



SIEĆ NA RZECZ
INNOWACJI W ROLNICTWIE
I NA OBSZARACH WIEJSKICH



Krajowa Sieć
Obszarów Wiejskich



Program
Rozwoju
Obszarów
Wiejskich
na lata 2014-2020

„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich:
Europa inwestująca w obszary wiejskie”

Publikacja opracowana przez Podlaski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Szepietowie

Operacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Schematu

II Pomocy Technicznej „Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich”

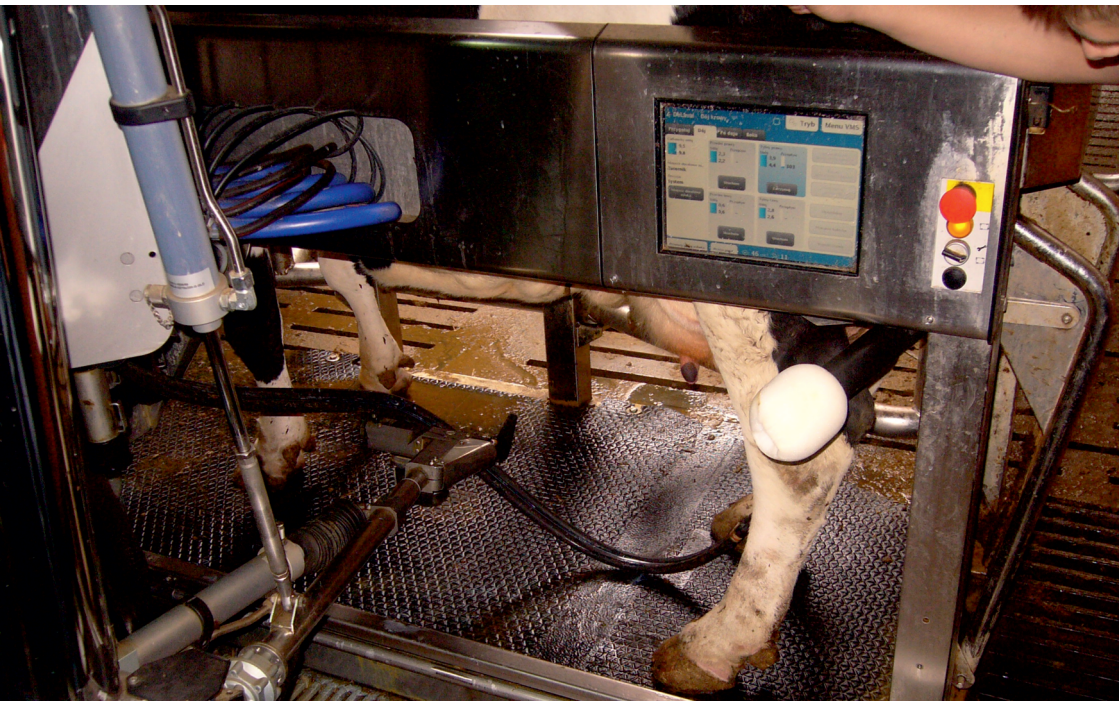
Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014-2020.

Institucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014-2020

– Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Marcin Gołębiewski

Nowatorskie rozwiązania w produkcji mleka



Marcin Gołębiowski

**Nowatorskie
rozwiązania
w produkcji mleka**

Szepietowo 2020



Podlaski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Szepietowie

Nowatorskie rozwiązania w produkcji mleka

Marcin Gołębiowski
SGGW w Warszawie, Wydział Nauk o Zwierzętach,
Zakład Hodowli Bydła

Wydawca:
Podlaski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Szepietowie
Szepietowo Wawrzyńce 64, 18-210 Szepietowo
www.odr.pl

Nakład: 2000 sztuk

Projekt, skład i druk:
Firma ARCAN Elżbieta Rutkowska, Lucjan Rutkowski
64-980 Trzcianka, ul. Żeromskiego 3
tel. 67 216 50 20

Światowa produkcja mleka uległa istotnym przeobrażeniom w ostatnim stuleciu a wraz z nimi nastąpił burzliwy rozwój technologii wykorzystywanej w tej gałęzi produkcji. Przeobrażeniom tym towarzyszyły również zmiany demograficzne. Poza dynamicznym wzrostem światowej populacji ludzi, na początku XX w., nastąpiła masowa migracja ludności z terenów wiejskich do miast. Spowodowało to konieczność zintensyfikowania produkcji rolniczej celem zapewnienia rosnącej liczbie konsumentów wystarczającej ilości żywności, w tym mleka i produktów mlecznych.

Równoległe ze wzrostem demograficznym, postępował gwałtowny rozwój nauk wspierających rozwój sektora produkcji mleka. Koncentracja stad, wysokie koszty pracy najemnej oraz brak zainteresowanych takim zajęciem, jak również konieczność sprostania rosnącym potrzebom rynku mleka, zwróciła uwagę hodowców bydła mlecznego oraz producentów mleka na współczesnymi osiągnięcia nauki, które potencjalnie mogłyby mieć zastosowanie w praktyce. Najbardziej burzliwy rozwój obserwuje się w takich dziedzinach jak: genetyce zwierząt, fizjologii i żywienia oraz informatyzacji i automatyzacji procesów produkcyjnych. Wspomniane osiągnięcia doprowadziły do 6-krotnego wzrostu przeciętnej wydajności krów mlecznych, wzrostu globalnej produkcji mleka przy wyraźnym spadku populacji bydła mlecznego w ostatnim stuleciu. Przeciętna wydajność krów ocenionych w Polsce w 1912 r. wynosiła nieco ponad 2100 kg mleka, podczas gdy obecnie kształtuje się na poziomie ponad 7000 kg. Wzrostowi wydajności towarzyszył spadek populacji masowej krów, który obecnie ustabilizował się i wynosi ok. 2,7 mln krów. Podobne trendy obserwowano w Europie i Stanach Zjednoczonych.

Działania producentów mleka w XX wieku zorientowane były przede wszystkim na maksymalizacji produkcji. Towarzysząca zmianom koncentracja stad oraz gruntów, przy rosnących kosztach pracy oraz zmniejszającej się liczbie potencjalnych osób zainteresowaniem podjęciem pracy w sektorze produkcji mleka, następowała konieczność unowocześnienia procesu produkcyjnego na poziomie gospodarstwa.

Najszybciej rozwijały się technologie zautomatyzowanego doju krów, co spowodowane było dużą uciążliwością i pracochłonnością tej czynności. Często gospodarstwa borykają się z zatrudnieniem właściwego personelu do obsługi hal udojowych, od którego w dużej mierze zależy jakość pozyskiwanego surowca, a w rezultacie cena za surowiec. Najwcześniej rozwinęły się nowoczesne technologie produkcji mleka w krajach Europy Zachodniej, gdzie koszty siły najemnej były najwyższe. Robot udojowy (AMS) oraz zautomatyzowana hala udojowa (AMR) reprezentują najbardziej zaawansowane technologie wykorzystywane współcześnie w pozyskiwaniu mleka. Pierwszy zautomatyzowany system doju został zainstalowany w Holandii w 1992 r. Szacuje się że w 2009 r. w tym kraju funkcjonowało już ponad 8 tys. tych urządzeń. Ponad 90% wszystkich robotów udojowych zainstalowanych zostało w Europie, ok. 9% w Kanadzie i jedynie 1% w USA. Relatywnie niska liczba AMS w Stanach Zjednoczonych związana jest przede wszystkim z dużo wyższą niż w Europie skalą produkcji, niższymi kosztami

zatrudnienia oraz brakiem kompetentnego serwisu tak nowoczesnych urządzeń. Wprowadzenie w 2010 r. automatycznej hali udojowej (AMR) umożliwia lepszą adaptację automatycznego systemu doju do większych stad. System AMR, wyposażony w 24 stanowiskową platformę obrotową oraz 5 ramion robota jest w stanie obsłużyć 90 krów w ciągu 1 godziny, więc może być wykorzystywany w stadach liczących od 300 do 800 krów. W Polsce pierwszy robot udojowy został oddany do użytku w 2008 r. Obecnie w naszym kraju pracuje już kilkaset takich urządzeń, natomiast na świecie ponad 30 tysięcy.

Przeprowadzono wiele badań dotyczących wpływu automatycznego doju na jakość mleka, zdrowie, dobrostan i zachowanie krów oraz efektywność zarządzania stadem. Istnieje również wiele opracowań mających na celu konfrontację AMS z konwencjonalnymi systemami udojowymi (halami udojowymi), w aspekcie zasadności instalowania systemów automatycznego doju. W pełni zautomatyzowany system udoju krów wykonuje wszystkie czynności przed i po udojowej, traktując każdą ćwiartkę wymienia indywidualnie. Jednak krytycznym elementem, umożliwiającym dój krów bez interwencji obsługi, jest sposób motywacji krów do wchodzenia do robota udojowego. Pewną przeszkodą może być choćby fakt, iż krowa, zwierzę posiadające silny instynkt stadny, musi w systemie AMS, zostać odseparowane od stada. Firmy produkujące roboty udojowe oferują różne podejście do tego problemu, począwszy od całkowicie dobrowolnego do wymuszonego systemu kierowania ruchem krów w oborze. Zapewnienie odpowiedniej motywacji dla zwierzęcia do kilkukrotnego doju w AMS, decyduje o efektywności funkcjonowania całego systemu i powinno wynikać ze znajomości zachowań krów. Rozwiązania zgodne z naturalnym zachowaniem bydła są również gwarantem zapewniającym im właściwy dobrostan. Równoległe z montażem robota udojowego zmienia się diametralnie podejście do zarządzania stadem. Najczęściej dostępna jest znacznie większa niż w systemach konwencjonalnych ilość danych o zwierzętach, która gromadzona, a często również przetwarzana jest automatycznie. Pierwsze prace badawcze dotyczące robotów udojowych koncentrowały się właśnie na tych obszarach. Tamte doświadczenia pozwoliły na zoptymalizowanie systemów doju automatycznego i doprowadziły do powstania nowych ulepszonych wersji urządzeń do doju. Konieczne jest jednak przeprowadzenie badań, które potwierdzą lepszą efektywność nowych generacji AMS w stosunku do poprzednich wersji.

Wady i zalety automatycznych systemów udoju

Główną zaletą AMS w obszarze zarządzania stadem jest zmniejszenie pracochłonności produkcji mleka. Jednakże potencjał oferowanych na rynku urządzeń w tym zakresie nie został w pełni wykorzystany. Dodatkowym atutem automatycznych systemów doju jest możliwość wykorzystania sensorów monitorujących stan zdrowotny wymienia, produkcję mleka, rozród, żywienie, pobranie paszy oraz zmiany masy ciała, stanowiącymi szczegółowy zbiór informacji o każdej krowie,

które trudno było uzyskać w konwencjonalnych systemach. W systemie AMS detekcja mastitis odbywa się poprzez urządzenia monitorujące liczbę komórek somatycznych, przewodnictwo elektryczne mleka oraz barwę mleka niezależnie dla każdej ćwiartki wymienia. Łatwy dostęp do tak szczegółowych informacji o każdym zwierzęciu daje możliwość bardziej precyzyjnego zarządzania stadem. Inną korzyścią robotów udojowych jest możliwość zmiany frekwencji doju krów (w zależności od stadium laktacji, wielkości produkcji) bez konieczności dodatkowych nakładów siły roboczej oraz zgodnie z potrzebami fizjologicznymi krowy. Realną korzyścią takiego postępowania jest min. wzrost produktywności (2-12%) krów w szczycie laktacji, które dojone są częściej niż dwukrotnie w ciągu doby. Wyniki dotychczasowych badań nie są jednak jednoznaczne w tej kwestii. Niektóre badania nie potwierdziły wzrostu wydajności krów dojonych w AMS. Głównie dotyczyło to pierwiastek. Krowy o wyższym potencjale produkcyjnym zdecydowanie wyraźniej reagują wzrostem produktywności na zwiększoną częstość dojenia.

Większość dostępnych na rynku systemów doju automatycznego oferuje również możliwość żywienia krów ustaloną dawką paszy treściwej z określoną częstotliwością, co może dawać wymierne korzyści. Przede wszystkim umożliwia dostosowanie dawki pokarmowej do zmieniających się w trakcie laktacji potrzeb produkcyjnych i kondycji krów. Ponadto porcja smacznej paszy treściwej może być dodatkowym motywatorem zachęcającym zwierzęta do wejścia do robota udojowego. Szereg badań określiło istotny, pozytywny wpływ dokarmienia krów paszą treściwą podczas doju w robocie udojowym na częstość odwiedzania przez nie stanowiska udojowego. Potwierdziło to obserwacje, że podanie paszy jest zdecydowanie lepszym motywatorem dla krów niż sam proces dojenia, choć nie daje 100% skuteczności. Praktyczny wniosek płynący z tych doświadczeń mówi, że podanie paszy lub dostęp do pastwiska jest niezbędny, aby zachęcić krowy do wejścia do AMS. Bezwzględną korzyścią zastosowania prawidłowo funkcjonujących robotów udojowych jest stałość wykonywania wszystkich czynności. Urządzenia te nie mają gorszych dni, nie spóźniają się do pracy i nie upraszczają czynności decydujących o stanie zdrowia oraz produktywności krów.

Jak każde rozwiązanie AMS posiadają również pewne wady. Pomimo faktu, że oparcie tej technologii na ogromnej liczbie sensorów może być korzystne dla producentów mleka to wadą takiego systemu jest jednak ich zawodność. W takich przypadkach całkowite poleganie na informacji pochodzących z urządzeń może prowadzić do błędnych decyzji dotyczących wykrywania rui, monitoringu mastitis czy innych parametrów określających status zdrowotny krowy. Poza tym AMS dostarczają niezliczonych ilości informacji, które mogą zostać niewłaściwie zinterpretowane, a ich analiza wymaga dużo czasu i specjalistycznej wiedzy. Ponadto, AMS wycisza podstawową umiejętność, niezbędną w konwencjonalnych systemach utrzymania bydła mlecznego, jaką jest obserwacja. Współpracujący z robotem udojowym komputerowy system zarządzania stadem decyduje o częstości doju oraz poziomie żywienia krów paszą treściwą, jednak zwierzęta,

które z różnych względów nie chcą uczestniczyć dobrowolnie w systemie wymagają interwencji obsługi. Obecnie jedną głównych przeszkód ograniczającą powszechność stosowania AMS jest ich cena. Każde pojedyncze stanowisko (robot udojowy) stanowi koszt ok. 450-600 tys. zł (informacje z 2012 r.), o jest ono w stanie obsłużyć przeciętnie 60 krów. W porównaniu do AMS, koszt hali udojowej w przeliczeniu na jedno stanowisko udojowe to od 12 do 45 tys. (dane z 2012 r.), w zależności od stopnia wyposażenia oraz zakresu prac budowlanych niezbędnych do jej zainstalowania. W związku z tym koszt hali udojowej 2x6 może wynieść od ok. 150 do 540 tys. zł. co potwierdza fakt, iż w niektórych przypadkach konwencjonalnym rozwiązaniem również nie można nazwać tanimi. Decydując się na zakup hali udojowej można sprostać potrzebom wzrastającej liczebności stada (oczywiście kosztem wydłużenia czasu doju). Natomiast instalacja pojedynczego robota udojowego jest w stanie obsłużyć względnie stałą liczbę zwierząt (ok. 60 krów). Wzrost liczebności ponda tę wartość oznacza konieczność zakupu dodatkowego ASM. Może to być dość dużym ograniczeniem dla hodowców, którzy zamierzają stopniowo zwiększać liczebność swojego stada. Wybór pomiędzy wyżej opisywanymi rozwiązaniami powinien opierać się przede wszystkim na rachunku ekonomicznym. Należy rozważyć na ile instalacja AMS zmniejszy koszty pracy w stosunku do wzrostu kosztów stałych oraz kosztów amortyzacji i eksploatacji urządzenia. Ponadto decydując się na takie rozwiązanie należy mieć dostęp do fachowego i niezawodnego serwisu.



Nowoczesna obora wolnostanowiskowa

Innym aspektem efektywnego funkcjonowania automatycznego systemu udojowego są ograniczenia wynikające ze specyfiki zachowania oraz pokroju krów. Nieprawidłowe ustawienia strzyka, czy zróżnicowana wielkość ćwiartek może powodować trudności w trakcie zakładania aparatu udojowego przez ramię robota. Dużym problemem okazuje się nieprawidłowa budowa wymienia, polegająca na zbyt bliskim ustawieniu strzyków umiejscowionych na tylnych ćwiartkach. Wówczas urządzenie traktuje oba strzyki jako jeden i powstaje problem ze sprawnym nałożeniem kubków udojowych. Badania przeprowadzone w Nowej Zelandii potwierdziły, że ok. 8% krów nie spełniło wymagań dotyczących możliwości dojenia ich w AMS właśnie ze względu na wady budowy. Powoduje to konieczność dodatkowego brakowania krów z powodów opisywanych powyżej. Następstwem niewydojenia jednej z ćwiartek wymienia jest obniżenie wydajności (nawet do 26%), pogłębione przez decyzję systemu o zmniejszeniu częstości doju krowy, spowodowanym właśnie obniżoną produktywnością krowy. Skuteczność zakładania aparatów udojowych waha się w granicach 85-98% i obecnie zdecydowanie wzrosła ze względu na postęp technologiczny w konstruowaniu nowych urządzeń. W związku z tym wydaje się konieczne podjęcie kroków mających na celu selekcję zwierząt pod kątem lepszego ich dostosowania do doju w AMS. Szczególnie w przypadku gospodarstw rozważających możliwość zakupu robota udojowego w przyszłości.

Duży problem sprawia również okres przejściowy, w którym stado przestawiane jest na system AMS. Wymaga to treningu całego stada mającego na celu przyuczenie krów do nowej technologii. Kosztuje to bardzo dużo czasu i wysiłku. Szacuje się, iż przestawienie stada i osiągnięcie efektywności doju na poziomie 80-90%, zajmuje przeciętnie 3-4 tyg. Jednak badania wskazują na ogromną zmienność tych parametrów w poszczególnych stadach. Pierwiastki wydają się łatwiej dostosowywać do nowych warunków niż wieloródki.

Niewątpliwą zaletą systemu automatycznego doju krów jest możliwość jego dostosowania do indywidualnego rytmu dojenia każdej krowy. Głównym czynnikiem warunkującym liczbę odpasów oraz udojów w trakcie doby jest system bramek przepędowych decydujących o kierunku przemieszczania się zwierząt w oborze. Na etapie konstruowania budynku powinno poświęcić się szczególną uwagę na zachowanie odpowiedniej relacji pomiędzy frekwencją dojów a ilością czasu którą krowa może przeznaczyć na odpoczynek oraz pobieranie paszy. Systemy, które wymuszają kierunek przemieszczania się krów w budynku opierają się na konieczności odwiedzenia przez krowę stanowiska udojowego przed przejściem do strefy żywienia. Taka konstrukcja budynku wymusza następujący kierunek przemieszczania się zwierząt: strefa żywienia, strefa odpoczynku, stanowisko udojowe. Natomiast systemy dobrowolnego doju pozwalają krowom na dobrowolny kierunek przemieszczania się zwierząt pomiędzy poszczególnymi strefami w oborze. Badania naukowe potwierdzają fakt, iż wymuszony kierunek poruszania się zwierząt w oborze sprzyja większej liczbie wizyt krów w robocie udojowym w porównaniu do systemu dobrowolnego. Jednakże krowy w systemie

wymuszonym mają prawie dwukrotnie wyższy odsetek wizyt na stanowisku udojowym, które nie zakończyły się sukcesem (dojem). Spowodowane jest to zbyt częstym odwiedzaniem stanowiska udojowego przez krowy w systemie wymuszonym. Rezultatem tego jest porównywalna do systemu dobrowolnego liczba efektywnych (zakończonych dojem) wizyt krow w AMS.

Ważnym elementem systemu zautomatyzowanego doju, z punktu widzenia hierarchii stadzie krow, jest zagospodarowanie odpowiedniej powierzchni przed wejściem na stanowisko udojowe (poczekalnia). Zbyt mała jej przestrzeń może zniechęcać zwierzęta niżej położone w hierarchii stada do doju w robocie.



Dój krow na automatycznej hali udojowej

Pobranie paszy jest również ważnym aspektem wprowadzania AMS. Krowy w takim systemie muszą wykorzystywać przynajmniej część swojego czasu do przemieszczania się pomiędzy wyznaczonymi strefami w budynku. Efektem niewłaściwie zaplanowanej infrastruktury może być obniżenie pobrania paszy oraz obniżenie produkcji mleka. System wymuszony stanowi w tym względzie większe zagrożenie w porównaniu do wolnego. Najbardziej narażoną grupą krow na opisywane wyżej zjawiska, niezależnie od zaimplementowanego systemu poruszania się krow w oborze, są pierwiastki.

Ze względu na fakt bardziej równomiernego rozłożenia wszystkich aktywności krow w systemie AMS krowy wymagają mniejszej powierzchni dostępu do stołu paszowego w porównaniu do systemów konwencjonalnych z halą udojową. Jednakże pora zadawania paszy synchronizuje w pewnym stopniu zachowania pokarmowe. Większa liczba krow kieruje się wówczas do doju a następnie do strefy żywienia ze świeżo zadaną paszą.

Ważnym elementem limitującym efektywność doju w AMS jest zagęszczenie oraz zachowania krów w strefie wokół stanowiska udojowego. Krowy blokując wejście bądź wyjście ze stanowiska udojowego obniżają efektywność wykorzystania AMS. Najwyższy odsetek krów które nie wchodzi do robota udojowego wystarczająco często znajdują się w środkowej lub późnej fazie laktacji.

Głównym powodem instalowania systemu AMS jest ograniczenie kosztów obsługi oraz kosztów doju. W automatycznych systemach doju pewna grupa krów (4-25%) wymaga interwencji obsługi by nakłoniła je do wejścia na stanowisko udojowe. Badania wskazują również na znaczne zróżnicowanie stad pod tym względem. Najczęściej problematycznymi zwierzętami są krowy z nieprawidłową budową wymienia, mastitowe, z upośledzonym aparatem ruchowym oraz w późnej fazie laktacji.

Najnowsze badania wskazują na zwiększone ryzyko stanu zapalnego wymienia w AMS w porównaniu do systemów tradycyjnych. Główną przyczyną takiego rozwiązania jest niedostateczna higiena wymienia przed dojem. Dodatkowym problemem jest fakt, iż AMS nie rozpoznaje różnego stopnia zabrudzenia wymienia. Inną czystość gruczołu mlekowego będą reprezentowały krowy korzystające z pastwiska, a inną takie które utrzymywane są alkierzowo w systemie bezściełowym.

Dój ćwiartkowy stosowany w AMS umożliwia indywidualne traktowanie każdej ćwiartki wymienia, ogranicza pustodój, co korzystnie przekłada się na stan zdrowotny wymienia. Ponadto system sensorów umożliwia wczesną detekcję mastitis, a w przypadku wykrycia odstępstwa od standardów jakościowych, jego natychmiastową separację.

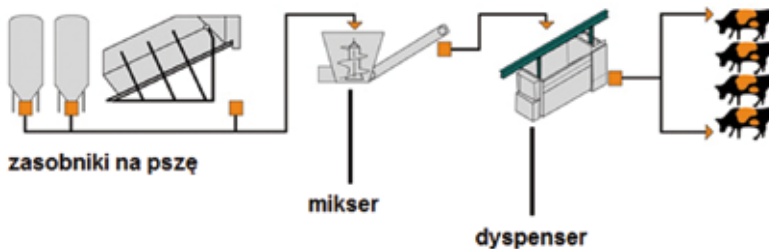
Nie stwierdzono różnic pomiędzy automatycznym i konwencjonalnym systemem udoju w zawartości białka, tłuszczu, laktozy oraz mocznika. Większy wpływ na zawartość tłuszczu ma odstęp między dojami niż sam system udoju. Stwierdzono jedynie wyższy poziom wolnych kwasów tłuszczowych w mleku krów dojonych w AMS. Wysoki poziom tych kwasów wpływa negatywnie na jakość mleka, pogarszając jego walory smakowe.

Automatyzacja żywienia bydła

Poszukiwanie ograniczenia w kosztach pracy zwróciło uwagę producentów mleka na możliwość zautomatyzowania kolejnej po doju, najbardziej uciążliwej czynności jaką jest żywienie krów mlecznych. Pierwsze systemy automatycznego żywienia krów mlecznych (AF) dla dawek TMR i PMR zostały opracowane w 2000 r., jednak ich komercyjne zastosowanie w gospodarstwach ma miejsce od niespełna 5-6 lat. Główną różnicą pomiędzy żywieniem konwencjonalnym (CF) a zautomatyzowanym w odniesieniu do TMR-u i PMR-u jest to, że obsługa nie uczestniczy bezpośrednio w przygotowaniu i zadawaniu paszy. Poza tym zadawanie paszy jest programowalne, dzięki czemu można zwiększyć częstotliwość jej podawania krowom.

W jaki sposób funkcjonuje system zautomatyzowanego żywienia? Na schematach przedstawiono dwa najczęściej stosowane rozwiązania. Każdy system AF składa się z kilku podstawowych elementów. Tymczasowych zasobników na pasze objętościowe oraz treściwe. Ich liczba zależy od ilości komponentów stosowanych w dawkach pokarmowych. Większa ilość komponentów powoduje konieczność instalacji większej liczby zasobników, co zdecydowanie zwiększa koszty całego systemu. Następnym elementem jest mikser, którego zadaniem jest ważenie, a następnie mieszanie wszystkich komponentów paszy oraz jej załadunek do dyspensera (schemat rozbudowany). W uproszczonych systemach AF można wykorzystać dyspenser z funkcją mieszania paszy (wóz paszowy). Zadaniem dyspenserów jest dostarczenie uprzednio przygotowanej paszy do stołu paszowego.

Wadą systemu AF, podobnie zresztą jak i robota udojowego jest oparcie jego funkcjonowania na dużej liczbie sensorów. W trudnych warunkach pracy takich jak duże zapylenie, wilgoć oraz zmienna temperatura, może to powodować dużą zawodność. Jak w każdym nowym rozwiązaniu ograniczeniem może być dostępność fachowego serwisu.



Schemat funkcjonowania automatycznego systemu żywienia krowek mlecznych (rozbudowany)



Schemat funkcjonowania automatycznego systemu żywienia krowek mlecznych (uproszczony)

Natomiast niewątpliwą zaletą jest możliwość precyzyjnego, dawkowania wszystkich komponentów dawki. W przypadku wysoko wydajnych zwierząt może to mieć odbicie w ich produktywności oraz zdrowotności. Kilkukrotne w ciągu doby podawanie paszy (przeciętnie ponad 7 razy) wpływa pozytywnie na pobranie paszy przez krowy. Ponadto daje to oszczędności w stosowaniu komponentów najdroższych. Często małe dawki tych dodatków paszowych powodują, iż obsłudze łatwo przekroczyć zakładany ich udział w dawce dla krow. Doświadczenia duńskie wskazują, iż krowy po zainstalowaniu AF charakteryzowały się o 400 kg lepszą produktywnością w porównaniu do żywionych konwencjonalnie.

Krajem, w którym obserwuje się największe zainteresowanie producentów mleka zarówno zautomatyzowanym dojem, jak i żywieniem jest Holandia. Pierwszy AF został zainstalowany w właśnie w tym kraju w 2004 r., a obecnie pracuje tam już ponad 50 takich instalacji (informacja z 2010 r.).



Prototyp urządzenia do badania pobrania pasz oraz behawioru żywieniowego krow

Główną zaletą systemu zautomatyzowanego żywienia jest redukcja czasu wykonania tej czynności. Badania wskazują, że czas poświęcany żywieniu krow w systemie AF jest o 50% niższy niż w konwencjonalnym systemie żywienia krow. Tak naprawdę, przy bezawaryjnie funkcjonującym systemie AF praca sprowadza się do wypełniania tymczasowych zbiorników na paszę z których następnie pobierana jest automatycznie do jednostki mieszającej i rozdawana zwierzętom w oborze. Dodatkowym atutem takiego rozwiązania jest możliwość uzupełnienia tych zbiorników w czasie, który nie koliduje z wykonywaniem innymi czynności w gospodarstwie.

Technologia żywienia automatycznego, głównie ze względu na fakt, że jest stonkowo nowym rozwiązaniem jest dość kosztowna. Duńscy badacze w 2009 r. dokonali porównania kosztów instalacji systemu tradycyjnego (wozu paszowego) i AF w przeliczeniu na jedną krowę w stadzie. Koszty zakupu wozu paszowego, w zależności od wyposażenia, posiadania własnego napędu (samojezdne lub zaczepiane) wahał się w przeliczeniu na jedną krowę w granicach od 160 do 600 euro na krowę. W przypadku automatycznego systemu żywienia koszty były kilkukrotnie wyższe i kształtowały się na poziomie 850-1650 euro na krowę. Niewątpliwie cena jest jednym z głównych ograniczeń powszechności tego rozwiązania.

Precyzyjne zarządzanie stadem

W związku z globalnym trendem skupiającym się na koncentracji liczby stad i jednoczesnym zwiększeniu skali produkcji w pojedynczych jednostkach, konieczne jest bardziej efektywne zarządzanie stadem. Dodatkowym czynnikiem zmuszającym do poszukiwania oszczędności jest kurcząca się nadwyżka pomiędzy przychodami a kosztami produkcji oraz ograniczenie interwencjonizmu na rynku mleka. Ważnym elementem skłaniających hodowców do bardziej efektywnego zarządzania stadem jest również konieczność zachowania rosnących wymogów związanych z bezpieczeństwem żywnościowym i weterynaryjnym, utrzymaniem wysokiej jakości produktu, ochroną środowiska i dobrostanem zwierząt. Efektywne zarządzanie stadem bydła mlecznego, które uwzględnia wszystkie wyżej wymienione elementy określa się mianem precyzyjnej produkcji mleka (Precision Dairy Farming - PDF).

Z kolei Precision Livestock Farming (PLF) to obecnie jedna z najprężniej rozwijających się dziedzin nowoczesnego rolnictwa. Zajmuje się wykorzystaniem nowoczesnych technologii w celu pomiaru wskaźników psychologicznych, behawioralnych i produkcyjnych krów, które następnie służą do polepszenia dobrostanu tych zwierząt, wczesnego wykrywania chorób (np. poprzez tworzenie komputerowych algorytmów wyciągających wnioski z parametrów otrzymanych przez monitoring), zwiększenia produktywności, a pośrednio również zwiększenia wygody dla hodowcy. Kluczowe w PLF jest ciągłe zbieranie informacji o każdym zwierzęciu z osobna, indywidualnie. W tym celu używane są dwie technologie: elektroniczny system identyfikacji (EID), biosensory i specjalne oprogramowanie analizujące zebrane dane. Przykładami systemów wykorzystujących potencjał Precision Livestock Farming są nie tylko znane już urządzenia do precyzyjnego zadawania paszy zależnie od potrzeb zwierzęcia (precision feeding systems) oraz automatyczne stacje udojowe, coraz bardziej powszechne w polskich oborach (precision milking robots). Należą do nich również znacznie bardziej złożone systemy, dopiero podbijające rynek lub będące w fazie badań, które wykorzystują np. kamery na podczerwień, maty sensoryczne rejestrujące położenie racic podczas chodu oraz czujniki wycielenia zakładane na ogon, rejestrujące subtelne

zmiany w unoszeniu ogona które towarzyszą krowie przed zbliżającym się porodem. W wielu artykułach przybliżono tematykę Precision Livestock Farming poprzez analizę nowoczesnych urządzeń, a także podjęto próbę odpowiedzi na coraz bardziej aktualne pytanie – czy współczesne technologie zastąpią kiedyś tradycyjne metody w zarządzaniu stadem?



Krowa z transponderem

Wśród problemów w kwestii dobrostanu na współczesnych fermach bydła mlecznego - zwłaszcza tych wolnostanowiskowych - jednym z większych jest ochwat i problemy z kulawizną. Szacuje się, że problemy z kończynami dotyczą do 25% pogłowia stad krów mlecznych. Wykrywanie ochwatu z pozoru nie nastręcza hodowcom większych problemów - oparte jest na dokładnej obserwacji krowy w ruchu i reagowaniu na przykurczony, sztywny chód charakterystyczny dla tego schorzenia czy też obserwacji zwierząt w pozycji leżącej (przy ochwacie często przednie kończyny podczas leżenia są wyciągnięte do przodu,).

Zarówno hodowcy, jak i lekarze weterynarii opierający się na metodzie wizualnej zwykle stosują pięciostopniową skalę oceny nasilenia ochwatu na podstawie badań Sprechera (1- krowa jest zdrowa, 5- ostry ochwat). Problemy pojawiają się wraz ze zwiększeniem obsady, kiedy to obserwacja przez pracowników okazuje się być metodą kosztowną, czasochłonną a przede wszystkim niedokładną. Naprzeciw zwiększonym potrzebom hodowców wychodzą techniki Precision Livestock Farming, które oferują szereg praktycznych rozwiązań umożliwiających zastosowanie technologii do wczesnej detekcji ochwatu. Większość z nich opiera się na komputerowej analizie obrazu otrzymanego z kamer, które

rejestrują chód i skupiają się np. na analizie krzywizny grzbietu krowy, nakładaniu się kroków i kąta ustawienia racicy. W badaniu przeprowadzonym przez zespół naukowców z Belgii, Izraela i Holandii, autorzy wykorzystali trójwymiarową kamerę (Kinect, Microsoft) zainstalowaną na wysokości 345 cm nad poziomem podłoga która pionowo z góry nagrywała chód krów po opuszczeniu hali udojowej. Jak się okazało, jednym z najpoważniejszych ograniczeń takiego rozwiązania, który miał znaczący wpływ na liczbę i jakość pomiarów, był korek tworzony przez krowy wracające z hali udojowej w korytarzu, w którym dokonywane były nagrania. Warunkiem rozpoczęcia nagrywania była identyfikacja krowy przez system (krowy przechodziły obok anteny RFID), stąd przy dużym zagęszczeniu zwierząt pojawiały się problemy w identyfikacji i nagrywaniu. Pierwszym etapem po rozpoczęciu nagrywania było przypisanie numeru identyfikacyjnego krowy z numerem nagrywanego filmu - średni poziom takiego udanego przypisania wyniósł $79,5\% \pm 5,7\%$. Oznacza to, że średnio trzy na cztery krowy zostały zidentyfikowane przez system. Dotychczas najbardziej obiecujące w wykrywaniu ochwatu wydają się być metody łączące w sobie dwa lub więcej rozwiązań technologicznych. W badaniu przeprowadzonym przez naukowców na grupie 10 970 krów zastosowano quasi-piezoeleutryczne maty, ułożone w korytarzy prowadzącym z hali udojowej, które rejestrowały chód krów z uwzględnieniem miejsc w których stawały racice. Dodatkowo, w korytarzu zamontowano trzy



Krowa z nowoczesnym transponderem usznym

kamery - nad korytarzem, z boku korytarza i z boku na wysokości racic. Podczas 4 miesięcy około 400 krów raz w tygodniu było monitorowanych przy użyciu tych dwóch metod detekcji ochwatu. Dane otrzymane z maty sensorycznej posłużyły np. do stworzenia wykresu, w którym liczby pików i punktów zwrotnych korelowały z prawidłowym bądź nieprawidłowym chodem krów; istotna była również odległość między poszczególnymi pikami na wykresie. Połączenie dwóch różnych metod: rejestracji obrazu przez kamerę i użycia mat piezoelektrycznych dało bardziej obiecujące efekty niż użycie tylko jednej metody. W komercyjnym użyciu spotkać również można zastosowanie akcelerometrów mierzących cykle wstawania i aktywność krowy, na podstawie których można oszacować ryzyko ochwatu. Urządzenia te nie są jednak tak skuteczne jak kamery i maty piezoelektryczne. Wszystkie jednak metody wymagają wciąż dopracowania - ogólnie nie cechują się wysoką wykrywalnością kulawizn.

Czym w związku z tym jest precyzyjna produkcja mleka? Jest to sposób zarządzania gospodarstwem wyspecjalizowanym w produkcji mleka z uwzględnieniem informacji dotyczących wskaźników fizjologicznych, behawioralnych i technologicznych. Celem tych działań jest oczywiście poprawa ekonomicznej efektywności funkcjonowania stada.

Systemy PDF wykorzystują informacje dotyczące parametrów technologicznych tj. wyniki oceny użytkowości mlecznej (ilość mleka oraz jego skład chemiczny), liczbę komórek somatycznych, poziom mocznika itd., podometry (krokomierze), czujniki zmiany temperatury oraz przewodności mleka, systemy wykrywania rui oraz zmiany masy ciała i kondycji. Precyzyjne zarządzanie stadem opiera się więc w gruncie rzeczy na technologiach informatycznych.

Potencjalną korzyścią wykorzystania nowoczesnych systemów zarządzania stadem jest wzrost efektywności produkcji mleka, redukcja kosztów poprzez monitoring wszystkich aspektów procesu produkcyjnego. Ma to największe znaczenie w dużych stadach, gdzie czas poświęcony pojedynczej krowie w stadzie, jest ograniczony. Negatywnym aspektem działania tego systemu jest zawodność funkcjonowania sensorów na podstawie odczytów, których podejmowane są decyzje przez zarządzającego stadem. Należy pamiętać, że muszą one funkcjonować w niekorzystnych warunkach produkcyjnych, dużej wilgotności oraz zapyleniu.

Zaletą sytemu PDF jest zmniejszone zapotrzebowanie na wykwalifikowaną obsługę. Dane, które uprzednio musiały być gromadzone przez pracowników napływają z hali udojowej, stacji paszowych i innych czujników rozmieszczonych w różnych miejscach obory do komputera i są przez niego przetwarzane. Niestety, nie zwalnia to z konieczności interpretowania uzyskanych wyników przez zarządzających.

Z punktu widzenia dobrostanu zwierząt, łatwiej jest również, szczególnie w licznych stadach, dotrzeć do sztuk, które są chore bądź wymagają interwencji weterynaryjnej.

Oto przykłady systemów wspomagających podejmowanie decyzji w stadach bydła mlecznego. Najwięcej informacji pochodzi z systemu udojowego (hali bądź robota). Od tych najbardziej podstawowych dotyczących ilości produkowanego mleka do tych opisujących skład chemiczny oraz jakość biologiczną. Wykorzystywane one są do podejmowania decyzji dotyczących żywienia krów oraz monitorowania stanu zdrowotnego gruczołu mlekowego. Informacja dotycząca mastitis diagnozowana jest na podstawie zmian przewodnictwa elektrycznego mleka lub bezpośredniego za pomocą licznika komórek somatycznych. Stacje żywienia zwierząt dostarczają informacji o pobraniu paszy treściwej. Natomiast systemu zautomatyzowanego żywienia krów informacji o pobraniu pasz objętościowych. Najnowsze rozwiązania umożliwiają automatyczny pomiar masy ciała krów oraz ocenę kondycji zwierząt. Istnieją również systemy ukierunkowane na monitorowanie chorób metabolicznych krów, oparte o analizę przeżuwania i odłykania treści pokarmowej u poszczególnych sztuk.

Przydatnym narzędziem są również systemy ułatwiające wykrywanie rui u krów. Stosowane są tu różne rozwiązania, począwszy od badania aktywności krów (podometry, nadajniki radiowe), do tych informujących o spadku wydajności oraz pobrania paszy, zmianie temperatury mleka oraz poziomie progesteronu w mleku. Okazuje się, iż najlepszą efektywność, mierzoną wykrywalnością rui, są systemy integrujące kilka z opisanych wyżej rozwiązań.

Najnowsze rozwiązania umożliwiają również monitoring stanu zdrowotnego krowy. W tym celu wykorzystywane są specjalne sensory umiejscowione w przedżołądkach, które niosą informacje dotyczące ciepłoty ciała, odczynu treści oraz motoryki żwacza.

Przeżuwanie

Pobieranie przez krowy pokarmu i czas spędzony na przeżuwaniu daje obszerną informację na temat ich kondycji, zdrowotności, warunków panujących w oborze oraz jakości zadawanej paszy. Krowy spędzają 8-9 h dziennie przeżuwając, przy czym czynność ta wykazuje cykliczność dobową: największą aktywność notuje się nocą i podczas popołudniowego odpoczynku. Ocena przeżuwania i zmian zachodzących w jego przebiegu może być istotnym wskaźnikiem problemów zdrowotnych krowy.

Wśród metod pomiaru czasu przeżuwania najprostszą i najtańszą jest obserwacja - ciągła lub okresowa, prowadzona na „żywo” przez obsługę gospodarstwa lub za pomocą rejestracji wideo - jest jednak metodą czasochłonną, czasem niedokładną. Innym, bardziej nowoczesnym sposobem, jest zastosowanie pojemników do ważenia paszy z których jedzą krowy jednocześnie podlegając identyfikacji, dzięki czemu wiadomo, kiedy i ile zjadła konkretna sztuka. Stosowanie takich pojemników wymaga dużo przestrzeni i jest kosztowne, przez co głównie są one używane w badaniach naukowych. Bardziej praktyczne zastosowanie znalazły

drobne urządzenia jak np. przetworniki ciśnienia, wykorzystujące zasadę zwiększającego się ciśnienia w tubce wypełnionej olejem, umieszczonej w kantarze na nosie krowy, podczas otwierania przez nią pyska. Przetwornik zmienia sygnał mechaniczny na elektryczny, który jest rejestrowany przez komputer, a specjalnie dobrany algorytm klasyfikuje sygnał jako pobieranie lub przeżuwanie pokarmu. Badania przeprowadzone na szwajcarskiej fermie krów rasy Brown Swiss wykazały całkowitą zgodność pomiędzy pomiarami dokonywanymi przez obserwatora a czujnikami ciśnienia pod względem liczby przeżuwania oraz długości fazy pobierania pokarmu i odpoczynku. Inną metodą pomiaru przeżuwania krów jest sensor akustyczny - zwykle umiejscowiony na szyi zwierzęcia. Urządzeniem z zamontowanym mikrofonem rejestrującym dźwięki wydawane podczas odłykania kęsów pokarmu jest kolczyk Qwes-HR (SCR Engineers Ltd., Netanya, Izrael). Czujnik przesyła dane o przeżuwaniu do odbiornika sygnału drogą radiową, skąd następnie jest on przesyłany do komputera, w którym dochodzi do analizy sygnału przez specjalny algorytm. Podobnie jak we wcześniejszych przypadkach okazuje się, że to połączenie trzech różnych metod pomiaru daje znacznie lepsze wyniki niż zastosowanie tylko jednej metody – co potwierdzają inne badania naukowe. Zmniejsza to prawdopodobieństwo błędu i zwiększa specyficzność badania.

W innym badaniu, amerykańscy naukowcy podjęli próbę zbadania, czy istnieje korelacja pomiędzy czasem przeżuwania (Daily Rumination Time, DRT) i aktywnością a chorobami występującymi w okresie okołoporodowym u krów. Do pomiaru DRT posłużyło im urządzenie Hi Tag firmy SRC Engineers Ltd. - zawieszony na obroży po lewej stronie szyi czujnik rejestrujący dźwięki pochodzące z przeżuwania i odbijania przez krowę pobranego pokarmu. Zauważono korelację pomiędzy: czasem przeżuwania i aktywnością przed porodem i po porodzie (im więcej przeżuwała i im bardziej aktywna była krowa przed porodem, tym więcej przeżuwała i tym bardziej aktywna była po porodzie) oraz czasem przeżuwania a wydajnością mleczną. Krowy, które należały do 25% krów o najmniejszej wydajności mlecznej po porodzie wykazywały zmniejszony czas przeżuwania (DRT) mierzony przy użyciu Hi Tag.

Przeżuwanie to czynność fizjologiczna, która podlega dużym wahaniom nie tylko ze względu na zmianę stanu zdrowia krowy, ale też warunków środowiskowych wokół niej a nawet rodzaj zadawanej paszy. Stąd trudności w dokładnym – czyli pozbawionym szumu informacyjnego - monitoringu pobierania paszy. Niemniej jednak, rozwijające się technologie, coraz szerzej dostępne komercyjnie, są źródłem szerokiej gamy szczegółowych informacji o statusie zdrowotnym krowy.

Mleko

Dotychczas analiza składników mleka kojarzyła się głównie z mleczarniami, w których urządzenia służące do tego celu nierzadko wypełniają całe pomieszcze-

nia laboratoryjne i wymagają obsługi przez wykwalifikowany personel. Producent mleka był w stanie ocenić jego jakość „na miejscu” (dojarnia, obora) za pomocą prostych testów np. TOK do ustalenia liczby komórek somatycznych czy też paskowych testów Testoket służących do oceny występowania ciał ketonowych w mleku. W obliczu rosnących wymagań konsumenckich istnieje potrzeba produkcji mleka coraz lepszej jakości i szybkiej eliminacji partii, która nie nadaje się do spożycia bądź nie spełnia wszystkich standardów. Naprzeciw tym potrzebom wychodzą najnowocześniejsze rozwiązania technologiczne proponowane przez firmy zaopatrujące rolnictwo, wpisujące się w nurt Precision Livestock Farming. Mowa tu na przykład o analizatorach mleka w czasie rzeczywistym (Real Time Milk Analyzers), które po zainstalowaniu w dojarni automatycznie pobierają próbki mleka podczas doju i badają konkretny, specyficzny czynnik w mleku. Jednym z takich urządzeń jest AfiLab firmy AfiMilk. Producent zapewnia, że poprzez ciągły przepływ mleka przez urządzenie jest w stanie wykryć ketozę (na podstawie stosunku białka do tłuszczu w mleku).

Z zasady mleko wykazuje dobre przewodnictwo elektryczne i tą jego właściwość wykorzystano do wykrywania mastitis w stadach krów mlecznych. Na skutek zapalenia wymienia w mleku wzrasta stężenie jonów Na^+ i Cl^- , co za tym idzie przewodność elektryczna rośnie. Przenośne urządzenia do badania przewodności elektrycznej mleka są rozpowszechnione na rynku polskim (Dramiński Wykrywacz Mastitis 4Q). Ciekawe rozwiązanie zaproponowała firma Afimilk Afilab - urządzenie do instalacji bezpośrednio w dojarni, które mierzy w czasie rzeczywistym przewodność elektryczną mleka. Niewielka próbka mleka (200ml) jest poddawana bieżącej analizie przez co najmniej 10dni w celu pomiaru średniej przewodności elektrycznej; następnie uzyskany wynik jest porównywany do obecnej przewodności.

Mleko stanowi też cenne źródło informacji o profilu hormonalnym krowy, co może mieć zastosowanie do wykrycia rui bądź ciąży. Pomimo że powiadomienia o rui generowane przez automatyczne systemy zdają się być bardziej dokładne niż obserwacje przez człowieka, nadal jednak charakteryzują się wysoką liczbą alarmów fałszywie pozytywnych i fałszywie negatywnych.

Temperatura

Temperatura wewnętrzna ciała jest jednym z najważniejszych czynników diagnostycznych i prognostycznych w przypadku choroby zwierzęcia. W przypadku bydła jej pomiar stanowi cenne źródło informacji o stanie zdrowia – ponieważ zwierzęta te w naturalnym środowisku padają ofiarami drapieżników, stąd nie okazują one wyraźnych objawów choroby i słabości, dlatego też pomiar temperatury może być jedynym wczesnym wskaźnikiem problemów zdrowotnych zwierzęcia. Przyjmuje się, że u zdrowej krowy w standardowych warunkach środowiska wynosi ona $38,6^{\circ}\text{C}$. Jest to wskaźnik indywidualny, ponieważ różne krowy w tym samym stanie zdrowia i tym samym środowisku mogą mieć nieznacznie różniące się średnie temperatury wewnętrzne ciała.



Nowoczesna obora z kurtynami

Interesujące badanie zostało przeprowadzone przez niemieckich naukowców na farmie krów mlecznych w Branderburgii. Jego celem była walidacja przydatności kamery na podczerwień jako narzędzia służącego do pomiaru temperatury ciała badanych zwierząt. Dziesięć krów mlecznych rasy HF oraz dziewięć cieląt (w wieku od 8 do 35 miesięcy) zostało poddanych badaniu. Temperatura skóry była badana przy użyciu przenośnej kamery na podczerwień OPTRIS PI 160. Kamera została zainstalowana w określonym miejscu tak, aby pomiar mógł być dokonany zawsze z takiej samej odległości i pod samym kątem do powierzchni ciała zwierzęcia (w przypadku krów w maszynie udojowej po boku, a przypadku cieląt przy automatycznym podajniku paszy). Analizie zostały poddawane dwa obszary: głowa (w tym badaniu rozumiana jako obszar występujący przed uszami) oraz całe ciało. Jako wartość referencyjną używano wyników uzyskanych przy pomiarze temperatury rektalnej cyfrowym termometrem (pomiar zawsze na tej samej głębokości 8cm). Przede wszystkim wyniki ukazały dość dużą rozpiętość temperatury badanej wśród zwierząt przy użyciu IRC (infrared camera- kamera na podczerwień). W przypadku krów, na obszarze całego ciała rozpiętość wynosiła od 36°C do 38,7°C podczas gdy na obszarze głowy -35,5°C i 37,5°C.

Jedną z metod automatycznego pomiaru temperatury u bydła jest pomiar temperatury powierzchni ciała. Służą do tego mikrouządzenia instalowane przy powierzchni skóry krowy, np. w postaci kolczyka czy opaski w przypadku kończyny. Urządzenie do automatycznego pomiaru temperatury ciała po przyśrodkowej stronie śródstopia - w miejscu obfitego występowania dobrze

ukrwionych partii mięśni - w taki sposób, aby dokładnie przylegało do ciała, co zapewnił „muszelkowy” kształt. Pomiar temperatury dokonywany był podczas jesieni, zimy i lata, przez kolejne wybrane 3 dni. Dla porównania, temperatura rektalna, mierzona była termometrem rtęciowym co dwie godziny. Uwzględniając dwa czynniki - porę roku i godzinę pomiaru- zastosowano model statystyczny, który wykazał co następuje: poprzez pomiar temperatury powierzchni skóry (ST) da się przewidzieć temperaturę rektalną (RT) z różnicą pomiędzy przewidzianą RT a zmierzoną RT 0,10°C. Wydaje się to być obiecującą metodą, wymaga jednak szerszej zakrojonych badań.

Na rynku dostępne są również kolczyki, które mierzą temperaturę ciała w miejscu stykania się ich z uchem, a także bolusy dozwaczowe mierzące temperaturę panującą wewnątrz przedżołądka (zwykle o ograniczonym czasie użytkowania). Wszystkie wymienione urządzenia cechują się mniejszą bądź większą skutecznością, należy jednak mieć na uwadze, że stanowią znaczne ułatwienie dla hodowcy w zarządzaniu stadem.



Program świetlny dla krów

Rozród

Okres okołowycieleniowy jest bardzo istotnym etapem w życiu krowy. Prawidłowy przebieg porodu i bezproblemowe wejście w laktację nie daje gwarancji, ale na pewno znacząco zwiększa szansę na dobrą produkcję mleka i zdrowotność. Precyzyjne określenie czasu nadchodzącego wycielenia nie tylko zmniejsza ryzyko dystocji, przedłużającego się porodu i związanego z tym bólu, ale również poprawia wskaźniki rozrodu w nadchodzącej laktacji. W nurcie tym powstaje coraz więcej urządzeń ułatwiających określenie momentu porodu. Niektóre z nich opierają się na zmianie temperatury wewnętrznej ciała, która spada przed

zbliżającym się porodem. Należą do nich np. Cow Call, czujnik zmian temperatury i oświetlenia, który jest wkładany do pochwy na 14 dni przed oczekiwanym dniem wycielenia by zostać aktywowanym podczas pęknięcia pęcherza płodowego. Pod wpływem ciśnienia i poślizgu urządzenie jest wypierane na zewnątrz, gdzie reagując na światło, wysyła informacje do hodowcy o nadchodzącym porodzie. Jednym z najbardziej rozpowszechnionych urządzeń jest czujnik wycieleń Mo-ocall, który opiera się na pomiarze ruchów ogona krowy, których częstotliwość zwiększa się przed wycieleniem. Na 5 dni przed wycieleniem, krowy unoszą ogon do defekacji i oddawania moczu znacznie częściej i na dłuższy czas niż zwykle. Gdy rozpoczynają się pierwsze skurcze macicy przy porodzie, unoszenie ogona staje się jeszcze częstsze i nie towarzyszy mu defekacji ani wydalanie moczu. Czujnik wymyślony przez irlandzkich farmerów wysyła wiadomość tekstową do hodowcy na około 1 h przed zbliżającym się porodem. Innym przykładem zastosowania technologii do precyzyjnego określenia momentu wycielenia jest urządzenie Agrimonitor - pas, zakładany na brzuch zwierzęcia, który monitoruje skurcze mięśni brzucha i informuje o przebiegu porodu. W sytuacji eutocji, alarm wysyłany jest na końcu wycielenia. Jeżeli natomiast zachodzi zaburzenie liczby, częstotliwości i siły skurczów, urządzenie wysyła sygnał tak aby pomoc mogła być zaoferowana odpowiednio wcześniej. Przykładem pracy, w której wykorzystano zachowanie się krów jako indykator ich stanu fizjologicznego jest praca izraelskich badaczy, którzy w swoim doświadczeniu wykorzystali sensor behawioru wyprodukowany przez S.A.E. Afikim Company (Kibbutz Affikim, Izrael), umieszczony w urządzeniu przytwierdzonym do nogi, który mierzy liczbę kroków, czas leżenia krowy oraz tzw. cykle wstawania (lying bouts). Z dostępnej literatury wynika że dotychczas najwyższą skuteczność w określaniu momentu rozpoczęcia porodu uzyskuje się poprzez pomiar zarówno czynników behawioralnych, jak i fizjologicznych. W badaniach przeprowadzonych przez zespół Ouelleta ewaluacji poddano system oparty na czterech wskaźnikach: czas przeżuwania, temperatury waginalnej oraz czasu leżenia i cyklu wstawania. Do pomiaru czasu przeżuwania zastosowano kolczyk mierzący liczbę ruchów ucha podczas przeżuwania. Uzyskany wynik wykazał, że czas przeżuwania znacząco zmniejszał się na cztery dni przed porodem (średnio 41 min. ± 17 min./24h). Krowy na 4 dni przed porodem w badaniu podnosiły się również częściej, wg pomiarów uzyskanych przez akcelerometr przymocowany do prawej kończyny miednicznej. Skrócił się ich czas leżenia od czwartego dnia przed wycieleniem skracał się progresywnie do momentu wycielenia. Kombinacja uzyskanych danych przyniosła skuteczność w dokładności przewidzeniu momentu wycielenia na poziomie 77% czułości i 77% swoistości, czyli- wg autorów- wyższą niż przy ocenianiu każdego z tych czynników osobno. Faktem jest, że z osobna wszystkie mierzone czynniki nie pozwalały na precyzyjne określenie czasu porodu - dopiero ich kombinacja pozwoliła uzyskać akceptowalną wiarygodność i odpowiednie poziomy wrażliwości i specyficzności.

Ruja

Na początku ubiegłego wieku, Wang i Slonaker donieśli o badaniu przeprowadzonym na szczurach, w którym zaobserwowano znacznie zwiększoną aktywność ruchową tych zwierząt w czasie fazy rujowej. Dwadzieścia lat później udowodniono, że zwiększoną aktywność fizyczną okazują również kobiety w fazie estrus cyklu płciowego. Z biegiem czasu zaczęły powstawać prace, w których wykorzystywano pedometr do pomiaru liczby kroków robionych przez krowę, by wysunąć jednoznaczny wniosek - liczba kroków u krów w fazie rujowej zwiększa się znacznie w porównaniu do pozostałych faz cyklu rujowego. Podobnie jak w przypadku porodu, urządzenia do precyzyjnego określenia momentu wystąpienia rui można podzielić na dwa rodzaje – mierzące behavior krów oraz parametry fizjologiczne. Do tych pierwszych należą wspomniane wcześniej pedometry, ale także mierniki aktywności mocowane na szyi, mierzące liczbę ruchów szyi w trzech płaszczyznach (Alpro firmy DeLaval International AB; Heat Box, Genes Diffusion) oraz urządzenia mierzące jednocześnie liczbę kroków i cykli wstawania, tworzące na podstawie tego algorytm wskazujący na poziom aktywności krowy IceTag3D, IceRobotics Ltd., Edinburgh, UK. Popularne są też kamery rejestrujące zachowanie zwierząt. Nowo zaprojektowany we Francji system oparty na ciągłym nagrywaniu zwierząt (łącznie z porą nocną, kiedy używa się kamery podczerwonej) zakłada, że analizie poddawany jest tylko obraz na którym krowa porusza się. Stąd wszystkie fragmenty, podczas których brak jest rejestracji ruchu krowy, są eliminowane z pomiarów. Do drugiego typu urządzeń należą te monitorujące parametry fizjologiczne krów. Wymienić tu należy bolusy dopochwowe (VelPhone Medria, Radco Verdor NV) i doodbytnicze (Thermobolus Medria). U krów temperatura ciała zmniejsza się stopniowo na 2 dni przed rują by osiągnąć najniższą wartość przy wyrzucie hormonu LH. W badaniach przeprowadzonych na 21 krowach u których wywołano ruję wykazano średni spadek temperatury o 0,48°C., w czasie wyrzutu LH – ci sami autorzy opracowali model oparty na pomiarze temperatury waginalnej do przewidzenia momentu wyrzutu hormonu LH- udało im się osiągnąć to z dokładnością do 76%. Warto podkreślić, że w Polsce odpowiedzią na potrzeby tego typu urządzeń pojawiło się rozwiązanie e-stado, które bazuje na nowatorskiej technologii biosensorów usznych zasilanych za pomocą ogniw fotowoltaicznych, które są w stanie monitorować wiele funkcji zwierząt, poczynając od temperatury, przeżuwania, rui, a na stresie termicznym i cyklu świetlnym kończąc.

Precision Livestock Farming to prężnie rozwijająca się dziedzina, która z definicji zakłada zwiększenie produktywności i polepszenie strategii zarządzania stadem poprzez użycie urządzeń mierzących precyzyjnie wskaźniki fizjologiczne, behawioralne i produkcyjne krów. Jej celem jest maksymalizacja indywidualnego potencjału zwierzęcia, gdyż właśnie na nim się skupia. Benefity wynikające z rozwoju Precision Livestock Farming to poprawa opłacalności hodowli, redukcja strat, wczesna prewencja chorób, optymalizacja jakości produkcji a także

– zwiększenie dobrostanu zwierząt poprzez lepsze zrozumienie ich potrzeb, fizjologii i behawioru. Technologie informacyjne - czyli technologie związane ze zbieraniem i przetwarzaniem informacji przy użyciu sprzętu elektronicznego – zrewolucjonizowały już takie dziedziny jak np. medycyna. Na tym etapie rozwoju być może zbyt odważnym byłoby nazywać to rewolucją w zarządzaniu stadem – z pewnością można jednak zaryzykować stwierdzeniem, że jest to ewolucja w kierunku przyszłości.



Krowy na legowiskach

Biotechniki w rozrodzie bydła

Stały postęp genetyczny i produkcyjny w chowie i hodowli zwierząt gospodarskich tradycyjnymi metodami jest ograniczony nie tylko możliwościami fizjologicznymi organizmu oraz warunkami środowiskowymi, ale również słabym przepływem informacji, a przez to jest mniej efektywny. Dlatego możliwości osiągnięcia dalszego postępu upatruje się w zastosowaniu do chowu i hodowli zwierząt osiągnięć z szeregu nauk podstawowych tj.: biologii, genetyki molekularnej, genomiki, embriologii, fizjologii i biochemii, bioinformatyki i statystyki, automatyki i robotyki oraz techniki. Wspólne wykorzystanie technik właściwych tym dziedzinom nauki zwykł się nazywać biotechnologią.

Synchronizacja rui

Ograniczone możliwości rozrodcze samic zwierząt gospodarskich, są zasadniczym czynnikiem limitującym postęp hodowlany. Osiągnięcia endokrynologii rozrodu dają możliwości zarówno zwiększenie ich potencjału rozrodczego, jak i też sterowania procesami rozrodczymi. Do jednej z najważniejszych technika należy synchronizacja rui.

Jest to metoda pozwalająca na zaplanowanie rui oraz owulacji z góry określonym terminie. Synchronizacja rui jest więc narzędziem służącym do zminimalizowania nakładów pracy podczas sezonu rozrodczego oraz pozwalającym na efektywne wykorzystanie inseminacji do maksymalizacji postępu hodowlanego w stadzie. Sterowanie cyklem rujowym poprzez synchronizację rui umożliwi uzyskanie sezonowości porodów oraz kryć. Oprócz tego hodowcy, którzy stosują synchronizację w stadzie mogą również liczyć na poprawę wskaźników ekonomicznych. Koncentracja porodów pozwala na ograniczenie kosztów obsługi oraz zmniejszenie strat poprzez lepszą opiekę nad stadem. W chowie bydła mięsnego koszty odchowu cieląt, które w naszych warunkach klimatycznych rodzą się zimą, są znacznie niższe, w porównaniu do tych rodzących się latem i jesienią, gdyż mogą młode osobniki mogą korzystać z najtańszej dostępnej paszy, jaką jest pastwisko.

Drugim ważnym powodem wykorzystywania synchronizacji rui w rozrodzie zwierząt gospodarskich jest możliwość uniknięcia błędów związanych z właściwym ustaleniem momentu krycia samic. W przypadku wysoko wydajnych stad bydła mlecznego, gdzie często obserwowana jest tzw. cicha ruja, nawet ponad 50% wystąpień rui może zostać niewykryte, powodując ogromne straty ekonomiczne. Dokładne ustalenie odpowiedniego terminu inseminacji samic wymaga wielu obserwacji lub instalowania zaawansowanych systemów wykrywania rui, co zwiększa koszty obsługi zwierząt.

Synchronizacja rui może być stosowana zarówno w stadach bydła mięsnego jak i mlecznego, jednak w każdym z tych wariantów spełnia nieco inne zadania. Głównym problemem producentów mleka jest zapłodnienie krowy w odpowiednim czasie po porodzie, natomiast hodowcy bydła mięsnego dążą do zacielenia wszystkich krów w krótkim czasie. Niezależnie od kierunku produkcji wszyscy hodowcy bydła zmierzają do skrócenia okresu międzyciążowego oraz międzycieleniowego, co jest niezbędnym warunkiem uzyskania satysfakcjonujących wyników ekonomicznych.

MOET (Multi Ovulation and Embryo Transfer) – superowulacja i embriotransfer

Przydatność techniki MOET w rozrodzie zwierząt gospodarskich wynika z możliwości zwiększenia wydajności rozrodczej samic, a w konsekwencji może prowadzić do przyspieszenia postępu hodowlanego w stadzie. Oprócz wykorzystania tej metody we doskonaleniu genetycznym zwierząt może być również stosowana do produkcji bliźniąt lub rozwiązywania problemów natury sanitarno-weterynaryjnej.

Metoda ta znalazła najszersze zastosowanie u bydła i chociaż skala jej stosowania jest znacznie węższa niż inseminacji, stanowi ważne narzędzie praktycznie wykorzystywane w doskonaleniu genetycznym bydła. Znaczenie wykorzystywania techniki MOET u pozostałych gatunków jest znacznie mniejsze z powodu ograniczonych możliwości zwiększenia potencjału rozrodczego owiec, kłaczy czy loch. W przypadku bydła, na krowy dawczyni zarodków wybiera się krowy o dużej wartości hodowlanej, bo to właśnie od nich zależą założenia genetyczne jakie zostaną przekazane uzyskiwanym zarodkom. Natomiast biorczyniami za-

rodków najczęściej są krowy o małej wartości hodowlanej i słabej produktywności, ale charakteryzujące się bardzo dobrą płodnością.

Główne etapy przenoszenia zarodków:

- synchronizacja cykli u dawczyni i biorczyni
- wywołanie superowulacji u dawczyń zarodków
- zapłodnienie dawczyń
- pozyskanie zarodków z dróg rodnych dawczyń
- ocena jakości, przemywanie zarodków
- przechowywanie (kriokonserwacja)
- transfer zarodków świeżych/ mrożonych do macicy biorczyni.

Superowulacja jest podstawowym i jednocześnie najbardziej krytycznym ogniwem całej procedury. Ostatecznie o liczbie uzyskanych zarodków decyduje wiele czynników min.: reakcja jajników na podany hormon, stadium cyklu rujowego, warunki zapłodnienia oraz rozwój zarodków. Najważniejszym czynnikiem decydującym o przebiegu superowulacji jest natomiast fizjologiczny stan jajnika w momencie podawania hormonów. Następnie zarodki, w fazie moruli lub blastocysty, wciąż otoczone osłonką przejrzystą, są wyplukiwane z dróg rodnych dawczyni 6-8 dni po zakończeniu rui. Po wyplukaniu zarodki poddane są ocenie oraz selekcji. Przeciętnie od każdej dawczyni uzyskujemy od 8-10 zarodków z czego 6 nadaje się do transferu.

Zarodki mogą zostać przenoszone do krów biorczyń od razu lub mogą zostać zamrożone (kriokonserwacja). Najczęściej zarodki wprowadzane są do dróg macicy biorczyni poprzez specjalny kateter. Skuteczność transferu oscyluje wokół 50-60%. Oczywiście przed przeniesieniem zarodka do dróg rodnych krowy biorczyń musi ona zostać uprzednio odpowiednio przygotowana hormonalnie, by znajdowała się w tym samym stanie fizjologicznym co krowa dawczyni. Zarodek wprowadza się do tego samego rogu, gdzie stwierdzono wystąpienie ciątka żółtego. Efektywność tej metody, mierzona współczynnikiem zapłodnialności jest dość zmienna i zależy zarówno od osoby wykonującej zabieg, jakości zarodków, jak i właściwego przygotowania krowy biorczyni i jej stanu zdrowotnego.

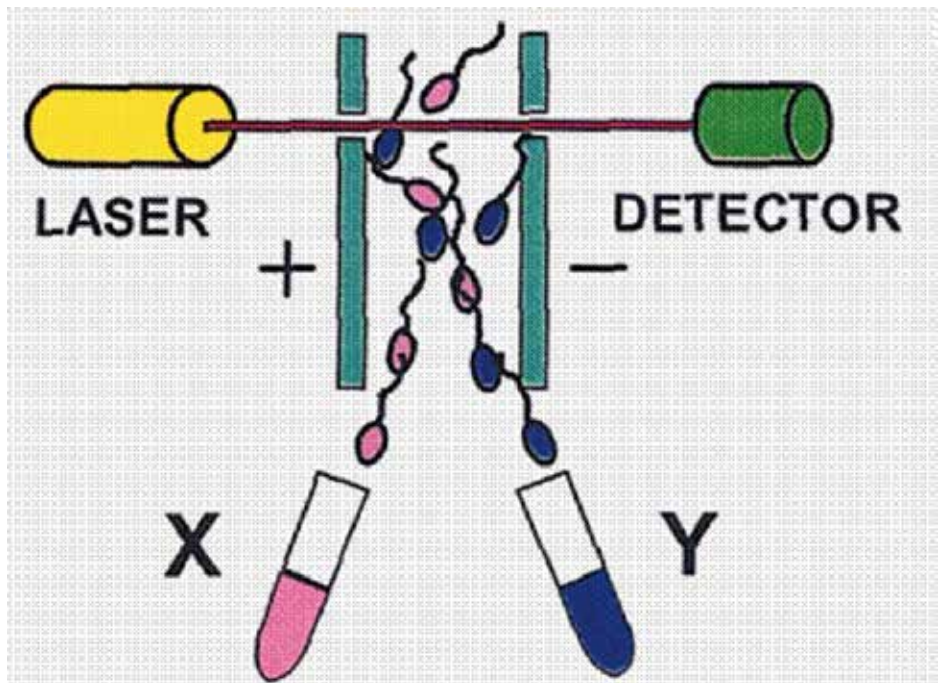
Seksowanie plemników oraz zarodków

Możliwość regulacji płci od lat przyciąga uwagę hodowców zwierząt gospodarskich. Dysponowanie większą liczbą samic jest korzystnie nie tylko z punktu widzenia przyspieszenia prac hodowlanych oraz remontu stada, ale jest szczególnie przydatna w ratowaniu gatunków zagrożonych wyginięciem. Z kolei przewaga samców, z ich lepszymi cechami opasowymi i tucznyymi oraz lepszym umięśnieniem jest pożądana z ekonomicznego punktu widzenia. W intensywnej prowadzonej produkcji mleka hodowcy bardzo często mają kłopoty z płodnością oraz długowiecznością wysokowydajnych krów. Dla nich wykorzystanie seksowanego nasienia jest warunkiem zachowania reprodukcji prostej w stadzie.

Genetyczna płeć potomstwa ssaków determinowana jest w trakcie zapłodnienia przez samca. To właśnie samiec posiadając komplet chromosomów płciowych XY, produkuje zarówno plemniki X – determinujące płeć żeńską, jak

i Y – determinujące płeć męską. Nie ma zatem znaczenia liczba chromosomów X, bo różnice pomiędzy płcią męską i żeńską są uwarunkowane wystąpieniem chromosomu Y.

Urządzeniem służącym do seksowania plemników jest cytometr przepływowy. Przed analizą w cytometrze plemniki są barwione za pomocą fluorescencyjnych substancji, które łatwo przenikają do wnętrza plemnika przez nieuszkodzoną błonę komórkową i łączą się stechiometrycznie z DNA. Substancje te pobudzone światłem ultrafioletowym fluoryzują w paśmie 450 nm. Następnie detektor odczytuje fluorescencję DNA za pomocą specjalnych detektorów. Kolejnym krokiem jest nadanie różnoimiennych ładunków plemnikom. Opadające plemniki pomiędzy różnoimiennie naładowanymi płytkami zmieniają swój tor lotu i w rezultacie trafiają do dwóch pojemników. W jednym znajdują się plemniki z ładunkiem „+” – X oraz „-” – Y. Frakcja plemników martwych trafia do odrębnego naczynia.

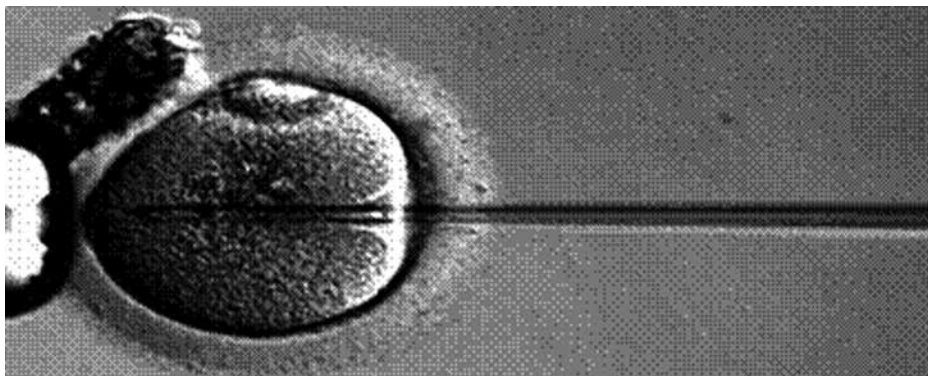


Schemat funkcjonowania cytometru przepływowego

Prędkość przepływu plemników sięga 40 000 komórek/sekundę, co pozwala uzyskać w ciągu godziny 15-20 mln o czystości frakcji osiągającej 90%. Nasienie takie mroźne w słódkach zawiera przeciętnie ok. 2-2,5 mln plemników, z których po rozmrożeniu 50-60% wykazuje ruch postępowy. Skuteczność inseminacji krów mlecznych z wykorzystaniem nasienia seksowanego jest o około 25% niższa niż w przypadku nasienia konwencjonalnego.

Transgeneza

Nowe techniki genetyki molekularnej oferują hodowcom nowe narzędzia, które również mogą mieć zastosowanie w hodowli zwierząt. Jednym z nich jest właśnie transgeneza. Jest to proces modyfikacji genetycznej DNA gospodarza poprzez wprowadzenie do jego genomu komórek obcego pochodzenia. W wyniku tego procesu powstają organizmy modyfikowane genetycznie, tzw. GMO (z ang. Genetically Modified Organism), nazywane również organizmami transgenicznymi, które zawierają w swoim genomie obce geny, pochodzące z obcego organizmu. Dziedziną nauki zajmującą się modyfikacjami organizmów jest inżynieria genetyczna, która umożliwia wyizolowanie i namnożenie dowolnego genu z dowolnego organizmu i za pomocą różnych metod wprowadzenie go do genomu modyfikowanego organizmu. Modyfikacje zwierząt gospodarskich mają na celu uzyskanie zwierząt o pożądanych cechach w hodowli – szybciej rosnące świnie, ryby, jak również zastosowania ich w doświadczałnictwie, medycynie do produkcji enzymów i innych substancji wykorzystanych w przemyśle farmaceutycznym (tzw. bioreaktory). Modyfikacje genetyczne zwierząt nie są tak popularne jak roślin, głównie ze względu na trudności w samym procesie modyfikacji. Transgeneza zwierząt jest o wiele bardziej skomplikowaną techniką, trwa długo, a koszty są bardzo duże. Zwierzęta modyfikowane genetycznie często chorują lub są bezpłodne.



Mikroiniekcja do jądra komórki

Ponad 90% uzyskanych zwierząt transgenicznych wykorzystywane jest w celach naukowych do poznawania mechanizmów funkcjonowania genomu oraz czynników wpływających na ekspresję genów. Wiele zwierząt wykorzystywanych jest również jako zwierzęce modele chorób ludzkich oraz w trakcie walidacji środków farmaceutycznych. Coraz większego rozpędu nabiera również produkcja zwierząt w celu wykonywania ksenotransplantacji. Zmodyfikowane białka występujące w mleku lub białku jaja kurzego po modyfikacjach wykorzystane

są do produkcji substratów farmakologicznych. Techniki związane z inżynierią genetyczną wykorzystywane są również w procesie doskonalenia genetycznego zwierząt. Ważnym działem inżynierii genetycznej zwierząt jest dział poświęcony wytworzeniu zwierząt odpornych na choroby. Inne badania z kolei koncentrują się na poprawie walorów odżywczych oraz zdrowotnych białek spożywanych w mleku i mięsie, chociażby poprzez zwiększenie w nich zawartości kwasów z rodziny omega-3. Część badań nad modyfikacjami genetycznymi zwierząt koncentruje się wokół zagadnień związanych z ochroną środowiska.

Klonowanie

W biologii mianem klonu określa się organizmy mające identyczny lub prawie identyczny materiał genetyczny. Klonami są więc organizmy powstałe w procesie rozmnażania wegetatywnego, takie jak kolonie bakterii, jednokomórkowców, odrośla i rozmnożki roślin itp. Naturalny proces powstawania identycznych genetycznie osobników w świecie zwierząt należy do rzadkości. Poza poliembrionią obserwowaną u pancerników, zjawisko to raczej ograniczone jest do powstawania bliźniąt jednojajowych. Monozygotyczne zwierzęta stanowią przede wszystkim bardzo cenny materiał doświadczalny. Otrzymywanie takich osobników stało się również przedmiotem zainteresowania ośrodków hodowlanych. Wykorzystanie tej metody wraz z pozostałymi biotechnologiami stosowanymi w rozrodzie mogłoby się przyczynić do przyspieszenia postępu hodowlanego. Istotnym ograniczeniem zastosowania tej metody jest jej niska efektywność oraz wysokie koszty.

Obecnie bardzo intensywnie rozwija się klonowanie zarodków ssaków, co umożliwia uzyskanie wielu identycznych osobników.

Zupełnie odmienną metodą zaczęto próbę klonowania z wykorzystaniem dorosłych, zróżnicowanych komórek ssaczy. Po raz pierwszy udało się sklonować organizm korzystając z komórki dorosłego ssaka. Materiał genetyczny dorosłej komórki somatycznej wprowadzono do komórki jajowej pozbawionej jądra komórkowego i tą komórkę implantowano do macicy trzeciego organizmu. W ten właśnie sposób powstała najstynniejsza owca świata – Dolly. Technika ta wiąże ze sporym ryzykiem deformacji rozwojowych, a także jej istotną wadą jest bardzo niska wydajność.

Bibliografia:

1. Aoki M., Kimura K., Suzuki O., 2005, Predicting time of parturition from changing vaginal temperature measured by data-logging apparatus In beef cow with twin fetuses, *Animal reproduction Science* 86, s. 1-12
2. Archer S.C., Green M.J., Huxley J.N., 2010, Association between milk yield and serial locomotion score assessments in UK dairy cows, *Journal of Dairy Science* 93, s. 4045–4053
3. Bareille, N., Beaudeau, F., Billon, S., Robert, A., Faverdin, P., 2003, Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows, *Livestock Production Science* 83, s. 53-62
4. Braun U., Trösch L., Nydegger F., Hässig M., 2013, Evaluation of eating and rumination behaviour in cows using a noseband pressure sensor, *BMC Veterinary Research*, s. 164-170
5. Bueno L., Tainturiere D., Ruckebusch Y., 1981, Detection of parturition in cow and mare by a useful warning system, *Theriogenology* 16, s. 599-605
6. Burfeind O., Suthar V.S., Voigtsberger R., Bonk S., Heuwieser W., 2011, Validity of prepartum changes in vaginal and rectal temperature to predict calving in dairy cows, *Journal of Dairy Science* 94, s. 5053-5061
7. Burfeind O., von Keyserlingk M.A., Weary D.M., Veira D.M., Heuwieser W. , 2010, Short communication: repeatability of measures of rectal temperature in dairy cows, *Journal of Dairy Science* 93(2), s. 624-627
8. Chapinal N., De Passille A.M., Weary D.M., Von Keyserlingk M.A.G., Rushen J., 2009, Using gait score, walking speed, and lying behavior to detect hoof lesions in dairy cows, *Journal of Dairy Science* 92, s. 4365-4374
9. Fabian J., Laven R.A., Whay H.R., 2014, The prevalence of lameness on New Zealand dairy farms: A comparison of farmer estimate and locomotion scoring, *Veterinary Journal* 201, s. 31-38
10. Farris, E. J., 1944, Comparison of patterns of cyclic activity of women and the female albino rat, *The Anatomical Record* 89, s. 536
11. Fisher A.D., Morton R., Dempsey J.M., Henshall J.M., Hill J.R., 2008, Evaluation of a new approach for the estimation of the time of the LH surge in dairy cows using vaginal temperature and electrodeless conductivity measurements, *Theriogenology* 70, s. 1065–1074
12. Gołębiewski M., 2014, Przeżuwanie – pomiar i znaczenie dla dobrostanu krów mlecznych,
13. González, L. A., B. J. Tolcamp, M. P. Coffey, A. Ferret, and I. Kyriazakis, 2008, Changes in feeding behaviour as possible indicators for the automatic monitoring of health disorders in dairy cows, *Journal of Dairy Science* 91, s. 1017–1028.
14. Green L.E., Huxley J.N., Banks C., Green M.J., 2014, Temporal associations between low body condition, lameness and milk yield in a UK dairy herd, *Preventive Veterinary Medicine* 113, s.63–71

15. Hoffmann G., Schmidt M., 2015, Monitoring the body temperature of cows and calves with a video- based infrared thermography camera, *Precision Livestock Farming Applications*, s. 231-238
16. Hogeveen H., Buma K.J., Jorritsma R., 2013, Use and interpretation of mastitis alerts by farmers, *Precision Livestock Farming. European Conference on Precision Livestock Farming '13 (ECPLF)*, s. 313-319
17. Kamphuis C., Huijps K., Hogeveen H., 2015, Evaluating progesterone profiles to improve automated oestrus detection, *Precision Livestock Farming Applications*, s. 279-285
18. Khanal, A. R., J. Gillespie, J. MacDonald, 2010, Adoption of technology, management practices, and production systems in US milk production, *Journal of Dairy Science* 93, s. 6012–6022
19. Kou H, Zhao Y, Ren K, Chen X, Lu Y, Wang D, 2017, Automated measurement of cattle surface temperature and its correlation with rectal temperature, *PLoS ONE* 12(4): e0175377. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175377>
20. Lehrer A.R. ,1992, Oestrus detection in cattle: recent developments, *Animal Reproduction Science*, 28 s. 355-361
21. Liboreiro D.N., Machado K.S., Endres M.I., Chebel R.C., 2015, Investigating the use of rumination sensors during the peripartum period in dairy cows, *Precision Livestock Farming Applications*, s.143-147
22. Maltz E., Maltz E., A. Antler A., 2007., A practical way to detect approaching calving of the dairy cow by a behaviour sensor, *Precision livestock farming '07* , Academic Publishers, s. 141-146
23. Metzner M., Sauter-Louis C., Seemueller A., Petzl W., Klee W, 2014, Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: characteristics, methods, and correlation with rectal temperature, *Veterinary journal* 199(1), s. 57–62
24. Ouellet V., Vasseur E., Heuwieser W., Burfeind O., Maldague X., Charbonneau É., 2016, Evaluation of calving indicators measured by automated monitoring devices to predict the onset of calving in Holstein dairy cows, *Journal of Dairy Science* 99 (2), s. 1539-1548
25. Peralta O.A., Pearson R.E., Nebel R.L. , 2005, Comparison of three estrus detection systems during summer in a large commercial dairy herd, *Animal Reproduction Science*, 87, s. 59-72.
26. Pluk A., Bahr C., Leroy T., Poursaberi A., Song X., Vranken E., Maertens W., Van Nuffel A., berckmans D., 2010, Evaluation of step overlap as an automatic measure in dairy cow locomotion, *Transactions of the ASABE* 53, s. 1305-1312
27. Poikalainen V., Praks J., Kokin E., Aland A., Veermäe I, Peets S., Ahokas J., Pastell M., Hautala M., Berckmans D., Bahr C., and Miljkovic D., 2010, Elaboration of Basic Methods for Automatic Analysis of Cows' Gait, *Agronomy Research* 8 (1), s. 216-225
28. Poursaberi A., Bahr C., Pluk A., Van Nuffel A., Berckmans D., 2010, Real-time automatic lameness detection based on back posture extraction in dairy

- cattle: shape analysis of cow with image processing techniques, *Computers And Electronics in Agriculture* 74, s. 110-119
29. Reith S, Hoy S., 2011, Analysis of physical activity, rumination and body weight of dairy cattle during oestrus using sensor-aided systems, *Proceedings of 8th EFITA/WCCA Conference; Prague, Czech Republic*, s. 107-115
 30. Rutherford K.M., Langford F.M., Jack M.C., Sherwood L., Lawrence A.B., Haskell M.J., 2009, Lameness prevalence and risk factors in organic and non-organic dairy herds in the United Kingdom, *Veterinary journal* 180 (1), s. 95-105
 31. Saint-Dizier M., Chastant-Maillard S., 2012, Towards an Automated Detection of Oestrus in Dairy Cattle, *Reproduction in Domestic Animals* 47, s. 1056-1061
 32. Schirmann, K., N. Chapinal, D. M. Weary, L. Vickers, and M. A. G. von Keyserlingk, 2013, Short communication: Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows, *Journal of Dairy Science* 96, s. 7088-7092
 33. Schlageter – Tello A., Van Hertem T., Viazzi S., Bokkers E.A.M., Groot Korkamp P.W., Machteld Steensels C., Romanini C.E.B., Bahr C., Halachmi I., Berckmans D., Lokhorst C., 2015, Hoof lesion detection with manual and automatic locomotion scores in dairy cattle, *Precision Livestock Farming Applications*, s. 65-70
 34. Senger P.L., 1994, The Estrus Detection Problem: New Concepts, Technologies, and Possibilities, *Journal of Dairy Science* 77 (9), s.2745-2753
 35. Sprecher D.J., Hostetler D.E., Kaneene J.B., 1997, A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance, *Theriogenology* 47 (6), s. 1179-1187
 36. Tinsky M., Zaguri S., Pelese E., Saran A., Feingold D., Early Detection Of Clinical And Sub-Clinical Mastitis Using An On-Line Electrical Conductivity Device In The Parlor
 37. Van De Gucht T., Saeys W., Van Nuffel A., Pluym L., Piccart K., Lauwers L., Vangeyte J., Van Weyenberg S., 2017, Farmers preferences for automatic lameness- detection systems in dairy cattle, *Journal of Dairy Science* 100 (7), s. 5746-5757
 38. Van Hertem T., E. Maltz A. Antler, C. E. B. Romanini S. Viazzi, C., Bahr A. Schlageter-Tello, C. Lokhorst, D. Berckmans, I. Halachmi, 2013, Lameness detection based on multivariate continuous sensing of milk yield, rumination, and neck activity, *Journal of Dairy Science* 96, s. 4286-4298
 39. Van Hertem T., Viazzi S., Schlageter – Tello A., Bahr C., Steensels M., Romanini C.E.B., Lokhorst C., Maltz E., Halachmi I., Berckmans D., 2015, Risk factors for system performance of an automatic 3D vision locomotion monitor for cows, *Precision Livestock Farming Applications*, s. 45-53
 40. Van Hertem T., Viazzi S., Steensels M., Maltz E., Antler A., Alchamatis V., Schlageter- Tello A., Lokhorst K., Romanini E., Bahr C., Berckmans D., Halach-

- mi I., 2014, Automatic lameness detection based on consecutive 3D-video recordings, *Biosystems Engineering* 119, s. 108-116
41. Viazzi S., Bahr C., Van Hertem T., Schlageter- Tello A., Romanini C.E.B., Halachmi I., Lokhorst C., Berckmans D., 2014, Comparison of a three dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows, *Computer and Electronics in Agriculture* 100, s. 139-147
 42. Wehrend A., Hofmann E., Failing K. , Bostedt H., 2006, Behaviour during the first stage of labour in cattle: Influence of parity and dystocia , *Applied Animal Behaviour Science* 100, s. 164–170
 43. Whay H., 2002, Locomotion scoring and lameness detection in dairy cattle, *In Practice* 24, s. 444-449

