

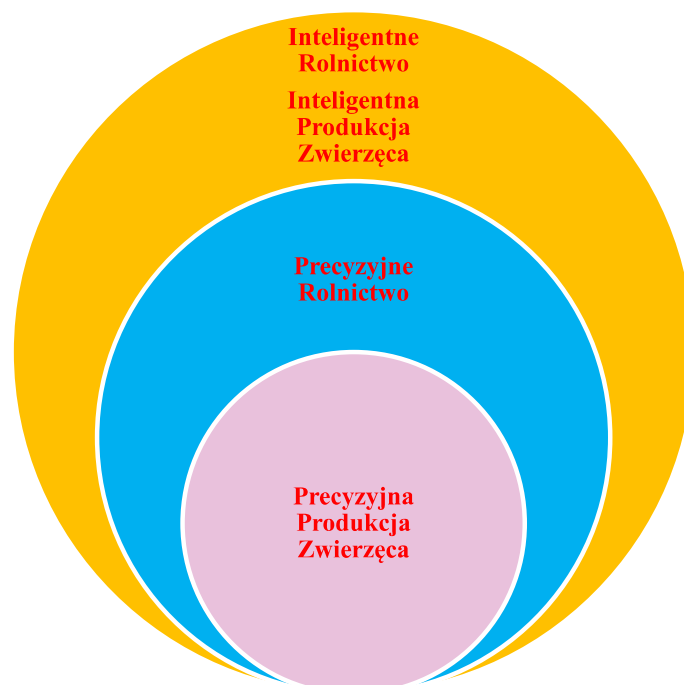
## Precyzyjny chów bydła mlecznego

Jacek Walczak

*Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Systemów i Środowiska Produkcji,  
32-083 Balice k. Krakowa*

**I**nteligentne rolnictwo – Smart Agriculture  
Wzrost skali i koncentracji produkcji jest od dziesięcioleci doskonale widoczny w każdym kierunku produkcji zwierzęcej, tak w Unii Europejskiej, jak i w Polsce. Na przestrzeni blisko trzech ostatnich dekad krajowe pogłowie krów spadło o 50%, przy niewielkim wzroście krajowej produkcji mleka na poziomie 12,8 mln l (GUS, 2017). Drastycznie została przy tym zredukowana liczba gospodarstw utrzymujących bydło mleczne – do poziomu 270,8 tys. Tylko w latach 2013–2016 spadek ten wyniósł 25%. Jeszcze na początku tego wieku 63,6% pogłowia krów było utrzymywanych w stadach liczących do 10 sztuk, a obecnie aż 73% pogłowia jest zlokalizowane

w gospodarstwach powyżej tego przedziału. Zrozumiałe jest, że taki wzrost koncentracji powoduje konieczność zastosowania znacznego uzbrojenia technicznego, w tym nie tylko mechanizacji czy automatyzacji, ale wręcz robotyzacji produkcji. W tym kierunku zmierzają od przeszło dwudziestu lat wszystkie wysiłki zarówno ośrodków naukowych, jak i firm oferujących wyposażenie obór, a objętych wspólnym terminem precyzyjnej produkcji zwierzęcej. Wydaje się przy tym, że od takich rozwiązań nie ma odwrotu. Wiele europejskich opracowań wskazuje na konieczność wdrożenia robotyzacji w małych rodzinnych gospodarstwach dla ochrony ich egzystencji wobec kurczących się zasobów pracy fizycznej.



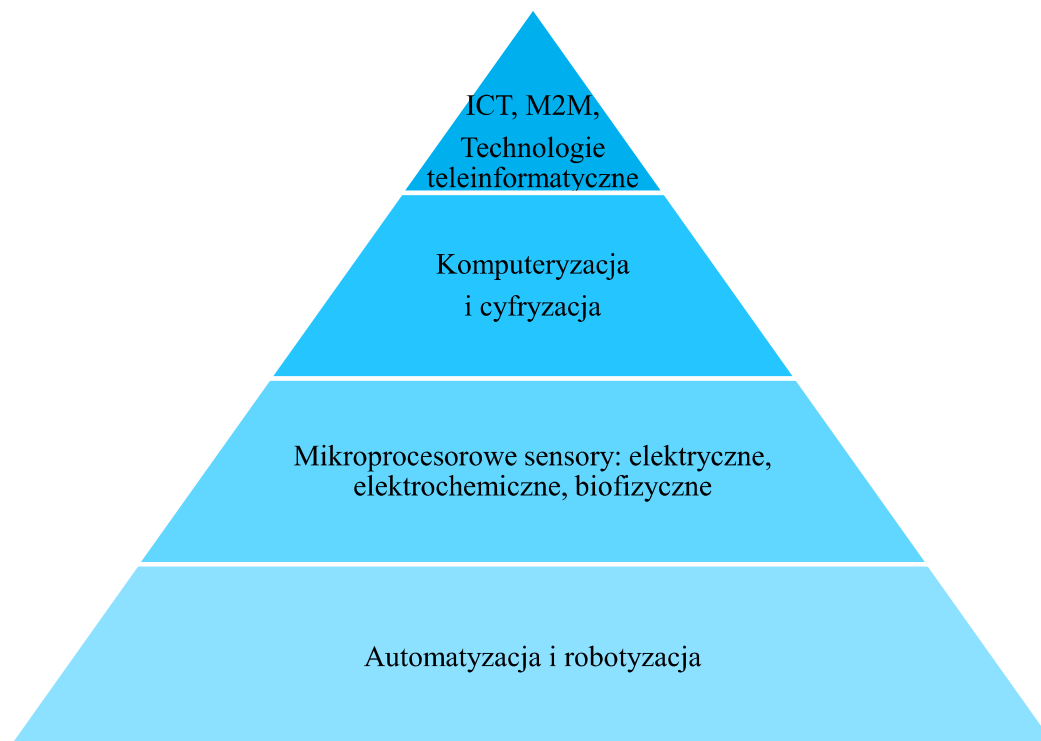
Rys. 1. Umieszczenie precyzyjnej produkcji zwierzęcej w aspekcie inteligentnego rolnictwa  
*Fig. 1. Precision livestock farming as related to smart agriculture*

Precyzyjna produkcja zwierzęca (Precision Livestock Farming – PLF) stanowi jedną z części składowych bardziej ogólnego zagadnienia, jakim jest precyzyjne rolnictwo (Precision Agriculture – PA), które mieści się z kolei w obszarze Smart Agriculture, czyli Inteligentnego Rolnictwa. Termin PA został po raz pierwszy użyty w 1990 r. na konferencji zorganizowanej przez Stowarzyszenie Uniwersytet w Montanie. Oczywiście narzędzia rozwijały się już wcześniej, a pierwszym z nich był Geographic Information System (GIS), użyty do celów nawozowych jeszcze w latach 60. XX w. We współczesnym znaczeniu, jako pierwsze wykorzystanie precyzyjnych metod należy uznać zastosowanie protokołu komunikacyjnego LBS (prekursor ISOBUS) w ciągnikach rolniczych (1991). W 2016 r. całość obrotu na rynku precyzyjnych technologii rolniczych oszacowano już na 3 mld euro z prognozą wzrostu do 4,5 mld euro w 2020 r. Ocenia się, że w samym USA około 80% farm stosuje jakieś rozwiązania z zakresu PLF, podczas gdy w Europie jedynie 24%. Może właśnie dlatego zagadnienia PLF znalazły swe miejsce w założeniach programowych EU, jak:

FP7, Horyzont 2020 (np. AllSmartPigs, EU-PLF, smartAKIS, AIOTI), czy WPR (np. EIP-AGRI). W tym ostatnim przypadku pojawiają się nawet postulaty skierowania do 10% krajowych środków z filaru 1 i 2 WPR właśnie na wdrożenie w krajach członkowskich PA (CEMA, 2015). Nie czekając na takie rozstrzygnięcia wiele krajów UE podjęło niezależne wysiłki promując PFL i PA we własnych politykach rolnych (np. WB, Irlandia, Niemcy).

Pojęcie precyzyjnej produkcji zwierzęcej odnosi się do zagadnień zarządzania realizowanych w oparciu o gromadzone w czasie rzeczywistym informacje, a zmierzających do wyeliminowania zmienności zaburzającej efektywność samego procesu. Podstawowe korzyści PLF to: wzrost produktywności, obniżenie kosztów operacyjnych, większy zysk, zwiększenie bezpieczeństwa żywności, poprawa dobrostanu zwierząt, redukcja oddziaływania na środowisko, wyższe bezpieczeństwo pracy, uzyskanie zrównoważonego rozwoju produkcji.

Wkroczenie chowu zwierząt na etap produkcji precyzyjnej jest związane z rozwojem



Rys. 2. Schemat budowy precyzyjnej produkcji zwierzęcej  
Fig. 2. Diagram of precision livestock farming

technologii teleinformatycznych, w tym techniki komputerowej oraz technologii cyfrowych. Oczywiście u samych podstaw były – mechanizacja i automatyzacja produkcji. Jednak, bez przełomu w budowie mikroprocesorowych sensorów chemicznych, optycznych i biofizycznych, czy biomarkerów nie byłoby możliwe opomiarowanie szeregu czynników środowiskowych, reakcji organizmu, jak i cech jakościowych samego surowca. Możliwość ciągłej transmisji danych oraz pozycjonowania i powiadamiania w oparciu o łączność radiową zagwarantowały wymóg realizacji w czasie rzeczywistym. Niemniej ważne pozostają przy tym kwestie samych algorytmów i dedykowanych programów komputerowych, nie tylko sterujących wszystkimi tymi narzędziami, ale finalnie pozwalających również na przetworzenie informacji do poziomu Systemu wspomagania decyzji (Decision Support System – DSS). Systemy te są często klasyfikowane już na wyższym poziomie organizacyjnym, czyli Inteligentnej produkcji zwierzęcej (Smart Livestock Farming) lub Inteligentnego rolnictwa (Smart Agriculture). Wyższy poziom obejmuje przy tym całe gospodarstwo, a nawet gałęzie produkcji lub sektor. O różnicy w hierarchii stanowi również wykorzystanie choćby narzędzi typu ICT, Big Data, czy IoT/M2M (Internet of Things/ Machine to Machine).

### PLF w praktyce

Specyfika rozwiązywanych zagadnień, użycie sensorów, pozyskiwanych produktów, czy samego podejścia do zwierzęcia skłania jednak do zastosowania ujęcia gatunkowego. Tym bardziej, że w praktyce zaznacza się odmienne podejście techniczne do zwierząt różnej wielkości. O ile w przypadku krów i opasów opomiarowaniu, monitoringowi i zarządzaniu podlegają pojedyncze zwierzęta, to w przypadku innych gatunków traktuje się je raczej w całych grupach. Wydaje się jednak, że jest to sytuacja przejściowa, wynikająca z przeszkód w dalszej miniaturyzacji wyposażenia. Już teraz są dostępne indywidualne mini znaczniki RFID dla drobiu (Berckmans i Norton, 2016). RFID czy nadajniki GPS umożliwiają również identyfikację i lokalizację krów przez oprogramowanie smartfona.

Aktualnie najbardziej zaawansowane są rozwiązania PLF oferowane dla potrzeb bydła mlecznego. Śmiało można stwierdzić, że zasto-

sowane kompleksowo w połączeniu z programami hodowlanymi stanowią one realne przykłady powszechnie funkcjonujących systemów Inteligentnego chowu zwierząt (np. Afifarm, Crystal, Delpro). W ramach oferowanych dla bydła mlecznego PLF dostępne są pedometry i akcelerometry, montowane na kończynach lub karkach krów. Ich pierwotną funkcją była detekcja rui poprzez nasilenie aktywności ruchowej. Współczesne urządzenia 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) (fot. 1). O ich funkcjach decydują zamontowane sensory, łącznie z nadajnikami GPS, mikrofonami, termistorami, a nawet czujnikami ciśnienia, jak ma to miejsce przy pobieraniu paszy (Galli i in., 2017). Istotnym *novum* są tu możliwości detekcji kulawizn u bydła, dość powszechnego i niebezpiecznego schorzenia w fermach przemysłowych, identyfikowane dzięki algorytmom porównującym różnice wychylenia obręczy barkowej i miednicy. Innym sposobem jest analiza obrazu. Sprzęgnięte z akcelerometrami nadajniki GPS pozwalają nie tylko zlokalizować zwierzęta na pastwisku, ale określić czas i miejsce ich przebywania, a także wyznaczyć trasę ruchu. Na marginesie omawiania technik śledzących aktywność krów zaznaczyć należy, że nowoczesne oprogramowanie potrafi przeanalizować i zinterpretować dany parametr nie tylko dla pojedynczego zwierzęcia, ale i całego stada (Bikker i in., 2014).

Jeśli już mowa o pastwiskowaniu, to praktycznie nic nie stoi na przeszkodzie w budowie systemu opartego o IoT, pozwalającego na automatyczne kierowanie przeżuwaczy w najlepsze rejony pastwiska. W handlu dostępne są już stacjonarne czujniki śledzące tempo wzrostu runi albo drony o podobnym oprogramowaniu. W połączeniu z również komercyjnym systemem „wirtualnego pastucha” (CSIRO, eSheperd, Agersen), wykorzystującego bodźce akustyczne albo elektryczne i ostrzegającego w ten sposób zwierzęta o zbliżaniu się do realnych ogrodzeń, można je zastosować do przemieszczenia stada w rejon zadanych przez hodowcę satelitarnych koordynat terenu. Nieco prościej funkcjonują dostępne w handlu bramki selekcyjne dla krów, rozdzielające zwierzęta w zależności od ich ID i pory dnia

na odpowiednią kwaterę. Stacjonarne czujniki lub wykonujące zdjęcia spektroskopowe drony są stosowane głównie w uprawach polowych do określenia potrzeb nawozowych i nawodnienia. Niemniej, takie same potrzeby ma również trawa pastwisk i mogą być tu one z powodzeniem wykorzystane.



Fot. 1. Sensor nosowy NBS systemu RumiWatch (ITIN-HOCH)

*Phot. 1. RumiWatch noseband sensor (ITIN-HOCH GmbH) [www.rumiwatch.ch](http://www.rumiwatch.ch)*

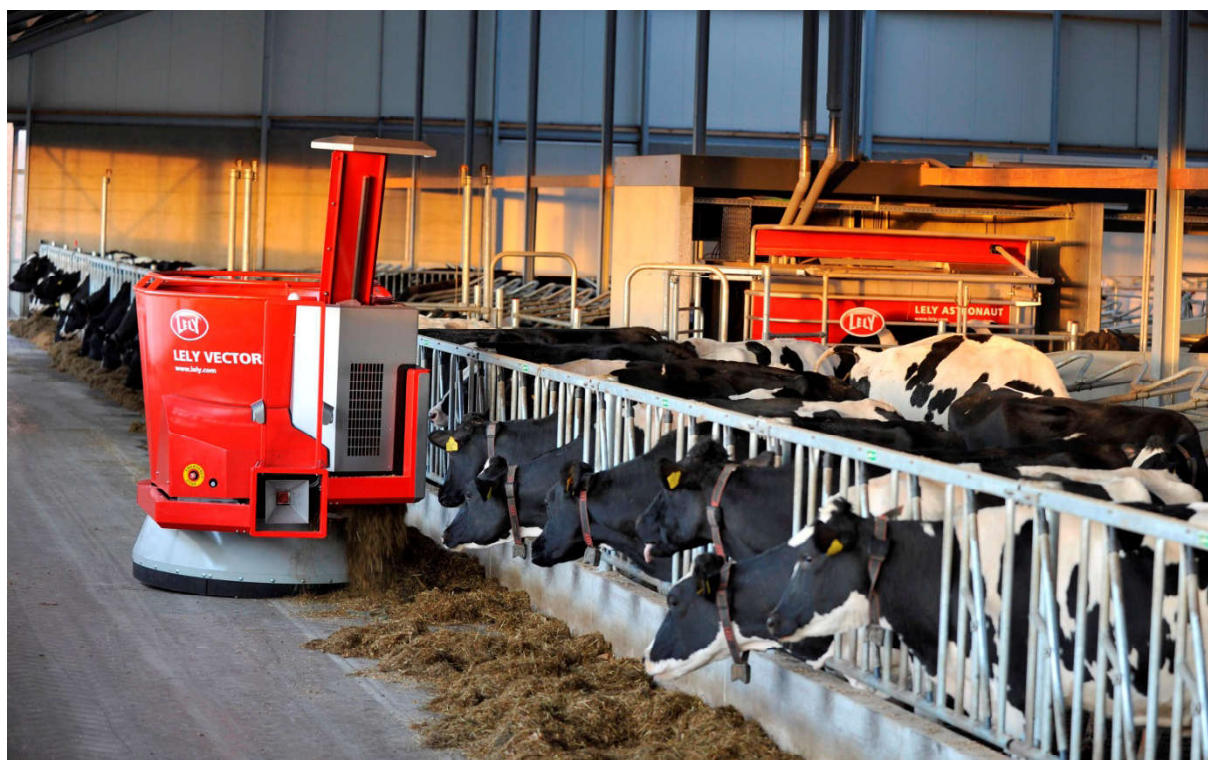
Niezależnie od aktualnie toczony bitwy między rozwiązaniami TMR i PMR, optymalne i docelowe z punktu widzenia zdrowia i dobrostanu krowy pozostanie żywienie indywidualne. Na rynku są już dostępne automatyczne systemy żywienia, jak Vector (Lely, fot. 2), czy Optimat T4 (DeLaval), Trioliet B.V., Jeantil i in. Systemy te są nie tylko w pełni automatyczne – od samoczynnego pobrania materiału paszowego do dozownika po jego zadanie na stół paszowy – ale potrafią sterować porcjami tak, aby ilość paszy była w każdym miejscu jednakowa (czujnik laserowy). Dla pozyskiwania informacji w czasie rzeczywistym o procesach trawienia potrzebne są jednak nowe precyzyjne rozwiązania. Służą do tego choćby czujniki pH żwacza, pozwalające również na pomiar jego temperatury (eCow, SmaXtec). Same sensory umieszczane są w żwaczu, a odczyt ich zapisów może odbywać się za-

równo przez oprogramowanie smartfonów, jak i być transmitowany do towarzyszących akcelerometrów. Przy wszystkich rodzajach sensorów oraz pochodzących od nich sygnałów można zadać pytanie o wiarygodność odczytu czy wyniku. Średnio przekraczają one 85% poprawności, jednak w zależności od oferty handlowej różnice mogą być znaczne.

W przypadku pH odczyt zależy od umiejscowienia się sensora w treści żwacza, która z natury przebiegu procesów realizowanych przez mikroflorę nie jest jednorodna. Innym mankamentem jest stosunkowo krótki czas użytkowania tych sensorów, sprowadzający się do 18–20 miesięcy. Podobny endogeny charakter posiadają sensory wycielenia. One również mogą być częścią współpracującą z oprogramowaniem akceleratorów. Bazujący na zmianach temperatury (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 jest wydalany wraz z płodem (Hartung i in., 2017; Helwatkar i in., 2014).

Oprócz możliwości identyfikacji kulawizn, ketozy lub kwasicy bardzo zaawansowane są urządzenia i sensory do wykrywania innych schorzeń. Najbliższej komercjalizacji wydają się być czujniki i kamery podczerwieni identyfikujące mastitis, przemieszczenie trawieńca, kwasicę czy dermatitis. O ile czujniki potrzebują jeszcze znacznego wkładu w zakresie dopracowania algorytmów interpretujących, to dostępne na rynku kamery podczerwieni do wykrywania mastitis są wciąż zbyt drogimi urządzeniami. Rozwijane są również dużo tańsze biosensory oparte na nanotechnologii i wydaje się, że to właśnie będzie dalsza droga dla szybkiej identyfikacji schorzeń u bydła.

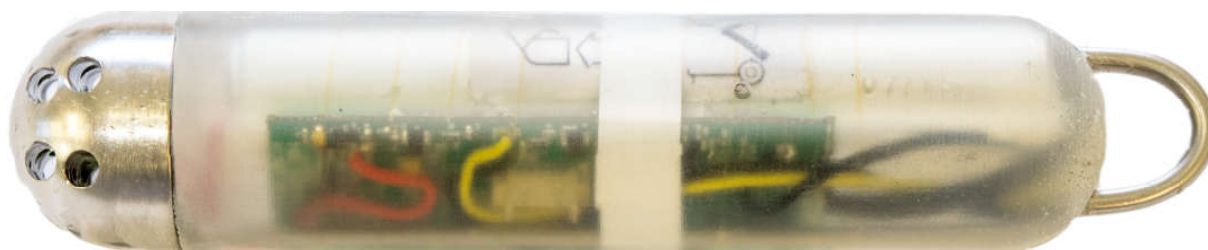
Innym obszarem wdrażania PLF w chowie bydła mlecznego jest monitoring samego mleka. Współczesne systemy udojowe pozwalają na analizę w czasie rzeczywistym doju takich elementów, jak: białko, tłuszcz, laktoza, krew, mocznik, czy liczba komórek somatycznych (mastitis). Zakres ten może być rozszerzony o progesteron, LDH, BHBA. Mleko o niewłaściwych parametrach może zostać nawet przekierowane do innego zbiornika. A same wyniki pomiarów trafiają do oprogramowania, tworząc bazę znacznie bardziej dokładniejszą niż ta z próbnych udojów.



Fot. 2. Vector – automatyczny system żywienia firmy Lely

*Phot. 2. Lely Vector automatic feeding system*

<https://www.agriland.ie/farming-news/lely-t4c-vector-provides-reports-designed-to-improve-feed-efficiency/>



Fot. 3. Sensor do pomiaru pH żwacza (eCow)

*Phot. 3. Rumen pH sensor (eCow)*

<https://ecow.co.uk/the-ebolus-for-researchers/>

W związku z rozwojem tego zakresu PLF w kilku ośrodkach trwają prace nad automatycznym i zdalnym systemem kontroli użyteczności bydła mlecznego. Na marginesie omawiania zagadnień doju należy podkreślić rolę robotów udojowych, jako jednej z najbardziej zaawansowanych technik PLF. Laserowo pozycjonowane automatyczne urządzenia do samoczynnego doju są oferowane przez wszystkie liczące się na rynku firmy. Z racji budowy stanowiska znacznie łatwiej zamontować tu kamery i sensory.

W ten sposób określa się już automatycznie BCS pojedynczego zwierzęcia, którego pomiar jest wprowadzany do programu zarządzania stadem. Umożliwia to na bieżąco śledzenie zmian BCS w krótkim i dłuższym przedziale czasowym. Sam pomiar jest realizowany przez kamerę obrazującą w przestrzeni trójwymiarowej (3D).

W końcu należy także wspomnieć o tak prozaicznych wykorzystaniach techniki, jak samobieżne i samoładujące się odkurzacze do podłóg rusztowych oraz automatyczne dyspensery do



Fot. 4. Dyspenser do ściółkowania – *Phot. 4. Bedding dispenser*

[https://www.simholland.nl/includes/\\_Files/afbeeldingen/Mechanisatie/JH%20Ministro/JH%20MS%20Cow.jpg](https://www.simholland.nl/includes/_Files/afbeeldingen/Mechanisatie/JH%20Ministro/JH%20MS%20Cow.jpg)

ściółkowania. Szacuje się, że ich wykorzystanie zaoszczędza tygodniowo minimum 8 godzin pracy fizycznej. Urządzenia te są w pełni programowalne i posiadają zabezpieczenia chroniące zwierzęta oraz obsługę przed skutkami kolizji. Równie powszechnym rozwiązaniem mogą wydawać się sterowniki mikroklimatu, zawiadujące kurtynami i wentylatorami.

Tyle, że zbierają one informacje już nie tylko z czujników temperatury i wilgotności, ale także akcelerometrów zwierzęcia, w tym czujnika temperatury i liczby oddechów. Informacja jest wspomagana przez zapisy ruchliwości i przemieszczania się całego stada w budynku. Mikroklimat to również pełna kontrola oświetlenia, łącznie z dodatkowymi lampami led zapewniającymi 16-godzinny dzień świetlny i natężenie 200 lux.

#### **Dalszy rozwój PLF**

Śmiało można stwierdzić, że już dzisiaj bezobsługowy chów bydła mlecznego jest realizowany w praktyce i przez konkretne zintegrowane systemy komercyjne dostępne u kilku produ-

centów. Czujniki i biosensory, bramki selekcyjne, samobieżne urządzenia do zadawania paszy albo czyszczenia podłóg, sterowniki wentylacji, sprzęgnięte razem w komputerowym oprogramowaniu zarządzającym całkowicie eliminują codzienną pracę hodowcy. Jednocześnie pozwalają na pełny, zdalny monitoring oraz dostęp poprzez łączność komórkową (Virgilio i in., 2018). Najmniej rozpoznany obszarem PLF jest obecnie identyfikacja schorzeń krów.

Wiele ośrodków naukowych ma już opracowane biochemiczne sensory mikroprocesorowe do selektywnej identyfikacji pojedynczych jednostek chorobowych, zwłaszcza tych powstających na tle żywieniowym.

Obserwując zachodzący postęp technologiczny trudno dostrzec znaczące ograniczenia dla dalszego upowszechnienia PLF i SA. Na początkowym etapie wdrażania każdego rozwiązania znaczącą kwestią pozostaje jego cena. Z czasem i wzrostem sprzedaży podlega ona jednak spadkowi, tym bardziej, że rynkowy sukces pociąga za sobą więcej podobnych produktów i producentów. Widać to doskonale na przykładzie pe-

dometrów, kosztowo dostępnych dziś nawet dla małych gospodarstw.

Jak każda inwestycja, także PLF wymagają stabilnej sytuacji rynkowej i rentowności produkcji. Jednakże, same nowe technologie pozwalają na znaczące obniżenie kosztów produkcji i wejście na wyższy poziom konkurencyjności ferm (EPRS, 2016). Ograniczeniem strukturalnym może być mała skala i koncentracja produk-

cji, a także łatwy dostęp do taniej siły roboczej. Wstrzymują one zasadniczo wdrażanie PLF poprzez niższe koszty operacyjne.

Brak wiedzy, ale i zwyczajnej znajomości nowinek technicznych lub ograniczenia w obsłudze komputerów utrudniają wdrażanie technologii cyfrowych. Z drugiej strony, coraz większa specjalizacja i komplikacja zagadnień chowu implikują konieczność stałego uczenia się.



Fot. 5. Kompleksowy system zarządzania stadem i oborą – *Phot. 5. Smart herd management system*  
<http://www.sokepa.com/en/laces/?id=27>

Braki w tym zakresie mogą właśnie równoważyć autonomiczne systemy monitoringu i zarządzania, posiadające odpowiednią wiedzę przełożoną na algorytm. Dość powszechną bolączką współczesnych rozwiązań PLF jest generowanie natłoku informacji, trudnego do interpretacji przez hodowcę. Dalszy rozwój oprogramowania i zwiększenie tzw. przyjazności interfejsu użytkownika mogą zlikwidować takie problemy. Nauczeni doświadczeniem producenci starają się obecnie maksymalnie ograniczyć taki strumień danych poprzez generowanie finalnych komunikatów o rui, spadku aktywno-

ści, stresie termicznym lub pozanormatywnych parametrach produkcji.

Z całą pewnością wyzwaniem dla Inteligentnego rolnictwa będzie łączenie różnych istniejących w obrębie ferm precyzyjnych rozwiązań i technik. Przykładem może być sprzęgnięcie żywienia i bazy paszowej z doprecyzowaniem jakości samych materiałów paszowych oraz wyników produkcji. Niemniej istotny jest nadzór i zarządzanie nakładami oraz kosztami produkcji. Już teraz część obsługi PLF i przetwarzania zgromadzonych danych odbywa się w tzw. chmurze, udostępnianej przez dostawcę wyposażenia.

Szacowanie wielkości ekonomicznych będzie się z pewnością wiązać z koniecznością rozwoju specjalistycznych serwisów internetowych, pozwalających na transfer danych. W podsumowaniu całości prezentowanej problematyki należy podkreślić jej wagę i perspektywiczność. PLF i SA są już

nie tylko kierunkami badań multidyscyplinarnych zespołów, ale również elementami polityki rolnej na szczeblu krajowym i UE (EPRS, 2016). Ich rozwój i integracja w obrębie całej produkcji rolniczej śmiało zasługuje na miano nie tyle kolejnej zielonej, ile cyfrowej rewolucji.

### Literatura

- 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. CEMA's contribution to the Mid-term Review of the CAP.
- Berckmans, D., Norton T. (2016). Precision livestock farming: Examples for poultry. Proc. XXV World Poultry Congress, 6–9 Sept. 2016, Beijing, China.
- Bikker J.P., Laar H. van, Rump P., Doorenbos J., Meurs K. van, Griffioen G.M., Dijkstra J. (2014). Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *J. Dairy Sci.*, 97: 2974–2979.
- EPRS (2016). Precision agriculture and the future of farming in Europe. Scientific Foresight Study. European Parliamentary Research Service. Scientific Foresight Unit (STOA) PE 581.892.
- Galli J.R., Cangiano C.A., Pece M.A., Larripa M.J., Milone D., Utsumi D.H., Laca E.A. (2017). Monitoring and assessment of ingestive chewing sounds for prediction of herbage intake rate in grazing cattle. *Animal*, 12: 973–982; DOI 10.1017/S1751731117002415.
- GUS (2017). Rocznik statystyczny, Warszawa.
- Hartung J., Banhazi T., Vranken E., Guarino M. (2017). European farmers' experiences with precision livestock farming systems. *Anim. 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, Sept. 2–4, 2014, Liverpool, UK, pp. 266–271.
- Virgilio A. di, Morales J.M., Lambertucci S.A., Shepard E.L.C., Wilson R.P. (2018). Multi-dimensional Precision Livestock Farming: a potential toolbox for sustainable rangeland management. *PeerJ* 6:e4867; DOI 10.7717/peerj.4867.

## PRECISION DAIRY FARMING

### Summary

Precision dairy farming is a concept in which a herd is managed based on real-time information to eliminate variation that compromises the efficiency of the process itself. Livestock farming entered the stage of precision farming due to the development of information and communication technology, including computer and digital techniques. However, without a breakthrough in the construction of microprocessor-based chemical, optical and biophysical sensors or biomarkers, it would have been impossible to measure many environmental factors, body responses, and quality traits of the raw material itself. Continuous data transmission as well as radio based positioning and communication enabled a real-time monitoring system. The most advanced precision livestock farming solutions have been developed for dairy cattle. Sensors and biosensors, selection gates, self-propelled feeders and floor cleaners, computer controlled ventilation connected into a computer management system have completely eliminated the farmer's daily workload, making cattle farming maintenance free today.

**Key words:** precision agriculture, dairy cattle, solutions available