

UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

WYDZIAŁ HODOWLI I BIOLOGII ZWIERZĄT

Marcin Piotr Brzozowski

**WPLYW AUTOMATYCZNEGO SYSTEMU
DOJU NA CECHY PRODUKCYJNE
I FUNKCJONALNE KRÓW MLECZNYCH**

Praca wykonana w Katedrze Biotechnologii
i Genetyki Zwierząt
przedstawiona jako dysertacja doktorska
Radzie Wydziału Hodowli i Biologii Zwierząt
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
w Bydgoszczy

Promotor:
dr hab. Dariusz Piwczyński, prof. nadzw. UTP
Promotor pomocniczy:
dr hab. inż. Mariusz Bogucki

BYDGOSZCZ – 2018 R.

*Składam serdeczne podziękowania promotorowi mojej pracy
Panu dr. hab. inż. Dariuszowi Piwczyńskiemu, prof. nadzw. UTP
oraz promotorowi pomocniczemu
Panu dr. hab. inż. Mariuszowi Boguckiemu
za życzliwą opiekę, zaangażowanie oraz wszechstronną pomoc
udzieloną mi podczas powstawania tej pracy*

*Dziękuję również
Pani dr hab. inż. Beacie Sitkowskiej
za cenne uwagi i wskazówki oraz wszelką pomoc
udzieloną przy realizacji badań*

*Szczególne podziękowania składam
Żonie i Rodzicom
za cierpliwość, wyrozumiałość i wsparcie*

SPIS TREŚCI

WSTĘP	13
1. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA	15
1.1. Ocena wartości użytkowej i hodowlanej bydła mlecznego w Polsce.....	15
1.2. Automatyczny system doju – historia wdrażania i wynikające z tego korzyści.....	18
1.3. Instalacja AMS	20
1.4. Proces doju w AMS	22
1.5. Użytkowość krów w AMS.....	25
1.6. Zarządzanie stadem w AMS.....	29
1.7. Dobrostan krów w oborach wyposażonych w AMS.....	31
2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ	33
2.1. Wydajność i skład mleka w pierwszej i drugiej laktacji pełnej	35
2.2. Liczba komórek somatycznych w mleku z próbnym udojów	36
2.3. Cechy reprodukcyjne krów	37
2.4. Pokrój krów	38
2.5. Długowieczność krów	39
2.6. Przyczyny brakowania krów.....	41
3. WYNIKI I DYSKUSJA	42
3.1. Wydajność i skład mleka w pierwszej i drugiej laktacji pełnej	42
3.2. Liczba komórek somatycznych w mleku z próbnym udojów	47
3.3. Cechy reprodukcyjne krów	51
3.4. Pokrój krów	56
3.5. Długowieczność krów	59
3.6. Przyczyny brakowania krów.....	63
4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....	66
5. PIŚMIENNICTWO	68
TABELE OD 1 DO 30	84
WYKRESY OD 1 DO 20.....	114
STRESZCZENIA	134

WYKAZ SKRÓTÓW

AMS – automatyczny system doju
CMS – konwencjonalny system doju
CZ – czas zwłoki
F – empiryczna wartość statystyki F
II – indeks inseminacyjny
L1, L2 – współzmiennie wielomianu Legedre’a
LKS – liczba komórek somatycznych
LSM – średnie najmniejszych kwadratów
Me – mediana
N – liczba obserwacji
OMC – okres międzyciążowy
OMW – okres międzywycieleniowy
P – prawdopodobieństwo
PHF – rasa polska holsztyńsko-fryzyjska
Q1 – kwartył pierwszy (dolny)
Q3 – kwartył trzeci (górny)
S – odchylenie standardowe
SCS – zawartość komórek somatycznych
SE – błąd standardowy
Vx – współczynnik zmienności
WPI – wiek w dniu inseminacji
WPW – wiek w dniu pierwszego wycielenia
WW – wiek w dniu wycielenia
 χ^2 – test chi kwadrat
 \bar{X} – średnia arytmetyczna

WSTĘP

Polska jest krajem, w którym produkcja mleczarska stanowi źródło dochodu 270 tys. gospodarstw rolnych [GUS, 2017]. Z pogłowiem krów liczącym 2303,5 tys. sztuk i przeciętnym rocznym udojem mleka od jednej krowy wynoszącym 5563 litrów [GUS, 2017], Polska jest liczącym się producentem mleka zarówno w Europie, jak i na świecie. W strukturze rasowej pogłowia krów mlecznych, podobnie jak w krajach będących głównymi producentami mleka na świecie, dominuje rasa holsztyńsko-fryzyjska [PFHBiPM, 2017]. Polska odmiana bydła holsztyńsko-fryzyjskiego od 2005 roku występuje pod nazwą PHF, tj. rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej [Kuczaj i wsp., 2008]. W roku 2016 jej udział w pogłowiu krów pod oceną użyteczności mlecznej wyniósł aż 89%. W krajowych stadach występują dwie odmiany tej rasy tj. czarno-biała – 86% i czerwono-biała – 3%.

W ostatnich latach w Polsce doszło do całkowitego przemodelowania formuły gospodarstw rolnych zajmujących się hodowlą bydła mlecznego. Znacząco zmniejszyła się liczba gospodarstw, a zwiększyła się wielkość stad. W 2005 roku przeciętna liczba krów mlecznych wyniosła 2795 tys., zaś po 11 latach 2129,9 tys. sztuk. W tym okresie przeciętna wydajność mleczna krów będących pod oceną użyteczności zwiększyła się aż o 1357 kg [PFHBiPM, 2017], podczas gdy liczba krów wzrosła o 50%.

Polscy producenci mleka coraz częściej korzystają z najnowszych osiągnięć genetyki molekularnej w postaci selekcji genomowej [Strabel, 2010]. To dzięki niej, mają szansę na zakup nasienia najlepszych światowych buhajów wycenionych genomowo, co stwarza szansę osiągnięcia wysokiego postępu hodowlanego w stadzie. Towarzyszą temu modyfikacje puli cech uwzględnianych w ocenie wartości hodowlanej [PFHBiPM, 2017]. W trosce o dobrostan zwierząt, jakość mleka oraz długowieczność krów, w obecnych indeksach hodowlanych, coraz większy nacisk kładziony jest na cechy funkcjonalne.

Ze względu na narastające zapotrzebowanie na wykwalifikowaną siłę roboczą, hodowcy poszukują rozwiązań technicznych, które pomogą im ten problem rozwiązać. Te techniczne innowacje to m.in. automatyczne systemy do przygotowania i zadawania pasz, roboty do podgarniania paszy na stole, automaty do pojenia cieląt, roboty do usuwania odchodów zwierzęcych [Lely Holding, www.lely.com]. Jednak przełomowym rozwiązaniem, usprawniającym pracę w oborze krów mlecznych są roboty udojowe. Te innowacyjne systemy doju zwalniają hodowców od wykonania wszystkich czynności przed- i poudojowych, czyli czyszczenia strzyków, zakładania kubków udojowych oraz dezynfekcji poudojowej strzyków. Niezaprzeczną zaletą tych urządzeń jest możliwość doju ćwiartkowego, co pozwala unikać pustodoju ćwiartek przednich.

W 1992 roku w Holandii został wprowadzony pierwszy na świecie robot udojowy [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008], w Polsce miało to miejsce blisko 16 lat później [Winnicki i Jugowar, 2010]. Szacuje się, że pod koniec 2017 roku na świecie ponad 35 tys. gospodarstw korzystało z automatycznego doju [Salfer i wsp., 2017]. Roboty udojowe, a właściwie automatyczne systemy doju największego producenta tych urządzeń na świecie, tj. Lely Holding zastępują w Polsce dojarki bańkowe, przewodowe i hale udojowe od 2009 roku. Obecnie ich liczba szacowana jest na ponad 260 sztuk.

Dotychczas na świecie przeprowadzono szereg badań dotyczących AMS [Oberschätzl-Kopp i wsp., 2016; Pezzuolo i wsp., 2017] oraz porównania tego systemu doju z CMS [Pirlo i wsp., 2005; Gygax i wsp., 2007; Nogalski i wsp., 2011; Oudshoorn i wsp., 2012; Taing 2016; Winnicki i wsp., 2017].

Wyniki badań [Österman i wsp., 2005; de Koning, 2011; Winnicki i Kołodziejczyk, 2011; Winnicki i wsp., 2014] dowodzą, że w AMS poprzez zwiększoną liczbę dojów w ciągu doby możliwe jest osiągnięcie wyższej wydajności laktacyjnej mleka nawet o 10-15%. Szereg przeprowadzonych badań dotyczyło wpływu zmiany systemu doju na jakość higieniczną mleka i zdrowotność wymienia [Klungel i wsp. 2000; Rasmussen i wsp. 2002; Dohmen i wsp., 2010]. Laurs i Priekulis [2008], Svennersten-Sjaunja i Pettersson [2008], Bogucki i wsp. [2014] wykazali, że po wdrożonej automatyzacji doju zdrowotność wymienia może ulec polepszeniu i tym samym przyczynić się do pozyskania mleka lepszej jakości, jednak efekt ten nie zawsze jest natychmiastowy. Z kolei wyniki badań [Bach i Busto, 2005; Lee i Choudhary, 2006; Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008; de Koning, 2010; Jacobs i Siegfurd, 2012; Rodenburg, 2017] dowodzą, że zastąpienie konwencjonalnego, systemem doju zautomatyzowanym różnie wpływało na ilość, skład i jakość pozyskiwanego mleka.

Biorąc pod uwagę stosunkowo krótki okres AMS w Polsce, jak również często sprzeczne wyniki badań odnoszące się do wpływu zmiany systemu doju na cechy produkcyjne i funkcjonalne, dalsze prowadzenie badań w tym kierunku wydaje się w pełni uzasadnione. Tym bardziej, że jak podaje Wysokiński i Baran [2012] w przyszłości należy spodziewać się coraz szerszego wprowadzania AMS przez kolejnych producentów mleka. Będzie to wynikało z rosnących kosztów pracy ludzkiej, zmian mentalnościowych młodych hodowców bydła, ale także większej dostępności nowoczesnych rozwiązań dla gospodarstw o mniejszym potencjale finansowym.

Cel pracy: Ocena zmian wartości wybranych cech produkcyjnych i funkcjonalnych krów mlecznych po zastąpieniu konwencjonalnego systemu doju systemem automatycznym w stadach bydła rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej.

Hipoteza badawcza: Zmiana systemu doju z konwencjonalnego na automatyczny wpływa korzystnie na cechy produkcyjne i funkcjonalne krów mlecznych.

1. PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA

1.1. OCENA WARTOŚCI UŻYTKOWEJ I HODOWLANEJ BYDŁA MLECZNEGO W POLSCE

Mleko i jego przetwory są podstawowymi produktami żywnościowymi w diecie człowieka. Hodowla bydła mlecznego, głównie rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej (PHF) i przetwórstwo mleka to najważniejsze działy produkcji zwierzęcej w Polsce. Decydującym czynnikiem rozwoju gospodarstw mlecznych jest skala produkcji mleka [Ziętara, 2012].

Wartość produkcji towarowej mleka krowiego w 2008 roku w Polsce wyniosła 10187,5 milionów złotych, co stanowiło 18,2% produkcji rolniczej ogółem [GUS, 2009]. W roku 2016 odnotowano wyższą o 1915,9 milionów złotych wartość produkcji towarowej mleka krowiego (15,8% produkcji rolniczej ogółem) [GUS, 2016]. W latach 2008–2016 w Polsce pogłowie bydła wzrosło o 406,6 tys. sztuk, jednakże towarzyszył temu spadek liczby krów o 468,5 tys. sztuk. Równolegle też odnotowano wzrost produkcji mleka krowiego o 804 miliony litrów [GUS, 2009; 2016]. Oznacza to, iż mimo utrzymującej się tendencji spadkowej stanu pogłowia krów mlecznych, zwierzęta reprezentowały wyższą wartość hodowlaną [Piechowska, 2015]. W latach 2008–2016 mleczność krów w oborach pod kontrolą użyteczności mlecznej uległa polepszeniu. Na początku tego okresu przeciętny roczny udój mleka od 1 krowy wynosił 6817 kg a pod koniec był o 1048 kg wyższy (wzrost o ponad 15%) [GUS, 2009; 2016].

W 2008 roku Polska była dziesiątym krajem na świecie pod względem wielkości produkcji mleka krowiego (2,1% udziału w rynku), a w 2016 uplasowała się na jedenastym miejscu (2%) [GUS, 2010; 2017]. Więcej mleka wyprodukowano tylko w Stanach Zjednoczonych, Indiach, Chinach, Brazylii, Niemczech, Rosji, Francji, Nowej Zelandii, Wielkiej Brytanii i Holandii. Na tle Unii Europejskiej w 2008 roku Polska zajmowała czwarte miejsce pod względem produkcji mleka krowiego (8,3% udziału w rynku), a po 8 latach było to miejsce piąte (8,4% udziału w rynku). Więcej wyprodukowali tylko Niemcy (20,7%), Francja (15,5%), Wielka Brytania (9,5%) i Holandia (9,1%).

Instytucją odpowiedzialną za całokształt prac hodowlanych związanych z bydłem mlecznym w Polsce jest utworzona w 1995 roku Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka (PFHBiPM). Obecnie zajmuje się ona realizacją krajowych programów hodowlanych m. in dla bydła rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej i prowadzi księgi hodowlane dla bydła ras mlecznych i kombinowanych lub „użytkowanych mlecznie”. PFHBiPM prowadzi ocenę wartości użytkowej bydła w zakresie cech produkcyjnych obejmującą: użyteczność mleczną na podstawie próbnych udojów, użyteczność rozplodową, typ i budowę oraz cechy funkcjonalne [PFHBiPM, 2016a]. Krajowy program hodowlany obejmuje bydło obu odmian barwnych: czarno-białej (HO)

i czerwono-białej (RW), a jego głównym celem jest otrzymanie jak największego postępu genetycznego, z zachowaniem zmienności genetycznej, co powinno sprzyjać rentowności gospodarstw produkujących mleko [MRiRW, 2013].

Za pomocą próbnych udojów określa się ilość udojonego mleka od krowy oraz pobiera się reprezentatywną próbkę mleka. Prób nie pobiera się od zwierząt będących w pierwszych czterech dniach laktacji. Próbny udój przeprowadzany jest wg. jednej z siedmiu metod oceny („A4”, „A8”, „AT4”, „AZ4”, „AZ8”, „AR4”, „AR8”), które różnią się minimalną liczbą prób pobranych w ciągu roku, liczbą sumowanych dojów dziennych oraz systemem doju. W stadach wyposażonych w roboty udojowe dopuszcza się pobieranie prób z czterech kolejnych udojów. Na podstawie pobranych prób ocenia się użytkowość mleczną krów w zakresie cech produkcji: wydajności mlecznej w laktacji, zawartości suchej masy, tłuszczu, białka i laktozy w mleku z próbnego udoju i laktacji. Ocena obejmuje także określenie liczby komórek somatycznych i zawartości mocznika.

Cechy płodności krów zaliczane są do tzw. cechy funkcjonalnych. Ocena użytkowości rozplodowej bydła oparta jest na ustaleniu dla każdej krowy: wieku w dniu pierwszego wycielenia, długości okresów międzyciążowych i międzywycieleniowych oraz rodzaju porodu i żywotności urodzonego cielęcia. Ocena typu i budowy bydła polega na mierzeniu lub ocenianiu poszczególnych cech budowy zwierzęcia. Na ocenę ogólną składają się cechy opisowe takie jak: kaliber, typ-budowa, nogi-racice i wymię, punktowane w skali 50–100. Ocena liniowa pokroju obejmuje 20 cech: wysokość w krzyżu, głębokość tułowia, szerokość klatki piersiowej, ustawienie zadu, szerokość zadu, postawa nóg tylnych–widok z boku, kąt racicy, postawa nóg tylnych–widok z tyłu, struktura kostna (od 2012 roku), zawieszenie przednie wymienia, zawieszenie tylne wymienia, więzadło środkowe wymienia, położenie wymienia, szerokość wymienia, ustawienie strzyków tylnych, ustawienie strzyków przednich, długość strzyków, charakter mleczny, kondycja i lokomocja. Cechy te nie są mierzalne (wyjątek wysokość w krzyżu), więc ocenienia się je liniowo w skali dziewięciopunktowej. Ocena cech funkcjonalnych polega również na określeniu zawartości komórek somatycznych, szybkości oddawania mleka oraz zachowania się zwierzęcia podczas udoju.

Jedną z metod oceny wartości hodowlanej opartą jest o indeks selekcyjny, który służy oszacowaniu wartości hodowlanej zwierzęcia pod względem wielu cech selekcyjonowanych. W 2007 roku PFHBiPM wprowadziła indeks selekcyjny PF „Produkcja i Funkcjonalność” dla buhajów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, jako element oceny konwencjonalnej wartości hodowlanej [Trela i Choroszy, 2010]. Po modyfikacjach wprowadzonych w 2014 roku obliczany jest także indeks PF dla krów. Formuła indeksu obliczana jest na podstawie równania regresji wielokrotnej z uwzględnieniem wag ekonomicznych cech [PFHBiPM, 2016b].

$$PF = 0,40 \times PI_{PROD} + 0,25 \times PI_{POKR} + 0,15 \times PI_{PŁOD} + 0,10 \times WH_{KSOM} + 0,10 \times WH_{DŁUG},$$

gdzie:

- PI_{PROD} – podindeks produkcyjny,
- PI_{POKR} – podindeks pokrojowy,
- $PI_{PŁOD}$ – podindeks płodności,
- WH_{KSOM} – wartość hodowlana dla zawartości komórek somatycznych,
- $WH_{DŁUG}$ – wartość hodowlana dla długowieczności.

Formuła indeksu nastawiona jest na cechy produkcyjne ze szczególnym naciskiem na skład i jakość mleka. Uwzględnia ona wpływ PI_{PROD} (opartego o zestandaryzowane wartości hodowlane dla tłuszczu i podwójnej wartości hodowlanej dla białka) oraz WH_{KSOM} . Formuła indeksu uwzględnia także poprawę cech funkcjonalnych: płodność i długowieczność oraz cechy pokroju. PI_{POKR} obejmuje podindeks wymienia (50%), nóg i racic (30%), siły mleczności (10%) oraz podindeks ramy ciała (10%) obliczane na podstawie ocen krajowych. $PI_{PŁOD}$ uzależniony jest od wskaźników niepowtarzalności unasienniania od 56 dnia po pierwszym zabiegu inseminacji jałówek (70%) oraz krów po pierwszym unasiennianiu (10%), a także długość przestoju poporodowego (10%) i długość okresu międzyciążowego (10%). W formule indeksu selekcyjnego uwzględniono także wartość hodowlaną długowieczności, określanej jako różnicę pomiędzy datą ubycia krowy ze stada lub datą ostatniego doju próbnego a datą pierwszego wycielenia (10% wagi). Taki dobór cech służy zagwarantowaniu zmniejszenia kosztów produkcji.

Od 2014 roku w Polsce prowadzona jest wycena genomowa wartości hodowlanej buhajów i krów bazująca na polimorfizmie pojedynczych nukleotydów (ang. *Single Nucleotide Polymorphisms*, SNP). Pozwala ona na zmniejszenie odstępów pomiędzy pokoleniami poprzez wczesny wybór rodziców kolejnego pokolenia oraz samych buhajów użytkowanych w inseminacji [Piechowska, 2015]. Ocena wartości hodowlanej na podstawie genomu jest obecnie jedną z najbardziej zaawansowanych metod szacowania wartości hodowlanej. Znajomość wyników genotypowania oraz ocen fenotypowych populacji referencyjnej pozwala na określenie związku między genotypami a wydajnością własną lub wydajnością potomstwa. Związek ten można wyrazić w postaci równań predykcji, służących do szacowania genomowej wartości hodowlanej [Ptak i wsp. 2015]. Metoda ta daje podstawę do selekcji młodych zwierząt, co pozwala na podejmowanie trafnych ekonomicznie decyzji.

1.2. AUTOMATYCZNY SYSTEM DOJU – HISTORIA WDRAŻANIA I WYNIKAJĄCE Z TEGO KORZYŚCI

Pierwszy automatyczny robot udojowy firmy Lely został wprowadzony w stadach bydła mlecznego w Holandii w 1992 roku [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008; Wysokiński i Baran, 2012]. Szacuje się, że w 1998 roku około 250 gospodarstw na świecie było wyposażonych w automatyczny system doju (AMS), 4 lata później liczba robotów osiągnęła 1745 sztuk [de Koning i Van der Vorst, 2002]. W kolejnych latach liczba gospodarstw wykorzystujących AMS znacznie się powiększyła osiągając ponad 8 tys. w 2009 roku [de Koning, 2010]. Pod koniec 2015 roku ponad 14 tys. gospodarstw na całym świecie było wyposażonych w roboty udojowe [Taing, 2016]. Salfer i wsp. [2017] szacują, że w roku 2017 pracowało ponad 35 tys. systemów automatycznego doju. W polskich gospodarstwach pierwsze roboty udojowe zainstalowano pod koniec 2008 roku [Winnicki i Jugowar, 2010]. Szacuje się, że pod koniec 2015 roku w Polsce pracowało około 200 robotów udojowych [Winnicki i wsp., 2016]. Przyczyną późnego wdrażania robotów udojowych w Polsce były względy ekonomiczne, tj. wysoka cena oraz wysokie koszty serwisowe pojedynczych egzemplarzy [Mazur i Majchrzak, 2015].

Praktyka, jak i badania naukowe szybko potwierdziły, że robot udojowy to znacznie więcej niż tylko dój automatyczny [de Koning i Rodenburg, 2004; Bijl i wsp. 2007; Jacobs i Siegford, 2012; Holloway i wsp., 2014; Oberschätzl-Kopp i wsp., 2016]. AMS jest obecnie uznanym systemem zarządzania stadem w Europie i USA. Główne rynki zbytu producenci robotów znajdują w gospodarstwach utrzymujących zwierzęta wysokowydajne [Winnicki i Kołodziejczyk, 2011]. O osiągnięciu przewagi konkurencyjnej w hurtowej produkcji mleka decyduje skala produkcji. Roboty udojowe szczególnie ułatwiają produkcję w stadach o dużej liczebności krów, zastępują ciężką i czasochłonną pracę dojarza dostarczając jednocześnie szeregu informacji dotyczących mleka, jak i samych zwierząt [Castro i wsp., 2012]. Cytowani autorzy podkreślają również, że system ten dedykowany jest stadom wysokowydajnym, jednocześnie stwierdzają wzrost wydajności krów w analizowanych stadach po zmianie systemu udoju z konwencjonalnego na automatyczny. Spolders i wsp. [2004] podkreślają, że należy dokładnie przeanalizować poziom mleczności krów w systemie AMS, ponieważ zdaniem autorów nie ma on bezpośredniego przełożenia na wzrost wydajności mlecznej.



Fotografia 1. Boks udojowy (Brzozowski M.)

W porównaniu do zarządzania stadem z konwencjonalnym systemem doju, dój automatyczny odbywa się konsekwentnie według ustalonej procedury, a sposób doju dostosowany jest do każdej krowy, co jest podstawowym warunkiem udanego doju [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008]. Do najczęstszych przyczyn instalacji systemu AMS należą minimalizacja pracochłonności i poprawa jakości produkcji mleka. Dodatkowymi czynnikami, które zachęcają hodowców do zmiany systemu doju na automatyczny są rosnące koszty pracy [Jacobs i Siegford, 2012; Waśkowicz i wsp., 2014] i zmieniające się ceny mleka [Taing, 2016, Pezzuolo i wsp., 2017]. Powodują one konieczność zwiększenia efektywności pracy. Dój konwencjonalny to bardzo czasochłonna czynność, zajmuje około 25–35% rocznego zapotrzebowania na siłę roboczą w gospodarstwie, przez co stanowi znaczny udział w kosztach przedsiębiorstwa rolnego. Zastąpienie doju konwencjonalnego automatycznym wymusza reorganizację wszystkich innych działań w gospodarstwie [de Koning, 2011]. Konwencjonalny i automatyczny systemem doju różnią się pod względem podziału stada na grupy technologiczne. W doju z wykorzystaniem robota nie ma potrzeby wydzielenia grup technologicznych zwierząt, uwzględniających fazę laktacji czy produkcję danego zwierzęcia, ponieważ zaprogramowany system obsługujący robota reguluje częstotliwość udoju oraz objętość zadawanej paszy treściwej [Lely

Holding, 2016b]. Po instalacji AMS zmienia się rozkład doju podczas doby, charakteryzujący się stałymi godzinami i określoną krotnością dzienną. Zwierzęta same decydują jak często chcą być dojone, a sam dój możliwy jest przez całą dobę [Winnicki i Kołodziejczyk, 2011]. Jacobs i Siegford [2012] do największych zalet AMS zaliczyli: zmniejszenie natężenia procesu dojenia w ciągu doby (w porównaniu z dojem dwukrotnym na hali udojowej) oraz swobodny dostęp do doju dla krów przez całą dobę.

Zarządzanie stadem wyposażonym w AMS obejmuje analizę procesu doju, wydajności i jakości mleka, żywienia, behawioru oraz dobrostanu krów [Lely Holding, 2016c]. Sukces wdrożenia AMS zależy od wielu czynników: projektu i wyposażenia obory, strategii żywienia krów, wielkości stada, możliwości finansowych, wiedzy i umiejętności zarządzania stadem przez hodowców [Pezzuolo i wsp., 2017]. Nawet przy najbardziej zaawansowanych technologiach doju nadal najważniejsza pozostaje jednak rola człowieka, który musi je kontrolować i nimi zarządzać [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008].

1.3. INSTALACJA AMS

Efektywność wdrażania AMS w krajach europejskich i USA w zakresie wydajności mlecznej, składu mleka i prędkości oddawania mleka uzależniona jest od potencjału genetycznego krów [Waškowicz i wsp., 2014]. Najważniejszymi elementami AMS są: zwierzęta, robot udojowy i system zarządzania stadem [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008]. Ważnymi czynnikami udanego wdrożenia AMS są postawa i oczekiwania producenta mleka. Stræte i wsp. [2017] w badaniach przyczyn niepowodzeń stosowania AMS wyróżnili przypadki, w których stawiane oczekiwania nie były możliwe do zrealizowania, a w innych hodowcy nie byli zdolni do przyjęcia nowego systemu zarządzania. Stosowanie AMS wymaga dbałości o zachowanie wysokich standardów higieny przy legowisku i w całej oborze. W przypadku braku wiedzy, bądź umiejętności ze strony zootechnika obsługującego system, trudno przypisywać mu wady, jednak taka sytuacja, zdaniem Keeper i wsp. [2017] i Rodenburg [2017] przyczynić się może do niewykorzystania wszystkich możliwości, jakie daje AMS.

Podczas okresu startowego AMS wymaga wyższych nakładów pracy i większej uwagi związanej z zarządzaniem stadem [Bijl i wsp., 2007; Land i wsp., 2000; Wirtz, 2004]. Czynnikiem decydującym o powodzeniu instalacji i użytkowania AMS są: dostęp do wsparcia technicznego, elastyczność i zdyscyplinowanie w sterowaniu systemem i krowami, zdolność hodowcy do pracy z komputerami oraz zwiększenie uwagi na obserwację obory i dobrze funkcjonujący ruch krów, a ponadto zdrowie krowy [de Koning, 2011]. Powodzenie stosowania doju automatycznego jest uwarunkowane również umotywowaniem krów do dobrowolnego i samodzielnego odwiedzania robota udojowego. Krowy zachęca się do wejścia do robota poprzez podawanie paszy treściwej w jednostce udojowej podczas doju [Oberschätzl-Kopp i wsp., 2016].

W czasie przejścia z konwencjonalnego na automatyczny system doju krowy muszą nauczyć się odwiedzać AMS w innych godzinach niż tradycyjnie były dojone. Szkoleniem i pomocą w pierwszych tygodniach po wprowadzeniu robotyzacji doju powinny zajmować się osoby spokojne i ciche, aby zwierzęta szybko przystosowały się do nowego otoczenia i systemu doju. Kluczowym czynnikiem w AMS jest dobrze funkcjonujący wolny ruch wszystkich krów [Tremblay i wsp. 2016]. W celu zapewnienia zwierzętom stałego dostępu do robota udojowego może okazać się konieczne wprowadzenie tzw. ruchu kierowanego w oborze [Melin i wsp., 2006]. Niezbędne jest także zapewnienie ciągłego dostępu do paszy na stole paszowym, a to wymaga takiego wyposażenia jak wóz paszowy, czy podgarniacze paszy [Hulsen i Aerden, 2014]. Brak paszy objętościowej skutkuje tworzeniem się kolejki przed robotem udojowym, mniejszą częstotliwością dojów, zwiększoną zmiennością odstępów między kolejnymi udojami krowy [Oberschätzl-Kopp i wsp., 2016]. Zwiększenie częstotliwości dostaw TMR (ang. *total mixed ration* – całkowicie wymieszana dawka) powoduje wzrost wydajności mlecznej krów zarówno w systemie doju tradycyjnego jak i AMS [Bava i wsp., 2012]. Szczególnie wśród wieloródek wzrost częstości zadawania paszy (w tym podgarniania) może łagodzić negatywne skutki stresu cieplnego w kontekście wydajności mlecznej krów [Bava i wsp., 2012]. Sukces wprowadzenia AMS zapewnią zatem krowy, które często i regularnie korzystają zarówno ze stołu paszowego, jak i z robota udojowego [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008]. Nakłady finansowe związane z instalacją AMS są znacznie większe niż w przypadku systemu konwencjonalnego [Kooistra i wsp. 2003]. Jednak większa ilość pozyskanego mleka przy mniejszych nakładach pracy oznacza obniżenie kosztów pozyskania jednego kilograma mleka. Teoretycznie, w AMS większa liczba krów może być utrzymywana przy niezmiennych kosztach pracy w porównaniu z dojem konwencjonalnym, jednak wymaga to dodatkowych inwestycji w budynki i wyposażanie gospodarstwa [de Koning, 2011]. Potencjalne zyski z AMS pojawiają się, gdy znacznie wzrośnie produkcja mleka poprzez zwiększenie częstotliwości doju [Rotz i wsp., 2003]. Istotnym czynnikiem determinującym wprowadzenie AMS jest także dostępność części zamiennych i wykwalifikowanego serwisu, który w krótkim czasie będzie w stanie usunąć usterkę i do minimum ograniczyć okres wyłączenia z pracy robota [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008].

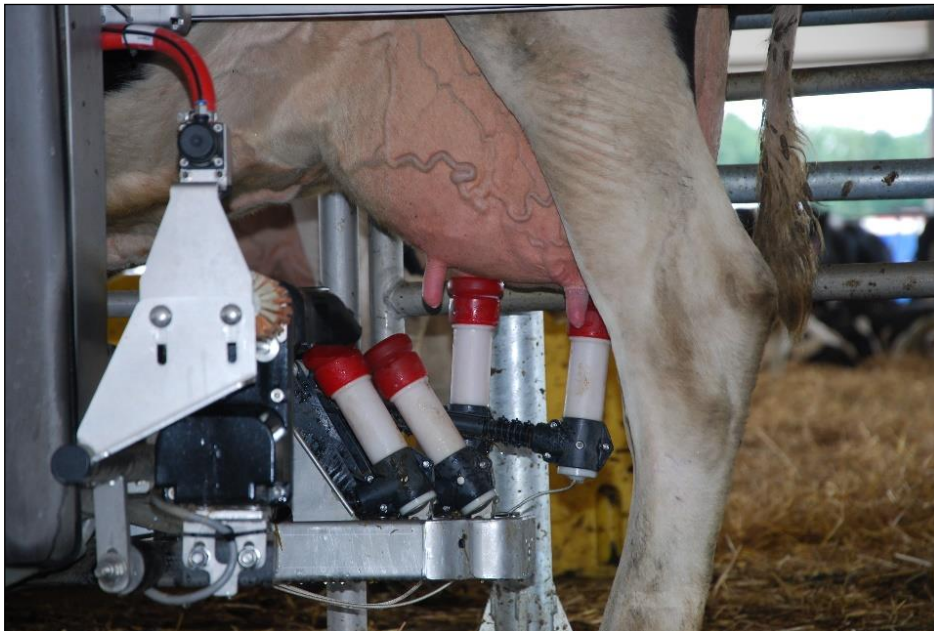
W praktyce zdarzają się przypadki rezygnacji ze stosowania robotów udojowych ze względu na trudności z adaptacją do nich krów i niemożliwością wprowadzenia systemu zarządzania stadem [Winnicki i wsp., 2014]. AMS nie jest odpowiedni dla wszystkich krów. Nieprawidłowy kształt wymienia, jego położenie oraz kształt i budowa strzyków mogą powodować trudności w podłączaniu aparatu udojowego. Niektórych krów nie można nauczyć dobrowolnego wchodzenia, co uniemożliwia ich wydojenie [de Koning, 2010]. De Koning i Rodenburg, [2004] podają, że w nowo otwartych gospodarstwach udział krów, które nie adoptują się do doju automatycznego nie przekracza 5%.

Jak podają Tse i wsp. [2017] na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych 217 rolników użytkujących AMS, ponad połowa z nich zmieniła system utrzymania zwierząt i wybudowała nowe obory. W nowym systemie ponad 60% hodowców zauważyło poprawę skuteczności inseminacji w stadach, tyle samo zmieniło system zarządzania stadem w zakresie dbania o higienę w oborach, co przyczyniło się do poprawy jakości mleka.

W oborach wyposażonych w AMS prowadzony jest ciągły pomiar i zapis blisko dwustu parametrów związanych z dobową aktywnością krów [Hogeveen i Ouweltjes, 2003; Steeneveld i wsp., 2011; Lely Holding, 2016b]. To z kolei umożliwia bardziej szczegółową analizę mleczności w oborze i udzielenie odpowiedzi na pytania, których wcześniej z oczywistych względów nie stawiano. Dostępna literatura nie daje jednoznacznej odpowiedzi, który system doju, konwencjonalny czy zautomatyzowany, jest lepszy [Gygax i wsp., 2007; Kooistra i wsp., 2003; Oudshoorn i wsp., 2012]. Tu pod pojęciem „lepszy” zwykle rozumiemy bardziej odpowiedni dla krowy, sprzyjający wyższej produkcji mleka, czy wpływający na wyższą jego jakość. Na tego typu pytania zwykle starano się odpowiedzieć w badaniach ankietowych prowadzonych wśród hodowców bydła mlecznego [Tse i wsp., 2017]. Otrzymano różne odpowiedzi w zależności od ankietowanych, którzy posiadają konwencjonalny system doju bądź AMS. Sitkowska i wsp. [2017b] podjęli próbę przeprowadzania tego typu badań ankietowych, jednak w sondażu wzięła udział mała grupa polskich hodowców. Wyniki tej ankiety potwierdziły trend ogólnoswiatowy – wskazywany w zagranicznych opracowaniach [Bijl i wsp., 2007; Jacobs i Siegford, 2012; Bergman i Rabinowicz, 2013; Brotzman i wsp., 2015; Tse i wsp., 2017]. Wśród zalet systemu badani hodowcy wymieniali: oszczędność czasu, większą swobodę krów, wzrost wydajności mlecznej, wyeliminowanie błędów człowieka, możliwości zarządzania danymi oraz wzrost produkcji mleka przy zmniejszeniu wielkości stad. Wśród wad respondenci wskazali koszty zakupu, serwisowania oraz awaryjność AMS, a ponadto wzrost kosztów zużycia mediów oraz konieczność przyuczania krów do udoju za pomocą AMS.

1.4. PROCES DOJU W AMS

Głównym elementem AMS jest robot udojowy, który składa się z kilku modułów, tj.: boks udojowy, system czyszczenia strzyków, system detekcji strzyków, zrobotyzowane ramię, urządzenia do przyłączania kubków udojowych wraz z system sterowania oraz dojarki [Holloway i wsp., 2014; Lely Holding, 2016a]. Komponentami systemu są również: urządzenia do identyfikacji krów, urządzenia czyszczące elementy systemu, czujniki sterowane komputerowo w celu wykrycia nieprawidłowości w mleku [de Koning, 2011].



Fotografia 2. Ramię robota w trakcie procesu przyłączania kubków udojowych. (Brzozowski M.)

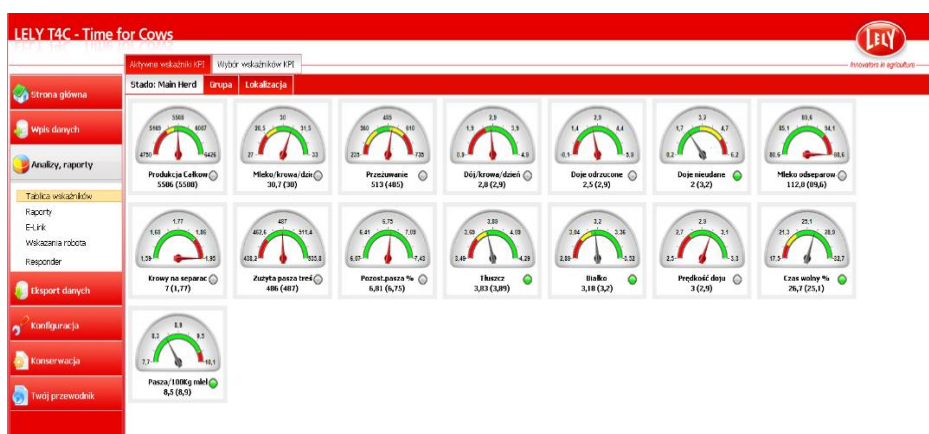
Automatyczny dój jest procesem ciągłym trwającym 24 godziny na dobę, co wymaga wysokiej niezawodności robota udojowego, jak również dostosowanych systemów czyszczenia oraz chłodzenia [de Koning, 2011]. W porównaniu do doju konwencjonalnego, dój automatyczny jest powtarzalny i indywidualnie dopasowany do każdej krowy [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008]. Okresowe spadki częstości doju i wydajności mleka na godzinę związane są z myciem i dezynfekcją [Winnicki i Jugowar, 2010]. W badaniach Piwczyńskiego i wsp. [2013] szczyty aktywności robota udojowego przypadły w godzinach popołudniowych i późnych nocnych.

Krowy powinny mieć łatwy dostęp do boksu udojowego. Centralne ułożenie robota udojowego w oborze zmniejsza dystans, jaki muszą przebyć krowy [Melin i wsp., 2006]. Zachętą dla krów do korzystania z AMS jest pasza treściwa podawana w boksie udojowym. Smakowitość podawanej paszy treściwej w robocie udojowym ma istotny wpływ na liczbę odwiedzin przez krowy robota oraz na produkcję mleka [Madsen i wsp., 2010]. Co więcej, wykazano zależność pomiędzy smakowitością paszy a liczbą krów, które musiały zostać podgonione do dojenia.

Proces doju rozpoczyna się od podejścia zwierzęcia do bramki wejściowej robota udojowego i odczytania przez robota indywidualnego numeru zwierzęcia z transpondera umieszczonego na jego szyi. Po identyfikacji zwierzęcia system na podstawie zaprogramowanego czasu pomiędzy dojami, podejmuje decyzję o dopuszczeniu krowy do doju [de Koning i Rodenburg, 2004]. Po wejściu

zwierzęcia do boku następują procesy lokalizacji i czyszczenia strzyków wymienia oraz proces zakładania kubków udojowych. Urządzenie czyszczące strzyki w AMS jest dostosowane do prestymulacji, która jest bardzo ważna, gdy występują krótkie międzyczasy kolejnych dojów krowy [Bruckmaier i wsp., 2001]. Krytyczną częścią doju jest proces lokalizacji strzyków i przyłączenia kubków udojowych. Proces ten może zostać zakłócony przez nieprawidłowo ułożone strzyki lub nietypowy kształt wymienia, brudne strzyki lub niepokój zwierzęcia. Takie sytuacje mogą powodować niekompletny dój jednej lub większej ilości ćwiartek [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008].

AMS jest wyposażony w czujniki do kontrolowania procesu doju. Zebrane dane są automatycznie zapisywane w bazie danych, a hodowca za pomocą programu do zarządzania kontroluje ustawienia i warunki doju krów [Lely Holding, 2016a]. Lista alertów i raporty są przedstawiane na ekranie lub drukowane. System AMS zapewnia także zdalne powiadamianie rolnika, gdy konieczna jest jego interwencja. AMS rejestruje ogromne ilości danych, które przetwarza za pomocą oprogramowania. Wyzwaniem dla hodowców jest wychwycenie pomiarów odstających od ustalonych norm, które sugerują stan chorobowy i konieczność interwencji. AMS wyposażony jest w czujniki nie tylko do kontroli procesu doju. Badane są także takie parametry mleka jak skład chemiczny, liczba komórek somatycznych, przewodność elektryczna, kolor oddzielnie dla każdej ćwiartki wymienia. Wszystkie te dane wymagają przetworzenia. Za pomocą algorytmów matematycznych można na przykład obliczyć prawdopodobieństwo wystąpienia *mastitis* u krowy, co pomaga hodowcy podejmować właściwe decyzje [Steenefeld i wsp., 2011].



Fotografia 3. Zrzut ekranu z Programu LELY T4C (Lely East Sp. z o.o.)

Dotychczas szybkość oddawania mleka była najczęstszą cechą wykorzystywaną jako wskaźnik mleczości. Jednak czas w boksie udojowym jest prawdopodobnie najważniejszą cechą ekonomiczną w AMS [Carlström i wsp., 2013]. Szybkość oddawania mleka jest mniejsza, gdy kolejne udoje danej krowy odbywają w krótkim odstępie czasu, powoduje to wydłużenie

czasu przebywania zwierzęcia w boksie udojowym [Hogeveen i wsp., 2001]. Przepustowość AMS może zostać polepszona poprzez skrócenie fazy przygotowawczej doju i zmniejszenie ilości dojów zakończonych niepowodzeniem [Gygax i wsp., 2007].

Liczba odmów robota jest indywidualna dla stad i waha się pomiędzy 0,72 a 3,66 razy na krowę dziennie. Zauważono, że częstotliwość odmów rośnie wraz z liczbą zwierząt w stadzie [Maršálek i wsp., 2012]. Według Winnickiego i Jugowara [2010] występowanie dojów niekompletnych wynosi od 1 do 2%. Udział krów, które wymagają podprowadzenia do jednostki udojowej waha się pomiędzy 8,2 a 25,3% w różnych gospodarstwach i jest wyższy w stadach utrzymujących większą liczbę zwierząt [Maršálek i wsp., 2012], 3% krów nie odwiedza robota dobrowolnie [Laurs i Priekulis, 2008].

1.5. UŻYTKOWOŚĆ KRÓW W AMS

W ostatnich dziesięcioleciach w chowie bydła mlecznego dąży się do optymalizacji wydajności mlecznej krów w celu uzyskania wyższych korzyści ekonomicznych [Waśkowicz i wsp., 2014; Egger-Danner i wsp., 2015]. Takie założenia i oczekiwania wymusiły nowe podejście do zarządzania stadem, utrzymania i sposobu doju krów. Wydajność mleka i jego jakość higieniczna to jedno z najważniejszych aspektów w produkcji mleczarskiej. Wpływ warunków utrzymania na te cechy został udowodniony i był dyskutowany przez wielu autorów na całym świecie [Abeni i wsp., 2005; Gygax i wsp., 2007; Dohmen i wsp., 2010; Dufour i wsp., 2011; Antanaitis i wsp., 2015].

Wzrost wydajności mlecznej w gospodarstwach wyposażonych w AMS jest możliwy, lecz zależy on od szeregu czynników powiązanych z procesem produkcji mleka [Sitkowska i wsp., 2015a]. Bogucki i wsp. [2014] zaobserwowali statystyczny wzrost dziennej wydajności mleka krów i poprawę jakości mleka w zakresie komórek somatycznych po zmianie systemu doju z hali udojowej na AMS. Zauważyli oni jednak, iż zmiana systemu doju jest stresująca dla krów i może być odpowiedzialna za krótkotrwałe obniżenie wydajności mleka. Wydajność mleczna wzrasta stopniowo wraz z upływem czasu od momentu instalacji AMS.

Jedną z korzyści AMS jest wzrost wydajności mleka poprzez zwiększoną liczbę dojów na dobę [de Koning i wsp. 2003; Winnicki i Kołodziejczyk, 2011; Winnicki i wsp., 2014]. Korzyścią płynącą ze zwiększonej liczby udojów dziennych jest wzrost wydajności laktacyjnej średnio o 10–15% [Österman i wsp., 2005]. Dój trzykrotny w porównaniu z dojem dwukrotnym zwiększa wydajność mleczną przeciętnie od 2 do 20% [Rotz i wsp., 2003]. W badaniach Czerniawskiej-Piątkowskiej i wsp. [2012] zaobserwowano wyższą o 1160 kg wydajność mleka w laktacji 305-dniowej w grupie krów dojonych 4-krotnie w porównaniu do grupy dojonej 2-krotnie. Wzrost wydajności spowodował obniżenie procentowej zawartości tłuszczu i białka. Olechnowicz i wsp. [2006] prezentują badania, w których zanotowano znaczący wzrost dziennej produkcji

mleka w grupie krów, które przeszły z doju 2-krotnego w hali udojowej na dój za pomocą AMS (z 25,00 do 27,20 kg). Jednocześnie w prezentowanej pracy przy przejściu z doju 3-krotnego na automatyczny, autorzy obserwowali zmiany w poziomie wydajności mleka odpowiednio: 27,50 i 26,70 kg. Natomiast Abeni i wsp. [2005] nie stwierdzili istotnych różnic w wydajności mleka w pierwszych 22 tygodniach laktacji pierwiastek rasy włoskiej holsztyńskiej dojonych w hali udojowej i w automatycznym systemie doju.

Jak podkreśla wielu autorów [Bach i Busto, 2005; Lee i Choudhary, 2006; Svennersten-Sjaunja i Petterson, 2008; de Koning, 2010; de Koning, 2011; Jacobs i Siegford, 2012; Rodenburg, 2017] AMS, w stosunku do systemu konwencjonalnego ma pewne zalety, ale również obarczony jest wadami. Zastąpienie konwencjonalnego, zautomatyzowanym systemem doju może rzutować na ilość, skład i jakość pozyskiwanego mleka. Pirlo i wsp. [2005] nie obserwowali wzrostu wydajności mleka po zainstalowaniu w oborach robotów udojowych. De Koning i Rodenburg, [2004]. Weiss i wsp., [2004b] oraz Klungel i wsp., [2000] wskazują na zmiany parametrów mleka po przejściu z doju konwencjonalnego na AMS w oborze. Pogorszeniu uległa zawartość tłuszczu oraz jakość higieniczna mleka, odnotowano wzrost poziomu komórek somatycznych w mleku [Hovinen i wsp., 2009].

Zaletą AMS jest możliwość dopasowywania przez hodowcę częstotliwości dojenia poszczególnych krów na podstawie ich poziomu produkcyjnego czy fazy laktacji, bez ponoszenia dodatkowych nakładów pracy [Svennersten-Sjaunja i Petterson, 2008; Hogeveen i wsp., 2001]. Minimalna frekwencja doju dla krowy w ciągu doby powinna zostać ustalona przez zootechnika na podstawie wieku i fazy laktacji [Svennersten-Sjaunja i Petterson, 2008]. W AMS możliwe jest ustalenie, w jakich odstępach czasu i ile razy na dobę będą dojone krowy, ta podwójna zaleta z jednej strony pozwala wykorzystać możliwości produkcyjne krów, a z drugiej zapewnia prawidłowe rozdajanie i zasuszanie zwierząt [Węglarzy, 2009].

Krowy użytkowane w oborze wyposażonej w AMS różnią się od siebie pod względem odstępu pomiędzy poszczególnymi dojami, wydajnością dobową [Friggens i Rasmussen, 2001], a co za tym idzie również czasem doju [André i wsp., 2010]. Rozkład dojów podczas doby uwarunkowany jest wiekiem krowy, średnią wydajnością mleka podczas udoju oraz sezonem doju [Piwczyński i wsp., 2013]. Krótsze odstępy pomiędzy dojami skutkują zwiększeniem produkcji mleka w przeliczeniu na krowę na godzinę, jednak efekt ten uzależniony jest od produkcji życiowej krowy i widoczny jest u krów wysokowydajnych [Hogeveen i wsp., 2001]. Zmienność w odstępach między kolejnymi dojami krów skorelowana jest ze zmiennością w zakresie wydajności mlecznej i składu mleka (zawartość tłuszczu i białka). Korelacja ta oznacza, że krowy charakteryzujące się wyższą wydajnością mleka, osiągają ją poprzez połączenie wyższej wydajności pojedynczego doju i większej częstotliwości doju, na którą pozwala swobodny dostęp do robota udojowego [Løvendahl i Chagunda, 2011]. W badaniach Sitkowskiej i wsp. [2015a] wykazano dodatnią

zależność pomiędzy czasem trwania doju a wydajnością mleczną oraz wysoką, niekorzystną korelację pomiędzy czasem doju a szybkością oddawania mleka. W przeprowadzonych przez André i wsp. [2010] badaniach stwierdzono, że efektywność automatycznego systemu doju może być zwiększona poprzez zastosowanie optymalnych, indywidualnie dopasowanych odstępów pomiędzy kolejnymi udojami danej krowy. Obliczono, że przychód z mleka może zwiększyć się o 9 euro dziennie w stadach o średniej liczebności 60 krów. Za pomocą AMS łatwo można ograniczyć dój krów o niskiej wydajności w krótkich odstępach czasu. Dużo trudniej jest zapobiegać wydłużaniu czasu między dojami krów o wysokiej wydajności. Oznacza to, że konieczne jest podganie krów do robota, które przekroczyły ustalony czas między dojami. Zwykle odbywa się to kilka razy dziennie o ustalonych godzinach, np. po procedurze czyszczenia robota [de Koning, 2011].

W zależności od stada stwierdza się zróżnicowaną liczbę wizyt krowy w robocie udojowym. W badaniach Maršálék i wsp. [2012] liczba ta wahała się między 1,97 a 2,67, Sitkowskiej i wsp. [2015a] 2,6 a 2,8, de Koninga [2011] 2,5 a 3,0 oraz Laursa i Priekulisa [2008] około 2,9. Przy zmianie doju na automatyczny wzrasta dobową częstotliwość dojów krów, zwykle nie przekracza ona 3 na dobę [Kruip i wsp., 2000], a średnio wynosi od 2,6–2,8 [Bruckmaier i wsp., 2001; Hogeveen i Ouweltjes, 2003; Klungel i wsp. 2000].

AMS kieruje się podobnymi zasadami jak CMS, jednak występują zasadnicze różnice. Krowy korzystają z robota udojowego w mniejszym lub większym stopniu dobrowolnie, co rzutuje na zmienność pod względem częstotliwości doju pomiędzy poszczególnymi krowami. Wszystkie te czynniki mogą mieć wpływ na jakość produkowanego mleka [de Koning, 2011].

Jakość mleka jest najważniejszym wyzwaniem współczesnych producentów mleka [Friggens i Rasmussen, 2001; Rasmussen i wsp., 2002; Klungel i wsp., 2000]. Jest na niej oparty system płac, również konsumenci kupujący produkty mleczne oczekują, że będą one charakteryzowały się wysoką jakością i bezpieczeństwem. Poprzez automatyzację procesu doju nie ma możliwości wizualnej kontroli jakości mleka. Dlatego też robot udojowy jest wyposażony w czujniki: przewodności, koloru, temperatury i ilości mleka [Lely Holding, 2016b]. Dane zbierane są indywidualnie dla poszczególnych ćwiartek wymienia w systemie sterującym robotem, a następnie prezentowane w formie raportów dla menadżera stada.

W dobrze zarządzanych stadach zdrowotność wymienia może ulec polepszeniu i tym samym przyczynić się do pozyskania mleka lepszej jakości niż w przypadku doju tradycyjnego [Laurs i Priekulis, 2008; Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008]. Efekt poprawy stanu zdrowia wymion i tym samym jakości mleka nie zawsze jest zauważalny natychmiast po wprowadzeniu technologii doju automatycznego. W badaniach Boguckiego i wsp. [2014] odnotowano wzrost liczby komórek somatycznych w mleku po wprowadzeniu automatyzacji w pierwszym próbnym udoju. Natomiast w dwóch kolejnych udojach zauważono tendencje do zmniejszania się poziomu komórek

somatycznych w mleku. Zaobserwowano także, że zmiana systemu doju z hali udojowej na dój robotem miała długofalowy, pozytywny wpływ na liczbę komórek somatycznych. Jak wykazano w badaniach Sitkowskiej i wsp. [2016a] sama zamiana systemu doju z konwencjonalnego na AMS nie przyniosła oczekiwanych przez hodowcę efektów, tj. wzrostu wydajności, poprawy jakości mleka, czy zdrowotności zwierząt. Klungel i wsp. [2000] wskazali na pogorszenie się jakości mikrobiologicznej mleka po wprowadzeniu AMS.

Wyniki badań Tousovej i wsp. [2014] dowodzą, iż wykorzystanie technologii AMS nie niesie negatywnych zależności, co do składu i jakości mleka. Mleko pozyskane przy pomocy AMS charakteryzowało się wyższą zawartością tłuszczu i białka oraz niższą liczbą komórek somatycznych w porównaniu do doju na hali udojowej. Nie odnotowano natomiast istotnych zmian w zawartości laktozy i mocznika.

Problemy związane z jakością mleka i wysoką liczbą komórek somatycznych były przedmiotem badań przeprowadzonych w Danii [Dohmen i wsp., 2010]. Rasmussen i wsp. [2002] badając mleko pochodzące z 98 gospodarstw zaobserwowali wzrost liczby bakterii i komórek somatycznych w okresie jednego roku po instalacji AMS. Wzrósł także punkt zamarzania mleka i podwoiła się liczba dojów z zawartością przekraczającą 400 tys. komórek somatycznych w 1 ml mleka. W badaniach Klungel i wsp. [2000] stwierdzono obniżenie jakości mleka, m. in. istotnie wzrosła liczba bakterii. Odnotowano także wzrost udziału wolnych kwasów tłuszczowych w mleku po wprowadzeniu AMS. Nieznaczne pogorszenie jakości mleka po instalacji robota odnotowali de Koning i wsp. [2003] w duńskich, niemieckich i holenderskich farmach, jednakże mleko to nie przekraczało dopuszczalnych norm jakości. Wyniki badań wskazują także, że jakość mleka ulega pogorszeniu podczas pierwszych sześciu miesięcy od instalacji AMS. Liczba drobnoustrojów i komórek somatycznych w zbiorniku mleka w tym czasie była podwyższona. Po tym okresie zaobserwowano poprawę jakości mleka, jednak nadal była ona niższa w porównaniu do jakości mleka pozyskiwanego z gospodarstw konwencjonalnych [Van der Vorst i de Koning, 2002]. Z ekonomicznego punktu widzenia nie jest to korzystne, ponieważ obniża to cenę mleka w skupie [Oudshoorn i wsp., 2012]. W wielu stadach w USA, gdzie powszechna jest praktyka doju 3 razy dziennie w hali udojowej, przejście na AMS spowodowało przejściowe obniżenie produkcji o 5–10% [de Koning, 2011].

Gygax i wsp. [2007] stwierdzają, że automatyzacja procesu doju skutkuje różnicami w przyłączaniu kubków udojowych, czasie trwania poszczególnych faz doju i częstotliwości doju w porównaniu z dojem w hali udojowej. Ponadto stwierdzono, że w AMS w porównaniu z halą udojową, faza doju była krótsza, proces przygotowania wymienia był dłuższy, a całkowity czas doju był taki sam. Ilość mleka pozyskiwana przy pomocy AMS była mniejsza niż w hali udojowej.

Dój automatyczny odbywający się trzy razy dziennie może mieć negatywny wpływ na cechy reprodukcyjne, jednak niesie korzyści wynikające z większej ilości mleka. Pomimo, iż większa produkcja mleka zazwyczaj

oznacza pogorszenie cech płodności, można temu w pewnym stopniu przeciwdziałać – ograniczyć występowanie ujemnego bilansu energetycznego u krów poprzez zindywidualizowane ich żywienie, a także zintensyfikowanie wykrywania rui [Kruip i wsp., 2000].

1.6. ZARZĄDZANIE STADEM W AMS

Przejście z doju w hali udojowej na AMS skutkuje wielkimi zmianami dla hodowcy i krów [Jacobs i Siegford, 2012]. Chociaż w AMS bezpośredni nadzór doju jest wyeliminowany to hodowca ma nowe zadania do wykonania: kontrola i czyszczenie robota udojowego, dwu lub trzy krotne na dobę sprawdzenie listy alertów, kontrola wizualna krów i podganie krów, które przekroczyły maksymalny czas między dojami [Lely Holding, 2016c].

Spadek nakładów pracy (od około 20% do blisko 50%) stanowi niewątpliwą zaletę systemu [Bilj i wsp., 2007; de Koning, 2010; Oudshoorn i wsp., 2012], jednocześnie obserwuje się wzrost efektywności pracy – w badaniach Molfino i wsp. [2014] aż o około 54%. W pierwszym roku pracy AMS, proces adaptacji i wdrożenia może zająć dodatkowy czas poświęcany obsłudze stada [de Koning, 2011]. Praca fizyczna związana z udojem zostaje zastąpiona zadaniami związanym z zarządzaniem, tj. sprawdzaniem listy uwag z komputera i wprowadzaniu właściwych działań naprawczych. Taki model pracy sprawdza się szczególnie na farmach rodzinnych, jest mniej czasochłonny niż dój w hali udojowej, a czas pracy bardziej elastyczny. AMS to nie tylko nowy system doju, to także kompletnie nowy system zarządzania stadem [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008]. Obecność rolnika w oborze z AMS w czasie doju nie jest potrzebna. Zmniejszone zapotrzebowanie na pracę i lepsze warunki społeczne producentów mleka są głównymi korzyściami wprowadzenia do obór AMS. Z drugiej strony nieumiejętne prowadzenie stada, techniczne problemy z robotem udojowym, czynniki hamujące motywację krów do odwiedzin robota ograniczają sukces wprowadzenia AMS. W badaniach Trembley'a i wsp. [2016] poszukiwano różnic dotyczących produkcji mleka w gospodarstwach wykorzystujących AMS. Stwierdzono, iż głównymi przyczynami różnorodności są strategie zarządzania stadem oraz rasa krów. Wyższa wydajność mleczna, niższe nakłady pracy i wyższy stopień brakowania zwierząt w gospodarstwach wyposażonych w AMS informują także o różnym wpływie hodowcy na zarządzanie stadem (determinowanym intensywnością produkcji) [Oudshoorn i wsp., 2012].

Robot udojowy w oborze jest w stanie obsłużyć 55–65 krów kilka razy dziennie [de Koning, 2011]. Według Maršálek i wsp. [2012] optymalna liczba to 60 krów. W celu osiągnięcia 95% wykorzystania dwóch robotów stado powinno liczyć około 110 krów [Laurs i Priekulis, 2008]. W celu osiągnięcia maksymalnej wydajności AMS wielkość strefy dojenia i sposób ruchu zwierząt powinny być dopasowane do wielkości stada i organizacji pracy w oborze. Możliwość ponownego podejścia krowy w krótkim czasie po udoju powinna

być ograniczona. W AMS kontrola wzrokowa krów i zdrowia wymienia podczas doju zostaje przejęta przez zautomatyzowany monitoring z wykorzystaniem technologii inteligentnych czujników. Korzystanie z AMS wyposażonego w zestaw czujników (czytanie responderów, sprawdzanie masy ciała zwierząt, analiza ilości i jakości mleka, a także detekcja koloru i przewodności mleka) daje szerokie możliwości w podejmowaniu decyzji dotyczących zarządzania stadem, kontroli produktywności i zdrowia poszczególnych zwierząt [Svennersten-Sjaunja i Pettersson, 2008] (fot. 3). Stosowanie AMS w gospodarstwach pozwala monitorować cechy użytkowości krów i relacje pomiędzy nimi [Sitkowska i wsp., 2015a]. Mimo automatyzacji procesu doju obecność hodowcy (menadżera stada) jest konieczna w codziennym użytkowaniu. W razie zatrzymania pracy robota lub wystąpienia alarmu musi być wyznaczona osoba, która w krótkim czasie będzie w stanie dotrzeć do obory. Wymogi dotyczące obsługi technicznej AMS są wyższe w porównaniu z dojem konwencjonalnym, ponieważ poziom zaawansowania technologicznego systemu jest większy i wymaga znacznych umiejętności hodowcy w codziennym użytkowaniu. Awaryjne systemy i związane z nimi alarmy pojawiają się zazwyczaj raz na dwa tygodnie, choć zależy to od poziomu utrzymania i zarządzania [de Koning, 2011].

Hodowcy, którzy korzystają z danych zbieranych przez AMS, mogą szybko zauważać nawet małe zmiany w zachowaniu i użytkowaniu poszczególnych krów, mogą więc zapobiegać chorobom, w szczególności *mastitis*. AMS umożliwia także śledzenie zmian ogólnej produkcji stada, co pozwala na wczesne wskazanie problemów związanych z żywieniem i zdrowiem zwierząt. Oprócz umiejętności osoby zarządzającej stadem potencjał wykorzystania AMS uzależniony jest także od wyposażenia technicznego obór i warunków utrzymania zwierząt [Carlström i wsp., 2013].

Oudshoorn i wsp. [2012] stwierdzili, że korzystanie z technologii AMS pozwala na zaoszczędzenie prawie połowy czasu przeznaczanego na krowę na dzień w porównaniu z CMS. W pracy tej porównywano wskaźniki efektywności ekonomicznej w duńskich farmach ekologicznych. Mimo iż roczna wydajność od krowy była wyższa przy zastosowaniu AMS to wskaźniki ekonomiczne porównywanych gospodarstw nie różniły się.

1.7. DOBROSTAN KRÓW W OBORACH WYPOSAŻONYCH W AMS

Dobrostan zwierząt był przedmiotem licznych prac badawczych [Hopster i wsp., 2002; Abeni i wsp., 2005; Gajos, 2010; Jacobs i Siegford 2012; Holloway i wsp., 2014]. W Polsce, jak w wielu krajach, intensyfikacja produkcji mleka bez zachowania dobrostanu zwierząt znacząco obniżyła długowieczność krów rasy holsztyńsko-fryzyjskiej [Adamczyk i wsp., 2017].

Czas odpoczynku krów jest bardzo istotnym czynnikiem warunkującym dobrostan, zdrowie i poziom ich produkcji. Obory wyposażone w AMS w największym stopniu spośród istniejących systemów, stwarzają krowom szansę na wolny ruch oraz na możliwości swobodnego dostępu do dojenja [Hopster i wsp., 2002]. Motywacja krów do dobrowolnego podejścia, a następnie wejścia do boksu robota udojowego może być uzależniona od zrozumienia behawioru krów i zwrócenia uwagi na zapewnienie dobrostanu. Korzyściami wynikającymi z instalacji AMS są poprawa zdrowia zwierząt i dobrostanu oraz wzrost wydajności mleka. W porównaniu do hali udojowej, przy doju automatycznym nie dochodzi do przemęczenia zwierząt spowodowanego długim oczekiwaniem na dój [Winnicki i Kołodziejczyk, 2011]. Holloway i wsp. [2014] koncepcję doju automatycznego nazywają wartościową ingerencją w zbiorowość biologiczną pomiędzy ludźmi i krowami, ponieważ zmusza ona nas do krytycznego myślenia o relacji pomiędzy ludźmi, zwierzętami i urządzeniami. Jeżeli hodowcy zależy na zdrowych i wysokowydajnych krowach to musi on obserwować stado, relacje między zwierzętami i znać ich strukturę socjalną. Hopster i wsp. [2002], prowadząc badania na grupie krów pierwiastek, zwracają uwagę, że żaden system doju nie powinien skutkować reakcją stresową u zwierząt.

Olechnowicz i wsp. [2006] podkreślają, że na zdrowotność wymion w AMS korzystnie wpływa przede wszystkim możliwość bardzo wczesnego wykrywania *mastitis* i zapobieganie pustodojom przednich ćwiartek wymienia, które są dojone krócej. Z drugiej strony znaleźć można prace porównujące stres i niedogodności w konwencjonalnym i automatycznym systemie doju [Hopster i wsp., 2002], w których uzyskano sprzeczne wyniki. Jak podkreślają Rushen i wsp. [2001] w AMS krowa dojona jest w niesprzyjających warunkach, odizolowana od reszty stada, słysząca obce dźwięki urządzenia do doju, prowadzić to może do wzrostu stresu, jednoczesnego spadku wydajności mleka i redukcji wydzielania oksytocyny.

AMS zaprojektowany został również w celu zmniejszenia nakładów pracy podczas doju, a to kolejny czynnik wskazany przez autorów, jako pogłębiający niepokój zwierzęcia. Zdaniem Rushen i wsp. [2001] dla krów przyzwyczajonych do doju w towarzystwie innych zwierząt oraz do obecności człowieka nowa sytuacja w czasie doju może być silnie stresogenna. Z kolei Hopster i wsp. [2002] podkreślają, że zarówno konwencjonalny, jak i zrobotyzowany system doju nie mają ujemnego wpływu na podwyższenie

reakcji stresowej pierwiastek pod warunkiem, że nie zostanie naruszony dobrostan tych zwierząt przed i w czasie doju. Weiss i wsp. [2004b] porównywali ilość uderzeń serca krów dojonych w hali a później przeniesionych do AMS i stwierdzili, że była ona podobna. Zanotowali natomiast, zaraz po zmianie systemu doju, duży spadek wydajności mleka części krów. Również Gygax i wsp., [2007] podkreślają, że w stadach dojonych za pomocą robotów wzrósł poziom stresu wśród zwierząt, jednak różnice między zwierzętami dojonymi w CMS i AMS nie zostały potwierdzone statystycznie. Abeni i wsp. [2005] porównywali wskaźniki metaboliczne i psychofizyczne pierwiastek, wpływające na dobrostan zwierząt w grupach krów dojonych za pomocą tradycyjnego systemu doju oraz za pomocą robotów udojowych. Nie stwierdzono różnic statystycznych w zakresie wydajności mlecznej, jednocześnie w grupie krów dojonych w AMS zaobserwowano podwyższony poziom kortyzolu przez całą laktację, który zdaniem autorów wskazywać może na chroniczny stres tej grupy zwierząt.

Dearing i wsp. [2004] przebadali BCS (*ang. Body Condition Score* – punktowa ocena kondycji) i płodność w stadach bydła mlecznego w Wielkiej Brytanii, które przeszły z CMS na AMS. Nie zaobserwowali istotnego wpływu zmiany systemu doju na BCS i płodność zwierząt, jednak stwierdzili tendencję spadkową wartości badanych cech, która może być problematyczna w dłuższym okresie czasu. Bava i wsp. [2012] badali wpływ wysokiej temperatury i wilgotności powietrza w oborze na zachowanie krów. Zaobserwowali, że gdy warunki są niesprzyjające, krowy więcej czasu spędzają w pozycji stojącej, zamiast leżeć i wypoczywać. Czas spędzany przez krowy przy stole paszowym nie różnił się w zależności od warunków termicznych. Stres cieplny spowodował spadek wydajności krów niezależnie od stosowanego systemu doju. Bava i wsp. [2012] podają, że krowy (szczególnie wieloródki) użytkowane w AMS są bardziej narażone na stres cieplny, niż zwierzęta dojone tradycyjnie, z powodu rzadszych wizyt w robocie udojowym. W badaniach Oudshoorn i wsp. [2012] procent brakowania zwierząt był wyższy w stadach z AMS (38%) niż w CMS (32%). Wyższy procent brakowania mógł być spowodowany tym, że hodowcy brakowali krowy, które miały problemy z korzystaniem z robota udojowego takie jak: wolny udój, odmowa dobrowolnego wejścia do boks udojowego lub szczególne rozmieszczenie strzyków i kształt wymienia. Jednakże nie stwierdzono różnic w zakresie badanych cech dotyczących zdrowia i rozrodu krów.

Dokonany przegląd piśmiennictwa na temat automatyzacji procesu doju dowodzi, że opinie badaczy na temat jego wpływu na poziom cech produkcyjnych i funkcjonalnych bydła mlecznego są podzielone. Z tego względu wydaje się zasadne podjęcie badań nad konsekwencjami zastąpienia konwencjonalnego systemu doju systemem automatycznym w populacji bydła rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania zostały przeprowadzone w 16 stadach bydła mlecznego zlokalizowanych na terenie Polski, utrzymujących krowy rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej (tab. 1). W stadach tych, w latach 2010–2013 nastąpiła zmiana systemu doju z konwencjonalnego (CMS) na automatyczny (AMS). W zależności od gospodarstwa zainstalowano od jednego do czterech robotów udojowych „Astronaut A4” firmy Lely.

Analizie poddano poziom wybranych cech produkcyjnych i funkcjonalnych krów. Materiał do przeprowadzonej analizy pochodził z systemu rejestracji danych SYMLEK, udostępnionego przez PFHBiPM. Z systemu zebrano dane o krowach wycielonych w latach 2008–2015, składające się z następujących informacji:

- numer laktacji,
- data urodzenia,
- data pierwszej i skutecznej inseminacji,
- liczba zabiegów inseminacyjnych,
- data wycielenia i zasuszenia,
- data próbnego udoju,
- wydajność mleka w pierwszej i drugiej laktacji pełnej,
- zawartość (%) tłuszczu, białka w mleku w pierwszej i drugiej laktacji pełnej,
- liczba komórek somatycznych w próbnym udoju pochodzących z pierwszej i drugiej laktacji,
- data oceny budowy krowy
 - w tym: ocena ogólna podindeksu pokroju, podindeksy: rami ciała, siły mleczności, nóg i racic, wymienia; wysokość w krzyżu oraz wartości punktowe poszczególnych cech tj.: głębokość tułowia, szerokość klatki piersiowej, ustawienie zadu, szerokość zadu, postawa nóg tylnych z boku, racice, postawa nóg tylnych z tyłu, struktura kostna, zawieszenie przednie wymienia, zawieszenie tylne wymienia, więzadło środkowe wymienia, położenie wymienia, szerokość wymienia, ustawienie strzyków przednich, długość strzyków, ustawienie strzyków tylnych, charakter mleczny, kondycja, lokomocja
- data ubycia krowy ze stada wraz z kodem ubycia.

Łącznie zebrano informacje o 3398 krowach (tab. 1). Zgromadzony materiał liczbowy został opracowany statystycznie w głównej mierze za pomocą wieloczynnikowej analizy wariancji. Istotność różnic między powstałymi grupami oceniano za pomocą testu Scheffé. Obliczenia zostały wykonane za pomocą programu SAS 9.4 [SAS Institute Inc., 2014]. W konstruowanych modelach statystycznych zmienność badanych cech warunkowano wpływem czynników głównych oraz interakcji pierwszego

stopnia, których statystyczne znaczenie w kształtowaniu tej zmienności zostało potwierdzone.

Na potrzeby analizy statystycznej stada oznaczono literami od A do P, a sezon wycielenia podzielono na dwa okresy. Do pierwszego okresu (letniego) zaliczono miesiące: V–X, a do drugiego (zimowego): XI–IV. Z kolei uwzględnione w modelach: wiek w dniu wycielenia i wiek w dniu oceny występowały w postaci zmiennej ciągłej (dni).

Klasycznym czynnikiem klasyfikującym w modelach liniowych opisujących zmienność cech produkcyjnych bydła jest rok wycielenia. Jednakże ze względu na jego ściśle powiązanie z rokiem wprowadzania AMS nie uwzględniono go w przeprowadzanych analizach statystycznych.

Najważniejszym kryterium podziału badanej populacji zwierząt, ze względu na cel pracy, był system doju. Podziału tego dokonano wg. następującego schematu.

Schemat 1. Struktura podziału badanej zbiorowości zwierząt

- CMS–daty kolejnych wycieleń i zasuszeń, daty udojów próbnych, daty oceny budowy < data wprowadzenia AMS
- AMS–daty kolejnych wycieleń i zasuszeń, daty udojów próbnych, daty oceny budowy > data wprowadzenia AMS

2.1. WYDAJNOŚĆ I SKŁAD MLEKA W PIERWSZEJ I DRUGIEJ LAKTACJI PEŁNEJ

Do oceny zmian wartości cech produkcyjnych wyselekcjonowano krowy, które analizowane laktacje (pierwsza i druga) odbyły tylko w jednym z porównywanych systemów doju. Pozwoliło to na wyeliminowanie przypadków, w których to zwierzęta byłyby poddawane czynnikowi zmiany systemu doju w trakcie trwania laktacji. Z analizy wyłączono również zwierzęta, które pierwszą laktację dojne były w systemie konwencjonalnym, zaś kolejne w automatycznym. W analizie statystycznej uwzględniono laktacje trwające co najmniej 240 dni. W analizie laktacji pełnych zebrano informacje o 2620 pierwiastkach i 1339 krowach w drugiej laktacji (tab. 2).

Zmienność cech produkcyjnych (wydajność mleka (kg) oraz zawartość (%) tłuszczu, białka w mleku w laktacji pełnej krów) warunkowano jako efekt wieku w dniu wycielenia (zmienna kowariancyjna pierwszego stopnia), systemu doju, stada i sezonu wycielenia, wykorzystując następujący model liniowy:

$$y_{ijkl} = \mu + BX + a_i + b_j + c_k + (ac)_{ik} + (bc)_{jk} + (ab)_{ij} + e_{ijkl},$$

gdzie:

y_{ijkl} – wartość fenotypowa cechy,

μ – średnia ogólna,

BX – regresja liniowa na wiek w dniu wycielenia,

a_i – wpływ i -tego systemu doju (CMS, AMS),

b_j – wpływ j -tego stada (A–P),

c_k – wpływ k -tego sezonu wycielenia (letni: V–X, zimowy XI–IV),

$(ac)_{ik}$ – interakcja system doju \times sezon wycielenia,

$(bc)_{jk}$ – interakcja stado \times sezon wycielenia,

$(ab)_{ij}$ – interakcja system doju \times stado,

e_{ijkl} – błąd losowy.

Wyodrębnione przy użyciu modelu klasyfikującego grupy zwierząt porównywano na podstawie średnich najmniejszych kwadratów przy użyciu testu Scheffé. Analizę statystyczną zmienności wydajności mleka przeprowadzono za pomocą programu komputerowego SAS [SAS Institute Inc., 2014], posługując się procedurą GLM.

2.2. LICZBA KOMÓREK SOMATYCZNYCH W MLEKU Z PRÓBNYCH UDOJÓW

Jednym z elementów prowadzonych badań była ocena jakości mleka na podstawie liczby komórek somatycznych (LKS) w próbnym udoju. Łącznie zebrano informację o 28655 próbnym udojach krów w pierwszej i drugiej laktacji (tab. 7). Przed przystąpieniem do oceny statystycznej tej cechy poddano ją następującej transformacji logarytmicznej, otrzymując zawartość komórek somatycznych (ang. *somatic cell score*, SCS):

$$SCS = \log_2 \left(\frac{LKS}{100000} \right) + 3, \text{ [PFHBiPM, 2016a]}$$

Do interpretacji otrzymanych wyników obliczono wartości kwartyła pierwszego i trzeciego oraz medianę z LKS. Następnie, posługując się wieloczynnikową analizą wariancji ustalano czynniki odpowiedzialne statystycznie za zmienność wyżej wymienionej cechy w pierwszej i drugiej laktacji. Posłużono się przy tym następującym mieszanym modelem liniowym:

$$y_{ijklm} = \mu + BX + a_i + b_j + c_k + d_l + (ab)_{ij} + (ac)_{ik} + (bc)_{jk} + b_1\sqrt{3x} + b_2\sqrt{\frac{5}{4}}(3x^2 - 1) + BX + e_{ijklm},$$

gdzie:

y_{ijklm} – zawartość komórek somatycznych (SCS),

μ – średnia ogólna,

BX – regresja liniowa na wiek w dniu wycielenia,

a_i – stały efekt i -tego systemu doju (CMS, AMS),

b_j – stały efekt j -tego stada (A–P),

c_k – stały efekt k -tego sezonu wycielenia (letni: V–X, zimowy XI–IV),

d_l – losowy efekt l -tej krowy (1..2620 w pierwszej laktacji, 1..1339 w drugiej laktacji),

$(ab)_{ij}$ – interakcja system doju \times stado,

$(ac)_{ik}$ – interakcja system doju \times sezon wycielenia,

$(bc)_{jk}$ – interakcja stado \times sezon wycielenia,

$b_1\sqrt{3x}$; $b_2\sqrt{\frac{5}{4}}(3x^2 - 1)$ – współzmiennie wielomianu Legendre'a,

zmodyfikowane przez Genglera:

$$x = \frac{2(t-5)}{t_{max}-t_{min}} - 1,$$

t – dzień doju próbnego,

t_{max} ; t_{min} – czas maksymalnego i minimalnego doju próbnego,

e_{ijklm} – błąd losowy.

Analizę statystyczną zmienności komórek somatycznych przeprowadzono za pomocą programu komputerowego SAS [SAS Institute Inc., 2014], posługując się procedurą MIXED. Wyodrębnione przy użyciu modelu klasyfikującego grupy zwierząt porównywano na podstawie średnich najmniejszych kwadratów przy użyciu testu Scheffé.

2.3. CECHY REPRODUKCYJNE KRÓW

Do oceny zmian cech reprodukcyjnych wyselekcjonowano 2620 pierwiastek i 1339 krów w drugim cyklu reprodukcyjnym. Odnotowano również 860 krów, które wycieliły się po raz trzeci (tab. 12).

Badano następujące cechy reprodukcyjne krów mlecznych:

- indeks inseminacyjny – liczba zabiegów przypadających na zacielenie (II),
- czas zwłoki – liczba dni między pierwszą a skuteczną inseminacją (CZ),
- wiek w dniu pierwszej inseminacji – liczba dni (WPI),
- wiek w dniu wycielenia – liczba dni (WW),
- okres międzyciążowy – liczba dni między kolejnymi ciążami (OMC),
- okres międzywycieleniowy – liczba dni między kolejnymi wycieleniami (OMW).

W celu obliczenia drugiego OMC i OMW konieczne było wykorzystanie informacji dotyczącej daty trzeciego wycielenia.

Wyżej wymienione cechy badano w pierwszym i drugim cyklu reprodukcyjnym. Zmienność wyżej wymienionych cech warunkowano wpływem następujących czynników: system doju, stado i sezon wycielenia, wykorzystując następujący model liniowy:

$$y_{ijkl} = \mu + a_i + b_j + c_k + (ac)_{ik} + (bc)_{jk} + (ab)_{ij} + e_{ijkl},$$

gdzie:

y_{ijkl} – wartość cechy,

μ – średnia ogólna,

a_i – wpływ i-tego systemu doju (CMS, AMS),

b_j – wpływ j-tego stada (A–P),

c_k – wpływ k-tego sezonu wycielenia (letni: V–X, zimowy: XI–IV),

$(ac)_{ik}$ – interakcja system doju \times sezon wycielenia,

$(bc)_{jk}$ – interakcja stado \times sezon wycielenia,

$(ab)_{ij}$ – interakcja system doju \times stado,

e_{ijkl} – błąd losowy.

Analizę statystyczną zmienności cech reprodukcyjnych przeprowadzono za pomocą programu komputerowego SAS [SAS Institute Inc., 2014], posługując się procedurą GLM. Wyodrębnione przy użyciu modelu klasyfikującego grupy zwierząt porównywano na podstawie średnich najmniejszych kwadratów przy użyciu testu Scheffé.

2.4. POKRÓJ KRÓW

Ocenę różnic w zakresie budowy zwierząt dokonano na podstawie ocen pokroju 1451 krów: 756 użytkowanych w CMS i 695 w AMS (tab. 19 i 21) pochodzących z 14 stad. Stada B, D, M i N nie zostały poddane analizie z powodu małej liczby obserwacji. Badaniami objęto krowy ocenione w latach 2008–2016. W latach tych metoda oceny pokroju bydła mlecznego ulegała modyfikacjom, dlatego wybrano tylko 9 cech, wspólnych dla wszystkich ocen krów.

Badaniu poddano następujące cechy:

- zawieszenie przednie wymienia,
- zawieszenie tylne wymienia,
- więzadło środkowe wymienia,
- położenie wymienia,
- szerokość wymienia,
- ustawienie strzyków tylnych,
- ustawienie strzyków przednich,
- długość strzyków,
- charakter mleczny
- podindeks nogi i racie
- podindeks wymienia.

Różnice w zakresie badanych cechy analizowano jako efekt wieku w dniu oceny (zmienna kowariancyjna pierwszego stopnia), systemu doju i stada, wykorzystując następujący model liniowy:

$$y_{ijk} = \mu + BX + a_i + b_j + (ab)_{ij} + e_{ijk},$$

gdzie:

y_{ijk} – wartość cechy,

μ – średnia ogólna,

BX – regresja na wiek w dniu oceny,

a_i – wpływ i-tego systemu doju (CMS, AMS),

b_j – wpływ j-tego stada (A–P),

$(ab)_{ij}$ – interakcja system doju \times stado,

e_{ijk} – błąd losowy.

Wyodrębnione przy użyciu modelu klasyfikującego grupy zwierząt porównywano na podstawie średnich najmniejszych kwadratów przy użyciu testu Scheffé. Analizę statystyczną zmienności cech pokroju krów przeprowadzono za pomocą programu komputerowego SAS [SAS Institute Inc., 2014], posługując się procedurą GLM.

2.5. DŁUGOWIECZNOŚĆ KRÓW

Ocenę długości użytkowania badanych krów zrealizowano w dwóch etapach:

1. analiza przeżycia krów do 2. i 3. laktacji,
2. analiza długości życia (dni).

Pierwsze zadanie zostało wykonane na materiale liczącym 2256 krów (tab. 22). Spośród nich, 815 sztuk było użytkowanych w badanych stadach w czasie funkcjonowania konwencjonalnego systemu doju oraz 1441 dojonych było przez roboty udojowe. Założono, że wszystkie z badanych zwierząt, których przeżycie do 2. lub 3. laktacji rozważano, musiały mieć ukończone i zarejestrowane poprzednie cykle produkcyjne.

Wstępną analizę statystyczną przeżycia krów do 2. i 3. laktacji w zależności od systemu doju przeprowadzono za pomocą testu niezależności χ^2 . Niestety, test ten traktuje zjawisko dwuwymiarowo: czyli jedna przyczyna zjawiska, jeden jej skutek. Z tego względu dalsze, dogłębne postępowanie statystyczne zrealizowano przy użyciu wielorakiej regresji logistycznej. W tym celu zastosowano następujący model:

$$P(Y = 1|x_1, x_2, \dots, x_k) = \frac{e^{(a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i)}}{1 + e^{(a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i)}}$$

gdzie:

$P(Y = 1)$ – prawdopodobieństwo przeżycia krowy do 2. lub 3. laktacji,

$a_i, i = 1, 2, \dots, k$ – współczynniki regresji,

x_1, x_2, \dots, x_k – zmienne niezależne (system doju, sezon wycielenia, stado, system doju \times stado, wiek w dniu 1. wycielenia),

e – podstawa logarytmu naturalnego.

Istotność współczynników regresji weryfikowano testem Walda (tab. 23) [SAS Institute Inc., 2014].

W kolejnym kroku analizy regresji wyznaczono tzw. ilorazy szans (ang. *odds ratio*, OR). Dostarczają one informacji w postaci: ile razy prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia jest większe w grupie A w porównaniu z grupą B, czyli stosunek prawdopodobieństwa, że zdarzenie wystąpi w grupie A do prawdopodobieństwa, że zdarzenie wystąpi w grupie B. W sytuacji, gdy iloraz szans jest większy aniżeli 1, to znaczy iż prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia w grupie A jest większe niż w grupie B. Ze względu na to iż, OR wyznaczany jest na podstawie populacji próbnej konieczne było wprowadzenie miernika jego estymacji. W badaniach własnych posłużono się 95% przedziałami ufności. Szerokie przedziały ufności są dowodem słabej precyzji obliczonego OR, są też skutkiem małej liczebności próby. Powyższą analizę statystyczną wykonano za pomocą pakietu SAS i zawartych w nim procedur FREQ i LOGISTIC [SAS Institute Inc., 2014].

Drugie zadanie dotyczące statystycznej analizy długości życia wykonano przy zastosowaniu technik analizy przeżycia (ang. *survival analysis*), tj. regresji proporcjonalnego hazardu Cox'a i metody limitu iloczynowego Kaplana i Meiera (K-M) [SAS Institute Inc., 2014]. Badania te objęły krowy, które zostały wybrakowane lub nie ukończyły produkcji przed końcem okresu zbierania danych, tj. 20.08.2016 r. Informacje o wieku krów w dalszym ciągu użytkowanych, bądź też sprzedanych do hodowli na zewnątrz badanej populacji określa się jako tzw. obserwacje obcięte, ponieważ nie jest znany dokładny wiek ich brakowania.

Metoda regresji proporcjonalnego hazardu Cox'a posłużyła do wskazania czynników statystycznie związanych z długością życia krów. Analizę tę przeprowadzono za pomocą poniższego modelu:

$$h(t) = \lambda(t) \times e^{(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)},$$

gdzie:

$h(t)$ – funkcja hazardu,

$\lambda(t)$ – nieokreślona początkowa funkcja hazardu,

X_1, X_2, X_k – zmienne towarzyszące: stado, sezon wycielenia, system doju, wiek krów w dniu pierwszego wycielenia,

$\beta_1, \beta_2, \beta_k$ – wartości parametrów dotyczące zmiennych towarzyszących X_1, X_2, X_k ,

e – podstawa logarytmu naturalnego.

Dzięki zastosowanej metodzie K-M (tab. 24) oszacowano funkcję przeżycia $S(t)$ bezpośrednio z ciągłych czasów przeżycia (długości użytkowania), tj. wyznaczono prawdopodobieństwo, iż krowa nie zostanie wybrakowana wcześniej niż przed podanym czasem t (czyli będzie użytkowana do podanego czasu t). Wyznaczone krzywe przeżycia w badanych stadach porównano za pomocą statystyki Wilcoxona i log rank [SAS Institute Inc., 2014]. Dzięki temu było możliwe statystyczne potwierdzenie różnic między systemami doju w zakresie długości użytkowania zwierząt. Analiza statystyczna została przeprowadzona za pomocą oprogramowania SAS, przy zastosowaniu procedury LIFETEST i LIFEREG [SAS Institute Inc., 2014].

2.6. PRZYCZYNY BRAKOWANIA KRÓW

Analizowano przyczyny brakowania 1416 krów: 805 użytkowanych w CMS i 608 w AMS (wyk. 19).

Wyodrębniono następujące przyczyny brakowania:

- niska wydajność,
- choroby wymienia,
- jałowość i choroby układu rozrodczego,
- choroby układu ruchu,
- sprzedaż do dalszego chowu,
- choroby: metaboliczne, układu pokarmowego i oddechowego,
- wypadki losowe i inne.

Analizę statystyczną zmienności przyczyn brakowania krów przeprowadzono za pomocą programu komputerowego SAS [SAS Institute Inc., 2014]. Posługując się procedurą FREQ i testem χ^2 badano różnice w udziale przyczyn brakowania w zależności od systemu doju i laktacji (I–IV), w której krowa została wybrakowana.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

3.1. WYDAJNOŚĆ I SKŁAD MLEKA W PIERWSZEJ I DRUGIEJ LAKTACJI PEŁNEJ

W tabeli 2 zaprezentowano statystyki opisowe badanych cech produkcyjnych ogółem. Analiza wydajności mleka, zawartości (%) tłuszczu i białka w mleku wykazała, że 2620 badanych krów charakteryzowała wysoka wydajność mleka w laktacji pełnej – 9287,30 kg, wysoka zawartość tłuszczu – 3,99% i białka – 3,36%. Z drugą laktacją odnotowano 1339 krów, których wydajność mleka za laktację pełną była wyższa niż wśród pierwiastek i wyniosła 10051,71 kg, zaś zawartość tłuszczu – 4,00% i białka – 3,39%.

Uzyskane wyniki dotyczące wydajności i składu mleka pozwalają stwierdzić, że badane krowy charakteryzowały się wysokim poziomem produkcyjnym, bowiem przeciętna wydajność mleka krów będących pod oceną użytkowości mlecznej w 2008 roku wyniosła 6817 kg przy zawartości tłuszczu – 4,14% i białka – 3,34%, zaś w 2016 roku odp.: 7865 kg, 4,11 i 3,37% [PFHBiPM, 2017]. Jak podkreślają Litwińczuk i Barłowska [2015] część stad objętych oceną kontroli użytkowości w Polsce charakteryzuje się średnią wydajnością mleka od krowy na poziomie ponad 10 000 kg w laktacji. Wśród tych zwierząt znaleźć można osobniki osiągające nawet powyżej 20 000 kg mleka w laktacji. W Polsce w 2016 roku przeciętna wydajność krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej będących pod oceną użytkowości mlecznej wyniosła 8055 kg, przy zawartości tłuszczu – 4,09% i białka – 3,36% [PFHBiPM, 2017]. W pracy Nilforooshan i Edriss [2004] wydajność mleka irańskich krów holsztyńskich z prowincji Isfahan wyniosła 6428 kg przy procentowej zawartości tłuszczu w mleku na poziomie 2,84.

Wydajność i skład mleka w laktacji pełnej, jak również 305. dniowej to cechy uwarunkowane wieloma czynnikami, m.in. kolejną laktacją, rasą, stadem, rokiem i sezonem wycielenia, poziomem żywienia, WPW [Pirlo i wsp., 2000; Mostert i wsp., 2001; Cismań i wsp., 2012; Neja i wsp. 2013; Sitkowska i wsp., 2015b]. W dyskusji otrzymanych wyników, ze względu na cel pracy, główny nacisk położono na porównanie poziomu badanych cech w różnych systemach doju.

W badaniach własnych (tab. 2) zauważono wyższy poziom cech wydajności mleka w laktacji krów w drugiej laktacji niż pierwiastek, co znajduje poparcie w rezultatach krajowych opracowań naukowych [Stenzel i wsp., 2003; Sitkowska i wsp., 2016b], jak i zagranicznych [Jacobs i Siegford, 2012; Edwards i wsp., 2014].

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji wykazano statystyczny wpływ wszystkich czynników głównych i interakcji na wydajność mleka w laktacji pełnej pierwiastek (tab. 3). Ponadto, stwierdzono statystyczny wpływ systemu doju, stada, sezonu wycielenia, interakcji system doju × sezon

wycielenia i system doju \times stado na zawartość tłuszczu w mleku pierwiastek. Potwierdzono również wpływ wieku w dniu pierwszego wycielenia, stada oraz interakcji system doju \times stado na zawartość (%) białka w mleku (tab. 3).

W analizie statystycznej dotyczącej drugiej laktacji (tab. 3) potwierdzono wysoko istotny wpływ systemu doju i stada na wszystkie badane cechy mleczności. Odnotowano statystyczny wpływ wieku w dniu drugiego wycielenia na wydajność mleka i zawartość (%) białka w mleku, a także wpływ interakcji systemu doju \times stado na wydajność mleka i zawartość (%) tłuszczu w mleku. Sezon wycielenia i jego interakcje z systemem doju i stadem nie wpłynęły istotnie na analizowane cechy.

Wpływ badanych czynników tj.: stada, wieku w dniu wycielenia oraz sezonu wycielenia na poziom produkcji mleka został potwierdzony statystycznie również przez innych autorów [Pirlo i wsp. 2000; Mostert i wsp. 2001; Ettema i Santos 2004; Nilforooshan i Edriss 2004; Haworth i wsp. 2008; Cismas i wsp. 2012; Curran i wsp. 2013; Cioch i wsp. 2015; Adamczyk i wsp. 2017].

W tabelach 4 i 5 przedstawiono wartości średnich najmniejszych kwadratów, błędów standardowych oraz współczynników zmienności analizowanych cech z podziałem na system doju, stado i sezon wycielenia. Z bazy danych wykorzystano informacje o 1350 pierwiastkach dojonych w konwencjonalnym systemie doju i 1270 osobnikach dojonych w systemie automatycznym (tab. 4). Wydajność mleka (kg) w laktacji pełnej pierwiastek dojonych w CMS była niższa o ponad 1257 kg ($P \leq 0,01$) niż dojonych w AMS. W stadach dojonych automatycznie zaobserwowano mniejszą wartość współczynnika zmienności o 6,65%, co w praktyce oznaczało większe wyrównanie badanej grupy zwierząt (tab. 4). Wśród krów dojonych w systemie AMS, w porównaniu do CMS odnotowano wysoko istotnie niższą zawartość (%) tłuszczu i nieistotny spadek zawartości (%) białka w mleku odpowiednio o 0,22 p.p. i 0,02 p.p.

Wśród analizowanych stad (A–P) liczba pierwiastek mieściła się w przedziale od 61 do 414 osobników, a średnia wydajność mleka w laktacji pełnej od 5991 kg (stado O) do 10781 kg (stado E) (tab. 4). Średnia zawartość (%) tłuszczu w mleku zawierała się w przedziale 3,81 – 4,46%, a białka od 3,25 do 3,57%. Zaobserwowano, że większa liczba wycieleń wystąpiła w sezonie zimowym niż letnim, a krowy te charakteryzowały się wyższą o 363 kg wydajnością mleka, w stosunku do krów wycielonych w sezonie letnim. Należy zauważyć jednak, że krowy te produkowały mleko o niższej zawartości (%) tłuszczu (o 0,06 p.p.) – różnica wysoko istotna. Nie odnotowano statystycznych różnic w zawartości (%) białka w porównywanych sezonach wycielenia (tab. 4).

W tabeli 5 przedstawiono wyniki dotyczące krów w drugiej laktacji. W grupie 689 krów dojonych w CMS, zarejestrowano niższą o 835 kg ($P \leq 0,01$) wydajność mleka w laktacji pełnej niż u 650 krów dojonych w AMS. Ponadto zaobserwowano, że wyższej wydajności laktacyjnej krów w AMS towarzyszyło niższe zawartości (%) tłuszczu i białka w mleku o odpowiednio: 0,26 i 0,05 p.p. ($P \leq 0,01$) w porównaniu z CMS.

Wśród badanych stad liczba krów (tab. 5) zawierała się w przedziale od 30 do 220 osobników, a średnia wydajność mleka w drugiej laktacji pełnej od 6531 kg (stado O) do 12175 kg (stado E). Średnia zawartość (%) tłuszczu w mleku mieściła się w przedziale 3,76–4,56%, a białka 3,31–3,63%. W sezonie letnim odnotowano 659 laktacji krów o średniej wydajności mleka 10086 kg, a w sezonie zimowym 680 laktacji z wydajnością niższą o 14 kg. Średnia zawartość (%) tłuszczu w mleku niezależnie od sezonu wycielenia wyniosła 4,06. Wyższą zawartość białka odnotowano wśród krów wycielonych w sezonie letnim. Jednak różnica ta nie była istotna (tab. 5).

Interesujące wyniki badań dotyczące wybranych parametrów doju automatycznego w wybranych krajach w EU i USA zaprezentowali Waśkowicz i wsp. [2014]. Autorzy stwierdzili, że najwięcej mleka w czasie doby pozyskiwano od krowy w USA – 31,88 kg, a najmniej w Polsce – 25,46 kg. Ponadto stwierdzono, że spośród porównywanych krajów mleko krów z robotyzowanych stad holenderskich charakteryzowało się najwyższą zawartością tłuszczu i białka odp.: 4,48 i 3,70%. Z kolei najniższą zawartość tłuszczu w mleku (3,65%) wykazano w stadach włoskich, zaś białka (3,15%) ze Stanów Zjednoczonych. Pezzuolo i wsp. [2017] prowadzili badania w 15 stadach (utrzymujących krowy rasy holsztyńsko-fryzyjskiej) wyposażonych w AMS we Włoszech podają, że średnia dobową wydajność mleka wyniosła 31,97 kg, przy średniej frekwencji dojów na poziomie 2,6.

Najlepszą grupą do porównywania cech produkcyjnych w różnych systemach doju są pierwiastki, ponieważ nie doświadczyły wcześniej innego systemu doju. Badania nad wydajnością mleka pierwiastek w różnych systemach doju prowadzili Petrovska i Jonkus [2014]. Badania te wykonano na krowach dojonych w hali udojowej typu bok w bok oraz za pomocą robota udojowego – oba urządzenia firmy DeLaval. Autorzy odnotowali wyższą o 2 kg wydajność mleka w pojedynczym doju wśród pierwiastek w grupie doju automatycznego. Ponadto, wykazali wyższą zawartość białka i tłuszczu w mleku zwierząt dojonych w hali udojowej. Korzystny wpływ zmiany systemu doju z konwencjonalnego na automatyczny na wydajność mleka potwierdzają wyniki badań Wade i wsp. [2004]. Wzrost ten był na poziomie około 2%.

W badaniach Sitkowskiej i wsp. [2015a] również odnotowano, że średnia wydajność mleka w laktacji wzrosła po wdrożeniu AMS, jednak było to uwarunkowane dodatkowo wieloma innymi czynnikami. W powyższych badaniach wykazano, że wydajność mleka podczas doju rosła stopniowo wraz z upływem czasu od instalacji AMS. W badaniach Winnickiego i Jugowara [2014] w okresie jednego roku po wprowadzeniu robota udojowego nastąpił wzrost wydajności mlecznej, w zależności od stada wyniósł on od ok. 70 do 1430 kg.

Wyższą wydajność mleka w doju automatycznym niż konwencjonalnym potwierdziły także badania Davis'a i Reinemann'a [2002], jak również Bijl i wsp. [2007] – korzystny efekt procesu robotyzacji wyniósł aż 538 kg.

Jacobs i Siegford [2012] podkreślają, że różnice między wydajnością krów pierwiastek i wieloródek zależą głównie od ich zdolności adaptacyjnych do warunków w oborze i podczas doju. Spolders i wsp. [2004] oraz Pettersson i wsp. [2011] zaznaczają, że mimo wyższych częstotliwości doju krów pierwiastek, wyższymi wydajnościami mleka w stadach AMS charakteryzują się krowy wieloródek. W pracy Edwards i wsp. [2014] wykazano, że pierwiastki produkowały średnio 7,23 kg mleka, natomiast krowy wieloródek około 9 kg.

Zastosowana robotyzacja procesu doju w badanych stadach skutkowałą zwiększeniem się wydajności mleka za laktację pełną i spadkiem zawartości tłuszczu i białka (tab. 4 i 5). Zaistniała tendencja koresponduje z wynikami badań VanBaale i wsp. [2005] i Soberón [2008].

Biorąc pod uwagę fakt istotnej interakcji systemu doju \times stado w zakresie cech produkcyjnych na wykresach 1–5 zestawiono średnie najmniejszych kwadratów badanych cech w zależności od systemu doju i stado

Stwierdzono istotne różnice w zakresie wydajności mleka w laktacji pełnej pierwiastek po instalacji robotów udojowych w 3, a wysoko istotne w 10 stadach (wyk. 1). W 16 badanych stadach zarejestrowano wzrost wydajności mleka od 449 do 2995 kg mleka. Wyjątek stanowiło stado E, w którym jako jedynym odnotowano spadek wydajności mleka o 1352 kg. Biorąc pod uwagę średnią zawartość (%) tłuszczu w mleku w zależności od systemu doju i stada, wykazano, że w ośmiu badanych stadach po zmianie systemu doju odnotowano różnice statystyczne (wyk. 2). W AMS odnotowano niższą od 0,20 do 0,54 p.p. zawartość (%) tłuszczu w mleku niż w CMS. Pod względem zawartości (%) białka zmiany statystyczne odnotowano w pięciu analizowanych stadach (wyk. 3). W przypadku stad E i O zarejestrowano wzrost o 0,11 i 0,17 p.p. Z kolei wśród stad: C, G, I zarejestrowano spadek zawartości białka od 0,08 do 0,12 p.p.

Na wykresie 4 zaprezentowano średnie najmniejszych kwadratów wydajności mleka krów w drugiej laktacji. W siedmiu stadach odnotowano wzrost wydajności mleka od 1426 do 2469 kg (różnice statystyczne). W pozostałych przypadkach zarejestrowano spadek wydajności w sześciu stadach a wzrost w trzech stadach. Z kolei różnice statystyczne w zakresie zawartości (%) tłuszczu w mleku stwierdzono w dziewięciu stadach (wyk. 5). W AMS w porównaniu do CMS zawartość tłuszczu była niższa od 0,22 p.p. (stado C) do 0,77 p.p. (stado A).

W badaniach stwierdzono różnice w wydajności mleka i zawartości (%) tłuszczu w mleku w pierwszej laktacji pełnej w zależności od sezonu wycielenia i systemu doju (tab. 6). Pierwiastki wycielone w sezonie letnim produkowały więcej o 1556 kg mleka w AMS, w porównaniu z pierwiastkami dojonymi w CMS, jednak mleko to zawierało mniej o 0,27 p.p. tłuszczu. Podobną zależność odnotowano także w zimowym okresie wycielenia – krowy oddały o 958 kg więcej mleka w AMS niż CMS, ale zawierało ono mniej tłuszczu o 0,17 p.p.

Uzyskane w badaniach własnych wyniki znajdują potwierdzenie w pracach Bava i in. [2012] oraz Speroni i in. [2006]. Autorzy ci podają, że w oborach wyposażonych w AMS zdecydowanie niższe wydajności mleka obserwowano w sezonach wiosenno-letnim, niż jesienno-zimowych.

Uzyskane wyniki badań wykazały, że przeciętna wydajność mleka po zmianie systemu doju z CMS na AMS w grupie pierwiastek wyniosła 9865 kg (tab. 4), zaś wieloródek 10496 kg (tab. 5). Z oczywistych względów tak korzystnego efektu nie można przypisać wyłącznie procesowi robotyzacji doju. W badanych stadach prowadzone były modernizacje budynków, a zmianie systemu doju na ogół towarzyszyła modyfikacja systemu żywienia. Ponadto, konieczne jest również uwzględnienie nieprzerwanie trwającej pracy hodowlanej w populacji bydła mlecznego. Na przestrzeni lat 2008–2016 wydajność mleka za laktację w populacji krajowej bydła rasy holsztyńsko-fryzyjskiej zwiększyła się o 1048 kg, co oznacza, że w ciągu roku produkcja rosła o 131 kg.

W badaniach własnych przeciętna różnica między wydajnością pierwiastek użytkowanych w CMS i AMS wyniosła 1257 kg, zaś wieloródek 835 kg. Można założyć, że przeciętnie różnica w latach między rokiem użytkowania pierwiastek wynosi około 4 lat, zaś wieloródek około 3,5 roku. Z tego względu można przyjąć, że roczny postęp produkcyjny wyniósł odpowiednio 314 i 239 kg, przeciętnie 276,5 kg. Porównując ze sobą roczne zmiany w hodowli krajowej (131 kg), z postępem, który dokonał się w badanych stadach (276,5 kg), można wnioskować, że w tym ostatnim przypadku był dwukrotnie większy.

Jednocześnie należy pamiętać o statystycznym wpływie interakcji system doju \times stado, co świadczy o zróżnicowanych warunkach środowiskowych w oborach objętych badaniami.

3.2. LICZBA KOMÓREK SOMATYCZNYCH W MLEKU Z PRÓBNYCH UDOJÓW

Należąca do cech funkcjonalnych liczba komórek somatycznych (LKS) w mleku uwarunkowana jest wpływem licznych czynników genetycznych i pozagenetycznych [Schepers i wsp. 1997; Sawa i wsp., 2000; Mijić i wsp. 2004; Larroque i wsp., 2005; Mollenhorst i wsp., 2011; Wright i wsp. 2013; Sitkowska i wsp. 2016a, 2017a; Frossling i wsp., 2017]. Zawartość LKS w mleku kształtuje cenę skupu mleka, w związku z tym jej znaczenie ekonomiczne jest ogromne. Z tego względu LKS uwzględniana się przy doskonaleniu odporności krów na *mastitis*, koreluje silnie dodatnio z zapalenia wymienia [Nogalski, 2008].

W tabeli 7 zawarto charakterystykę LKS i SCS w zależności od laktacji (pierwiastki, krowy w drugiej laktacji). Analiza umieszczonych w niej wartości przeciętnych, jak również kwartyli pozwala stwierdzić, że mleko pierwiastek charakteryzowało się lepszą jakością higieniczną, niż krowy w drugiej laktacji. Na podstawie wartości mediany można wnioskować, że połowa prób mleka pierwiastek zawierała LKS nieprzekraczającą 95 tys./ml, podczas gdy w grupie krowy w drugiej laktacji były to 124 tys. Biorąc pod uwagę kwartył trzeci, wartości te wyniosły odpowiednio: pierwiastki – 227 tys./ml, wieloródki – 348 tys./ml.

Mastitis krowy, w szczególności pierwiastek jest znanym i dyskutowanym problemem na świecie (Lund i wsp., 1999; Rajala-Schultz i wsp., 1999; De Vliegheer i wsp., 2004a; Schukken i wsp., 2011; De Vliegheer i wsp., 2012; Santman-Berends i wsp., 2012). Początek pierwszej laktacji pierwiastek jest najważniejszym etapem dla dalszego użytkowania mlecznego krowy [De Vliegheer i wsp., 2012; Sitkowska i wsp., 2018]. W tym okresie bardzo często obserwuje się podwyższoną LKS. Naukowcy stwierdzili, że podwyższony poziom komórek somatycznych na początku pierwszej laktacji wpływa w kolejnych latach życia zwierzęcia na niższy poziom produkcji mleka i wskaźniki rozrodu oraz zwiększa ryzyko *mastitis* [De Vliegheer i wsp., 2012]. Santman-Berends i wsp. [2012] podkreślają, że pierwiastki z wysoką LKS w mleku powyżej 150 tys./ml w pierwszym badaniu po wycieleniu przy kolejnych badaniach miały statystycznie wyższy poziom LKS niż pierwiastki z LKS niższym od 150 tys./ml. De Vliegheer i wsp. [2004b] i De Vliegheer i wsp. [2005] dodają, że optymalny poziom LKS powinien wynosić poniżej 50 tys./ml w pierwszej laktacji.

Ważnym czynnikiem modyfikującym zawartość komórek somatycznych w mleku jest laktacja [Sawa i wsp. 2000, 2015; Sitkowska i wsp., 2016b, 2017a], co również zauważono w badaniach własnych (tab. 7). Jednak wyniki na temat wpływu kolejnej laktacji na liczbę komórek somatycznych są podzielone. W badaniach Sawy i wsp. [2000] wykazano, że pierwiastki ustępowały starszym krowom pod względem dobowej wydajności i składu mleka, natomiast krowy wieloródki charakteryzowały się niższą liczbą komórek

somatycznych w mleku w stosunku do krów pierwiastek. Podobną zależność pomiędzy zawartością liczby komórek somatycznych a laktacją udowodniły badania Sitkowska i wsp. [2016b] dotyczące parametrów mleka w stadzie, w którym zainstalowano roboty udojowe. Z kolei Otwinowska-Mindur i Ptak [2015] stwierdziły odwrotną tendencję w zakresie kolejnej laktacji, co pozostaje w zgodzie z wynikami przeprowadzonych badań własnych.

Oprócz samego efektu kolejnej laktacji ważnym czynnikiem różnicującym LKS jest faza laktacji. Jak wskazują wyniki badań naukowych wraz z zaawansowaniem laktacji pogarsza się jakość higieniczna mleka [Otwinowska-Mindur i wsp., 2008; Sitkowska i wsp., 2017a]. Sitkowska i wsp. [2018] obserwowali wyższą zawartość LKS częściej zaraz po porodzie, na początku laktacji oraz przez pierwsze 2–3 tygodnie okresu zasuszenia. Mollenhorst i wsp. [2011] rejestrowali bardzo wyraźny wzrost LKS wraz z dniem doju (zwłaszcza >100 dni). W badaniach Sitkowskiej i wsp. [2017a] taką tendencję obserwowano od 200 dnia doju, blisko 60% próbnych udojów zawierało powyżej 80 tys./ml LKS.

Wykonana w badaniach własnych wieloczynnikowa analiza wariancji potwierdziła statystyczny wpływ systemu doju, stada, sezonu wycielenia oraz interakcji system doju × stado na zawartość komórek somatycznych (SCS) w mleku pierwiastek (tab. 8). Biorąc pod uwagę zawartość komórek somatycznych w próbach mleka z drugiej laktacji, to statystycznym jej źródłem zmienności były: wiek w dniu wycielenia, system doju, stado i interakcja system doju × stado (tab. 8).

Wpływ wyżej wymienionych czynników na LKS był przedmiotem badań wielu autorów, często też był potwierdzany statystycznie [Berglund i wsp. 2002; Petrovska i wsp. 2014; Frossling i wsp. 2017; Sitkowska i wsp. 2017a].

Zastosowany test Scheffé wskazał na istotność różnic między porównywanymi systemami doju w zakresie SCS w mleku pierwiastek, jak i krów w drugiej laktacji na korzyść AMS (tab. 9 i 10). Biorąc pod uwagę wartości kwartyli omawianej cech, można stwierdzić, że w systemie CMS 75% prób mleka pierwiastek zawierało do 240 tys./ml LKS, podczas gdy w systemie automatycznym ta sama liczba zwierząt zawierała w próbach mleka poniżej 209 tys./ml komórek somatycznych (tab. 11). Podobną tendencję zarejestrowano w mleku krów w drugiej laktacji. Analogiczne wartości kwartyli były następujące: CMS 404 tys./ml, AMS 292 tys./ml. Zastosowany test Scheffé potwierdził również statystycznie różnicę między zawartością SCS w mleku pierwiastek wycielonych w sezonie letnim oraz zimowym na korzyść tego pierwszego (tab. 9).

Można przypuszczać, że jedną z przyczyn korzystnego efektu robotyzacji procesu doju wykazaną w badaniach własnych jest swobodny dostęp krów do robota udojowego w AMS. Jak stwierdza Sitkowska i wsp. [2015a], system automatyczny pozwala na dostosowanie dobowej częstotliwości doju do indywidualnych preferencji zwierzęcia. AMS zapobiega zbyt długim przerwom między kolejnymi dojami. Zdaniem Riekerink i wsp. [2007] jeżeli czas od

ostatniego doju jest krótszy niż 3h, nawet jeżeli ćwiartka wymienia jest zdrowa to może podczas doju mieć LKS na poziomie 200 tys./ml. Zaobserwowali oni też geometryczny wzrost średniej LKS po 7h od ostatniego udoju. Poparciem tych konkluzji co do wpływu częstotliwości doju na LKS są wyniki badań Kuczaja i wsp. [2010] – większa częstotliwość doju sprzyjała lepszej zdrowotności wymienia, co potwierdzili również Helmreich i wsp. [2016]. Korzystny efekt zmiany systemu doju na automatyczny stwierdzony w badaniach własnych może również wynikać z rozbudowanej funkcjonalności robota udojowego [Lely Holding, 2016c]. Robot Astronaut 4 posiada system szczotek, które czyszczą obszar wokół strzyków oraz u ich nasady. Po każdym doju następuje dezynfekcja szczotek. Kolejną funkcjonalnością robota jest rejestrowanie przewodności elektrycznej, temperatury i barwy mleka, co pozwala przewidywać wystąpienie mastitis, a tym samym podjąć odpowiednio wcześniej leczenie.

Jak wskazują wyniki badań naukowych wpływ systemu doju na jakość higieniczną mleka nie jest jednoznaczny. Berglund i wsp. [2002] w badaniach nad szwedzkim bydłem czerwono-białym udowodnili statystycznie potwierdzoną poprawę jakości mleka w zautomatyzowanym doju ćwiartkowym w porównaniu do doju konwencjonalnego. Jednocześnie, nie wykazali tego korzystnego efektu w przypadku mleka zbiorczego. Korzystny wpływ AMS na LKS w mleku krów litewskich potwierdziły badania Pertovska i Jonkus [2014]. Z kolei Castro i wsp. [2016] prowadzili badania na hiszpańskim bydle holsztyńsko-fryzyjski. Zmiana systemu doju z CMS na AMS spowodowała niewielką redukcję LKS, lecz nie była to zmiana potwierdzona statystycznie. Jednocześnie zaobserwowano, że w czteroletnim okresie po instalacji AMS najwyższa LKS występowała w roku pierwszym. Frosslin i wsp. [2017] prowadzili badania nad wpływem systemu doju na LKS i również uzyskali niejednoznaczne wyniki – statystyczny, korzystny wpływ robotyzacji zależał od roku prowadzonych badań. W badaniach Mulder i wsp. [2004] oceniono wpływ interakcji genotyp \times środowisko dla wydajności mleka i zawartości komórek somatycznych w mleku podczas próbnym udojów w AMS i CMS. Łącznie autorzy przeanalizowali ponad 140000 udojów, pochodzących od ponad 26000 krów, utrzymywanych w 485 stadach. Średnia dobowo wydajność mleka wynosiła 24,44 w oborach z AMS, a 24,31 w oborach z CMS. Zawartość procentowa tłuszczu i białka odpowiednio dla stad z AMS: 4,31 i 3,44 oraz dla stad z CMS: 4,38 i 3,46 g, \log^2 z SCS wynosił w mleku z AMS i CMS odpowiednio: 6,06 i 5,88.

Biorąc pod uwagę powyższe fakty literaturowe, można wnioskować, że dalsze prowadzenie badań w tym zakresie jest ciągle uzasadnione.

Analizując średnie najmniejszych kwadratów odnoszące się do SCS pierwiastek wykazano (tab. 9), że najlepsze pod względem higienicznym mleko krów pozyskiwano w stadach C, G i K (SCS < 2,56), zaś najgorsze w A, F, I, L i M (SCS > 3,50). Spośród badanych stad najniższą zawartość komórek

somatycznych w mleku krów w drugiej laktacji (tab. 10) stwierdzono w G, K, M (SCS < 3,00), zaś najwyższą w F, I i L (SCS > 4,00).

Wykonana analiza wariancji wykazała statystyczny wpływ interakcji system doju × stado na SCS (tab. 8). W związku z tym przeanalizowano średnie najmniejszych kwadratów w odniesieniu do obydwu systemów doju z podziałem na stada (wyk. 6 i 7). Z zestawionych na wykresach wyników możemy stwierdzić, że wpływ systemu doju na SCS w poszczególnych stadach był nierównomierny, zarówno w grupie pierwiastek (wyk. 6), jak i krów w drugiej laktacji (wyk. 7). Biorąc pod uwagę pierwszą z wymienionych grup, to korzystny wpływ AMS zauważono w 6 stadach (A, B, D, E, K i O). Z kolei w grupie starszej wiekowo, były to stada: A, B, D, E, I, J, K, M, N, O i P. W związku z tym nasuwa się wniosek, że automatyzacja procesu nie skutkuje obligatoryjnie poprawą jakości higienicznej mleka, a jej osiągnięcie wymaga poprawy warunków środowiskowych, w których przebywają zwierzęta.

3.3. CECHY REPRODUKCYJNE KRÓW

Właściwy poziom cech reprodukcyjnych krów jest kluczowym czynnikiem gwarantującym opłacalność produkcji mleczarskiej, ponieważ prowadzi do rytmicznych wycieleń w stadzie gwarantując szansę na sukces w produkcji mleka [Lach, 2016]. Z tego względu znaczenie tej grupy cech funkcjonalnych w kształtowaniu indeksu PF wynosi – 15% [PFHBiPM, 2017].

Z zestawionego w tabeli 12 materiału liczbowego wynika, że w grupie 2620 krów liczba zabiegów inseminacyjnych prowadzących do pierwszej ciąży wynosiła 1,67. Z kolei, w następnym cyklu reprodukcyjnym wzrosła do 2,03 inseminacji na ciążę. Zwierzęta po raz pierwszy inseminowano średnio w wieku 17 miesięcy (513 dni), a cielili się średnio w 27 miesiącu życia (824 dni)(tab. 12). W drugim cyklu reprodukcyjnym, krowy po raz pierwszy inseminowano w wieku 30 miesięcy (915 dni), a cielili się przeciętnie w 40 miesiącu (1235 dni) życia (tab. 12). Zaobserwowano, że z pierwszego na drugi cykl reprodukcyjnym wydłużeniu uległy: czas zwłoki z 25 do 38 dni, OMC z 134 do 136 dni oraz OMW z 415 do 418 dni.

Według PFHBiPM [2009] w 2008 roku w populacji krów PHF będących pod kontrolą użytkowości mlecznej, średni WPW wyniósł 823 dni a OMW 434 dni. W roku 2016 [PFHBiPM, 2017] WPW był o 8 dni krótszy a OMW wynosił także 434 dni.

Konfrontując uzyskane wartości cech reprodukcyjnych w badaniach własnych z prezentowanymi przez PFHBiPM dla populacji krajowej bydła rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej należy uznać je za podobne. W początkowym okresie badań tj. w CMS, WPW był o jeden dzień wyższy, natomiast w późniejszym okresie badań (system AMS), wiek ten był o dwa dni wyższy. Obniżanie WPW krów zostało potwierdzone badaniami własnymi. Krowy w CMS charakteryzowały się krótszym o 17 a w AMS o 23 dni OMW niż krowy pod kontrolą użytkowości mlecznej w latach 2008 i 2016.

Czynnikiem, który warunkuje prawidłowy rozwój wymienia i przystosowanie do doju oraz może przyczynić się do zmniejszenia zaburzeń związanych z rozrodem i zdrowotnością jest optymalny WPW. Podejmowano liczne próby wskazania optymalnego WPW, w którym zwierzę będzie zdolne do możliwie najlepszego zaprezentowania swojego potencjału produkcyjnego. W zależności od badanej populacji, rasy i czynników środowiskowych, m.in. systemu doju otrzymywano różne wyniki [Erdman i Varner, 1995; Mostert i wsp., 2001; Hale i wsp., 2003; Dahl i wsp., 2004; VanBaale i wsp., 2005; Eslamizad i wsp., 2010].

Jak podkreślają Nałęcz-Tarwaćka i wsp. [2011] za optymalny WPW dla krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej można przyjąć 24–27 miesiąc życia. W badaniach przeprowadzonych przez Gulińskiego i wsp. [2003] średni WPW dla krów wyniósł 812 dni (27 miesięcy), w badaniach Brotzman'a i wsp. [2015] WPW wahał się między 23,4 a 25,6 miesięcy.

W badaniach Sitkowskiej [2006] krowy, których WPW przypadał przed 24 miesiącem życia uzyskiwały najniższą produktywność życiową. Wójcik [2001], Nilforooshan i Edriss [2004] oraz Pirlo i wsp. [2000] za optymalny WPW wskazali między 23 a 24 miesiącem życia, z kolei Juszcak i wsp. [2001] zakres między 26 a 29 miesiącem. Z kolei we wcześniejszych badaniach Gnypa i Litwińczuka [1997] najkorzystniejsze wskaźniki pod względem życiowej efektywności produkcji mleka uzyskiwały krowy wycielone pierwszy raz między 24 a 27 miesiącem życia. W badaniach Heise i wsp. [2018] średni WPW wynosił około 790 dni, a w badaniach Nilforooshan i Edriss [2004] 816 dni.

Przeprowadzona analiza wariacji wykazała istotny wpływ systemu doju na liczbę zabiegów inseminacyjnych (II) i wiek w dniu wycielenia (WW) wśród krów w drugim cyklu reprodukcyjnym (tab. 13). Ponadto, stwierdzono wysoko istotny wpływ stada na wszystkie badane cechy reprodukcyjne. Dodatkowo potwierdzono wysoko istotny wpływ sezonu wycielenia na długość pierwszego OMC i OMW. Spośród badanych interakcji najwięcej istotnych różnic zaobserwowano dla efektu system doju \times stado. Interakcja ta wpłynęła statystycznie na większość badanych cech w obydwu cyklach reprodukcyjnych za wyjątkiem II w pierwszym i OMC, OMW w drugim cyklu. Kolejne dwie z badanych interakcji okazały się nie wpływać na większość z badanych cech. Wyjątek stanowiły interakcja system doju \times sezon wycielenia, która wpłynęła na WPI i WW w pierwszym cyklu reprodukcyjnym oraz interakcja stado \times sezon wycielenia, która różnicowała długości badanych OMC i OMW w obydwu cyklach reprodukcyjnych. Wpływ wyżej wymienionych czynników został także potwierdzony w badaniach Borkowskiej i wsp. [2012].

W tabelach 14 i 15 przedstawiono wartości średnich najmniejszych kwadratów z podziałem na czynniki główne w odniesieniu do cech płodności w pierwszym cyklu reprodukcyjnym. Mimo, iż nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy analizowanymi systemami doju, to badane cechy reprodukcyjne przyjmowały na ogół korzystniejsze wartości po instalacji robotów udojowych (tab. 14 i 15). Liczba zabiegów inseminacyjnych przypadających na zacielenie wynosiła 1,57 w obu systemach doju, ale odnotowano krótszy czas zwłoki, niższy wiek w dniu inseminacji i wiek w dniu pierwszego wycielenia oraz krótsze OMC i OMW w AMS.

Z punktu widzenia realizowanych badań, interesujące wyniki prezentują Dearing i wsp. [2004]. Analizowali oni zmiany w zakresie cech płodności krów jakie zaszły w okresie roku przed i roku po instalacji AMS. Mimo, iż po instalacji AMS wskaźniki uległy nieznacznemu pogorszeniu, to nie stwierdzono różnic statystycznych. Zaobserwowano wzrost liczby zabiegów inseminacyjnych w przedziale od 1,7 do 1,86, odwrotnie niż w badaniach własnych, w przypadku wieloródek–2,01 w CMS i 1,79 w AMS. Także odmienne obserwacje poczyniono w zakresie długości OMC i OMW. W badaniach Dearing i wsp. [2004] okresy te wydłużyły się o 23 dni do odpowiednio 144 i 416, a w badaniach własnych skróciły o 4 i 6 dni do

odpowiednio 129 i 411 w pierwszym cyklu reprodukcyjnym, co należy uznać za zjawiska korzystne.

Spośród badanych stad (tab. 14) najskuteczniej inseminowano jałówki w stadach N, F i D gdzie średnia liczba zabiegów przypadająca na skutecznie zacielenie wynosiła odpowiednio 1,12, 1,20 i 1,22. Zdecydowanie mniej korzystne wyniki inseminacji odnotowano w stadach C i E, gdzie liczba zabiegów inseminacyjnych wynosiła odpowiednio 2,10 i 2,44. Badany czas zwłoki krów mieścił się w przedziale od 6 do 44 dni. Jałówki w zależności od stada (tab. 14) inseminowano po raz pierwszy w wieku od 436 (stado K) do 731 dni (stado O), a cielżyły się w wieku od 751 do 1053 dni (tab. 15). Najkrótsze OMC (101 dni) i OMW (385 dni) zaobserwowano w stadzie I, a najdłuższe (166 i 449 dni) w stadzie N (tab. 15).

Różnice wysoko istotne zaobserwowano analizując wpływ sezonu wycielenia na długość pierwszych OMC i OMW (tab. 15). Krowy wycielone w sezonie letnim charakteryzowały się krótszym o 17 dni OMC i o 20 dni OMW.

W tabelach 16 i 17 przedstawiono średnie najmniejszych kwadratów cech reprodukcyjnych w drugim cyklu. Stwierdzono istotne różnice pomiędzy analizowanymi systemami doju w zakresie liczby zabiegów inseminacyjnych (tab. 16) i wieku w dniu drugiego wycielenia (tab. 17). Podczas doju konwencjonalnego wykazano wyższą o 0,22 liczbę zabiegów inseminacyjnych oraz późniejszy o 18 dni wiek drugiego wycielenia niż w AMS. Analizując pozostałe wskaźniki rozrodu badanych krów należy wnioskować, że w większości nie uległy pogorszeniu w efekcie przeprowadzonej robotyzacji procesu doju (tab. 16 i 17), a wręcz niektóre z nich przyjmowały korzystniejsze wartości niż w CMS. Warty podkreślenia jest również fakt, iż zmiana systemu doju w kontrolowanych oborach skutkowałą zdecydowaną poprawą mleczności krów.

Z kolei wyniki licznych prac naukowych [Litwińczuk i wsp., 2004; Januś i Borkowska, 2006; Bogucki i wsp. 2006; Januś i Borkowska, 2010; Borkowskiej i wsp., 2012] udowadniają, że wzrost wydajności mleka wiąże się na ogół z pogorszeniem poziomu cech reprodukcyjnych, co jest przeciwne uzyskanym wynikom w badaniach własnych.

Na wykresach 8–16 przedstawiono średnie najmniejszych kwadratów dla efektu interakcji stado \times system doju. W pierwszym cyklu reprodukcyjnym stwierdzono istotne różnice w zakresie czasu zwłoki (CZ) w stadach M i O (wyk. 8). W pierwszym z wymienionych stad zaobserwowano korzystniejszy czas zwłoki, krótszy o 31 dni w AMS niż w CMS. W drugim ze stad odnotowano odwrotną zależność (18 dni różnicy). Spośród różnic nieistotnych korzystniejsze wartości CZ zarejestrowano w 8 stadach a niekorzystne w 6 (wyk. 8).

Kolejną cechą uwzględnioną w modelowaniu był wiek w dniu pierwszej inseminacji (WPI) w pierwszym cyklu reprodukcyjnym (wyk. 9). W badaniach wykazano różnice wysoko istotne pomiędzy 8 stadami. W przypadku stad A, G, I i N krowy użytkowane w AMS inseminowano we wcześniejszym wieku niż w CMS, a różnice wynosiły odpowiednio: 40, 90, 171 i 39 dni. Odmiennych

obserwacji dokonano w stadach J, K, O, P gdzie różnice wyniosły 43, 77, 159 i 43 dni.

Podobne zależności i istotności pomiędzy system doju a stadem stwierdzono w zakresie wieku krów w dniu pierwszego wycielenia (wyk. 10.), wyjątek stanowiło stado P, gdzie różnica była tylko istotna. Największą poprawę stwierdzono w stadzie I (WPW krótszy w AMS o 161 dni), a pogorszenie wskaźnika w stadzie O (WPW dłuższy w AMS o 196 dni).

Na wykresie 11 zaprezentowano różnice w długości trwania OMC krów w stadach z podziałem na systemy doju. W stadach C, E i G odnotowano krótszy OMC o odpowiednio 46, 51, 37 dni ($P \leq 0,01$) w AMS, niż w CMS. W stadzie M zaobserwowano tendencję odwrotną, a różnica między systemami doju wyniosła 77 dni ($P \leq 0,01$).

W przypadku okresu międzywycieleniowego (wyk. 12) zależności i istotności różnic między stadami pokrywają się z wynikami dotyczącymi OMC, a różnice wynoszą kolejno 47, 55, 40 i 79 dni (przy $P \leq 0,01$).

W drugim cyklu reprodukcyjnym dla indeksu inseminacyjnego wykazano wysoko istotną interakcję system doju \times stado (wyk. 13). W stadach C i G II był on odpowiednio o 1,22 i 1,54 niższy w AMS w porównaniu do CMS ($P \leq 0,01$), a w stadzie E różnica ta wyniosła 0,49 ($P \leq 0,05$).

Odnotowano różnice statystyczne w długości CZ (wyk. 14.) Korzystniejszą wartość w AMS przyjmował w stadach C, E, G, a w stadzie J był dłuższy o 61 dni w porównaniu z CMS.

Badając WPI (wyk. 15) i WW (wyk. 16) w drugim cyklu reprodukcyjnym stwierdzono różnice statystyczne w 9 stadach. Obserwowano wcześniejszy WPI od 31 do nawet 232 dni (stada A, E, G, I, N), a także późniejszy od 77 do 115 dni (stada B, K, L, O) w AMS (wyk. 15). W przypadku WPW (wyk. 16) dokonano podobnych obserwacji, różnice wynosiły odpowiednio od 57 do 253 i od 102 do 112 dni.

W tabeli 18 przedstawiono wyniki testu Scheffé dla interakcji system doju \times sezon wycielenia w pierwszym cyklu reprodukcyjnym. Na podstawie zgromadzonego materiału liczbowego można stwierdzić, że wiek w dniu pierwszej inseminacji był najkrótszy, wśród krów dojonych w AMS, wycielonych w sezonie letnim (500 dni) a najdłuższy w grupach zwierząt wycielonych w sezonie letni w CMS i zimowym AMS (514 dni) (wyk. 18). W przypadku wieku w dniu wycielenia w pierwszym cyklu reprodukcyjnym najkorzystniejsze wartości osiągnęły krowy wycielone latem w systemie AMS (810 dni), a także wycielone latem, jednak w systemie CMS (830 dni). Mimo dłuższego o 6 dni wieku w dniu wycielenia pośród krów wycielonych zimą nie odnotowano różnic statystycznych.

W badaniach Boguckiego i wsp. [2007], stwierdzono pogarszanie się wskaźników płodności krów mlecznych wraz ze wzrostem wydajności laktacyjnej. W grupie krów, produkujących od 8001 do 10000 kg mleka w laktacji średnie wskaźników płodności wynosiły: indeks inseminacyjny–2,53, OMW–436 dni, OMC–163 dni, czas zwłoki–65 dni. Litwińczuk i wsp. [2004]

wykazali, że wraz ze wzrostem wydajności mleka zwiększa się liczba zabiegów inseminacyjnych potrzebnych do skutecznego zacielenia. Podobnie Januś i Borkowska [2006] badały wpływ poziomu wydajności mlecznej w 305. dniowej lub krótszej laktacji na wielkość następujących po niej wskaźników płodności krów. Autorki stwierdziły, że wraz ze wzrostem wydajność mleka FCM (Fat Corrected Milk) odnotowywano wyższe wartości indeksu inseminacyjnego oraz dłuższe okresy międzyciążowe i międzywycieleniowe. Borkowska i wsp. [2012] analizowali wpływ czynników pozagenetycznych na kształtowanie się wskaźników rozrodu wysokowydajnych krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej. Autorzy wykazali, że każde zwiększenie wydajności mleka o 2 tys. powyżej 9 tys. kg pogarszało wszystkie oceniane w pracy wskaźniki płodności krów. Indeks inseminacyjny pierwiastek wyniósł 2,6, a krów w drugiej laktacji 2,9, zaś OMW 420 i 432 dni.

Korzystna tendencja zaobserwowana w badaniach własnych polegająca na braku negatywnego wpływu zwiększonej produkcji mleka na analizowane cechy reprodukcyjne może być właśnie efektem wdrożenia AMS do obór. AMS poprzez swobodny ruch krów, dostęp do robota udojowego i paszy treściwej poprawia dobrostan zwierząt. Jednocześnie nieprzerwany monitoring zwierząt dzięki zamontowanym transponderom i rejestracja wielu parametrów doju, np. temperatury pozwala trafniej niż w systemach mniej zautomatyzowanych wskazać optymalny moment inseminacji. To z kolei korzystnie wpływa na wszystkie oceniane cechy reprodukcyjne. Na podstawie przeprowadzonych badań można zatem wnioskować, że zwiększenie produkcji mleka nie musi mieć negatywnego wpływu na cechy płodności, jak to miało miejsce w pracach cytowanych autorów.

3.4. POKRÓJ KRÓW

Ocena pokroju jest jednym z istotnych elementów branych pod uwagę w selekcji krów [Veerkamp i Brotherstone, 1997; Kadarmideen, 2004; Němcová i wsp., 2011; PFHBiPM, 2016b]. W indeksie hodowlanym PF dla cech pokrojowych bydła mlecznego zarezerwowano aż 25% ogólnej wagi indeksu [PFHBiPM, 2016b]. W pracy hodowlanej konieczność ciągłego poprawiania budowy wymion krów jest szczególnie ważnym elementem w kontekście automatyzacji doju. Przeprowadzono liczne badania nad związkiem cech pokroju z cechami produkcyjnymi [Wójcik i wsp., 2003; Żarnecki i wsp., 2003; Weiss i wsp. 2004a, Tilki i wsp. 2005; Pawlina i wsp. 2008; Prithard i wsp. 2010; Szencziová i wsp. 2013; Kern i wsp., 2014, Petrovska i Jonkus, 2014].

Z rezultatów zawartych w tabeli 19 wynika, że wartości rozpatrywanych podindeksów nóg i racic oraz wymienia w badanej populacji wynosiły odpowiednio 78,71 i 77,22 pkt. Biorąc pod uwagę współczynnik zmienności powyższych podindeksów (5,22–6,04%) należy stwierdzić, że należy uznać, że oceniane krowy charakteryzowały się pod ich względem dużym wyrównaniem.

Ocenianie krowy uzyskały za większość cech związanych z budową wymienia wartość zbliżoną do 6 pkt. (tab. 19). Najniższą średnią ocenę przyznano za długość strzyków (4,75 pkt.) i szerokość wymienia (4,84 pkt.), a najwyższe za ustawienie strzyków tylnych (6,46 pkt.) i więzadło środkowe wymienia (6,05 pkt.). Zmienność ocen w obrębie poszczególnych cech mierzona współczynnikiem zmienności była dość znaczna i wahała się w przedziale od 18 do 26%. Najwyższy współczynnik zmienności odnotowano dla cechy szerokości wymienia, a najniższy dla zawieszenia tylnego wymienia.

W populacji krajowego bydła rasy HF w 2008 roku wartość indeksu nogi i racice wyniosła 78,9 a wymienia 77,8 pkt [PFHBiPM, 2012]. W kolejnych latach wartości tych indeksów ulegały systematycznej poprawie, aby osiągnąć w 2016 wartości odpowiednio 80,1 i 79,3 pkt. [PFHBiPM, 2017]. Koresponduje to z uzyskanymi wynikami własnymi (tab. 19).

Przeprowadzona analiza wariacji wykazała statystyczny wpływ wieku w dniu oceny na więzadło środkowe, położenie i szerokość wymienia oraz na ustawienie strzyków tylnych (tab. 20). System doju warunkował podindeksy nóg i racic oraz wymienia, a także więzadło środkowe i szerokość wymienia. Ponadto, stwierdzono wysoko istotny wpływ stada na wszystkie badane cechy pokroju krów, z wyjątkiem ustawienia strzyków przednich. Badana interakcja system doju × stado wpłynęła statystycznie na wszystkie cechy oprócz położenia wymienia (tab. 20).

Wpływ czynników na badane cechy został także potwierdzony w badaniach Kruszyńskiego i wsp. [2006], Kern i wsp. [2014], Nowaka i wsp. [2018].

W tabeli 21 umieszczono średnie najmniejszych kwadratów cech pokroju z podziałem na system doju. Ze względu na cel pracy, tj. badanie wpływu systemu doju na cechy produkcyjne i funkcjonalne krów mlecznych w pracy

zrezygnowano ze szczegółowej analizy średnich najmniejszych kwadratów w odniesieniu do stad, jak i interakcji system doju × stado.

Badania wykazały, że wyniki pierwiastek dotyczące podindeksów nogi i racice oraz wymię, użytkowanych w czasie funkcjonowania AMS były wyższe niż w CMS odp., o 1,13 i 2,10 pkt. (tab. 21).

Korzystny, wysoko istotny wpływ zmiany systemu doju wykazano w przypadku szerokości wymienia, zaś niekorzystny, istotny wężadła środkowego wymienia (tab. 21). Pierwsza z wymienionych cech uległa poprawie o 0,6 pkt., a druga pogorszeniu o 0,33 pkt. Badane systemy doju nie różniły się statystycznie w zakresie pozostałych cech. Warty podkreślenia jest fakt, że w grupie pierwiastek użytkowanych w AMS wyższe niż w CMS wartości przyjęły cechy: położenia, ustawienie strzyków przednich, zaś niższe: zawieszenie przednie i tylne wymienia, ustawienie strzyków tylnych, długość strzyków i charakter mleczny. Podkreślenia wymaga również fakt mniejszej zmienności cech pokroju pierwiastek użytkowanych w systemie AMS niż CMS.

System doju może preferować krowy o określonych cechach budowy. Jednak nie zawsze niesie to statystyczne konsekwencje [Petrovska i Jonkus, 2014] – nie stwierdzili różnic statystycznych pomiędzy ocenami budowy wymienia krów użytkowanych w hali udojowej i w systemie doju automatycznego.

Od budowy i zdrowia wymion krów bezpośrednio uzależniona jest ilość i jakość produkowanego mleka [Prithard i wsp. 2010, Szencziová i wsp. 2013]. Na zdrowie wymienia ma wpływ jego budowa morfologiczna oraz cechy fizjologiczne [Weiss i wsp. 2004a, Tilki i wsp. 2005, Tancin i wsp. 2007b]. Z punktu widzenia doju mechanicznego i automatycznego najbardziej odpowiednie są wymiona o równomiernie rozwiniętych ćwiartkach [Berglund 2007, Tancin i wsp. 2007a]. Bach and Busto [2005], Berglund i wsp. [2007], Forsbäck i wsp. [2011], Haghkhah i wsp. [2011] twierdzą, że prawidłowy rozwój ćwiartek wymion krów jest bardzo ważny w aspekcie poprawy efektywności produkcji mleka przez krowy. Stankūnienė i wsp. [2008] wskazują, że różnice w wydajności między przednimi i tylnymi ćwiartkami większe niż 10–15%, a także różnice czasu doju dłuższe niż 1 minuta, mają negatywny wpływ na wydajność i zdrowie wymienia.

Zdaniem Kuczaja [2010] produktywność ćwiartek przednich do tylnych u krów o bardzo dobrej przydatności do doju maszynowego powinna być jak 42 do 58 całkowitej ilości pozyskanego mleka. Ze wcześniejszego opracowania Weissa i wsp. [2004a] wynika, że ćwiartki przednie produkują 39,4%, a tylne 60,6% mleka udojonego z gruczołu mlecznego krowy. Tančin i wsp. [2007b] badając zróżnicowanie wydajności poszczególnych ćwiartek wymion wykazali, że ćwiartki przednie prawe produkują 22,04%, ćwiartki przednie lewe 22,23%, ćwiartki tylne prawe 28,24% i ćwiartki tylne lewe 27,49% całkowicie wyprodukowanego przez krowę mleka.

Oceniając relacje pomiędzy pokrojem a mlecznością krów badania wskazują na niejednoznaczny związek pomiędzy typem zwierzęcia a jego produktywnością.

Część badań podaje ujemne współczynniki korelacji dla cech pokrojowych i produktywności zwierząt. Znaczna część opisuje jednak dodatni związek części elementów budowy zewnętrznej z użytkowością mleczną krów. W świetle przytaczanych wyników badań w najwyższym stopniu z produkcją mleka powiązane są elementy wyrostowości i kalibru zwierząt, ale również budowy wymienia (szerokość wymienia i FCM $r=0,29$; położenie wymienia i FCM $r=0,23$). Budowa wymienia i jego mocowanie są silnie skorelowane z dobrym zdrowiem wymion [Carlström i wsp., 2016]. W poprawie zdrowotności gruczołu wymienia wykorzystuje się również cechy pokroju. Najczęściej uwzględnia się rozwój więzadła środkowego wymienia, wysokość zawieszenia i położenie wymienia [Nogalski, 2008].

Podsumowując aspekt tej części badań należy stwierdzić, że system doju w niewielkim, dodatkowo niejednorodnym stopniu wpłyną na cechy pokroju krów.

3.5. DŁUGOWIECZNOŚĆ KRÓW

Charakterystyka życiowej produktywności krów najczęściej prezentowana może być w postaci wydajności życiowej, liczby przebytych laktacji, liczby dni doju, średniej produkcji mleka na dzień doju [Sawa i Krężel-Czopek, 2009; Adamczyk, 2017]. W doskonaleniu długości życia krów wykorzystuje się cechę jaką jest przeżywalność krów do określonego wieku [Nogalski, 2008]. Wcześniejsze doskonalenie jest również możliwe pośrednio poprzez uwzględnienie cech silnie z nią związanych, tj.: charakter mleczny, budowa i zawieszenie wymienia, budowa kończyn i racic, LKS [Nogalski, 2008].

Przeprowadzony test statystyczny χ^2 (tab. 22) wykazał statystyczną zależność między systemem doju a przeżyciem krów do 3. laktacji ($P \leq 0,01$). Nie potwierdził natomiast statystycznej zależności między systemem doju a przeżyciem do 2. laktacji. Należy jednak zauważyć, że wynikające z przeprowadzonego testu prawdopodobieństwo ($P = 0,0794$) było bliskie progu statystycznej istotności 0,05. Zaobserwowano, że spośród pierwiastek dojonych w CMS 54,85% było użytkowanych również w kolejnym cyklu produkcyjnym, zaś 24,91% pozostało w stadzie do trzeciej laktacji. W przypadku krów dojonych w AMS analogiczne udziały były niższe i wyniosły odpowiednio: 51,01 i 18,04%. Należy jednak zwrócić uwagę, że ze względu na fakt, iż automatyzacja procesu doju w Polsce jest stosowana od krótkiego czasu, to pełna ocena przeżycia krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej w AMS wymaga jeszcze dodatkowego czasu. Oznacza to tym samym, że prezentowane wyniki należy traktować jako wstępne.

Badania naukowe dowodzą, że okres długości życia krów mlecznych może być bardzo zróżnicowany. W badaniach Adamczyka i wsp. [2017] krowy brakowano zwykle między 5,1 a 5,6 rokiem życia, a jednocześnie bardzo niski odsetek stanowiły zwierzęta brakowane w podeszłym wieku.

Oltenacu i Broom [2010] wykazali, że % krów, które przeżywają do 48 miesiąca spadała w każdym kolejnym roku prowadzonych badań. Z kolei, jak podaje PFHBiPM [2017] średnia liczba laktacji krów w Polsce w roku 2016 wyniosła 3,05. W badaniach Hare i wsp. [2006] stwierdzono, że aż 64% krów przeżywało do 2 laktacji. Odnosząc stwierdzone w badaniach własnych wyniki do wcześniej cytowanych należy uznać je za mało korzystne.

Zaliczana do cech funkcjonalnych długowieczność odgrywa w programach hodowlanych bydła coraz większą rolę [Nilforooshan i Edriss 2004; Sawa i Bogucki, 2010; Jankowska i wsp. 2014; PFHBiPM, 2017]. Zdaniem Sewalem i wsp. [2008] długowieczność jest podyktowana decyzjami hodowcy, które wynikać mogą z niskiej produkcji krowy oraz przyczyn losowych, zdrowotności, rozrodczości i innych cechy funkcjonalnych (np. prędkość udoju, temperament mleczny, czy łatwość wycieleń). Al-Samarai i Al-Zaydi [2014] opisują długowieczność jako bardzo pożądaną cechę, która istotnie wpływa na ogólną rentowność prowadzonej hodowli bydła mlecznego. Wraz ze wzrostem długowieczności stada rośnie w nim średnia produkcja. Podkreślić należy, że

większość decyzji dotyczących brakowania krów spowodowana jest właśnie ich niską wydajnością. W krajach rozwiniętych stosuje się najczęściej trzy podstawowe metody oceny długowieczności. Pierwszym kryterium jest przeżywalność krów do określonego wieku, co może być analizowane jako cecha binarna. Po drugie ocena oczekiwanego czasu życia szacowana za pomocą modeli liniowych. Po trzecie analiza przeżycia, metoda uwzględniająca w jednej analizie informacje odnośnie przeżycia i śmierci osobników. Podobnego zdania, co do metod oceny długowieczności są Sawa i Krężel-Czopek, [2009] oraz Adamczyk i wsp. [2017].

Regresja logistyczna jest metodą statystyczną, która doskonale sprawdza się w analizie zmiennych dychotomicznych (0, 1) uwarunkowanych wpływem wielu zmiennych zarówno jakościowych, jak i ilościowych [Piwczyński, 2007]. Wykorzystywana jest z powodzeniem do przewidzenia zgonu zwierzęta lub jego przeżycia. W badaniach własnych wykorzystano powyższą metodę do modelowania przeżycia krów do 2. lub 3. laktacji. Zastosowana metoda (tab. 23), i towarzyszący jej test Walda, wykazały, że statystycznym źródłem zmienności faktu przeżycia do 2 laktacji był: system doju, sezon wycielenia i stado, z którego pochodziły badane zwierzęta. Z kolei w przypadku przeżycia krów do 3. laktacji źródłem zmienności były: system doju, stado i WPW.

Długość życia krów uwarunkowana jest wieloma czynnikami, a jednym z nich jest WPW. Związek (ujemna zależność) między WPW a długowiecznością wykazał Essl [1998]. Odwrotnie, Sawa i Bogucki [2010] wykazali dodatnią korelację między WPW a długowiecznością krów. W badaniach Kern i wsp. [2016] udowodniono, że ryzyko brakowania krów rosło prawie linearnie z WPW, a krowy cielące się pierwszy raz między 20 a 23 miesiącem życia miały bardzo podobny poziom ryzyka wybrakowania. Najwcześniej brakowano zwierzęta najstarsze w momencie pierwszego wycielenia. Zdaniem autorów miało to związek z problemami z rozrodem i zdrowotnością tej grupy krów.

Na podstawie wyznaczonego ilorazu szans (tab. 24) w odniesieniu do efektu system doju można wnioskować, że przeżycie krowy dojonej w CMS do 2. laktacji było 1,652 razy większe niż obsługiwanej przez robot udojowy. Obliczony przedział ufności tego ilorazu niesie informację, w jakich granicach liczbowych przewaga systemu tradycyjnego nad automatycznym może kształtować się w populacji generalnej krów. Na podstawie wyników zawartych w tabeli 24 możemy również stwierdzić, że krowy wycielone zimą miały 1,191 razy większą szansę przeżycia w porównaniu z wycielonymi latem. Wyznaczenie ilorazów szans wymaga na ogół wskazania przez statystyka tzw. grupy referencyjnej, do której odnosimy prawdopodobieństwo wystąpienia danego zjawiska. W przypadku efektu stada, jako grupę referencyjną przyjęto stado P. Z tego względu obliczone i umieszczone w tabelach 24 i 25 ilorazy szans wskazują ile razy prawdopodobieństwo przeżycia w stadach od A do O jest większe niż w stadzie P. Możemy zatem stwierdzić, że w stadach A, B, C, F, G, I, M, N szansa przeżycia była większa (iloraz szans > 1) niż w stadzie P. Przeciwną prawidłowość zaobserwowano w przypadku pozostałych stad,

tj.: D, E, H, J, K, L i O. Biorąc jednak pod uwagę wyznaczone szerokie 95% przedziały ufności, należy ostrożnie interpretować ilorazy szans dla poziomów efektu stado. Przedziały te często zawierają wartość liczbową „1”, co w praktyce oznacza, że w populacji generalnej stada o profilu objętych badaniami w porównaniu ze stadem P mogą charakteryzować zarówno lepszą, jak i gorszą przeżywalnością krów do drugiej laktacji.

Analizując ilorazy szans w zakresie przeżycia krów do trzeciej laktacji należy stwierdzić, że szanse przeżycia zwierząt użytkowanych w systemie CMS były 2,656 razy większe niż w AMS (tab. 25). Ponadto zaobserwowano, że letni sezon wycielenia nie sprzyjał przeżyciu krów do trzeciej laktacji ($P > 0,05$), iloraz wartość przyjął wartość poniżej 1. Biorąc pod uwagę przynależność do stada wykazano, że zwierzęta utrzymywane w stadach G, I i M charakteryzowały się większą, a w pozostałych mniejszą szansą przeżycia do 3. laktacji. Analizując uzyskane wyniki wykazano również, że przesunięcie wieku w dniu pierwszego wycielenia o 1 dzień zmniejszało szansę przeżycia zwierząt do 3. laktacji ($OR = 0,999$).

W sposób odmienny należy interpretować iloraz szans odnoszący się do wieku krów w dniu pierwszego wycielenia (tab. 25). Oznacza on bowiem ile razy zwiększa się szansa przeżycia z powiększeniem się wieku w dniu pierwszego wycielenia o 1 dzień. W zakresie przeżycia krów do drugiej laktacji szansa ta zwiększała się o 0,999, a w praktyce malała ($OR < 1$).

Na wykresie 17 zaprezentowano rozkład długości życia badanych krów. Sporządzony histogram dowodzi, że rozkład cechy jest asymetryczny, prawostronny. W badaniach własnych przeciętny wiek brakowania wyniósł tylko 1443,87 dni. W badaniach Chabuz i wsp. [2016] krowy żyły około 2190 dni. Tak wczesny wiek brakowania wykazany w badaniach własnych prawdopodobnie w głównej mierze wynika z krótkiego okresu funkcjonowania AMS w kontrolowanych stadach.

Dalszą analizę statystyczną długości życia badano za pomocą metod zaliczanych do grupy metod tzw. analiz przeżycia (survival analysis), tj. regresji proporcjonalnego hazardu Cox'a i metody Kaplana-Meiera [Rajala-Schult i wsp. 1999; Neerhof i wsp. 2000; Ojango i wsp. 2005; Zavadilova 2009; Piwczyński i wsp., 2010].

Przeprowadzona analiza statystyczna długości życia przy zastosowaniu modelu regresji proporcjonalnego hazardu Cox'a wskazała dwie zmienne istotnie związane z długością życia: stado i wiek krowy w dniu pierwszego wycielenia (tab. 26). Za pomocą skonstruowanego modelu regresji i otrzymanych parametrów można ustalić ryzyko zgonu (wybrakowania) krowy w czasie t w odniesieniu do badanego układu zmiennych niezależnych. Jednocześnie oszacowano wskaźnik ryzyka, tzw. hazardu (tab. 27). Wyznaczony wskaźnik należy rozumieć jako iloraz ryzyka ubycia w jednej grupie krów do ryzyka w populacji referencyjnej. W odniesieniu do stada grupę referencyjną stanowiły krowy użytkowane w stadzie P, sezonu wycielenia – zima, systemu doju – AMS. Z kolei w przypadku wieku krów w dniu

pierwszego wycielenia obliczony współczynnik hazardu oznacza wzrost ryzyka ubycia krowy z każdym, kolejnym dniem.

W tabelach 28 i 29 oraz na wykresie 18 zaprezentowano wyniki analizy przeżycia metodą Kaplana-Meiera. W tabeli 28 umieszczono wyniki testów Log. Rang i Wilcoxon służących porównaniu długości przeżycia krów w CMS i AMS. Potwierdzają one rezultaty analizy statystycznej metodą proporcjonalnego hazardu Cox'a, tj. spośród porównywanych systemów doju na ogół bardziej korzystne rezultaty obserwowano w odniesieniu do AMS. Przykładowo (tab. 29), prawdopodobieństwo przeżycia krów użytkowanych w oborach wyposażonych w AMS do 1500., 2000. i 2500 dnia życia wyniosło: 0,7114; 0,4890 i 0,2098, podczas gdy w CMS wartości te wyniosły, odp.: 0,6923; 0,4413 i 0,2168.

3.6. PRZYCZYNY BRAKOWANIA KRÓW

Badaniami objęto 1413 krów, które zostały wybrakowane w porównywanych systemach doju (wyk. 19). Przed instalacją robotów udojowych wybrakowano 805 krów, a po instalacji 608. Przyczyny brakowania w porównywanych systemach doju analizowano wyłącznie do czwartej laktacji.

Stwierdzono, że procentowy udział krów brakowanych ze stad w obydwu systemach w pierwszej i drugiej laktacji był identyczny i wyniósł odpowiednio 46% i 30% (wyk. 20.). Liczba objętych badaniami krów w trzeciej i czwartej laktacji różniła się między CMS i AMS zaledwie o 1 p.p.

Na wykresie 20 przedstawiono udział przyczyn brakowania krów w porównywanych systemach doju. Niezależnie od systemu doju do najczęstszych przyczyn brakowania zaliczano jałowość i choroby układu rozrodczego (CMS 26%; AMS 28%). Drugą najczęściej występującą grupą przyczyny brakowania były trudne do interpretacji wypadki losowe i inne (CMS 19%; AMS 16%). Po instalacji AMS w stadach o 4 p.p. wzrósł udział brakowania ze względu na grupę chorób (metabolicznych oraz układu pokarmowego i oddechowego), przy identycznym spadku sprzedaży do dalszego chowu. Różnice pomiędzy pozostałymi przyczynami były niższe niż 3 p.p.

Tse i wsp. [2017] prowadzili badania ankietowe wśród hodowców bydła, którzy zmienili system doju na automatyczny. Autorzy ci wykazali, że 59% respondentów podało, że po zmianie systemu doju na AMS procent krów wybrakowanych nie uległ zmianie, wzrósł w 25% stad, a obniżył się w blisko 16%. Tse i wsp. [2017] zaobserwowali również, że różnice dotyczyły zainstalowanego systemu udojowego, w małym stopniu stad wyposażonych w system udojowy firmy Lely, w większym w stadach z DeLaval.

W badaniach Ziętary i wsp. [2013] głównymi przyczynami poziomu brakowania krów była jałowość (około 60% przypadków) oraz choroby układu rozrodczego i wymion. W badaniach autorzy zaobserwowano również związek między poziomem wydajności mleka a okresem użytkowania mlecznego i poziomem brakowania. Stwierdzono występowanie związku między wielkością stada a długością okresu użytkowania krów [Ziętara i wsp., 2013]. W mniejszych stadach występował dłuższy okres użytkowania, optymalny okres użytkowania mlecznego w zależności od przyjętego modelu wynosił między 5 a 8 laktacji, rzeczywista długość użytkowania 3 laktacje. Krótki okres użytkowania krów mlecznych (około 3 laktacji) powoduje obniżenie opłacalności produkcji mleka.

Mastitis jest jedną z głównych przyczyn wczesnego brakowania krów ze stada [De Vliegher i wsp., 2012; De Vliegher i wsp., 2005; Sudhan i Sharma, 2010]. Istnieje również zależność między średnią długością użytkowania krów w stadzie i długością życia i oraz średnią długością okresu pomiędzy ostatnim wycieleniem a brakowaniem krów. W pracy Januś i Borkowskiej [2012] autorki obserwowały spadek odsetka krów brakowanych z powodu zaburzeń rozrodu,

m.in. jałowości, a wzrost udziału zwierząt brakowanych z powodu choroby wymienia.

W tabeli 30 przedstawiono udział przyczyn brakowania krów w poszczególnych laktacjach z podziałem na system doju. Zależności między systemem doju a przyczynami brakowania badano przy zastosowaniu testu χ^2 . Istotne różnice między systemami doju odnotowano w grupie krów w drugiej i trzeciej laktacji.

Wśród przyczyn brakowania krów w drugiej laktacji dojonych w AMS odnotowano wyższy niż w CMS: o 6,22 p.p. udział jałowości i chorób układu rozrodczego, o 5,87 p.p. udział chorób metabolicznych, układu pokarmowego i oddechowego po instalacji systemu AMS niż przed jego wprowadzeniem (tab. 30). Po zmianie systemu doju krowy brakowano także częściej z przyczyn niskiej wydajności, różnica 3,36 p.p. W mniejszym zaś stopniu zwierzęta ubywały ze stada z powodu chorób układu ruchu i sprzedaży do dalszego chowu. Może oznaczać to, że wolny ruch w oborze przyczynia się do poprawy dobrostanu zwierząt w aspekcie ich wolności do wyrażania naturalnego zachowania. Z kolei ograniczenie sprzedaży zwierząt po przeprowadzonej robotyzacji może być spowodowana koniecznością zwiększenia obsady w celu ekonomiczniejszego wykorzystania możliwości systemu AMS. Struktura powodów ubycia zwierzęcia ze stada po wprowadzeniu AMS zmniejszył się o 3,99 p.p. udział chorób wymienia. Prawdopodobną przyczyną tego zjawiska jest technologia (zapobiegająca pustodojom) i higiena doju stosowaną w robotach udojowych. Ponadto, zaobserwowano obniżenie o 1,7 p.p. wypadków losowych i innych. Jak już wcześniej udowodniono w badaniach własnych robotyzacja systemu doju przyczyniła się do ograniczenia zawartości komórek w mleku z próbnych udojów pierwiastek i krów w drugiej laktacji (tab. 11, 12).

W przypadku krów użytkowanych w CMS, które wybrakowano w trzeciej laktacji do najczęstszych przyczyn ubycia należały: choroby wymienia (27,27%), jałowość i choroby układu rozrodczego (25,17%) oraz wypadki losowe i inne (22,38%). Pośród krów użytkowanych w AMS największy udział w przyczynach brakowania stwierdzono z powodu jałowości i chorób układu rozrodczego (21,90%), chorób układu ruchu (20,00%) i chorób wymienia (18,10%).

Uzyskane w badaniach własnych wyniki w zakresie przyczyn brakowania krów korespondują z rezultatami Pokorskiej i wsp. [2012], w których głównymi przyczynami brakowania krów PHF były: jałowość (23,40%) i choroby wymienia (16,13%). Podobne wyniki badań prezentują Ziętara i wsp. [2013], gdzie główną przyczyną brakowania krów PHF w laktacjach 1–5 była jałowość i choroby układu rozrodczego (45,30%). Odmianą strukturę przyczyn brakowania zaprezentowali Pawlina i Trochowski [2016] w badaniach nad 207 krowami PHF odmiany czarno-białej. Stwierdzili oni, że 20,29% krów było brakowanych z powodu chorób metabolicznych, a 11,59% z powodu chorób infekcyjnych.

Badania Kern i wsp. [2017] wykazały, że krowy z niską procentową zawartością tłuszczu bądź białka w mleku, miały wyższe prawdopodobieństwo wczesnego brakowania ze stada. Również w badaniach Pokorskiej i wsp. [2012] wykazano występowanie wysoko istotnych różnic pomiędzy przyczyną brakowania a średnią dzienną wydajnością mleka oraz procentową zawartością białka w mleku. Kern i wsp. [2016] podkreślają, że krowy należące do grupy o najniższej wydajności w stadach mają statystycznie wyższe prawdopodobieństwo wcześniejszego wybrakowania ze stada.

Podsumowując badania własne dotyczące długowieczności krów należy stwierdzić, że efekt systemu doju jest niejednoznaczny. Prawdopodobną tego przyczyną jest krótki okres funkcjonowania AMS w Polsce.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań dokonano podsumowania zebranych wyników i wysunięto następujące wnioski:

1. Objęte badaniami krowy rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej w porównaniu do krajowej populacji aktywnej charakteryzowały się wysokim poziomem produkcyjnym w pierwszej i drugiej laktacji pełnej, jak również korzystnymi wartościami cech płodności.
2. Źródłem zmienności cech produkcyjnych pierwiastek i krów w drugiej laktacji były: system doju, stado oraz dla większości cech interakcja system doju \times stado. W badaniach wykazano, że wydajność mleczna pierwiastek po zmianie systemu doju z konwencjonalnego na automatyczny wzrosła o 15%, zaś krów w drugiej laktacji o 9%. Zmianom tym towarzyszyło zmniejszenie się zawartości tłuszczu w mleku w obydwu laktacjach, a białka tylko w drugiej.
3. Zmiana systemu doju z konwencjonalnego na automatyczny statystycznie korzystnie wpłynęła na jakość higieniczną mleka. Prawdopodobną przyczyną tego zjawiska była rozbudowana funkcjonalność automatycznego systemu doju, który na podstawie zarejestrowanych parametrów zdolny jest przewidzieć występowanie zapalenia gruczołu mlekowego. Lepszej jakości higienicznej mleka krów dojonych w systemie automatycznym niż w hali udojowej sprzyjać może zamontowany na ramieniu robota system szczotek, precyzyjnie czyszczący obszar wokół strzyków oraz u ich nasady, tym samym minimalizujący występowanie *mastitis*. Ponadto, w badaniach stwierdzono, że ważnym źródłem zmienności liczby komórek somatycznych w obydwu laktacjach było: stado i interakcja system doju \times stado.
4. Najważniejszym źródłem zmienności różnicującym wszystkie kontrolowane cechy płodności krów (indeks inseminacji, czas zwłoki, wiek w dniu pierwszej inseminacji i wycielenia, okres międzyciążowy, okres międzywycieleniowy) było stado. Zmiana systemu doju wpłynęła istotnie wyłącznie na indeks inseminacji i wiek w dniu wycielenia w drugim cyklu reprodukcyjnym. Zdecydowanego podkreślenia wymaga fakt, że bardziej korzystne wartości cech płodności (z wyjątkiem indeksu inseminacji w pierwszym cyklu reprodukcyjnym, który osiągnął identyczne wartości w obydwu systemach i drugiego okresu międzywycieleniowego) wykazano w grupie krów dojonych w systemie automatycznym. Zaobserwowana tendencja pozwala przypuszczać, że automatyczny system doju dzięki ciągłemu monitoringowi zwierząt pozwala trafniej wskazać dogodny termin inseminacji i tym samym korzystnie wpłynąć na pozostałe cechy płodności.
5. Zmiana systemu doju konwencjonalnego na automatyczny wpłynęła statystycznie korzystnie na wartości podindeksów: nogi i racice, wymię

- oraz szerokość wymienia, a niekorzystnie na więzadło środkowe wymienia. Jednocześnie stwierdzono, że największy wpływ na cechy pokroju krów wywarło stado, a następnie interakcja system doju \times stado.
6. Zastosowana analiza przeżycia krów przy użyciu różnych technik statystycznych dała zróżnicowane wyniki. Badając zależność między systemem doju a przeżyciem krów do drugiej i trzeciej laktacji przy zastosowaniu wielorakiej regresji logistycznej wykazano, iż była ona wysoko istotna. Wykorzystany wstępnie do analizy tej zależności test χ^2 udowodnił istotny wpływ systemu doju na przeżywalność krów do trzeciej laktacji. W przypadku obydwu metod lepsze wyniki rejestrowano w oborach z konwencjonalnym systemem doju. Z kolei regresja proporcjonalnego hazardu Cox'a, jak również metoda limitu iloczynowego Kaplana-Meiera nie potwierdziły statystycznego wpływu systemu doju na długość życia krów. Zaistniałe rozbieżności mogą wynikać z krótkiego okresu funkcjonowania automatycznego systemu doju w Polsce.
 7. Przeprowadzona analiza przy użyciu testu niezależności χ^2 wykazała statystyczną zależność między systemem doju a przyczynami brakowania krów w drugiej i trzeciej laktacji. Niezależnie od systemu doju do najczęstszych przyczyn brakowania zaliczono jałowość i choroby układu rozrodczego. Drugą najczęściej występującą grupą przyczyn brakowania były wypadki losowe i inne. Porównując przyczyny brakowania krów w laktacji drugiej i trzeciej w zależności od systemu doju zaobserwowano, że po wprowadzeniu automatyzacji doju zwiększył się udział zwierząt brakowanych ze względu na niską wydajność, choroby metaboliczne i in., a zmalał z powodu chorób wymienia, wypadków losowych i in. Tendencja brakowania z powodu pozostałych przyczyn była determinowana laktacją.
 8. Reasumując całość przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że automatyzacja systemu doju korzystnie wpłynęła na najważniejsze cechy produkcyjne i funkcjonalne tj.: wydajność mleczną krów w laktacji pełnej, zawartość komórek somatycznych w mleku oraz na cechy płodności w drugim cyklu reprodukcyjnym tj.: indeks inseminacyjny i wiek w dniu wycielenia. Wskazuje to jednoznacznie, że dalsze wdrażanie automatycznego systemu doju w wysoko wydajnych stadach krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej jest w pełni uzasadnione. Jednak biorąc pod uwagę fakt istotnej i wysoko istotnej interakcji system doju \times stado w odniesieniu do większości badanych cech produkcyjnych i funkcjonalnych należy stwierdzić, że osiągnięcie pełnego sukcesu w produkcji mleka, oprócz automatyzacji procesu produkcji mleka wymaga również szczególnej dbałości o warunki środowiskowe, w których przebywają zwierzęta. Dalszych badań wymaga natomiast analiza wpływu systemu doju na długość użytkowania krów.

5. PIŚMIENNICTWO

- [1] Abeni F., Calamari L., Calza F., Speroni M., Bertoni G., Pirlo G., 2005. Welfare assessment based on metabolic and endocrine aspects in primiparous cows milked in a parlor or with an automatic milking system. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3542–3552.
- [2] Adamczyk K., Makulska J., Jagusiak W., Węglarz A., 2017. Associations between strain, herd size, age at first calving, culling reason and lifetime performance characteristics in Holstein-Friesian cows. *Animal*, 11(2), 327–334.
- [3] Al-Samarai F., Al-Zaydi F., 2014. Genetic evaluation of longevity in dairy cattle. *Applied Science Reports*, 7(1), 25–31.
- [4] André G., Berentsen P., Engel B., de Koning C., Lansink A., 2010. Increasing the revenues from automatic milking by using individual variation in milking characteristics. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 942–953.
- [5] Antanaitis R., Žilaitis V., Juozaitienė V., Palubinskas G., Kučinskas A., Sederevičius A., Beliavska-Aleksiejūnė D., 2015. Efficient diagnostics and treatment of bovine *mastitis* according to herd management parameters. *Veterinarija Ir Zootechnika*, 69(91), 3–10.
- [6] Bach A., Busto I., 2005. Effects on milk yield of milking interval regularity and teat cup attachment failures with robotic milking systems. *Journal of Dairy Research*, 72(1), 101–106.
- [7] Bava L., Tamburini A., Penati C., Riva E., Mattachini G., Provolo G., Sandrucci A., 2012. Effects of feeding frequency and environmental conditions on dry matter intake, milk yield and behaviour of dairy cows milked in conventional or automatic milking systems. *Italian Journal of Animal Science*, 11(3), 230–235.
- [8] Berglund I., Pettersson G., Svennersten-Sjaunja K., 2002. Automatic milking: effects on somatic cell count and teat end-quality. *Livestock Production Science*, 78(2), 115–124.
- [9] Berglund I., Pettersson G., Östensson K., Svennersten-Sjaunja K., 2007. Quarter Milking for Improved Detection of Increased SCC. *Reproduction in Domestic Animal*, 42, 427–432.
- [10] Bergman K., Rabinowicz E., 2013. Adoption of the automatic milking system by Swedish milk producers. *AgriFood Econ Centre Working Paper*, 7, 1–21.
- [11] Bijl R., Kooistra S., Hogeveen H., 2007. The profitability of automatic milking on Dutch dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 90(1), 239–248.
- [12] Bogucki M., Jankowska M., Oler A., Krezel S., Neja W., 2006. Wpływ wydajności na płodność krów mlecznych. *Prace Wydziału Nauk Przyrodniczych, Seria B, Prace Komisji Nauk Rolniczych i Biologicznych*, 46(60), 15–20.

- [13] Bogucki M., Sawa A., Neja, W., 2007. Zróżnicowanie wskaźników płodności krów mlecznych w związku ze wzrastającą wydajnością laktacyjną. *Acta Scientiarum Polonorum, Zootechnica*, 6(3), 3–10.
- [14] Bogucki M., Sawa A., Neja, W., 2014. Effect of changing the cow's milking system on daily yield and cytological quality of milk. *Acta Scientiarum Polonorum, Zootechnica*, 13(4), 17–26.
- [15] Borkowska D., Piątek D., Januś E., Mucha J., 2012. Fertility indices of cows in a high-yielding herd. *Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego*, 8(3), 21–29.
- [16] Brotzman R., Cook N., Nordlund K., Bennett T., Rivas A., Döpfer D., 2015. Cluster analysis of Dairy Herd Improvement data to discover trends in performance characteristics in large Upper Midwest dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 98(5), 3059–3070.
- [17] Bruckmaier R., Macuhova J., Meyer H., 2001. Specific aspects of milk ejection in robotic milking: a review. *Livestock Production Science*, 72(1), 169–176.
- [18] Carlström C., Pettersson G., Johansson K., Strandberg E., Stålhammar H., Philipsson J., 2013. Feasibility of using automatic milking system data from commercial herds for genetic analysis of milkability. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 5324–5332.
- [19] Carlström C., Strandberg E., Johansson K., Pettersson G., Stålhammar H., Philipsson J., 2016. Genetic associations of in-line recorded milkability traits and udder conformation with udder health. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A, Animal Science*, 66(2), 84–91.
- [20] Castro A., Pereira J., Amiama C., Bueno J., 2012. Estimating efficiency in automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*, 95(2), 929–936.
- [21] Chabuz W., Stanek P., Sawicka-Zugaj W., Teter W., Żółkiewski P., Arasimowicz M., 2016. Porównanie życiowej efektywności produkcji mleka bydła rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej i simentalskiej. *Annales UMCS, Zootechnica*, 34 (1), 25–31.
- [22] Cioch B., Czerniawska-Piatkowska E., Rzewucka-Wójcik E., 2015. Effect of the age at first calving on milk performance in Simmental cows. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis, Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica*, 322(36), 37–42.
- [23] Cismaş T., Acatincăi S., Ciszter L., Erina S., Baul S., Tripon I., Răducan G., 2012. Study regarding the influence of parity, age at first calving and farm management on the milk yield and composition in Romanian Black and White cows. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 45(2), 289–293.
- [24] Curran R., Weigel K., Hoffman P., Marshall J., Kuzdas C., Coblenz W., 2013. Relationships between age at first calving; herd management criteria; and lifetime milk, fat, and protein production in Holstein cattle. *The Professional Animal Scientist*, 29(1), 1–9.

- [25] Czerniawska-Piątkowska E., Gralla K., Szewczuk M., Chociłowicz E., 2012. The comparison of yield, composition and quality of cow milk depending on twice-a-day and four-times-a-day milking. *Acta Scientiarum Polonorum, Zootechnica*, 11(4), 21–30.
- [26] Dahl G., Wallace R., Shanks R., Lueking D., 2004. Hot topic: effects of frequent milking in early lactation on milk yield and udder health. *Journal of Dairy Science*, 87, 882–885.
- [27] Davis M., Reinemann D., 2002. Milking performance and udder health of cows milked robotically and conventionally. In *Proceedings of the XVth CIGR World Congress, Chicago, Illinois, USA*, 1–8.
- [28] de Koning K., Van der Vorst, Y., 2002. Automatic milking—Changes and changes In *Proceedings of the British Mastitis Conference, Brockworth, United Kingdom*, 68–80.
- [29] de Koning K., Slaghuis B., Van der Vorst Y., 2003. Robotic milking and milk quality: effects on bacterial counts, somatic cell counts, freezing point and free fatty acids. *Italian Journal of Animal Science*, 2(4), 291–299.
- [30] de Koning K., Rodenburg J., 2004. Automatic milking: State of the art in Europe and North America. In: *Automatic milking, a better understanding, Wageningen*, 27–40.
- [31] de Koning K., 2010. Automatic Milking — Common Practice on Dairy Farms, In *Proceedings of the First North American Conference on Precision Dairy Management, Toronto, Ontario, Canada*, 52–67.
- [32] de Koning K., 2011. Automatic milking: Common practice on over 10,000 dairy farms worldwide. In *Proceedings of the Dairy Research Foundation Symposium, Camden, Sydney, Australia*, 14–31.
- [33] De Vlieghe S., Barkema H., Stryhn H., Opsomer G., de Kruif A., 2004a. Impact of early lactation somatic cell count in heifers on somatic cell counts over the first lactation. *Journal of Dairy Science*, 87(11), 3672–3682.
- [34] De Vlieghe S., Laevens H., Barkema H., Dohoo I., Stryhn H., Opsomer G., de Kruif A., 2004b. Management practices and heifer characteristics associated with early lactation somatic cell count of Belgian dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 87(4), 937–947.
- [35] De Vlieghe S., Barkema H., Stryhn H., Opsomer G., de Kruif A., 2005. Impact of early lactation somatic cell count in heifers on milk yield over the first lactation. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 938–947.
- [36] De Vlieghe S., Fox L., Piepers S., McDougall S., Barkema H., 2012. Invited review: Mastitis in dairy heifers: Nature of the disease, potential impact, prevention, and control. *Journal of Dairy Science*, 95(3), 1025–1040.

- [37] Dearing J., Hillerton J., Poelarends J., Neijenhuis F., Sampimon O., Fossing C., 2004. Effects of automatic milking on body condition score and fertility of dairy cows. *Automatic Milking: A Better Understanding*, Wageningen, 1–7.
- [38] Dohmen W., Neijenhuis F., Hogeveen H., 2010. Relationship between udder health and hygiene on farms with an automatic milking system. *Journal of Dairy Science*, 93(9), 4019–4033.
- [39] Dufour S., Fréchette A., Barkema H., Mussell A., Scholl D., 2011. Invited review: Effect of udder health management practices on herd somatic cell count. *Journal of Dairy Science*, 94(2), 563–579.
- [40] Edwards J., Jago J., Lopez-Villalobos N., 2014. Analysis of milking characteristics in New Zealand dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 97, 259–269.
- [41] Egger-Danner C., Cole J., Pryce J., Gengler N., Heringstad B., Bradley A., Stock K., 2015. Invited review: Overview of new traits and phenotyping strategies in dairy cattle with a focus on functional traits. *Animal*, 9(2), 191–207.
- [42] Erdman R., Varner M., 1995. Fixed Yield Responses to Increased Milking Frequency. *Journal of Dairy Science*, 78(5), 1199–1203.
- [43] Eslamizad M., Dehghan-Banadaky M., Rezayazdi K., Moradi-Shahrabak M., 2010. Effects of 6 times daily milking during early versus full lactation of Holstein cows on milk production and blood metabolites. *Journal of Dairy Science*, 93(9), 4054–4061.
- [44] Essl A., 1998. Longevity in dairy cattle breeding: a review. *Livestock Production Science*, 57(1), 79–89.
- [45] Ettema J., Santos J., 2004. Impact of age at calving on lactation, reproduction, health, and income in first-parity Holsteins on commercial farms. *Journal of Dairy Science*, 87(8), 2730–2742.
- [46] Forsbäck L., Lindmark-Mansson H., Svennersten-Sjaunja K., Larsen L., Andrén A., 2011. Effect of storage and separation of milk at udder quarter level on milk composition, proteolysis, and coagulation properties in relation to somatic cell count. *Journal of Dairy Science*, 94, 5341–5349.
- [47] Friggens N., Rasmussen M., 2001. Milk quality assessment in automatic milking systems: accounting for the effects of variable intervals between milkings on milk composition. *Livestock Production Science*, 73(1), 45–54.
- [48] Frossling J., Ohlson A., Hallen-Sandgren C., 2017. Incidence and duration of increased somatic cell count in Swedish dairy cows and associations with milking system type. *Journal of Dairy Science*, 100(9), 7368–7378.
- [49] Gajos E., 2010. Dobrostan bydła mlecznego–implikacje ekonomiczne. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 84, 123–131.

- [50] Gnyp J., Litwińczuk Z., 1997. Efektywność użytkowania krów w zależności od wieku przy pierwszym wycieleniu. *Medycyna Weterynaryjna*, 7(53), 415–418.
- [51] Guliński P., Giersz B., Niedziałek G., Młynek K., 2003. Kształtowanie się wieku pierwszego wycielenia i jego znaczenie dla użyteczności mlecznej pierwiastek utrzymywanych w gospodarstwach wschodniego Mazowsza w latach 1977–2000. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, 2 (2), 31–41.
- [52] GUS, 2009. *Rocznik Statystyczny Rolnictwa*. Warszawa
- [53] GUS, 2010. *Rocznik Statystyczny Rolnictwa*. Warszawa
- [54] GUS, 2016. *Rocznik Statystyczny Rolnictwa*. Warszawa
- [55] GUS, 2017. *Rocznik Statystyczny Rolnictwa*. Warszawa
- [56] GUS, 2018. *Zwierzęta gospodarskie w 2017 r.* Warszawa
- [57] Gyax L., Neuffer I., Kaufmann C., Hauser R., Wechsler B., 2007. Comparison of functional aspects in two automatic milking systems and auto-tandem milking parlors. *Journal of Dairy Science*, 90(9), 4265–4274.
- [58] Haghkhan M., Ahmadi M., Gheisari H., Kadivar A., 2011. Preliminary bacterial study on subclinical mastitis and teat condition in dairy herds around Shiraz. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 35, 387–394.
- [59] Hale S., Capuco A., Erdman R., 2003. Milk yield and mammary growth effects due to increased milking frequency during early lactation. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2061–2071.
- [60] Hare E., Norman H., Wright J., 2006. Trends in calving ages and calving intervals for dairy cattle breeds in the United States. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 365–370.
- [61] Haworth G., Tranter W., Chuck J., Cheng Z., Wathes D., 2008. Relationships between age at first calving and first lactation milk yield, and lifetime productivity and longevity in dairy cows. *Veterinary Record*, 162(20), 643.
- [62] Heise J., Stock F., Reinhardt F., Ha N., Simianer H., 2018. Phenotypic and genetic relationships between age at first calving, its component traits, and survival of heifers up to second calving. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 425–432.
- [63] Helmreich S., Wechsler B., Hauser, R., Gyax L., 2016. Effects of milking frequency in automatic milking systems on salivary cortisol, immunoglobulin A, somatic cell count and melatonin. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 158(3), 179–186.
- [64] Hogeveen H., Ouweltjes W., de Koning C., Stelwagen K., 2001. Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. *Livestock Production Science*, 72(1), 157–167.
- [65] Hogeveen H., Ouweltjes W., 2003. Sensors and management support in high-technology milking. *Journal of Animal Science*, 81(15/3), 1–10.

- [66] Holloway L., Bear C., Wilkinson K., 2014. Re-capturing bovine life: Robot-cow relationships, freedom and control in dairy farming. *Journal of Rural Studies*, 33, 131–140.
- [67] Hopster H., Bruckmaier R., Van der Werf J., Korte S., Macuhova J., Korte-Bouws G., Van Reenen, C., 2002. Stress responses during milking; comparing conventional and automatic milking in primiparous dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85(12), 3206–3216.
- [68] Hovinen M., Rasmussen M., Pyörälä S., 2009. Udder health of cows changing from tie stalls or free stalls with conventional milking to free stalls with either conventional or automatic milking. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 3696–3703.
- [69] Hulsen J., Aerden D., 2014. Feeding signals, 1–80.
- [70] Jacobs J., Siegford J., 2012. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, 95(5), 2227–2247.
- [71] Jankowska M., Sawa A., Kujawska J., 2014. Effect of certain factors on the longevity and culling of cows. *Acta Scientiarum Polonorum. Zootechnica*, 13(2), 19–30.
- [72] Januś E., Borkowska D., 2006. Wielkość podstawowych wskaźników płodności krów o różnej wydajności mlecznej. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio EE: Zootechnica*, 24, 33–37.
- [73] Januś E., Borkowska D., 2010. Analiza wpływu wybranych czynników na wartość podstawowych wskaźników płodności krów mlecznych. *Acta Scientiarum Polonorum. Zootechnica*, 9(2), 3–9.
- [74] Januś E., Borkowska D., 2012. Correlations between milk yield in primiparous PHF cows and selected lifetime performance and fertility indicators as well as reasons for culling. *Acta Scientiarum Polonorum. Zootechnica*, 11(2), 21–29.
- [75] Juszczak J., Machal L., Hibner A., 2001. Wiek cielenia się jałowic jako czynnik efektywności użytkowania mlecznego krów. *Przegląd Hodowlany*, 69(05), 18–20.
- [76] Kadarmideen H., 2004. Genetic correlations among body condition score, somatic cell score, milk production, fertility and conformation traits in dairy cows. *Animal Science*, 79(2), 191–201.
- [77] Keeper D., Kerrisk K., House J., Garcia S., Thomson P., 2017. Demographics, farm and reproductive management strategies used in Australian automatic milking systems compared with regionally proximal conventional milking systems. *Australian Veterinary Journal*, 95(9), 325–332.
- [78] Kern E., Cobuci J., Costa C., Pimentel C., 2014. Factor analysis of linear type traits and their relation with longevity in Brazilian Holstein cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(6), 784.

- [79] Kern E., Cobuci J., Costa C., Ducrocq V., 2016. Survival analysis of productive life in Brazilian holstein using a piecewise Weibull proportional hazard model. *Livestock Science*, 185, 89–96.
- [80] Klungel G., Slaghuis B., Hogeveen H., 2000. Article: The Effect of the Introduction of Automatic Milking Systems on Milk Quality. *Journal of Dairy Science*, 83(9), 1998–2003.
- [81] Kooistra S., Bijl R., Hogeveen H., 2003. Effects of automatic milking and conventional milking on the profitability of Dutch dairy farms. In *Proceedings of the 16th International Farm Management Congress*, 115–124.
- [82] Kruij T., Stefanowska J., Ouweltjes W., 2000. Robot milking and effect on reproduction in dairy cows: a preliminary study. *Animal Reproduction Science*, 60, 443–447.
- [83] Kruszyński W., Pawlina E., Wierzbicki H., 2006. Zależności między oceną pokroju krów pierwiastek rasy czarno-białej i czerwono-białej a ich użytkowością mleczną. *Acta Scientiarum Polonorum. Zootechnica*, 5(2), 47–55.
- [84] Kuczaj M., Szulc T., Jędrysiak-Lipietta, 2008. Charakterystyka populacji krów objętych programem ochrony zasobów genetycznych bydła rasy polskiej czerwono-białej. *Roczniki Naukowe PTZ*, 4(3), 29–36.
- [85] Kuczaj M., 2010. Hodowla bydła, standardy unijne i krajowe. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego.
- [86] Kuczaj M., Pres J., Bodarski R., Kupczyński R., Stefaniak T., Jawor P., 2010. Efektywność produkcji mleka i stan zdrowia krów w zależności od częstotliwości dojenia. *Medycyna Weterynaryjna*, 66(01), 32–36.
- [87] Lach Z., 2016. Seks a pieniądze–rozmród krów ciągle w cenie. Prezentacja na: Innowacyjne rozwiązania w zarządzaniu stadem bydła mlecznego w zautomatyzowanej oborze. Minikowo, 23.03.2016
- [88] Land A., Van Lenteren A., Schooten E., Bouwmans C., Gravesteyn D., Hink P., 2000. Effects of husbandry systems on the efficiency and optimisation of robotic milking performance and management. In *Robotic milking: Proceedings of the International Symposium held in Lelystad, The Netherlands, 17–19 August, 2000*. Wageningen Pers, 167–176.
- [89] Larroque H., Rupp R., Moureaux S., Boichard D., Ducrocq V., 2005. Genetic parameters for type and functional traits in the French Holstein breed. *Interbull Meeting*, June 2–4, Uppsala, Sweden, 169–179.
- [90] Laurs A., Priekulis J., 2008. Robotic milking of dairy cows. *Agronomy Research*, 6, 241–247.
- [91] Lee D., Choudhary V., 2006. Study on milkability traits in Holstein cows. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 19(3), 309.
- [92] Lely Holding, 2016a. Farm management Barn design for robotic milking. Dostęp: 27.01.2018, www.lely.com.

- [93] Lely Holding, 2016b. Farm Management Milk production on robot farms Dostęp: 29.01.2018, www.lely.com.
- [94] Lely Holding, 2016c. Farm management Robotic farm management. Dostęp: 25.01.2018, www.lely.com.
- [95] Lely Holding, Dostęp: 01.02.2018, www.lely.com.
- [96] Litwińczuk Z., Teter U., Stanek P., Jankowski P., 2004. Wpływ genotypu i poziomu produktywności na wskaźniki rozrodu krów wysoko wydajnych. *Zeszyty Naukowe Przeglądu Hodowlanego*, 74, 121–128.
- [97] Litwińczuk Z., Barłowska J., 2015. Populacja bydła mlecznego w Polsce i jej przydatność dla mleczarstwa. *Przegląd Hodowlany*, 4, 3–10.
- [98] Løvendahl P., Chagunda M., 2011. Covariance among milking frequency, milk yield, and milk composition from automatically milked cows. *Journal of Dairy Science*, 94(11), 5381–5392.
- [99] Lund M., Jensen J., Petersen P., 1999. Estimation of genetic and phenotypic parameters for clinical mastitis, somatic cell production deviance, and protein yield in dairy cattle using Gibbs sampling. *Journal of Dairy Science*, 82(5), 1045–1051.
- [100] Madsen J., Weisbjerg M., Hvelplund T., 2010. Concentrate composition for automatic milking systems — Effect on milking frequency. *Livestock Science*, 127(1), 45–50.
- [101] Maršálek M., Zedníková J., Voříšková J., 2012. Results of Automatic Milking System and Milk Performance on Selected Farms. *INTECH Open Access Publisher*, 14, 315–333.
- [102] Mazur K., Majchrzak M., 2015. Analiza wybranych parametrów mleka w oborze wolnostanowiskowej wyposażonej w robot udojowy. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1(87), 79–91.
- [103] Melin M., Hermans G., Pettersson G., Wiktorsson H., 2006. Cow traffic in relation to social rank and motivation of cows in an automatic milking system with control gates and an open waiting area. *Applied Animal Behaviour Science*, 96(3), 201–214.
- [104] Mijić P., Knežević I., Domaćinović M., 2004. Connection of milk flow curve to the somatic cell count in bovine milk. *Archives Animal Breeding*, 47(6), 551–556.
- [105] Molfino J., Kerrisk K., García S., 2014. Investigation into the labour and lifestyle impacts of automatic milking systems (AMS) on commercial farms in Australia. In *Proceedings of the 5th Australian Dairy Science Symposium*, Melbourne, Australia, 339–342.
- [106] Mollenhorst H., Hidayat M., Van den Broek J., Neijenhuis F., Hogeveen H., 2011. The relationship between milking interval and somatic cell count in automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*, 94, 4531–4537.
- [107] Mostert B., Theron H., Kanfer F., 2001. The effect of calving season and age at calving on production traits of South African dairy cattle. *South African Journal of Animal Science*, 31(3), 205–214.

- [108] MRiRW (Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi), Instytut Zootechniki, Państwowy Instytut Badawczy, 2013. Krajowa Strategia Zrównoważonego Użytkowania i Ochrony Zasobów Genetycznych Zwierząt Gospodarskich. „Ochrona i zarządzanie krajowymi zasobami genetycznymi zwierząt gospodarskich w warunkach zrównoważonego użytkowania”. Dostęp: 21.01.2018, www.izoo.krakow.pl.
- [109] Mulder H., Groen A., de Jong G., Bijma P., 2004. Genotype × environment interaction for yield and somatic cell score with automatic and conventional milking systems. *Journal of Dairy Science*, 87(5), 1487–1495.
- [110] Nałęcz-Tarwacka T., Świdorski Ł., Grodzki H., 2011. Effect of the age of the first calving on milk performance and inter-calving period of Polish Holstein-Friesian cows. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW*, 49, 127–136.
- [111] Neerhof H., Madsen P., Ducrocq V., Vollema A., Jensen J., Korsgaard I., 2000. Relationships between mastitis and functional longevity in Danish Black and White dairy cattle estimated using survival analysis. *Journal of Dairy Science*, 83(5), 1064–1071.
- [112] Neja W., Jankowska M., Sawa A., Bogucki M., 2013. Analiza użytkowości mlecznej i rozplodowej krów krajowej populacji aktywnej. *Journal of Central European Agriculture*, 14(1), 91–101.
- [113] Němcová E., Štípková M., Zavadilová L., 2011. Genetic parameters for linear type traits in Czech Holstein cattle. *Czech Journal of Animal Science*, 56(4), 157–162.
- [114] Nilforooshan M., Edriss M., 2004. Effect of age at first calving on some productive and longevity traits in Iranian Holsteins of the Isfahan province. *Journal of Dairy Science*, 87(7), 2130–2135.
- [115] Nogalski Z., 2008, Cechy funkcjonalne w hodowli bydła mlecznego. *Zeszyty Naukowe*, 37, 28–34.
- [116] Nogalski Z., Czerpak K., Pogorzelska P., 2011. Effect of automatic and conventional milking on somatic cell count and lactation traits in primiparous cows. *Annales of Animal Science*, 11, 433–441.
- [117] Nowak B., Kruszyński W., Pawlina E., Piecz K., 2018. Analiza pokroju i wybranych cech funkcjonalnych krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej należących do różnych rodzin. *Rolnictwo XXI wieku — problemy i wyzwania*, 456–468.
- [118] Oberschätzl-Kopp R., Haidn B., Peis R., Reiter K., Bernhardt H., 2016. Studies on dairy cow behaviour with automatic feeding in a herd milked by an AMS. *Landtechnik*, 71(2), 2016.
- [119] Ojango J., Ducrocq V., Pollott G., 2005. Survival analysis of factors affecting culling early in the productive life of Holstein-Friesian cattle in Kenya. *Livestock Production Science*, 92(3), 317–322.
- [120] Olechnowicz J., Lipiński M., Jaśkowski J., 2006. Główne problemy robotyzacji doju krów. *Medycyna Weterynaryjna*, 62(6), 611–616.

- [121] Oltenacu P., Broom D., 2010. The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. *Animal Welfare*, 19(1), 39–49.
- [122] Österman S., Östensson K., Svennersten-Sjaunja K., Bertilsson J., 2005. How does extended lactation in combination with different milking frequencies affect somatic cell counts in dairy cows? *Livestock Production Science*, 96(2), 225–232.
- [123] Otwinowska-Mindur A., Gierdziewicz M., Ptak E., 2008. Effect of year, season and age of calving on somatic cell score in Polish Holstein-Friesian cows of Black-and-White variety. *Roczniki Naukowe PTZ*, 4, 29–36.
- [124] Otwinowska-Mindur A., Ptak E., 2015. Genetic analysis of lactation persistency in the Polish Holstein-Friesian cows. *Animal Science Papers and Reports*, 33(2), 109–117.
- [125] Oudshoorn F., Kristensen T., Van der Zijpp A., De Boer I., 2012. Sustainability evaluation of automatic and conventional milking systems on organic dairy farms in Denmark. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 59(1), 25–33.
- [126] Pawlina E., Pankowski M., Kruszyński W., 2008. Ocena cech pokrojowych i ich związku z użytkowością mleczną krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego 2e Wrocławiu, Biologia I Hodowla Zwierząt*, LVI, 567, 169–176.
- [127] Pawlina E., Trochowski S., 2016. Związek przyczyn brakowania krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej z ich cechami użytkowymi. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Biologia i Hodowla Zwierząt*, LXXXII(622), 45–52.
- [128] Petrovska S., Jonkus D., 2014. Milking technology influence on dairy cow milk productivity and quality. In *Proceedings of the 13th International Scientific Conference Engineering For Rural Development*, 13, 29–30.
- [129] Pettersson G., Svennersten-Sjaunja K., Knight C., 2011. Relationships between milking frequency, lactation persistency and milk yield in Swedish Red heifers and cows milked in a voluntary attendance automatic milking system. *Journal of Dairy Research*, 78(3), 379–384.
- [130] Pezzuolo A., Cillis D., Marinello F., Sartori L., 2017. Estimating efficiency in automatic milking systems. *Engineering for Rural Development*, 16, 736–741.
- [131] PFHBiPM (Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka), 2009. Wyniki oceny wartości użytkowej bydła ras mlecznych. Dostęp: 25.01.2018, www.pfhb.home.pl.
- [132] PFHBiPM, 2012. Wyniki oceny wartości użytkowej bydła ras mlecznych. Dostęp: 25.01.2018, www.pfhb.home.pl.

- [133] PFHBiPM, Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, 2016a. Ocena wartości hodowlanej buhajów rasy PHF odmiany czarno-białej i czerwono-białej. Dostęp: 25.01.2018, www.wycena.izoo.krakow.pl.
- [134] PFHBiPM, Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, 2016b. Ocena wartości hodowlanej krów rasy PHF odmiany czarno-białej i czerwono-białej. Dostęp: 25.01.2018, www.izoo.krakow.pl
- [135] PFHBiPM, 2017. Ocena i hodowla bydła mlecznego. Dane za rok 2016. Dostęp: 25.01.2018, www.pfhb.pl.
- [136] Piechowska T., 2015. Stan obecny i perspektywy hodowli bydła mlecznego w Polsce. *Wiadomości Zootechniczne*, 53(2), 36–45.
- [137] Pirlo G., Miglior F., Speroni M., 2000. Effect of age at first calving on production traits and on difference between milk yield returns and rearing costs in Italian Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 83(3), 603–608.
- [138] Pirlo G., Abeni F., Capelletti M., Migliorati L., Speroni M., 2005. Automation in dairy cattle milking: experimental results and considerations. *Italian Journal of Animal Science*, 4(3), 17–25.
- [139] Piwczyński D., 2007. Statystyczna analiza śmiertelności jagniąt za pomocą regresji logistycznej. *Roczniki Naukowe PTZ*, 3(1), 19–26.
- [140] Piwczyński D., Mroczkowski S., Sitkowska B., 2010. Survival analysis of lambs using Cox's proportional hazards' modeling and Kaplan-Meier method. *Roczniki Naukowe PTZ*, 6 (4), 81–89
- [141] Piwczyński D., Sitkowska B., Aerts J., Kolenda M., 2013. The daily distribution of milkings of cows in farms equipped with the automatic milking system. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, 12(4) 61–70.
- [142] Pokorska J., Kulaj D., Ormian M., 2012. Przyczyny brakowania krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej użytkowanych w fermie wielkotowarowej. *Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego*, 8(2), 17–24.
- [143] Pritchard T., Coffey M., Mrode R., Moore K., Wall E., 2010. Genetic Parameters of Udder Health Traits in Holstein Friesian UK Dairy Cattle. Dostęp: 28.01.2018, www.kongressband.de.
- [144] Ptak E., Barć A., Jagusiak W., 2015. Rozwój metod oceny wartości hodowlanej zwierząt na przykładzie bydła mlecznego w ujęciu retrospektywnym. *Przegląd Hodowlany*, 83(2), 1–3.
- [145] Rajala-Schultz P., Gröhn Y., McCulloch C., 1999. Effects of milk fever, ketosis, and lameness on milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82(2), 288–294.
- [146] Rasmussen M., Bjerring M., Justesen P., Jepsen L., 2002. Milk quality on Danish farms with automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*, 85(11), 2869–2878.
- [147] Riekerink R., Barkema H., Veenstra W., Berg F., Stryhn H., Zadoks R. N., 2007. Somatic cell count during and between milking's. *Journal of Dairy Science*, 90(8), 3733–3741.

- [148] Rodenburg J., 2017. Feeding the Robotic Milking Herd. In Proceedings of the Herd Health and Nutrition Conference, 7–25.
- [149] Rotz C., Coiner C., Soder K., 2003. Automatic milking systems, farm size, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 86(12), 4167–4177.
- [150] Rushen J., Munksgaard L., Marnet P., DePassillé A., 2001. Human contact and the effects of acute stress on cows at milking. *Applied Animal Behaviour Science*, 73(1), 1–14.
- [151] Salfer J., Endres M., Lazarus W., Minegishi K., Berning B., 2017. Dairy Robotic Milking Systems—What are the Economics? Dostęp: 25.01.2018, www.articles.extension.org.
- [152] Santman-Berends I., Olde Riekerink R., Sampimon O., van Schaik G., Lam T., 2012. Incidence of subclinical mastitis in Dutch dairy heifers in the first 100 days in lactation and associated risk factors. *Journal of Dairy Science*, 95, 2476–2484.
- [153] SAS Institute Inc., 2014. SAS/STAT® 94 User's Guide Cary, NC: SAS Institute Inc.
- [154] Sawa A., Chmielnik H., Bogucki M., Cieślak M., 2000. Wpływ wybranych czynników pozagenetycznych na wydajność, skład i zawartość komórek somatycznych w mleku wysoko wydajnych krów. *Zeszyty Naukowe PTZ*, 51, 165–170.
- [155] Sawa A., Krężel-Czopek S., 2009. Effect of first lactation milk yield on efficiency of cows in herds with different production levels. *Archives Animal Breeding*, 52(1), 7–14.
- [156] Sawa, A., Bogucki M., 2010. Effect of some factors on cow longevity. *Archives Animal Breeding*, 53(4), 403–414.
- [157] Sawa A., Krężel-Czopek S., Bogucki M., 2015. Dry period length as related to milk yield and SCC during the first month of subsequent lactation. *Annals of Animal Science*, 15(1), 155–163.
- [158] Schepers A., Lam T., Schukken Y., Wilmink J., Hanekamp W., 1997. Estimation of variance components for somatic cell counts to determine thresholds for uninfected quarters. *Journal of Dairy Science*, 80, 1833–1840.
- [159] Schukken Y., Gutierrez C., Welcome F., Grohn Y., 2011. Systems analysis of high somatic cell counts on dairy farms. In *Udder Health and Communication*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 129–130.
- [160] Sewalem A., Miglior F., Kistemaker G., Sullivan P., Van Doormaal, B., 2008. Relationship between reproduction traits and functional longevity in Canadian dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 91(4), 1660–1668.
- [161] Sitkowska B., 2006. Wiek i sezon pierwszego wycielenia a produktywność mleczna pierwiastek w 100-dniowej laktacji. *Prace Wydziału Nauk Przyrodniczych. Seria B. Prace Komisji Nauk Rolniczych i Biologicznych*, 46.

- [162] Sitkowska B., Piwczyński D., Aerts J., Waśkiewicz M., 2015a. Changes in milking parameters with robotic milking. *Archives Animal Breeding*, 58(1), 1–7.
- [163] Sitkowska B., Piwczyński D., Lach Z., Kolenda M., 2015b. Relationship between primiparas first 100-days lactation and their lifetime milk production in Polish Holstein-Friesian Cattle. *Journal of Central European Agriculture*, 16(3), 1–12.
- [164] Sitkowska B., Piwczyński D., Aerts, J., 2016a. Właściwe warunki utrzymania po wprowadzeniu robota udojowego gwarancją poprawy parametrów mleka. *Wiadomości Zootechniczne*, LIV(4), 8–19.
- [165] Sitkowska B., Piwczyński D., Brzozowski M., Aerts J., 2016b. Dój ćwiartkowy w grupie krów pierwiastek i wieloródek. *Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego*, 12(4), 35–48.
- [166] Sitkowska B., Piwczyński D., Aerts J., Kolenda M., Özkaya S., 2017a. Detection of high levels of somatic cells in milk on farms equipped with an automatic milking system by decision trees technique. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 41(4), 532–540.
- [167] Sitkowska B., Karnowski K., Wójcik P., Bogdzińska M., 2017b. Zalety i wady automatycznego systemu udojowego. *Materiały konferencyjne LXXXII Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Naukowego „Nowoczesna hodowla a dobrostan zwierząt”* Poznań, 20–22 września 2017, 76.
- [168] Sitkowska B., Piwczyński D., Wójcik P., 2018. Milking traits affected by milking frequency during first month of lactation. *Italian Journal of Animal Science*, 17(3), 777–784.
- [169] Soberón F., 2008. Effect Of Increased Milking Frequency During Early Lactation On Performance, Metabolism, And Mammary Cell Proliferation Of Dairy Cows. Doctoral dissertation, Cornell University,
- [170] Speroni M., Pirlo G., Lolli S., 2006. Effect of automatic milking systems on milk yield in a hot environment. *Journal of Dairy Science*, 89(12), 4687–4693.
- [171] Spolders M., Meyer U., Flachowsky G., Coenen M., 2004. Differences between primiparous and multiparous cows in voluntary milking frequency in an automatic milking system. *Italian Journal of Animal Science*, 3(2), 167–175.
- [172] Stankūnienė V., Tacas J., Mišeikienė J., 2008. Dairy Farm Owner. In: *Lithuanian Veterinary Academy. Milking Training Center*, 32–39.
- [173] Steeneveld W., Kamphuis C., Mollenhorst H., Van Werven T., Hogeveen H., 2011. The role of sensor measurements in treating *mastitis* on farms with an automatic milking system. In *Udder Health and Communication*, 399–406.

- [174] Stenzel R., Chabuz W., Ciastek K., Zelezik M., 2003. Wpływ wybranych czynników środowiskowych i genotypu na jakość i skład chemiczny mleka pozyskiwanego w gospodarstwach prywatnych Lubelszczyzny. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio EE: Zootechnica*, 1(21), 55–62.
- [175] Strabel T., 2010. Selekcja genomowa—nowe narzędzie w doskonaleniu zwierząt. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2(2010), 133–149.
- [176] Stræte E., Vik J., Hansen B., 2017. The social robot: a study of the social and political aspects of automatic milking systems. *Proceedings in Food System Dynamics*, 220–233.
- [177] Sudhan N., Sharma N., 2010. Mastitis—an important production disease of dairy animals. *SMVS Dairy Year Book*, 72–88.
- [178] Svennersten-Sjaunja K., Pettersson G., 2008. Pros and cons of automatic milking in Europe. *Journal of Animal Science*, 86(13), 37–46.
- [179] Szencziová I., Strapák P., Stádník L., Ducháček J., Beran J., 2013. Relationship of udder and teat morphology to milking characteristics and udder health determined by ultrasonographic examinations in dairy cows. *Annals of Animal Science*, 13, 783–795.
- [180] Taing W., 2016. The economic viability of automatic milking systems in Australia's pasture-based dairy farm systems: a case study analysis. Melbourne School of Land and Environment. The University of Melbourne, 1–187.
- [181] Tancin V., Uhrincat M., Macuhova L., Bruckmaier R., 2007a. Effect of pre-stimulation on milk flow pattern and distribution of milk constituents at a quarter levels. *Czech Journal of Animal Science*, 52, 117–121.
- [182] Tancin V., Uhrinča M., Mihina Š., Sudzinová J., Foltys V., Tančinová D., 2007b. Somatic cell count and quarter milk flow parameters from udder of dairy cows. *Slovak Journal of Animal Science*, 40, 79–82.
- [183] Tilki M., Inal S., Colak M., Garip M., 2005. Relationships between milk yield and udder measurements in Brown Swiss Cows. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29, 75–81.
- [184] Tousova R., Duchacek J., Stadnik L., Ptacek M., Beran J., 2014. The comparison of milk production and quality in cows from conventional and automatic milking systems. *Journal of Central European Agriculture*, 15(4), 100–114.
- [185] Trela J., Choroszy B., 2010. Wkład Instytutu Zootechniki Państwowego Instytutu Badawczego w rozwój i doskonalenie krajowej populacji bydła mlecznego. *Wiadomości Zootechniczne*, 48(4), 3–30.
- [186] Tremblay M., Hess J., Christenson B., McIntyre K., Smink B., van der Kamp A., Döpfer D., 2016. Factors associated with increased milk production for automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3824–3837.

- [187] Tse C., Barkema H., DeVries T., Rushen J., Pajor E., 2017. Effect of transitioning to automatic milking systems on producers' perceptions of farm management and cow health in the Canadian dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 100(3), 2404–2414.
- [188] Van der Vorst Y., de Koning K., 2002. Automatic milking systems and milk quality in three European countries. In *The First North American Conference on Robotic Milking*, Lelystad, Netherlands, V1-V13.
- [189] VanBaale M., Ledwith D., Thompson J., Burgos R., Collier R., Baumgard L., 2005. Effect of increased milking frequency in early lactation with or without recombinant bovine somatotropin. *Journal of Dairy Science*, 88(11), 3905–3912.
- [190] Veerkamp R., Brotherstone S., 1997. Genetic correlations between linear type traits, food intake, live weight and condition score in Holstein Friesian dairy cattle. *Animal Science*, 64(3), 385–392.
- [191] Wade K., Van Asseldonk M., Berentsen P., Ouweltjes, W., Hogeveen H., 2004. Economic efficiency of automatic milking systems with specific emphasis on increases in milk production. *Automatic milking: a better understanding*. Wageningen Academic Publ., Wageningen, the Netherlands, 62–67.
- [192] Wańkiewicz M., Piwczyński D., Sitkowska B., Aerts J., 2014. Efektywność stosowania robotów udojowych w wybranych krajach UE i USA. *Przegląd Hodowlany*, 82(6), 7–9.
- [193] Weiss D., Weinfurtner M., Bruckmaier R., 2004a. Teat anatomy and its relationship with quarter and udder milk flow characteristics in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87, 3280–3289.
- [194] Weiss D., Helmreich S., Moestl E., Dzidic A., Bruckmaier, R., 2004b. Coping capacity of dairy cows during the change from conventional to automatic milking. *Journal of Animal Science*, 82(2), 563–570.
- [195] Węglarzy K., 2009. Lactation productivity of dairy cows as affected by the length of preceding dry period. *Animal Science Papers and Reports*, 27(4), 303–310.
- [196] Winnicki S., Jugowar L., 2010. Efektywność wykorzystania robota udojowego dla krów. *Inżyniera Rolnicza*, 2(120), 279–284.
- [197] Winnicki S., Kołodziejczyk T., 2011. Mechanizacja i organizacja prac w oborze wyposażonej w robota udojowego. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 19, 69–75.
- [198] Winnicki S., Jugowar L., 2014. Wskaźniki produkcji krów w stadach z robotami udojowymi. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3(85), 69–78.
- [199] Winnicki S., Jugowar L., Sobek Z., 2014. Przebieg adaptacji krów do doju robotem. *Przegląd Hodowlany*, 82(6), 9–13.
- [200] Winnicki S., Jugowar L., Hendrix A., Aerts J., 2016. Selected problems of production process in a barn with robots. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 61(2), 123–129.

- [201] Winnicki S., Jugowar J., Aerts J., Sobek Z., 2017. The effect of milking systems on the quantity and quality of cow milk. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 62(4), 193–196.
- [202] Wirtz N., 2004. Vergleich zwischen automatischem und konventionellem melken im Hinblick auf Milchleistung und Futteraufwand. *Züchtungskunde*, 76, 321–334.
- [203] Wójcik P., 2001. Wpływ wieku pierwszego zacielenia na produktywność krów rasy czarno-białej. *Roczniki Naukowe Zootechniki*, 28(1), 189–198.
- [204] Wójcik P., Czaja H., Majewska A., 2003. Związek pomiędzy cechami budowy bydła czerwono-białego a jego wydajnością mleczną. *Zeszyty Naukowe. Przegląd Hodowlany*, 1(68), 1–8.
- [205] Wright J., Wall E., McFadden T., 2013. Effects of increased milking frequency during early lactation on milk yield and udder health of primiparous Holstein heifers. *Journal of Animal Science*, 91, 195–202.
- [206] Wysokiński M., Baran J., 2012. Automatyzacja doju krów mlecznych. *Logistyka*, 2, 1101–1110.
- [207] Zavadilová L., Štípková M., Němcová E., Bouška J., Matějčková J., 2009. Analysis of the phenotypic relationships between type traits and functional survival in Czech Fleckvieh cows. *Czech Journal of Animal Science*, 54(12), 521–531.
- [208] Ziętara W., 2012. Organizacja i ekonomika produkcji mleka w Polsce, dotychczasowe tendencje i kierunki zmian. *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G*, 99(1), 43–57.
- [209] Ziętara W., Adamski M., Mirkowska Z., 2013. Rzeczywisty a optymalny okres użytkowania krów mlecznych. *Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich*, 100(3), 90–100.
- [210] Żarnecki A., Morek-Kopeć M., Jagusiak W., 2003. Genetic parameters of linearly scored conformation traits of Polish Black-and-White cows. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 12(4), 689–696.

TABELE OD 1 DO 30

Tabela 1. Ogólna charakterystyka badanych stad

Stado	Liczba wszystkich krów	Województwo	Rodzaj budynku	Rodzaj legowiska	Data rejestracji pierwszego urodzenia	Data rejestracji pierwszego wycielenia	Data instalacji AMS	Liczba robotów	Data rejestracji ostatniego urodzenia	Data rejestracji ostatniego wycielenia	Data rejestracji ostatniego zasuszenia
A	197	mazowieckie	M	ML	10.2005	02.2008	02.2013	1	03.2013	08.2015	07.2016
B	155	warmińsko-mazurskie	N	ML	12.2005	02.2008	05.2012	1	11.2013	10.2015	07.2016
C	304	mazowieckie	N	ML	08.2005	01.2008	01.2012	2	01.2013	12.2014	11.2015
D	253	podlaskie	N	ML	01.2006	04.2008	06.2013	2	09.2013	10.2015	08.2016
E	782	kujawsko-pomorskie	N	GŚ	09.2005	01.2008	10.2013	4	01.2014	11.2015	08.2016
F	180	opolskie	M	PŚ	04.2005	02.2008	11.2012	1	06.2013	06.2015	08.2016
G	361	mazowieckie	M	ML	01.2005	01.2008	10.2011	1	08.2013	08.2015	08.2016
H	240	lubelskie	N	ML	08.2005	03.2008	05.2013	2	07.2013	05.2015	07.2016
I	424	wielkopolskie	N	GŚ	07.2004	01.2008	04.2011	3	11.2013	11.2015	08.2016
J	344	lubelskie	M	ML	01.2005	01.2008	10.2011	1	04.2013	04.2015	08.2016
K	148	mazowieckie	N	ML	08.2006	07.2008	06.2012	1	12.2013	11.2015	08.2016
L	561	mazowieckie	M	ML	03.2005	01.2008	06.2013	1	01.2012	06.2014	07.2016
M	161	mazowieckie	N	ML	09.2005	04.2008	08.2011	1	08.2013	07.2015	08.2016
N	237	podlaskie	M	ML	09.2005	01.2008	08.2012	1	11.2013	10.2015	08.2016
O	741	mazowieckie	M	PŚ	03.2005	01.2008	04.2013	3	09.2011	02.2015	11.2015
P	311	podlaskie	M	ML	06.2005	01.2008	11.2010	2	08.2013	09.2015	08.2016
Σ	3398										

N – nowy; M – modernizowany; ML – maty legowiskowe; GŚ – głęboka ściółka; PŚ – płytka ściółka

Tabela 2. Statystyki opisowe cech produkcyjnych

	N	\bar{X}	S	V_x (%)
<i>Pierwsza laktacja</i>				
Wydajność mleka (kg)	2620	9287,30	2930,61	31,55
Zawartość tłuszczu (%)	2620	3,99	0,49	12,40
Zawartość białka (%)	2620	3,36	0,22	6,52
<i>Druga laktacja</i>				
Wydajność mleka (kg)	1339	10051,71	3159,85	31,44
Zawartość tłuszczu (%)	1339	4,00	0,52	13,05
Zawartość białka (%)	1339	3,39	0,23	6,88

S – odchylenie standardowe; V_x – współczynnik zmienności

Objaśnienia dotyczą wszystkich tabel!

Tabela 3. Wpływ czynników głównych i interakcji na cechy produkcyjne krów

		Wiek w dniu wycielenia	System doju	Stado	Sezon wycielenia	System doju × sezon wycielenia	Stado × sezon wycielenia	System doju × stado
<i>Pierwsza laktacja</i>								
Wydajność mleka (kg)	F	22,69	110,44	40,99	10,79	7,79	2,39	8,75
	P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0010	0,0053	0,0020	<0,0001
Zawartość tłuszczu (%)	F	3,35	90,60	18,87	9,75	6,85	1,28	4,43
	P	0,0672	<0,0001	<0,0001	0,0018	0,0089	0,2057	<0,0001
Zawartość białka (%)	F	5,09	3,28	10,97	0,27	3,78	1,43	6,37
	P	0,0242	0,0704	<0,0001	0,6008	0,0519	0,1243	<0,0001
<i>Druga laktacja</i>								
Wydajność mleka (kg)	F	25,56	20,17	25,80	0,01	0,19	1,20	2,07
	P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,9295	0,6597	0,2651	0,0092
Zawartość tłuszczu (%)	F	1,71	49,26	11,48	0,09	0,50	0,42	3,56
	P	0,1911	<0,0001	<0,0001	0,7607	0,4782	0,9736	<0,0001
Zawartość białka (%)	F	8,14	8,67	5,59	2,04	0,25	0,90	1,52
	P	0,0044	0,0033	<0,0001	0,1536	0,6148	0,5629	0,0893

F – empiryczna wartość statystyki F; P – prawdopodobieństwo

Tabela 4. Wydajność mleka oraz na zawartość procentowa tłuszczu i białka w mleku w pierwszej laktacji

Czynnik	Wydajność mleka (kg)				Zawartość tłuszczu (%)			Zawartość białka (%)			
	Poziom	N	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)
System doju											
CMS	1350	8608,24 ^A	87,61	34,21	4,17 ^A	0,02	12,54	3,38	0,01	6,38	
AMS	1270	9865,35 ^A	81,80	27,56	3,95 ^A	0,02	12,04	3,36	0,01	6,66	
Stado											
A	96	9736,78	239,25	25,51	4,46	0,05	13,52	3,57	0,02	6,25	
B	61	7115,65	302,21	27,68	4,22	0,06	10,86	3,34	0,03	7,59	
C	205	10143,68	173,81	26,78	4,02	0,03	11,11	3,32	0,02	6,08	
D	101	8710,79	233,34	26,17	3,87	0,05	11,39	3,25	0,02	5,79	
E	414	10781,06	121,85	23,68	3,94	0,02	11,27	3,40	0,01	6,12	
F	96	9405,73	288,79	21,78	4,32	0,06	11,43	3,40	0,03	6,86	
G	196	8408,62	185,85	25,04	4,13	0,04	11,69	3,35	0,02	6,57	
H	92	8740,33	250,48	29,40	4,11	0,05	11,08	3,34	0,02	6,51	
I	268	10211,67	196,80	24,67	3,91	0,04	11,92	3,34	0,02	6,11	
J	128	10307,71	228,84	30,45	3,82	0,04	14,71	3,40	0,02	6,78	
K	69	8201,78	307,03	30,83	4,16	0,06	13,33	3,32	0,03	6,57	
L	145	10722,17	312,52	27,20	3,81	0,06	13,59	3,38	0,03	6,43	
M	100	9691,66	311,61	24,07	4,02	0,06	11,65	3,39	0,03	6,17	
N	145	10498,73	203,84	25,00	3,95	0,04	12,14	3,35	0,02	6,01	
O	381	5991,15	197,04	28,51	3,89	0,04	10,73	3,42	0,02	6,47	
P	123	9121,17	230,56	25,25	4,35	0,04	10,01	3,41	0,02	5,83	
Sezon wycielenia											
letni	1146	9055,52 ^A	87,09	29,86	4,09 ^A	0,02	12,19	3,38	0,01	6,52	
zimowy	1474	9418,06 ^A	75,63	32,64	4,03 ^A	0,01	12,52	3,37	0,01	6,51	

Srednie różniące się statystycznie w obrębie czynnika oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 5. Wydajność mleka oraz na zawartość procentowa tłuszczu i białka w mleku w drugiej laktacji

Czynnik	Wydajność mleka (kg)				Zawartość tłuszczu (%)			Zawartość białka (%)			
	Poziom	N	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)
System doju											
CMS	689	9661,41A	139,59	35,22	4,19A	0,03	12,91	3,43A	0,01	7,03	
AMS	650	10496,44A	123,61	25,95	3,93A	0,02	12,86	3,38A	0,01	6,66	
Stado											
A	48	10300,24	353,67	25,09	4,56	0,07	15,12	3,63	0,03	6,09	
B	30	7656,91	458,29	29,89	4,26	0,09	12,79	3,31	0,04	6,98	
C	83	10345,14	286,29	26,31	4,11	0,06	11,92	3,37	0,03	6,41	
D	50	10120,00	363,98	21,44	3,91	0,07	9,91	3,31	0,03	6,23	
E	220	12175,32	184,75	21,79	3,94	0,04	11,95	3,42	0,02	6,16	
F	57	10163,13	345,71	23,06	4,22	0,07	11,94	3,47	0,03	6,47	
G	108	9257,98	270,71	22,00	4,20	0,05	12,47	3,37	0,02	7,57	
H	36	10012,41	431,39	25,71	3,88	0,08	13,87	3,37	0,04	7,47	
I	168	11734,47	256,56	23,64	3,77	0,05	13,16	3,38	0,02	6,09	
J	50	10839,94	352,15	28,13	3,76	0,07	12,55	3,35	0,03	6,57	
K	36	9036,54	432,45	25,56	4,13	0,08	14,03	3,39	0,04	6,59	
L	78	10111,49	456,88	22,93	3,97	0,09	13,04	3,51	0,04	7,67	
M	56	11557,89	566,82	27,07	4,14	0,11	11,36	3,45	0,05	5,94	
N	55	11750,29	332,89	26,39	3,99	0,06	13,43	3,38	0,03	7,95	
O	203	6530,78	297,24	27,58	3,80	0,06	10,83	3,38	0,03	6,61	
P	61	9670,28	404,81	23,65	4,32	0,08	9,16	3,47	0,04	6,65	
Sezon wycielenia											
letni	659	10086,13	126,55	30,23	4,06	0,02	13,03	3,42	0,01	7,05	
zimowy	680	10071,72	121,40	32,58	4,06	0,02	13,09	3,40	0,01	6,69	

Średnie różniące się statystycznie w obrębę czynnika oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 6. Wydajności mleka i zawartości procentowa tłuszczu w mleku w zależności od systemu doju i sezonu wycielenia w pierwszej laktacji

Sezon wycielenia	CMS		AMS	
	LSM	SE	LSM	SE
Wydajność mleka w laktacji pełnej (kg)				
letni	8277,53 ^{ABC}	128,74	9833,51 ^{BD}	115,57
zimowy	8938,94 ^{ADE}	106,33	9897,19 ^{CE}	105,55
Zawartość tłuszczu (%)				
letni	4,23 ^{ABC}	0,03	3,96 ^{BD}	0,02
zimowy	4,11 ^{ADE}	0,02	3,94 ^{CE}	0,02

Wartości różniące się statystycznie oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 7. Statystyki opisowe liczby (LKS) i zawartości (SCS) komórek somatycznych w udojach próbnych

	N	\bar{X}	S	V_x (%)	Q1	Me	Q3
<i>Pierwsza laktacja</i>							
LKS (tys.)	18966	327,11	895,71	273,83	44	95	227
SCS	18966	3,18	1,83	57,51	1,82	2,93	4,18
<i>Druga laktacja</i>							
LKS (tys.)	9689	442,82	1036,1	233,98	51	124	348
SCS	9689	3,55	2,00	56,37	2,03	3,31	4,80

Q1 – kwartył pierwszy (dolny); Q3 – kwartył trzeci (górnny); Me – mediana

Tabela 8. Wpływ czynników głównych i interakcji na zawartość komórek somatycznych (SCS)

	Wiek w dniu wycielenia	System doju	Stado	Sezon wycielenia	System doju × sezon wycielenia	System doju × stado	Stado × sezon wycielenia
<i>Pierwsza laktacja</i>							
F	3,73	2,92	9,5	7,12	0,11	6,68	1,17
P	0,0535	0,0477	<0,0001	0,0076	0,7438	<0,0001	0,2832
<i>Druga laktacja</i>							
F	10,99	9,38	11,04	0,03	0,33	6,40	0,69
P	<0,0001	0,0022	<0,0001	0,8672	0,5630	<0,0001	0,7975

F – empiryczna wartość statystyki F; P – prawdopodobieństwo

Tabela 9. Zawartość komórek somatycznych (SCS) w pierwszej laktacji

Czynnik Poziom	N	LSM	SE	V _x (%)
System doju				
CMS	11217	3,21 ^A	0,02	56,33
AMS	7749	3,09 ^A	0,02	59,13
Stado				
A	859	3,51	0,06	50,69
B	497	3,19	0,08	55,17
C	1032	2,52	0,06	68,54
D	881	3,30	0,06	58,35
E	2696	3,01	0,05	52,27
F	875	3,70	0,07	48,87
G	1329	2,52	0,05	65,66
H	363	3,22	0,10	58,12
I	1837	3,54	0,06	48,2
J	932	2,90	0,06	59,74
K	557	2,56	0,08	72,78
L	1185	3,88	0,07	53,28
M	258	3,51	0,11	55,01
N	958	2,70	0,06	65,45
O	3569	3,24	0,05	57,8
P	1138	3,06	0,06	53,62
Sezon wycielenia				
letni	8052	3,06 ^A	0,03	56,94
zimowy	10914	3,24 ^A	0,01	57,79

Wartości różniące się statystycznie w obrębieniu czynnika oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 10. Zawartość komórek somatycznych (SCS) w drugiej laktacji

Czynnik Poziom	N	LSM	SE	V _x (%)
System doju				
CMS	5153	3,59 ^A	0,03	52,27
AMS	4536	3,33 ^A	0,02	60,85
Stado				
A	384	3,70	0,07	57,17
B	318	3,93	0,09	52,66
C	301	3,26	0,08	65,94
D	616	3,58	0,06	60,02
E	1178	3,23	0,05	52,33
F	399	4,22	0,07	50,03
G	486	2,72	0,06	66,85
H	227	3,55	0,11	58,21
I	1005	4,03	0,05	52,56
J	521	3,14	0,06	60,86
K	366	2,95	0,08	68,35
L	1129	4,07	0,04	45,35
M	222	2,99	0,10	65,33
N	354	3,06	0,08	64,73
O	1557	3,34	0,04	56,69
P	626	3,57	0,06	49,97
Sezon wycielenia				
letni	4651	3,47	0,02	55,26
zimowy	5038	3,45	0,02	57,33

Wartości różniące się statystycznie w obrębę czynnika oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 11. Wartości kwartyli w odniesieniu do liczby komórek somatycznych (LKS) w mleku (tys./1 ml) w pierwszej i drugiej laktacji

Czynnik Poziom	Laktacja 1			Laktacja 2		
	Q1	Me	Q3	Q1	Me	Q3
System doju						
CMS	47	101	240	62,5	149	404
AMS	41	88	209	42	100	292
Stado						
A	61	117	261	50	134	366
B	44	85	186	63	142	364
C	30	59	137	36	100	323
D	44	114	274	43	100	305
E	51	101	218	56	116	269
F	67	136	332	68	162	546
G	31	56	118	34	66	155
H	46	104	309	50	110	338
I	67	128	280	62	161	502
J	40	72	183	41	93	239
K	26	49	113	31	72	196
L	55	122	360	83	193	523
M	52	129	296	34	74	214
N	31	81	187	35	101	257
O	46	105	259	52	144	457
P	47	86	193	59	123	303
Sezon wycielenia						
letni	44	92	207	52	124	322
zimowy	45	99	244	50	125	381

Q1 – kwartył pierwszy (dolny); Q3 – kwartył trzeci (górnny); Me – mediana

Tabela 12. Statystyki opisowe cech reprodukcyjnych

	N	\bar{X}	S	V _x (%)
<i>Pierwszy cykl reprodukcyjny</i>				
II	2620	1,67	1,12	66,66
CZ (dni)	2620	25,43	49,37	194,12
WPI (dni)	2620	512,93	113,30	22,09
WW (dni)	2620	824,44	124,64	15,12
OMC (dni)	1339	133,54	77,60	58,11
OMW (dni)	1339	414,99	80,69	19,44
<i>Drugi cykl reprodukcyjny</i>				
II	1339	2,03	1,49	73,62
CZ (dni)	1339	38,39	60,23	156,92
WPI (dni)	1339	915,07	126,30	13,80
WW (dni)	1339	1235,37	141,30	11,44
OMC (dni)	860	136,27	74,22	54,47
OMW (dni)	860	418,22	76,82	18,37

II – indeks inseminacyjny; CZ – czas zwłoki; WPI – wiek w dniu inseminacji; WW – wiek w dniu wycielenia; OMC – okres międzyciążowy; OMW – okres międzywycieleniowy

Tabela 13. Wpływ czynników głównych i interakcji na cechy reprodukcyjne krów

		System doju	Stado	Sezon wycielenia	System doju × sezon wycielenia	Stado × sezon wycielenia	System doju × stado
<i>Pierwszy cykl reprodukcyjny</i>							
II	F	0,01	23,73	0,03	0,13	0,52	1,59
	P	0,9356	<0,0001	0,8516	0,7193	0,9315	0,0694
CZ (dni)	F	3,58	8,30	1,44	0,09	0,95	1,72
	P	0,0587	<0,0001	0,2303	0,7594	0,5097	0,0412
WPI (dni)	F	0,69	178,05	1,14	8,39	0,77	35,55
	P	0,4061	<0,0001	0,2854	0,0038	0,7099	<0,0001
WW (dni)	F	2,09	119,31	0,02	9,11	0,67	30,73
	P	0,1485	<0,0001	0,9880	0,0026	0,8118	<0,0001
OMC (dni)	F	0,51	5,62	15,64	0,08	1,75	3,45
	P	0,4766	<0,0001	<0,0001	0,7713	0,0371	<0,0001
OMW (dni)	F	1,66	6,13	19,88	0,02	1,74	3,72
	P	0,1978	<0,0001	<0,0001	0,8757	0,0386	<0,0001
<i>Drugi cykl reprodukcyjny</i>							
II	F	4,26	9,12	1,69	0,02	0,88	2,40
	P	0,0393	<0,0001	0,1945	0,9513	0,5893	0,0019
CZ (dni)	F	0,65	3,96	2,10	0,16	0,83	2,38
	P	0,4190	<0,0001	0,1475	0,6872	0,6466	0,0022
WPI (dni)	F	2,29	37,86	1,01	0,34	1,25	15,17
	P	0,1306	<0,0001	0,3144	0,5592	0,2244	<0,0001
WW (dni)	F	3,91	25,84	0,02	0,64	1,56	13,72
	P	0,0483	<0,0001	0,8926	0,4221	0,0792	<0,0001
OMC (dni)	F	0,01	3,89	0,02	0,07	1,89	1,32
	P	0,9216	<0,0001	0,9863	0,7872	0,0213	0,1842
OMW (dni)	F	0,29	4,15	0,18	0,09	1,84	1,19
	P	0,5930	<0,0001	0,6758	0,7680	0,0260	0,2731

F – empiryczna wartość statystyki F; P – prawdopodobieństwo

Tabela 14. Cechy płodność krów w pierwszym cyklu reprodukcyjnym

Czynnik	II			CZ (dni)			WPI (dni)			
	Poziom	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)
System doju										
CMS	1,57	0,04	63,96	26	1,86	191,12	510	2,85	21,78	
AMS	1,57	0,04	69,25	21	1,74	197,00	507	2,66	21,76	
Stado										
A	1,77	0,11	58,29	27	5,27	187,98	509	7,78	11,07	
B	1,34	0,13	52,40	10	6,52	289,12	453	9,76	9,80	
C	2,10	0,08	67,71	34	3,64	147,34	439	5,53	9,86	
D	1,22	0,10	38,15	16	4,98	274,74	532	7,59	11,53	
E	2,44	0,05	61,27	44	2,55	117,07	438	3,82	9,32	
F	1,20	0,13	40,21	6	5,99	291,67	516	9,39	8,92	
G	1,76	0,08	68,81	27	4,06	195,91	517	6,04	21,37	
H	1,35	0,11	51,15	9	5,36	323,05	550	8,14	28,73	
I	1,36	0,09	50,76	19	4,10	220,89	572	6,35	21,01	
J	1,38	0,10	61,09	15	4,85	270,13	532	7,43	18,86	
K	1,58	0,14	57,97	24	6,51	197,29	436	9,91	16,54	
L	1,58	0,14	59,41	24	6,49	178,66	502	10,16	13,48	
M	1,88	0,14	82,00	35	6,49	187,55	446	10,09	9,43	
N	1,12	0,09	32,52	8	4,23	482,84	444	6,57	11,46	
O	1,53	0,07	57,99	32	3,40	212,34	731	5,24	16,07	
P	1,54	0,10	52,44	41	4,94	201,84	525	7,49	15,47	
Sezon wycielenia										
letni	1,57	0,04	67,71	25	1,85	191,44	507	2,83	21,93	
zimowy	1,58	0,03	65,75	22	1,62	195,66	511	2,46	22,20	

Wartości różniące się statystycznie w obrębie czynnika oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 15. Cechy płodność krów w pierwszym cyklu reprodukcyjnym

Czynnik Poziom	WW (dni)			OMC (dni)			OMW (dni)		
	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)
System doju									
CMS	824	3,48	14,67	133	3,12	56,96	417	3,14	19,53
AMS	817	3,25	15,24	129	4,04	59,44	411	3,82	19,07
Stado									
A	828	9,50	10,87	119	10,26	58,42	410	9,41	19,32
B	752	11,92	7,64	130	11,81	59,22	412	12,16	19,26
C	752	6,75	9,88	144	6,41	56,62	425	6,45	20,04
D	833	9,27	8,79	108	10,13	64,58	388	10,24	17,68
E	759	4,67	9,14	124	5,40	52,09	399	5,46	17,88
F	807	11,47	7,13	111	10,38	55,40	391	10,72	17,23
G	831	7,38	15,51	126	6,79	57,86	408	6,98	17,84
H	837	9,95	18,07	105	10,98	53,75	401	11,16	20,21
I	874	7,76	13,77	101	6,96	58,11	385	6,96	16,99
J	844	9,08	13,81	153	9,97	62,02	438	9,66	21,49
K	751	12,11	12,74	108	11,81	43,78	387	11,87	11,87
L	814	12,41	9,52	157	19,30	58,04	447	16,15	19,67
M	767	12,33	10,80	149	10,68	63,26	425	11,08	24,55
N	770	8,03	9,44	166	8,74	48,32	449	8,35	20,07
O	1053	6,40	13,20	127	7,51	54,41	405	7,78	18,03
P	851	9,14	12,95	164	8,78	50,88	451	8,73	18,51
Sezon wycielenia									
letni	820	3,46	15,29	122 ^A	3,53	53,90	404 ^A	3,46	17,51
zimowy	820	3,00	14,98	139 ^A	3,22	60,23	424 ^A	3,17	20,58

Wartości różniące się statystycznie w obrębie czynnika oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 16. Cechy płodność krów w drugim cyklu reprodukcyjnym

Czynnik Poziom	II			CZ (dni)			WPI (dni)		
	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)
System doju									
CMS	2,01a	0,08	75,82	37	3,43	153,72	922	5,58	13,82
AMS	1,79a	0,07	70,57	33	3,11	161,00	911	4,94	12,84
Stado									
A	1,83	0,20	60,88	27	9,53	181,80	904	14,15	11,07
B	1,16	0,26	50,75	5	11,15	381,70	843	18,19	11,32
C	3,14	0,16	70,12	64	6,94	112,41	824	11,35	10,26
D	1,34	0,21	44,24	23	9,12	260,57	940	14,56	8,44
E	2,44	0,10	71,61	45	4,41	122,83	844	7,21	8,42
F	1,42	0,20	52,03	16	8,65	239,13	890	13,80	6,12
G	2,74	0,16	80,54	60	6,61	135,91	927	10,80	13,46
H	1,46	0,25	53,48	14	10,37	167,70	904	17,24	14,76
I	2,19	0,15	71,09	38	6,66	152,67	985	10,12	14,09
J	2,05	0,20	64,12	51	9,05	172,32	933	14,07	12,53
K	1,69	0,25	45,36	24	10,44	125,84	814	17,09	11,44
L	1,51	0,26	56,93	31	11,61	171,32	984	18,22	9,26
M	2,36	0,33	69,72	49	13,67	113,76	897	22,68	14,13
N	1,88	0,19	55,22	44	8,54	164,94	894	13,32	10,14
O	1,63	0,16	61,15	31	6,77	182,59	1097	11,23	11,54
P	1,60	0,23	47,85	30	9,84	198,78	987	16,12	12,66
Sezon wycielenia									
letni	1,96	0,07	71,78	38	3,16	152,83	913	5,06	14,15
zimowy	1,84	0,07	74,79	32	3,02	156,69	920	4,86	13,52

Wartości różniące się statystycznie w obrębę czynnika oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 17. Cechy płodność krów w drugim cyklu reprodukcyjnym

Czynnik Poziom	WW (dni)			OMC (dni)			OMW (dni)		
	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)
System doju									
CMS	1244a	6,70	11,36	143	4,70	54,80	428	4,71	18,69
AMS	1226a	5,93	10,83	144	8,00	53,61	423	7,70	17,57
Stado									
A	1229	16,99	9,93	201	28,64	56,41	465	20,89	19,99
B	1135	21,83	9,19	166	27,61	43,34	447	28,46	13,71
C	1167	13,62	9,35	131	10,31	46,34	415	10,33	16,05
D	1246	17,48	9,08	109	23,18	51,16	406	22,76	16,71
E	1165	8,66	8,72	121	18,61	50,64	398	19,20	17,41
F	1190	16,56	6,62	109	16,50	42,32	399	16,37	14,47
G	1271	12,96	12,28	121	9,58	46,37	402	9,82	13,49
H	1198	20,69	11,03	100	22,29	61,99	383	23,05	21,97
I	1311	12,14	11,83	125	8,62	53,31	406	8,67	17,33
J	1272	16,88	11,60	131	14,19	58,44	410	14,41	18,85
K	1118	20,51	8,27	121	15,61	84,02	399	15,74	24,27
L	1302	21,87	8,37	149	19,19	50,51	440	19,75	18,04
M	1227	27,22	12,78	166	19,38	40,54	447	19,84	16,17
N	1224	15,99	10,25	219	15,43	39,65	500	14,19	17,54
O	1405	13,47	9,44	157	18,52	57,37	433	19,12	18,14
P	1304	19,35	11,51	170	13,95	52,39	458	13,80	20,76
Sezon wycielenia									
letni	1235	6,08	11,49	143	5,61	52,78	424	5,61	17,63
zimowy	1236	5,83	11,36	143	6,36	55,58	427	6,03	18,57

Wartości różniące się statystycznie w obrębę czynnika oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 18. WPI i WW w zależności od systemu doju i sezonu wycielenia w pierwszym cyklu reprodukcyjnym

Sezon wycielenia	CMS		AMS	
	LSM	SE	LSM	SE
WPI (dni)				
letni	514 ^a	4,19	500 ^a	3,75
zimowy	507 ^A	3,46	514 ^A	3,43
WW (dni)				
letni	830 ^{aB}	5,11	810 ^{Bc}	4,58
zimowy	817 ^a	4,22	823 ^c	4,19

Wartości różniące się statystycznie oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 19. Statystyki opisowe cech pokroju krów

	N	\bar{X}	S	V_x (%)
<i>Podinseksy</i>				
Nogi i racice	1451	78,71	4,11	5,22
Wymię	1451	77,22	4,67	6,04
<i>Cechy</i>				
Zawieszenie przednie wymienia	1451	5,61	1,14	20,37
Zawieszenie tylne wymienia	1451	5,67	1,02	17,95
Więzadło środkowe wymienia	1451	6,05	1,38	22,85
Położenie wymienia	1451	5,94	1,23	20,77
Szerokość wymienia	1451	4,84	1,25	25,87
Ustawienie strzyków tylnych	1451	6,46	1,19	18,47
Ustawienie strzyków przednich	1451	5,16	1,06	20,62
Długość strzyków	1451	4,75	1,12	23,58
Charakter mleczny	1451	5,90	1,19	20,15

Tabela 20. Wpływ czynników głównych i interakcji na cechy pokroju krów

		Wiek w dniu oceny	System doju	Stado	System doju × stado
Nogi i racice	F	2,25	5,49	7,10	5,39
	P	0,1334	0,0192	<0,0001	<0,0001
Wymię	F	2,52	20,21	18,01	4,49
	P	0,1126	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Zawieszenie przednie wymienia	F	3,07	0,37	8,28	2,19
	P	0,0801	0,5441	<0,0001	0,0160
Zawieszenie tylne wymienia	F	0,05	2,06	8,58	4,87
	P	0,8291	0,1513	<0,0001	<0,0001
Więzadło środkowe wymienia	F	13,08	4,52	7,89	10,36
	P	0,0003	0,0337	<0,0001	<0,0001
Położenie wymienia	F	11,29	0,50	10,87	1,68
	P	0,0008	0,4792	<0,0001	0,0798
Szerokość wymienia	F	23,10	25,95	23,94	8,02
	P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ustawienie strzyków tylnych	F	4,18	2,45	8,68	3,32
	P	0,0411	0,1179	<0,0001	0,0003
Ustawienie strzyków przednich	F	0,01	0,11	1,77	2,35
	P	0,9309	0,7365	0,0619	0,0095
Długość strzyków	F	11,21	0,10	3,57	2,33
	P	0,0008	0,7553	0,0001	0,0101
Charakter mleczny	F	12,30	2,86	31,86	4,99
	P	0,0005	0,0912	<0,0001	<0,0001

F – empiryczna wartość statystyki F; P – prawdopodobieństwo

Tabela 21. Badane cechy pokroju krów w porównywanych systemach doju

	Przyjęte za optymalne	System doju					
		CMS (N=756)			AMS (N = 695)		
		LSM	SE	V _x (%)	LSM	SE	V _x (%)
Nogi i racice	-	78,74 ^a	0,25	5,02	79,87 ^a	0,41	5,24
Wymię	-	77,04 ^A	0,24	6,05	79,14 ^A	0,40	5,23
Zawieszenie przednie wymienia	7,00	5,80	0,07	21,28	5,71	0,12	19,27
Zawieszenie tylne wymienia	9,00	5,77	0,07	19,64	5,60	0,11	15,92
Więzadło środkowe wymienia	9,00	6,09 ^a	0,09	25,11	5,74 ^a	0,14	19,86
Położenie wymienia	7,00	5,86	0,08	20,82	5,96	0,12	20,19
Szerokość wymienia	9,00	4,94 ^A	0,06	30,42	5,54 ^A	0,10	18,37
Ustawienie strzyków tylnych	4,00	6,39	0,08	19,86	6,16	0,12	16,74
Ustawienie strzyków przednich	5,00	5,20	0,07	22,57	5,24	0,11	18,32
Długość strzyków	4,50	4,78	0,07	23,91	4,73	0,12	23,11
Charakter mleczny	7,50	6,04	0,06	22,35	5,84	0,10	17,04

Wartości różniące się statystycznie w obrębie czynnika oznaczono tymi samymi literami jako AA przy $P \leq 0,01$, aa przy $P \leq 0,05$

Tabela 22. Rozkład przeżycia krów do 2. i 3. laktacji

System doju	Miary	Przeżycie do 2. laktacji			Przeżycie do 3. laktacji	
		Razem	NIE	TAK	NIE	TAK
CMS	N	815	368	447	612	203
	%		45,15	54,85	75,09	24,91
AMS	N	1441	706	735	1181	260
	%		48,99	51,01	81,96	18,04
Razem		2256	1074	1182	1793	463
			$\chi^2=3,0781$	$P=0,0794$	$\chi^2=15,0409$	$P=0,0001$

Tabela 23. Istotność zmiennych (czynników) ujętych w modelu regresji logistycznej

Zmienna	Wartość testu Walda	P
Przeżycie do 2. laktacji		
System doju	22,4067	<0,0001
Sezon wycielenia	3,9709	0,0463
Stado	55,7392	<0,0001
Wiek w dniu 1. wycielenia	1,8665	0,1719
Przeżycie do 3. laktacji		
System doju	50,4437	<0,0001
Sezon wycielenia	0,0009	0,9755
Stado	105,5693	<0,0001
Wiek w dniu 1. wycielenia	6,7560	0,0093

Tabela 24. Wyznaczone ilorazy szans dotyczące modelowania przeżycia do 2. laktacji

Efekt	Iloraz szans	95% przedział ufności	
System doju CMS vs AMS	1,652	1,342	2,034
Sezon wycielenia lato vs zima	1,191	1,003	1,414
Stado A vs P	1,046	0,588	1,863
Stado B vs P	1,019	0,498	2,089
Stado C vs P	1,170	0,716	1,913
Stado D vs P	0,682	0,374	1,246
Stado E vs P	0,809	0,518	1,264
Stado F vs P	1,151	0,631	2,099
Stado G vs P	1,227	0,767	1,963
Stado H vs P	0,730	0,393	1,360
Stado I vs P	2,169	1,369	3,437
Stado J vs P	0,754	0,442	1,287
Stado K vs P	0,879	0,478	1,617
Stado L vs P	0,692	0,413	1,160
Stado M vs P	1,830	1,041	3,217
Stado N vs P	1,111	0,659	1,872
Stado O vs P	0,653	0,409	1,042
WPW (zmiana o 1 dzień)	0,999	0,999	1,000

Tabela 25. Wyznaczone ilorazy szans dotyczące modelowania przeżycia do 3. laktacji

Efekt	Iloraz szans	95% przedział ufności	
System doju CMS vs AMS	2,656	2,028	3,477
Sezon wycielenia lato vs zima	0,997	0,804	1,235
Stado A vs P	0,373	0,168	0,824
Stado B vs P	0,387	0,135	1,108
Stado C vs P	0,593	0,319	1,102
Stado D vs P	0,422	0,182	0,978
Stado E vs P	0,352	0,197	0,630
Stado F vs P	0,498	0,227	1,089
Stado G vs P	1,101	0,630	1,923
Stado H vs P	0,261	0,093	0,729
Stado I vs P	2,049	1,213	3,463
Stado J vs P	0,364	0,179	0,741
Stado K vs P	0,717	0,336	1,531
Stado L vs P	0,624	0,336	1,160
Stado M vs P	1,601	0,853	3,008
Stado N vs P	0,492	0,252	0,959
Stado O vs P	0,488	0,273	0,870
WPW (zmiana o 1 dzień)	0,999	0,997	1,000

Tabela 26. Istotność współczynników regresji proporcjonalnego hazardu Cox'a

Efekt	χ^2 Walda	$P > \chi^2$
Stado	137,9989	<0,0001
System doju	0,0217	0,8830
Sezon wycielenia	0,8789	0,3485
WPW	7,4277	0,0064

Tabela 27. Ocena parametrów modelu

Czynnik Poziom	Parametr	SE	P	Współczynnik hazardu (ryzyka)	95% przedział ufności współczynnika hazardu	
Stado						
A vs P	0,05	0,19	0,7852	1,05	0,73	1,52
B vs P	-0,88	0,31	0,0038	0,41	0,23	0,75
C vs P	0,20	0,16	0,2115	1,22	0,89	1,67
D vs P	-0,58	0,22	0,0096	0,56	0,36	0,87
E vs P	-0,29	0,15	0,0624	0,75	0,56	1,02
F vs P	-0,33	0,21	0,1113	0,72	0,47	1,08
G vs P	0,31	0,15	0,0445	1,36	1,01	1,84
H vs P	-0,03	0,20	0,8708	0,97	0,65	1,44
I vs P	-0,58	0,16	0,0004	0,56	0,41	0,77
J vs P	0,44	0,16	0,0072	1,55	1,13	2,14
K vs P	0,13	0,21	0,5360	1,14	0,75	1,73
L vs P	0,51	0,16	0,0012	1,67	1,23	2,27
M vs P	0,04	0,18	0,8379	1,04	0,73	1,48
N vs P	0,27	0,17	0,1130	1,31	0,94	1,85
O vs P	0,22	0,14	0,1242	1,25	0,94	1,66
System doju CMS vs AMS	-0,01	0,06	0,8830	0,99	0,88	1,12
Sezon wycielenia lato vs zima	0,05	0,05	0,3485	1,05	0,97	1,17
WPW (zmiana o 1 dzień)	-0,00	0,00	0,0064	1,00	1,00	1,00

Tabela 28. Porównanie długości życia w konwencjonalnym i automatycznym systemie doju

Testowanie	Wartość testu	P
Log. rang	1,6859	0,1941
Wilcoxon	0,1599	0,6892

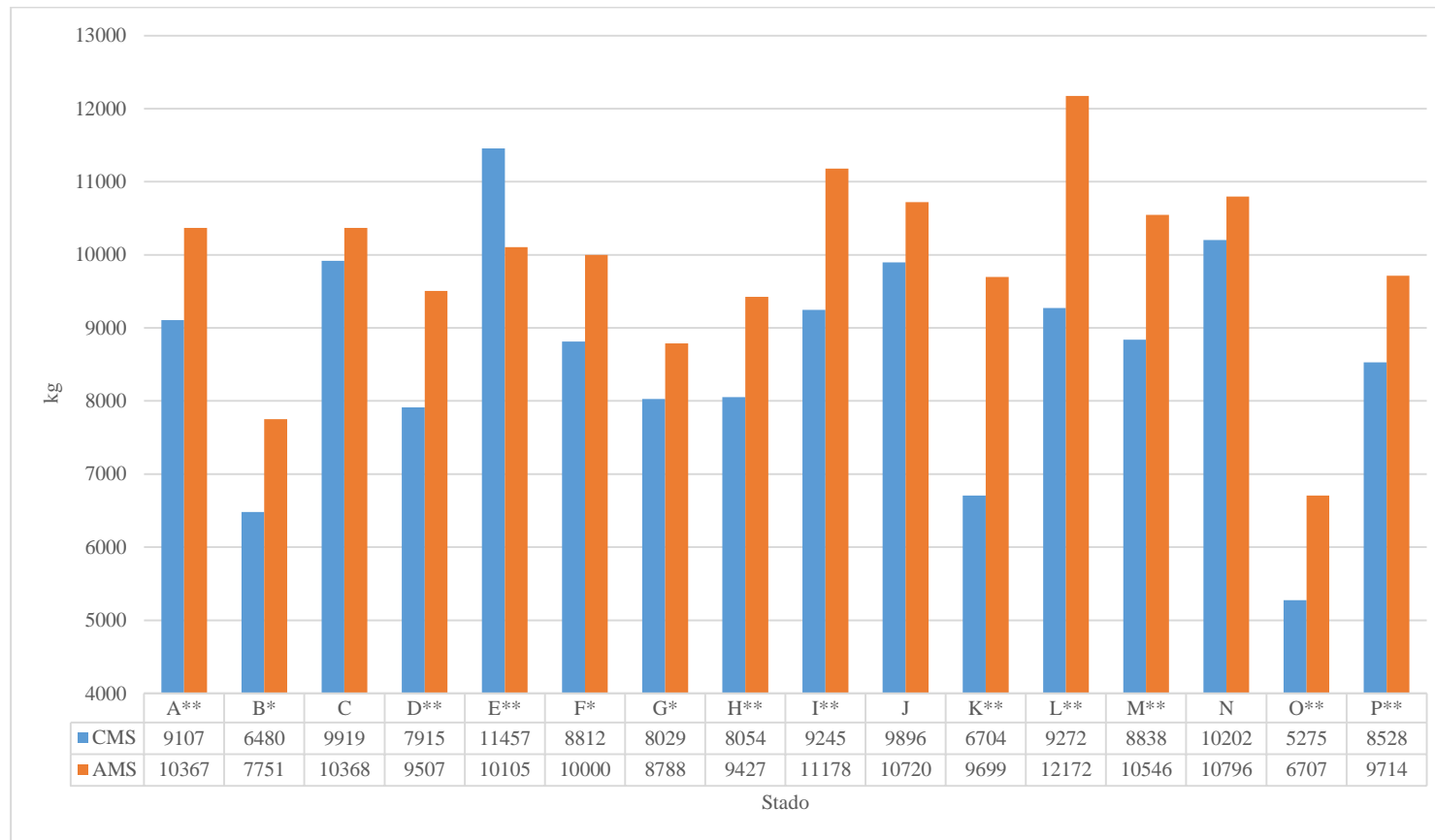
Tabela 29. Prawdopodobieństwo przeżycia krowy do wskazanego dnia
wyznaczone metodą Kaplana-Meiera

Dzień	CMS	AMS
700	0,9990	0,9972
800	0,9854	0,9826
900	0,9624	0,9512
1000	0,9368	0,9190
1100	0,9107	0,8979
1200	0,8659	0,8446
1300	0,8068	0,8045
1400	0,7516	0,7523
1500	0,6923	0,7114
1600	0,6351	0,6619
1700	0,5882	0,6254
1800	0,5355	0,5710
1900	0,4955	0,5262
2000	0,4413	0,4890
2100	0,3897	0,4485
2200	0,3540	0,3966
2300	0,3268	0,3419
2400	0,2838	0,2788
2500	0,2168	0,2098
2600	0,1617	0,1923

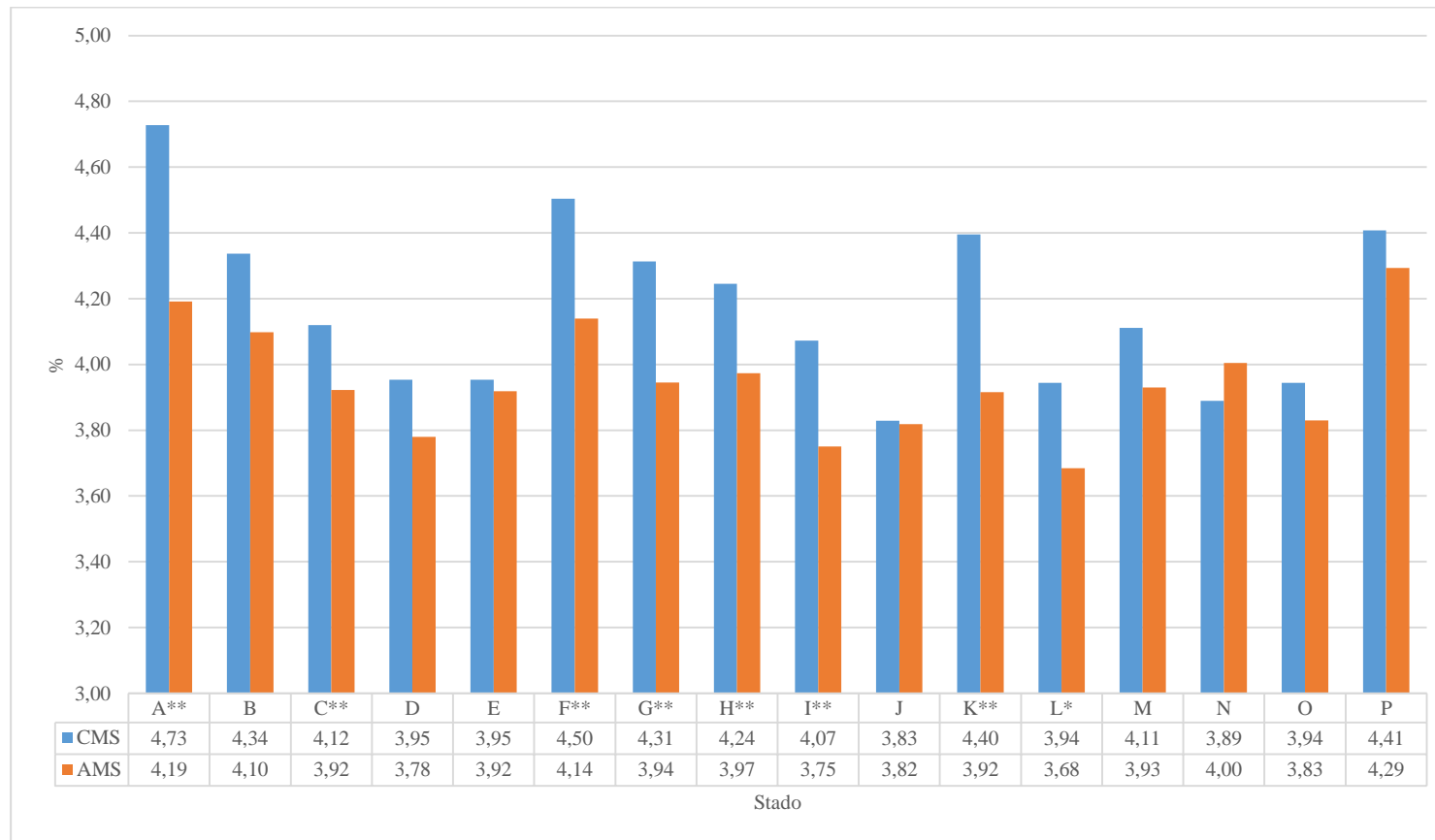
Tabela 30. Analiza porównawcza przyczyn brakowania krów w poszczególnych laktacjach z podziałem na system doju

Przyczyna ubycia		I laktacja		II laktacja		III laktacja		IV laktacja	
		CMS	AMS	CMS	AMS	CMS	AMS	CMS	AMS
Niska wydajność	%	0,81	2,87	0,42	3,78	1,41	1,90	0,00	0,00
Choroby wymienia	%	10,90	9,71	19,67	15,68	27,27	18,10	17,65	27,50
Jałowość i choroby układu rozdrodczego	%	27,52	30,58	24,59	30,81	25,17	21,90	23,53	12,50
Choroby układu ruchu	%	13,90	13,31	15,16	10,27	11,19	20,00	13,73	27,50
Sprzedaż do dalszego chowu	%	25,89	19,78	13,52	8,65	5,59	11,43	9,80	10,00
Choroby: metaboliczne, układu pokarmowego i oddechowego	%	3,54	5,40	6,56	12,43	6,99	14,29	7,84	12,50
Wypadki losowe i inne	%	17,44	18,35	20,08	18,38	22,38	12,38	27,45	10,00
	N	367	278	244	185	143	105	51	40
χ^2	P	0,1999		0,0088		0,0220		0,1287	

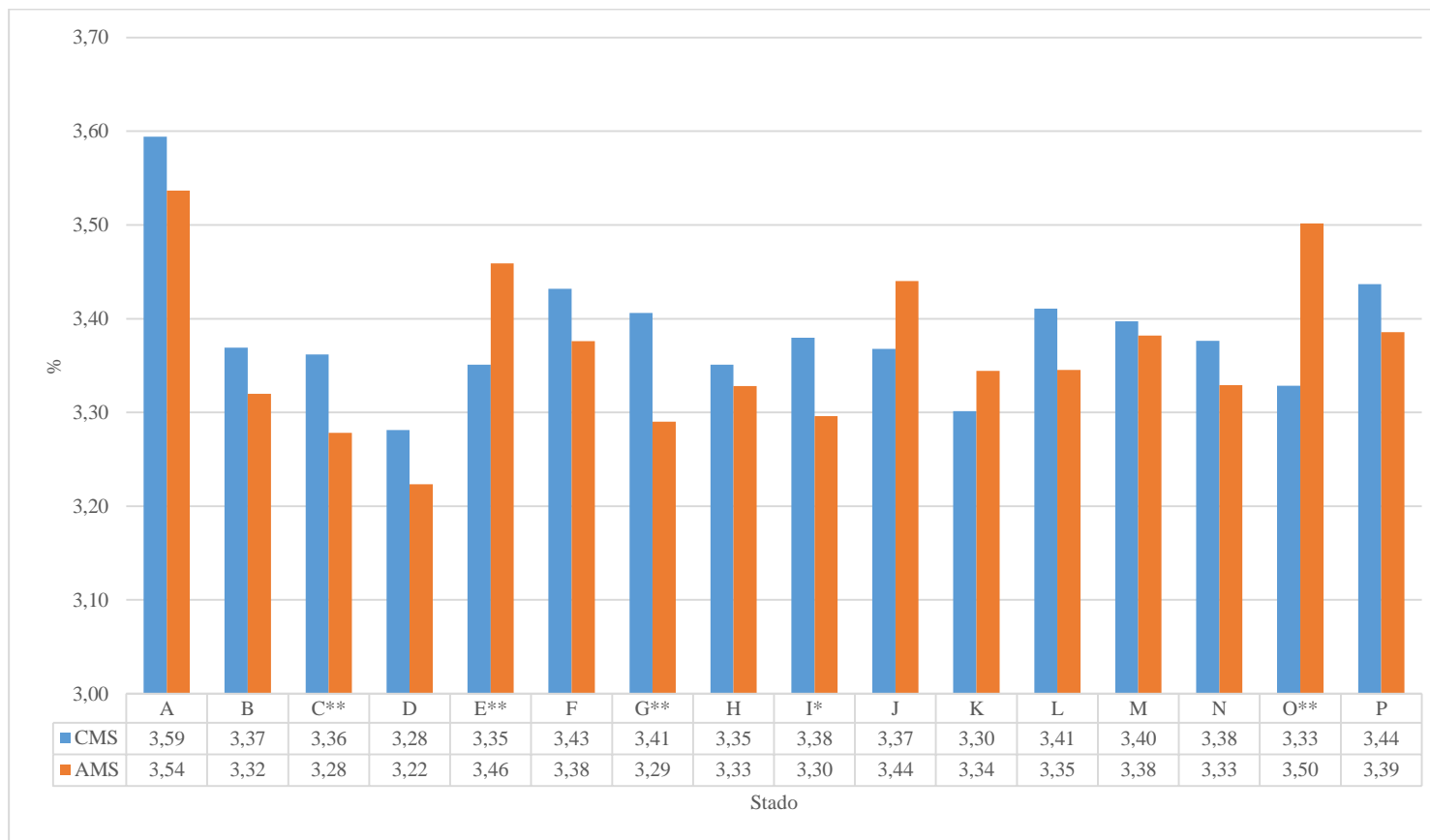
WYKRESY OD 1 DO 20



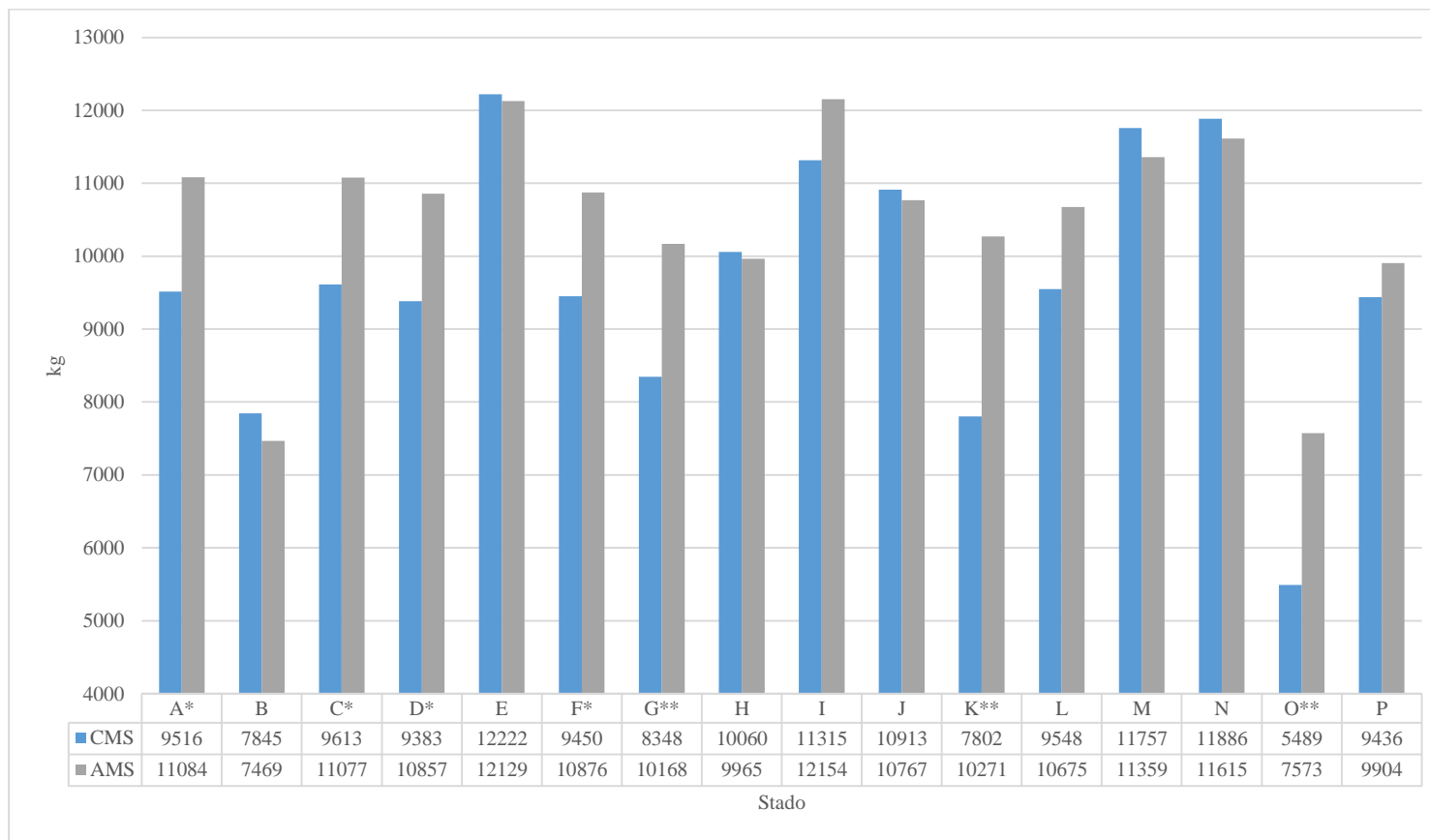
Wykres 1. Wydajności mleka krów w pierwszej laktacji w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad



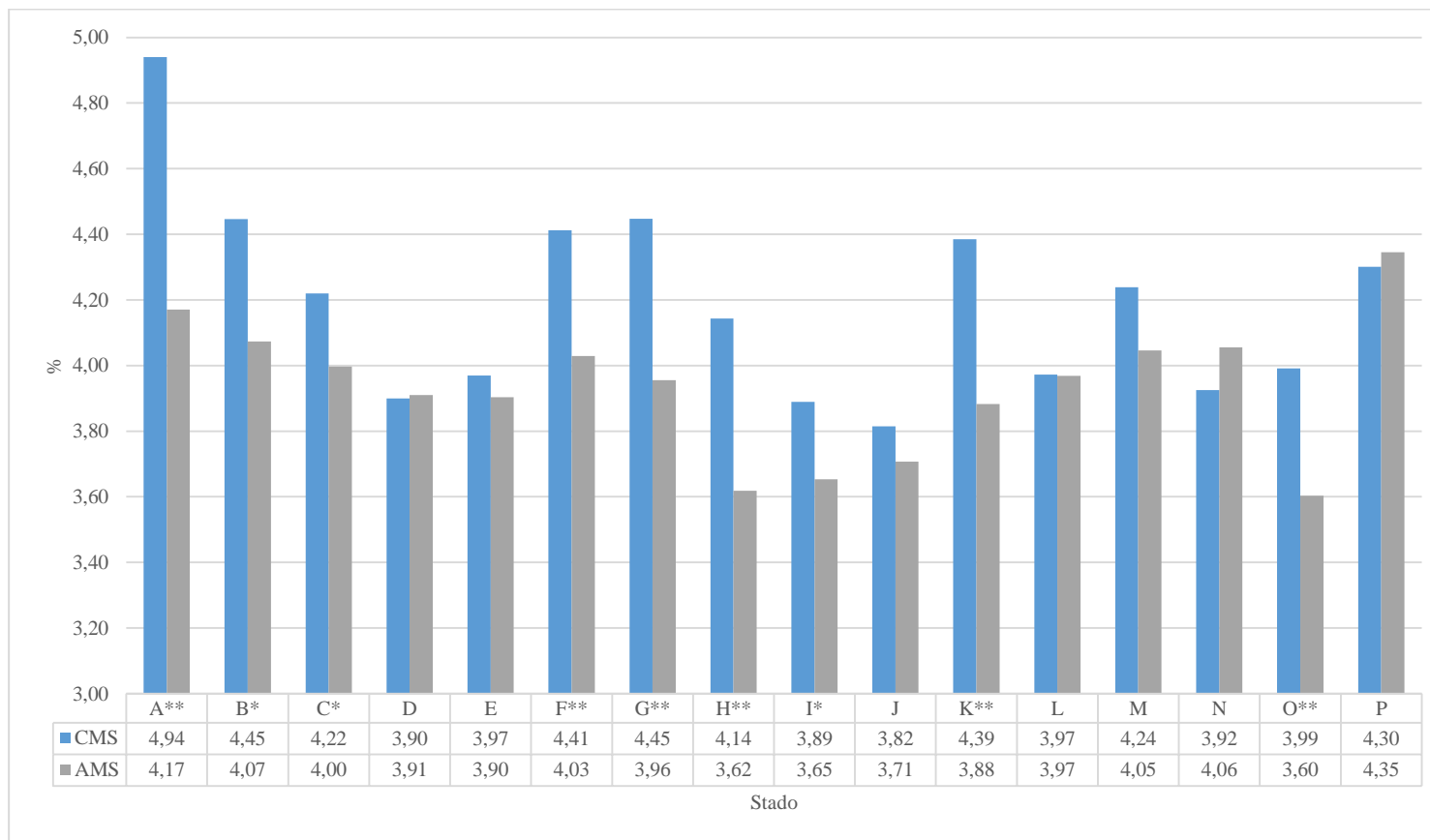
Wykres 2. Procentowa zawartość tłuszczu w mleku krów w pierwszej laktacji w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad



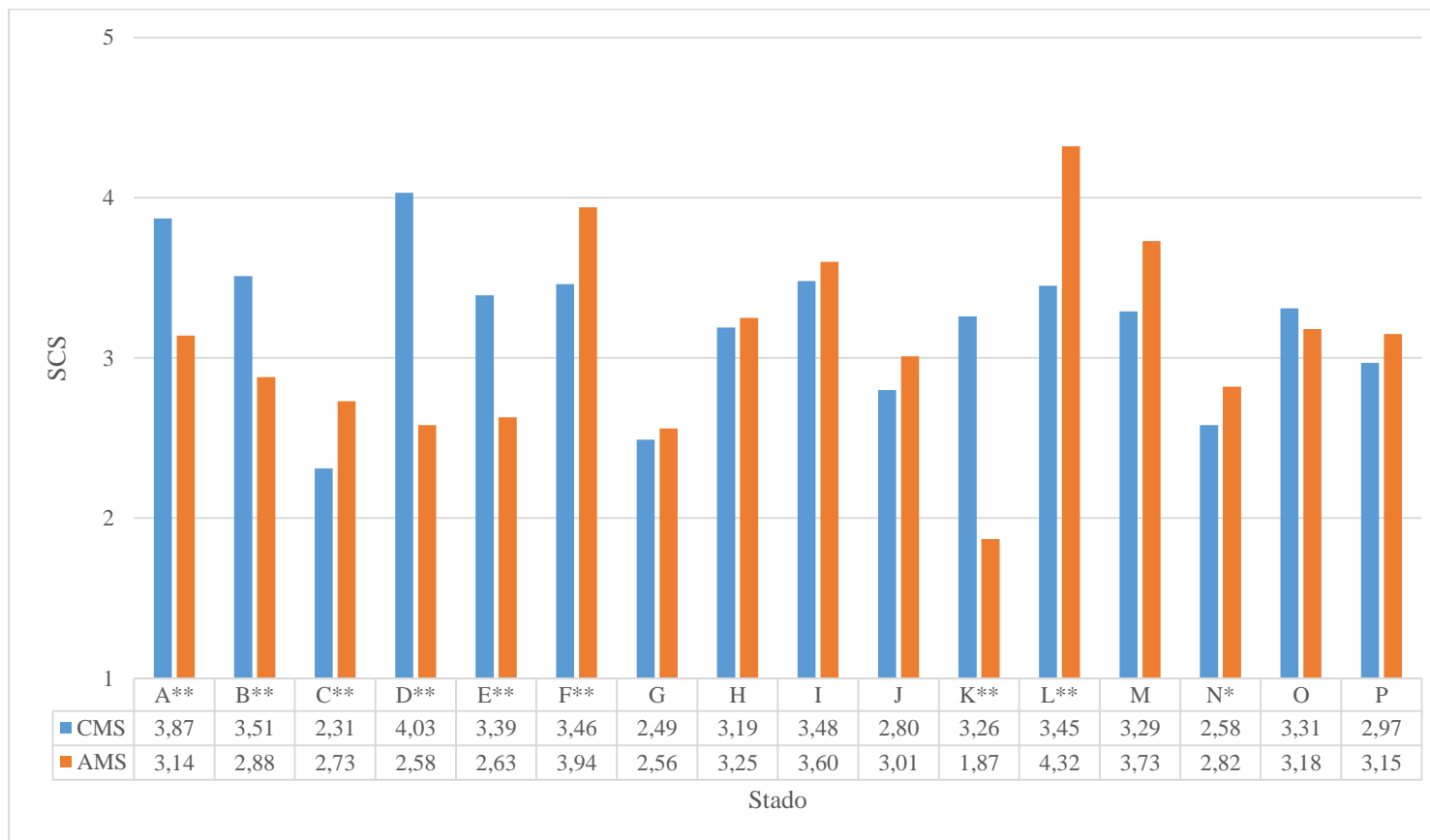
Wykres 3. Procentowa zawartość białka w mleku krów w pierwszej laktacji w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad



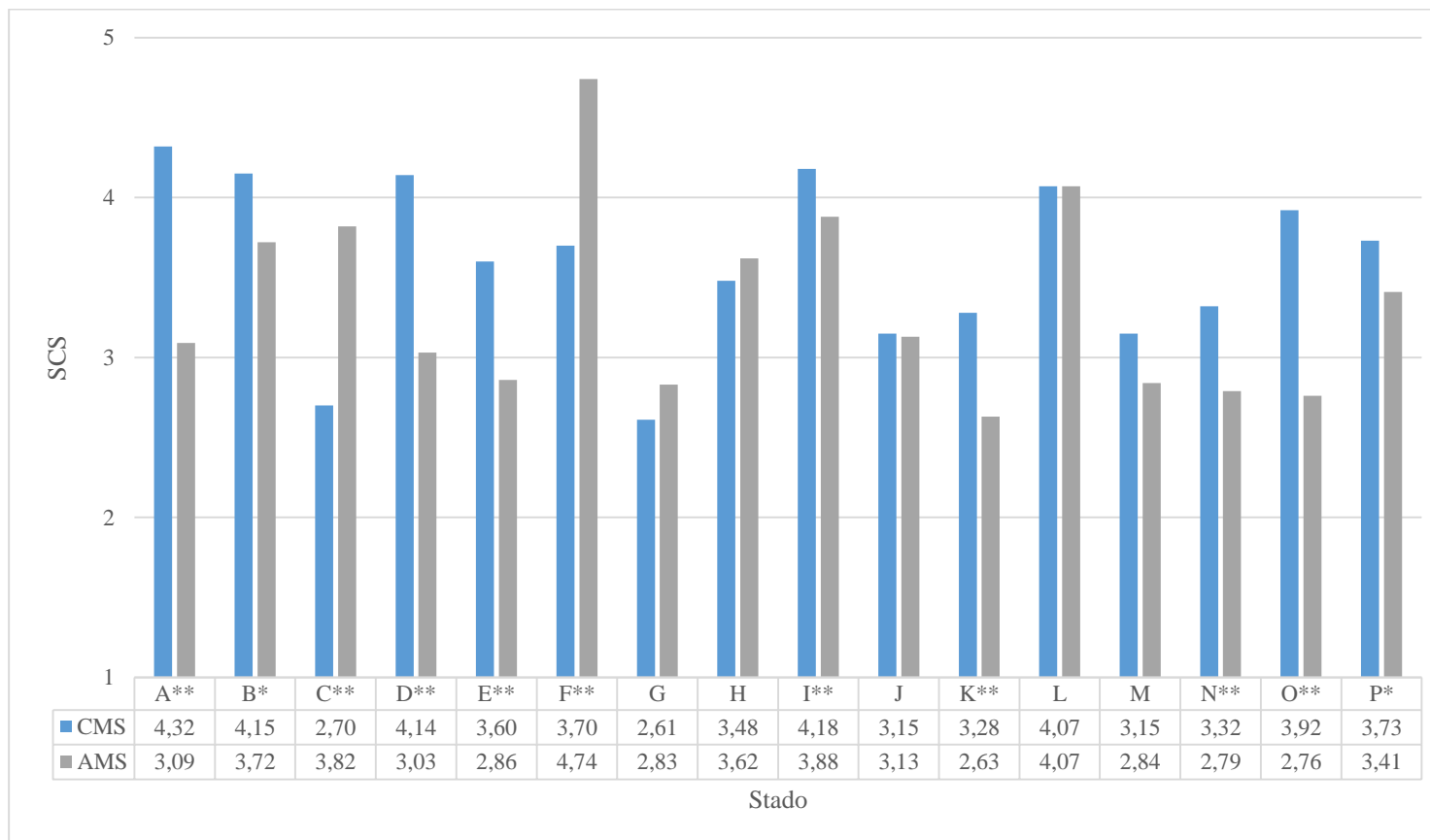
Wykres 4. Wydajności mleka krów w drugiej laktacji w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad



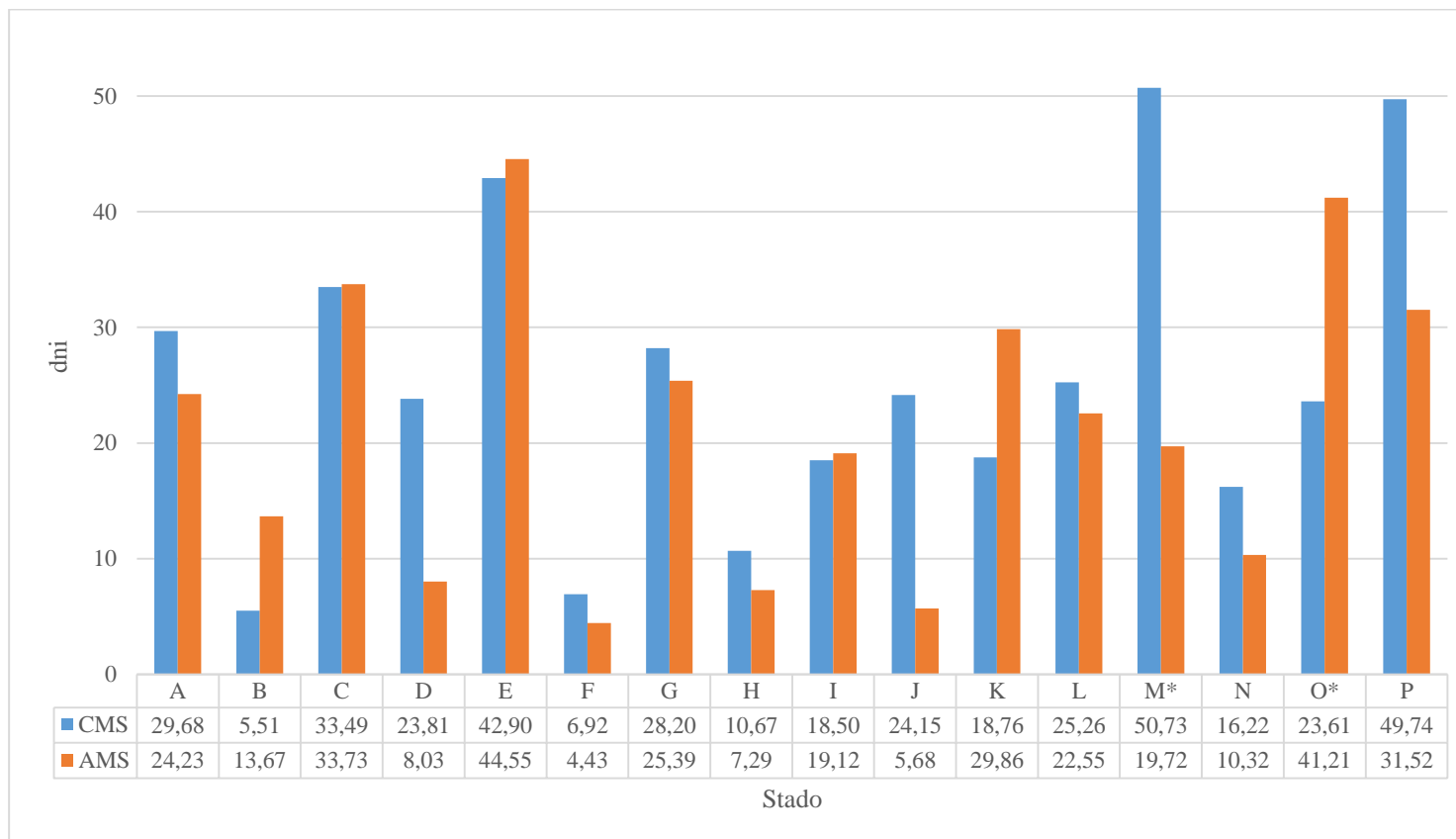
Wykres 5. Procentowa zawartość tłuszczu w mleku krów w drugiej laktacji w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad



Wykres 6. Zawartość komórek somatycznych w mleku z próbnych udojów w pierwszej laktacji w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad

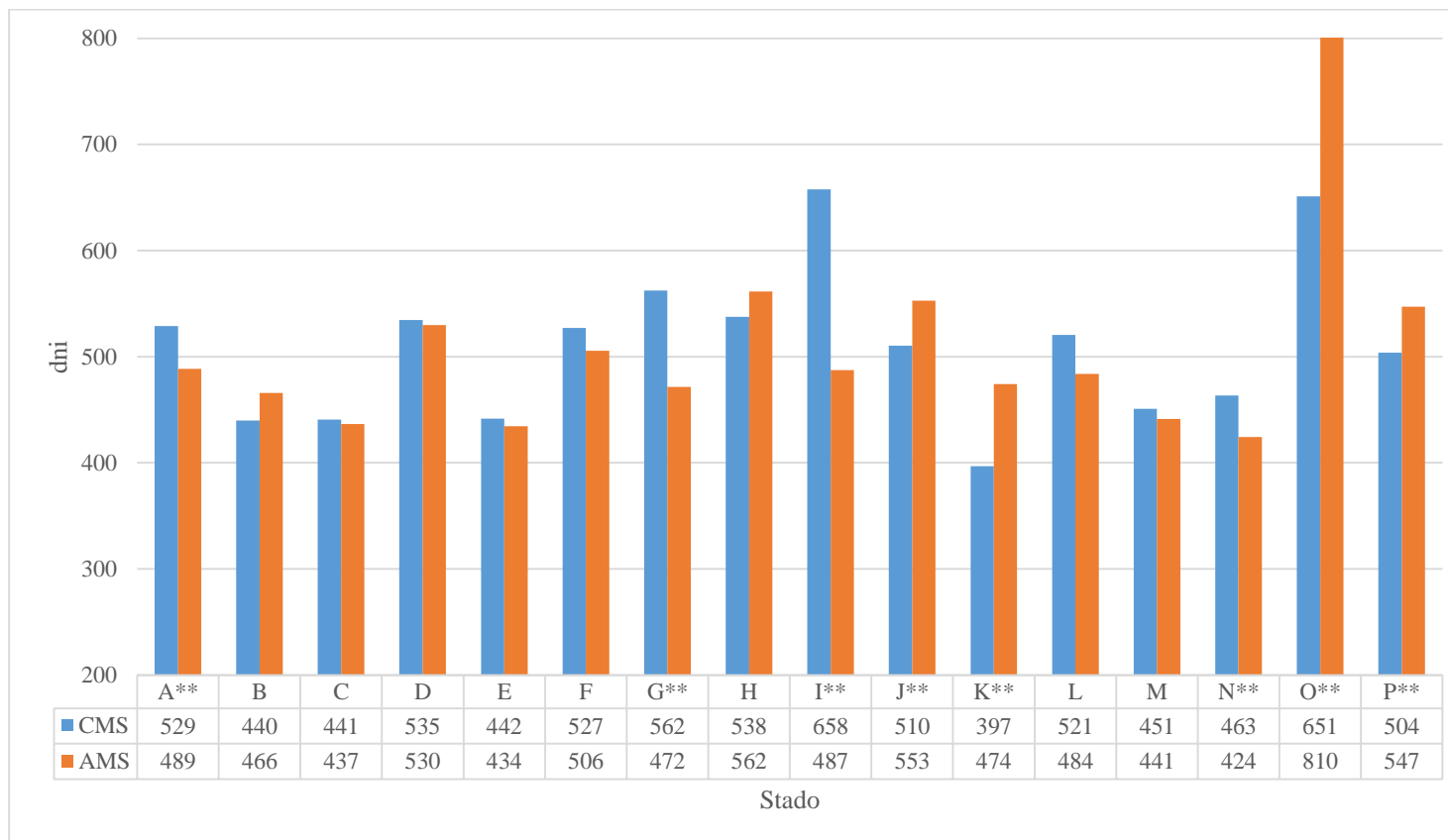


Wykres 7. Zawartość komórek somatycznych w mleku z próbnych udojów w drugiej laktacji w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad

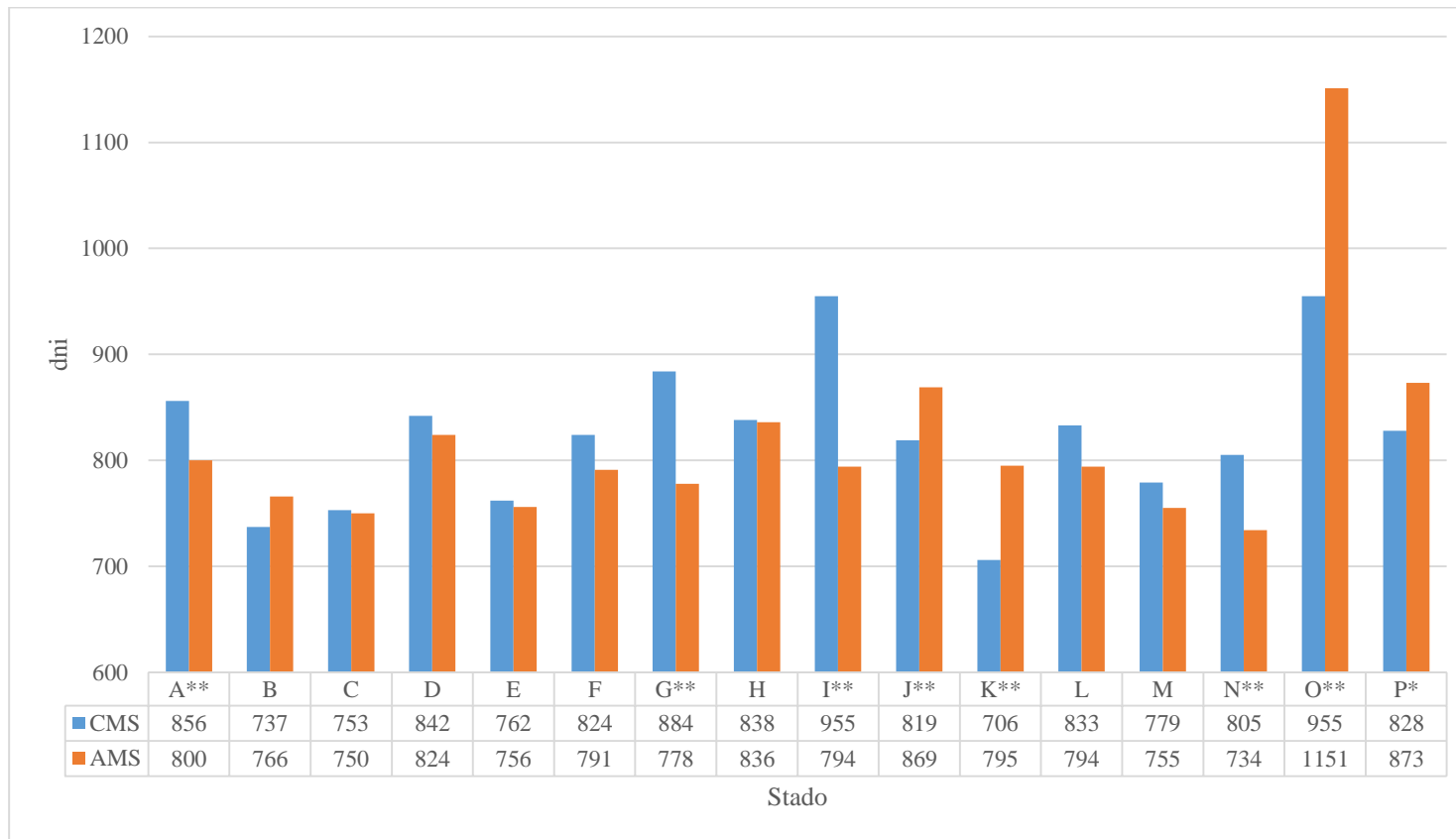


Wykres 8 . Czas zwłoki w pierwszym cyklu reprodukcyjnym w zależności od systemu doju i stada

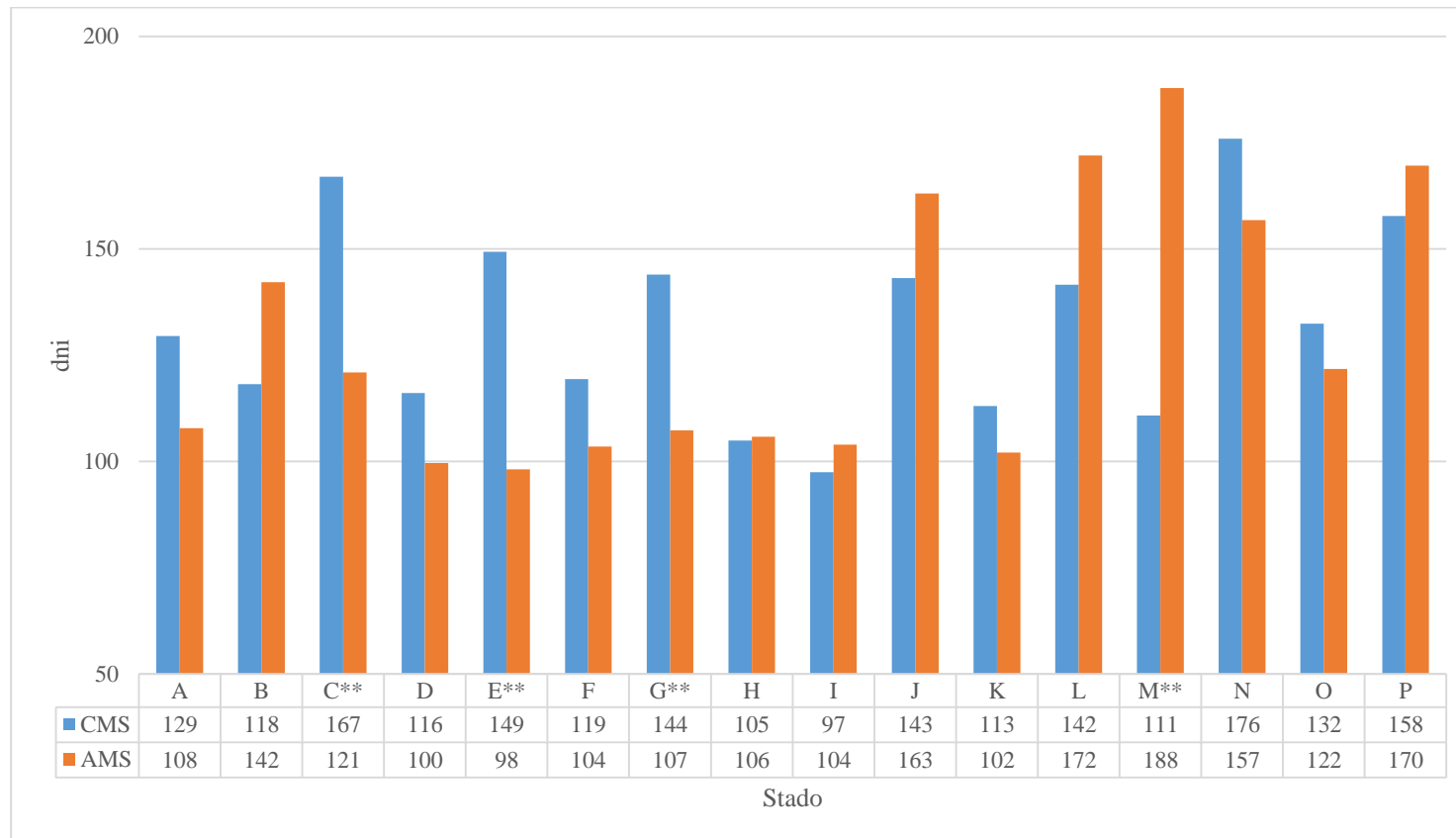
**(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad



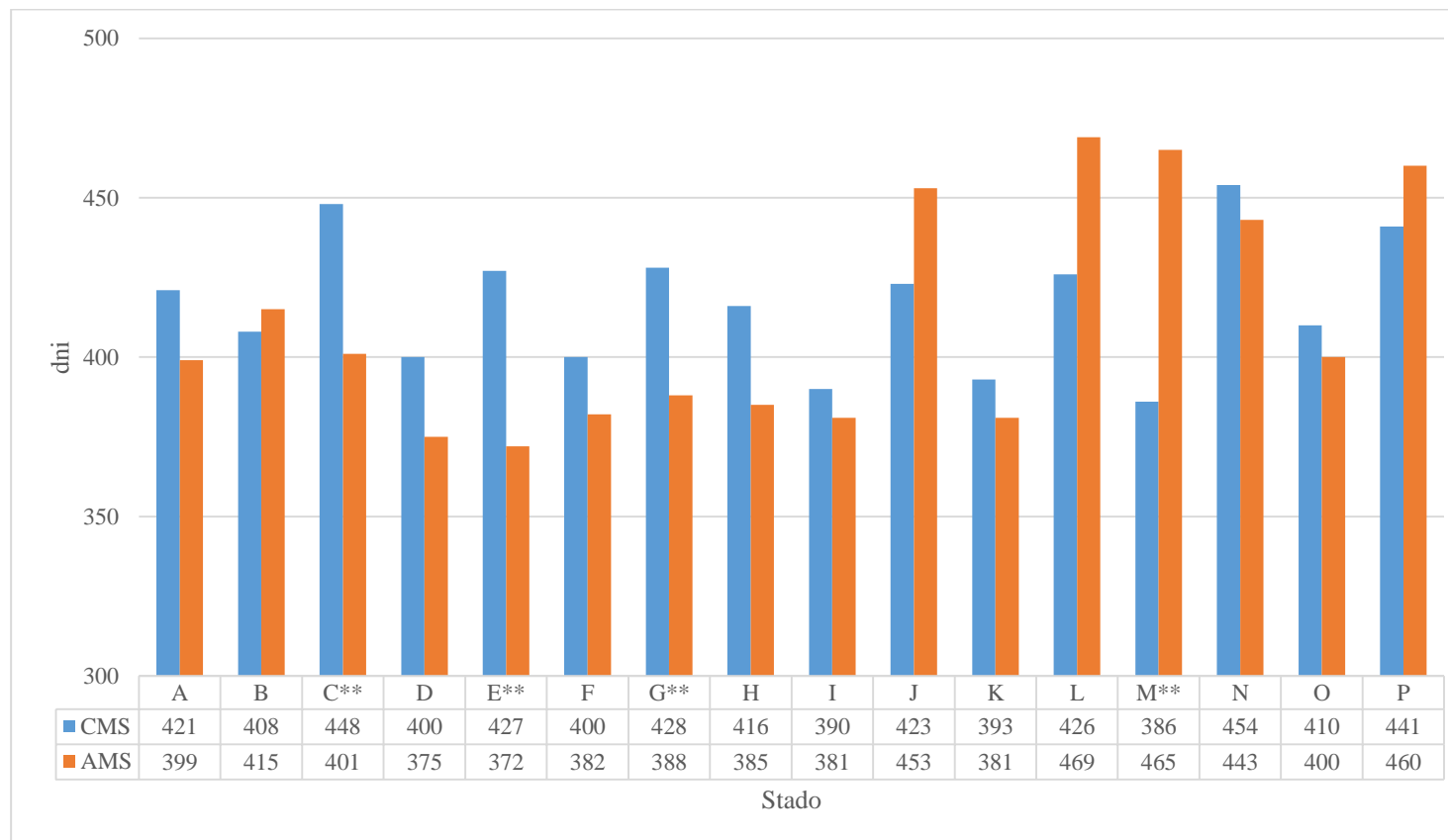
Wykres 9. Wiek w dniu pierwszej inseminacji w pierwszym cyklu reprodukcyjnym w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad



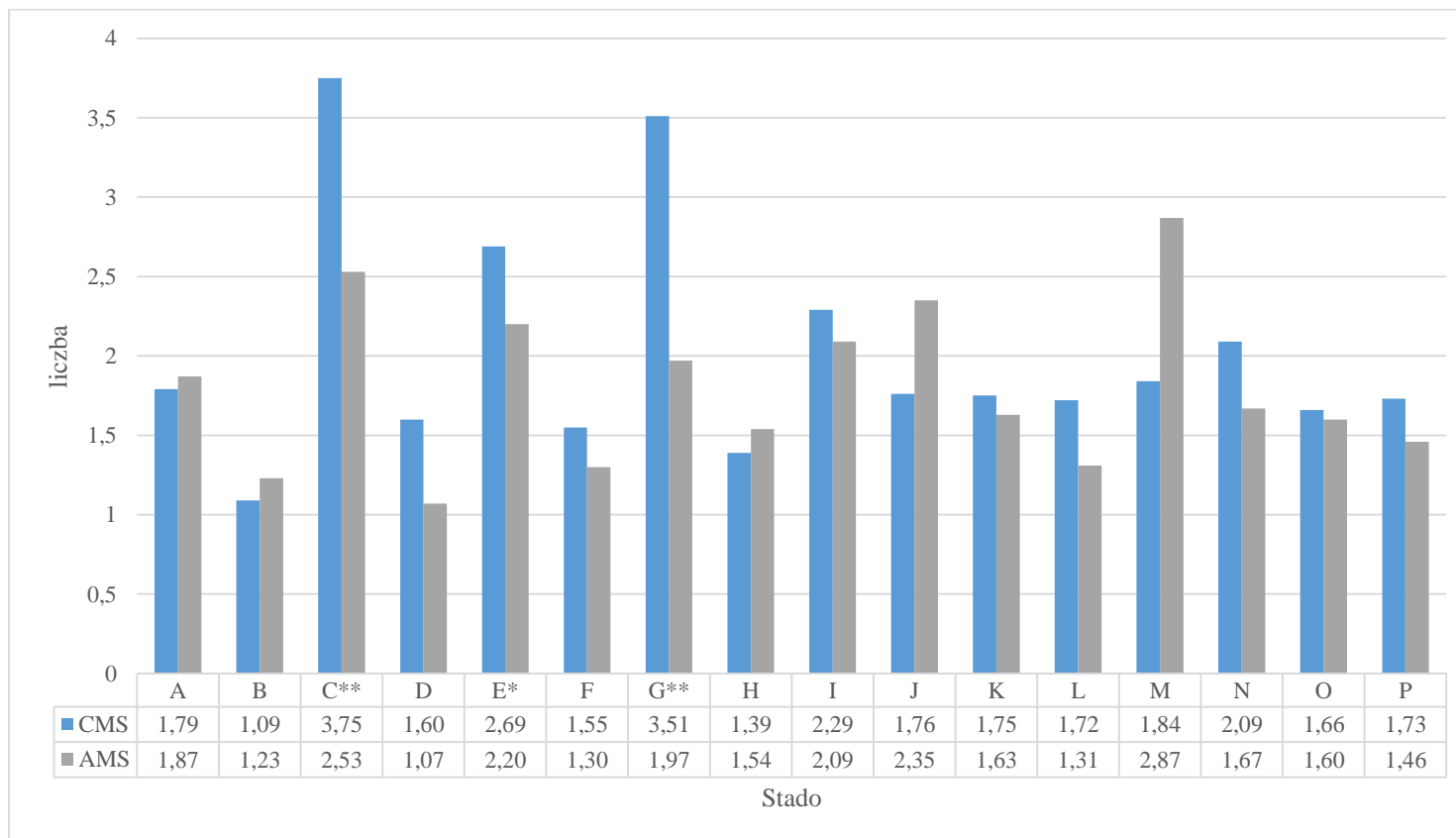
Wykres 10. Wiek w dniu wycielenia w pierwszym cyklu reprodukcyjnym w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad



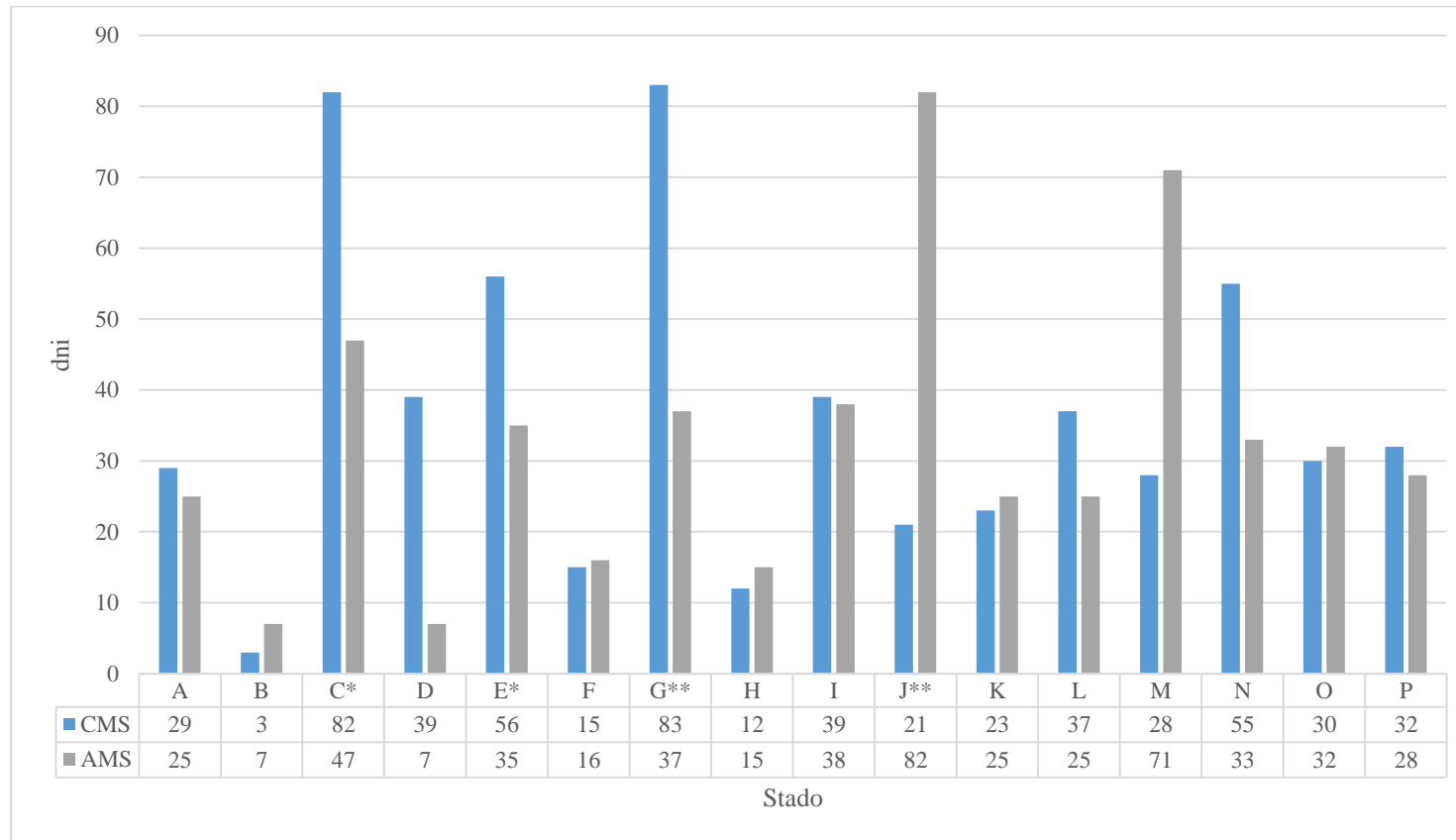
Wykres 11. Okres międzyciążowy w pierwszym cyklu reprodukcyjnym w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad



Wykres 12. Okres międzywycieleniowy w pierwszym cyklu reprodukcyjnym w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad

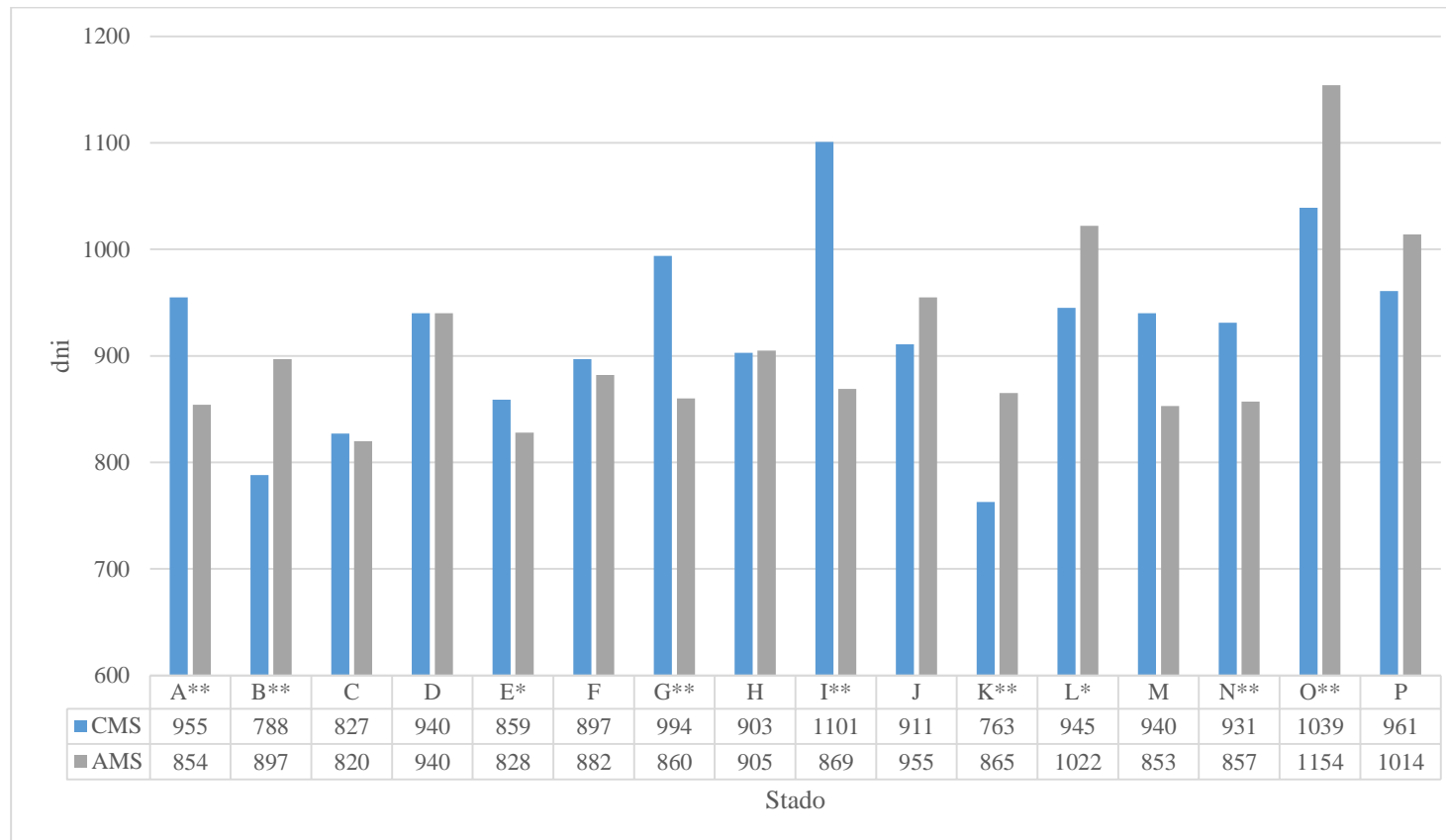


Wykres 13. Indeks inseminacyjny w drugim cyklu reprodukcyjnym w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad

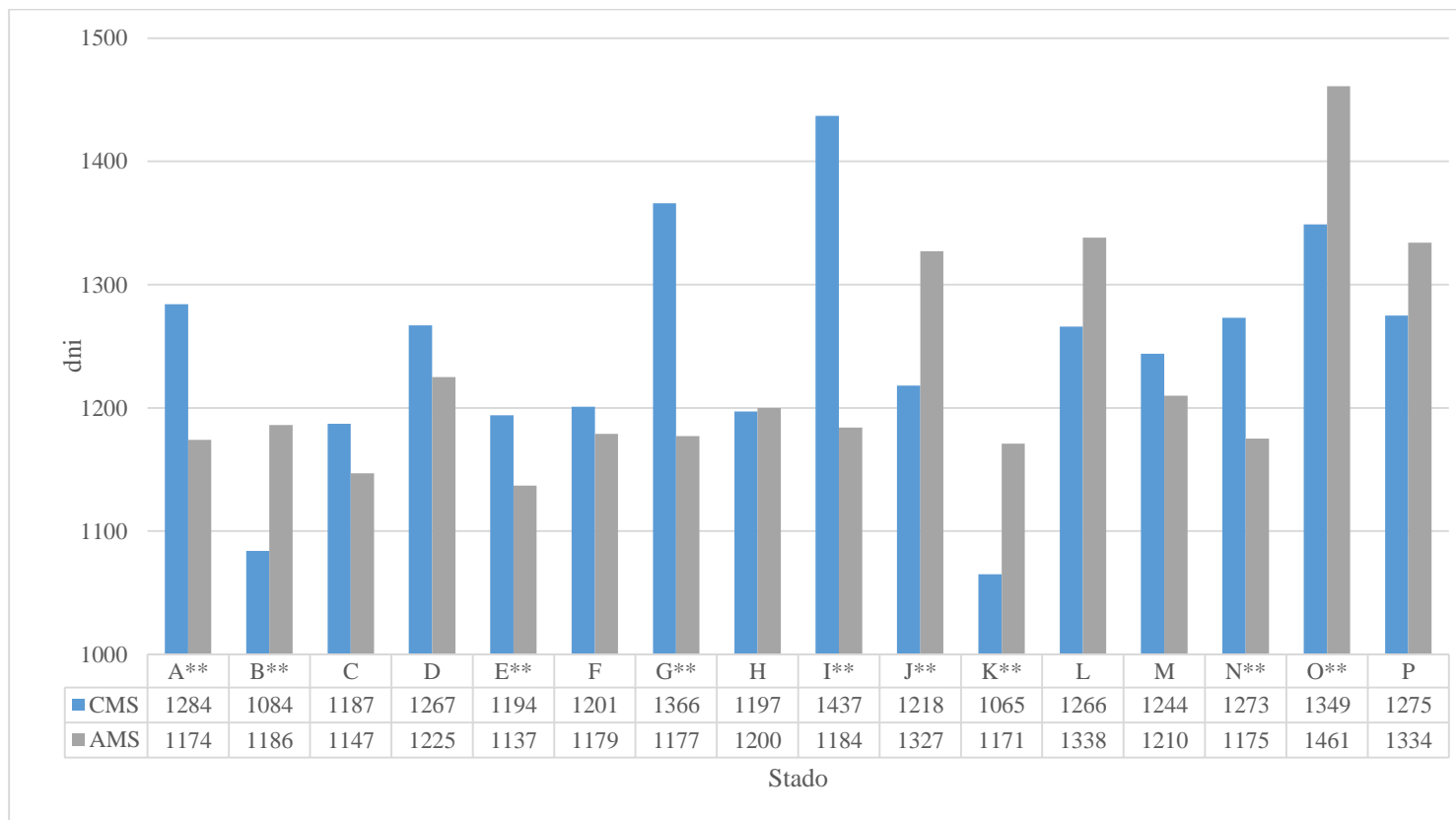


Wykres 14. Czas zwłoki w drugim cyklu reprodukcyjnym w zależności od systemu doju i stada

**(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad

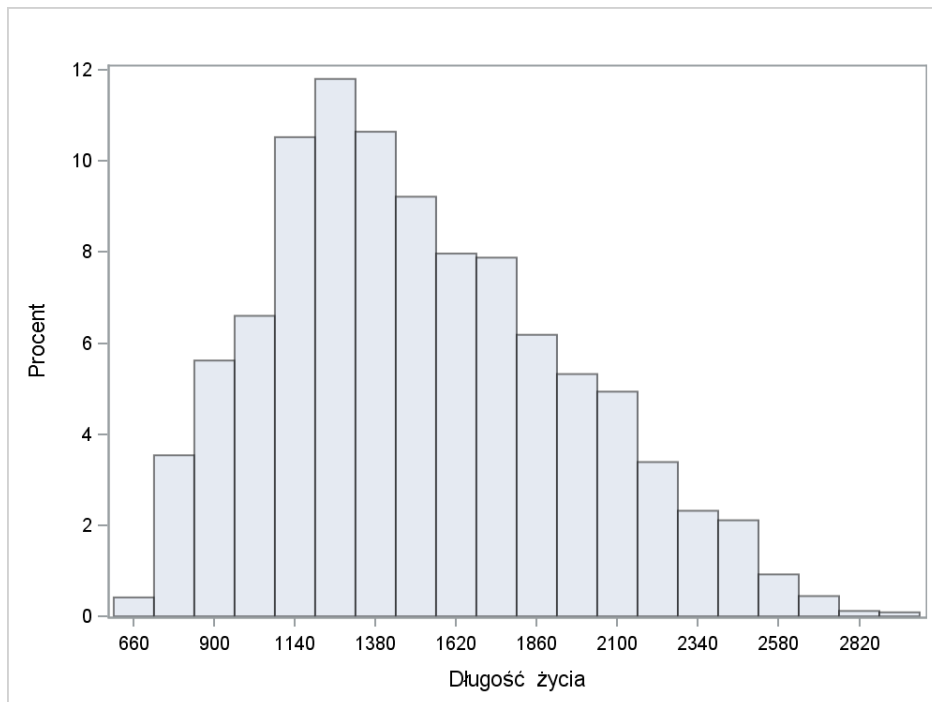


Wykres 15. Wiek w dniu pierwszej inseminacji w drugim cyklu reprodukcyjnym w zależności od systemu doju i stada
 **(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad

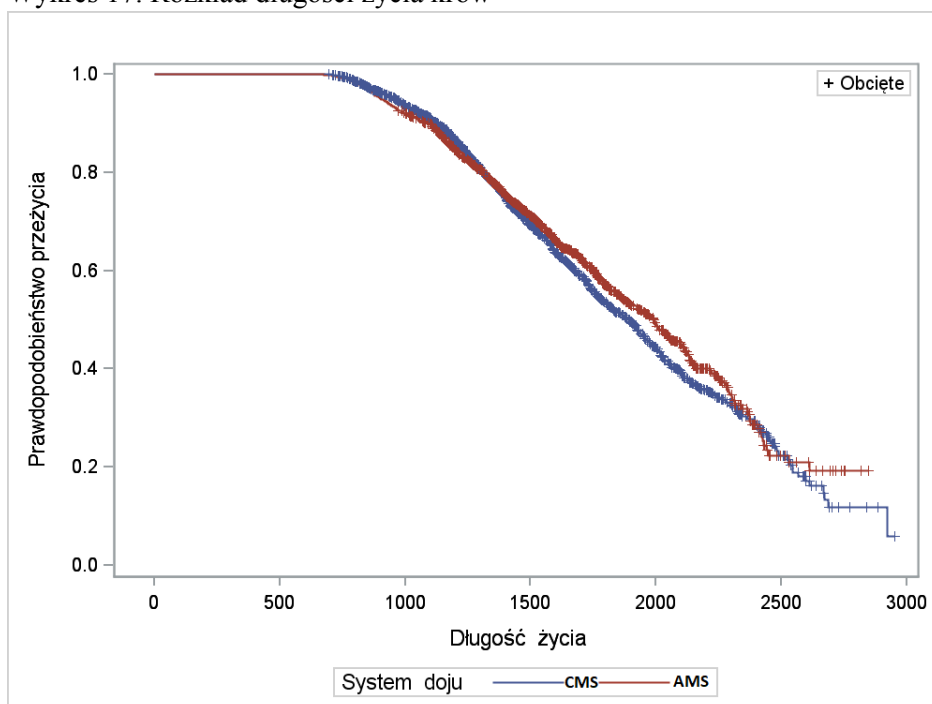


Wykres 16. Wiek w dniu wycielenia w drugim cyklu reprodukcyjnym w zależności od systemu doju i stada

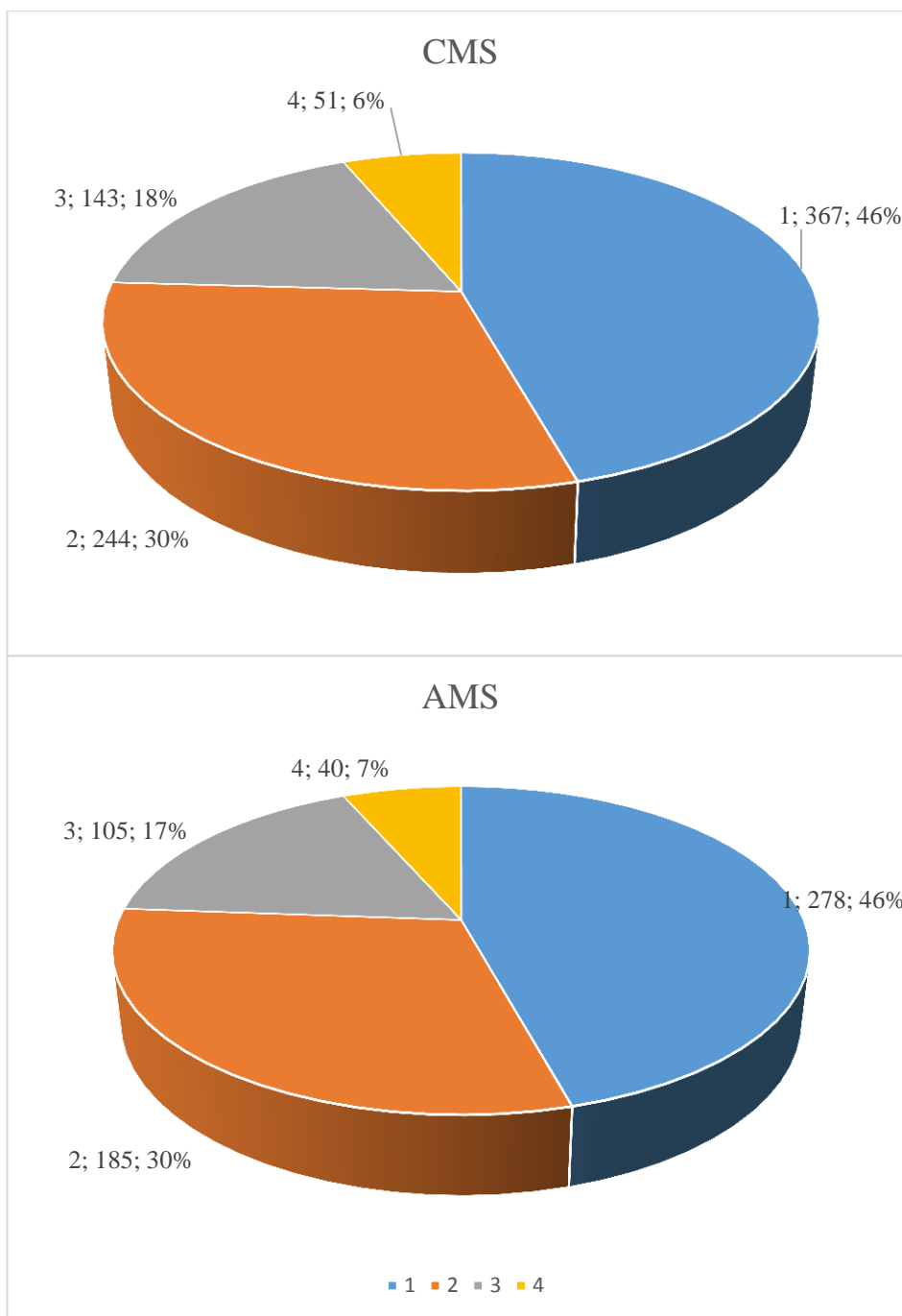
**(*) – różnice wysoko istotne (istotne) między systemami doju w obrębie stad



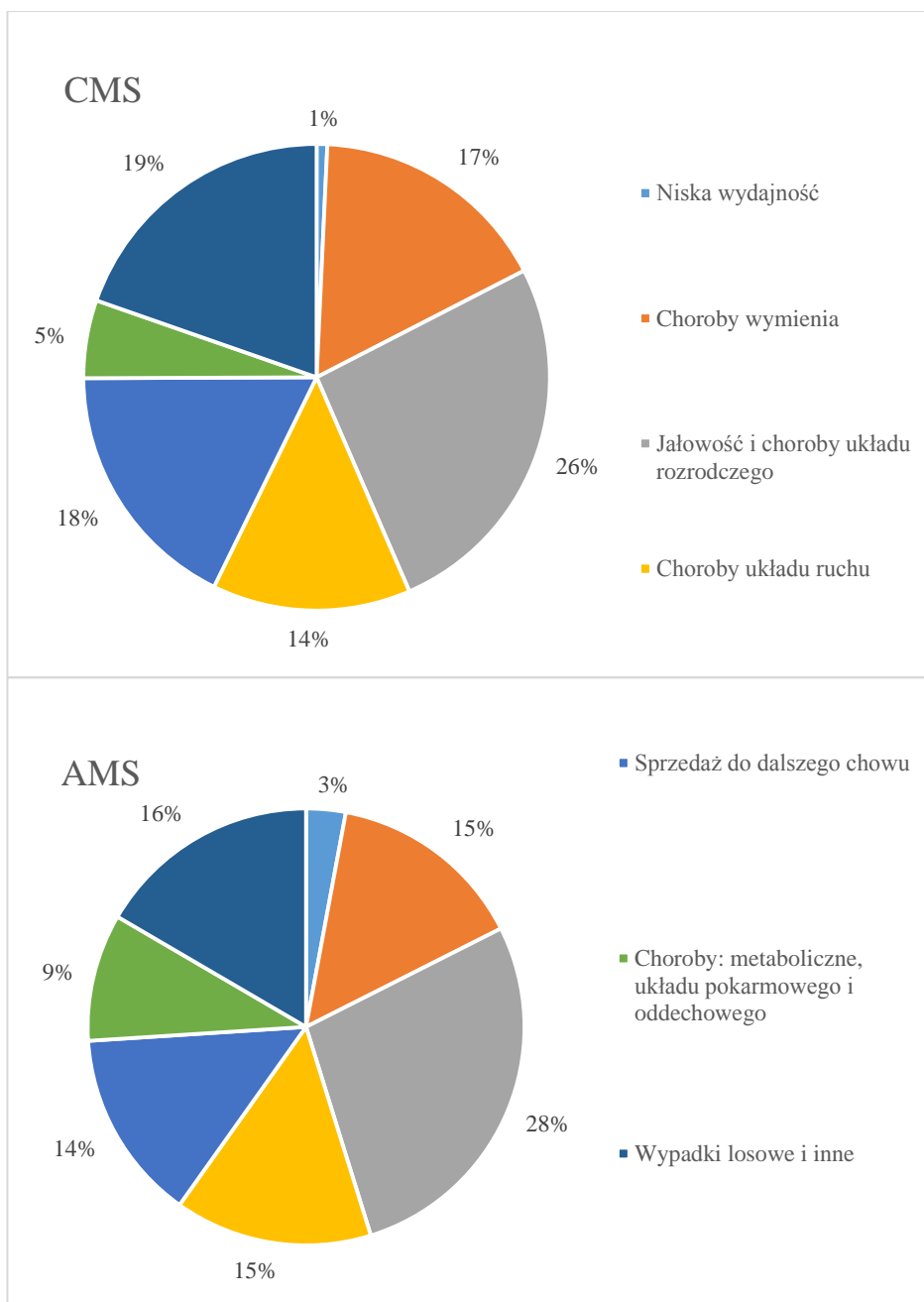
Wykres 17. Rozkład długości życia krów



Wykres 18. Krzywe przeżycia



Wykres 19. Liczba wybrakowanych krów w poszczególnych laktacjach (1-4) z podziałem na system doju



Wykres 20. Udział przyczyn brakownia krów z podziałem na system doju

WPLYW AUTOMATYCZNEGO SYSTEMU DOJU NA CECHY PRODUKCYJNE I FUNKCJONALNE KRÓW MLECZNYCH

STRESZCZENIE

Celem pracy była ocena zmian wartości wybranych cech produkcyjnych i funkcjonalnych krów mlecznych po wprowadzeniu automatycznego systemu doju (AMS). Badania przeprowadzono na 3398 krowach rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej, wycielonych w latach 2008–2015, będących pod oceną użytkowości mlecznej. Analizowano wydajność i skład mleka w pierwszej i drugiej laktacji pełnej, zawartość komórek somatycznych w mleku z próbnych udojów oraz cechy reprodukcyjne krów w pierwszym i drugim cyklu reprodukcyjnym, tj. indeks inseminacyjny, czas zwłoki, wiek w dniu inseminacji i w dniu wycielenia, okres międzyciążowy i międzywycieleniowy. Badaniom poddano również wybrane podindeksy: nogi i racice oraz wymię; cechy pokroju: zawieszenie przednie wymienia, zawieszenie tylne wymienia, więzadło środkowe wymienia, położenie wymienia, szerokość wymienia, ustawienie strzyków tylnych, ustawienie strzyków przednich, długość strzyków, charakter mleczny, długowieczność i przyczyny brakowania krów. Materiał liczbowy użyty w badaniach pozyskano z bazy systemu SYMLEK.

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że statystycznym źródłem zmienności wszystkich cech mleczności pierwiastek i krów w drugiej laktacji były: system doju, stado i dla większości cech interakcja system doju \times stado. Wykazano, że wydajność mleczna pierwiastek po zmianie systemu doju z konwencjonalnego na automatyczny wzrosła o 15%, zaś krów w drugiej laktacji o 9%. Zmianom tym towarzyszyło zmniejszenie się zawartości tłuszczu i białka w mleku w obydwu laktacjach. Ponadto wykazano, że zmiana systemu doju z konwencjonalnego na automatyczny korzystnie, wysoko istotnie wpłynęła na jakość higieniczną mleka. Zaobserwowano, że w systemie konwencjonalnym (CMS) 75% udojów próbnych mleka pierwiastek zawierało do 240 tys./ml komórek somatycznych, podczas gdy w systemie automatycznym 209 tys./ml. Podobną tendencję zarejestrowano w próbach mleka krów w drugiej laktacji, gdzie analogiczne wartości były następujące: 404 tys./ml i 292 tys./ml.

Biorąc pod uwagę cechy płodności stwierdzono, że zmiana systemu doju wpłynęła istotnie wyłącznie na indeks inseminacji (CMS – 2,01; AMS – 1,79) i wiek w dniu wycielenia w drugim cyklu reprodukcyjnym (CMS – 1244; AMS – 1226 dni). Zdecydowanego podkreślenia wymaga fakt, że bardziej korzystne wartości cech płodności (z wyjątkiem indeksu inseminacji w pierwszym cyklu reprodukcyjnym) wykazano w grupie krów dojących w systemie automatycznym. W letnim sezonie wycielenia zaobserwowano

krótszy o 15 dni okres międzyciążowy i o 20 dni okres międzywycieleniowy ($P \leq 0,01$).

Przeprowadzona analiza wariancji wykonana na materiale liczbowym pochodzącym od 1451 krów wykazała, że zmiana systemu doju konwencjonalnego na automatyczny doprowadziła do modyfikacji poziomu wartości podindeksów: nogi i racice oraz wymię jak również niektórych cech pokroju (więzadło środkowe wymienia, szerokość wymienia) ocenianych krów. Wartości podindeksów nogi i racice oraz wymię jak również szerokość wymienia były wyższe wśród krów ocenianych w okresie funkcjonowania systemu doju automatycznego o odp.: 1,13, 2,10 i 0,60 pkt. Jednakże w zakresie więzadła środkowego wymienia stwierdzono zmianę niekorzystną o 0,35 pkt. ($P \leq 0,05$).

Posługując się wieloraką regresją logistyczną wykazano statystyczną zależność między systemem doju a przeżyciem krów do drugiej i trzeciej laktacji. Zastosowany wstępnie do analizy tej zależności test χ^2 wykazał istotny statystycznie wpływ systemu doju na przeżywalność zwierząt do trzeciej laktacji. Zaobserwowano, że spośród pierwiastek dojonych w CMS – 54,85% było użytkowanych również w kolejnym cyklu produkcyjnym, zaś 24,91% pozostało w stadzie do trzeciej laktacji. W przypadku krów dojonych w AMS analogiczne udziały były niższe i wyniosły odpowiednio: 51,01 i 18,04%.

Na podstawie wyznaczonych ilorazów szans w odniesieniu do systemu doju można wnioskować, że przeżycie krowy dojrzej w CMS do 2. laktacji było 1,652, a do 3. laktacji 2,656 razy większe niż obsługiwanej przez roboty udójowej. Z kolei wykonana regresja proporcjonalnego hazardu Cox'a, jak również metoda Kaplana-Meiera nie potwierdziły statystycznego wpływu systemu doju na długość życia badanych zwierząt, choć na ogół bardziej korzystne rezultaty obserwowano w odniesieniu do AMS.

Stwierdzono, że procentowy udział krów brakowanych ze stad w obydwu systemach w pierwszej i drugiej laktacji był identyczny i wyniósł odpowiednio 46 i 30%. Niezależnie od systemu doju do najczęstszych przyczyn brakowania zaliczano jałowość i choroby układu rozrodczego (26% w CMS i 28% w AMS). Drugą najczęściej występującą grupą przyczyn brakowania były trudne do interpretacji wypadki losowe i inne (19% i 16%). Po instalacji AMS w stadach o 4 p.p. wzrósł udział brakowania ze względu na grupę chorób metabolicznych oraz układu pokarmowego i oddechowego, przy identycznym spadku sprzedaży do dalszego chowu. Poziom ubycia zwierząt ze względu na sprzedaż do dalszego chowu, może wynikać ze zwiększenia obsady stada w celu maksymalizacji wykorzystania automatycznego systemu doju.

THE IMPACT OF AUTOMATIC MILKING SYSTEM ON PRODUCTION AND FUNCTIONAL TRAITS OF DAIRY CATTLE

SUMMARY

The aim of the paper was to assess the changes in the value of selected production and functional traits of dairy cattle after the introduction of automatic milking system (AMS). The study was conducted on 3 398 cows of Polish black-and-white variety of Holstein-Friesian breed, that were born between 2008–2015. Animals were evaluated based on their milk performance. The following traits were analysed: milk yield, milk composition in the first and second lactation, somatic cell (SC) count in test milking samples; reproduction traits of cows in their first and second reproduction cycle: insemination index, delay time, age at insemination and at calving, period between pregnancies and interval between calving. The following sub-indices were also evaluated: legs, hooves and udder, udder built: fore udder attachment, rear udder height, udder cleft, udder depth, udder width, rear teat placement, front teat placement, teat length, angularity, longevity and the reasons for culling. The data used in the study was derived from the database SYMLEK.

The analysis of variance showed that the statistical source of variability of all traits connected to milk production were: milking system, herd, and for most traits, interaction milking system \times herd. It was shown that the milk efficiency, after the change in installation from the conventional milking system to AMS, increased by 15% for primiparas and 9% for multiparas. This change was also accompanied by the decrease in fat and protein content in milk. Moreover, the change from conventional milking system (CMS) to AMS positively affected milk hygiene. In CMS, 75% of test milkings collected from primiparas, contained 240 000 somatic cells (SC) per ml, while in AMS 209 000 SC/ml. Similar tendency was recorded for milk obtained from multiparas (404 000 SC/ml from CMS and 292 000 SC/ml from AMS).

In terms of fertility traits, it was observed that the change of milking system significantly affected only insemination index (CMS – 2,01; AMS – 1,79) and multiparas' age at calving (CMS – 1244; AMS – 1226 days). It is worth mentioning that more favourable fertility traits (except for primiparas' insemination index) were reported for the group of cows milked in AMS. In summer calving period, the interval between pregnancies was shorter by 15 days and between calving's by 20 days ($P \leq 0,01$).

Analysis of variance performed on 1 451 cows showed that the change from CMS to AMS affected levels of sub-indices: legs, hooves and udder, as well as of some of conformation traits udder cleft/udder width). Values obtained for sub-indices: legs and hooves, udder as well as udder width were higher amongst cows from AMS: 1,13, 2,10 and 0,60 respectively. However, as far as the scope

of udder cleft is concerned, one finds unfavourable change by 0,35 points ($P \leq 0,05$).

Logistic regression was used to show a statistic relation between milking system and cows' survival till the second and third lactation. Test χ^2 , that was initially used, showed statistical impact of milking system on cows' survival till 3rd lactation. It was noticed that 54.85% of primiparas milked in CMS were later used in the second lactation and 24.91% in 3rd. In case of cows milked in AMS these percentages were lower (51.01% and 18.04%, respectively).

Based on calculated odds ratios in relation to milking system, one can predict that the survival of cow milked in CMS up to the 2 lactation was 1,652, and to 3rd lactation 2,656 times higher than the cow's milked by a milking robot. Whereas Cox's regression of proportional hazards, as well as Kaplan-Meier method have not proved the statistical impact of milking system on the longevity of the sampled animals, however, more favourable results were usually noticed with regard to AMS.

It was proved that the percentages of cows culled in both systems in the first and the second lactation was identical and amounted to 46 and 30%. Regardless of the milking system, the most frequent reason for culling was barrenness, reproductive system diseases (26% in CMS and 28% in AMS). The second most often occurring reason for culling was random event, one difficult to interpret, and other reasons (19% and 16%). After AMS installation the percentage of culling based on metabolic, digestive and respiratory system diseases increased by 4%, with the identical decrease in sales for further breeding. The degree of culling owing to the sales for breeding may result from the increase in the size of the herd, which is performed for the maximization purposes of AMS.