych, które mogą występować wspólnie lub oddzielnie.

Pierwszym i chyba najczęściej kojarzonym z pojęciem sztucznej inteligencji terminem jest uczenie nadzorowane. Polega ono na otrzymywaniu przez algorytm w komputerze oznaczonych danych treningowych, które składają się ze sparowanych danych wejściowych i wyjściowych. Typowym zastosowaniem tego typu algorytmów jest klasyfikacja owoców, w której dane uczące są podzielone na dyskretne i uporządkowane kategorie wyników. Drugim przykładem jest wykorzystanie ich do budowy modeli regresji, w których dane wejściowe są używane do przewidywania lub szacowania wyników będących wartościami liczbowymi. Jeśli system analizy obrazu ma przeprowadzić rozróżnienie pomiędzy jabłkiem i gruszką, jest to problem klasyfikacji z dyskretnymi klasami wyjściowymi. Jeśli próbuje się na podstawie danych wejściowych przewidzieć np. wpływ nawodnienia na plony marchewki, można ją utożsamiać z budową modelu regresji z ciągłymi wynikami (Ma i in. 2019).

Uczenie się bez nadzoru ma miejsce wówczas, gdy komputery otrzymują dane nieustrukturyzowane, a nie oznaczone etykietami. Oznacza to, że wraz z wprowadzanymi danymi nie

ma oceny polegającej na określeniu, czy na zdjęciu jest pies, czy kot. W danych wprowadzonych do systemu brakuje określenia przywiązania wyniku do danych wejściowych. Uczenie bez nadzoru jest stosowane do odkrywania pewnych nieznanymi zależności pomiędzy danymi. Jednym z powszechnych zastosowań uczenia bez nadzoru jest grupowanie, w którym dane wejściowe są dzielone na różne grupy na podstawie miary „podobieństwa”. Metoda ta jest stosowana np. do wykrywania wpływu danego środka chemicznego na chwasty. Wynikiem może być odkrycie tego, że można zauważyć, niezależnie od gatunku rośliny, różny stopień zwijania się liści pod wpływem oprysku herbicydem. W przeciwieństwie do uczenia nadzorowanego, grupy nie są znane z góry, a różne miary podobieństwa dadzą różne wyniki (Ren, Dae-Kyoo, Jeong 2020).

Uczenie częściowo nadzorowane mieści się pomiędzy uczeniem nadzorowanym a nienadzorowanym. Wiele rzeczywistych zestawów danych ma zaszumione, nieprawidłowe etykiety lub w ogóle ich nie ma, co oznacza, że wejścia i wyjścia są sparowane ze sobą nieprawidłowo bądź nie są sparowane wcale. Aktywne uczenie to szczególny przypadek uczenia częściowo nadzorowanego i zachodzi wówczas, gdy algorytm aktywnie wysyła użytkownikowi zapytanie, aby odkrył właściwe wyjście lub etykietę dla nowego wejścia. Aktywne uczenie się służy do optymalizacji systemów rekomendacji, takich jak te używane do polecania produktów wyświetlanych w przeglądarkach internetowych lub zadania pytania, dlaczego nie interesuje użytkownika reklama produktu wyświetlonego w profilu społecznościowym.

Uczenie się ze wzmocnieniem to uczenie się metodą prób i błędów, w której program komputerowy otrzymuje polecenie osiągnięcia określonego celu w dynamicznym środowisku. Program uczy się, podejmując wielokrotnie działania, mierząc informacje zwrotne z tych działań i iteracyjnie poprawiając swoją politykę behawioralną. Uczenie się przez wzmocnianie można z powodzeniem zastosować w grach, sterowaniu robotami i innych dobrze zdefiniowanych i ograniczonych problemach.

Głębokie uczenie się to poddziedzina uczenia maszynowego budująca algorytmy z użyciem wielowarstwowych sztucznych sieci neuronowych, które są strukturami matematycznymi luźno inspirowanymi tym, jak uruchamiane się neurony biologiczne. Sieci neuronowe zostały wynalezione w latach 50. XX w., ale ostatnie postępy w zakresie mocy obliczeniowej i projektowania algorytmów – a także rozwój dużych zbiorów danych – umożliwiły algorytmom głębokiego uczenia się zbliżenie się do wydajności na poziomie człowieka w takich zadaniach, jak rozpoznawanie mowy i klasyfikacja obrazów. Głębokie uczenie się w połączeniu z uczeniem się przez wzmocnianie umożliwiło AlphaGo firmy Google DeepMind pokonanie ludzkich mistrzów świata w grę Go w 2016 r., co wielu ekspertów uważało za obliczeniowo niemożliwe. Głębokie uczenie się jest najbardziej znanym przykładem sztucznej inteligencji. W tej technologii algorytmy są szkolone na dużych zbiorach danych w celu generowania prognoz na ich podstawie. Wykorzystanie algorytmów głębokiego uczenia może obejmować tłumaczenie języka, rozpoznawanie głosu i rozpoznawanie obrazu.

Każda z tych technik uczenia maszynowego znajduje swoje miejsce w systemach sztucznej inteligencji, w niektórych przypadkach warto jednak zastosować mniej skomplikowane algorytmy. Dla przykładu, algorytm uczenia nadzorowanego można porównać z uczeniem głębokim przy rozpoznawaniu stopnia dojrzałości owoców na podstawie koloru. Algorytm uczenia

Wykorzystanie narzędzi sztucznej inteligencji w rolnictwie

nadzorowanego rozpoznaje stopień dojrzałości po wykonaniu obliczenia wartości kanałów RGB na określonej liczbie pikseli. Algorytm głębokiego uczenia idzie o krok dalej i nie tylko identyfikuje różne kolory, ale także różne kształty i rozmiary owoców. Dzieje się tak, ponieważ dane szkoleniowe dostarczają informacji kontekstowych, co oznacza, że algorytm uzyskuje informacje przestrzenne nie tylko z każdego piksela, ale także z sąsiednich pikseli (Fuentes-Pacheco i in. 2019).

W rolnictwie sztuczna inteligencja jest już stosowana powszechnie. Najwcześniej wykorzystanie jej elementów wprowadzono do teledetekcji obszarów, często łącząc ich przetwarzanie z innymi technikami analizy obrazu (Ekielski i in. 2017). Na rysunku 1 przedstawiono przykład wykorzystania sieci głęboko uczącej do wykrywania i automatycznej klasyfikacji uszkodzeń na powierzchni uprawy świerka. Do klasyfikacji zniszczeń w uprawach świerków użyto zdjęć z dronów.



Rys. 1. Wykonanie klasyfikacji upraw sadzonek drzew w szkółce uszkodzonych przez nieprawidłowo wykonane opryski: a) widok pola, b) obszar zakwalifikowany przez algorytm AI, jako obszar uszkodzeń całkowitych

Źródło: Opracowanie własne, fot. A. Ekielski.

Jako dane uczące wprowadzono zdjęcia wykonane przez kamery umieszczone na dronach w paśmie światła widzialnego uszkodzonych pól. Do uczenia nadzorowanego układu AI wykorzystano około 200 zdjęć. Ze względu na różne warunki wykonywania zdjęć klasyfikacja półautomatyczna, oparta na klasycznych metodach, była zbyt kosztowna. Uzyskane wyniki klasyfikacji weryfikowane były następnie metodą półautomatyczną przez system kolorymetryczny. Wytrenowany algorytm AI był w stanie zidentyfikować obszary zniszczeń z 97-procentową dokładnością. Inaczej mówiąc, tylko 3% roślin zostało zakwalifikowanych do błędnej grupy.

Autorzy w publikowanych wynikach badań (Kashyap 2017) zwracają uwagę, że AI z wykorzystaniem technologii dronów ma znaczenie dla rolnictwa i hodowli, ponieważ zapewnia wygodny sposób monitorowania, oceny i skanowania upraw poprzez użycie obrazów o wysokiej jakości i wysokiej rozdzielczości. Wykorzystanie algorytmów uczących umożliwia szybkie rozpoznawanie stanu rozwoju roślin i stopnia zagrożenia szkodnikami i chorobami w każdym stadium ich rozwoju, dzięki czemu można w rozsądny sposób stosować środki ochrony roślin oraz oceniać potrzeby i deficyty nawozowe.

Poważnym problemem w przypadku stosowania automatycznych kombajnów do warzyw i owoców jest właściwa ich regulacja eliminująca uszkodzenia plonów w czasie zbioru. Ocena stanu przez szybką analizę obrazu umożliwia praktycznie natychmiastową korektę ustawień

elementów wykonawczych. Dzięki wykorzystaniu jednego z modeli głębokiego uczenia maszynowego (YOLO-V4), możliwe było prowadzenie klasyfikacji korzeni buraka cukrowego ze względu na jego jakość i dokonanie korekty nastaw elementów roboczych kombajnu (Osipov i in. 2022).

Narzędzia AI są na tyle uniwersalne, że praktycznie we wszystkich działach produkcji rolnej mogą mieć zastosowanie – tam, gdzie potrzebne jest szybkie wnioskowanie wykorzystujące dane o strukturze wielomodalnej, czyli takiej, w której dane dostarczane są w wielu standardach. Przykładem jest analiza zdjęć i widma odbiciowego roślin z dronów niskopułapowych lub zdjęć satelitarnych, dzięki której można w rozsądny sposób stosować środki ochrony roślin oraz oceniać potrzeby i deficyty nawozowe w uprawach polowych. Powyższe przykłady praktycznego wykorzystania sztucznej inteligencji stanowią tylko niektóre możliwe obszary ich zastosowania. Jedną z obiecujących aplikacji sztucznej inteligencji może być np. doradztwo. W 2022 r. opracowano pierwsze w pełni funkcjonujące narzędzie chatbota o nazwie ChatGPT, które może zastąpić wiele tradycyjnie stosowanych systemów eksperckich.

3. ChatGPT – nowa jakość w systemach komunikacji ze sztuczną inteligencją

OpenAI to organizacja badawcza założona w grudniu 2015 r. przez grupę przedsiębiorców, w tym Elona Muska i Sama Altmana. Misją organizacji jest promowanie i rozwijanie przyjaznej sztucznej inteligencji w sposób przynoszący korzyści całej ludzkości. Narzędzie chatbota o nazwie ChatGPT (*Chat Generative Pre-training*), oparte na modelu GPT-3, zostało udostępnione 30 listopada 2022 r. Głównym celem ChatGPT jest ułatwienie ludziom dostępu do informacji i wykonywania zadań poprzez udzielanie pomocnych i dokładnych odpowiedzi na ich pytania i prośby (Hughes 2023). ChatGPT może generować odpowiedzi na pytania i podpowiedzi w sposób podobny do odpowiedzi człowieka, co jest przydatne w przypadku takich zadań, jak odpowiadanie na pytania, tłumaczenie tekstu lub generowanie treści.

ChatGPT jest uważany za rewolucyjny z wielu powodów, m.in. z uwagi na rozmiar jest on jednym z największych modeli językowych, jakie kiedykolwiek opracowano, i obejmuje 175 mld parametrów (Hughes 2023). To czyni go jednym z najpotężniejszych rozwiązań do generowania tekstu przypominającego język ludzki i wykonywania szerokiego zakresu zadań związanych z przetwarzaniem języka naturalnego. GPT-3 jest w stanie generować odpowiedzi na monity, które są trudne do odróżnienia od tekstu napisanego przez człowieka, i wykonywać szeroki zakres zadań związanych z przetwarzaniem języka naturalnego bez konieczności stosowania danych treningowych specyficznych dla zadania.

Algorytm pracy zastosowany w strukturze ChatGPT wykorzystuje narzędzia i metody wzmocnianego uczenia maszynowego o nazwie *Reinforcement Learning from Human Feedback: RLHF* (Pearl 2022). Jego architektura składa się z wielu warstw sztucznych neuronów, które są inspirowane strukturą i funkcją neuronów w ludzkim mózgu. Jako duży model językowy ChatGPT ma możliwość wspomagania szerokiego zakresu zadań, które obejmują generowanie lub przetwarzanie ludzkiego języka. Od momentu uruchomienia ChatGPT zyskał reputację

Wykorzystanie narzędzi sztucznej inteligencji w rolnictwie

dzięki zdolności do odpowiadania na pytania, pisania i rozwiązywania problemów w sposób porównywalny – a czasami nawet lepszy – od ludzkiego. Niektóre dziedziny, w których może być pomocny, obejmują:

- przetwarzanie języka naturalnego – ChatGPT może wykonywać różne zadania przetwarzania języka naturalnego, takie jak tłumaczenie, streszczanie i klasyfikacja tekstu;
- tworzenie treści – ChatGPT może generować tekst podobny do ludzkiego, co sprawia, że doskonale nadaje się do zadań takich, jak tworzenie treści, pisanie artykułów i generowanie historii;
- obsługa klienta – ChatGPT może generować odpowiedzi na zapytania klientów lub pomagać w takich zadaniach, jak odpowiadanie na najczęściej zadawane pytania;
- tłumaczenie – ChatGPT może tłumaczyć tekst z jednego języka na inny, co może być przydatne do zadań takich jak tłumaczenie stron internetowych lub tworzenie napisów;
- analiza danych – ChatGPT może analizować i interpretować dane tekstowe, przydatne do zadań takich jak analiza nastrojów lub kategoryzacja treści.

Chociaż ChatGPT jest potężnym modelem generowania języka, nie jest doskonały i czasami może tworzyć odpowiedzi, które nie są spójne. Wynika to z ograniczeń w zdolności modelu do zrozumienia kontekstu, braku wiedzy lub wiedzy o świecie, nadmiernego polegania na wzorcach statystycznych i innych czynników. W szczególności:

- ChatGPT nie jest w stanie zrozumieć złożonych pojęć, takich jak rozumowanie matematyczne lub naukowe, ani zrozumieć zdrowego rozsądku i świata fizycznego. Jest szkolony głównie w zakresie tekstu nieustrukturyzowanego, więc może mieć problemy z prezentacją danych strukturalnych, takich jak tabele, wykresy lub arkusze kalkulacyjne;
- ChatGPT jest szkolony na ogromnym zbiorze danych tekstowych z internetu, który może zawierać stronnicze lub nieodpowiednie treści. Może to spowodować niezamierzone uprzedzenia w odpowiedziach modelu, takie jak uprzedzenia związane z płcią lub rasą;
- ChatGPT to model czarnej skrzynki. Jest to złożony model sieci neuronowej z milionami parametrów, co utrudnia zrozumienie jego działania. Wewnętrzne działanie modelu nie jest widoczne i trudno prześledzić proces decyzyjny, który prowadzi do określonej reakcji. Model nie zawiera żadnych wyjaśnień ani uzasadnień swoich odpowiedzi, dlatego trudno jest zrozumieć jego wyniki i im zaufać.

4. Podsumowanie

Sztuczna inteligencja w najbliższym czasie może zrewolucjonizować rolnictwo (Sourav, Emanuel 2021), umożliwiając wydajniejszą produkcję roślinną oraz lepsze monitorowanie i prognozowanie stanu upraw. Istnieje kilka problemów, które należy rozwiązać, aby w pełni móc korzystać z możliwości, jakie dają algorytmy sztucznej inteligencji. Pierwszym wyzwaniem jest wysoki koszt finansowy związany z wprowadzaniem rozwiązań AI, co może utrudniać wdrażanie tych modeli w środowiskach o ograniczonych zasobach inwestowania, takich właśnie jak obszary wiejskie. Ograniczeniem może być brak dokładnych i standaryzowanych wartości

pomiarowych zbieranych w gospodarstwie. Co prawda wpływ niskiej jakości danych może zostać zniwelowany przez zwiększenie ich liczby, ale związane jest to ze znacznym wzrostem kosztów jego obsługi.

Szczególnie w rolnictwie duża ilość danych jest niekompletna lub obciążona szumem, dlatego istnieje potrzeba stworzenia metod, które będą w stanie pracować z dużymi zbiorami niekompletnych lub niskiej jakości danych.

Wprowadzenie integralności w zbiorach danych pochodzących z różnych źródeł, takich jak dane obrazowe, dane z czujników i dane pogodowe, będzie miało podstawowe znaczenie dla poprawy modeli głębokiego uczenia. Wydaje się, że w najbliższych latach powstanie rynek wielostrumieniowych sieci neuronowych, które mogłyby obsługiwać wielomodalne zbiory danych i zapewniać pełniejsze dostrojenie się do danych uzyskanych z różnych sektorów rolnictwa.

Literatura

- Alpha Brown (2018). *What Is IoT in Agriculture? Farmers Aren't Quite Sure Despite \$4bn US Opportunity – Report*. <https://agfundernews.com/iot-agriculture-farmers-arent-quite-sure-despite-4bn-us-opportunity.html> (dostęp: 20.06.2023).
- Campbell C. (2014). Machine Learning Methodology in Bioinformatics. W: N. Kasabov (red.), *Springer handbook of bio-/neuroinformatics*. Berlin, Heidelberg: Springer: 185–206.
- Dargan S., Kumar M., Ayyagari M.R., Kumar G. (2020). A Survey of Deep Learning and its Applications: A New Paradigm to Machine Learning. *Arch. Comput. Methods Eng.*, 27: 1071–1092.
- Dipali M., Deepa D. (2021). Automation and Integration of Growth Monitoring in Plants (with Disease Prediction) and Crop Prediction. *Mater. Today Proc.*, 43: 3922–3927.
- Ekielski A., Koronczok J., Lorencki J., Czech T., Tulska E. (2017). *Crops Diagnosis Using Hurst Exponent Values in Fields Image Analysis*. Conference: IX International Scientific Symposium „Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture”, Lublin, Poland: 103–108.
- Fuentes-Pacheco J., Torres-Olivares J., Roman-Rangel E. *et al.* (2019). Fig Plant Segmentation from Aerial Images Using a Deep Convolutional Encoder-Decoder Network. *Remote Sens*, 11 (10): 1157.
- Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. (2016). *Deep Learning*. Adaptive Computation and Machine Learning Series. MIT Press.
- Hughes A. (2023). ChatGPT: Everything You Need to Know about OpenAI's GPT-3 tool. *BBC Science Focus Magazine*.
- Kashyap P. (2017). *Machine Learning for Decision-Makers: Cognitive Computing Fundamentals for Better Decision Making*. Bangalore, India: Apress: 227–228.
- Makulska J. (2021). Sztuczna inteligencja w zootechnice. W: *Quo vadis zootechniko? Monografia*. II Kongres Zootechniki Polskiej. Warszawa.
- Kohavi R. (1997). Wrappers for Feature Selection. *Artificial Intelligence*, 97 (1–2): 273–324.
- Ma L., Liu Y., Zhang X., Ye Y., Yin G., Johnson B. (2019). Deep Learning in Remote Sensing Applications: A Meta-analysis and Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152: 166–177.
- Makulska J. (2021). Sztuczna inteligencja w zootechnice. W: *Quo vadis zootechniko? Monografia*. II Kongres Zootechniki Polskiej. Warszawa.
- Osipov A., Shumaev V., Ekielski A., Gataullin T., Suvorov S., Mishurov, Gataullin S. (2022). Classification of Mechanical Damage During Continuous Harvesting of Root Crops Using Computer Vision Methods. *IEEE Access*, 10: 28885–28894.

Wykorzystanie narzędzi sztucznej inteligencji w rolnictwie

- Pearl M. (2022). *The ChatGPT chatbot from OpenAI is amazing, creative, and totally wrong*. Mashable, December 3. <https://mashable.com/article/chatgpt-amazing-wrong/> (dostęp: 18.05.2023).
- Ren C., Dae-Kyoo K., Jeong D. (2020). A Survey of Deep Learning in Agriculture: Techniques and their Applications. *J. Inf. Processing Syst.*, 16: 1015–1033.
- Schwich S., Schattenberg J., Frerichs L. (2020). *Development of a Machine Learning-based Assistance System for Computer-Aided Process Optimization within a Self-Propelled Sugar Beet Harvester*. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Sourav A.I., Emanuel A.W.R. (2021). Recent Trends of Big Data in Precision Agriculture: A Review. W: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Bristol, UK: IOP Publishing, 1096: 012081.





Rozdział VI

Możliwości wdrażania rozwiązań rolnictwa precyzyjnego w ramach Planu strategicznego WPR na lata 2023–2027 oraz innych polityk publicznych

1. Wstęp

Trendy światowe wskazują na wzrost inwestycji w sektorze technologii rolniczych, w tym w technologii rolnictwa inteligentnego (*Smart Farming*) i jego integralną część – rolnictwo precyzyjne¹. Cyfryzacja rolnictwa i automatyzacja procesów w gospodarstwach staje się koniecznością ze względu na nasilające się problemy z brakiem siły roboczej dla rolnictwa. Mając na uwadze ambitne cele strategii „od pola do stołu” w zakresie obniżenia stosowania chemicznych środków ochrony roślin oraz ograniczenia strat składników pokarmowych poprzez wspieranie lepszego zarządzania składnikami pokarmowymi, niezbędnym działaniem jest wspieranie rozwiązań cyfrowych (Załącznik 2022). Z tego powodu państwa członkowskie UE w planach strategicznych WPR na lata 2023–2027 (Plan 2023) powinny szczególnie uwzględnić przekrojowy cel, polegający na modernizacji sektora przez sprzyjanie dzieleniu się wiedzą, innowacji i cyfryzacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich, a także zachęcanie do ich wykorzystywania.

¹ Na potrzeby artykułu przyjęto (za: van Erp-van der Kooij, Rutter 2020, Stępień i in. 2022), że rolnictwo precyzyjne w produkcji zwierzęcej to rozwiązania, które wykorzystują zaawansowane technologie, mające na celu automatyczne monitorowanie w czasie rzeczywistym zachowania zwierząt, ich zdrowia oraz wpływu na środowisko i produkcję. Celem rolnictwa precyzyjnego w produkcji zwierzęcej jest wykrycie odchyłań na wczesnym etapie i poprawa zdrowia, dobrostanu i wydajności zwierząt, w wyniku czego oczekuje się poprawy zrównoważenia produkcji. Natomiast w rolnictwie precyzyjnym w odniesieniu do produkcji roślinnej wykorzystuje się zaawansowane technologie w celu dostosowania nakładu środków produkcji: dawki nawozów i środków ochrony roślin, gęstości siewu lub sadzenia do aktualnych potrzeb roślin i zasobności gleby w składniki pokarmowe na danym obszarze pola.



Możliwości wdrażania rozwiązań rolnictwa precyzyjnego...

W konsekwencji kraje powinny przedstawić wsparcie na rzecz inwestycji we wprowadzaniu technologii cyfrowych w rolnictwie i na obszarach wiejskich, takich jak inwestycje w rolnictwo precyzyjne, inteligentne wsie, przedsiębiorstwa wiejskie i infrastrukturę technologii informacyjno-komunikacyjnych (Rozporządzenie 2021).

W Planie Strategicznym dla WPR na lata 2023–2027 (2023) przedstawiono opis strategii rozwoju technologii cyfrowych w rolnictwie i na obszarach wiejskich oraz strategię stosowania tych technologii do poprawy skuteczności i efektywności interwencji w ramach planu strategicznego WPR. Do najważniejszych zagadnień związanych z rozwojem cyfryzacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich należy zaliczyć:

- wspomaganie rozwoju i modernizacji infrastruktury teleinformatycznej i telekomunikacyjnej na obszarach wiejskich oraz rozwój infrastruktury cyfrowo-telekomunikacyjnej,
- wyeliminowanie terytorialnych różnic w możliwości dostępu do szerokopasmowego internetu o wysokich przepustowościach na obszarach wiejskich i miejskich,
- rozwój kapitału ludzkiego obszarów wiejskich z wykorzystaniem sieci szerokopasmowych,
- wykorzystanie ICT w procesach modernizacyjnych sektora rolno-spożywczego,
- modernizację w rolnictwie wykorzystującą możliwość adaptowania najnowszych technologii, w tym m.in. w zakresie automatyzacji i cyfryzacji,
- tworzenie i wdrożenie innowacyjnych aplikacji oraz otwartych platform ICT, dzięki którym możliwe jest zdalne doradzanie, wspieranie producentów rolnych czy zachęcanie użytkowników do aktywnej współpracy (w tym wymiany wiedzy),
- cyfryzację w dziedzinie wdrażania instrumentów polityki rolnej ułatwiającą rozwój i upowszechnienie narzędzi do optymalizacji procesów produkcyjnych w gospodarstwach rolnych,
- zwiększenie wykorzystania technologii cyfrowych w ramach kontroli i egzekwowania przepisów (użycie dronów, wykorzystanie technik satelitarnych do obmiarów),
- ułatwienie dostępu do zasobów informacyjnych, w szczególności przepływu zasobów informacyjnych między jednostkami administracji publicznej i instytucjami badawczymi,
- edukację cyfrową dzieci, młodzieży i dorosłych, w tym m.in. w zakresie cyberbezpieczeństwa,
- wykorzystanie ICT w podnoszeniu jakości życia na wsi, zwiększenie dostępu do szerokopasmowego internetu, w tym m.in. również przez cyfryzację gminnych ośrodków kultury oraz rozwój nowoczesnej i efektywnej e-administracji, a także przeciwdziałanie wykluczeniu cyfrowemu na wsi, rozwój e-usług finansowych,
- poprawę innowacyjności kształcenia rolniczego i jego elastycznych dostosowań w warunkach zmiany, m.in. przez: włączenie metod projektowych, wykorzystanie technologii ICT, zastosowań internetu rzeczy, symulatorów maszyn i urządzeń oraz procesów, podnoszenie kompetencji kadry zarządzającej szkół, cyfryzację.

Spójne z tym podejściem strategicznym są również wyniki analizy SWOT i diagnoza potrzeb wdrażania rozwiązań cyfrowych opracowana podczas prac nad Planem, w tym (Plan 2023):

- poprawa dostępu do internetu o wysokiej wydajności, rozwój usług publicznych i infrastruktury technicznej, w tym w zakresie dostępu do internetu,



Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

- stymulowanie rozwoju lokalnego przez innowacje, cyfryzację i wykorzystanie potencjału endogenicznego,
- podnoszenie kwalifikacji cyfrowych, rynkowych i technologicznych,
- profesjonalne wsparcie doradcze,
- rozwijanie technologii cyfrowych w zarządzaniu ryzykiem i platform wdrażających kontrakty,
- wykorzystanie cyfryzacji w dostępie do usług finansowych i informacji oraz w celu poprawy łańcucha dostaw,
- rozwój platform oraz wykorzystania ICT w wymianie wiedzy i innowacji oraz nawiązywaniu współpracy,
- utworzenie zbiorów otwartych danych publicznych oraz ich szerokie wykorzystanie,
- cyfryzacja monitorowania zużycia środków przeciwdrobnoustrojowych.

2. Interwencje wspierające rozwiązania rolnictwa precyzyjnego określone w Planie Strategicznym dla WPR na lata 2023–2027

Z uwagi na to, że realizacja wielu potrzeb w zakresie rozwoju cyfryzacji odbywa się poprzez różne instrumenty finansowe, w Planie skoncentrowano się na tych elementach, które nie są wspierane lub wspierane są w niewielkim stopniu z innych źródeł. Interwencje przewidziane w Planie, które przyczynią się bezpośrednio lub pośrednio do realizacji przedstawionych potrzeb, przedstawiono w kolejnych podpunktach.

2.1. Inwestycje w gospodarstwach rolnych zwiększające konkurencyjność

Mogą się one przełożyć na większe zorientowanie na rynek i konkurencyjność gospodarstw poprzez racjonalizację technologii produkcji, wprowadzenie nowoczesnych, w tym cyfrowych technologii lub innowacji, zmianę profilu produkcji, poprawę jakości produkcji, zwiększenie wartości dodanej produktu. W ramach interwencji możliwa będzie realizacja operacji w czterech obszarach:

- obszar A – operacje dotyczące produkcji zwierzęcej polegające na stosowaniu rozwiązań rolnictwa precyzyjnego w budynkach lub budowlach służących tej produkcji,
- obszar B – operacje dotyczące produkcji ekologicznej w zakresie budowy lub modernizacji budynków lub budowli służących tej produkcji z wykorzystaniem nowoczesnych technologii, stosowania rozwiązań rolnictwa precyzyjnego, zapewnienia wybiegów oraz pastwisk dla zwierząt, w tym z wykorzystaniem innowacyjnych rozwiązań, przechowalnictwo oraz lepsze przygotowanie do sprzedaży,
- obszar C – inwestycje w bezpieczne dla konsumenta i efektywne przedłużanie trwałości produktów, przechowalnictwo oraz lepsze przygotowanie do sprzedaży,
- obszar D – operacje dotyczące produkcji roślinnej, polegające na zakupie lub leasingu maszyn do zbioru.

Możliwości wdrażania rozwiązań rolnictwa precyzyjnego...

Przykłady rozwiązań rolnictwa precyzyjnego przewidywane do wsparcia to: 1) systemy nawigacji ciągników i maszyn rolniczych lub systemy zwiększające precyzję prowadzenia maszyn, 2) systemy kontroli dawkowania środków produkcji (nawozów, środków ochrony roślin, materiału siewnego, paszy, antybiotyków, wody), w tym roboty paszowe, bazy paszowe, urządzenia do podgarniania paszy, programy komputerowe do bilansowania dawek pokarmowych, 3) systemy mapowania plonów, 4) systemy telemetryczne, 5) systemy wspomaganie decyzji, 6) roboty i systemy autonomiczne (np. roboty do zbioru truskawek, roboty do zwalczania chorób grzybowych, szkodników i chwastów w roślinach, roboty do rozpoznawania i likwidacji chwastów, roboty do sortowania, kalibrowania, roboty udojowe, ciągniki funkcjonujące bez operatora, technologie wirtualnych wyгородzeń pastwisk, system wyгородzeń kroczących na pastwiskach, zautomatyzowane systemy selekcji i ważenia zwierząt, system żywienia na pastwisku, roboty sprzątające, systemy detekcji i lokalizacji zwierząt). Niezależnie od powyższych, wśród kryteriów wyboru wspieranych operacji są inwestycje w rozwiązania cyfrowe (Wytyczne 2023).

Beneficjentem pomocy może być rolnik lub grupa rolników (obszar D). Kryteria dostępu stanowią: wielkość ekonomiczna gospodarstwa (co najmniej 25 tys. euro i nie więcej niż 250 tys. euro) oraz powierzchnia gospodarstwa do 300 ha. Przychód ze sprzedaży (co najmniej 75 tys. zł – obszary A, C i D, co najmniej 45 tys. zł – obszar B). Pomoc dotyczy inwestycji, której realizacja doprowadzi do wzrostu wartości dodanej brutto w gospodarstwie co najmniej o 10%. Maksymalne wsparcie wynosi 1 mln zł w obszarze B w przypadku operacji polegających na: budowie lub modernizacji budynków lub budowli służących do produkcji ekologicznej z wykorzystaniem nowoczesnych technologii zakładających wyłącznie bezwzględne utrzymanie zwierząt lub zapewnienie wybiegów oraz pastwisk dla zwierząt, w tym z wykorzystaniem innowacyjnych rozwiązań oraz w obszarze C w przypadku przechowalni; 300 tys. zł – dla pozostałych operacji realizowanych w obszarach A, B, C i D.

2.2. Inwestycje poprawiające dobrostan bydła i świń

Inwestycje poprawiające dobrostan bydła i świń w zakresie: 1) dostępu do środowiska zewnętrznego poprzez możliwość korzystania z wybiegów czy pastwiska (dotyczy bydła), 2) większej swobody ruchu (w przypadku świń), 3) poprawy mikroklimatu w budynkach inwentarskich (dotyczy bydła lub świń). Wśród kryteriów wyboru wspieranych operacji są inwestycje w rozwiązania cyfrowe, przykładowo: automatyczne poidła, przenośne elektryczne systemy ogrodzeniowe, inteligentny system wypasu, wirtualne wyгородzenia, herbometry, zautomatyzowane instalacje poprawiające mikroklimat w budynkach inwentarskich (schładzanie lub ogrzewanie), systemy zarządzania stadem, akcelerometry z oprogramowaniem do zarządzania zdrowiem i dobrostanem krów w stadzie, czujniki mierzące co najmniej LKS, białko, tłuszcz w trakcie doju (wczesne wykrywanie subklinicznego *mastitis* oraz ketozy i alkalozy) z oprogramowaniem i znacznikami RFID do identyfikacji krów, autonomiczne, samobieżne urządzenia do czyszczenia podłóg (usuwania odchodów). Beneficjentem pomocy może być rolnik. Maksymalne wsparcie wynosi 150 tys. zł. Jednocześnie intensywność pomocy została określona na poziomie do 60% kosztów kwalifikowalnych.

2.3. Inwestycje przyczyniające się do ochrony środowiska i klimatu

Celem tej interwencji jest ochrona zasobów naturalnych oraz klimatu poprzez wsparcie inwestycyjne. Ułatwi ono gospodarstwom rolnym spełnianie warunków technicznych pozwalających na ograniczenie presji rolnictwa na środowisko naturalne. Może to następować m.in. poprzez inwestycje z zakresu rolnictwa precyzyjnego dotyczące stosowania środków ochrony roślin (np. opryskiwacze sensorowe, recyrkulacyjne czy opryskiwacze polowe z systemami zapobiegającymi nakładaniu środków ochrony roślin i ich nierównomiernemu nanoszeniu na łukowych odcinkach pola); aplikacji nawozów (np. z wykorzystaniem sygnału komputera pokładowego sterującego precyzyjną dawką nawozów, wykorzystanie map pola czy plonu, rozrzutnik obornika z dynamicznym systemem kontroli dawki); mechanicznej lub biologicznej walki z chwastami lub szkodnikami (np. pielniki automatyczne); ograniczenia emisji zanieczyszczeń poprzez automatyczne systemy oczyszczania powietrza albo obniżenia temperatury w budynkach inwentarskich, systemy zarządzania stadem, roboty do czyszczenia podłóg; poprawy gospodarowania wodą (instalacje do powtórnego obiegu wody lub oszczędnego gospodarowania wodą); oraz systemów wspomagania decyzji. Beneficjentem pomocy może być rolnik lub grupa rolników (co najmniej trzech). Maksymalne wsparcie wynosi 200 tys. zł. Jednocześnie intensywność pomocy została określona na poziomie do 80% kosztów kwalifikowalnych (grupa rolników) oraz do 65% kosztów kwalifikowalnych/stawek jednostkowych (rolnik).

2.4. Interwencje sektorowe – owoce i warzywa

Przykładowo w ramach poprawy infrastruktury służącej do planowania i organizacji produkcji, dostosowania produkcji do popytu w odniesieniu do jakości i ilości, optymalizacji kosztów produkcji i zwrotu z inwestycji oraz stabilizacji cen producentów owoców i warzyw przewidziano wsparcie inwestycji dotyczących: 1) kontroli warunków klimatycznych, fitopatologicznych oraz entomologicznych w produkcji owoców i warzyw, 2) systemów przekazywania informacji w zakresie planowania i organizacji produkcji owoców i warzyw, 3) systemów teleinformatycznych, wspierających stosowanie nowoczesnych metod kontroli jakości na etapie produkcji owoców i warzyw. Natomiast w ramach badań i rozwoju przewidziano włączenie organizacji producentów owoców i warzyw do innowacyjnych operacji między innymi wpływających na cyfryzację.

2.5. Infrastruktura na obszarach wiejskich oraz wdrożenie koncepcji inteligentnych wsi

Kryteria wyboru w ramach tego rodzaju interwencji będą w szczególności dotyczyć komponentów cyfrowych. Dotyczyć to może inwestycji w zakresie nowoczesnej infrastruktury, w tym infrastruktury służącej adaptacji do zmian klimatu i ochronie środowiska (np. przez budowę instalacji odnawialnych źródeł energii, zbiorników retencyjnych w celu gromadzenia wód opadowych i roztopowych oraz budownictwo pasywne).

2.6. Współpraca Grup Operacyjnych EPI

Współpraca tego typu pozwoli m.in. na realizację operacji dotyczących rozwiązań w zakresie nowych/udoskonalonych produktów lub technologii, metod organizacji i marketingu w sektorach: rolnym, spożywczym i leśnym, w tym na rzecz rozwijania produkcji w systemach jakości żywności oraz rolnictwa 4.0. Operacje skoncentrowane będą w zakresie produkcji i przetwarzania produktów rolnych. Dodatkowo przewiduje się zapewnienie środków (osobny budżet) na poszukiwanie innowacji w konkretnych zakresach operacji (nabory tematyczne). Nabory tematyczne z pulą środków odbywają się na poziomie krajowym, a tematy naborów określa minister rolnictwa i rozwoju wsi (po uprzednim zasięgnięciu opinii rolników w zakresie pożądanej tematyki naborów). Są to przykładowo: gleba, woda, *block chain*, *greening*, wykorzystanie roślin białkowych, agroleśnictwo, sekwestracja węgla, rozwijanie produkcji w systemach jakości żywności, rolnictwo precyzyjne.

2.7. Leader

W Programie wyróżniono też pomoc określoną jak „Leader”, która ma obejmować wykorzystanie wiedzy, innowacji i rozwiązań cyfrowych w projektach związanych z koncepcją inteligentnych wsi. Zakres wsparcia koncepcji inteligentnej wsi jest dostosowany do potrzeb określonych w Lokalnej Strategii Rozwoju i obejmuje: wsparcie operacji realizowanych przez beneficjentów w ramach oddolnych koncepcji inteligentnych wsi, obszary wiejskie oraz wypracowywanie efektywnych i niestandardowych rozwiązań miejscowych problemów dzięki innowacyjnemu podejściu.

3. Działania poza WPR służące osiągnięciu celów określonych w strategii rozwoju cyfryzacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich

Rozwój infrastruktury szerokopasmowej będzie realizowany za pomocą europejskich i krajowych instrumentów wsparcia innych niż Plan Strategiczny dla WPR. Jednym z nich będzie Krajowy Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO 2023) oraz środki polityki spójności, głównie w ramach Programu Fundusze Europejskie na Rozwój Cyfrowy (FERC), a także środki krajowe w ramach Funduszu Szerokopasmowego.

Ze środków KPO w części grantowej planuje się realizację inwestycji C1.1.1. „Zapewnienie dostępu do bardzo szybkiego internetu na obszarach białych plam”. Inwestycja przyczyni się do wyeliminowania braku dostępu do usług bardzo szybkiego internetu na obszarach wykluczenia cyfrowego (tzw. białych plamach).

W części pożyczkowej KPO planuje się realizację inwestycji C1.2.1. „Wzmocnienie potencjału komercyjnych inwestycji w nowoczesne sieci łączności elektronicznej”. W ramach inwestycji ma nastąpić udostępnienie operatorom środków w postaci finansowania zwrotnego lub częściowo zwrotnego, które uzupełni lukę związaną z pozyskiwaniem przez operatorów finansowania inwestycji komercyjnych, związanych z infrastrukturą telekomunikacyjną stacjonarną i mobilną,

by przyspieszyć i zwiększyć skalę tych inwestycji. Celem jest także podniesienie poziomu świadomości społeczeństwa o poziomach emisji pól elektromagnetycznych poprzez sfinansowanie budowy systemu stacjonarnego monitoringu emisji PEM.

Ze środków KPO Inwestycji C2.1.1. „e-Usługi publiczne, rozwiązania IT usprawniające funkcjonowanie administracji i sektorów gospodarki oraz technologie przełomowe w sektorze publicznym, gospodarce i społeczeństwie” wspierane będą projekty cyfrowe związane z wdrożeniem rozwiązań geomatycznych i monitoringiem satelitarnym w rolnictwie oraz wdrożeniem systemu weryfikacji terenów rolnych.

Programy polityki spójności (krajowe i regionalne) będą na preferencyjnych zasadach wspierać OSI, tj. obszary zagrożone trwałą marginalizacją, do których należą przede wszystkim gminy wiejskie i miejsko-wiejskie. Ze środków FERC wspierane będą działania polegające na objęciu zasięgiem gospodarstw domowych (rozumianych jako lokale mieszkalne) oraz przedsiębiorstw siecią o przepustowości co najmniej 100 Mb/s (z możliwością modernizacji do prędkości mierzonej w gigabajtach). Celem wsparcia będzie również zapewnienie gigabajtowego dostępu w miejscach stanowiących główną siłę napędową rozwoju społeczno-gospodarczego. W ramach wskazanej interwencji zakłada się możliwość tworzenia lub rozwoju sieci telekomunikacyjnych na rzecz świadczenia usług oraz przedsięwzięcia o charakterze pilotażowym i demonstracyjnym wykorzystujące infrastrukturę telekomunikacyjną najnowszych generacji. Przewiduje się również wsparcie ukierunkowane na rozwój zastosowań nowoczesnych systemów łączności w celu opracowania usług i aplikacji dla konkretnych grup odbiorców oraz inteligentnych rozwiązań wykorzystywanych na potrzeby implementacji m.in. inteligentnych miast, wsi oraz rolnictwa. Zakłada się także możliwość wsparcia rozwoju nowoczesnych technologii i systemów łączności zapewniających przepływ wielkich wolumenów danych z bardzo małymi opóźnieniami. Zakres wsparcia w ramach Programu jest komplementarny ze wsparciem pozostałych programów realizujących cele polityki spójności na lata 2021–2027 oraz innych instrumentów krajowych i unijnych.

Działania na rzecz rozwoju cyfryzacji w rolnictwie były i będą realizowane na podstawie wyników projektów w ramach programu Horyzont 2020 (Horyzont 2013) oraz Horyzont Europa (2021). Szczególnie dotyczy to rozwoju i wdrażania technologii cyfrowych, które mogą umożliwić rozwój rolnictwa precyzyjnego, zrównoważone rolnictwo i bardziej wydajną produkcję żywności. Do kluczowych można zaliczyć osiągnięcia w zakresie inicjatywy IoF2020 – przyspieszenie przyjęcia technologii IoT w rolnictwie i przemyśle spożywczym w celu poprawy bezpieczeństwa żywności, zwiększenia wydajności i wzmocnienia konkurencyjności w Europie (<http://www.iof2020.eu>), Demeter – wdrożenie interoperacyjnych platform opartych na inteligentnym rolnictwie i IoT (h2020-demeter.eu), Atlas – rozwiązanie problemu braku interoperacyjności danych w rolnictwie poprzez stworzenie otwartej platformy, która zapewnia interoperacyjność sprzętu i oprogramowania z wykorzystaniem danych z czujników (www.smartagrihubs.eu), SmartAgriHubs – przyspieszenie transformacji cyfrowej europejskiego sektora rolno-spożywczego poprzez zbudowanie sieci centrów innowacji cyfrowych, które zwiększyłyby wykorzystanie rozwiązań cyfrowych przez sektor rolny (<https://www.atlas-h2020.eu>).

W ramach programu Horyzont Europa, prowadzone są projekty: *ScaleAgData*, który skupia się na wykorzystaniu potencjału tkwiącego w otwarciu danych z czujników *in situ*

Możliwości wdrażania rozwiązań rolnictwa precyzyjnego...

w gospodarstwach rolnych w celu ogólnoeuropejskiego monitorowania warunków rolno-środowiskowych (<https://remotesensing.vito.be/new-horizon-europe-project-scaleagdata>), *CrackSense* – rozwiązanie problemu pęknięcia owoców w cytrusach, granatach, winogronach stołowych i słodkich wiśniach poprzez opracowanie i zwiększenie skali technologii wykrywania, które zapewnią dane czujników w czasie rzeczywistym poprzez działania pilotażowe (cracksense.eu), *AgriDataValue* – monitoring rolno-środowiskowy oraz wzmocnienie zdolności inteligentnego rolnictwa, konkurencyjności i godziwego dochodu poprzez wprowadzenie innowacyjnej, inteligentnej i wielotechnologicznej platformy platform (<https://synelixis.com/portfolios/agridata-value>), *Divine* – pokazanie korzyści kosztowych i wartości dodanej dzielenia się danymi (<http://divine-project.eu>). Natomiast Program „Cyfrowa Europa” (Program 2021) oferuje kompleksowe podejście do wspierania innowacji i transformacji cyfrowej w sektorze rolnym. Obejmuje on szereg inicjatyw mających na celu zwiększenie efektywności gospodarczej i środowiskowej sektora, optymalizację wykorzystania zasobów naturalnych oraz przyczynienie się do realizacji celów Europejskiego Zielonego Ładu i Wspólnej Polityki Rolnej.

Niezależnie od powyższego, w Polsce rolnicy, podejmując decyzje, mają możliwość korzystania z danych publicznych udostępnianych im przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB. Są to prognozy publikowane na stronie <https://agrometeo.imgw.pl> lub w Systemie Monitoringu Suszy Rolniczej (<https://susza.iung.pulawy.pl>), który uwzględnia klimatyczny bilans wodny i zmienność przestrzenną warunków glebowych. Dodatkowym narzędziem jest Internetowa Platforma Doradztwa i Wspomagania Decyzji w Integrowanej Ochronie Roślin eDWIN (<https://www.edwin.gov.pl>).

4. Podsumowanie

Sektor rolny i obszary wiejskie są bardzo ważnym elementem decydującym o bezpieczeństwie żywnościowym. Jednakże na skutek zmian zachodzących w środowisku naturalnym czy warunków klimatycznych stoi on przed dużymi wyzwaniami dostosowania się do nich lub ograniczenia ich negatywnego wpływu. Jest to możliwe dzięki wdrożeniu rozwiązań rolnictwa precyzyjnego. Powinno to przełożyć się na zwiększenie wydajności, zmniejszenie zużycia przemysłowych środków produkcji czy wody. Jest to spójne z założeniami Europejskiego Zielonego Ładu. Bardzo ważną rolę w tym procesie odgrywają instrumenty Wspólnej Polityki Rolnej, finansowanie badań w ramach Horyzontu Europa czy inicjatywy podejmowane przez krajowe jednostki badawcze.

Polska opracowała zestaw kluczowych zagadnień koniecznych do rozwoju cyfryzacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich. Za ważne należy uznać m.in. wspomaganie rozwoju i modernizacji infrastruktury teleinformatycznej i telekomunikacyjnej na obszarach wiejskich, tworzenie i wdrożenie innowacyjnych aplikacji oraz otwartych platform ICT, dzięki którym możliwe jest zdalne doradzanie, wspieranie producentów rolnych czy zachęcanie użytkowników do aktywnej współpracy (w tym wymiany wiedzy).


Rozwój rolnictwa precyzyjnego ułatwi także dostosowanie się sektora rolnego do zmian strukturalnych szczególnie w zakresie ograniczeń na rynku pracy. Należy jednak podkreślić, że



Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

stosowanie tej technologii wymaga od rolników nabycia nowych umiejętności, a przede wszystkim zdefiniowania potrzeb w tym zakresie.

Literatura

- van Erp-van der Kooij E., Rutter S.M. (2020). Using precision farming to improve animal welfare. CABI Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources, 21 November.
- Horyzont (2013). *O programie Horyzont 2020*. Krajowy Punkt Kontaktowy ds. Instrumentów Finansowych Programów Unii Europejskiej. <https://instrumentyfinansoweue.gov.pl/program-horyzont-2020/> (dostęp: 29.06.2023).
- Horyzont Europa (2021). *Horyzont Europa*. NCBR. Krajowy Punkt Kontaktowy Programów Badawczych UE. <https://www.kpk.gov.pl/horyzont-europa> (dostęp: 29.06.2023).
- KPO (2023). *Krajowy Plan Odbudowy i Zwiększania Odporności*. Warszawa: Ministerstwo Spraw Wewnętrznych i Administracji. <https://www.gov.pl/web/mswia/krajowy-plan-odbudowy-i-zwiekszenia-odpornosci> (dostęp: 29.06.2023).
- Plan (2023). *Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027*. Wersja 2.2. Warszawa. <http://www.gov.pl/web/rolnictwo/dokumenty-ps-wpr> (dostęp: 29.06.2023).
- Program (2021). *Program „Cyfrowa Europa” (DIGITAL)*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/pl/activities/digital-programme> (dostęp: 29.06.2023).
- Rozporządzenie (2021). Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/2115 z dnia 2 grudnia 2021 r. ustanawiające przepisy dotyczące wsparcia planów strategicznych sporządzanych przez państwa członkowskie w ramach wspólnej polityki rolnej (planów strategicznych WPR) i finansowanych z Europejskiego Funduszu Rolniczego Gwarancji (EFRG) i z Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW) oraz uchylające rozporządzenia (UE) nr 1305/2013 i (UE) nr 1307/2013 (Dz. U. UE z 6.12.2021, L 435/1).
- Stępień M., Pudełko R., Gozdowski D., Dobers E.S., Samborski S. (2022). *Rolnictwo precyzyjne*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Wytyczne (2023). *Wytyczne szczegółowe w zakresie przyznawania, wypłaty i zwrotu pomocy finansowej w ramach Planu Strategicznego dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027 dla interwencji I.10.1.1 Inwestycje w gospodarstwach rolnych zwiększające konkurencyjność (dotacje) – projekt z dnia 27 czerwca 2023 r.* <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/wytyczne-szczegolowe-w-zakresie-przyznawania-wypłaty-i-zwrotu-pomocy-finansowej-w-ramach-planu-strategicznego-dla-wspolnej-polityki-rolnej-na-lata-2023-2027-dla-interwencji-i1011-inwestycje-w-gospodarstwach-rolnych-zwiekszajace-konkurencyjnosc-dotacje> (dostęp: 29.06.2023).
- Załącznik (2022). *Analiza SWOT Cel 10. Modernizacja rolnictwa i obszarów wiejskich poprzez sprzyjanie rozwojowi wiedzy, innowacji i cyfryzacji oraz ich upowszechnianie w rolnictwie i na obszarach wiejskich, a także zachęcanie rolników do ich wykorzystywania, poprzez ułatwienie dostępu do badań, innowacji, wymiany wiedzy i szkoleń (Cel przekrojowy)*. <http://www.gov.pl/web/wprpo2020/zatwierdzony-przez-komisje-europejska-plan-strategiczny-dla-wspolnej-polityki-rolnej-na-lata-2023-2027> (dostęp: 29.06.2023).
- 



ANEKS







Podsumowanie seminarium „Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania”

Ostatnie z cyklu seminariów zorganizowanych w ramach projektu „Europejski Zielony Ład – wyzwania i szanse dla polskiego rolnictwa” poświęcone zostało precyzyjnemu i inteligentnemu rolnictwu, postrzeganemu jako szansa na implementację wytycznych zrównoważonego rozwoju, a w szczególności wsparcie dla realizacji celów przyjętych w Europejskim Zielonym Ładzie i strategii „od pola do stołu”. Niewątpliwie już zastosowanie precyzyjnego rolnictwa istotnie ogranicza straty nawozów mineralnych, środków ochrony roślin, antybiotyków, a dodatkowo redukuje zapotrzebowanie na pracę fizyczną, chroni bioróżnorodność, środowisko naturalne, klimat, ograniczając koszty operacyjne i koszt jednostkowy. Rolnictwo precyzyjne pozwala także na lepszą adaptację do zmian klimatu.

Tezy te znalazły potwierdzenie w pierwszym z wygłoszonych referatów – dr. hab. Jacka Walczaka, dotyczącym produkcji zwierzęcej. Według prelegenta precyzyjna produkcja zwierzęca jest sposobem zarządzania eliminującym nieplanowaną zmienność w procesie produkcji i wykorzystującym do tego celu informacje zwrotne pozyskiwane w czasie rzeczywistym i przetwarzane przez cyfrowe systemy wsparcia decyzyjnego. Podstawą produkcji precyzyjnej jest oznakowanie zwierząt przez radiowe nadajniki RFID, przekazujące pakiety danych pochodzące ze sprzężonych czujników fizykochemicznych. W wystąpieniu omówiono komercyjne rozwiązania przeznaczone dla poszczególnych gatunków, jak bydło, świnie i drób, ale również do odpowiednich procesów technologicznych, takich jak kontrola rozrodu, zarządzanie żywieniem, w tym pastwiskowaniem, zdrowiem i dobrostanem zwierząt, automatyzacja doju, sterowanie mikroklimatem pomieszczeń czy zagospodarowanie nawozów naturalnych. Jak wykazano, w produkcji zwierzęcej metody precyzyjne są bezpośrednio włączane do kolejnych ofert handlowych, bez szczególnego wykazywania faz czy etapów rozwoju.

Kolejnym prelegentem był dr hab. inż. Adam Ekielski, prof. SGGW, który omawiał kwestie współczesnej uprawy gleby i rozwiązania wykorzystujące sztuczną inteligencję do poprawy jakości systemów automatycznej uprawy gleby. Zaprezentował on nowe rozwiązania konstrukcyjne maszyn uprawowych. Szczególną ich cechą jest wprowadzenie synergii w układach pozycjonowania narzędzia, realizowanych przez systemy nawigacji satelitarnej GNSS, systemy



pozycjonowania naziemnego, takie jak wykorzystanie szybkiej analizy obrazu oraz systemów obrazowania laserowego (LIDAR). W drugiej części swojej prezentacji prelegent przedstawił rozwiązania wykorzystujące hurtownie danych i systemy głębokiego uczenia (*Deep Learning*) do budowy technologii wspierających zasysanie danych przez układy sztucznej inteligencji.

Dr inż. Jacek Skudlarski z SGGW przedstawił w swym referacie rozwiązania stosowane w systemach precyzyjnego nawożenia. Zwrócił uwagę na konieczność poprawnej diagnostyki zasobów pokarmowych gleby w celu dostosowania wielkości nawożenia do zaobserwowanych deficytów składników odżywczych. Omówił także rozwiązania techniczne umożliwiające stosowanie zmiennych dawek nawozowych, zwane *Variable Rate Application* (VRA). Zmienne dawkowanie nawozów nie byłoby możliwe bez systemów monitoringu warunków środowiskowych realizowanych za pomocą analizy zdjęć satelitarnych oraz automatycznych prób glebowych. Jednym z rozwiązań umożliwiających poznanie zasobów i potencjału gleby jest badanie jej przewodności. Badanie konduktometryczne umożliwia określenie nie tylko struktury gleby, miejsc jej zagęszczenia, ale również ocenę jej zasobności w wodę.

Kolejnym referującym była dr hab. inż. Joanna Zeyland, prof. UP w Poznaniu, która przedmiot seminarium przedstawiła w mikroskali, odnosząc się do budowy DNA roślin i zwierząt oraz omawiając możliwości wykorzystania biotechnologii i inżynierii genetycznej w postępie hodowlanym. Poczynając od przypadkowych mutacji utrwalonych przez hodowców, poprzez trans- i cisgenezę, prelegentka przybliżyła zebrany metody edycji genów (CRIPR-Cas9). Na przykładzie konkretnych modyfikacji roślin i zwierząt, wskazała na rosnące możliwości metod biotechnologicznych w kształtowaniu fenotypu roślin, stosownie do aktualnych potrzeb uprawy i chowu zwierząt. Oczywiście wykorzystanie metod genetyki molekularnej w praktyce rolniczej jest ściśle regulowane przez prawodawstwo UE, choć cały czas toczą się dyskusje dotyczące liberalizacji zapisów, zwłaszcza pod kątem dopuszczenia szerszego zakresu stosowania edycji genów.

Ostatnia część referatowa poświęcona została prezentacji programu Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa (KOWR) realizowanego wspólnie z Nauką i Akademicką Siecią Komputerową – PIB (NASK BIP) w zakresie wykorzystania precyzyjnych metod w celu zapewnienia bezpieczeństwa żywności oraz stosowania obrazowania satelitarnego. Pierwsze z zagadnień zaprezentowała Anna Mączka, zastępca dyrektora Departamentu Innowacji KOWR, oraz Jacek Jarząbek, kierownik biznesowy projektu z NASK-PIB. Prelegenci zreferowali ideę oraz stopień zaawansowania projektu paszportyzacji polskiej żywności, innowacyjnego narzędzia wspierającego polskich producentów rolnych. W czasie wykładu przedstawiono założenia dotyczące budowy systemu informatycznego umożliwiającego efektywne śledzenie i identyfikowanie informacji dotyczących wybranych produktów rolno-żywnościowych na kluczowych etapach łańcucha dostaw. Potrzeba realizacji paszportyzacji pojawiła się kilka lat temu na skutek problemów z wiarygodnością pochodzenia i bezpieczeństwa żywności i wynikała z konieczności ochrony interesu rolników. Projekt zakłada znacznie więcej działań niż tylko wykorzystanie chipowania do dokumentowania pochodzenia i obrotu żywnością. Paszportyzacja jest bowiem również próbą dostosowania obowiązujących regulacji prawnych do potrzeb zachowania bezpieczeństwa żywności. Treści zawarte w referacie dotyczyły identyfikacji problemów ograniczających rozwój sektora rolno-spożywczego oraz propozycji ich rozwiązania. W dalszej części wystąpienia

Podsumowanie seminarium...

przedstawiono informacje związane z etapami budowy pilotażowego programu dotyczącego paszportyzacji żywności oraz zasad i narzędzi umożliwiających budowanie systemu selektywnego pozyskiwania i transferu danych.

Drugą prezentację autorstwa pracownika KOWR przedstawił Marcin Leończyk, kierownik Wydziału Projektów Innowacyjnych w Departamencie Innowacji, a jej tematem była budowa systemu satelitarnego monitorowania upraw rolnych na obszarze Polski. Projekt odpowiada na wyzwania powodowane przez szereg czynników dotyczące nie tylko w planowania i zarządzania, ale również adaptacji do zmian klimatu czy przeciwdziałania kryzysowym zjawiskom pogodowym, coraz częściej występującym na obszarze Polski. Projekt wykorzystuje możliwości tworzone przez dynamicznie rozwijający się sektor przemysłu kosmicznego. Metody zdalnego monitorowania oraz analizy danych przestrzennych umożliwiają śledzenie przebiegu procesu wzrostu roślin i prognozowanie plonów najważniejszych roślin uprawnych. Projekt ma znaczenie strategiczne, jeżeli chodzi o utrzymanie bezpieczeństwa żywnościowego kraju, a jego odbiorcami są producenci rolni, w tym rolnicy indywidualni oraz administracja publiczna.

Po części referatowej nastąpiła dyskusja wśród zgromadzonych uczestników seminarium. Miała ona ożywiony charakter i dotyczyła wielu kwestii bezpośrednio i pośrednio związanych z coraz większą obecnością metod precyzyjnego rolnictwa w praktyce produkcyjnej. Dyskusję zainicjował dr hab. Jacek Walczak, który opisując stan precyzyjnej produkcji zwierzęcej, zachęcił obecnych na seminarium przedstawicieli producentów i dystrybutorów urządzeń do przedstawienia własnych refleksji na ten temat. Jako pierwszy głos zabrał przedstawiciel producenta robotów udojowych Lely, opisując proces, który doprowadził do wynalezienia przez firmę robota udojowego, oraz proces ewolucji tej maszyny, obecnie rozpowszechnianej jako robot piątej generacji. Przedstawił także historię 14-letniej działalności badawczej i komercyjnej tej firmy produkcyjnej na polskim rynku, w czasie której do rolników na terenie całego kraju trafiło około 720 robotów udojowych. Sprawily one, że praca przy produkcji mleka stała się łatwiejsza, mniej obciążająca i bezpieczniejsza, a płynące z niej korzyści są bardziej wymierne. W tym miejscu do dyskusji włączył się dr Bogdan Pomianek, zastępca dyrektora Departamentu Wspólnej Polityki Rolnej Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, który zauważył, że jeszcze kilkanaście lat temu roboty stosowane były na niewielką skalę, a obecnie z takich technologii korzysta wiele dużych gospodarstw. Przytoczył przykład gospodarstwa, które utrzymuje stado o liczebności 750 sztuk bydła i w którym pracuje tylko pięć osób. Jest to możliwe, ponieważ proces produkcji w tym gospodarstwie jest niemal w pełni zautomatyzowany – od żywienia po udój. Uczestnicy zgodzili się, że automatyzacja w rolnictwie stwarza możliwość rozwiązania wciąż narastającego problemu odpływu pracowników z branży rolniczej, powstały jednak wątpliwości dotyczące małych i średnich gospodarstw, dla których inwestycje w systemy automatyzujące produkcję przekraczają możliwości finansowe. Wspomniano przy tym o rynku wtórnym takich urządzeń, które wymieniane są w dużych i bogatych gospodarstwach na nowsze modele, jednak nadal mogą doskonale spełniać swoją rolę w mniejszych, nieco mniej rozwiniętych technologicznie gospodarstwach, a cena urządzeń używanych jest nieporównywalnie niższa.

Następnie głos zabrał przedstawiciel firmy Vantage Polska, która zajmuje się precyzyjnym rolnictwem od strony mechanizacji i informatyzacji. Podjął on kontrowersyjny pod względem używanej terminologii temat rolnictwa 5.0. „Rolnictwo 5.0” to termin, który odnosi się do

nowoczesnych i innowacyjnych podejść w rolnictwie, wykorzystujących najnowsze technologie i trendy, takie jak sztuczna inteligencja, robotyka, internet rzeczy (IoT) i *Big Data*. Oznacza on transformację sektora rolniczego poprzez zastosowanie zaawansowanych rozwiązań technologicznych, aby osiągnąć większą wydajność, zrównoważenie i konkurencyjność, m.in. poprzez znaczne ograniczenie uczestnictwa człowieka w produkcji, którego pracę w coraz większym zakresie mają wykonywać autonomiczne roboty i maszyny rolnicze. Prezentujący wskazał również, w jaki sposób rynek stara się dostosować i udoskonalać tworzone technologie do coraz mniejszej liczby pracowników w gospodarstwach i do innych zmian zachodzących we współczesnym rolnictwie. Robotyzacja jego zdaniem jest naturalnym procesem, który zachodzi w rolnictwie. Wskazał również na ograniczenia, którymi na chwilę obecną obarczone są stosowane w rolnictwie roboty – np. nie zawsze potrafią poradzić sobie z usterką techniczną i wtedy wymagają interwencji człowieka, ale zaznaczył, że technologie zmierzają w takim kierunku, aby robot potrafił samodzielnie zidentyfikować problem i zdecydował, czy należy go zignorować, czy naprawić, i samodzielnie tę naprawę przeprowadzić. W ten sposób udział człowieka w pracy robota będzie wraz z rozwojem technologii znacząco ograniczany. Przedstawiciel firmy Vantage Polska podkreślił również dużą precyzję takich urządzeń, jako przykład wskazując pobór prób glebowych, do których robot nie dzieli pola na strefy o kształcie kwadratów, tak jak robi to człowiek, ale pobiera reprezentatywne próby ze stref, które wyznaczone zostały np. na podstawie zdjęć satelitarnych, zidentyfikowane jako obszary o podobnych warunkach glebowych.

Pod dyskusję został poddany także temat budowania baz danych na podstawie informacji zebranych przez roboty na polach prywatnych rolników, niezwykle przydatne np. do opracowywania strategii nawożenia w gospodarstwie. Pojawiły się jednak wątpliwości co do bezpieczeństwa przesyłanych do systemu danych oraz własności danych zebranych przez urządzenia konkretnych firm i dysponowania nimi. Głos zabrał przedstawiciel firmy John Deere, której sprzęt zbiera dane z pól rolników, i wyraźnie zaznaczył, że dane gospodarstwa należą w pełni do właściciela terenów, z których zostały zebrane. System zbiera, magazynuje i analizuje te dane automatycznie, nie są one przekazywane pracownikom i przez nich przetwarzane, dzięki czemu są one zupełnie bezpieczne i bez wiedzy i zgody ich właściciela nie zostaną one w żaden sposób wykorzystane. Na podstawie danych tworzony jest dziennik polowy, do którego rolnik ma wgląd i w czasie rzeczywistym, np. z kombajnu, widzi, ile zbiera pszenicy, jakiej jest ona wilgotności itp. Gdy pojawia się możliwość przekazania danych podmiotom trzecim, np. do tworzenia map glebowych, to rolnik decyduje, czy chce udostępnić dane ze swojego gospodarstwa, i ma pełne prawo odmówić do nich dostępu. Docelowo do systemu podłączone ma być 1,5 mln maszyn. Dzięki odpowiedniej analizie pozyskanych w ten sposób danych możliwe będzie dalsze doskonalenie wprowadzanych na rynek technologii. Z doświadczenia przedstawicieli dystrybutorów maszyn i urządzeń rolniczych wynika, że rolnicy w różnym stopniu wyrażają zgodę na udostępnienie danych, ale część z nich zgadza się z uwagi na benefity z tym związane. Firmy jednak wciąż starają się prowadzić działalność edukacyjną i podnosić świadomość swoich klientów na temat korzyści, które płyną dla nich samych z rozwoju baz danych. W tym aspekcie różne firmy, na co dzień ze sobą konkurujące, korzystają ze wspólnie utworzonej globalnej sieci baz danych i wzajemnie od siebie czerpią. Współpraca na płaszczyźnie tworzenia baz danych przynosi korzyści wszystkim zainteresowanym.

Podsumowanie seminarium...

Ważną kwestią diskutowaną z udziałem producentów systemów rolnictwa precyzyjnego była progowa wielkość gospodarstwa, powyżej której stosowanie takich rozwiązań będzie ekonomicznie uzasadnione. Przedstawiciel jednej z firm zaznaczył, że jednoznaczne liczbowe określenie takiego progu nie jest możliwe, ponieważ opłacalność wprowadzenia inteligentnych systemów zależy od wielu czynników. Jednym z nich jest profil gospodarstwa, np. nawet w niewielkich gospodarstwach, które prowadzą produkcję ogrodniczą, rozwiązania takie mogą okazać się efektywne, znacząco podnosząc zyski. W gospodarstwach tradycyjnych, w których produkuje się pszenicę czy rzepak, ten próg może przypadać na około 100 ha, jednak jest to tylko orientacyjna wartość, ponieważ za sprawą różnych innych czynników może się ona zmieniać. Przykładem są znacznie mniejsze gospodarstwa, w których jednak rozwiązania takie się opłaciły, ze względu na niedobór rąk do pracy. Gospodarstwa decydują się na zastępowanie pracy człowieka pracą robotów także z innych powodów, m.in. nie tylko niższych nakładów robocizny, ale także mniejszego zużycia nawozów, środków ochrony roślin, energii itp., co bezpośrednio przekłada się nie tylko na koszty gospodarowania, ale również na ochronę środowiska. Ponadto maszyny mogą pracować niemal w każdych warunkach, np. w okresach suszy zapylenie może uniemożliwiać pracę człowieka, robot jednak z powodzeniem w takich warunkach wykonuje powierzone mu zadania. Z tych powodów na takie rozwiązania decydują się nierzadko nawet niewielkie gospodarstwa. Wpływ na decyzję o przechodzeniu na rozwiązania rolnictwa precyzyjnego mają również konsumenci, którzy zwracając uwagę na jakość kupowanych produktów i bezpieczeństwo żywności, wymuszają na producentach ograniczenie stosowania nawozów sztucznych i pestycydów, możliwe dzięki nowoczesnym technologiom.

Padło również pytanie do prof. Adama Ekielskiego o wpływ przedstawionej przez niego metody precyzyjnego usuwania chwastów poprzez wystrzelenie w ich trzon wiązki lasera na mineralizację gleby. Jego zdaniem, mimo ogromnej energii lasera, nie dochodzi do degradacji gleby, gdyż wiązka jest precyzyjnie kierowana w sam korzeń, nie ma więc kontaktu z glebą. Wykorzystywanie i doskonalenie tej metody wymusza w ten sposób rozwój technologii wspierających, takich jak pozycjonowanie.

Jako alternatywę dla tej metody wskazane zostało wykorzystanie systemu kamer w tradycyjnym opryskiwaczu, które wykrywają chwasty i aplikują na nie precyzyjnie herbicyd, co już w najbliższych latach będzie możliwe przy prędkości roboczej opryskiwacza 12–15 km/h. W ten sposób rozwiązania precyzyjne wpisują się w założenia Europejskiego Zielonego Ładu, który zakłada ograniczenie stosowania herbicydów o 50%.

Uczestnicy seminarium dopytywali również o działanie robotów autonomicznych, które według przedstawiciela producenta takich robotów są produktem rolnictwa 5.0. Istnieją już w pełni autonomiczne maszyny, obecne na rynku Stanów Zjednoczonych, które nie potrzebują do pracy operatora. Europejskie rynki są, póki co, ograniczone przez nieprecyzyjne prawo, które nie wskazuje jednoznacznie, czy dozwolone jest samodzielne poruszanie się takiej maszyny bez nadzoru po polu uprawnym. Jednak przewiduje się, że takie urządzenia pojawią się również niedługo na rynku Starego Kontynentu. Rolnik ma zawsze zdalny podgląd w pracę takiej maszyny, może ją kontrolować, a w przypadku pojawienia się usterki dostaje powiadomienie i z poziomu aplikacji decyduje, co zrobić ze zgłoszonym przez robota problemem. Wraz z popularyzacją stosowania takich maszyn system będzie zbierał informacje o pojawiających się usterekach i na ich

podstawie tworzył gotowe scenariusze postępowania. Będzie także mógł przewidywać, co i kiedy z dużym prawdopodobieństwem może ulec uszkodzeniu, i zasugerować, którą część czy system należy profilaktycznie wymienić lub naprawić, co pozwoli uniknąć przestojów w pracy robota.

Ekspertzy zwrócili uwagę, że aby rolnicy mogli podłączyć swoje maszyny do systemu, nie będą musieli wymienić ich na nowsze modele. Będzie istniała możliwość doposażenia obecnie produkowanych maszyn w odpowiednie urządzenia, tak by stały się one autonomiczne, ponieważ są one dostosowane do przyjęcia tego typu doposażeń. Doposażenia pojawią się na rynku, jak tylko wprowadzone zostaną poprawki do funkcjonującego prawa, dopuszczające do ruchu autonomiczne roboty.

Skuteczność urządzeń dawkujących nawozy naturalne została również poparta faktem, że roboty te nie tylko potrafią dostosować dawkę aplikowanego nawozu do potrzeb upraw, ale również za pomocą podczterwieni wyznaczyć zawartość poszczególnych składników w gnojowicy. Zwiększa to precyzję i ogranicza straty, ponieważ robot otrzymuje informację, ile każdego składnika pokarmowego dostarcza w danym miejscu, a nie tylko ile metrów sześciennych gnojowicy zostało zaaplikowane.

Kolejnym tematem, który mocno wybrzmiał w trakcie dyskusji, była edukacja młodzieży w szkołach rolniczych pod kątem dostosowywania przekazywanych w nich treści do ciągle ewoluującego rolnictwa. Przedstawiciel Krajowego Centrum Edukacji Rolniczej wskazał na podstawowy problem, jakim jest brak nowoczesnego sprzętu w szkołach, na którym można by pokazywać uczniom w praktyce zastosowanie najnowszych technologii w produkcji rolnej. Problem ten się nasila, ponieważ nowoczesne maszyny są zbyt drogie, aby szkoły, finansowane przez samorządy, mogły pozwolić sobie na ich zakup. Sytuacja jest nieco lepsza w szkołach prowadzonych i nadzorowanych przez Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, lecz nawet w tych placówkach problem jest poważny. W szkołach powstają również nierówności między profilami klas, które kształcą w różnych zawodach, ponieważ część z nich, takich jak technik mechanizacji rolnictwa i agrotechniki, wymaga znacznie większych nakładów finansowych na sprzęt niż zawody, które nie wykorzystują tak zaawansowanych i drogiej pomocy naukowych. Różnice w zapotrzebowaniu na finansowanie nie są wystarczająco pokrywane. Podczas dyskusji padło kilka pomysłów, jak zaradzić temu problemowi. W niektórych krajach Unii Europejskiej producenci maszyn rolniczych przekazują swoje produkty do szkół w zamian za ulgi podatkowe lub nawet płacą część podatków w formie przekazania szkołom maszyn. Obniżyć koszty można także przez zastąpienie maszyn symulatorami, które sprawdzają się w nauce równie dobrze, jednak i ich w polskich szkołach brakuje. W związku z tym szkoła w oczach uczniów traci autorytet, a zajęcia przestają być dla nich atrakcyjne, kiedy w swoich rodzinnych gospodarstwach mają znacznie bardziej zaawansowany sprzęt. Uczniowie z takich gospodarstw dysponują często dużymi umiejętnościami i doświadczeniem w ich obsłudze, w przeciwieństwie do części nauczycieli, którzy nie mieli styczności z nowoczesnymi technologiami. Krajowe Centrum Edukacji Rolniczej prowadzi różnego rodzaju szkolenia dla nauczycieli, które mają za zadanie ośwoić nauczycieli z inteligentnymi rozwiązaniami, jednak w tej części dyskusji wypłynął kolejny problem polskiego systemu edukacji rolniczej: starzejąca się kadra nauczycielska. Duża część nauczycieli jest w wieku przedemerytalnym, kształcili się oni w czasach, kiedy technologia stosowana w rolnictwie znacznie odbiegała od obecnej, i nie zawsze otwarci są na naukę nowych rozwiązań. Problem

Podsumowanie seminarium...

starzejącej się kadry jest wynikiem niskiego poziomu dofinansowania szkół. Wymagania, które trzeba spełniać, by nauczać np. agrotechniki, są bardzo wysokie, dlatego też młode osoby, które im odpowiadają, coraz częściej wybierają lepiej płatne zawody niż nauczyciel. Ponadto kolejnym ograniczeniem dotyczącym wprowadzania nowoczesnych technologii do szkół rolniczych są podstawy programowe, w wielu aspektach niezmiennie od lat 90. ubiegłego wieku. Nawet jeśli nauczyciel jest zdeterminowany do wprowadzania uczniów w świat rolnictwa precyzyjnego i inteligentnego, jest ograniczony odgórnie narzuconymi mu schematami i koniecznością egzaminowania z wiedzy, która obowiązywała przed 30 laty.

W drugim dniu seminarium zaplanowano wyjazd studyjny do dwóch gospodarstw. Warsztaty terenowe rozpoczęto w Stadninie Koni Nowe Jankowice, będącej nie tylko centrum hodowli polskiego konia zimnokrwistego, ale również bydła mlecznego rasy PHF. Stadnina pozostaje w strukturach KOWR i jest spółką o szczególnym znaczeniu dla gospodarki narodowej. Stado podstawowe koni liczy prawie 70 klaczy i około 250 koni. Spółka należy do jednych z najlepszych producentów mleka w kraju. Utrzymuje ona łącznie 1800 sztuk bydła, z czego 700 krów mlecznych. W 2019 r. obora Nowe Jankowice była trzecią najlepszą oborą w Polsce w grupie obór liczących od 300,1 do 500 krów, z wydajnością 13 293 kg mleka od krowy. Spółka produkuje corocznie ponad 4,5 tys. t wysokojakościowej pszenicy konsumpcyjnej i paszowej, ok. 2 tys. t rzepaku i ponad 2 tys. t ziarna kukurydzy. Wizyta rozpoczęła się od prezentacji gospodarstwa, rodzajów produkcji i osiągniętych wyników. Następnie grupa przeszła do sali konferencyjnej, gdzie przedstawione zostały wykorzystywane w gospodarstwie praktyki i udzielone zostały odpowiedzi na pytania uczestników. Współpracujące z SK Nowe Jankowice firmy doradcze przedstawiły rozwiązania wspomagające spółkę w precyzyjnym nawożeniu upraw na podstawie zdjęć satelitarnych zasobności poszczególnych pól, a także prób glebowych wykonywanych ze wsparciem GPS. Metoda ta służy identyfikacji stanu pola na danym fragmencie, pozwala określić miejsca, w których występują zmiany w łanie, np. choroby, insekty, szkody łowieckie, zmiany glebowe, brak składników odżywczych w glebie. Pozwala to na oszczędność czasu w gospodarstwie. Ponieważ jest ono duże, a tereny do niego należące są rozproszone, pracownik nie musi monitorować całego gospodarstwa, może udać się bezpośrednio do miejsca, w którym system wykrył nieprawidłowość. Zaprezentowane i omówione zostały zdjęcia satelitarne z gospodarstwa, na podstawie których opracowywane są strategie nawożenia oraz wyznaczane strefy poboru prób laboratoryjnych. Dyskusja w tym miejscu prezentacji dotyczyła ograniczeń tej metody, pojawiły się wątpliwości dotyczące tego, czy rozdzielczość zdjęć jest wystarczająca oraz jak rozwiązywany jest problem zakrywania fragmentów pola przez chmury. Rozdzielczość takich zdjęć jest jednak znacznie większa niż minimalna, w której metoda ta miałaby sens. Obecnie możemy osiągnąć rozdzielczość jednego centymetra kwadratowego na piksel, gdzie minimalna rozdzielczość przydatna do tworzenia map wynosi trzy metry kwadratowe na piksel. Problem zachmurzenia został natomiast wyeliminowany poprzez zwiększenie częstotliwości wykonywania zdjęć, dawniej było to jedno zdjęcie na dwa tygodnie, obecnie kilka zdjęć w tygodniu, dlatego też wysoce prawdopodobne jest, że każdy fragment pola znajdzie się na takim zdjęciu.

Również ochrona roślin prowadzona jest w spółce metodami precyzyjnymi. W trakcie dyskusji podjęto temat wyspecjalizowanych usług rolniczych, opartych na narzędziach precyzyjnych, w tym zaprezentowanych online autonomicznych pojazdach. Stwierdzono, że rynek takich usług

rolniczych ma w kraju olbrzymi potencjał i stale się rozwija. W trakcie rekonesansu po parku maszynowym spółki zademonstrowano najnowsze ciągniki, posiadające oprzyrządowanie do współpracy z precyzyjnymi narzędziami uprawowymi, w tym sterowanie GPS współpracujące z magistralą ISOBUS czy rozwiązania techniczne umożliwiające stosowanie technologii zmiennego dawkowania nawozów mineralnych, nasion oraz pestycydów. Technologia znana pod nazwą *Variable Rate Application* wykorzystuje powstałe w wyniku różnego rodzaju analiz mapy aplikacyjne, które wgrywane są do pamięci terminali sterujących zarówno rozsiewaczami, siewnikami, jak i opryskiwaczami. Podczas dyskusji pojawiło się pytanie dotyczące obsługi i serwisowania takich maszyn, w szczególności czy szkolenia, które po zakupie oferuje producent, są wystarczające. Obsługa i serwisowanie urządzeń inteligentnych w gospodarstwie opiera się na obsłudze zdalnej, 90% prac można wykonać przez internet, dlatego też większość problemów rozwiązuje zdalnie wsparcie techniczne producenta. Spółka korzysta również z aplikacji komputerowej zbierającej dane operacyjne, integrującej mapy cyfrowe i wizualizującej stan upraw.

Następnie uczestnicy seminarium zapoznali się z rozwiązaniami stosowanymi w precyzyjnym chowie bydła mlecznego. W trakcie udoju można było obserwować pracę półautomatycznych aparatów udojowych w hali typu „rybia ość”, a także parametry samego doju rejestrowane przez program komputerowy do zarządzania stadem. Proces przebiega przy niewielkim udziale człowieka, zwierzę samodzielnie udaje się na stanowisko udojowe, dojarz zakłada dojarzkę ręcznie, jednak gdy czujnik wykryje, że mleko przestaje płynąć, odciąga je, przeciwdziałając pustodojom, dzięki czemu podnosi się dobrostan zwierząt i minimalizowane jest w ten sposób ryzyko chorób wymienia. Po zakończonym doju automatycznie podnoszą się bariery, krowy mogą opuścić stanowisko i przejść do poczekalni. Jej obecność uwzględnia behavior krów, co również pozytywnie wpływa na ich dobrostan. Z hali udojowej krowy wracają do obory. Poczekalnia gromadzi krowy przed udojem tak, aby krowy w liczbie odpowiadającej liczbie stanowisk udojowych weszły razem do hali. Zimą hala służy również do ogrzania krów i ich wymion, co przyspiesza sekrecję mleka.

Wolnostanowiskowa obora kurtynowa wyposażona była w mieszacze powietrza, wspomagające wymianę powietrza w trakcie wysokich temperatur (stres termiczny wysokiej temperatury). Ze względu na wysoką wydajność mleczną dój realizowany jest w spółce trzy razy dziennie. Krowy żywione są z wozu paszowego mieszanką TMR, co również można było bezpośrednio zaobserwować. Rozrzucona przez krowy pasza, zdeponowana na stole paszowym, podgarniana była przez automatyczny, samojezdny podgarniacz paszowy. W zakresie rozrodu stado przygotowywane jest aktualnie do wprowadzenia embriotransferu, co znacząco zwiększy jeszcze wydajność mleczną i obniży koszty obrotu stada i selekcji. Do tej pory korzystano z synchronizacji rui. W trakcie demonstracji ze strony uczestników padały liczne pytania o funkcjonalność poszczególnych rozwiązań, a największe zainteresowanie wzbudziły automatyczne czochradła, z których w sposób nieskrępowany wizytą gości korzystały krowy. Wizyta zakończyła się prezentacją systemu monitoringu krów. System ten nie tylko zbiera informacje z elektronicznych transponderów noszonych przez krowy, ale także je analizuje i podpowiada, co w danej chwili pracownik gospodarstwa powinien zrobić. Każda krowa ma przypisany ID i pod tym numerem zbierane są jej parametry, takie jak: ilość ruchu, sygnalizacja rui czy obecność zwierzęcia na stanowisku udojowym. System ten pozwala na regulację hormonalną stada, dzięki czemu osiągnęte są optymalne zyski z produkcji mleka i jego najwyższa jakość. Omówione zostały również metody kojarzenia

Podsumowanie seminarium...

zwierząt, doboru genetycznego, który zwiększa opłacalność produkcji i wpływa na zmniejszenie presji na środowisko naturalne (więcej mleka od mniejszej liczby krów).

Drugim obiektem wizyty studialnej było gospodarstwo Iwony i Przemysława Kawulów we Frydrychowie k. Kowalewa Pomorskiego. Już na samym początku uczestników wyjazdu zaskoczyła estetyka obejścia, zgoła nieprzypominająca obory, a raczej obiekt przemysłowy. Nie dało się odczuć woni amoniaku i innych odorów, co jest zasługą systemu rusztowego i zbiornika na gnojowicę umiejscowionego pod rusztami oraz wentylacji kurtynowej. Państwo Kawulowie prowadzą gospodarstwo bez najmowania zewnętrznych pracowników, co jest zasługą wysoce zautomatyzowanej obory i korzystania z usług rolniczych oferowanych przez wysoko wyspecjalizowane firmy. Powierzchnia gospodarstwa wynosi zaledwie 58,9353 ha, co przy stadzie 233 sztuk bydła, w tym 115 krów mlecznych rasy PHF, wymaga zakupu pasz, głównie treściwych, będących produktami ubocznymi przemysłu rolno-spożywczego. Średnia wydajność od krowy to aktualnie 13 tys. l mleka rocznie o zawartości 3,3% białka, 3,7% tłuszczu i LKS w przedziale 80–100 tys. komórek na jeden ml. W oborze zainstalowane są dwa roboty udojowe, autonomiczny, elektryczny podgarniacz paszy i również elektryczne, automatyczne zgarzniaki/odkurzacze gnojowicy. Na stanowiskach legowiskowych zamontowano materace wodne o pojemności 50 l w celu poprawy komfortu leżenia krów, posypywane dodatkowo trocinami. Obora o wysokości 12,5 m, długości 66 m i szerokości 38 m zapewnia olbrzymią kubaturę, co znacząco ogranicza konieczność wymiany powietrza. Obie boczne ściany wyposażone są w sterowane automatycznie kurtyny. W podrusztowym zbiorniku gnojowicy o pojemności 3,5 mln l zainstalowano dwa mieszadła elektryczne do ujednoczenia składu gnojowicy. Obora oświetlona jest automatycznie sterowanymi lampami LED o wysokim natężeniu, co dodatkowo stymuluje wydajność mleczną. Obora wyposażona jest w ściółowaną porodówkę, gwarantującą bezstresowe wycielenia. Co ciekawe, przyuczanie krów do korzystania z robotów udojowych trwało jedynie pięć dni. Oczywiście pod kątem wykorzystania robotów udojowych krowy muszą cechować się prawidłową budową wymienia. Zwierzęta same korzystają z robota udojowego, w miarę jak uznają za konieczne oddanie mleka. Mogą one korzystać z robota nawet sześć razy na dobę, pod warunkiem że od ostatniej wizyty upłynęły przynajmniej cztery godziny. Średnia wynosi tu 3,2 razy na dobę. Parametrów tych pilnuje program sterujący. W trakcie doju do automatycznie wysuwanego koryta zadawana jest pasza treściwa. Zatem w oborze stosowane jest żywienie PMR, a nie TMR, cechujące się tym, że wszystkie krowy otrzymują taką samą dawkę podstawową, a różnice pokarmowe wynikające z wydajności mlecznej pokrywane są właśnie dodatkową paszą treściwą w trakcie doju. Granulat jest przechowywany w silosach ustawionych na zewnątrz obory, a transport odbywa się automatycznie.

Konstrukcja i wyposażenie obory wzbudziły duże zainteresowanie uczestników seminarium. Korzystając z obecności przedstawiciela producenta wyposażenia firmy Lely, dopytywano o sposoby sterowania i funkcjonowania poszczególnych urządzeń. Sami hodowcy również udzielali licznych informacji na temat codziennej praktyki zarządzania zautomatyzowanym budynkiem.


W dyskusji podsumowującej dwudniowe spotkanie podkreślano różnice w specyfice wykorzystania precyzyjnych metod produkcji dla chowu zwierząt i uprawy. Wydaje się, że te pierwsze są dalece bardziej zaawansowane, ale też dotyczą znacznie ograniczonej powierzchni i łatwiejszych do opracowania parametrów. Precyzyjna uprawa musi też podołać znacznie większej



Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

zmienności parametrów użytkowych. Na zakończenie raz jeszcze podkreślono konieczność rozwoju zupełnie nowych usług rolniczych w zakresie precyzyjnych metod chowu i uprawy.

Seminarium już podczas obrad było bardzo wysoko oceniane przez uczestników. W trakcie dyskusji i w kularach wielu z nich podkreśliło nadzwyczajnie wysoki poziom referatów i dyskusji. Byli także pod wrażeniem odwiedzanych gospodarstw. Warto wspomnieć, że już po zakończeniu seminarium docierały do organizatorów szczególnie pozytywne informacje zwrotne od uczestników, zarówno w rozmowach telefonicznych, wiadomościach mailowych, jak i przez media społecznościowe.





Paszportyzacja polskiej żywności – innowacyjne narzędzie wspierające polskich producentów rolnych

1. Wstęp

Polski sektor rolno-spożywczy, pomimo wielu sukcesów i wysokiej pozycji na europejskim rynku, wymaga wsparcia m.in. w celu sprostania konkurencji oraz utrzymania dotychczasowych i pozyskania nowych rynków. Powoduje to konieczność wdrażania innowacyjnych rozwiązań, które przyczynią się do dalszego rozwoju produkcji i eksportu polskiej żywności. Do takich inicjatyw należy pilotażowy projekt „Paszportyzacja polskiej żywności”.

2. Geneza

Prace nad projektem zostały zainicjowane na wniosek uczestników łańcucha dostaw, w tym zrzeszonych w organizacjach branżowych z rynku wołowiny, wieprzowiny i ziemniaka. Wskazywali oni, że w obecnym otoczeniu rynkowym występuje szereg problemów, które ograniczają rozwój sektora rolno-spożywczego. Do najważniejszych należą: brak przejrzystości łańcucha dostaw, spadające zaufanie do produktu, przypadki zanieczyszczeń, fałszowania lub skażenia żywności, duża liczba pośredników oraz rosnące zapotrzebowanie na szybko i łatwo dostępne informacje o produkcie spożywczym. W związku z powyższym podjęto działania zmierzające do przeciwdziałania tym zjawiskom oraz ograniczenia ich negatywnego wpływu na polski sektor agro.

Tak powstała inicjatywa projektu pn. „Paszportyzacja polskiej żywności”, który docelowo przewiduje budowę i wdrożenie w Polsce systemu IT gwarantującego efektywne monitorowanie i identyfikowanie informacji o produktach rolno-spożywczych na kluczowych etapach łańcucha dostaw, tj. „od pola do stołu”. W przypadku ewentualnego wdrożenia, system ten udostępni szerokie spektrum informacji, przede wszystkim dzięki wykorzystaniu innowacyjnych technologii zbierania i zabezpieczania danych, a także integracji z bazami referencyjnymi administracji publicznej. Tym samym polski sektor rolno-spożywczy może zyskać narzędzie, w którym znajdą się wiarygodne, rzetelne i niepodrabialne informacje o produkcie żywnościowym.





Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

Projekt jest nadzorowany przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, a jego koordynację powierzono Krajowemu Ośrodkowi Wsparcia Rolnictwa (KOWR), przy merytorycznym wsparciu Centrum GovTech w Kancelarii Prezesa Rady Ministrów.

3. Interesariusze

W realizację projektu zaangażowano szerokie grono interesariuszy. Ich filar stanowią organizacje branżowe działające na rynku wołowiny, wieprzowiny i ziemniaka, tj.: Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka, Polskie Zrzeszenie Producentów Bydła Mięsnego, Polski Związek Hodowców i Producentów Bydła Mięsnego, Związek Hodowców i Producentów Polskiego Bydła Czerwonego, Unia Producentów i Pracodawców Przemysłu Mięsnego oraz Polska Federacja Ziemniaka. Związki te reprezentują rolników indywidualnych oraz podmioty gospodarcze. Ostatecznie to właśnie oni odegrają istotną rolę podczas wdrażania i testowania funkcjonalności systemu IT monitorującego przebieg produkcji.

Ważnym ogniwem są także podmioty administracji publicznej sprawujące nadzór nad realizacją zadań oraz procesów zapewniających bezpieczeństwo i jakość żywności, tj.: Główny Inspektorat Weterynarii, Główny Inspektorat Jakości Handlowej Artykułów Rolno-Spożywczych, Główny Inspektorat Ochrony Roślin i Nasiennictwa, Główny Inspektorat Sanitarny, Główny Inspektorat Transportu Drogowego oraz Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa. Dodatkowo planowane jest wykorzystanie danych, które znajdują się w dyspozycji: Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych, Głównego Urzędu Miar i Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej. Dzięki zaangażowaniu wszystkich tych instytucji planowany do wdrożenia system IT zyska możliwość wykorzystania danych z baz referencyjnych administracji, które w połączeniu z danymi pochodzącymi od rolników zapewnią szeroki wachlarz informacji przydatnych wszystkim uczestnikom łańcucha dostaw.

4. Korzyści

Zebranie danych o produkcji rolno-spożywczej w bazie danych systemu paszportyzacji i wygenerowanie dokumentu opisującego produkt w postaci paszportu przyczyni się do wzmocnienia pozytywnego wizerunku wytwarzanej w Polsce żywności, zarówno w kraju, jak i na arenie międzynarodowej. Będzie to skutkowało między innymi uzyskaniem lepszej pozycji negocjacyjnej i w konsekwencji wyższych cen za surowce i produkty wytworzone przez rolników oraz zakłady przetwórcze.

Wartością dodaną będzie także optymalizacja procesów zarządzania produkcją, m.in. poprzez możliwość dokonywania rejestracji zdarzeń (w stadzie, na polu), analizę rentowności produkcji oraz prowadzenie ewidencji zabiegów (pielęgnacyjnych, weterynaryjnych, nawożenia itp.) oraz wzrost efektywności procesu raportowania informacji o produkcji w gospodarstwie rolnym – oszczędność czasu przy wypełnianiu dokumentacji w obecnie niekompatybilnych systemach administracji.

Paszportyzacja polskiej żywności – innowacyjne narzędzie...

Na wdrożeniu tego narzędzia zyskają także – dzięki usprawnieniu działań inspekcyjnych, a także ograniczeniu ich kosztów – służby odpowiedzialne za nadzór nad bezpieczeństwem i jakością żywności. Spodziewaną korzyścią będzie również wyeliminowanie przypadków fałszowania żywności, co ograniczy konieczność wycofywania partii towarów z łańcucha dostaw i w konsekwencji jej utylizacji.



Rys. 1. Pilotażowy system IT monitorujący produkcję żywności na kluczowych etapach łańcucha dostaw

Źródło: Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa.

Należy pamiętać, że system paszportyzacji nie ingeruje w procesy hodowli, chowu czy produkcji roślinnej bezpośrednio, natomiast udział w nim wymaga przekazywania szeregu informacji, potwierdzonych, zapewniających ciąg logiczny, wynikających z siebie nawzajem. Paszportyzacja nie ogranicza sposobu produkcji ani nie narzuca stosowania czy niestosowania określonych zabiegów czy środków – ma ona informować konsumentów, umożliwiając im podejmowanie świadomych decyzji zakupowych, wybieranie produktów „lepszych”. Takie podejście pośrednio stymuluje również rozwój technologii produkcji artykułów rolno-spożywczych poprzez ograniczanie opisanych w paszporcie produktu działań, które mogą mieć negatywny wpływ na decyzje zakupowe konsumentów.

5. Realizacja projektu

Przeprowadzenie projektu podzielono na dwie fazy:

- Faza I rozpoczęła się 16 grudnia 2021 r. i polega na przeprowadzeniu pilotażu na rynkach: ziemniaka, wołowiny i wieprzowiny (rys. 1). Pilotaż ma na celu dokonanie praktycznego sprawdzenia możliwości zbudowania jednego, w pełni kompatybilnego systemu IT dla różnorodnych produktów żywnościowych (tabela 1). Końcowym rezultatem pilotażu będzie możliwość wygenerowania paszportu, który udostępni uczestnikom rynku szerokie spektrum wiarygodnych, rzetelnych i niepodrabialnych informacji potwierdzających drogę, jaką przebył produkt żywnościowy, zanim trafi na polskie i zagraniczne stoły.

Realizacja pilotażu obejmuje szerokie grono uczestników: producentów rolnych, zakłady przetwórcze (rzeźnie, zakłady rozbioru, zakłady konfekcjonowania), firmy transportowe i magazynujące – łącznie 69 podmiotów: 47 z rynku wołowiny, 17 z rynku wieprzowiny i pięć

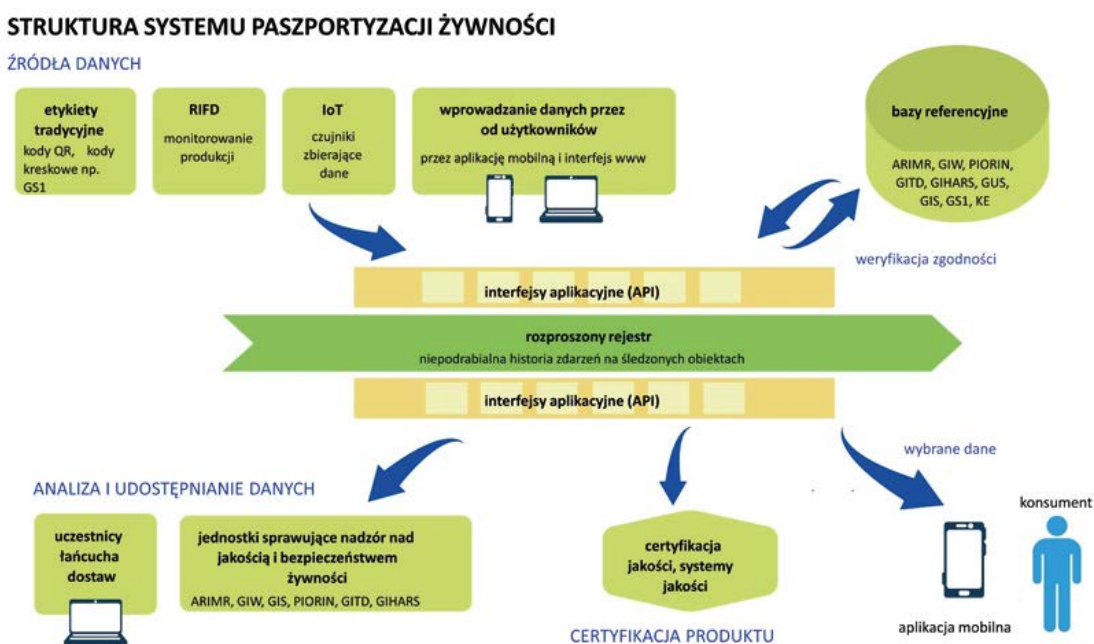
Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

z rynku ziemniaka. Podmioty te fizycznie przetestują określone funkcjonalności i rozwiązania systemu pilotażowego, co pozwoli na finalne określenie zakresu docelowego systemu IT.

Zleceńbiorcą Pilotażu jest Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa – Państwowy Instytut Badawczy (NASK-PIB) – na podstawie decyzji Prezesa Rady Ministrów z dnia 13 grudnia 2021 r., wydanej w oparciu o art. 10c ustawy z dnia 8 sierpnia 1996 r. o Radzie Ministrów. W dniu 16 grudnia 2021 r. pomiędzy KOWR a NASK-PIB została zawarta umowa, której przedmiotem jest uregulowanie zasad realizacji i finansowania pilotażu, a koszt finansowania zadania określono na poziomie 15 mln zł.

- Faza II przewiduje budowę i wdrożenie systemu docelowego monitorującego proces produkcji żywności, który udostępni w określonym zakresie informacje wszystkim uczestnikom łańcucha dostaw żywności, w tym konsumentom. Jej realizacja będzie możliwa po uzyskaniu pozytywnych wyników pilotażu.

Wizja systemu w postaci diagramu (rys. 2) prezentuje strukturę docelowego systemu IT i zakłada trzy główne grupy interesariuszy: użytkowników (podmioty zaangażowane w proces produkcji artykułów rolno-spożywczych), administrację publiczną oraz konsumenta. Jako źródła danych w wizji wskazano etykiety, czujniki, ale przede wszystkim informacje wprowadzane przez użytkowników, za pomocą aplikacji mobilnej i interfejsu WWW. Określono też rolę administracji publicznej jako dostawcy danych referencyjnych do weryfikacji zgodności zapisów w rozproszonym rejestrze historii zdarzeń. Wśród zastosowań systemu w wizji wskazano jego możliwości analityczne przydatne zarówno dla uczestników łańcucha, jak i dla jednostek nadzorujących produkcję artykułów rolno-spożywczych oraz możliwość wykorzystania w systemach certyfikacji żywności. Konsumentowi w wizji przyznano status odbiorcy wybranych danych pochodzących z rozproszonego rejestru.



Rys. 2. Schemat struktury systemu paszportyzacji

Źródło: Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa.

6. Realizacja projektu pilotażowego (faza I)

Zakres prac w pilotażu podzielono na dwa etapy:

Etap I – prace badawcze – został zrealizowany w okresie od grudnia 2021 r. do czerwca 2022 r. Obejmował prace badawcze, w ramach których:

- przeprowadzono analizę obecnie funkcjonujących procesów przebiegających na poszczególnych etapach produkcji wołowiny, wieprzowiny i ziemniaka;
- przeprowadzono analizę oczekiwań, potrzeb i korzyści wynikających z wdrożenia projektu dla uczestników pilotażu i administracji publicznej;
- zidentyfikowano i zamodelowano działania zachodzące na poszczególnych etapach łańcucha dostaw dla tych rynków;
- przeprowadzono analizę technologiczną i zidentyfikowano obecne źródła danych generowanych i przetwarzanych przez różne podmioty łańcucha dostaw;
- opracowano zakres danych, które powinny być gromadzone w paszporcie i w systemie informatycznym służącym śledzeniu zdarzeń produkcji rolnej.

W wyniku działań przeprowadzonych w fazie I opracowano cztery dokumenty: *Raport z prac badawczych dla rynku ziemniaka*, *Raport z prac badawczych dla rynku wołowiny*, *Raport z prac badawczych dla rynku wieprzowiny* oraz *Raport podsumowujący prace badawcze Etapu I*.

Raport dla każdego z rynków uczestniczących w projekcie zawierał:

- modele analityczne AS IS (stan obecny) (dla wszystkich uczestników pilotażu),
- modele referencyjne AS IS (dla każdego etapu łańcucha dostaw),
- zidentyfikowane i przeanalizowane niezbędne dla paszportyzacji dane administracji publicznej,
- modele referencyjne TO BE (planowana sytuacja) (dla każdego etapu łańcucha dostaw),
- analizę potrzeb i korzyści (uczestnicy i administracja publiczna),
- analizę technologiczną (infrastruktura, aplikacje, technologie),
- zakresy baz danych służących do zbierania informacji i generowania paszportów.

W zakresie modeli łącznie wykonano:

- 82 modele procesowe AS IS,
- 13 referencyjnych modeli procesowych AS IS,
- 13 referencyjnych modeli TO BE,
- 108 analiz symulacyjnych.

Raport podsumowujący zawierał:

- podsumowanie analiz procesowych, analiz technologicznych oraz zgłoszonych potrzeb i oczekiwań,
- porównawczą analizę efektywności – porównanie wyników symulacji dla poszczególnych rynków, symulacyjna estymacja efektu skali,
- uzupełniające rekomendacje dotyczące automatycznej identyfikacji danych (ADC),
- analizę organizacyjną obszaru pilotażu,
- analizę prawną – 23 aktów prawa i kwestii dostępu do danych,
- temat badań genetycznych w paszportyzacji,
- tematykę zeroemisyjności w kontekście paszportyzacji.

Podkreślenia wymaga kwestia analizy systemów i rejestrów administracji publicznej, którą przeprowadzono zgodnie z metodyką i pryncypiami Architektury Informacyjnej Państwa. Zebrane zostały i zaprezentowane w podziale na cztery warstwy oraz diagramy dane o:

- aktach prawnych,
- systemach,
- zbiorach danych/rejestrach,
- usługach aplikacyjnych,
- projektach,
- standardach,
- usługach biznesowych/działaniach administracji,
- głównych funkcjonalnościach,
- poszczególnych atrybutach danych.

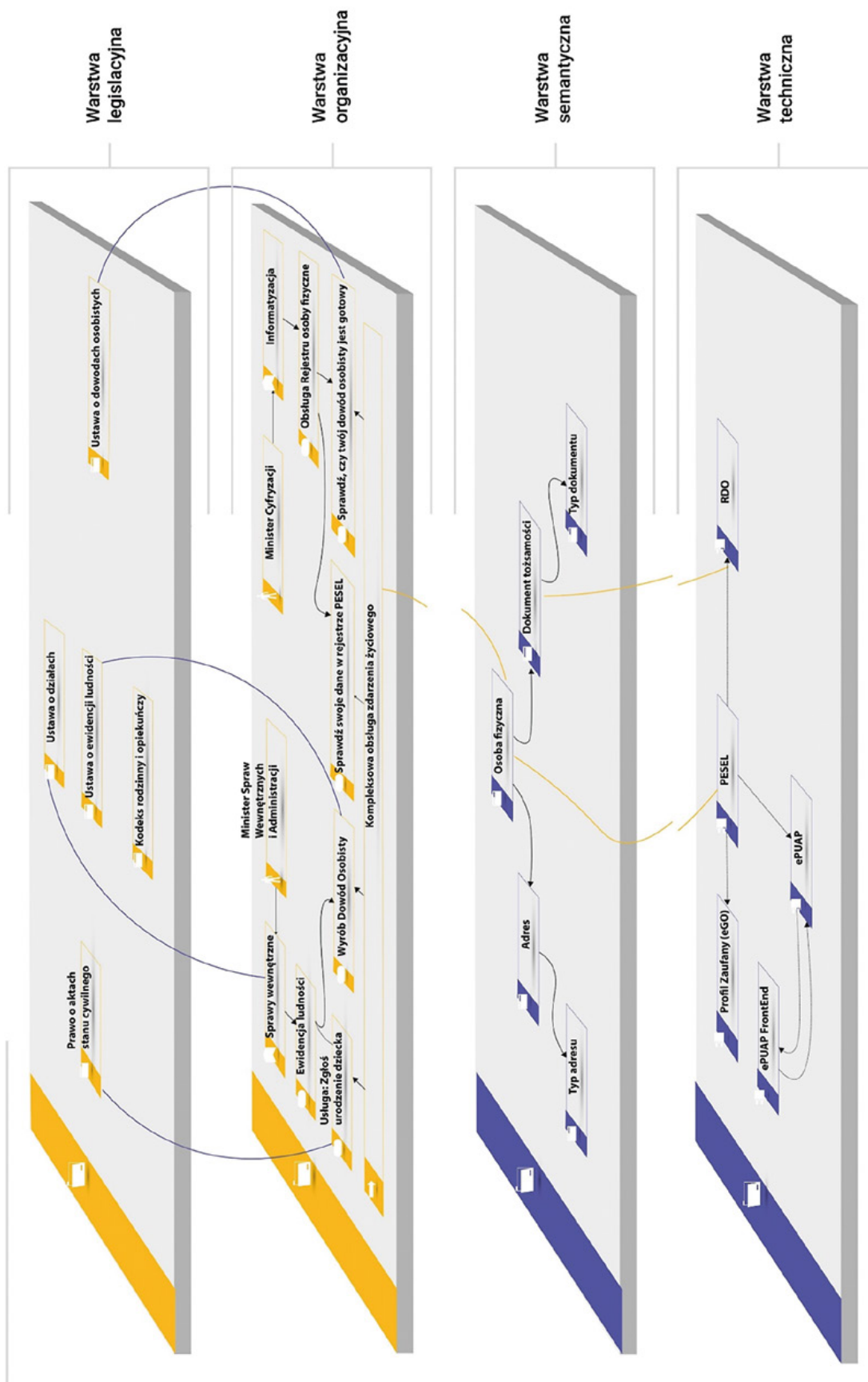
Na rysunku 3 przedstawiono przykład zorganizowania wiedzy na temat systemów i rejestrów administracji publicznej, które w systemie paszportyzacji mają istotną rolę. Paszportyzacja żywności, oprócz regulacji prawnych, organizacyjnych, różnego rodzaju procesów związanych z produkcją artykułów rolno-spożywczych, stanowi również system teleinformatyczny, stworzony zgodnie z pryncypiami Architektury Informacyjnej Państwa, który oprócz wielu danych od uczestników, pobiera dane i pozostaje w interakcji z wieloma źródłami danych: systemami, rejestrami po stronie administracji publicznej. W ramach paszportyzacji należy potwierdzić dane rolnika, dane gospodarstwa, dane podmiotów uczestniczących w łańcuchu, dane dotyczące wyników kontroli i badania jakości produktów – to wszystko zapewniają systemy i rejestry administracji publicznej.

Etap II – prace badawcze, rozwojowe, projektowe oraz implementacyjne – znajduje się obecnie w trakcie realizacji. Równolegle prowadzone są działania przewidziane w etapie II, które obejmują m.in. badania technologii przechowywania i przetwarzania dużych zbiorów danych na potrzeby paszportu, z wykorzystaniem Pilotażowego Systemu IT, stanowiącego narzędzie wraz z niezbędnymi interfejsami, implementacją technologii zbierania danych od uczestników pilotażu, zasilania danymi referencyjnymi i narzędziami do generowania paszportów.

W ramach etapu II zaplanowano prace polegające m.in. na:

- przetestowaniu określonych funkcjonalności i innowacyjnych rozwiązań przez uczestników pilotażu;
- sprawdzeniu możliwości integracji projektowanego systemu IT z danymi referencyjnymi;
- badaniu oczekiwanych funkcjonalności i preferencji w zakresie interfejsów użytkownika (badania użyteczności), umożliwiającym uczestnikom łańcucha dostaw wprowadzanie potrzebnych danych, w tym pobieranie danych z wykorzystywanych przez nich systemów;
- utworzeniu projektów paszportów dla wołowiny, wieprzowiny i ziemniaka;
- przygotowaniu rekomendacji w zakresie docelowego systemu IT.

Etap II obejmuje opracowanie *Wstępnej koncepcji pilotażowego systemu IT* (jej elementy przedstawiono w tabeli 1), załączników, dotyczących w głównej mierze danych oraz zawierających makiety paszportów (tabela 2) oraz *Raportu końcowego*, składającego się z dokumentacji technicznej zawierającej opisy architektury pilotażowego systemu IT, zastosowanych rozwiązań technicznych i specyfikacji interfejsów programistycznych oraz wygenerowanych paszportów.



Rys. 3. Podział na warstwy informacyjne zgodnie z pryncypiami Architektury Informacyjnej Państwa

Źródło: Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa – Państwowy Instytut Badawczy.

W *Raporcie końcowym* opisane zostaną także wyniki analizy: organizacyjnej, technicznej, prawnej, ekonomicznej i psychologiczno-społecznej oraz wnioski dotyczące konstrukcji docelowego systemu IT. Zakończenie pilotażu przewidziano na 30 listopada 2023 r.

Tabela 1. Elementy Wstępnej koncepcji pilotażowego systemu IT

Nr	Elementy Wstępnej koncepcji pilotażowego systemu IT
1	Informacje o dokumencie, wstęp, słownik, wprowadzenie
2	Założenia dotyczące wizji systemu
3	Wymagania funkcjonalne zmapowane na przypadki użycia
4	Wymagania dotyczące bezpieczeństwa danych zmapowane na proponowane rozwiązania techniczne
5	Wymagania dotyczące wydajności oraz skalowalności Pilotażowego Systemu IT zmapowane na proponowane rozwiązania techniczne
6	Wymagania dotyczące dostępności Pilotażowego Systemu IT zmapowane na proponowane rozwiązania techniczne
7	Wizja i koncepcja biznesowa realizacji PPŻ / założenia systemu informatycznego PPŻ
8	Model architektury Pilotażowego Systemu IT, model dziedziny oraz makiety UX ekranów systemu w części uniwersalnej dla wszystkich rynków i szczegółowo dla rynku ziemniaka
9	Plan wdrożenia i opis testów
10	Opracowanie metod zapewnienia autentyczności produktów
11	Projekt paszportu dla każdego rynku
12	Podsumowanie koncepcji

Źródło: Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa – Państwowy Instytut Badawczy.

Tabela 2. Załączniki do Wstępnej koncepcji pilotażowego systemu IT

Nr	Załączniki
1	Źródła danych w systemach administracji dla rynku ziemniaka
2	Źródła danych w systemach administracji dla rynku wieprzowiny
3	Źródła danych w systemach administracji dla rynku wołowiny
4	Model dziedziny systemu (dla ścieżki <i>traceability</i> oraz dla paszportu)
5	Słowniki danych dla modelu dziedziny systemu
6	Uzupełniony zakres bazy danych dla rynku ziemniaka
7	Uzupełniony zakres bazy danych dla rynku wieprzowiny
8	Uzupełniony zakres bazy danych dla rynku wołowiny
9	Makiety paszportów dla wszystkich rynków

Źródło: Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa – Państwowy Instytut Badawczy.

7. Paszportyzacja polskiej żywności a rolnictwo precyzyjne

W rolnictwie precyzyjnym informacja, technologie oraz systemy wspomaganie podejmowania decyzji to kluczowe ogniwa, które przyczyniają się do poprawy funkcjonowania sektora. Paszportyzacja polskiej żywności bez wątpienia ma szansę stać się narzędziem wspomagającym zarządzanie produkcją i dalszy jej rozwój. Za pomocą narzędzi cyfrowych, takich jak czujniki, urządzenia oraz narzędzia do zbierania i monitorowania danych, system IT będzie umożliwił prześledzenie przepływu produktów rolno-spożywczych w ramach łańcucha dostaw. Ważnym elementem wsparcia sektora będzie również możliwość gromadzenia, przechowywania i przetwarzania informacji o produkcie żywnościowym na każdym etapie łańcucha dostaw. Kolejnym aspektem przemawiającym za wdrożeniem paszportyzacji i jej innowacyjnością będzie digitalizacja procesów związanych z bezpieczeństwem żywności oraz informacji na temat produktów żywnościowych. Tak więc zastosowanie technologii do monitorowania produkcji żywności w postaci systemu paszportyzującego zoptymalizuje przepływ informacji o wyprodukowanej żywności w całym łańcuchu dostaw.

8. W przyszłości

Z dostępnych informacji wynika, że dotychczas na świecie nie zbudowano narzędzia informacyjnego o takiej skali, które w swoich założeniach obejmowałoby tak szeroki zakres danych o produkcie żywnościowym, jaki przewidziano w polskim paszporcie. Jednocześnie coraz więcej grup uczestników łańcucha dostaw (importerzy, sieci handlowe, konsumenci) wymaga, aby żywność posiadała niepodważalne certyfikaty jakości i autentyczności. Bez wątpienia zatem polski sektor rolno-spożywczy potrzebuje innowacyjnego, kompatybilnego systemu IT, gromadzącego dane o procesie produkcyjnym żywności.

Po zrealizowaniu pilotażu i uzyskaniu pewności, że istnieje możliwość zapewnienia logicznego i niepodważalnego ciągu danych pochodzących od producenta, przez przetwórstwo, transport i magazynowanie, przewiduje się podjęcie działań zmierzających do zbudowania i wdrożenia systemu docelowego, który udostępni w określonym zakresie informacje wszystkim uczestnikom łańcucha dostaw żywności, w tym konsumentom, a także innym zainteresowanym. System docelowy mógłby być rozbudowywany o nowe produkty agro i nowe funkcjonalności. Przyczyniłoby się to do zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego w Polsce, a także do dalszego rozwoju eksportu rodzimej żywności, cenionej w świecie za wysoką jakość.

Budowa Systemu Satelitarnego Monitorowania Upraw Rolnych na obszarze Polski

1. Wstęp

Z każdym rokiem za pomocą najnowszych technologii dochodzi do coraz większej cyfryzacji rolnictwa. Rolnicy dzięki postępowi technologicznemu potrafią efektywniej zarządzać swoimi gospodarstwami oraz uprawami. Nowoczesne technologie rolnicze zwiększają konkurencyjność polskiego sektora rolniczego wobec gospodarstw Europy Zachodniej.

Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa (KOWR) monitoruje na bieżąco rozwój technologii pozwalających na unowocześnienie polskiego sektora rolno-spożywczego, jednocześnie dbając o jego konkurencyjność i zrównoważenie.

Obecnie KOWR realizuje strategiczny dla polskiego rolnictwa projekt pn. System Satelitarnego Monitorowania Upraw Rolnych (S2MUR), który charakteryzuje się dużym stopniem złożoności i innowacyjności.



Rys. 1. Uprawa kukurydzy

Źródło: Fot. portalspozywczy.pl (dostęp: 20.06.2023).



Budowa Systemu Satelitarnego Monitorowania Upraw Rolnych na obszarze Polski

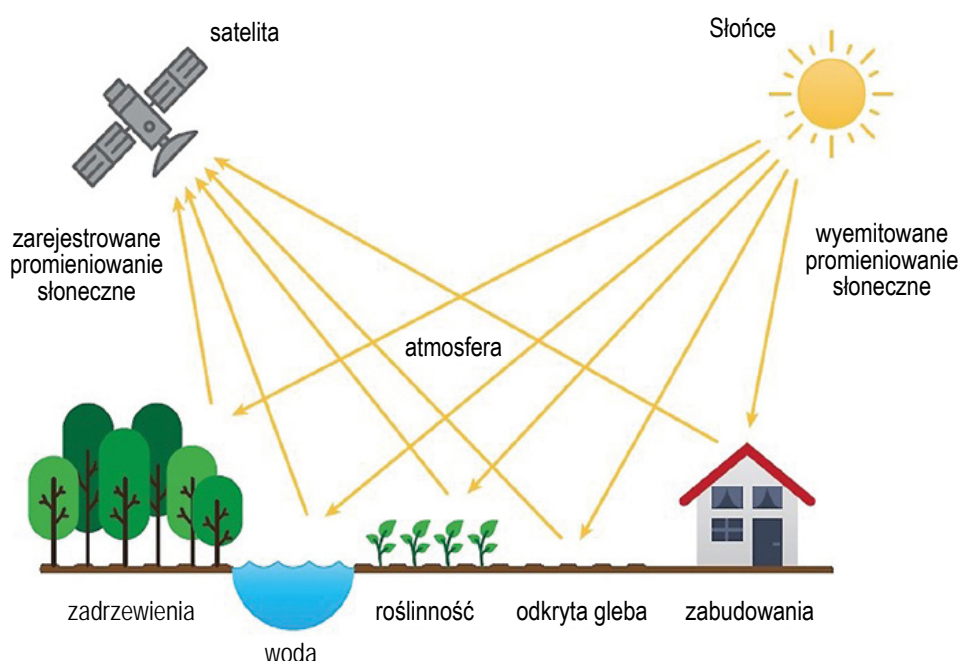
Coraz częstsze niszczycielskie zjawiska pogodowe, spowodowane gwałtownymi zmianami klimatycznymi, nie omijają niestety Polski. Susze, a także deszcze nawalne czy gradobicia wpływają negatywnie na produkcję rolną. Straty z powodu ich wystąpienia corocznie można liczyć w setkach milionów złotych – dodatkowo intensywność zjawisk wpływa ujemnie na bezpieczeństwo żywnościowe kraju, tak ważne w kontekście wydarzeń z ostatnich lat.

Jednym z wielu skutków ubocznych zjawisk atmosferycznych jest znaczne wydłużenie czasu na ustalenie i weryfikację wniosków o odszkodowanie zgłoszonych przez rolników. Kolejnym negatywnym skutkiem tych zjawisk są coraz większe straty w plonach, co przekłada się na wypłatę wyższych odszkodowań za straty. W związku z tym KOWR podjął działania mające na celu pomoc i wsparcie producentów rolnych, w tym rozpoczął wdrażanie projektu S2MUR.

2. Geneza projektu

Imponujący w ostatnich dekadach rozwój narzędzi i metod obserwowania Ziemi z kosmosu nie przeszedł bez echa w branży rolniczej. Teledetekcja satelitarna w połączeniu z rozwojem technologii IT pozwala bowiem na efektywniejsze zarządzanie uprawami m.in. przez: analizowanie ich stanu, szacowanie szkód powstałych w wyniku niekorzystnych zjawisk pogodowych oraz prognozowanie plonów.

W KOWR prace nad zastosowaniem teledetekcji w rolnictwie trwają nieprzerwanie od 2018 r. Niewątpliwy wpływ na zastosowanie akurat tej technologii miał znaczny wzrost dostępności i precyzji danych satelitarnych (m.in. z programu Copernicus) oraz rozwój rozwiązań opartych na rolnictwie precyzyjnym.



Rys. 2. Schemat powstawania obrazu satelitarnego na podstawie odbitego promieniowania słonecznego

Źródło: Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa.

W poprzednich latach KOWR zrealizował kilka projektów z zastosowaniem teledetekcji satelitarnej, tj.:

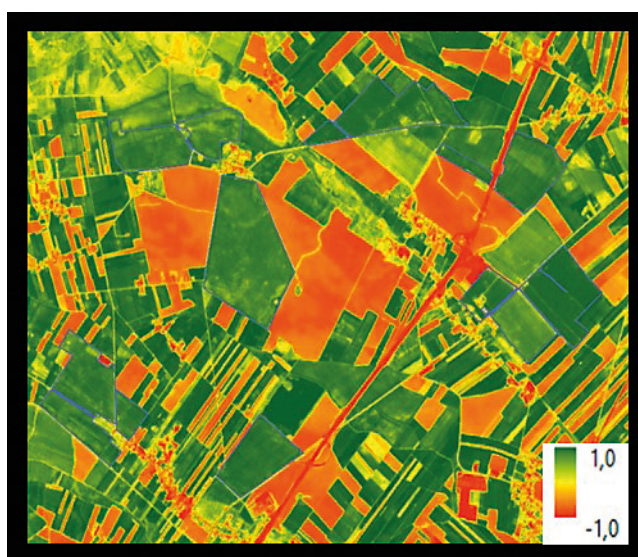
- „Wykorzystanie teledetekcji do zarządzania Zasobem Własności Rolnej Skarbu Państwa – etap pilotażowy” (2019) – w ramach projektu opracowano algorytmy automatycznego szacowania strat w uprawach rolniczych, powstałych wskutek: wymoknięć, wymarznień oraz suszy wraz z oceną skuteczności modeli. Projekt potwierdził efektywność wprowadzonych rozwiązań i pozwolił na realizację przez KOWR kolejnych działań związanych z zastosowaniem teledetekcji w rolnictwie;
- „Weryfikacja zastosowania teledetekcji dla celów monitoringu stanu zagospodarowania gruntów” (2019) – opracowano, przetestowano i opisano metodologię, która umożliwiła teledetekcyjne wykrywanie zalesień i zakrzaczeń, koszenia łąk, orania, odłogowania, płodozmianu oraz wypasu na działkach należących do KOWR;
- „Geoserwis Susza2020” (2020) – opracowano serwis wykorzystujący zobrazowania satelitarne do monitorowania warunków wzrostu upraw, w tym identyfikacji suszy rolniczej, jak również do oceny redukcji plonów upraw w wyniku wystąpienia niekorzystnych warunków wzrostu w 2020 r.

Wnioski zgromadzone przez KOWR w trakcie wymienionych projektów i po ich realizacji stały się w znacznym stopniu podstawą koncepcji budowy systemu S2MUR.

3. Cel projektu

Celem projektu S2MUR jest zaprojektowanie i wykonanie systemu teleinformatycznego do całorocznego monitorowania upraw rolnych, umożliwiającego m.in.:

- 1) dostarczenie kompleksowej wiedzy o stanie upraw rolnych oraz prognozę wystąpienia niekorzystnych zjawisk atmosferycznych mogących powodować straty w plonie upraw;
- 2) operacyjne generowanie raportów szacowania strat w plonie na poziomie pola uprawowego.



Rys. 3. Wizualizacja indeksu opisującego wielkość biomasy roślin

Źródło: Opracowanie własne, Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa.

Budowa Systemu Satelitarnego Monitorowania Upraw Rolnych na obszarze Polski

Innowacyjność budowanego systemu wychodzi naprzeciw zagrożeniom dla współczesnego rolnictwa wynikającym z nasilających się w ostatnich latach zmian klimatycznych. Coraz częstsze i coraz dłużej trwające susze na terenie Polski, ale także inne gwałtowne zjawiska pogodowe (ulewy, gradobicia, trąby powietrzne) mają bezpośredni, negatywny wpływ na produkcję rolną w kraju, czyli wprost na polską gospodarkę.

System S2MUR ma maksymalizować szanse rolnika na przeciwdziałanie negatywnym skutkom danego zjawiska atmosferycznego. Dzięki metodom zdalnego monitorowania oraz analizie danych przestrzennych, S2MUR pozwoli uzyskać zainteresowanym użytkownikom informacje dotyczące aktualnego stanu uprawy oraz ustali precyzyjną ocenę skutków negatywnego zjawiska atmosferycznego, pomagając w oszacowaniu szkód na poziomie indywidualnej uprawy rolnej.

4. Zakres projektu

Projekt S2MUR obejmuje zaprojektowanie i budowę kompleksowego systemu IT wraz z pozyskaniem danych satelitarnych, meteorologicznych, glebowych i statystycznych. Budżet projektu wynosi 201,7 mln zł, a jego realizacja przewidziana jest na lata 2021–2025.

Działania w ramach projektu zostały podzielone na cztery oddzielne komponenty składające się na całe przedsięwzięcie, tj.:

- świadczenie usług doradczych z zakresu prawa i legislacji,
- świadczenie usług doradczych w zakresie merytorycznym i technicznym, w szczególności przez pełnienie funkcji nadzoru technicznego w całym okresie trwania projektu,
- zapewnienie danych źródłowych,
- zaprojektowanie, wykonanie i wdrożenie systemu S2MUR.

Kluczowe dla systemu S2MUR będzie zdobycie odpowiednich danych źródłowych – zarówno od podmiotów publicznych, jak i z rynku komercyjnego. KOWR obecnie prowadzi intensywną współpracę w celu pozyskania danych meteorologicznych, satelitarnych (optycznych, radarowych), glebowych, katastralnych oraz danych *in situ* (dotyczących zabiegów agrotechnicznych na uprawach).

Projekt S2MUR jest częścią programu „Geomatyka dla Rolnictwa”, realizowanego pod nadzorem Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Drugim komponentem tego programu jest projekt „Centrum Geomatyki”, który prowadzony jest przez Instytut Upraw Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy.

5. Produkty systemu S2MUR

W ramach systemu S2MUR przewidziane jest uruchomienie szeregu e-usług oraz usług sieciowych (API). Stanowią one będą dla producentów rolnych wsparcie procesów decyzyjnych związanych z uprawami rolnymi i zaistniałymi w nich szkodami. Z usług S2MUR skorzysta także administracja publiczna oraz instytuty naukowe. Poniżej zestawiono wybrane planowane e-usługi dla odbiorców indywidualnych i instytucjonalnych:

E-usługi:

- potwierdzenie wystąpienia strat w plonie,
- potwierdzenie wystąpienia niekorzystnych zjawisk atmosferycznych,
- oszacowanie wysokości plonów dla pola uprawnego,
- określenie stanu (oceny kondycji) upraw dla pól uprawnych.

Usługi sieciowe:

- mapa obszarów, dla których stwierdzono stratę w wyniku oddziaływania suszy,
- mapa obszarów, dla których stwierdzono stratę w wyniku deszczy nawalnych,
- raport oceny kondycji upraw dla pojedynczych pól uprawowych,
- raport ryzyka wystąpienia uszkodzenia uprawy w wyniku oddziaływania suszy,
- raport prognozy plonów.

6. Grupa docelowa i korzyści

Głównymi odbiorcami systemu S2MUR będą rolnicy indywidualni oraz producenci rolni, a także administracja publiczna.

System S2MUR:

- zapewni odpowiednie dane rolnikom zarówno w czasie okresu wegetacyjnego, jak i w sytuacjach nadzwyczajnych, które pozwolą na szybszą reakcję na zachodzące zjawiska,
- dostarczy informacji (w postaci wygenerowanych przez system raportów, zestawień, map) o przewidywanych plonach i produkcji rolnej w całym kraju,
- przyspieszy rozpatrywanie wniosków o odszkodowania i skróci okres oczekiwania na pomoc ze strony państwa,
- będzie wspomagać decyzje agrotechniczne użytkowników.

Z kolei administracja publiczna będzie wykorzystywać system do:

- zwiększenia konkurencyjności polskiego rolnictwa dzięki informacjom wygenerowanym przez system,
- zwiększenia bezpieczeństwa żywnościowego kraju,
- większej ochrony zasobów naturalnych.

7. Stan realizacji projektu

Dotychczas w ramach realizacji projektu S2MUR wyłoniono doradcę prawnego oraz technicznego. W 2022 r. przeprowadzono wstępne konsultacje rynkowe dotyczące zaprojektowania i wykonania systemu S2MUR. W styczniu 2023 r. zawarto z dwoma wykonawcami umowy na dostawę obrazowań satelitarnych o wartości ponad 41 mln zł.

Obecnie KOWR przygotowuje się do rozpoczęcia wykonania zadania polegającego na zaprojektowaniu i wykonaniu systemu S2MUR. Przewiduje się, że S2MUR ma osiągnąć zdolność operacyjną pod koniec 2025 r.



Rozwiązania i narzędzia wykorzystywane w Gospodarstwach Stadniny Koni „Nowe Jankowice” Sp. z o.o.

1. Wstęp

Stadnina Koni „Nowe Jankowice” to przedsiębiorstwo z ponad 70-letnią tradycją, które rozpoczęło swoją działalność 1 lipca 1952 r. Obecnie, ze względu na znaczenie w krajowej hodowli koni zimnokrwistych (około 230 sztuk) i bydła rasy holsztyńsko-fryzyjskiej (około 1330 sztuk, w tym 650 krów mlecznych), należy do spółek strategicznych Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa w Warszawie.

Spółka prowadzi działalność na obszarze 2582,62 ha. Jest producentem zbóż, rzepaku, kukurydzy, buraków cukrowych oraz kwalifikowanych nasion pszenicy i owsa.



Rys. 1. Hodowla koni zimnokrwistych w Stadninie Koni „Nowe Jankowice”

Źródło: Fot. W. Szymański.



2. Rozwiązania w produkcji roślinnej

Gospodarstwo to od kilku lat intensywnie modernizuje park maszynowy, równoległe wdrażając system precyzyjnego rolnictwa, korzystając z usług firmy Vantage Polska – jako doradców i dostawców technologii.

Modernizacja gospodarstwa to ciągły proces. Nie ma możliwości fizycznie i ekonomicznie wymienić całego sprzętu w gospodarstwie w ciągu jednego sezonu, stąd przedsięwzięcie to jest rozłożone w czasie. Gospodarstwa państwowe podlegają innym procedurom niż prywatne. Nie korzystają też z dotacji powszechnie wykorzystywanych w przypadku gospodarstw indywidualnych, przez co proces ten jest obecnie dość skomplikowany proceduralnie i budżetowo.

Wdrażanie precyzyjnego rolnictwa w Stadninie Koni „Nowe Jankowice” rozpoczęło się standardowo, czyli od rozpoznania aktualnego stanu parku maszynowego, a także stosowanego podejścia do agronomii. Następnie wspólnie określone zostały priorytety i kierunki inwestycji, zaczynając od tych, które przynoszą największe korzyści i rozwiązują krytyczne problemy.

Zaczęliśmy od poznania zasobów glebowych. Zostały wykonane badania gleby z rejestratorem kartograficznym z GPS oraz pobieraniem maszynowym próbek do analiz. Gdy już otrzymaliśmy wyniki z laboratorium, zostały wygenerowane mapy zasobności oraz zmienności gleby w postaci cyfrowej, co było kluczowe, gdyż tylko takie można użytecznie obrabiać, analizować i generować kolejne mapy, np. do zmiennego dawkowania wapna, nawozów, a także obornika.

Równocześnie z agronomią rozpoczęliśmy wdrażanie nowego sprzętu. W pierwszej kolejności była to automatyka jazdy do ciągników wykonujących siewy. Siew odgrywa kluczową rolę, a w zasadzie ustalenie ścieżek technologicznych, po których będą pracować maszyny pielęgnacyjne. Zbyt wąskie ich usadowienie, które jest dużą niedogodnością w czasie jazdy na tzw. znacznik, powoduje powielanie tego samego błędu przy kosztownych zabiegach pielęgnacyjnych, aż do żniw. Wynikiem użycia automatycznej nawigacji *Trimble EZ-Pilot Pro* jest znaczne ograniczenie chemizacji i kosztów eksploatacyjnych oraz zwiększenie wydajności pracy.

Oprócz siewu automatyczna nawigacja *Trimble EZ-Pilot* jest stosowana w uprawie przed-siewnej i poźniwej, a także podczas koszenia zielonek na paszę dla zwierząt. Można mówić tu o połączeniu z technologią precyzyjnego rolnictwa w hodowli zwierząt. Wraz z nowym sprzętem zielonkowym wprowadzane będą kolejne systemy prowadzenia w celu zwiększenia wydajności podczas przygotowania paszy, co przekłada się na jej jakość, a dalej na wyniki hodowlane.

Inwestorowi zależało na tym, aby zamontowane urządzenia mogły być w przyszłości rozbudowywane, ze względu na plany zakupu nowych maszyn w technologii ISOBUS. Obecnie te same ekrany nawigacyjne *Trimble GFX* obsługują również rozsiewacz do nawozów oraz siewnik. Ma to wiele zalet – ekonomiczną: nie jest konieczny zakup kolejnego ekranu do maszyny, oraz praktyczną: operator pracuje na tym samym ekranie, który dobrze zna, nie musi więc odbywać dodatkowych szkoleń i znać wielu systemów na raz.

Po podłączeniu rozsiewacza uzyskano znaczne oszczędności związane z dwiema funkcjami. Pierwsza to automatyka sekcji – podczas prac na polach o nieregularnych kształtach rozsiewacz z ekranem *Trimble GFX* potrafi zwiększać i zmniejszać szerokość rozrzutu nawozu, zapobiegając nakładaniu, co ogranicza chemizację. Dzięki drugiej funkcji – zmiennemu dawkowaniu wapna

Rozwiązania i narzędzia wykorzystywane w Gospodarstwach...

i nawozów – stosowane są ilości nawożenia odpowiadające konkretnym potrzebom w określonych miejscach pola, by osiągnąć optymalny plon.

Następnym etapem będzie modernizacja opryskiwaczy do automatycznego wyłączania sekcji, a także większy nacisk na zmienne dawkowanie nie tylko nawozów i wapna, ale także nasion i innych kosztownych materiałów. W tego typu wdrożeniach kluczowy jest dobrze dopasowany do gospodarstwa plan, kompleksowe podejście dostawcy, a także dostępny i profesjonalny serwis posprzedażowy, zarówno techniczny, by utrzymać urządzenia w ruchu, jak i agronomiczny, czyli pomoc w stworzeniu map i gromadzeniu cennych danych do dalszych analiz i raportów.

3. Rozwiązania wykorzystywane w hodowli bydła i produkcji mleka

W ostatnich latach Spółka poczyniła szereg inwestycji mających na celu zapewnienie dobrostanu zwierząt w budynkach inwentarskich, w których zastosowano nowoczesne rozwiązania również z dbałością o środowisko naturalne. Na początku 2023 r. uruchomiono instalację fotowoltaiczną zasilającą budynki w energię elektryczną w dwóch gospodarstwach Stadniny. W nieodległych planach inwestycyjnych jest powiększenie obory dla krów mlecznych w Lisnowie.

W hodowli bydła realizowany jest program mający na celu postęp genetyczny dotyczący poprawy cech funkcjonalnych i produkcyjnych stada. Prowadzona jest wycena genomowa oraz embriotransfer. Efekty prac hodowlanych są widoczne w osiągnięciach Spółki na wystawach zwierząt hodowlanych oraz w wysokiej wydajności produkcji. Rekordowa roczna wydajność mleka od jednej krowy wyniosła 13 743 kg i było to pierwsze miejsce w Polsce w 2018 r. W 2022 r. wydajność była równie wysoka (13 746 kg) i Stadnina zajęła trzecie miejsce pod tym względem w województwie kujawsko-pomorskim. Osiąganie tak wysokich wydajności nie byłoby możliwe bez wiedzy i zaangażowania pracowników oraz ich pracy zespołowej, począwszy od pracowników w oborach, poprzez kadrę zootechniczną, do zarządu Spółki włącznie. Obecnie obowiązki prezesa pełni Jacek Rafalski.

Ale osiągnięcie wysokich wydajności produkcyjnych oraz wysokiego poziomu hodowli bydła nie byłoby także możliwe bez odpowiedniego wyposażenia i zastosowania kompleksowych rozwiązań technicznych, które wskazano i omówiono poniżej.

System do zarządzania stadem ALPRO™, z którego korzysta Stadnina, dostarcza bardzo dokładnych danych na temat stada. Analiza informacji pozwala na podejmowanie właściwych decyzji oraz na długotrwałe planowanie w hodowli i produkcji. W szczególności dotyczy to ulepszonych doju, hodowli i analizy danych w celu wsparcia procesu decyzyjnego. Po dokładnym zidentyfikowaniu każdej krowy możliwe jest śledzenie indywidualnej wydajności mlecznej oraz odchyleń. Wiedza o wydajności mlecznej krów jest potrzebna do osiągnięcia sukcesu w hodowli ich stada, zapewnia kontrolę nad całą działalnością, począwszy od kontroli żywienia i zdrowia zwierząt, aż do doju i reprodukcji.

Hala udojowa typu „rybia ość” ma wiele zalet: zapewnia krótki odstęp pomiędzy wymionami (1,15) oraz ich dobrą widoczność. Krowa stoi wygodnie blisko kanału dojarza, a dojarz ma zapewniony łatwy dostęp do wymienia, z wolną przestrzenią i bez jakichkolwiek słupków utrudniających pracę. Listwa zapobiegająca kopnięciom, umieszczona blisko krowy, zmniejsza





Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

prawdopodobieństwo skutecznego kopnięcia przez zwierzę, co znacznie zwiększa bezpieczeństwo pracy.

Stanowiska udojowe to urządzenia prezentujące najwyższą jakość oraz funkcjonalność. Sterowanie parametrami doju – poziomem podciśnienia, pulsacją i zdejmowaniem aparatu udojowego – uzależnione jest od przepływu mleka. Dój rozpoczyna się stymulacją wymienia, z obniżonym podciśnieniem. Pojawienie się intensywnego przepływu mleka powoduje, że krowa przechodzi do fazy doju właściwego. Po spadku tempa przepływu mleka urządzenie rozpoczyna fazę masażu oraz automatycznie zdejmuje aparat udojowy, co minimalizuje ryzyko pustodoju i *mastitis*. Parametry czasowe oraz progowe wartości przepływu mleka można dostosować do potrzeb stada. W trakcie doju wyświetlane są informacje o ilości uzyskanego mleka, aktualnym jego przepływie oraz czasie doju, są to podstawowe dane do właściwego zarządzania stadem. Nagły spadek ilości mleka stanowi zazwyczaj pierwsze objawy choroby zwierząt lub ich rui.

Program do kojarzeń DoKo pozwala, przy wsparciu pracownika Polskiej Federacji Hodowców Bydła i Producentów Mleka, wybrać do inseminacji nasienie buhaja z czołówki aktualnych rankingów i najbardziej pasującego do samic. Ponadto na stronie Centrum Genetycznego PFHBiPM (cgen.pl/indeksy/ocena/buhaj/ranking) znajdują się informacje o dostępności w kraju i możliwości zakupu nasienia wybranego buhaja. Program DoKo umożliwia nam nie tylko optymalny dobór par do kojarzeń z wykorzystaniem wartości hodowlanych poszczególnych cech, lecz także kontrolę inbrodu przyszłego potomka poprzez unikanie spokrewnienia między jego rodzicami. Wzrost inbrodu powoduje negatywne skutki, dotyczące zarówno cech produkcyjnych, jak i funkcjonalnych (spadek wydajności mleka i jego składników, pogorszenie płodności, obniżenie odporności na choroby, a także ujawnienie się wad genetycznych).





Gospodarstwo Rolne Iwony i Przemysława Kawulów – zastosowanie rozwiązań precyzyjnego rolnictwa w produkcji zwierzęcej

1. Wstęp

Gospodarstwo rolne znajduje się w miejscowości Frydrychowo w województwie kujawsko-pomorskim, powiat golubsko-dobrzyński, gmina Kowalewo Pomorskie. Łącznie z dzierżawami posiada 60 ha użytków rolnych, które w większości obsiewane są kukurydzą na kiszonkę dla bydła oraz trawą i lucerną mieszańcową. Gospodarstwo jest ukierunkowane na chów i hodowlę bydła mlecznego. Posiada w tej chwili 119 krów dojnych oraz 124 sztuki młodzieży. Buhajki są od razu sprzedawane. Stado jest pod oceną Polskiej Federacji Hodowców Bydła i Producentów Mleka. Wydajność w stadzie kształtuje się na poziomie 12 tys. kg mleka na rok od krowy.

W październiku 2017 r. gospodarstwo zostało przekazane obecnym właścicielom przez rodziców Marię i Władysława Kawulów. Znajdował się w nim budynek inwentarski, w którym utrzymywano młodzież, oraz obora wolnostanowiskowa, na 55 sztuk bydła z halą udojową 2x4 typu „rybia ość”, wybudowana w 2003 r. Po przejęciu gospodarstwa przystąpiono do jego unowocześniania i mechanizacji.

2. Dobrostan zwierząt priorytetem

W 2020 r. rozpoczęto budowę nowej obory, wyposażonej w roboty udojowe, która ma spełniać najwyższe warunki dobrostanu. Nowa obora ma wymiary 66 m na 38 m i wysokość 12,5 m, została przykryta podłogą szczelinową, z której odchody są regularnie zgarniane przez robota czyszczącego *Lely Discovery*. Robot do usuwania odchodów zwierzęcych (rys. 1) w oborze rusz-
towej to najbardziej elastyczne i kompleksowe rozwiązanie w zakresie higieny obory.



Rys. 1. Robot do usuwania odchodów

Źródło: Fot. G. Cieśliński.

Zapewnia on utrzymanie obory w czystości, przez całą dobę, wykonując pracę szczególnie nieprzyjemną dla człowieka. System ten jest inteligentny i przyjazny zwierzętom. Wszystkie miejsca w oborze, po których chodzą krowy, są dokładnie czyszczone. Robot unika wszelkich przeszkód, w tym nóg krów lub jałówek.

Łatwa jest instalacja i konserwacja systemu. Wystarczy za pomocą pilota urządzenia E-Link lub urządzenia mobilnego z bluetooth wprowadzić trasę, którą ma się poruszać robot w oborze. Jest to urządzenie, które zdecydowanie poprawia dobrostan i higienę zwierząt w oborze. Podobnie jak wszystkie produkty Lely, cechuje się też niskimi kosztami eksploatacji i serwisu. Dzięki małej i zgrabnej budowie robot łatwo porusza się nawet pod bramkami selekcyjnymi.

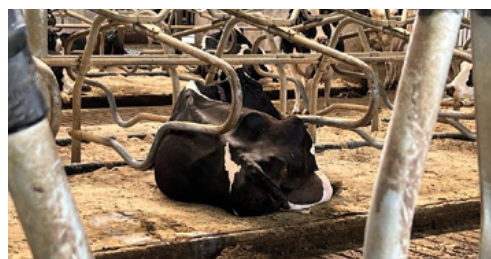
Pod oborą znajduje się hermetyczny zbiornik na gnojowicę, o pojemności 3,5 mln l i głębokości 2 m. W zbiorniku pracują dwa mieszadła elektryczne odpowiedzialne za homogenność gnojowicy. W utrzymaniu właściwej jej konsystencji oraz w ograniczeniu odoru pomagają stosowane co dwa tygodnie biopreparaty zawierające wyselekcjonowane szczepy mikrobiologiczne. Do obory przylega budynek o długości 13 m i szerokości 10 m. Znajduje się w nim zlewnia mleka i biuro, a na piętrze – pomieszczenie, z którego rozciąga się widok na całą oborę. Konstrukcję budynku stanowi drewno klejone połączone z elementami ze stali, której wykonawcą była firma Wolf System.

Dach budynku oraz ściana szczytowa zostały pokryte płytami warstwowymi. Z kolei w ścianach wzdłużnych obory znajduje się zabudowa żelbetowa o wysokości zaledwie 0,7 m, nad którą zamontowano trzywarstwowe kurtyny wentylacyjne sterowane stacją pogodową. System składa się z siatki przeciw ptactwu o dużych oczkach oraz dwóch kurtyn, za pomocą których można regulować przepływ powietrza. Jedna z nich jest półprzepuszczalna, a druga nie przepuszcza powietrza. Całość, w połączeniu z dużą kalenicą łukową oraz odpowiednim nachyleniem dachu, umożliwi dobrą wentylację oraz doświetlenie budynku. Dodatkowo zamontowano w nim automatycznie sterowane lampy LED, które zapewniają dostęp do światła przez 16 godzin dziennie, co pozytywnie wpływa na rozród i dobrostan zwierząt.

W budynku znajduje się strefa dla krów w laktacji, gdzie zamontowano 136 podwójnych legowisk w trzech rzędach. Hodowcy wyznaczyli również kojec dla krów zasuszonych, wyposażony

Gospodarstwo Rolne Iwony i Przemysława Kawulów...

w 24 legowiska, a także porodówkę i szpital, gdzie zwierzęta przebywają na głębokiej ściółce. W oborze znajduje się również strefa dla nowo urodzonych cieląt, a w niej osiem pojedynczych kojców. Na legowiskach dla krów zastosowano komfortowe materace wodne, a w każdym z nich mieści się 50 litrów wody (rys. 2). Są one regularnie ścielone cienką warstwą trocin. Trociny bardzo dobrze sprawdzają się na legowiska pod warunkiem, że są delikatne, miękkie i nie posiadają zanieczyszczeń. Tylne części legowisk są dwa razy dziennie czyszczone z pozostałości odchodów. Również regularnie przeprowadzana jest sucha dezynfekcja boksów.



Rys. 2. Materac wodny

Źródło: Fot. W. Szumański.

3. Automatyczny system doju

Obecnie w gospodarstwie znajdują się 243 sztuki bydła, w tym 119 krów dojnych. Od początku stawiano na wolny ruch zwierząt w oborze, który w opinii hodowców nie zaburza naturalnych zachowań bydła. Uwzględniono również wyłącznie roboty udojowe. Przy ich wyborze kierowano się m.in. odległością od najbliższego serwisu. Dlatego po wizytach w kilku gospodarstwach zdecydowano się na zakup dwóch robotów udojowych *Astronaut A5* firmy Lely (rys. 3).



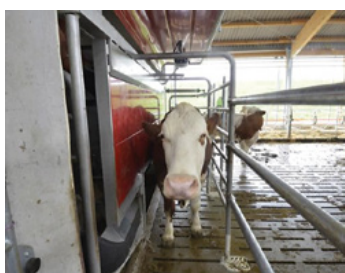
Rys. 3. Robot udojowy

Źródło: Fot. G. Cieśliński.

Robot udojowy *Lely Astronaut A5* to urządzenie przyjazne dla krów, pozwalające na indywidualne dopasowanie się do pojedynczych krów w procesie doju. Podczas każdego doju zbierane są dane o jakości mleka, zachowaniu się zwierząt oraz parametrach zdrowotności, a system

zarządzania *Lely Horizon* przetwarza je w czytelne dla hodowcy dane, potrzebne do lepszego i sprawniejszego zarządzania stadem.

Główną rewolucyjną cechą *Lely Astronaut A5* jest koncepcja o nazwie *I-flow*. Jest to bezprogowy boks udojowy, który umożliwia szybkie wejście krowy na wprost i szybkie wyjście z jednostki udojowej we własnym tempie zwierzęcia, eliminując u niego niepotrzebny stres. Dzięki takiemu rozwiązaniu można zyskać co najmniej pięć sekund na każdym doju – daje to około 15 minut dziennie, co oznacza jedną krowę dziennie więcej do wydojenia.



Rys. 5. Chowane koryto

Źródło: Fot. G. Cieśliński.

Najważniejszym elementem robota udojowego jest jego ramię, zapewniające bezproblemowy dój dla każdej krowy. Znajdują się w nim czujniki monitorujące jakość mleka oraz kondycję wymienia, gwarantujące natychmiastową analizę dojonego mleka z równoczesnym natychmiastowym dostępem do pozyskanych informacji (rys. 6).

Spokojny, ale szybki ruch ramienia we wszystkich kierunkach zapewnia te same procedury udojowe każdego dnia. Silne ramię zawsze pozostaje pod krową i gwarantuje kontrolę procesu doju oraz bardzo szybką reakcję w przypadku zrzucenia kubka udojowego przez krowę, uniemożliwiając jego ewentualny kontakt z podłożem. Umieszczona na krawędzi ramienia robota dysza spryskiwacza zapewnia optymalny *dipping* po skończonym doju.



Rys. 7. Laserowy system lokalizacji strzyków

Źródło: Fot. G. Cieśliński.



Rys. 4. Schemat koncepcji *I-flow*

Źródło: Oprac. własne.

W robocie udojowym można zainstalować do czterech rodzajów pasz treściwych oraz dozownik paszy płynnej, które będą precyzyjnie dozowane dla krów według ich dnia laktacji i dziennej produkcji mleka (producent standardowo oferuje jeden dozownik paszy treściwej plus dozownik paszy płynnej do robotów dla krów po wycieleniu). Chowane koryto (rys. 5) stymuluje krowę do opuszczenia robota udojowego, gdyż nie ma ona możliwości wylizywania resztek paszy i traci zainteresowanie. Skraca to czas, który krowa spędza w boksie, dzięki czemu nowa krowa może wejść do robota udojowego wcześniej.



Rys. 6. Ramię robota udojowego

Źródło: Fot. G. Cieśliński.

Laserowy system lokalizacji strzyków gwarantuje szybkie i dokładne zlokalizowanie położenia strzyków, co przekłada się na szybsze podłączenie kubków udojowych, a w rezultacie na wydajność robota udojowego (rys. 7). System lokalizacji strzyków (TDS) skanuje je za pomocą trójwiązkowego lasera, który precyzyjnie znajduje pojedyncze strzyki, dzięki czemu ramię szybko i dokładnie zakłada kubki udojowe.

Laser cały czas przystosowuje się do zmian w kształcie wymienia w ciągu całej fazy laktacji oraz przechowuje siedmiodniowy rejestr skanów wymienia, co zapewnia szybkie podłączenie.

Gospodarstwo Rolne Iwony i Przemysława Kawulów...

Podczas czyszczenia strzyków kubki udojowe mają zapewnioną najlepszą higienę, dzięki ustawieniu pochyłemu, co zapobiega przedostaniu się do nich nieczystości (rys. 8). Solidna budowa ramienia uniemożliwia upadek kubków na zanieczyszczoną odchodami podłogę boksu udojowego. Silikonowe gumy strzykowe, odporne na wysoką temperaturę i przywieranie tłuszczu, nie porowacieją, a ich wymianę zaleca się co 10 tys. dojów.

Robot wyposażony jest w szczotki czyszcząco-stymulujące. Razem z precyzyjnym ramieniem robota, szczotki gwarantują doskonale czyszczenie, suszenie i stymulację strzyków (rys. 9). Przygotowanie wymienia i strzyków za pomocą szczotek okazało się systemem, który daje najlepsze efekty, jeśli chodzi o przygotowanie zwierząt, higienę i pozyskanie najwyższej jakości surowca.



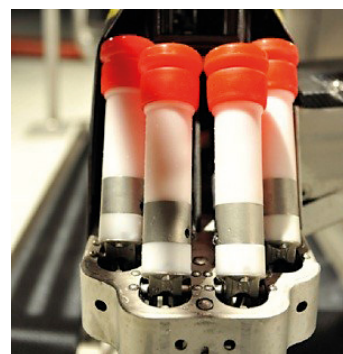
Rys. 9. Szczotki czyszcząco-stymulujące

Źródło: Fot. G. Cieśliński.

Czyste strzyki i wymię umożliwiają szybsze podłączenie kubków udojowych. Same szczotki zapewniają odpowiednią stymulację i wydzielanie oksytocyny, zwiększają przepływ mleka i w rezultacie wydajność robota. Zmniejszają także ryzyko zanieczyszczenia mleka i infekcji bakteryjnych. Szczotki są czyszczone po każdym doju środkiem *Astri LC* rozpuszczonym w wodzie, który zwalcza bakterie i zapobiega zakażeniu krzyżowemu.

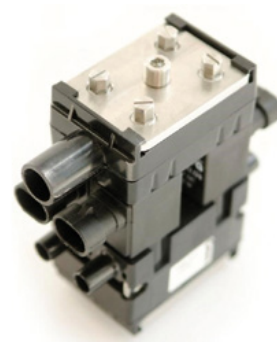
Badania potwierdzają, że unikatowe przeciwbieżne szczotki i precyzyjne ruchy ramienia zapewniają do 40% skuteczniejsze czyszczenie i stymulację w porównaniu z konwencjonalnymi rozwiązaniami.

W urządzeniu zainstalowany został *Lely 4Effect pulsator*. Jest to blok pulsatorów umożliwiających indywidualną regulację ustawień podciśnienia i pulsacji na poziomie każdej ćwiartki wymienia (rys. 10). Urządzenie to umieszczone jest w ramieniu (tylko 1 m od kubków udojowych), co gwarantuje idealną pulsację. Ustawienie minimalnego czasu doju dla poszczególnych ćwiartek wymienia poprawia jego ogólną zdrowotność. Dlatego też pulsacja i poziom podciśnienia są automatycznie dobierane w odniesieniu do przepływu mleka w danej ćwiartce. W ten sposób prędkość doju w ćwiartce jest zoptymalizowana, czego wynikiem jest krótszy dój i wzrost wydajności robota o 7%.



Rys. 8. Kubki udojowe

Źródło: Fot. G. Cieśliński.



Rys. 10. *Lely 4Effect* pulsator

Źródło: Fot. G. Cieśliński.

4. Kontrola jakości mleka (MQC)

Kontrola jakości mleka dokonuje się za pomocą systemu czujników (rys. 11) dostarczającego informacji na temat następujących wskaźników:

- przewodność,
- barwa mleka (tłuszcz, białko, laktoza, krew, siara, *mastitis*),

- przepływ mleka,
- czas doju,
- liczba dojów,
- czas ślepego doju,
- temperatura,
- ilość mleka (wydajność) oraz przepływ mleka z poszczególnej ćwiartki wymienia.

Dzięki codziennym danym dotyczącym laktozy, tłuszczu i białka w mleku można przewidzieć np. ketozę oraz kwasicę żwacza i im zapobiec, a także uzyskać:

- wyższej jakości surowiec,
- wyższą cenę za ten surowiec,
- lepszą kontrolę nad zdrowiem zwierząt w celu utrzymania ich wysokiej produkcji.

Przykładowo innowacyjny wskaźnik laktozy w mleku (której poziom powinien być stały i wynosić 4,8%) może sugerować złą zdrowotność wymion przy zbyt niskim (poniżej 4,5%) poziomie czy nawet ogólną infekcję ustroju przy zbyt wysokim poziomie (powyżej 5%).

Wykrycie wczesnych stanów zapalenia wymienia lub krwi w mleku pozwala na:

- ograniczenie strat mlecznych z powodu wycofania krwi,
- ograniczenie strat produkcyjnych w czasie laktacji,
- obniżenie kosztów skutecznego leczenia.



Rys. 12. Urządzenie kontrolne *E-Link*

Źródło: Fot. G. Cieśliński.

Elementem wyposażenia systemu jest *E-link*. Jest to urządzenie kontrolne robota udojowego z ekranem dotykowym, bardzo przydatne do szybkiego dostępu do danych, dzięki czemu można zminimalizować prawdopodobieństwo błędów lub pominieć. Ma ono ten sam interfejs użytkownika, co system zarządzania stadem *Lely Horizon* na komputerze PC (rys. 12).

Na wyposażeniu znajduje się również jednostka centralna (CU). Dostarcza ona do robota udojowego energię elektryczną, wodę, środki czyszczące, reguluje ciśnienie powietrza oraz poziom podciśnienia w procesie dojenia (rys. 13).

Jedna jednostka centralna może być użyta dla każdego dwóch robotów udojowych, co pozwala znacznie obniżyć koszty eksploatacji.

Zawiera ona instalację myjącą ciepłą wodą (izolowany boiler ze stali nierdzewnej z grzałką), który zużywa minimalną ilość energii do podgrzania wody, zapewniając optymalną higienę podczas procesu mycia. Tylko około 12–15 minut trwa mycie głównej instalacji mlecznej, co pozwala na jeszcze lepsze wykorzystanie maszyny w pracy. Bezolejowa pompa podciśnienia z falownikiem samoczynnie dostosowuje się do danego obciążenia.



Rys. 11. System czujników do kontroli jakości mleka

Źródło: Fot. G. Cieśliński.



Rys. 13. Jednostka centralna do robota udojowego

Źródło: Fot. G. Cieśliński.

Gospodarstwo Rolne Iwony i Przemysława Kawulów...

Automatyczny proces doju kontrolowany jest przez system CRS M3. Jest to system monitorujący pracę robota udojowego i schładzalnika mleka oraz zarządzający alarmami z tych urządzeń (rys. 14). Zapewnia on:

- całodobowe monitorowanie codziennych czynności,
- alarmowanie dostosowane do potrzeb odbiorcy,
- łatwą kontrolę nad procedurami czyszczenia,
- elastyczne rozwiązywanie w każdym obecnym i przyszłym układzie.



Rys. 14. System monitorujący pracę robota udojowego

Źródło: Fot. G. Cieśliński.

5. Identyfikacja i respondery

Producent urządzeń Lely w swojej ofercie posiada kilka rodzajów responderów różniących się wyglądem oraz funkcjonalnością, których specyfikację zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Specyfikacja responderów oferowanych przez Lely Center Sp. z o.o

	ISO-ID	ISO-LD	ISO-LD Smart	HR-LDn
Dane				
Inseminacja	✓	✓	✓	✓
Long distance		✓	✓	✓
Aktywność		✓	✓	✓
Czas pobierania paszy		✓	✓	
Przeżuwanie			✓	✓
Funkcjonalność				
Indywidualne informacje dla krowy	✓	✓	✓	✓
Reprodukcja		+	+	++
Informacje o rui		++	++	++
Lokalizacja krowy			✓	

Źródło: Lely Center Sp. z o.o.

Pozwalają one na:

- automatyczną rejestrację rui,
- wskazanie optymalnego momentu do inseminacji,
- pomiar przeżuwania minutowego,
- pomiar czasu spożywania paszy,
- możliwość lokalizacji krowy w oborze.

6. Korzyści z zastosowania automatycznego systemu doju

Do nowej obory w Gospodarstwie Rolnym Iwony i Przemysława Kawulów przeniesione zostało stado 60 krów w laktacji, a oborę przedzielono na pół, tak aby na jednego robota przypadało 30 krów. Przez pierwszych pięć dni każde zwierzę wpędzano do doju dwukrotnie. Po tym czasie przegroda została usunięta i okazało się, ku zaskoczeniu hodowców, że większość krów sama wchodziła do robota. Drugim zaskoczeniem było to, że spadek mleka odnotowany był tylko przez pierwsze dwa dni. Już w szóstym dniu wydajność wzrosła z 30 do 36 litrów mleka. Wbrew wielu opiniom nie było konieczności brakowania żadnej krowy ze względu na wymię czy nogi. Aby szybciej uzupełnić obsadę, po dwóch miesiącach dokupionych zostało 20 jałówek cielných pochodzących z czołowych krajowych hodowli.

Główną zachętą dla krów do częstego odwiedzania robotów jest wydawana podczas doju pasza treściwa. W gospodarstwie wykorzystywane są dwa rodzaje granulatu o zawartości 19% białka. Dodatkowo jeden z nich jest wzbogacony o tłuszcz chroniony. Pasza ta jest przeznaczona dla krów po wycieleniu i w szczyt laktacji, a dzięki wysokiej zawartości energii chroni je przed deficytem energii. Pierwiastki dostają dziennie do 5 kg granulatu, a krowy starsze – do 7 kg. Jednorazowo podczas doju robot może wydać do 3 kg paszy treściwej. Granulat jest przechowywany w silosach lejowych o pojemności 8 t i 12 t ustawionych na zewnątrz obory. Zbiorniki są uzupełniane średnio co trzy, cztery tygodnie.

Krowy po wycieleniu do 60 dnia laktacji można doić nawet sześć razy na dobę, pod warunkiem że od ostatniej wizyty upłyną przynajmniej cztery godziny. Drugim warunkiem jest przewidywana produkcja mleka na poziomie nie niższym niż osiem litrów na dój. Z kolei krowy przed zasuszeniem mogą wejść do robota po upływie 12 godzin od poprzedniego doju. Wyjątek stanowią zwierzęta, których wydajność jest wyższa od średniej stada. Krowy doją się średnio 3,2 razy na dobę. Spędzają one w robocie niecałe siedem minut i oddają w tym czasie niemal 40 kg mleka o zawartości 3,3% białka i 3,7% tłuszczu. Uzyskane mleko trafia systemem rur do chłodni, z której jest odbierane co drugi dzień przez OSM Sierpc.

Częsty dój nie tylko przełożył się na wzrost wydajności stada, która w tym roku przekroczyła 13 tys. litrów, ale wpłynął również na jakość mleka. Średnia liczba komórek somatycznych (LKS) utrzymuje się na poziomie 80–100 tys. w jednym mililitrze surowca. Robot na bieżąco kontroluje LKS, dzięki czemu wiadomo, że coś nietypowego dzieje się z daną krową, zanim jeszcze zachoruje. Pierwszą reakcją w takich przypadkach jest zastosowanie zewnętrznej maści do wymion, która w wielu przypadkach rozwiązuje problem.

W walce z komórkami somatycznymi od ponad sześciu lat stosowane są również autoszczepionki tworzone na podstawie laboratoryjnych badań mleka. Wcześniej stosowane były komercyjne produkty, ale ich efekty nie były zadowalające.

Mleko pobierane jest od krów z *mastitis*, następnie laboratorium określa rodzaj bakterii i dobiera odpowiednie przeciwciała. Problem w stadzie dotyczył głównie bakterii środowiskowych. Całe stado razem z jałówkami szczepione jest co osiem miesięcy, a koszt jednej takiej szczepionki wynosi 30 zł. Jest on niewspółmierny w stosunku do kosztów poniesionych w przypadku wykrycia infekcji w stadzie.

7. Nowoczesne technologie w żywieniu zwierząt

Krowy w laktacji są żywione dawką typu PMR, w skład której wchodzi kiszonka z kukurydzy, sianokiszonka, kiszonka z lucerny, CCM, wysłodki buraczane, młóto browarniane oraz dodatek paszy treściwej. Dawka jest przygotowywana raz dziennie około godziny 9.00, w ciągnionym wozie paszowym Sgariboldi o pojemności 17 m³ z jednym poziomym ślimakiem. Tak przygotowana pasza PMR pozwala krowom uzyskać wydajność na poziomie 30 litrów mleka dziennie. Jest ona regularnie podgarniana pod pyski zwierząt za pomocą robota do podgarniania paszy na stole paszowym *Lely Juno*.

Lely Juno – robot do podgarniania paszy na stole paszowym zapewnia stały dostęp do paszy przy małym nakładzie pracy. Działa całą dobę. Stały dostęp do paszy stymuluje większy ruch krów, większe spożycie i nawet o 15% mniej niedojadów. Dzięki regularnemu działaniu robota w stadzie panuje większy spokój, krowy o niższej hierarchii w stadzie mają stały dostęp do paszy, nawet gdy dominujące krowy zjedzą swoją paszę jako pierwsze.

Robot *Lely Juno* w połączeniu z *Lely Astronaut* działa jeszcze spójniej, krowy chętnie i systematycznie przychodzą do robota i stołu paszowego, zarówno w dzień, jak i w nocy (rys. 15–17). Obserwuje się mniej strat paszy.



Rys. 15, 16 i 17. Zastosowanie robota *Lely Juno* eliminuje pracochłonną czynność ludzką, zapewniając krowom stały dostęp do paszy

Źródło: Fot. G. Cieśliński.

System ten oszczędza pracę oraz ogranicza zużycie maszyn i paliwa. Nie ma potrzeby podgarniania paszy co najmniej trzy razy dziennie, w tym dodatkowo wieczorem. Zakładając, że zadawanie paszy trwa tylko 10 minut, *Lely Juno* pozwala zaoszczędzić co najmniej 183 godziny, czyli 22 dni robocze rocznie (w przypadku ośmiogodzinnego dnia pracy).

W opisywanej oborze zastosowane zostały ponadto dwa stoły paszowe umieszczone po obu stronach pomieszczenia. Wzdłuż ścian szczytowych przygotowane zostały dodatkowe korytarze, z których obecnie korzysta robot podgarniający paszę, a w przyszłości umożliwią one przejazd systemowi automatycznego żywienia bydła, którego zakup został zaplanowany.

Z dawki całkowicie wyeliminowano dodatek słomy, ze względu na to, że zastosowano zbiór kukurydzy w systemie zbliżonym do *shredlage* z wykorzystaniem wynajętej siewkarni firmy

Krone. Dzięki temu, że kukurydza jest cięta na elementy o długości 19–22 mm, uzyskuje się odpowiednią strukturę, która poprawia motorykę żwacza, przeżuwanie krów oraz ogranicza ryzyko zatykania się przewodu pokarmowego i powstawania kwasicy. Z kolei dzięki całkowitemu roztarciu ziaren kukurydzy znajdująca się w nich skrobia jest lepiej dostępna i nie dochodzi do jej strat.

Technologia ta wymaga jednak dopilnowania odpowiedniego terminu zbioru, tak aby sucha masa kukurydzy nie przekraczała 35%. W minionym sezonie korzystano z technologii monitorowania suchej masy kukurydzy oferowanej przez firmę KWS. Polega ona na kontroli dojrzałości roślin na podstawie zabarwienia liści ocenianego za pomocą zdjęć satelitarnych. Okazało się, że system NIR w sieczkarni potwierdził uzyskane wyniki. Koszono kukurydzę 12 września i mimo opinii sąsiadów o przedwczesnym pokosie, w rezultacie wyszła bardzo dobra kiszonka. Łącznie zebrano 36 ha kukurydzy, którą zakiszono w trzech pryzmach przy wsparciu zakiszacza biologicznego. Całość okryto cienką folią podkładową, grubą zewnętrzną i siarką ochronną oraz dociążono workami z piaskiem. W najbliższym sezonie zaplanowano zakup deszczowni, tak aby nawadniać około 10 ha użytków zielonych, z wykorzystaniem własnego ujęcia wody.

8. Wycielenia i odchów cieląt: inwestycja warta wysiłku

W gospodarstwie znajdują się łącznie trzy budynki produkcyjne. W najstarszej oborze, przerobionej z chlewni, jest utrzymywana młódzież do 12 miesiąca życia. Starsze zwierzęta trafiają do obory wybudowanej w 2003 r., gdzie po jednej stronie stołu paszowego przebywają jałówki przygotowywane do rozrodu, a naprzeciwko znajdują się sztuki cielne. Na trzy tygodnie przed planowanym terminem porodu są one przepędzane do nowej obory i trafiają do kojca krów zasuszonych. W skład ich dawki wchodzi te same komponenty, co dla krów w laktacji, m.in. z dodatkiem tłuszczów i aminokwasów chronionych, choliny oraz soli gorzkich.

Zwierzęta przed porodem znajdują się pod szczególną opieką, a skład dawki żywieniowej jest dopracowany z aptekarską dokładnością. Regularnie badane jest u nich pH moczu, tak aby utrzymać go na poziomie 6,5. Jeżeli wartość pH wzrasta, świadczy to o nadmiernym uwalnianiu wapnia z kości, czego efektem może być zaleganie poporodowe, z kolei zbyt niski poziom powoduje zasadowicę.

W okresie trzech tygodni przed wycieleniem i trzech tygodni po wycieleniu lekarz weterynarii pobiera również krew i wykonuje podstawową diagnostykę. Podobne procedury są przeprowadzane u krów w laktacji. Na podstawie uzyskanych wyników wprowadzana jest korekta żywienia.

Hodowca ukończył dodatkowo kurs inseminatora i osobiście zajmuje się rozrodem stada. W tym celu wykorzystuje nasienie buhajów selekcyonowanych w kierunku zdrowotności, wysokiej produkcji mleka, łatwych porodów oraz z przeznaczeniem do automatycznego doju. Aby poprawić jakość produkowanego surowca, przewiduje się selekcję krów w kierunku mleka zawierającego beta-kazeinę w wersji A2A2. Pierwszym etapem będzie jednak wykonanie badań genetycznych w stadzie, w celu ustalenia, ile krów jest nosicielami takiego wariantu genów.

Gospodarstwo Rolne Iwony i Przemysława Kawulów...

W kryciu jałowic i najlepszych krów stosowane jest wyłącznie nasienie seksowane. Wyjątek stanowią sztuki, które mają problem z zejściem w ciążę, wówczas do ich inseminacji wykorzystuje się nasienie konwencjonalne. W wykrywaniu rui pomaga system firmy Lely, który w sposób graficzny wyznacza najlepszy moment krycia.

Cielność zwierząt jest potwierdzana za pomocą aparatu USG już w 38 dniu po inseminacji. Czynność ta jest powtarzana u krów, które zostały wytypowane przez system jako podejrzone o poronienie. Zaszuszenie odbywa się na sześć, osiem tygodni przed porodem. Od dłuższego czasu ograniczane jest stosowanie antybiotyków w stadzie i dlatego krowy selekcionowane są według LKS oraz liczby przypadków zapaleń wymienia. Tylko u problemowych sztuk stosowane są leki *Dry Cow* (DC), natomiast u pozostałych – sztuczne czopy keratynowe.

Wycielenia krów odbywają się w kojcu na głębokiej ściółce. Samice bezpośrednio po porodzie dostają pójło, którego celem jest wypełnienie żywca i uzupełnienie energii oraz witamin. Pozostają one w jednym kojcu wraz z potomstwem przez kilka godzin. W tym czasie są one przepędzane do robota w celu pozyskania siary.

Cielęta podczas pierwszego karmienia dostają do czterech litrów siary, a następnie są przenoszone do kojców indywidualnych. Do trzeciego dnia życia otrzymują mleko matki, a później preparat mlekozastępczy. W tym czasie gospodarz wprowadza im paszę treściwą w postaci musli oraz wodę. Wszystkie buhajki są sprzedawane w wieku około 14 dni, a jałówki pozostają do dalszej hodowli. Są one utrzymywane w indywidualnych kojcach do trzech, czterech tygodni, a następnie trafiają do starej obory. Do wieku ośmiu, dziewięciu tygodni dostają preparat mlekozastępczy. Kolejną ich paszą jest mieszanka suchego ziarna kukurydzy i owsa, które są podawane w całości, oraz dodatek sypkiej paszy treściwej typu CJ. Dawka ta jest stosowana do 15. tygodnia życia. Później wprowadzany jest TMR od krów w laktacji, a od czwartego miesiąca życia – TMR o większej zawartości białka. Jałówki są inseminowane od 14. miesiąca życia pod warunkiem, że są dobrze wyrosnięte. Obecnie cała młodość pozostawiana jest na remont stada, ale po uzyskaniu pełnej obsady nie wyklucza się sprzedaży jałówek cielnych.

W roku 2023 planowana jest budowa dwukomorowego, betonowego silosu na kiszonkę, o wymiarach dwa razy 10 x 40. W najbliższych planach, oprócz montażu systemu automatycznego żywienia krów oraz mieszaczy powietrza, jest również budowa mikrobiogazowni rolniczej.

We wrześniu 2022 r. gospodarstwo otrzymało tytuł Mistrza Agroligii 2022 w województwie kujawsko-pomorskim. W lutym 2023 r. zostało natomiast laureatem XXIX edycji Ogólnopolskiego Konkursu Rolnik – Farmer Roku w kategorii produkcja zwierzęca – bydło mleczne.



Rolnictwo precyzyjne – rozwiązania służące osiągnięciu założeń Europejskiego Zielonego Ładu w opinii praktyków

1. Wstęp

Europejski Zielony Ład (EZŁ) jest planem przebudowy gospodarki Unii Europejskiej mającym na celu zminimalizowanie skali zużycia zasobów naturalnych przy jednoczesnym zachowaniu konkurencyjności międzynarodowej. Zawiera więc również propozycje działań, które istotnie wpłyną na sektor rolny w UE, w tym w Polsce. W wielu tekstach szczegółowo opisano cele wyznaczone dla rolników w Polsce. W tym opracowaniu chcemy wskazać technologie precyzyjnego rolnictwa, które pomogą te cele osiągnąć.

Rolnictwo precyzyjne opiera się na pozycjonowaniu satelitarnym GNSS, czyli *Global Navigation Satellite System*. Początkowo system pozycjonowania satelitarnego nazywany był potocznie GPS, gdyż *Global Positioning System*, należący do amerykańskiego Departamentu Obrony, był jedynym takim globalnym, powszechnie znanym systemem. GPS wykorzystywano pierwotnie jedynie do zastosowań militarnych, ale na początku XXI w. został udostępniony cywilom. Skorzystało z tego również rolnictwo i rozpoczął się rozwój rolnictwa precyzyjnego.

Współczesne nawigacyjne urządzenia rolnicze mają bardzo szeroką paletę zastosowań. W poniższym materiale omówiono kilka wybranych funkcji, kluczowych dla realizacji założeń EZŁ.

2. Pozyskanie warstw informacyjnych o zasobności i zmienności gleby oraz uprawy

140

Podstawą wydajnego zarządzania produkcją roślinną jest wiedza o stanie gleby jako głównego nośnika produkcji. Do niedawna badania zasobności gleb były marginalizowane i sprowadzały



się jedynie do obowiązkowych badań, niekiedy potrzebnych w przypadku kontroli. Ich aspekt ekonomiczny lub przyrodniczy był zazwyczaj pomijany. Ręczne pobieranie próbek gleby na większych polach obarczone jest dużym błędem. Trudno bowiem wyznaczyć kwatery, z których pobierze się reprezentatywne próbki, na kilkunasto- lub kilkudziesięciohektarowym polu, nie wspominając o większych areałach. Takie rozwiązanie pozwala jedynie na przybliżone określenie zasobności gleb.

Dużym udogodnieniem stał się rejestrator kartograficzny GPS, w którym zapisuje się granice badanego pola oraz wyznacza kwatery poboru prób glebowych. Dzięki poruszaniu się wewnątrz tych wyznaczonych obszarów pobranie każdej próbki zostaje zarejestrowane, co bardzo dokładnie odzwierciedla miejsca pobranych próbek oraz ich schemat. Należy jednak pamiętać, że schemat (kwatery) nie uwzględnia mozaiki gleby i ocena zasobności poszczególnych makroskładników jest mocno uśredniona. Dlatego w ostatniej dekadzie technologia poboru próbek gleby ulepszona została o wyznaczanie mozaiki gleby. Zmienność fizyczna powinna zostać określona już na samym początku wdrażania technologii rolnictwa precyzyjnego, gdyż na jej podstawie wyznaczyć należy tzw. strefy zarządzania. Spójne pod względem fizycznym wyznaczone obszary pola stanowią jednorodne obszary, z których należy pobierać próby zbiorcze z lokalizacją satelitarną i przebadać je pod kątem zasobności makroelementów i pH. Przydzielane dawki nawozów na podstawie analizy chemicznej gleby wykonanej w akredytowanym laboratorium są dzięki temu najbardziej dopasowane. Szczególnie jest to istotne w wypadku gleb o mozaikowej strukturze.

Dostępne są dwie metody wyznaczania stref produkcyjnych. Pierwsza to skanowanie gleby konduktometrem elektromagnetycznym, takim jak *Veris* lub EM-38. Poprzez interpolację zarejestrowanych punktów pomiarowych otrzymuje się obszary o zbliżonych do siebie parametrach i na tej podstawie wyznacza się strefy produkcyjne.

Druga metoda jest szybsza, nie wymaga obecności na polu. Polega na wykorzystaniu zdjęć satelitarnych kondycji uprawy indeksu NDVI/DVI. Analizując obszary na polu podczas wegetacji, dostrzegamy zróżnicowanie uprawy pod względem jej parametrów wegetacyjnych. Szczególnie widać to w okresach niedostatków wody – ziemia lżejsza daje większe niedobory, a na obszarach o lepszej zwartości, dzięki lepszemu dostępowi do wody, obserwuje się lepszą kondycję uprawy. Na tej podstawie wyznacza się strefy produkcyjne. Obie metody są porównywalne w ponad 95%.

Zdjęcia satelitarne kondycji roślin wykonywane są codziennie. W zależności od zachmurzenia można mieć stały dostęp do bieżących, odpowiednio skalibrowanych zdjęć (rys. 1). Korzystając z tych informacji, możemy również przydzielić zróżnicowane dawki azotu, a także zaprogramować zmienną obsadę nasion. Na słabszych obszarach, z mniejszymi możliwościami sorpcyjnymi, powinno się zastosować rzadszą obsadę nasion, natomiast na glebie lepiej zasilanej w wodę – obsada powinna być większa. Efektem może być wyrównany plon.

Optymalizacja nawożenia fosforu, potasu i magnezu i tworzenie map aplikacyjnych z przydzielonymi dawkami jest przewidywalnym rozwiązaniem. Dzięki informacji o zmiennym odczynie gleby (pH) zastosować można droższe i bardziej skuteczne (przewidywalne w działaniu) nawozy wapniowe. Na podstawie map zakwaszenia z dokładnymi danymi o pH gleby na polu, precyzyjnie możemy przydzielić i zaaplikować wysokoreaktywne kredy lub wodorotlenki wapnia i skutecznie zaplanować wyrównany program odkwaszania (wyrównywania pH). Wspomnieć należy, że potrzeby wapnowania w Polsce sięgają blisko 70% gruntów rolnych. Szybka poprawa,

obniżenie zakwaszenia, przyczynić się może do zwiększenia zawartości próchnicy w glebie, która jest nośnikiem makro- i mikroelementów oraz zasobnikiem wody.



Rys. 1. Skan gleby konduktometrem elektromagnetycznym Veris 200XA (po lewej) i zdjęcie satelitarne Planet DVI pokazujące dokładnie te same strefy potencjału produkcyjnego (po prawej)

Źródło: Oprac. P. Pawłowski (Vantage Polska).

3. Zmienne dawkowanie nawożenia

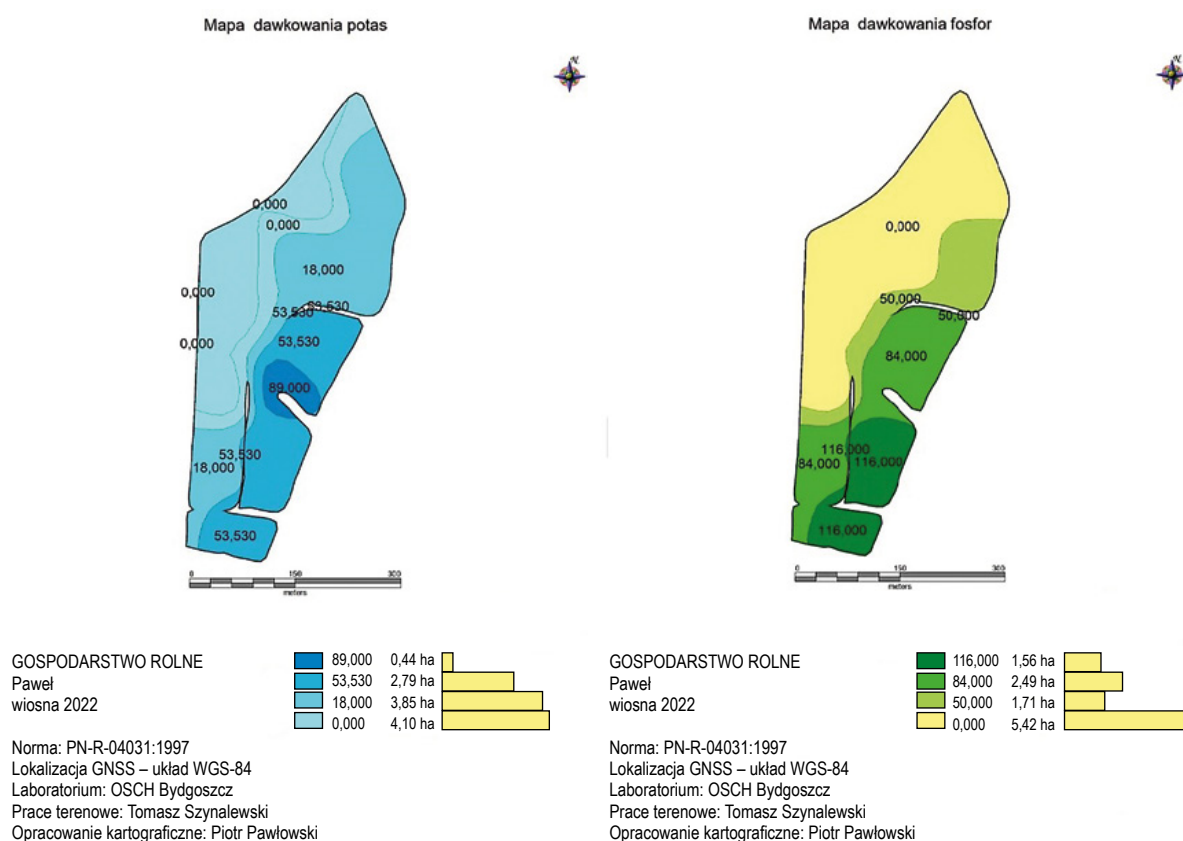
Europejski Zielony Ład zakłada znaczne ograniczenie stosowania środków chemicznych. Maszyna rolnicza w powiązaniu z urządzeniem nawigacyjnym musi zatem kontrolować dawkę, jaka ma być zastosowana na danym polu. Już od dawna istnieją mechaniczne oraz elektrotechniczne metody utrzymania stałej dawki na hektar, niezależnie od prędkości jazdy. Są one jednak niewystarczające. Aby ograniczyć ilość nawożenia oraz zużycie innych środków chemicznych, należy stosować zmienne dawkowanie. Na podstawie map zmienności gleby lub łanu należy dobrać dawki tak, aby odpowiadały potrzebom, i w ten sposób zaaplikować nawozy (rys. 2). Jedynym sposobem jest połączenie nowoczesnej maszyny rolniczej z urządzeniem nawigacyjnym i wykonanie wcześniej dobrze zaplanowanego zabiegu.

Dobrze zaplanowany zabieg jest to proces wymagający danych, na podstawie których zaplanujemy dawkę, tj.: map zmienności gleby – aby wiedzieć, jakimi zasobnościami obecnie dysponujemy, wykonanych przez profesjonalną firmę, oraz map satelitarnych tego, jak do tej pory kształtowała się kondycja roślin na polu, a także informacji o zapotrzebowaniu na składniki pokarmowe uprawianej rośliny przy planowanym (ale realnym) plonie.

Po ustaleniu dawek informację tę wykorzystuje się do sporządzenia tzw. mapy aplikacyjnej, zrozumiałej dla urządzenia nawigacyjnego w ciągniku. Urządzenie to, znając swoją pozycję na polu, przesyła do maszyny informację o dawce, jaką należy zastosować w danym miejscu.

W trakcie trwania prac panel nawigacyjny otrzymuje informację o wykonanej dawce, czyli w czasie rzeczywistym powstaje raport z wykonanego zabiegu zawierający rzeczywiście zastosowane dawki.

Rolnictwo precyzyjne – rozwiązania służące osiągnięciu założeń Europejskiego...



Rys. 2. Mapy z przypisanymi dawkami fosforu i potasu. Pierwotnie na całym polu miała być zastosowana jedna dawka, bez uwzględnienia zmienności występowania fosforu i potasu

Źródło: Oprac. P. Pawłowski – Vantage Polska.

Opisany proces stwarza pewne problemy. Rolnik prowadzący indywidualne gospodarstwo musi bowiem być jednocześnie operatorem maszyn, mechanikiem, zootechnikiem, a także przedsiębiorcą. Obecnie brak szerszej edukacji w tym zakresie, a dostęp do szkoleń jest bardzo ograniczony. Technologie te rozwijają się bardzo dynamicznie, stąd pomoc firm usługowych w zakresie precyzyjnego rolnictwa jest tu kluczowa. Nawet najbardziej funkcjonalny sprzęt nie gwarantuje oszczędności dotyczącej nawożenia bez wsparcia specjalisty zewnętrznego.

Zauważamy, że duże gospodarstwa coraz częściej zatrudniają własnych agronomów i specjalistów, ale oni także wymagają edukacji oraz wsparcia. W zależności od zasobności i zmienności gleb oraz wcześniej stosowanej strategii nawożenia, oszczędności mogą sięgać nawet 30%.

Ciekawą rzeczą jest to, że w ekstremalnej sytuacji można założyć, iż chcemy bezwzględnie osiągnąć ustalony poziom redukcji nawożenia, i zgodnie z tym racjonalnie rozłożyć dostępną ilość materiału na powierzchnię pól. Może mieć to ogromne znaczenie nie tylko dla założeń Europejskiego Zielonego Ładu, ale także w sytuacji wykorzystania np. bardzo drogich nawozów, gdy stosujemy ich tylko tyle, żeby nie obciążyć nadmiernie budżetu gospodarstwa.

Technicznie, nowe zaawansowane maszyny, szczególnie wyprodukowane w technologii ISOBUS, w większości spełniają warunki do zmiennego dawkowania nawożenia. Co ciekawe, bardzo duża liczba maszyn w gospodarstwach, które takiej opcji nie ma, ale da się je w tym

kierunku doposażyć. Przykładem mogą być rozsiewacze taśmowe do nawozów, które przy odpowiednim doposażeniu mogą wykonywać zmienne dawki (rys. 3).



Rys. 3. Zmienne dawki dwóch składników jednocześnie – fosforu i potasu. Ekran *Trimble GFX-1260* wyświetla pokrycie makroelementami. Ekran został skonfigurowany poprzez ISOBUS z głęboszem z podsiewaczem nawozów firmy UNIA

Źródło: Fot. P. Pawłowski.

4. Automatyka sekcji maszyn rolniczych

4.1. Uwagi ogólne

Maszyna, za pomocą której można wykonywać prace spełniające założenia Europejskiego Zielonego Ładu, musi być wyposażona w zdobycze techniki umożliwiające automatykę sekcji aplikujących nasiona i inne środki produkcji, a także dawać możliwość kontroli dawki tychże materiałów.

Automatyka sekcji polega na tym, że maszyna kontrolowana jest przez urządzenie nawigacyjne (najczęściej to samo, które odpowiada za jazdę automatyczną) i znając swoje położenie oraz posiadając informacje o tym, gdzie praca została już wykonana, wyłącza lub włącza sekcje, automatycznie zapobiegając zarówno nakładaniu, jak i omijakom podczas wykonywania siewu, oprysków i nawożenia. Oszczędności, w zależności od kształtu pola oraz wcześniejszego zaawansowania operatora, wynoszą od 5% do 15%. Jeżeli chodzi o zaawansowanie operatora, współczesne rolnictwo boryka się również z problemami kadrowymi. Automatyka sekcji – dobrze serwisowana i skonfigurowana – pozwala na idealne wykonanie prac przez mniej doświadczoną kadrę, a także ułatwia pracę w trudnych warunkach widoczności. Część zabiegów należy wykonywać nocą, np. by chronić pszczoły przed zatruciem. Systemy rozłączające sekcje dostępne są w opryskiwaczach, siewnikach punktowych czy pielnikach sterowanych przez optykę.

4.2. Automatyczne prowadzenie

Automatyczne prowadzenie równoległe pozwala wyeliminować zakładki podczas wszystkich zabiegów. Szczególnie istotny jest siew, gdyż w trakcie prac zakładamy tzw. ścieżki technologiczne, które później stanowią widoczne optycznie drogi do wykonywania kolejnych zabiegów pielęgnacyjnych. W zależności od uprawy ścieżki te wykorzystywane są od kilku do kilkunastu razy w sezonie. Jeśli nie będą założone z odpowiednią precyzją, tzn. nie będzie między nimi stałych, ustalonych wcześniej odległości, to każdy zabieg pielęgnacyjny będzie wykonywany z zakładkami. Tak więc nieprecyzyjnie wykonany siew wpłynie na wiele kosztownych strat, nawarstwiających się aż do żniw.

Nasze pomiary przed zastosowaniem urządzeń nawigacyjnych i po ich wykorzystaniu wskazują na wynoszące od 3% do 7% oszczędności na paliwie oraz środkach chemicznych, a także na znaczny wzrost wydajności.

Wielu producentów ciągników oferuje tzw. automatykę jazdy z GPS jako wyposażenie fabryczne. Zazwyczaj opcja ta jest dostępna za dopłatą, ale też nie we wszystkich modelach. Niestety zdarzają się przypadki niewystarczającej wiedzy co do zastosowań zaawansowanych urządzeń, gdyż dilerzy maszyn skupieni są tylko na nich i niewielu z nich współpracuje ze specjalistami od rolnictwa precyzyjnego w pełnym zakresie. Tymczasem jedynie wszechstronne wykorzystanie zalet urządzeń rolnictwa precyzyjnego może dać większe oszczędności.

W przypadku ciągników niewyposażonych w tzw. nawigację lub tylko do niej przystosowanych istnieje kilka sposobów doposażenia. Najprostszym jest zainstalowanie silnika elektrycznego na kolumnie kierowniczej. Upraszczając, system za jego pomocą kieruje pojazdem zamiast operatora, wykonując najbardziej stresujące i wymagające zadanie – precyzyjne prowadzenie.



Rys. 4. Przykładowy mobilny zestaw prowadzenia automatycznego Trimble Ez-Pilot Pro + Ekran GFX-1060 + odbiornik GNSS NAV-900 z dokładnością 2,5 cm oraz obsługą ISOBUS

Źródło: Materiały informacyjne Vantage Polska.

W tym miejscu warto wspomnieć o autonomicznym prowadzeniu pojazdów (rys. 4). Obecna technologia pozwala na jazdę autonomiczną, ale przepisy i realia wymagają obecności operatora w kabinie ciągnika. Najczęściej prowadzenie automatyczne odbywa się w wypadku jazdy pasami równoległymi. Wybrane systemy oferują automatyczne zawracanie, natomiast funkcje te obsługiwane są na bieżąco przez kierowcę.

Autonomiczne maszyny są już dziś dostępne w postaci robotów zastępujących klasyczny układ ciągnik + operator.

4.3. Autonomia – jeszcze wydajniejsza technologia

W pierwszej połowie XX w. futuryści i wizjonerzy przewidywali, że wiele zajęć ludzkich wykonywać będzie za człowieka robot. W rolnictwie ta swoista rewolucja już się zaczęła. Samojezdne roboty, wielofunkcyjne autonomiczne nośniki narzędzi potrafią już z największą precyzją wykonać zabieg siewu, pielenia lub selektywnego oprysku (rys. 5).

Roboty autonomiczne mogą pracować w trybie ciągłym. Eliminacja czynnika ludzkiego powoduje, że zabiegi są wykonywane z większą precyzją i niekiedy z większą wydajnością, jednocześnie przesuwając pracę operatora na inne obszary zajęć w gospodarstwie. Ponadto koszty paliw lub energii elektrycznej są nieporównywalnie mniejsze w stosunku do zużycia przez standardowe ciągniki. Zabieg pielenia może być wykonywany niemal przez cały czas, w zależności od potrzeb, z dokładnością kilkumilimetrową, czego nie jest w stanie wykonać człowiek. Szczególnie przydatne są takie rozwiązania w gospodarstwach ekologicznych. Stale kurczący się rynek pracowników w sektorze rolnym coraz częściej zwraca uwagę właścicieli gospodarstw na rozwiązania autonomiczne. Podczas pracy na polu pojazd autonomiczny dodatkowo może zbierać dane związane ze stanem uprawy, dotyczące chorób, populacji chwastów, kondycji uprawy.



Rys. 5. Autonomiczny, wielozadaniowy robot polowy *Robotti* podczas siewu buraków w gospodarstwie Kępa IUNG Puławy w maju 2023 r.

Źródło: Fot. P. Pawłowski.

5. Rolnictwo precyzyjne w hodowli zwierząt

Ten dział rolnictwa precyzyjnego jest obecnie oddzielony od aplikacji polowych i zajmują się nim zupełnie inne firmy. Technologie wykorzystywane w obu typach działalności rolniczej zaczynają się natomiast przenikać. Urządzenia automatycznego prowadzenia z powodzeniem stosowane są podczas przygotowania pasz dla zwierząt. Koszenie, zgrabianie i zbiór z użyciem precyzyjnego rolnictwa zwiększa wydajność, ogranicza zagniatanie skoszonych zielonek, co istotnie przekłada się na jakość i wartość przygotowywanych pasz. Urządzenia typu sieczkarnie coraz częściej mają możliwość monitorowania i rejestrowania jakości zbieranej paszy. Zautomatyzowane systemy monitoringu stanu zdrowia zwierząt pomagają szybciej zdiagnozować choroby lub niedyspozycje zwierząt hodowlanych.

6. Rolnictwo 4.0 – cyfryzacja rolnictwa

Cyfryzacja rolnictwa w pełni wpisuje się w ideę Europejskiego Zielonego Ładu (rys. 6). Dane potrzebne do podejmowania decyzji (dotyczące zasobności gleb, mapy satelitarne, dane z czujników plonu i inne) jedynie w formie cyfrowej są możliwe do pełnego wykorzystania w precyzyjnym rolnictwie. Coraz dokładniejsze zdjęcia satelitarne dają coraz większe możliwości zastosowania. Dostęp do nich jest bardzo łatwy (przez internet) i relatywnie niedrogi w stosunku do korzyści. Obecnie najpopularniejszym rozwiązaniem jest obróbka danych w chmurze.



Rys. 6. Przykład serwisu SatAgro, w którym na bieżąco gromadzi się oraz pozyskuje dane o uprawach oraz sporządza się bilans nawozowy

Źródło: satagro.pl (dostęp: 22.05.2023).

Urządzenia nawigacyjne podłączone do internetu mogą odbierać zadania do wykonania bezpośrednio z sieci. Nie ma konieczności przenoszenia danych za pomocą pamięci przenośnej. Co ważniejsze, podczas wykonywanego zabiegu urządzenia nawigacyjne tworzą mapę rejestrującą rzeczywiste parametry wykonania zabiegu, która jest odsyłana z powrotem do bazy danych i dalej użyta jako zapis w dzienniku pól. Raport taki zawiera informację o ilości substancji zastosowanej na danej powierzchni, a także inne parametry, takie jak prędkość jazdy oraz – jeśli

Precyzyjne i inteligentne rolnictwo – stan i perspektywy wdrażania

możliwe – parametry techniczne pojazdu, np. zużycie paliwa lub warunki pogodowe ze stacji meteo zainstalowanej na ciągniku. Pozwala to na weryfikację, czy zabieg został wykonany prawidłowo. Drugim zastosowaniem cyfryzacji w rolnictwie jest rozliczenie kosztów takiego zabiegu, a suma kosztów zabiegów przypisanych do danego pola pozwala na oszacowanie rentowności uprawy.

7. Profesjonalne wsparcie precyzyjnego rolnictwa

Jak wcześniej wspominaliśmy, aby osiągać pełnię korzyści z upraw rolniczych z zastosowaniem najnowszych rozwiązań technologicznych, w postaci redukcji chemizacji i poprawy ekonomiki, wykorzystaniu zaawansowanego sprzętu musi towarzyszyć kompetentne wsparcie. Z jednej strony chodzi tu o sprawny i doświadczony serwis techniczny, który zainstaluje urządzenia, a także zadba o ciągłość działania w przypadku usterek, a z drugiej strony – o równoległe wsparcie w postaci usług badania gleb, obróbki danych i przetwarzania ich w mapy aplikacyjne, a wkrótce – wdrażania rozwiązań robotycznych oraz autonomicznych.

Wprowadzenie systemu rolnictwa precyzyjnego to proces, w którym należy poznać specyfikę gospodarstwa i zaplanować wdrożenie. Obawy z tym związane są uzasadnione, gdyż dział precyzyjnego rolnictwa w produkcji rolnej w szybkim czasie stał się bardzo obszerny i wymaga posiadania przez rolników umiejętności obsługi wielu programów komputerowych, znajomości komputerów obsługujących maszyny oraz umiejętności gromadzenia i analizy danych. Wielu rolników nie jest w stanie sprostać tym nowym wyzwaniom.

Aby opisane powyżej technologie mogły być powszechnie wdrażane, co – jak wiadomo – jest konieczne, potrzebne jest ogromne wsparcie lub outsourcing. Tak jak jest obecnie w przypadku dopłat do zakupu sprzętu przez rolników, powinny zostać wprowadzone systemowe rozwiązania, polegające na dopłatach przyznawanych rolnikom na wsparcie we wdrażaniu technologii precyzyjnego rolnictwa, co w szybkim czasie zachęciłoby ich do takich wdrożeń

**Precyzyjne
Rolnictwo**



Rys. 7. Precyzyjne Rolnictwo – banner

Źródło: Materiały promocyjne.

Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa (FDPA) jest organizacją pozarządową z trzydziestopięcioletnią tradycją. Naszą misją jest wspieranie zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich, a w szczególności przedsiębiorczości, tworzenia pozarolniczych miejsc pracy oraz zapewnienie równych szans kobietom, osobom bezrobotnym i młodzieży. Realizujemy ją poprzez działalność pożyczkową oraz usługi wspomagające tworzenie i rozwój małych przedsiębiorstw na terenach wiejskich. Jesteśmy jednym z największych i najbardziej aktywnych funduszy pożyczkowych w Polsce. Angażujemy się w programy rozwoju lokalnego, inicjatywy środowiskowe oraz działania informacyjne i edukacyjne. Jesteśmy wydawcą uznanych opracowań i specjalistycznych raportów. Publikujemy co dwa lata renomowany raport o stanie wsi (ostatnia edycja: „Polska wieś 2022. Raport o stanie wsi”). Wydajemy liczne publikacje promujące zrównoważony rozwój obszarów wiejskich, w tym poruszające kwestie adaptacji do zmian klimatu i efektywnej gospodarki zasobami. Od 2009 roku organizujemy konkurs „Polska wieś – dziedzictwo i przyszłość”, w którym nagradzamy prace naukowe i popularnonaukowe o tematyce związanej z wsią i rolnictwem oraz promujące historię i dziedzictwo kulturowe wsi. Z naszej inicjatywy odbywają się debaty w ramach cyklicznego konwersatorium „Polska wieś w XXI wieku”. Ponadto zrealizowaliśmy kilkadziesiąt projektów międzynarodowych, krajowych i lokalnych. Ich odbiorcami są mieszkańcy wsi i rolnicy, samorządy lokalne, sektor doradztwa rolniczego, instytucje publiczne oraz sektor małych i średnich przedsiębiorstw.



*Fundacja na rzecz Rozwoju
Polskiego Rolnictwa*

Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa

www.fdpa.org.pl

www.facebook.com/Fundacja.FDPA

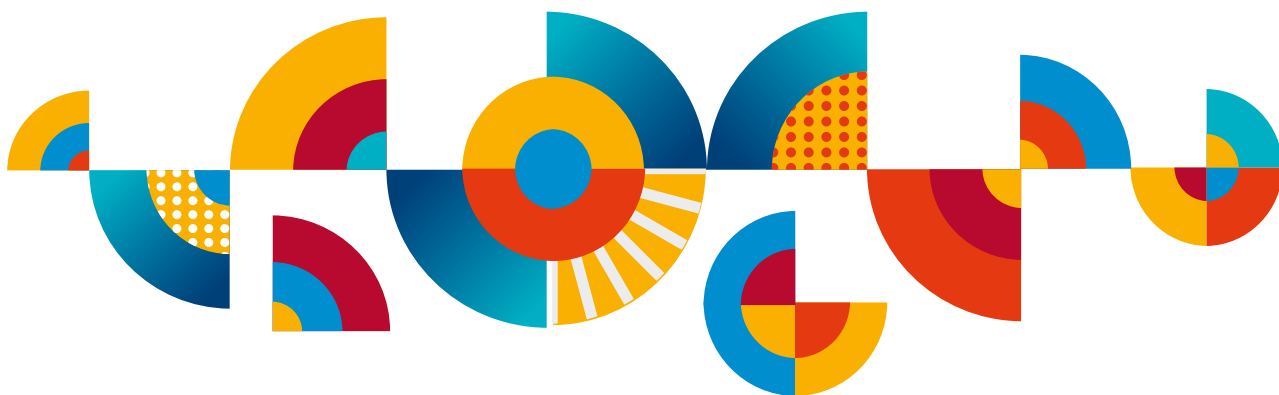
Monografia dotyczy różnych aspektów precyzyjnego rolnictwa: produkcji zwierzęcej, nawożenia, uprawy roli, inżynierii genetycznej w hodowli roślin i zwierząt, sztucznej inteligencji dla rolnictwa, a także finansowania rozwiązań z tego obszaru. [...] Jest to publikacja pożyteczna dla praktyków zajmujących się zarówno produkcją zwierzęcą, jak i roślinną.

prof. dr hab. Roman Niżnikowski

Precyzyjne i inteligentne rolnictwo jest bez wątpienia jedyną drogą zaspokojenia potrzeb żywieniowych rosnącej populacji ludzkości. [...] Już teraz można kupić paszę dla zwierząt z uprawy wertykalnej, nie wspominając o warzywach doświetlanych jedynie światłem LED. Szybko powiększa się grupa krajowych gospodarstw korzystających z mapowania satelitarne, pozycjonowania urządzeń za pomocą systemów GNSS, chipowania zwierząt i tagowania produktów, autonomicznych pielników czy robotów udojowych. Rewolucja 4.0 dzieje się na naszych oczach.

dr hab. Jacek Walczak

Monografia jest piątym i ostatnim tomem z serii publikacji przygotowanych w ramach projektu „Europejski Zielony Ład – wyzwania i szanse dla polskiego rolnictwa” realizowanego przez Fundację na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa. Opracowania służą nie tylko upowszechnieniu założeń nowego konceptu UE, ale również wypracowaniu wspólnych wytycznych umożliwiających przełożenie zapisów EZŁ na praktykę rolniczą i wykorzystanie jego elementów jako szansy rozwoju polskiego rolnictwa.



ISBN 978-83-67450-62-1



9 788367 450621