



**POLITECHNIKA  
BYDGOSKA**  
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY ZOOTECHNIKA I RYBACTWO**

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

**w formie zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych w  
dyscyplinie zootechnika i rybactwo**

**mgr inż. Iwona Kuropatwińska**

**UWARUNKOWANIA FIZJOLOGICZNE I ŚRODOWISKOWE ZDOLNOŚCI  
WYDOJOWEJ I ZDROWOTNOŚCI GRUCZOŁU MLECZNEGO KRÓW  
DOJONYCH AUTOMATYCZNIE**

*Physiological and enviromental conditions of milking capacity and milk gland health of  
automatically milked cows*

**DZIEDZINA: NAUKI ROLNICZE  
DYSCYPLINA: ZOOTECHNIKA I RYBACTWO**

**PROMOTOR PRACY**

**DR HAB. INŻ. MARIUSZ BOGUCKI, PROF. PBŚ  
KATEDRA HODOWLI I ŻYWIENIA ZWIERZĄT  
WYDZIAŁ HODOWLI I BIOLOGII ZWIERZĄT  
POLITECHNIKA BYDGOSKA IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH**

**Bydgoszcz, 2024**

## SPIS TREŚCI

|  |    |
|--|----|
| 1. Wstęp .....   | 3  |
| 2. Wykaz artykułów naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej ..... | 5  |
| 3. Uzasadnienie spójności tematycznej cyklu publikacji rozprawy .....                | 6  |
| 3.1. Hipoteza badawcza, cel i zakres badań .....                                     | 7  |
| 3.2. Materiały i metody badań .....  | 8  |
| 3.3. Wyniki .....  | 10 |
| 3.4. Dyskusja .....  | 13 |
| 3.5. Podsumowanie .....  | 16 |
| 3.6. Literatura .....  | 17 |
| 4. Streszczenie .....  | 20 |
| 5. Abstract .....  | 22 |
| 6. Załączniki .....  | 24 |
| 6.1. Kopie artykułów naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej ..  | 25 |
| 6.2. Oświadczenie Autorów rozprawy doktorskiej .....                                 | 41 |
| 6.3. Oświadczenia Współautorów artykułów naukowych .....                             | 43 |

## 1. WSTĘP

Produkcja mleka w Polsce systematycznie rośnie. W roku 2022 dostawy surowca mlecznego do zakładów wyniosły 12 381 mln litrów, czyli były o 2,2% wyższe niż rok wcześniej. Jednocześnie zahamowany został, utrzymujący się od 2019 r., spadek pogłowia krów mlecznych. W grudniu 2022 r. wynosiło ono 2 037 tys. sztuk i było nieznacznie (o 0,1%) wyższe niż w roku 2021 [GUS 2023]. Na skutek koncentracji hodowli, doskonalenia technologii produkcji oraz poprawy genetyki bydła mlecznego obserwuje się wzrost wydajności mlecznej krów. Jak podaje Polska Federacja hodowców Bydła i Producentów Mleka w 2022 roku statystyczna krowa produkowała 7425 (7015 rok wcześniej) kg mleka, przy czym od krów będących pod oceną użytkowości mlecznej pozyskiwano średnio 9037 (8837 rok wcześniej) kg mleka, a od krów pod oceną niebędących 6324 (5851 rok wcześniej) kg mleka [PFHBiPM 2022, PFHBiPM 2023]. Zmienia się również model gospodarstw rolnych utrzymujących krowy mleczne. Ich liczba spada, ale rośnie liczebność stada [GUS 2023].

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat zmieniło się podejście hodowców do produkcji mleka. Dążą oni do jej maksymalizacji, przy jak najmniejszych nakładach pracy oraz środków finansowych. Chcąc usprawnić proces pozyskiwania mleka oraz ograniczyć czynnik ludzki, w 1992 roku uruchomiono w Holandii pierwszy na świecie robot udojowy. Tym samym automatyczny system doju (AMS) stał się faktem. Automatyczny system doju korzystnie wpływa na dobrostan krów, pozwalając na swobodny wybór czasu wizyty w boksie, które są możliwe przez całą dobę. Częstość dojów decyduje o ilości pozyskiwanego mleka. W badaniach Brzozowskiego i in. [2020] wykazano, że przy zmianie tradycyjnego doju na automatyczny, wydajność pierwiastek wzrosła o 15%, natomiast kolejna laktacja charakteryzowała się zwiększeniem produkcji mleka o kolejne 9%. AMS pozwala monitorować parametry, takie jak: cechy zdolności wydojowej (czas doju, szybkość przepływu mleka), liczbę dojów, przewodnictwo elektryczne mleka, liczbę komórek somatycznych w mleku, aktywność rujową czy dój ćwiartkowy [Carlström i in. 2013, Steeneveld i in. 2015, Tse i in. 2017, Tse i in. 2018, Solano i in. 2022].

Nowe technologie, związane z automatyzacją procesu pozyskiwania mleka, umożliwiają szybką diagnostykę wczesnych stadiów stanów zapalnych gruczołu mlecznego krów [Forsbäck i in. 2010, Jędrus 2013]. Jest to możliwe, ponieważ jednym z rozwiązań służącym do wykrywania stanów zapalnych wymienia jest badanie przewodnictwa elektrycznego mleka. Jest to metoda wykrywania mastitis u krów na podstawie zmian w układzie soli mineralnych i laktozy spowodowanych tym schorzeniem. Bardzo ważnym faktem wynikającym z pomiaru przewodności elektrycznej mleka jest wykrywanie klinicznego mastitis jeszcze przed wystąpieniem widocznych zmian w zdajonym mleku lub tkance wymienia. Pomiar przewodności pozwala wykrywać mastitis na dwa lub więcej dojów przed wystąpieniem widocznych objawów [Norberg 2005, Berglund i in. 2007]. Zmiany przewodności elektrycznej mleka, badane przez urządzenia zamontowane w linii udojowej, są źródłem podstawowych informacji dla komputerowego systemu zarządzania stadem. System ten rejestruje pomiary przewodności mleka podczas każdego doju i wskazuje krowy o przewodności elektrycznej odbiegającej od normy. Przy występowaniu mastitis wzrasta przewodność elektryczna mleka ze względu na wzrost w nim poziomu sodu i chloru oraz spadek zawartości potasu i laktozy, przy jednoczesnym wzroście pH. Zawartość sodu i chloru wpływa dodatkowo na wartość przewodnictwa elektrycznego, ponieważ opór i przewodnictwo cieczy zależy od jej składu i temperatury [Bruckmaier i in. 2004]. Również zawartość komórek somatycznych oraz albuminy surowiczej powoduje zmianę przepływu prądu przez mleko.

Mleko pochodzące ze zdrowego gruczołu charakteryzuje się przewodnością elektryczną na poziomie 4,00-5,50 mS/cm w temperaturze 25°C [Yoshida i in. 2005]. Jak podają Park i in. [2007] oraz Ilie i in. [2010] mleko o temperaturze 37°C pochodzące od zdrowej krowy

charakteryzuje się przewodnictwem od 4,54 mS/cm, natomiast wraz z pogarszającym się stanem zdrowotnym wymion wzrasta do 6,31 mS/cm i powyżej w stanach klinicznych mastitis. Według Nowaka i in. [1990] korelacja między przewodnością elektryczną mleka a liczbą występujących w nim komórek somatycznych wynosi 0,91. Jak podają Kasikci i in. [2012] wczesna diagnoza podklinicznego mastitis powinna być priorytetem dla każdego producenta mleka, którego celem jest pozyskiwanie surowca o jak najwyższej jakości cytologicznej. Badanie przewodnictwa elektrycznego mleka jest jednym ze wskaźników takiej diagnozy, ponieważ stanowi swego rodzaju system wczesnego ostrzegania poprzez monitorowanie zdrowia wymion podczas każdego doju.

Wprowadzenie automatycznych systemów doju umożliwiło skupienie się na wydajności doju poszczególnych ćwiartek, w porównaniu z wydajnością wyłącznie na poziomie krowy. Parametry doju, które są rutynowo mierzone na poziomie ćwiartki każdego doju w AMS obejmują wydajność mleka, średnie natężenie przepływu mleka i szczytowe natężenie przepływu mleka [Weaver i Hernandez 2016, Penry i in. 2018]. Dój ćwiartkowy ma niewątpliwie znaczenie dla zdrowotności wymienia: eliminuje pustodoje, dostosowuje parametry doju do szybkości oraz ilości przepływającego mleka, pozwala na szybką weryfikację zdrowotności poszczególnych ćwiartek [Sitkowska i in. 2016, Zucali i in. 2021].

Ilość produkowanego mleka bezpośrednio uzależniona jest od budowy anatomicznej i cech funkcjonalnych poszczególnych ćwiartek wymienia krów [Atasever i Erdem 2009, Pritchard i in. 2010, Szencziová i in. 2013]. Odpowiednia budowa gruczołu mlecznego, oprócz wpływu na cechy zdolności wydojowej, w tym przede wszystkim na czas doju, ma również znaczenie w kontekście jego zdrowotności [Kumar i in. 2022]. Hodowcy zwracając szczególną uwagę na budowę wymienia dążą do posiadania w stadzie krów o równomiernie rozłożonej wydajności z poszczególnych ćwiartek, co jest pożądane z perspektywy doju mechanicznego i automatycznego. Już wcześniejsze badania wskazują, że różnice w wydajności mleka przekraczające 10-15% między ćwiartkami przednimi i tylnymi, a także różnice w czasie doju przekraczające 1 minutę mają negatywny wpływ na ich wydajność i zdrowotność [Stankūnienė i in. 2008, Kuczaj 2010]. Szczegółową analizę produktywności poszczególnych ćwiartek gruczołu mlecznego krów w warunkach doju automatycznego, z uwzględnieniem częstotliwości doju, przeprowadzono w badaniach Boguckiego [2018]. Stwierdzono w nich, że w czasie doju u pierwiastek i wieloródek ćwiartki przednie i tylne produkowały odpowiednio: 45,8% i 54,2% oraz 41,8% i 58,2% mleka. Podobne wyniki wykazano we wcześniejszych badaniach Šlyžiusa i in. [2013], w których z przednich ćwiartek pozyskiwano około 42% całkowitego udoju, a z tylnych około 58%. Na związek produktywności poszczególnych ćwiartek z podatnością na mastitis wskazują z kolei Hammer i in. [2012], stwierdzając wzrost przypadków zapaleń w ćwiartkach charakteryzujących się najniższą wydajnością oraz częstotliwością dojów.

Wszystkie wyżej przedstawione informacje pomagają zastosować właściwą strategię w zarządzaniu stadem krów mlecznych, podejmować trafne kroki selekcyjne ukierunkowane na doskonalenie budowy wymienia (eliminowanie krów o dużej dysproporcji w produkcji mleka) oraz mają duże znaczenie w aspekcie zapobiegania stanom zapalnym wymion, które powodują duże straty ekonomiczne [Atasever i Erdem 2009].

## **2. WYKAZ ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH STANOWIĄCYCH CYKL PUBLIKACJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

Dysertacja doktorska przedstawiona jest w formie cyklu prac naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych z wykazu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego o łącznej punktacji 90,00 i sumarycznym wskaźniku Impact Factor: 0,490.

1. **P1** Kuropatwińska I., Bogucki M., Sawa A., Miller M. Relationships between milk electrical conductivity, daily milk yield, and milking ability of primiparous and multiparous cows. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 2020, 30, 2, 298-304, <https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.2.0044>

MNiSW: 20 pkt.

Impact Factor: 0,490 (0,529 wg strony [www.thejaps.org.pk/Volume/2020/30-02/04.php](http://www.thejaps.org.pk/Volume/2020/30-02/04.php))\*.

2. **P2** Kuropatwińska I., Bogucki M. Determinants of udder quarter milk yield in automatically milked cows. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, 2023, 22, 3, 66-72, DOI:10.21005/asp.2023.22.3.08, pkt. MNiSW: 70.

\*praca została złożona w wydawnictwie w czasie obowiązywania punktacji MNiSW z 2018 r., gdzie publikacje za 20 pkt. uznawane były z wysoko punktowane.

### **3. UZASADNIENIE SPÓJNOŚCI TEMATYCZNEJ CYKLU PUBLIKACJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

Od 1992 roku producenci mleka na świecie mają możliwość wyposażania swoich gospodarstw w komercyjnie dostępne urządzenia automatyzujące dój krów, nazywane popularnie robotami udojowymi. Automatyczny system doju pozwala na monitorowanie wielu parametrów związanych z użytkowaniem mlecznym krów. Szybki dostęp do danych umożliwia wczesne wykrycie problemów związanych ze zdrowiem zwierząt, ich produktywnością i jakością mleka. Niewątpliwą zaletą robotów udojowych jest możliwość doju ćwiartkowego. Pozwala on na indywidualne dopasowanie parametrów pracy robota udojowego do każdej ćwiartki i rejestruje parametry doju każdej ćwiartki oddzielnie. Dój automatyczny to także poprawa dobrostanu zwierząt, między innymi swobodny wybór momentu doju, ograniczenie stresu związanego z możliwością doju.

Tematyka publikacji naukowych wskazanych jako osiągnięcie dotyczy cech charakteryzujących dój krów, zarówno produkcyjnych (wydajność dobową, wydajność w pojedynczym doju, wydajność poszczególnych ćwiartek, proporcja produkcji mleka między ćwiartkami przednimi i tylnymi oraz lewymi i prawymi), funkcjonalnych (szybkość oddawania mleka - czas doju, średni udój minutowy), jak i określających status zdrowotny gruczołu mlecznego (przewodnictwo elektryczne mleka). Wszystkie te cechy stanowią o zdolności wydojowej (udojowej) krów i są bardzo ważne z praktycznego punktu widzenia. Świadczy o tym chociażby fakt, że w 2020 roku w ocenie wartości hodowlanej bydła rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej po raz pierwszy opublikowano wartości hodowlane zwierząt pod względem jednej z cech zdolności udojowej - szybkości oddawania mleka.

### **3.1 HIPOTEZA BADAWCZA, CEL I ZAKRES BADAŃ**

Hipoteza badawcza: Możliwość/brak możliwości kształtowania optymalnego sposobu użytkowania krów pierwiastek i wieloródek dojonych automatycznie na podstawie analizy cech charakteryzujących ich zdolność wydojową, determinowanych wybranymi czynnikami.

Cel 1: Określenie statusu zdrowotnego gruczołu mlecznego krów oraz wpływu wybranych czynników (zdrowotność gruczołu mlecznego, wiek, okres laktacji) na wydajność dobową i cechy zdolności wydojowej krów dojonych automatycznie.

Cel 2: Analiza wydajności mlecznej poszczególnych ćwiartek gruczołu mlecznego krów dojonych automatycznie, z uwzględnieniem numeru laktacji, okresu laktacji i pory roku, jak również określenie w obrębie wyżej wymienionych czynników udziału poszczególnych ćwiartek (przednich i tylnych, lewych i prawych) w produkcji mleka ogółem w czasie pojedynczego doju.

### 3.2 MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Analizy wykorzystane w publikacji P1 przeprowadzono na podstawie wyników dojów stada krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, odmiany czarno-białej, o średniej wydajności około 9500 kg mleka o zawartości białka 3,36% i tłuszczu 3,76%. Stado liczyło 180 krów dojnych. W opracowaniu statystycznym danych liczbowych uwzględniono 59503 dziennych rekordów charakteryzujących dój (liczba krów dojonych w danym dniu x 365 dni). Przy częstotliwości doju stada średnio na poziomie 2,55 razy na dobę pozyskano informacje z niespełna 152 000 dojów.

Krowy utrzymywano w oborze wolnostanowiskowej, żywiono mieszankami PMR i paszą treściwą zgodnie z aktualnym zapotrzebowaniem bytowym i produkcyjnym krów. Pasza treściwa, w skład której wchodziły: kukurydza, śruta sojowa lub rzepakowa, pszenżyto i premix, zadawana była w robotach udojowych. Krowy dojone były przez 3 automatyczne jednostki udojowe.

Wykorzystując dane pozyskane z systemu zarządzania stadem wyliczono następujące parametry doju krów:

- wydajność dobową [kg mleka],

oraz cechy charakteryzujące zdolność wydojową:

- czas trwania jednego doju [s],

- udój mleka na minutę doju dla danej krowy [kg/min.],

jak również określono zdrowotność cwiartek wymion krów (klasyfikacja (%)) na podstawie przewodności elektrycznej mleka.

W opracowaniu statystycznym ww. parametrów doju uwzględniono:

- przewodność elektryczną mleka ( $\leq 5,50$  mS/cm – krowy zdrowe; 5,51-7,00 mS/cm – krowy z podwyższoną liczbą komórek somatycznych w mleku, początek mastitis podklinicznego;  $> 7,00$  mS/cm – mastitis podkliniczne i mastitis kliniczne,

- wiek krów (pierwiastki, wieloródki),

- okres laktacji ( $\leq 100$ , 101-200, 201-300,  $> 300$  dni),

- poziom wydajności dobowej ( $\leq 25,0$ , 25,1-35,0,  $> 35,0$  kg).

Obliczono zależności między przewodnością elektryczną mleka a wydajnością dobową i zdolnością wydojową pierwiastek i wieloródek. Ponadto określono wpływ interakcji przewodności elektrycznej mleka i okresu laktacji na wydajność dobową i cechy zdolności wydojowej krów oraz przewodności elektrycznej i wydajności dobowej na cechy zdolności wydojowej krów.

W opracowaniu statystycznym materiału liczbowego wykorzystano wieloczynnikową analizę wariancji (procedura GLM). Istotność różnic między średnimi sprawdzono testem Scheffe'go [SAS, 2014].

W publikacji P2 analizy przeprowadzono na podstawie danych pozyskanych z jednej z ferm bydła mlecznego w województwie kujawsko-pomorskim. W stadzie utrzymywanych było około 280 krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, odmiany czarno-białej. Krowy znajdowały się pod oceną użyteczności mlecznej (metoda A4) prowadzonej przez Polską Federację Hodowców Bydła i Producentów Mleka. Średnia wydajność stada w ostatnich latach kształtowała się na poziomie około 11 tys. kg mleka od krowy w laktacji. Krowy utrzymywane były w oborze wolnostanowiskowej, bezściółkowej, z matami na legowiskach, wyposażonej w 4 roboty VMS firmy DeLaval. W skład dawki pokarmowej (system PMR, normy żywienia NRC) wchodziły: kiszonka z kukurydzy, kiszonka z lucerny, sianokiszonka z traw, młoto browarniane, śruty: sojowa, rzepakowa, kukurydziana i pszeniczna, dodatki mineralno-



witaminowe oraz pasza granulowana dostępna w robotach i w stacji żywienia (premiowanie krów tą paszą było uzależnione od ich aktualnej wydajności).

Wykorzystano dane dla następujących cech (pochodzące ze 156 317 przeprowadzonych w 2022 roku dojów pełnych - wszystkie ćwiartki czynne), pozyskane z systemu zarządzania stadem:

A. Produkcja mleka (kg) w czasie doju:

- ćwiartek przednich lewych (PL),
- ćwiartek przednich prawych (PP),
- ćwiartek tylnych lewych (TL),
- ćwiartek tylnych prawych (TP).

B. Stosunek (%) produkcji mleka:

- ćwiartek przednich do tylnych,
- ćwiartek prawych do lewych.

W analizie statystycznej ww. cech uwzględniono następujące czynniki doświadczalne:

- numer laktacji (1, 2, 3, 4,  $\geq 5$ ),
- okres laktacji ( $\leq 100$ , 101-200, 201-300,  $> 300$  dni),
- pora roku (wiosna - III, IV, V, lato - VI, VII, VIII, jesień - IX, X, XI, zima - XII, I, II).

W opracowaniu statystycznym materiału liczbowego wykorzystano wieloczynnikową analizę wariancji (procedura GLM). Istotność różnic między średnimi sprawdzono testem Scheffe'go [SAS 2022].

Zastosowano następujący model liniowy:

$$y_{ijkl} = \mu + a_i + b_j + c_k + d_l + e_{ijkl}$$

gdzie:

$y_{ijkl}$  –  $ijkl$ -ty dój,

$\mu$  - średnia ogólna,

$a_i$  - stały efekt  $i$ -tego numeru laktacji (1, 2, 3, 4,  $\geq 5$ ),

$b_j$  - stały efekt  $j$ -tego okresu laktacji ( $\leq 100$ , 101-200, 201-300,  $> 300$  dni),

$c_k$  - stały efekt  $k$ -tej pory roku (wiosna, lato, jesień, zima),

$d_l$  - stały efekt  $l$ -tej ćwiartki wymienia (PL, PP, TL, TP),

$e_{ijkl}$  - błąd losowy obserwacji.

Obliczono również udział poszczególnych ćwiartek wymienia (przednich i tylnych oraz lewych i prawych) w produkcji mleka pozyskiwanego w czasie pojedynczego doju w obrębie wyżej wymienionych czynników.

### 3.3 WYNIKI

Na podstawie przyjętej klasyfikacji stwierdzono, że w około 51% dojów mleko charakteryzowało się przewodnością elektryczną  $\leq 5,50$  mS/cm, co świadczy, że pozyskiwano je od krów ze zdrowymi wymionami (P1). Kolejne 28,8% dojów wykazywało przewodność elektryczną na poziomie 5,51-7,00 mS/cm, a więc wskazującą na lekki stan zapalenia podklinicznego. Z kolei klasa trzecia (przewodność elektryczna mleka  $>7,00$  mS/cm) to mleko od krów z zaawansowanym stanem podklinicznym lub klinicznym mastitis - 20,3%.

Wraz z pogarszającym się stanem zdrowotnym wymion krów zaobserwowano znaczny spadek dobowej produkcji mleka ( $p \leq 0,01$ ). Między pierwszą klasą przewodności elektrycznej, a drugą i trzecią wyniósł on odpowiednio: 6,9% (z 33,3 do 31,0 kg) i 16,8% (z 33,3 do 27,7 kg). W przypadku cech zdolności wydojowej w kolejnych przedziałach przewodności elektrycznej mleka czas doju wydłużał się (z 366 do 378 s) i jednocześnie obniżał średni udój minutowy (z 2,15 do 1,73 kg/min.).

Pod względem poziomu produkcyjnego korzystniej wypadły krowy starsze, od których średnio pozyskiwano 32,0 kg mleka na dobę, przy 29,5 kg od pierwiastek. Wraz ze wzrostem przewodności elektrycznej mleka stwierdzono istotną statystycznie niższą dobową wydajność mleka, zarówno u pierwiastek, jak i wieloródek. U pierwiastek spadek ten wyniósł 4,3 kg (z 32,0 kg przy przewodności elektrycznej mleka  $\leq 5,50$  mS/cm do 27,3 kg przy przewodności  $>7,00$  mS/cm). Wyraźnie większe obniżenie wydajności zaobserwowano u wieloródek - 5,5 kg między skrajnymi przedziałami przewodności elektrycznej mleka.

W badaniach własnych (P1) wykazano istotny wpływ stanu zdrowotnego wymion, określanego przewodnictwem elektrycznym mleka, na czas doju. Zarówno u pierwiastek, jak i wieloródek wydłużał się czas doju w kolejnych przedziałach przewodności elektrycznej mleka (odpowiednio z 366 do 372 s i z 369 do 379 s).

W przypadku kolejnej cechy charakteryzującej zdolność wydojową krów, średniego udoju minutowego, stwierdzono zależność obniżania się jego wartości w kolejnych przedziałach przewodności elektrycznej mleka. U krów starszych wartość udoju minutowego zmniejszyła się o 0,41 kg/min. (z 2,23 do 1,82 kg/min.), z kolei u pierwiastek o 0,32 kg/min. (z 2,05 do 1,73 kg/min.).

Pogarszający się stan zdrowotny wymion, stwierdzany na podstawie przewodności elektrycznej mleka, powodował istotne statystycznie obniżenie wydajności dobowej krów pierwiastek i wieloródek w każdym okresie laktacji (P1). Najwyższy, o 4,1 kg, spadek dobowej wydajności mleka u pierwiastek, odnotowano w trzecim okresie laktacji (z 31,6 kg przy przewodności elektrycznej mleka  $\leq 5,50$  mS/cm do 27,5 kg przy przewodności  $>7,00$  mS/cm). W pozostałych okresach laktacji, wraz z pogarszaniem się zdrowotności wymion, spadek młeczności krów wynosił od 1,8 kg (początek laktacji) do 2,1 kg (koniec laktacji). W przypadku wieloródek stwierdzono bardziej dynamiczne zmiany dobowej wydajności mleka. W każdym okresie laktacji wraz ze wzrostem przewodności elektrycznej mleka odnotowano ponad 10% spadek wydajności. Warto zauważyć, że najmniejszy spadek (z 29,2 do 26,2 kg mleka) wystąpił u wieloródek znajdujących się między 201 a 300 dniem laktacji, podczas gdy u pierwiastek w tym okresie był on najwyższy. Wśród wieloródek najwyraźniej na pogarszające się zdrowie gruczołu młecznego zareagowały krowy będące w ostatnim okresie laktacji. Wydajność dobową uległa u nich obniżeniu z 24,2 do 18,8 kg, czyli o ponad 20%.

Niezależnie od okresu laktacji stwierdzono zróżnicowanie czasu doju spowodowane przewodnością elektryczną mleka. W każdym okresie laktacji czas doju ulegał wydłużaniu wraz z pogarszającym się stanem zdrowotnym wymion, przy czym najdłużej doily się krowy rozpoczynające laktacje (odpowiednio: 360, 382 i 388 s). W tej grupie stwierdzono najdłuższy czas doju pierwiastek (388 s) i jednocześnie największe wydłużenie się czasu doju - o 28 s. Warto nadmienić, że najkrótszy czas doju pierwiastek odnotowano w ostatnim okresie laktacji

i pierwszej klasie przewodności elektrycznej mleka - 354 s. U wieloródek czas doju w kolejnych okresach laktacji również ulegał wydłużeniu wraz ze wzrostem przewodności elektrycznej mleka. W przypadku krów rozpoczynających laktacje czas doju wydłużył się najmniej - o 14 s (z 387 do 401 s), natomiast u krów będących między 201 a 300 dniem laktacji najwięcej - o 20 s (z 359 do 379 s). Najkrótszy czas doju wieloródek we wszystkich okresach laktacji (344 s) odnotowano u krów kończących laktacje w klasie przewodności elektrycznej mleka  $\leq 5,50$  mS/cm.

Zarówno w przypadku pierwiastek, jak i wieloródek we wszystkich okresach laktacji najwyższe udoje minutowe (odpowiednio: 2,08, 2,20, 2,20 i 1,88 oraz 2,57, 2,37, 2,18 i 1,96 kg mleka na minutę) stwierdzono, gdy przewodność elektryczna mleka ( $\leq 5,50$  mS/cm) wskazywała na bardzo dobry stan zdrowotny wymion. Wraz z postępowaniem laktacji oraz pogarszającym się statusem zdrowotnym gruczołu mlecznego parametr ten ulegał systematycznemu obniżaniu. U pierwiastek obniżenie wartości średniego udoju minutowego w obrębie grup laktacyjnych kształtowało się na poziomie 0,25-0,36 kg/min., natomiast u wieloródek 0,41-0,55 kg/min.

Analiza wyników zamieszczonych w publikacji P1 wskazuje, że u krów następowało wydłużanie się czasu doju wraz z pogarszającym się stanem zdrowotnym wymion - u pierwiastek w kolejnych klasach wydajności o 12, 12 i 14 s, natomiast u wieloródek o 17, 18 i 20 s. W każdej klasie wydajności dobowej wzrostowi jego przewodności elektrycznej towarzyszył spadek średniej wydajności dobowej, najwyższy u krów o najwyższym potencjale produkcyjnym ( $>35,0$  kg mleka na dobę) – odpowiednio o: 0,19 i 0,37 kg/min. Zaznaczyć warto, że najwyższą stabilność tego parametru doju zaobserwowano u pierwiastek i wieloródek przy wydajności dobowej na poziomie 25,1-35,0 kg mleka.

Przedstawione w publikacji P1 wyniki jednoznacznie wskazują, że wzrost przewodności elektrycznej mleka (świadczący o pogarszającym się stanie zdrowia wymion) u pierwiastek i wieloródek przez całe laktacje generuje straty w produkcji mleka, które wynikają przede wszystkim z obniżonej wydajności krów. Nie bez znaczenia pozostaje również fakt pogarszających się parametrów doju (czas doju, średni udój minutowy), bezpośrednio wpływających na ocenę zdolności wydojowej krów.

W publikacji P2 analizując wydajność w czasie doju ćwiartek gruczołu mlecznego krów odnotowano wzrost ich produkcyjności w laktacjach 1-3, następnie obniżenie w laktacji 4 i ponowny wzrost u krów najstarszych, będących w laktacjach 5 i dalszych. W przypadku ćwiartek przednich (lewych i prawych) w pierwszych trzech laktacjach następował wzrost ich wydajności w czasie doju odpowiednio: z 2,89 do 3,54 i z 3,12 do 3,56 kg mleka, potem jej obniżenie do 3,09 i 3,30 kg mleka i ponowny wzrost do 3,28 i 3,63 kg mleka. Ćwiartki tylne (lewe i prawe) charakteryzowały się produkcyjnością odpowiednio: od 3,40 do 4,82 i od 3,39 do 4,74 kg mleka (laktacje 1-3), 4,48 i 4,24 kg mleka (laktacja 4) i 4,87 i 4,99 kg mleka (krowy najstarsze). Biorąc pod uwagę wszystkie analizowane doje poszczególnych ćwiartek (156 317) jedna ćwiartka produkowała w trakcie jednego doju średnio 3,81 kg mleka.

Wraz z zaawansowaniem laktacji odnotowano istotny spadek mleczości wszystkich ćwiartek wymienia. Jednocześnie wykazano, że był on na dość wyrównanym poziomie, bez względu których ćwiartek dotyczył. Obniżenie mleczości ćwiartek gruczołu mlecznego krów (porównując początek i koniec laktacji) wyniosło od 1,52 kg mleka (ćwiartki tylne prawe) do 1,78 kg mleka (ćwiartki tylne lewe). Natomiast w przypadku ćwiartek przednich wydajność mleka z obu okresów laktacji uległa obniżeniu - dla ćwiartek prawych o 1,59 kg mleka i o 1,70 kg dla lewych. Porównując ćwiartki przednie i tylne wykazano, że różnica mleczości między nimi w kolejnych okresach laktacji wyniosła średnio od 0,81 kg mleka ( $\leq 100$  i  $>300$  dni laktacji) do 1,01 kg mleka (101-200 dni laktacji), na korzyść ćwiartek tylnych.

Uwzględniając porę roku zaobserwowano, że produkcyjność w obrębie poszczególnych ćwiartek wiosną, latem i jesienią była mało zróżnicowana (P2). Wartości średnie różniły się

jednak istotnie statystycznie ( $p \leq 0,05$ ). W tych porach roku mleczność ćwiartek kształtowała się odpowiednio na poziomie: 3,05-3,12 (PL), 3,29-3,32 (PT), 4,06-4,16 (TL) i 4,00-4,01 (TP) kg mleka. W miesiącach zimowych odnotowano natomiast wyraźny wzrost wydajności krów. W czasie doju z ćwiartek przednich pozyskiwano średnio od 3,31 (lewe) do 3,46 (prawe) kg mleka, a z tylnych od 4,28 (prawe) do 4,38 (lewe) kg mleka.

Wraz z kolejnymi laktacjami zmniejszał się udział ćwiartek przednich w całkowitej produkcji mleka - z 46,9% u pierwiastek do 41,2% u krów będących w 5 i dalszych laktacjach. Udział ćwiartek tylnych w produkcji mleka wzrastał tym samym z 53,1 do 58,8%. Wraz z kolejną laktacją pogłębiała się systematycznie dysproporcja w produktywności ćwiartek przednich i tylnych - z 6,2 p.p. (pierwiastki) do 17,6 p.p. (5 i dalsze laktacje). Porównując udział w produkcji mleka ćwiartek lewych i prawych wykazano zróżnicowanie na poziomie od 0,2 do 1,8 p.p.

Wraz z zaawansowaniem laktacji wykazano obniżanie się udziału ćwiartek przednich w produkcji mleka - z poziomu 45,1% do 41,9%. Zwiększała się więc dysproporcja w produkcji mleka między gruczołami przednimi i tylnymi - z 9,8 p.p. do 16,2 p.p. Taka sytuacja w warunkach doju automatycznego powoduje wydłużenie czasu doju, a w warunkach doju konwencjonalnego zwiększa dodatkowo prawdopodobieństwo wystąpienia pustodojów. Porównując udział w produkcji mleka ćwiartek lewych i prawych w pierwszych trzech okresach laktacji wykazano minimalne (do 1,0 p.p.) zróżnicowanie na korzyść ćwiartek prawych. Wyższą różnicę stwierdzono u krów kończących laktacje, u których proporcja produkcji mleka wyniosła 48,0 i 52,0% (odpowiednio ćwiartki lewe i prawe).

W obrębie kolejnych pór roku różnica wydajności mleka między ćwiartkami przednimi i tylnymi wynosiła od 11,8 p.p. wiosną i jesienią, przez 12,2 p.p. zimą, do 12,6 p.p. latem (P2). Porównując natomiast lewą i prawą połowę wymienia wykazano podobne ich wydajności. Najbardziej wyrównane wartości obserwowano w miesiącach jesienno-zimowych (0,4 p.p.), następnie wiosną (1,0 p.p.) i latem (1,4 p.p.).

### 3.4 DYSKUSJA

Analizy wykonane w publikacji P1 wykazały, w około 51% dojów mleko charakteryzowało się przewodnością elektryczną  $\leq 5,50$  mS/cm, co świadczy, że pozyskiwano je od krów ze zdrowymi wymionami. Wcześniejsze badania wskazują, że mleko pozyskiwane od krów zdrowych charakteryzuje się przewodnością elektryczną do 5,50 mS/cm [Hillerton i Walton, 1991, Hamann i Gyodi 2000]. W mleku pochodzącym od zdrowych krów liczba komórek somatycznych wynosi poniżej 200 tys./ml. Schepers i in. [1997] uważają tę liczbę komórek somatycznych za wartość progową między zdrowym a chorym wymieniem. Ścisły związek przewodności elektrycznej mleka ze stanem zdrowotnym wymion i ich produktywnością wykazano w badaniach Antanaitisa i in. [2015]. U krów z podkliniczną formą mastitis stwierdzono wzrost konduktancji mleka do 6,50 mS/cm, natomiast w okresie bezpośrednio poprzedzającym wystąpienie objawów klinicznych do 8,50 mS/cm, a już po ich wystąpieniu do 9,0 mS/cm. Po wprowadzeniu leczenia przewodność elektryczna mleka wróciła do właściwego poziomu.

W przypadku cech zdolności wydojowej w kolejnych przedziałach przewodności elektrycznej mleka czas doju wydłużał się i jednocześnie obniżał średni udój minutowy. Larroque i in. [2005] stwierdzili zależność między czasem doju i zdrowotnością wymion. W badaniach wykazali, że czas dojenia krów zdrowych i chorych, szczególnie tych z klinicznym mastitis, znacznie różnił się. Zdaniem Autorów w przypadku wzrostu przewodności elektrycznej mleka, towarzyszącemu nasilającemu się stanom mastitis, ma miejsce niekorzystne oddziaływanie zapalenia na strzyk (kanał strzykowy, mięsień zwieracz), co z kolei powoduje zmniejszenie przepływu mleka i wydłużenie czasu doju. Hillerton i in. [1999] wskazują, że czas doju może być również narzędziem pomocnym w wykrywaniu mastitis.

W badaniach własnych wraz ze wzrostem przewodności elektrycznej mleka stwierdzono istotnie niższą dobową wydajność mleka, zarówno u pierwiastek, jak i wieloródek. Niższa produkcja mleka, determinowana problemami z zapaleniami wymion w automatycznych systemach pozyskiwania mleka, zdaniem Hovinen i Pyorali [2011] wynika między innymi z tego, że czyszczenie strzyków odbywa się bez kontroli wzrokowej człowieka oraz wykrywanie zapaleń jest samoczynne. Przedstawione wyniki, obrazujące straty produkcji mleka wraz z pogarszaniem się statusu zdrowotnego wymion, zarówno u pierwiastek, jak i wieloródek (występujące od samego początku laktacji), jednoznacznie wskazują jak ważny z ekonomicznego punktu widzenia jest fakt, by krowy rozpoczynały laktacje ze zdrowymi gruczołami mlecznymi. Aby to było możliwe konieczny jest dokładny monitoring zdrowia wymion cielnych jałówek i wieloródek w okresie zasuszenia.

W przypadku kolejnej cechy charakteryzującej zdolność udojową krów, średniego udoju minutowego, stwierdzono zależność obniżania się jego wartości w kolejnych przedziałach przewodności elektrycznej mleka. Zdaniem Weissa i in. [2004] pewien wpływ na przepływ mleka (szczytowy czy średni w jednostce czasu) mają między innymi cechy anatomiczne i funkcjonalne poszczególnych strzyków.

W publikacji P1 niezależnie od okresu laktacji stwierdzono zróżnicowanie czasu doju spowodowane przewodnością elektryczną mleka. Edwards i in. [2014] szczegółowo badając na każdym etapie laktacji czas doju krów, najdłuższy (416 s) uzyskali na jej początku, a najkrótszy (316 s) pod koniec laktacji (241-300 dzień). Szybkość doju, poza wydajnością mleczną krów i szeroko pojętą jakością mleka, jest istotnym parametrem w aspekcie opłacalności produkcji mleka [Sivarajasingam i in. 1984, Vethal i Heringstad 2019]. Uzyskane w analizach własnych wartości średniego udoju minutowego pierwiastek i wieloródek korespondują z wynikami wcześniejszych badań [Lee i Choudhary 2006, Bogucki i in. 2008, Sitkowska i in. 2015].

Analizując w publikacji P2 wydajność w czasie doju ćwiartek gruczołu mlecznego krów odnotowano wzrost ich produktywności w laktacjach 1-3, następnie obniżenie w laktacji 4 i

ponowny wzrost u krów najstarszych, będących w laktacjach 5 i dalszych. Wartym odnotowania jest fakt, że krowy będące w laktacjach 5 i dalszych produkowały więcej mleka niż krowy w 3 laktacji. W analizowanym stadzie w ostatnich latach wzrasta w strukturze wiekowej udział krów w 4 i 5 laktacjach. Poprawia się tym samym długowieczność krów, które mogą pełniej realizować swój potencjał produkcyjny. Nie bez znaczenia jest w tym przypadku wysoki poziom dobrostanu i bardzo dobry status zdrowotny zwierząt.

Najniższą wydajnością mleka charakteryzowały się ćwiartki krów pierwiastek. Hopster i in. [2002] podkreślają, że niższa wydajność pierwiastek uwarunkowana jest względami fizjologicznymi. Jednocześnie należy podkreślić, że dzięki automatycznemu systemowi doju krowy te mają szansę - dzięki większej frekwencji dojów w tym systemie - uzyskać wyższą produktywność w kolejnych laktacjach [Nogalski i in. 2011, Wright i in. 2013].

Wyniki analiz własnych były korzystniejsze od rezultatów uzyskanych przez Śłyżiusa i in. [2013]. W badaniach litewskiej populacji bydła czarno-białego, przy doju dwukrotnym w czasie doby wykazano, że ćwiartki tylne lewe i prawe produkowały odpowiednio 3,42 i 3,47 kg mleka, natomiast ćwiartki przednie lewe i prawe 2,63 i 2,71 kg mleka w czasie jednego doju.

Wyniki przedstawione w publikacji P2 wskazują na wyraźnie wyższą wydajność ćwiartek tylnych, w porównaniu z przednimi, co jest zgodne z wcześniejszymi badaniami [Weiss i in. 2004, Tančin i in. 2006, Penry i in. 2017, Penry i in. 2018, Bogucki 2018, Inzaghi i in. 2021]. Biorąc pod uwagę wszystkie analizowane doje poszczególnych ćwiartek (156 317) jedna ćwiartka produkowała w trakcie jednego doju średnio 3,81 kg mleka. Zucali i in. [2021] w badaniach na fermach bydła mlecznego zlokalizowanych w północnych Włoszech, wyposażonych w automatyczne systemy doju różnych marek, uzyskali średnią wydajność ćwiartki na poziomie 3,63 kg mleka na dój.

Wraz z zaawansowaniem laktacji odnotowano spadek mleczości wszystkich ćwiartek wymienia. W badaniach Sitkowskiej i in. [2014] faza laktacji także różnicowała wydajność ćwiartek przednich i tylnych. Autorzy analizowali pojedyncze doje ćwiartkowe i uzyskali niższe dysproporcje mleczości gruczołów przednich i tylnych – 0,31-0,46 kg (u pierwiastek) i 0,52-0,57 kg (u wieloródek). Przyczyną takiego stanu może być fakt, że badana populacja krów charakteryzowała się przeciętnym poziomem produkcyjnym w laktacji - średnia wydajność mleka od krowy z pojedynczego pełnego doju wahała się od 7 do 10 kg.

Uwzględniając porę roku zaobserwowano, że produktywność w obrębie poszczególnych ćwiartek wiosną, latem i jesienią była mało zróżnicowana, natomiast w miesiącach zimowych odnotowano wyraźny jej wzrost. Na wydajność mleczną krów kluczowy wpływ ma żywienie. W gospodarstwach praktykujących podział żywienia krów na letnie i zimowe jest ono głównym czynnikiem różnicującym produktywność zwierząt i skład chemiczny mleka. W stadach, szczególnie wysoko wydajnych, żywionych jednorodną dawką pokarmową przez cały rok, wpływ na kształtowanie się wydajności krów mogą mieć inne czynniki, np. wilgotność i temperatura w pomieszczeniach inwentarskich. W badaniach Imricha i in. [2021] wykazano istotnie statystycznie wyższą wydajność krów w okresie zimowym, w porównaniu do letniego, pomimo zapewnienia zwierzętom wysokiego poziomu dobrostanu. W tym przypadku można przypuszczać, że gorsze warunki środowiskowe, związane z wysoką temperaturą w miesiącach letnich, wpłynęły na obniżenie wydajności krów, ale również na pogorszenie się składu chemicznego mleka i jego jakości cytologicznej. Rezultaty wyżej przytoczonych badań korespondują z wynikami analiz własnych.

Wraz z kolejnymi laktacjami zmniejszał się udział ćwiartek przednich w całkowitej produkcji mleka (P2). We wcześniejszych badaniach Boguckiego [2018] wśród pierwiastek udział ćwiartek przednich i tylnych wymienia w dobowej produkcji mleka wyniósł 45,8 i 54,2%, natomiast u wieloródek 41,8 i 58,2%. Wyniki analiz własnych korespondują również z rezultatami uzyskanymi przez Kuczaję i in. [2010] i Śłyżiusa i in. [2013]. Porównując udział w produkcji mleka ćwiartek lewych i prawych wykazano zróżnicowanie podobne, jak w

badaniach Šlyžiusa i in. [2014] przeprowadzonych na jednej z litewskich ferm bydła mlecznego.

Wraz z zaawansowaniem laktacji zwiększała się dysproporcja w produkcji mleka między gruczołami przednimi i tylnymi. Taka sytuacja w warunkach doju automatycznego powoduje wydłużenie czasu doju, a w warunkach doju konwencjonalnego zwiększa dodatkowo prawdopodobieństwo wystąpienia pustodojów.

### 3.5 PODSUMOWANIE

Na podstawie przyjętej klasyfikacji stwierdzono, że w około 51% dojów mleko pozyskiwano od krów ze zdrowymi wymionami (P1). Wraz ze wzrostem przewodności elektrycznej mleka, a tym samym pogarszaniem się stanu zdrowotnego gruczołu mlecznego krów, odnotowano niższą dzienną wydajność mleka, zarówno u pierwiastek, jak i wieloródek przez cały okres trwania laktacji. Wykazano ponadto istotny wpływ przewodności elektrycznej mleka (w interakcji z okresem laktacji i wydajnością dobową krów) na cechy zdolności wydojowej krów - czas doju oraz średni udój minutowy.

Odnotowano wzrost produktywności mlecznej ćwiartek wymion w laktacjach 1-3, następnie obniżenie w 4 i ponowny wzrost u krów najstarszych. Krowy będące w laktacjach 5 i dalszych produkowały więcej mleka niż krowy w 3 laktacji. Biorąc pod uwagę wszystkie doje jedna ćwiartka produkowała średnio 3,81 kg mleka. Wraz z zaawansowaniem laktacji odnotowano spadek mleczności wszystkich ćwiartek wymienia. Produkcyjność mleczna poszczególnych ćwiartek wymion krów tylko w sezonie zimowym wykazała wyraźny wzrost, natomiast w pozostałych porach roku była mało zróżnicowana. Wraz z kolejnymi laktacjami zmniejszał się udział ćwiartek przednich w całkowitej produkcji mleka - z 46,9% u pierwiastek do 41,2% u krów w 5 i dalszych laktacjach. Udział ćwiartek tylnych w produkcji mleka tym samym wzrastał. Wraz z kolejną laktacją i jej zaawansowaniem pogłębiała się dysproporcja w produktywności ćwiartek przednich i tylnych. Natomiast w obrębie uwzględnionych czynników nie stwierdzono zróżnicowania w produktywności lewej i prawej połowy wymienia.



### 3.6 LITERATURA

1. Antanaitis R., Zilaitis V., Juozaitiene V., Palubinskas G., Kucinskas A., Sederwicius A., Beliavska-Aleksiejune D., 2015. Efficient diagnostics and treatment of bovine mastitis according to herd management parameters. *Vet. Med. Zoot.* 69 (91), 3-10.
2. Atasever, S., Erdem H., 2009. Association between subclinical mastitis markers and body condition scores of Holstein cows in the Black Sea region, Turkey. *J. Anim. Vet. Adv.* 8, 476-480.
3. Berglund I., Petterson G., Ostenddon K., Svennersten-Sjaunja K., 2007. Quarter milking for improved detection of increased SCC. *Reprod. Domest. Anim.* 42, 4237-4243.
4. Bogucki M., 2018. Effect of lactation stage and milking frequency on milk yield from udder quarters of primiparous and multiparous cows. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 48, 636-642.
5. Bogucki M., Neja W., 2008. Effect of selected factors on milking time and milking rate of dairy cows. *Rocz. Nauk. PTZ* 4(1), 55-59.
6. Brzozowski M., Piwczyński D., Sitkowska B., Bogucki M., Sawa A., 2020. The impact of introduction of an automatic milking system on production traits in Polish Holstein-Friesian cows. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 38, 49-59.
7. 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. *J. Dairy Sci.* 96 (8), 5324-5332.
8. Edwards J.P., Jago J. G., Lopez-Villalobos N., 2014. Analysis of milking characteristics in New Zealand dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97, 259-269.
9. Forsbäck L., Lindmark-Månsson H., Andren A., Akerstedt M., Andree L., Svennersten-Sjaunja K., 2010. Day-to-day variation in milk yield and milk composition at the udderquarter level. *J. Dairy Sci.* 93, 3569-3577.
10. Główny Urząd Statystyczny, 2023. Produkcja zwierzęca. Zwierzęta gospodarskie.
11. Hamann J., Gyödi P., 2000. Somatic cells and electrical conductivity in relation to milking frequency. *Milchwissenschaft* 55, 303-307.
12. Hammer J., Morton J., Kerrisk K., 2012. Quarter milking quarter udder and lactation level risk factors and indicators for clinical mastitis during automatic milking system. *Aust. Vet. J.* 90, 167-174.
13. Hillerton J. E., Walton A. W., 1991. Identification of subclinical mastitis with a hand-held electrical conductivity meter. *Vet. Rec.* 128, 513-515.
14. Hillerton J., Semmens E., J., 1999. Comparison of Treatment of Mastitis by Oxytocin or Antibiotics Following Detection According to Changes in Milk Electrical Conductivity Prior to Visible Signs. *J. Dairy Sci.* 82, 93-98.
15. Hopster H.R.M.B., Bruckmaier R.M., Van der Werf J.T.N., Korte S.M., Macuhova J., Korte-Bouws G., Van Reenen C.G., 2002. Stress responses during milking: Comparing conventional and automatic milking in primiparous dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 3206-3216.
16. Hovinen M., Pyorala S., 2011. Invited review: udder health of dairy cows in automatic milking. *J. Dairy Sci.* 94, 547-562.
17. Ilie L. I., Tudor L., Galis A. M., 2010. The electrical conductivity of cattle milk and the possibility of mastitis diagnosis in Romania. *Luc. Stiintif. Med. Vet.* XLIII (2), 220-227.
18. Imrich I., Toman R., Pšenková M., Mlyneková E., Kanka T., Mlynek J., Pontešová B., 2021. Effect of temperature and relative humidity on the milk production of dairy cows. *Sci. Tech. Innov.* 12 (1), 22-27.
19. Inzaghi V., Zucali M., Thompson P.D., Penry J.F., Reinemann D.J., 2021. Changes in milk and milk characteristics prior to clinical mastitis confirmation. *Ital. J. Anim. Sci.* 20, 1552-1559.
20. Jędrus A., 2013. Nowoczesny dój w małej oborze. *Hod. Chów Bydła* 6, 32-35.
21. Kasikci G., Cetin O., Bingol E. B., Gunduz M. C., 2012. Relations between electrical conductivity, somatic cell count, California mastitis test and some quality parameters in the diagnosis of subclinical mastitis in dairy cows. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 36 (1), 49-55.
22. Kuczaj M., 2010. Hodowla bydła, standardy unijne i krajowe. Wyd. UP Wrocław.

23. Kuczaj M., Preś J., Bodarski R., Kupczyński R., Stefaniak T., Jawor P., 2010. Performance of milk production and cows' health status as a function of milking frequency. *Med. Wet.* 66 (1), 32-36.
24. Kumar P., Dar Y., Kumar A., 2022. Functional anatomy of cow mammary glands with special reference to its defence mechanism. *Int. J. Cow Sci.* 6 (1), 30-31.
25. 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.
26. Lee D. H., Choudhary V., 2006. Study on Milkability Traits in Holstein Cows. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 19, 309-314.
27. Nogalski Z., Czerpak K., Pogorzelska P., 2011. Effect of automatic and conventional milking on somatic cell count and lactation traits in primiparous cows. *Ann. Anim. Sci.* 11, 433-441.
28. Norberg E., 2005. Electrical conductivity of milk as phenotype and genetic indicator of bovine mastitis. *Livest. Prod. Sci.* 96, 129-139.
29. Nowak C., Grega T., Gardzina E., 1990. Rozpoznanie zapalenia wymienia u krów przez pomiar przewodności elektrycznej mleka. *Zesz. Nauk. AR Krak.* 235, *Mech. Energ. Rol.* 8, 11-21.
30. Park Y. W., Juarez M., Ramos M., Haenlein G. F. W., 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rum. Res.* 68, 88-113.
31. Penry J.F., Crump P.M., Hernandez L.L., Reiemann D.J., 2018. Association of quarter milking measurements and cow-level factors in an automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 10 (8), 7551-7562.
32. Penry J.F., Crump P.M., Ruegg P.L., Reinemann D.J., 2017. Cow and quarter-level milking indicators and their associations with clinical mastitis in an automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 100, 9267-9272. doi: 10.3168/jds.2017-12839
33. Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka, 2022. Ocena i hodowla bydła. Dane za rok 2021.
34. Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka, 2023. Ocena i hodowla bydła. Dane za rok 2022.
35. Pritchard T., Coffey M., Mrode R., Moore K., Wall E., 2010. Genetic Parameters of Udder Health Traits in Holstein Friesian UK Dairy Cattle. Conference: World Congress on Genetics Applied to Livestock Production At: Leipzig, Germany, Vol. 9 WCGALP.
36. SAS Institute Inc., 2014. SAS/STAT® 9.4 User's guide.: SAS Institute Inc., Cary, NC.
37. SAS Institute Inc., 2022. SAS/STAT® 9.4 User's guide.: SAS Institute Inc., Cary, NC.
38. Schepers A.J., Lam T.J.G.M., Schukken Y.H., Wilmink J.B.M., Hanekamp W.B.A., 1997. Estimation of variance components for somatic cell counts to determine thresholds for uninfected quarters. *J. Dairy Sci.* 80, 1833-1840.
39. Sitkowska B., Aerts J., Piwczyński D., Pejka B., Mroczkowski S., 2014. Wpływ wybranych czynników na wydajność mleczną krów w robotach udojowych. *Rocz. Nauk. Zoot.* 41, 41-49.
40. Sitkowska B., Piwczyński D., Aerts J., Waśkiewicz M., 2015. Changes in milking parameters with robotic milking. *Arch. Anim. Breed.* 57, 137-143.
41. Sitkowska B., Piwczyński D., Brzozowski M., Aerts J., 2016. Dój ćwiartkowy w grupie krów pierwiastek i wieloródek. *Rocz. Nauk. PTZ* 12 (4), 35-48.
42. Sivarajasingam S., Burnside E. B., Wilton J. W., Pfeiffer W. C., Grieve D. G., 1984. Ranking Dairy Sires by a Linear Programming Dairy Farm Model. *J. Dairy Sci.* 67, 3015-3024.
43. Šlyžius E., Juozaitienė V., Tušas S., Juozaitis A., Žymantienė J., 2013. Relation of udder quarter development with daily milk yield, composition and somatic cell count. *Vet. Med. Zoot.* 63 (85), 76-80.
44. Šlyžius E., Juozaitienė V., Tušas S., Juozaitis A., Žymantienė J., 2014. Udder quarters morphological and milking traits risk factors influencing productivity and subclinical mastitis in dairy cows. *Bulg. J. Agric. Sci.* 20 (6), 1502-1507.
45. Solano L., Halbach C., Bennett T.B., Cook N. B., 2022. Milking time behavior of dairy cows in a free-flow automated milking system. *JDS Communications*, 3, 426-430.
46. Stankūnienė V., Tacas J., Mišeikienė J., 2008. Dairy Farm Owner. In: Lithuanian Veterinary Academy. Milking Training Center, 32-39.

47. Steeneveld W., Vernooij J., Hogeveen H., 2015. Effect of sensor systems for cow management on milk production, somatic cell count, and reproduction. *J. Dairy Sci.* 98, 3896-3905.
48. 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. *Ann. Anim. Sci.* 13, 783-795.
49. Tančin V., Ipema B., Hogewerf P., Mačuhová J., 2006. Sources of variation in milk flow characteristics at udder and quarter levels. *J. Dairy Sci.* 89, 978-988.
50. 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. *J. Dairy Sci.* 100, 2404-2414.
51. Tse C., Barkema H.W., DeVries T. J., Rushen J., Pajor E. A., 2018. Impact of automatic milking systems on dairy cattle producers' reports of milking labour management, milk production and milk quality. *Animal* 12 (12), 2649-2656.
52. Weaver S.R., Hernandez L.L., 2016. Autocrine-paracrine regulation of the mammary gland. *J. Dairy Sci.* 99, 842-853.
53. Weiss D., Weinfurtner M., Bruckmairer R. M., 2004. Teat anatomy and its relationship with quarter and udder milk flow characteristics in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 3280-3289.
54. Wethal B., Heringstad B., 2019. Genetic analyses of novel temperament and milkability traits in Norwegian Red cattle based on data from automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 102, 8221-8233.
55. Wright J.B., Wall E.H., McFadden T.B., 2013. Effects of increased milking frequency during early lactation on milk yield and udder health of primiparous Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 91, 195-202.
56. Yoshida T., Lopez-Villalobos N., Holmes C. W., 2005. Relationships between milk yield, milk composition and electrical conductivity in dairy cattle. *Proc. New Zeal. Soc. Anim. Prod.* 65, 143-147.
57. Zucali M., Bava L., Tamburini A., Gislon G., Sandrucci A., 2021. Association between Udder and Quarter Level Indicators and Milk Somatic Cell Count in Automatic Milking Systems. *Animals* 11, 3485.

## 4. STRESZCZENIE

### Uwarunkowania fizjologiczne i środowiskowe zdolności wydojowej i zdrowotności gruczołu mlecznego krów dojonych automatycznie

mgr inż. Iwona Kuropatwińska

**Słowa kluczowe:** krowy, mleko, dój automatyczny, wydajność, zdolność wydojowa

W hodowli bydła mlecznego obserwuje się w ostatnich latach systematyczny wzrost znaczenia cech wpływających na opłacalność produkcji poprzez obniżenie jej kosztów. Zalicza się do nich między innymi cechy charakteryzujące dój krów: w pierwszej kolejności wydajność dobową, ale także stan zdrowotny gruczołu mlecznego, wydajność pojedynczego doju, wydajność poszczególnych ćwiartek wymienia, czas oddawania mleka, średni udój minutowy, proporcje produkcyjności ćwiartek wymienia (przednich i tylnych, lewych i prawych). Cechy te wraz z upowszechnianiem robotyzacji i automatyzacji doju zyskują na znaczeniu.

Celem pracy było: określenie statusu zdrowotnego gruczołu mlecznego krów oraz wpływu wybranych czynników (zdrowotność gruczołu mlecznego, wiek, okres laktacji) na wydajność dobową i cechy zdolności wydojowej krów dojonych automatycznie; analiza wydajności mlecznej poszczególnych ćwiartek gruczołu mlecznego krów dojonych automatycznie, z uwzględnieniem numeru laktacji, okresu laktacji i pory roku, jak również określenie w obrębie wyżej wymienionych czynników udziału poszczególnych ćwiartek (przednich i tylnych, lewych i prawych) w produkcji mleka ogółem w czasie pojedynczego doju.

Na podstawie przyjętej klasyfikacji stwierdzono, że w około 51% dojów mleko pozyskiwano od krów ze zdrowymi wymionami. Wraz z pogarszającym się zdrowiem gruczołu mlecznego krów (monitorowanym na podstawie przewodności elektrycznej mleka) stwierdzono istotnie niższą dobową wydajność mleka, zarówno u pierwiastek, jak i wieloródek. Zarówno u pierwiastek, jak i wieloródek odnotowano systematyczne wydłużanie się czasu doju w kolejnych przedziałach przewodności elektrycznej mleka. Pogarszający się stan zdrowotny wymion powodował istotne obniżenie wydajności dobowej krów pierwiastek i wieloródek w każdym okresie laktacji. W każdym okresie laktacji czas doju ulegał regularnemu wydłużaniu wraz z pogarszającym się stanem zdrowotnym wymion. Zarówno w przypadku pierwiastek, jak i wieloródek we wszystkich okresach laktacji najwyższe udoje minutowe stwierdzono, gdy przewodność elektryczna mleka wskazywała na bardzo dobry stan

zdrowotny wymion. Bez względu na poziom produkcyjny wraz z pogarszającym się stanem zdrowotnym wymion obserwowano regularne wydłużanie się czasu doju oraz spadek średniej liczby dojów na dobę u pierwiastek i wieloródek.

Na podstawie przeprowadzonych analiz odnotowano wzrost produktywności ćwiartek wymion w laktacjach 1-3, następnie obniżenie w 4 i ponowny wzrost u krów najstarszych. Krowy będące w laktacjach  $\geq 5$  produkowały więcej mleka niż krowy w 3 laktacji. Biorąc pod uwagę wszystkie doje jedna ćwiartka wymienia produkowała średnio 3,81 kg mleka. Wraz z zaawansowaniem laktacji odnotowano spadek mleczności wszystkich ćwiartek wymienia. Produkcyjność poszczególnych ćwiartek wiosną, latem i jesienią była mało zróżnicowana, natomiast zimą odnotowano wyraźny jej wzrost. Wraz z kolejnymi laktacjami zmniejszał się udział ćwiartek przednich w całkowitej produkcji mleka - z 46,9% u pierwiastek do 41,2% u krów  $\geq 5$  laktacji. Udział ćwiartek tylnych w produkcji mleka tym samym wzrastał. Wraz z kolejną laktacją i jej zaawansowaniem pogłębiała się dysproporcja w produktywności ćwiartek przednich i tylnych. Porównując lewą i prawą połowę wymienia w obrębie uwzględnionych czynników wykazano podobne ich wydajności.

## 5. ABSTRACT

### **Physiological and environmental conditions of milking capacity and milk gland health of automatically milked cows**

**Iwona Kuropatwińska, M. Eng.**

**Key words:** cows, milk, automatic milking, milk yield, milking capacity

In recent years, dairy cattle breeding has seen a systematic increase in the importance of features that influence the profitability of production by reducing its costs. These include, among others, the characteristics of cow milking: first of all, daily productivity, but also the health of the mammary gland, the efficiency of a single milking, the efficiency of individual udder quarters, the time of milking, the average minute milking, the proportions of productivity of the udder quarters (front and rear, left and right). These features are becoming more and more important with the popularization of robotization and milking automation.

The aim of the study was: to determine the health status of the mammary gland of cows and the impact of selected factors (health status of the mammary gland, age, lactation period) on daily productivity and milking capacity characteristics of automatically milked cows; analyse milk yield of individual udder quarters in automatically milked cows, taking into account the lactation number, lactation period and season, as well as to determine the share of individual quarters (front and rear quarters, left and right quarters) in total milk yield during a single milking.

Based on the adopted classification, it was found that in approximately 51% of milkings, milk was obtained from cows with healthy udders. With the deteriorating health of the mammary gland of cows (monitored on the basis of the electrical conductivity of milk), significantly lower daily milk yield was found, both in primiparous and multiparous cows. In both primiparous and multiparous cows, a systematic extension of milking time was observed in subsequent ranges of milk electrical conductivity. The deteriorating health condition of the udders resulted in a significant reduction in the daily productivity of primiparous and multiparous cows in each lactation period. In each lactation period, the milking time was regularly extended as the health of the udders deteriorated. In both primiparous and multiparous cows, in all lactation periods, the highest milking per minute was observed when the electrical conductivity of the milk indicated a very good health condition of the udders.

Regardless of the production level, with the deteriorating health of the udders, a regular increase in milking time and a decrease in the average number of milkings per day in primiparous and multiparous cows was observed.

In the oldest cows, an increase was observed in udder quarter milk yield in lactations 1-3, followed by a decrease in lactation 4 and then another increase. Cows in the 5th lactation onwards have better milk yield than cows in the 3rd lactation. An average milk yield of one quarter of the udder for all lactations was 3.81 kg. With higher lactation numbers, there was a decrease in milk yield for all udder quarters. The reduction in udder quarter milk yield of lactating cows ranged from 1.52 kg (rear right quarters) to 1.78 kg of milk (rear left quarters) and from 1.59 kg (front right quarters) to 1.70 kg of milk (front left quarters). The milk yield of the individual udder quarters showed a clear increase only in the winter season, while there was little variation in the other seasons. With successive lactations, the share of front quarters in total milk yield decreased - from 46.9% in primiparous cows to 41.2% in cows in the 5th lactation onwards. The share of rear quarters in milk yield in turn increased. With every successive lactation, the disproportion in the milk yield between the front quarters and rear quarters widened. However, in terms of the parameters taken into account, no difference was found in the milk yield between the left and right halves of the udder.

## **6. ZAŁĄCZNIKI**



**6.1 KOPIE ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH STANOWIĄCYCH CYKL  
PUBLIKACJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

## RELATIONSHIPS BETWEEN MILK ELECTRICAL CONDUCTIVITY, DAILY MILK YIELD, AND MILKING ABILITY OF PRIMIPAROUS AND MULTIPAROUS COWS

I. Kuropatwińska<sup>1</sup>, M. Bogucki<sup>1</sup>, M. Miller<sup>2</sup> and A. Sawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Animal Breeding, UTP University of Science and Technology, Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz, Poland

<sup>2</sup>Department of Molecular Biology, Institute of Genetics and Animal Breeding, Postępu 36 A, Jastrzębiec, 05-552 Magdalenka, Poland

Correspondence to: Mariusz Bogucki (bogucki@utp.edu.pl)

### ABSTRACT

The new techniques for automation of the milking process allow for early diagnosis of mastitis. Diagnosis of subclinical mastitis should be a priority for every producer aiming to obtain raw milk of highest possible cytological quality. The analyses were performed based on herd milking data for Polish Holstein-Friesian cows yielding an average of 9500 kg milk. The herd consisted of 180 lactating cows, data from almost 152 000 milkings were obtained. Correlations were calculated between milk electrical conductivity vs. daily yield and milking ability of primiparous and multiparous cows. The numerical data were statistically analysed using multifactorial analysis of variance. An increase in milk electrical conductivity and thus deteriorating udder health were paralleled by a significantly lower milk yield in both primiparous and multiparous cows. In primiparous cows, the decrease was 4.7 kg (from 32.0 with milk electrical conductivity of  $\leq 5.50$  mS/cm to 27.3 kg with conductivity of  $> 7.00$  mS/cm). A notably greater reduction in productivity was observed for multiparous cows (5.5 kg) between the extreme ranges of milk electrical conductivity. In both primiparous and multiparous cows, milking time increased progressively with increasing range of milk electrical conductivity (from 366 to 372 s and from 369 to 379 s, respectively). Milk yield per minute decreased by 0.41 kg (from 2.23 to 1.82 kg/min.) in older cows and by 0.32 kg (from 2.05 to 1.73 kg/min.) in primiparous cows. The deteriorating udder health caused a significant decrease in daily milk yield of the primiparous and multiparous cows in every lactation period. For both primiparous and multiparous cows, the highest milk yields per minute (2.08, 2.20, 2.20 and 1.88; 2.57, 2.37, 2.18 and 1.96 kg/min., respectively) in all lactation periods were observed when milk electrical conductivity ( $\leq 5.50$  mS/cm) was indicative of very good udder health. In summing up, it is concluded that throughout lactation, in both primiparous and multiparous cows, daily milk yield decreased with increasing electrical conductivity of the milk and thus with deteriorating udder health. Furthermore, milk electrical conductivity had a significant effect (in the interaction with lactation period and daily milk yield of the cows) on milkability traits.

**Key words:** cows, milk, electrical conductivity of milk, milking ability.

<https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.2.0044>

Published online March 02, 2020

### INTRODUCTION

Modern cow milking technology enables collecting more and more data concerning both animals and milk parameters on an ongoing basis. The new techniques for automation of the milking process allow for early diagnosis of mastitis, and play a significant role in analysing changes in milk composition and milk production from different udder quarters (Forsbäck *et al.*, 2010; Jędrus, 2013). All of this information allows farmers to select the proper dairy management strategy, to make accurate selection decisions aiming to improve udder structure (elimination of cows with substandard milk production) and are important in preventing mastitis, which causes considerable economic losses (Atasever and Erdem, 2009).

One of the methods used to detect mastitis is to measure the electrical conductivity of milk. Under this

method, cow mastitis is detected based on changes in mineral salts and lactose due to this disease. Importantly, the measurement of milk electrical conductivity allows clinical mastitis to be detected before changes in collected milk or udder tissue are visible. Conductivity measurements enable mastitis to be detected two or more milkings before visual signs appear (Norberg, 2005; Berglund *et al.*, 2007). Changes in milk electrical conductivity, measured by instruments installed in the milking system, provide basic information for the computer herd management system. This system records milk conductivity data during each milking and shows the cows whose electrical conductivity differs from standards. In the presence of mastitis, electrical conductivity of milk increases due to increases in milk sodium and chlorine levels, and decreases in potassium and lactose, which are accompanied by increased pH. The presence of sodium and chlorine has a positive effect on

the value of electrical conductivity, because resistance and conductivity of a liquid depend on its composition and temperature (Bruckmaier *et al.*, 2004). Also the presence of somatic cells as well as serum albumin changes the passage of an electric current through milk.

Milk from a healthy gland has an electrical conductivity of 4.00-5.50 mS/cm at 25°C (Yoshida *et al.*, 2005). As reported by Park *et al.* (2007) and Ilie *et al.* (2010), milk with a temperature of 37°C drawn from a healthy cow has a conductivity from 4.54 mS/cm, but with a deterioration in udder health it increases to 6.31 mS/cm and above in clinical mastitis. According to Nowak *et al.* (1990), the correlation between milk electrical conductivity and the number of milk somatic cells is 0.91.

Kasicki *et al.* (2012) report that early diagnosis of subclinical mastitis should be a priority for every producer aiming to obtain raw milk of highest possible cytological quality. Measurement of milk electrical conductivity is one of the indicators of such diagnosis, because it provides an early warning system by monitoring udder health at each milking.

The objective of the study was to determine the effect of milk electrical conductivity in automatically milked cows on their daily yield and milking ability, with consideration of their age and lactation period.

## MATERIALS AND METHODS

The analyses were performed based on herd milking data for Polish Holstein-Friesian cows (Black-and-White variety) yielding an average of 9500 kg milk with 3.36% protein and 3.76% fat. The herd consisted of 180 lactating cows. Statistical analysis of the data included 59503 daily milking records (number of cows milked on a given day × 365 days). With an average herd milking frequency of 2.55 times/day, data from almost 152 000 milkings were obtained.

Cows were kept in a free-stall barn and received PMR and concentrate diets to meet the current maintenance and production requirements. The concentrate, which contained maize, soybean or rapeseed meal, triticale and premix, was offered from feeders in milking robots. Cows were milked by 3 automatic milking robots.

The data from the herd management system were used to calculate the following milking parameters of the cows:

- daily yield [kg milk], and milkability traits:
- milking duration [s],
- milk yield per cow [kg/min.].

The statistical analysis of these milking parameters accounted for:

- milk electrical conductivity ( $\leq 5.50$  mS/cm – healthy cows; 5.51-7.00 mS/cm – cows with elevated somatic cell count, early subclinical mastitis;  $> 7.00$  mS/cm –

subclinical mastitis and clinical mastitis),

- age of cows (primiparous, multiparous),
- period of lactation ( $\leq 100$ , 101-200, 201-300,  $> 300$  days),
- daily production level ( $\leq 25.0$ , 25.1-35.0,  $> 35.0$  kg).

Correlations were calculated between milk electrical conductivity vs. daily yield and milking ability of primiparous and multiparous cows. In addition, the effects of the milk electrical conductivity by lactation period interaction on daily yield and milkability of the cows, and of the electrical conductivity by daily yield interaction on milkability were determined.

The numerical data were statistically analysed using multifactorial analysis of variance (GLM procedure). Significant differences between the means were analysed with the Scheffe test (SAS, 2017).

## RESULTS AND DISCUSSION

Earlier research indicates that milk obtained from healthy cows has an electrical conductivity of less than 5.50 mS/cm (Hillerton and Walton, 1991; Hamann and Gyodi, 2000). Based on this classification, milk from about 51% of the milkings was found to have an electrical conductivity below  $\leq 5.50$  mS/cm, which means that it was collected from cows with healthy udders (Table 1). In the milk of healthy cows, somatic cell count is below 200 thous./ml. Schepers *et al.* (1997) consider this figure as the threshold value between healthy and diseased udder. Another 28.8% of milk samples had an electrical conductivity of 5.51-7.00 mS/cm, indicating mild subclinical mastitis. In turn, 20.3% of the samples, grouped into the third class (milk electrical conductivity of  $> 7.00$  mS/cm) came from cows with advanced subclinical mastitis, or clinical mastitis. The close association of milk electrical conductivity with udder health and productivity was reported by Antanaitis *et al.* (2015). Milk electrical conductivity reached 6.50 mS/cm in cows with subclinical mastitis, 8.50 mS/cm during the period preceding the onset of clinical signs, and 9.0 mS/cm after their manifestation. After treatment, the electrical conductivity of milk returned to normal levels.

The deteriorating udder health was accompanied by a considerable decrease in daily milk production ( $p \leq 0.01$ ). The decrease was 6.9% between the first and second class of electrical conductivity (from 33.3 to 31.0 kg), and 16.8% between the first and third class (from 33.3 to 27.7 kg). For milkability parameters in successive ranges of milk electrical conductivity, milking time increased (from 366 to 378 s) while the mean milk yield per minute decreased (from 2.15 to 1.73 kg/min.). Larroque *et al.* (2005) reported that milking time was related to udder health, with considerable differences in milking time between healthy and sick cows, especially those with clinical mastitis. According to the same authors, when milk electrical conductivity increases, the

concomitant increase in mastitis has an adverse effect on the teats (teat canal, sphincter), thus decreasing the milk flow and increasing the milking time. Hillerton and Semmens (1999) suggest that milking time could also be a useful tool for mastitis detection.

In terms of the production level, older cows surpassed primiparous cows with the mean daily milk yield of 32.0 vs. 29.5 kg (Table 2). As milk electrical conductivity increased, daily milk yield decreased significantly ( $p \leq 0.01$ ) in both primiparous and multiparous cows. In primiparous cows, the decrease was 4.7 kg (from 32.0 kg with milk electrical conductivity  $\leq 5.50$  mS/cm to 27.3 kg with conductivity  $> 7.00$  mS/cm). Multiparous cows showed a clearly higher decrease in milk yield (5.5 kg between the extreme ranges of milk electrical conductivity).

According to Hovinen and Pyorali (2011), the lower milk production associated with mastitis problems in automatic milking systems, is due, among others, to the fact that the teats are cleaned without the visual control of the milker and mastitis is automatically detected.

Our study showed that udder health, determined by milk electrical conductivity, has a significant effect on milking time (Table 2). In both primiparous and multiparous cows, milking time increased with the increasing ranges of milk electrical conductivity (from 366 to 372 s and from 369 to 379 s, respectively).

The milkability parameter of mean milk yield per minute was found to decrease with the increasing ranges of milk electrical conductivity. It decreased by 0.41 kg/min. in older cows (from 2.23 to 1.82 kg/min.), and by 0.32 kg/min. in primiparous cows (from 2.05 to 1.73 kg/min.).

According to Weiss *et al.* (2004), milk flow (peak or per unit of time) is influenced, to a certain extent, by the anatomical and functional characteristics of the teats.

The deteriorating udder health, which was determined based on milk electrical conductivity, caused a statistically significant ( $p \leq 0.01$ ) decrease in daily milk yield of primiparous and multiparous cows in each lactation period (Table 3). The highest decrease in daily milk yield (by 4.1 kg) was observed in primiparous cows in the third lactation period (from 31.6 kg with milk electrical conductivity  $\leq 5.50$  mS/cm to 27.5 kg with conductivity  $> 7.00$  mS/cm). In the other lactation periods, as udder health deteriorated, the cows' milk yield decreased by 1.8 kg (beginning of lactation) to 2.3 kg (end of lactation). More rapid changes in daily milk yield were noted in the multiparous cows. In each lactation period, the increase in milk electrical conductivity was paralleled by a more than 10% reduction in milk yield. It is worth noting that the lowest decrease (from 29.2 to 26.2 kg milk) occurred in multiparous cows between 201 and 300 days of lactation, whereas in primiparous cows it

was the highest during this period. Among multiparous cows, cows in the final stage of lactation showed the most marked response to the deteriorating udder health. Their daily milk yield decreased by more than 20%, from 24.2 to 18.8.

These results, which show that deteriorating udder health entails milk production losses (from the very beginning of lactation) in both primiparous and multiparous cows, provide evidence that it is economically important for cows to start out their lactations with healthy udders. For this to happen, the health status of udders in in-calf heifers and multiparous cows should be closely monitored during the dry period.

Regardless of the lactation period, milking time varied ( $p \leq 0.01$ ) according to milk electrical conductivity. In each lactation period, milking time increased with deteriorating udder health, with cows entering lactation showing the longest milking time (360, 382 and 388 s, respectively); in this group, the longest milking time of primiparous cows (388 s) and at the same time the highest increase in milking time (by 28 s) were found (Table 3). It is worth adding that the shortest milking time (354 s) in primiparous cows was noted in the last period of lactation and in the first class of milk electrical conductivity. In primiparous cows, milking time in successive lactation periods also increased with the increasing electrical conductivity of milk. For cows entering lactation, milking time showed the smallest increase (by 14 s, from 387 to 401 s), whereas for cows between 201 and 300 days of lactation, it increased the most (by 20 s, from 359 to 379 s). In multiparous cows, the shortest milking time in all lactation periods (344 s) was noted in late lactation cows in the milk electric conductivity class of  $\leq 5.50$  mS/cm.

Edwards *et al.* (2014), who thoroughly examined cow milking time at every stage of lactation, reported the longest time (416 s) at the beginning, and the shortest time (316 s) towards the end of lactation (days 241-300).

For both primiparous and multiparous cows, the highest milk yields per minute in all lactation periods (2.08, 2.20, 2.20 and 1.88; 2.57, 2.37, 2.18 and 1.96 kg milk/min., respectively) were observed when milk electrical conductivity ( $\leq 5.50$  mS/cm) was indicative of very good udder health. As lactation progressed and udder health deteriorated, this parameter gradually decreased. The decrease in mean milk yield per minute within the lactation groups was 0.25-0.36 kg/min. in primiparous cows and 0.41-0.55 kg/min. in multiparous cows

In addition to the milk yield and milk quality in its broad definition, milking speed is an important parameter with regard to milk production profitability (Sivarajasingam *et al.*, 1984). The mean milk yield per minute, obtained in our study for primiparous and multiparous cows (during the first two lactation periods

and with udder health determined by milk electrical conductivity of  $\leq 5.50$  and  $5.51-7.00$  mS/cm – Table 3), correspond with earlier research findings (Lee and Choudhary, 2006; Bogucki and Neja, 2008; Sitkowska *et al.*, 2015).

Analysis of the results given in Table 4 shows that the milking time of the cows increased with deteriorating udder health – by 12, 12 and 14 s in primiparous cows, and by 17, 18 and 20 s in multiparous cows ( $p \leq 0.01$ ) in successive milk yield classes. In each daily milk yield class, the increase in electrical conductivity was accompanied by a decrease in the mean daily milk yield, which was the highest in cows with the highest production potential ( $>35.0$  kg milk/day) – by 0.19 and 0.37 kg/min., respectively. It should be mentioned that the highest stability of this milking

parameter was observed in primiparous and multiparous cows when their daily milk yield ranged between 25.1 and 35.0 kg.

The presented results (Tables 1, 2 and 3) clearly show that the increase in milk electrical conductivity (which reflects deteriorating udder health) throughout the lactation of primiparous and multiparous cows generates milk production losses, resulting mainly from reduced milk yields of the cows. Not without significance are also the deteriorating milk yield parameters (milking time, mean yield per minute), which have a direct effect on milking ability of the cows. Therefore, breeders and milk producers should monitor udder health of the cows on an ongoing basis (among others, by determining the electrical conductivity of milk) so as to minimize the proportion of cows with subclinical or clinical mastitis.

**Table 1. Effect of milk electrical conductivity on cows' milk yield and milkability**

| Traits                         | Milk electrical conductivity [mS/cm] |                    |                    |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|
|                                | $\leq 5.50$                          | $5.51-7.00$        | $>7.00$            |
| N (%)                          | 30297 (50.9)                         | 17108 (28.8)       | 12098 (20.3)       |
| Daily milk yield [kg]          | 33.3 <sup>AB</sup>                   | 31.0 <sup>AC</sup> | 27.7 <sup>BC</sup> |
| Milking time [s]               | 366 <sup>AB</sup>                    | 373 <sup>AC</sup>  | 378 <sup>BC</sup>  |
| Milk yield per minute [kg/min] | 2.15 <sup>AB</sup>                   | 1.94 <sup>AC</sup> | 1.73 <sup>BC</sup> |

Means within lines followed by the same letters differ significantly at  $P \leq 0.01$

**Table 2. Effect of milk electrical conductivity on daily milk yield and milkability of primiparous and multiparous cows.**

| Age of cows | Milk electrical conductivity [mS/cm] | N     | Daily milk yield [kg] | Milking time [s]                        | Milk yield per minute [kg/min]          |   |
|-------------|--------------------------------------|-------|-----------------------|---|---|---|
| Primiparous | $\leq 5.50$                          | 16240 | 1                     | 32.0                                    | 366                                     | 2.05                                    |
|             | $5.51-7.00$                          | 8945  | 2                     | 29.1                                    | 369                                     | 1.86                                    |
|             | $>7.00$                              | 5372  | 3                     | 27.3                                    | 372                                     | 1.73                                    |
|             | Significance of differences          |       |                       | 1-2,3 <sup>xx</sup> ; 2-3 <sup>xx</sup> | 1-2,3 <sup>xx</sup> ; 2-3 <sup>xx</sup> | 1-2,3 <sup>xx</sup> ; 2-3 <sup>xx</sup> |
| Multiparous | $\leq 5.50$                          | 14057 | 1                     | 34.6                                    | 369                                     | 2.23                                    |
|             | $5.51-7.00$                          | 8163  | 2                     | 32.2                                    | 375                                     | 2.06                                    |
|             | $>7.00$                              | 6726  | 3                     | 29.1                                    | 379                                     | 1.82                                    |
|             | Significance of differences          |       |                       | 1-2,3 <sup>xx</sup> ; 2-3 <sup>xx</sup> | 1,2-3 <sup>xx</sup> ; 2-3 <sup>xx</sup> | 1-2,3 <sup>xx</sup> ; 2-3 <sup>xx</sup> |

<sup>xx</sup> $P \leq 0.01$

**Table 3. Effect of milk electrical conductivity and lactation period on daily milk yield and milkability of primiparous and multiparous cows.**

| Age of cows | Lactation period [days] | Milk electrical conductivity [mS/cm] | N    | Daily milk yield [kg] | Milking time [s] | Milk yield per minute [kg/min] |      |
|-------------|-------------------------|--------------------------------------|------|-----------------------|------------------|--------------------------------|------|
| Primiparous | $\leq 100$              | $\leq 5.50$                          | 3135 | 1                     | 32.4             | 360                            | 2.08 |
|             |                         | $5.51-7.00$                          | 1263 | 2                     | 31.5             | 382                            | 1.84 |
|             |                         | $>7.00$                              | 420  | 3                     | 30.6             | 388                            | 1.81 |
|             | 101-200                 | $\leq 5.50$                          | 4084 | 4                     | 33.1             | 370                            | 2.20 |
|             |                         | $5.51-7.00$                          | 1978 | 5                     | 31.8             | 373                            | 2.07 |
|             |                         | $>7.00$                              | 811  | 6                     | 30.7             | 374                            | 1.95 |
|             |                         | $\leq 5.50$                          | 3959 | 7                     | 31.6             | 361                            | 2.20 |

|         |                             |      |    |  |   |   |
|---------|-----------------------------|------|----|--|---|---|
|         | 5.51-7.00                   | 2198 | 8  | 29.1   | 369   | 2.00  |
|         | >7.00                       | 1113 | 9  | 27.5   | 370   | 1.88  |
|         | ≤5.50                       | 5062 | 10 | 24.6   | 354   | 1.82  |
| >300    | 5.51-7.00                   | 3506 | 11 | 23.5   | 361   | 1.64  |
|         | >7.00                       | 3028 | 12 | 22.3   | 362   | 1.53  |
|         | Significance of differences |      |    | 1-2,3 <sup>xx</sup> ; 2-3 <sup>xx</sup><br>4-5,6 <sup>xx</sup> ; 5-6 <sup>xx</sup><br>7-8,9 <sup>xx</sup> ; 8-9 <sup>x</sup><br>10-11,12 <sup>xx</sup> ; 11-12 <sup>xx</sup> | 1-2,3 <sup>xx</sup> ;<br>2-3 <sup>xx</sup> ;<br>4-5,6 <sup>xx</sup> ;<br>7-8,9 <sup>xx</sup> ;<br>7-8,9 <sup>xx</sup> ;<br>10-11,12 <sup>xx</sup> | 1-2,3 <sup>xx</sup> ;<br>4-5,6 <sup>xx</sup> ;<br>5-6 <sup>xx</sup> ;<br>7-8,9 <sup>xx</sup> ;<br>8-9 <sup>xx</sup> ;<br>10-11,12 <sup>xx</sup> ;<br>11-12 <sup>xx</sup>                        |
|         | ≤5.50                       | 3635 | 1  | 42.9   | 387   | 2.57  |
| ≤100    | 5.51-7.00                   | 2338 | 2  | 41.7   | 389   | 2.48  |
|         | >7.00                       | 1926 | 3  | 37.4   | 401   | 2.16  |
|         | ≤5.50                       | 3194 | 4  | 37.3   | 375   | 2.37  |
| 101-200 | 5.51-7.00                   | 2354 | 5  | 37.2   | 376   | 2.26  |
|         | >7.00                       | 1950 | 6  | 32.9   | 392   | 1.84  |
|         | ≤5.50                       | 2174 | 7  | 29.2   | 359   | 2.15  |
| 201-300 | 5.51-7.00                   | 2049 | 8  | 28.9   | 371   | 1.99  |
|         | >7.00                       | 1651 | 9  | 26.2   | 379   | 1.67  |
|         | ≤5.50                       | 1054 | 10 | 24.2   | 344   | 1.96  |
| >300    | 5.51-7.00                   | 1422 | 11 | 21.1   | 354   | 1.69  |
|         | >7.00                       | 1199 | 12 | 18.8   | 360   | 1.41  |
|         | Significance of differences |      |    | 1-2,3 <sup>xx</sup> ;<br>2-3 <sup>xx</sup> ;<br>4,5-6 <sup>xx</sup> ;<br>7,8-9 <sup>xx</sup> ;<br>10-11,12 <sup>xx</sup> ;<br>11-12 <sup>xx</sup>                            | 1,2-3 <sup>xx</sup> ;<br>4,5-6 <sup>xx</sup> ;<br>7-8,9 <sup>xx</sup> ;<br>8-9 <sup>xx</sup> ;<br>10-11,12 <sup>xx</sup> ;<br>11-12 <sup>xx</sup> | 1-2,3 <sup>xx</sup> ;<br>2-3 <sup>xx</sup> ;<br>4-5,6 <sup>xx</sup> ;<br>5-6 <sup>xx</sup> ;<br>7-8,9 <sup>xx</sup> ;<br>8-9 <sup>xx</sup> ;<br>10-11,12 <sup>xx</sup> ;<br>11-12 <sup>xx</sup> |

<sup>xx</sup>*P*≤0.01

**Table 4. Effect of milk electrical conductivity and daily milk yield on milkability of primiparous and multiparous cows.**

| Age of cows | Daily milk yield [kg]       | Milk electrical conductivity [mS/cm] | N    | Milking time [s]  | Milk yield per minute [kg/min]  |      |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------------|------|---|---|------|
|             | ≤25                         | ≤5.50                                | 5281 | 1   | 354   | 1.43 |
|             |                             | 5.51-7.00                            | 3474 | 2   | 364   | 1.27 |
|             |                             | >7.00                                | 2817 | 3   | 366   | 1.25 |
|             | 25.1-35.0                   | ≤5.50                                | 6068 | 4   | 363   | 2.06 |
| Primiparous |                             | 5.51-7.00                            | 3828 | 5   | 372   | 1.98 |
|             |                             | >7.00                                | 2195 | 6   | 375   | 1.94 |
|             | >35.0                       | ≤5.50                                | 4891 | 7   | 365   | 2.65 |
|             |                             | 5.51-7.00                            | 1643 | 8   | 373   | 2.54 |
|             |                             | >7.00                                | 360  | 9   | 379   | 2.46 |
|             | Significance of differences |                                      |      | 1-2,3 <sup>xx</sup> ;<br>4-5,6 <sup>xx</sup> ;<br>7-8,9 <sup>xx</sup> ; 8-9 <sup>xx</sup> | 1-2,3 <sup>xx</sup> ;<br>4-5,6 <sup>xx</sup> ;<br>7-8,9 <sup>xx</sup> ; 8-9 <sup>xx</sup> |      |
| Multiparous | ≤25                         | ≤5.50                                | 3441 | 1   | 359   | 1.60 |
|             |                             | 5.51-7.00                            | 2402 | 2   | 368   | 1.47 |
|             |                             | >7.00                                | 2858 | 3   | 376   | 1.32 |

|                             |           |      |   |   |   |
|-----------------------------|-----------|------|---|---|---|
|                             | ≤5.50     | 4009 | 4 | 369   | 2.18  |
| 25,1-35,0                   | 5.51-7.00 | 2291 | 5 | 376   | 2.08  |
|                             | >7.00     | 1864 | 6 | 386   | 1.95  |
|                             | ≤5.50     | 6607 | 7 | 380   | 2.76  |
| >35.0                       | 5.51-7.00 | 3470 | 8 | 380   | 2.68  |
|                             | >7.00     | 2004 | 9 | 400   | 2.39  |
| Significance of differences |           |      |   | 1,2-3 <sup>xx</sup> ; 2-3 <sup>xx</sup> ;<br>4,5-6 <sup>xx</sup> ; 5-6 <sup>xx</sup> ;<br>7,8-9 <sup>xx</sup> | 1-2,3 <sup>xx</sup> ; 2-3 <sup>xx</sup> ;<br>4-5,6 <sup>xx</sup> ; 5-6 <sup>xx</sup> ;<br>7-8,9 <sup>xx</sup> ; 8-9 <sup>xx</sup> |

<sup>xx</sup> $P \leq 0.01$ 

**Conclusions:** In summing up, it is concluded that throughout lactation, in both primiparous and multiparous cows, daily milk yield decreased with increasing electrical conductivity of the milk and thus with deteriorating udder health. Furthermore, milk electrical conductivity had a significant effect (in the interaction with lactation period and daily milk yield of the cows) on milkability traits (milking time and mean milk yield per minute).

*The authors declare that they have no conflict of interest.*

## REFERENCES

- Antanaitis, R., V. Zilaitis, V. Juozaitiene, V. Palubinskas, G. Kucinskas, A. Sederwicius, and D. Beliavska-Aleksiejune (2015). Efficient diagnostics and treatment of bovine mastitis according to herd management parameters. *Vet. Med. Zoot.* 69(91): 3-10.
- Atasever, S., and H. Erdem (2009). Association between subclinical mastitis markers and body condition scores of Holstein cows in the Black Sea region. *Turk. J. Anim. Vet. Adv.* 8: 476-480.
- Berglund, I., G. Petterson, K. Ostenddon, and K. Svennersten-Sjaunja (2007). Quarter milking for improved detection of increased SCC. *Reprod. Domest. Anim.* 42: 4237-4243.
- Bogucki, M., and W. Neja (2008). Effect of selected factors on milking time and milking rate of dairy cows. *Rocz. Nauk. PTZ* 4(1): 55-59.
- Bruckmaier R. M., C. E. Ontsouka, and J. W. Blum (2004). Fractionized milk composition in dairy cows with subclinical mastitis. *Vet. Med.* 49: 283-290.
- Edwards, J. P., J. G. Jago, and N. Lopez-Villalobos (2014). Analysis of milking characteristics in New Zealand dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97: 259-269.
- Forsbäck, L., H. Lindmark-Månsson, A. Andren, M. Akerstedt, L. Andree, and K. Svennersten-Sjaunja (2010). Day-to-day variation in milk yield and milk composition at the udder quarter level. *J. Dairy Sci.* 93: 3569-3577.
- Hamann, J., and P. Gyodi (2000). Somatic cells and electrical conductivity in relation to milking frequency. *Milchwissenschaft* 55: 303-307.
- Hillerton, J. E., and A. W. Walton (1991). Identification of subclinical mastitis with a hand-held electrical conductivity meter. *Vet. Rec.* 128: 513-515.
- Hillerton, J., and E. J. Semmens (1999). Comparison of Treatment of Mastitis by Oxytocin or Antibiotics Following Detection According to Changes in Milk Electrical Conductivity Prior to Visible Signs. *J. Dairy Sci.* 82: 93-98.
- Hovinen, M., and S. Pyorala (2011). Invited review: udder health of dairy cows in automatic milking. *J. Dairy Sci.* 94: 547-562.
- Ilie, L. I., L. Tudor, and A. M. Galis (2010). The electrical conductivity of cattle milk and the possibility of mastitis diagnosis in Romania. *Med. Vet.* 43(2): 220-227.
- Jędrus, A. (2013). Modern milking systems in small barns. *Hod. i Chów Bydła* 6: 32-35.
- Kasikci, G., O. Cetin, E. B. Bingol, and M. C. Gunduz (2012). Relations between electrical conductivity, somatic cell count, California mastitis test and some quality parameters in the diagnosis of subclinical mastitis in dairy cows. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 36 (1): 49-55.
- Larroque, H., R. Rupp, S. Moureaux, D. Boichard, and V. Ducrocq (2005). Genetic parameters for type and functional traits in the French Holstein breed. *Interbull meeting*, June 2-4, Uppsala, Sweden, 169-179.
- Lee, D. H., and V. Choudhary (2006). Study on Milkability Traits in Holstein Cows. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 19: 309-314.
- Norberg, E. (2005). Electrical conductivity of milk as phenotype and genetic indicator of bovine mastitis. *Liv. Prod. Sci.* 96: 129-139.
- Nowak, C., T. Grega, and E. Gardzina (1990). Detection of mastitis in cows through measurement of milk electrical conductivity. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 235(8): 11-21.
- Park, Y. W., M. Juarez, M. Ramos and G. F. W. Haenlein, (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 68: 88-113.
- SAS Institute Inc. 2017. SAS/STAT(r) 9.4 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

- Schepers, A. J., T. J. G. M. Lam, Y. H. Schukken, J. B. M. Wilmink, and W. B. A. Hanekamp (1997). Estimation of variance components for somatic cell counts to determine thresholds for uninfected quarters. *J. Dairy Sci.* 80: 1833-1840.
- Sitkowska, B., D. Piwczyński, J. Aerts, and M. Waśkiewicz (2015). Changes in milking parameters with robotic milking. *Archiv. Anim. Breed.* 57: 137-143.
- Sivarajasingam, S., E. B. Burnside, J. W. Wilton, W. C. Pfeiffer, and D. G. Grieve (1984). Ranking Dairy Sires by a Linear Programming Dairy Farm Model. *J. Dairy Sci.* 67: 3015-3024.
- Weiss, D., M. Weinfurtner, and R. M. Bruckmairer (2004). Teat anatomy and its relationship with quarter and udder milk flow characteristics in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87: 3280-3289.
- Yoshida, T., N. Lopez-Villalobos, and C. W. Holmes (2005). Relationships between milk yield, milk composition and electrical conductivity in dairy cattle. *Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod.* 65: 143-147.



## DETERMINANTS OF UDDER QUARTER MILK YIELD IN AUTOMATICALLY MILKED COWS

Iwona Kuropatwińska<sup>1</sup>, Mariusz Bogucki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rolhod Sp. z o.o., Wąsewo 16, 88-230 Piotrków Kujawski, Poland

<sup>2</sup>Department of Animal and Nutrition Breeding, Bydgoszcz University of Science and Technology, Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz, Poland

### ABSTRACT

The objective of this paper was to analyse udder quarter milk yield in automatically milked cows, taking into account the lactation number, lactation period and season, as well as to determine the share of individual quarters (front and rear quarters, left and right quarters) in total milk yield during a single milking. The analysis was conducted using data obtained from one cattle farm with 280 Polish Holstein-Friesian (PHF) cows, milked with 4 VMS milking robots. The analysed parameters included: milk yield during milking of front quarters (left and right), rear quarters (left and right), the ratio of front quarter to rear quarter and left to right quarter yields. In the oldest cows, an increase was observed in udder quarter milk yield in lactations 1–3, followed by a decrease in lactation 4 and then another increase. Cows in lactations  $\geq 5$  have better milk yield than cows in the 3rd lactation. An average milk yield of one quarter of the udder for all lactations was 3.81 kg. With higher lactation numbers, there was a decrease in milk yield for all udder quarters. The reduction in udder quarter milk yield of lactating cows ranged from 1.52 kg (rear right quarter) to 1.78 kg of milk (rear left quarter) and from 1.59 kg (front right quarter) to 1.70 kg of milk (front left quarter). No significant differences were observed in the milk yield of individual udder quarters in the spring, summer and autumn seasons. On the other hand, there was a marked increase in this parameter in the winter months. With successive lactations, the share of front quarters in total milk yield decreased – from 46.9% in primiparous cows to 41.2% in cows after  $\geq 5$  lactations. The share of rear quarters in milk yield in turn increased. With every successive lactation, the disproportion in the milk yield between the front quarters and rear quarters widened. When it comes to the left and right quarters of the udder, in terms of the factors considered, similar results were observed.

**Key words:** cows, milk, mammary gland, udder quarter, milk yield

### INTRODUCTION

Milk production in Poland shows a sustained upward trend. In 2022, 12,381 million litres of raw milk were delivered to processing plants, which was 2.2% higher compared to the previous year. At the same time, the decline in the dairy cow population, observable since 2019, has been reversed. In December 2022, it amounted to 2,037,000 heads and was slightly (by 0.1%) higher than in 2021 [GUS 2023]. As a result of the concentration of breeding, the improvement of production technology and the improvement of dairy cattle genetics, milk yield is increasing. According to the Polish Federation of Cattle Breeders and Dairy Farmers [PFHBiPM 2022], in 2022 a statistical cow produced 7425 kg of milk (7015 kg

the year before), with an average of 9037 kg of milk (8837 kg the year before) obtained from cows under milk performance assessment, and 6324 kg of milk (5851 kg the year before) from cows not subject to the assessment [PFHBiPM 2022, PFHBiPM 2023]. The dairy farm model is also changing, with the number of farms declining, but average herd size increasing [GUS 2023].

The approach of dairy farmers to milk production has been changing over the last few decades, with the aim being to maximise milk yield and simultaneously minimise the required labour and financial resources. In order to optimise the milking process and reduce human labour input, the world's first milking robot was launched in the Netherlands in 1992, heralding an era of automatic milk-

ing systems (AMS). Automatic milking systems are conducive to the welfare of the animals by allowing them to freely choose the time spent in the stall around the clock. The frequency of milking determines the amount of milk yield. Brzozowski et al. [2020] showed that when changing from traditional milking to automatic milking, milk yield from primiparous cows increased by 15%, while the subsequent lactation showed an increase in milk yield by a further 9%. AMSs allow monitoring such parameters as milk flow rate, number of milkings, somatic cell count in milk, oestrous activity or quarter milking [Carlström et al. 2013, Steeneveld et al. 2015, Tse et al. 2018, Solano et al. 2022].

The introduction of automatic milking systems has made it possible to focus on the milking performance of individual quarters, not just on performance at the level of individual animals. Milking parameters that are routinely measured at the quarter level during each milking with the use of AMS include milk yield, average milk flow rate and peak milk flow rate [Weaver and Hernandez 2016, Penry et al. 2018]. Quarter milking is undoubtedly an important factor for udder health, as it eliminates overmilking, adjusts milking parameters to the rate and amount of milk flow, as well as allows quick verification of the health of individual quarters [Sitkowska et al. 2016, Zucali et al. 2021].

The amount of milk produced is closely linked to the anatomical structure and functional characteristics of the individual quarters of the cow's udder [Atasever and Erdem 2009, Pritchard et al. 2010, Szencziová et al. 2013]. Appropriate udder conformation, in addition to having an impact on milk yield, including, above all, milking time, is also important in terms of ensuring animal health [Kumar et al. 2022]. Breeders who pay particular attention to that aspect aim to ensure that their herds consist of cows with evenly distributed yields from the individual quarters, which is desirable in the case of mechanical and automatic milking. Previous studies have also pointed out that differences in milk yield of more than 10–15% between the front quarters and rear quarters, as well as differences in milking time of more than 1 minute, have a negative impact on milk yield and animal health [Stankūnienė et al. 2008, Kuczaj 2010]. A detailed analysis of the milk yield of individual udder quarters of cows subject to automatic milking, taking into account the frequency of milking, was carried out in the study by Bogucki [2018]. It was found that during milking of primiparous and multiparous cows, the front quarters and rear quarters produced respectively: 45.8% and 54.2% and 41.8% and 58.2% of milk. Similar results were shown in an earlier study by Šlyžius et al. [2013], in which about 42% of the total milk yield was obtained from the front quarters and about 58% from the rear quarters. The relationship between the milk yield of individual quarters and susceptibility to mastitis was in turn indi-

cated by Hammer et al. [2012], who observed an increase in mastitis cases in quarters characterised by the lowest productivity and milking frequency.

The objective of this paper was to analyse milk yield of individual udder quarters in automatically milked cows, taking into account the lactation number, lactation period and season, as well as to determine the share of individual quarters (front and rear quarters, left and right quarters) in total milk yield during a single milking.

## MATERIAL AND METHODS

The analysis was conducted on the basis of data obtained from one of the dairy cattle farms in the Kujawsko-Pomorskie Province. The herd consisted of approximately 280 cows of the Polish Holstein-Friesian breed, of the black and white variety. The cows were under milk performance assessment (method A4) conducted by the Polish Federation of Cattle Breeders and Dairy Farmers. The average herd productivity in recent years has been around 11,000 kg of milk per lactating cow. The cows were kept in a free-stall, non-bedding barn with mats, equipped with 4 DeLaval VMS milking robots. The feed ration (PMR system, NRC feeding standards) consisted of maize silage, alfalfa silage, grass haylage, brewer's grains, soybean, rapeseed, maize and wheat middlings, mineral and vitamin supplements and pelleted feed available in the robots and in the feeding station (feeding cows with this type of feed depended on their current performance).

Data was assessed in terms of the following parameters (derived from 156,317 full milkings carried out in 2022 for all active quarters), extracted from the herd management system:

- (A) Milk yield (kg) for:
  - front left quarters (FL),
  - front right quarters (FR),
  - rear left quarters (RL),
  - rear right quarters (RR),
- (B) Milk yield ratio (%):
  - front quarters to rear quarters,
  - left to right quarters.

The following experimental factors were taken into account in the statistical analysis of the above mentioned parameters:

- lactation number (1, 2, 3, 4,  $\geq 5$ ),
- lactation period ( $\leq 100$ , 101–200, 201–300,  $>300$  days),
- season (spring – III, IV, V, summer – VI, VII, VIII, autumn – IX, X, XI, winter – XII, I, II).

Multivariate ANOVA (GLM procedure) was used in the statistical processing of the numerical data. Statistical

significance of differences between the means was tested using the Scheffe test [SAS 2022].

The following linear model was used:

$$y_{ijkl} = \mu + a_i + b_j + c_k + d_l + e_{ijkl}$$

where:

$y_{ijkl}$  –  $ijkl$ -th milking,

$\mu$  – overall average,

$a_i$  – fixed effect of  $i$ -th lactation number (1, 2, 3, 4,  $\geq 5$ ),

$b_j$  – fixed effect of the  $j$ -th lactation period ( $\leq 100$ , 101–200, 201–300,  $>300$  days),

$c_k$  – fixed effect of the  $k$ -th season (spring, summer, autumn, winter),

$d_l$  – fixed effect of the  $l$ -th quarter of the udder (FL, FR, RL, RR),

$e_{ijkl}$  – random error of observations.

The share of individual udder quarters (front and rear quarters, left and right quarters) in the milk yield obtained during a single milking in terms of the above-mentioned parameters was also calculated.

## RESULTS AND DISCUSSION

Analysing the milk yield obtained during the milking of individual quarters, an increase in the latter was observed in lactations 1–3, followed by a decrease in the 4th lactation and another increase in the oldest cows, in the 5th lactation and onwards (Table 1). In the case of the front quarters (left and right), there was an increase in the milk yield in the first three lactations from 2.89 to 3.54 and from 3.12 to 3.56 kg of milk, followed by a decrease to 3.09 and 3.30 kg of milk and an increase again to 3.28 and 3.63 kg of milk, respectively. The rear quarters (left and right) were characterised by milk yield of 3.40 to 4.82 and 3.39 to 4.74 kg of milk (lactations 1–3), 4.58 and 4.24 kg of milk (4th lactation) and 4.87 and 4.99 kg of milk (oldest cows), respectively. The difference in the performance of individual quarters in successive lactations was statistically significant ( $P \leq 0.05$ ). It is worth noting that cows in lactations 5 and onwards produced more milk than cows in the 3rd lactation. This applied to all udder quarters except the front left quarter (FL). In the analysed herd, the proportion of cows in lactations 4 and 5 has been increasing in the age structure in recent years, which is a sign of the longevity of the cows, which can better realise their production potential. This is partly the result of the focus on animal welfare and health.

The lowest milk yields were observed in udder quarters of primiparous cows. Hopster et al. [2002] emphasise that the lower performance of primiparous cows is due to physiological reasons. At the same time, it should be emphasised that thanks to the automatic milking system, it is

possible – due to the higher milking frequency in the case of this system – to achieve higher milk yield in these cows in subsequent lactations [Nogalski et al. 2011, Wright et al. 2013].

The author's own analyses showed better results than those obtained by Šlyžius et al. [2013]. In a study of a Lithuanian population of black and white cattle milked twice per day, it was shown that left and right rear quarters produced 3.42 and 3.47 kg of milk, respectively, while left and right front quarters – 2.63 and 2.71 kg of milk per milking.

The results presented in Table 1 show a significantly higher milk yield of rear quarters, compared to front quarters, which is in line with previous studies [Weiss et al. 2004, Tančin et al. 2006, Penry et al. 2017, Penry et al. 2018, Bogucki 2018, Inzaghi et al. 2021].

Considering all the analysed milkings of individual quarters (156,317), one quarter produced an average of 3.81 kg of milk per milking. Zucali et al. [2021], in a study conducted on dairy cattle farms in northern Italy, equipped with automatic milking systems of different brands, recorded an average quarter yield of 3.63 kg of milk per milking.

With higher lactation numbers, there was a significant ( $P \leq 0.05$ ) decrease in milk yield for all udder quarters (Table 2). At the same time, it was shown to be at a fairly even level for all quarters. The reduction in udder quarter milk yield (comparing the beginning and end of lactation) ranged from 1.52 kg of milk (rear right quarters) to 1.78 kg of milk (rear left quarters). In contrast, for the front quarters, milk yields from both lactation periods decreased for the right quarters by 1.59 kg of milk and by 1.70 kg for the left quarters.

Comparing front and rear quarters, it was shown that the difference in milk yield between those two in successive lactation periods averaged between 1.6 kg milk ( $\leq 100$  and  $>300$  lactation days) and 2.0 kg milk (101–200 lactation days), and was higher for rear quarters.

In a study by Sitkowska et al. [2014], it was shown that the stage of lactation determined the performance of udder front quarters and rear quarters. The authors analysed individual quarter milkings and observed lower milk yield disproportion between front quarters and rear quarters, 0.31–0.46 kg (in primiparous cows) and 0.52–0.57 kg (in multiparous cows). The reason may be that the studied population of cows was characterised by an average production level during lactation – the average milk yield per cow for a single full milking ranged from 7 to 10 kg.

When it comes to differences between the seasons, no significant variation was observed in terms of milk yield for individual quarters in spring, summer and autumn. However, the mean values were statistically significantly different ( $P \leq 0.05$ ). In these seasons, the milk yields of individual udder quarters were respec-

**Table 1.** Productivity of individual udder quarters in successive lactations, kg of milk

| Number of lactation | Quarters |                                 | FL   |   | FR   |  | RL   |   | RR   |  |
|---------------------|----------|---------------------------------|------|---|------|--|------|---|------|--|
|                     | N        | LSM                             | SE   | LSM   | SE   | LSM  | SE   | LSM   | SE   |  |
| 1                   | 49192    | 2.89 <sup>abcd</sup>            | 1.15 | 3.12 <sup>abcd</sup>                        | 1.21 | 3.40 <sup>abcd</sup>                       | 1.35 | 3.39 <sup>abcd</sup>                        | 1.48 |  |
| 2                   | 49798    | 3.13 <sup>ac<sup>e</sup>f</sup> | 1.50 | 3.36 <sup>ac<sup>e</sup>fg</sup>            | 1.52 | 4.26 <sup>ac<sup>e</sup>fg</sup>           | 1.85 | 4.07 <sup>ac<sup>e</sup>fg</sup>            | 1.83 |  |
| 3                   | 29116    | 3.54 <sup>b<sup>e</sup>gh</sup> | 1.65 | 3.56 <sup>b<sup>e</sup>hi</sup>             | 1.68 | 4.82 <sup>b<sup>e</sup>h</sup>             | 2.17 | 4.74 <sup>b<sup>e</sup>hi</sup>             | 1.99 |  |
| 4                   | 14572    | 3.09 <sup>eg<sup>i</sup></sup>  | 1.64 | 3.30 <sup>cf<sup>h</sup>j</sup>             | 1.84 | 4.58 <sup>cf<sup>h</sup>i</sup>            | 2.21 | 4.24 <sup>cf<sup>h</sup>j</sup>             | 2.10 |  |
| ≥5                  | 13639    | 3.28 <sup>d<sup>f</sup>hi</sup> | 1.63 | 3.63 <sup>d<sup>e</sup>g<sup>i</sup>j</sup> | 1.57 | 4.87 <sup>d<sup>e</sup>g<sup>i</sup></sup> | 2.09 | 4.99 <sup>d<sup>e</sup>g<sup>i</sup>j</sup> | 1.98 |  |

<sup>a, b, c, ...</sup> means in columns marked with the same letters differ significantly at  $P \leq 0.05$ .

**Table 2.** Productivity of individual udder quarters in successive lactations, kg of milk

| Lactation period, days | Quarters |                                | FL   |                                | FR   |                                | RL   |                                | RR   |  |
|------------------------|----------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--|
|                        | N        | LSM                            | SE   | LSM                            | SE   | LSM                            | SE   | LSM                            | SE   |  |
| ≤100                   | 50712    | 3.66 <sup>abc</sup>            | 1.36 | 3.80 <sup>ab</sup>             | 1.42 | 4.60 <sup>abc</sup>            | 1.84 | 4.48 <sup>abc</sup>            | 1.83 |  |
| 101–200                | 40717    | 3.56 <sup>ade</sup>            | 1.38 | 3.78 <sup>cd</sup>             | 1.39 | 4.78 <sup>ade</sup>            | 1.80 | 4.59 <sup>ade</sup>            | 1.83 |  |
| 201–300                | 34725    | 2.90 <sup>b<sup>d</sup>f</sup> | 1.34 | 3.14 <sup>ace</sup>            | 1.37 | 4.04 <sup>b<sup>d</sup>f</sup> | 1.80 | 3.85 <sup>b<sup>d</sup>f</sup> | 1.77 |  |
| >300                   | 30163    | 1.96 <sup>ce<sup>f</sup></sup> | 1.16 | 2.21 <sup>b<sup>d</sup>e</sup> | 1.32 | 2.82 <sup>ce<sup>f</sup></sup> | 1.67 | 2.96 <sup>ce<sup>f</sup></sup> | 1.64 |  |

<sup>a, b, c, ...</sup> means in columns marked with the same letters differ significantly at  $P \leq 0.05$ .

**Table 3.** Productivity of individual udder quarters by season, kg of milk

| Season | Quarters |                                | FL   |                                | FR   |                                | RL   |                     | RR   |  |
|--------|----------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|---------------------|------|--|
|        | N        | LSM                            | SE   | LSM                            | SE   | LSM                            | SE   | LSM                 | SE   |  |
| Spring | 40265    | 3.08 <sup>abc</sup>            | 1.58 | 3.28 <sup>ab</sup>             | 1.57 | 4.06 <sup>abc</sup>            | 2.01 | 4.00 <sup>a</sup>   | 1.99 |  |
| Summer | 39578    | 3.05 <sup>ade</sup>            | 1.42 | 3.29 <sup>b<sup>c</sup>d</sup> | 1.52 | 4.10 <sup>ade</sup>            | 1.88 | 4.01 <sup>b</sup>   | 1.83 |  |
| Autumn | 36980    | 3.12 <sup>b<sup>d</sup>f</sup> | 1.39 | 3.32 <sup>ace</sup>            | 1.45 | 4.16 <sup>b<sup>d</sup>f</sup> | 1.84 | 4.01 <sup>c</sup>   | 1.76 |  |
| Winter | 39494    | 3.31 <sup>ce<sup>f</sup></sup> | 1.48 | 3.46 <sup>b<sup>d</sup>e</sup> | 1.49 | 4.38 <sup>ce<sup>f</sup></sup> | 1.95 | 4.28 <sup>abc</sup> | 1.93 |  |

<sup>a, b, c, ...</sup> means in columns marked with the same letters differ significantly at  $P \leq 0.05$ .

tively: 3.05–3.12 (FL), 3.28–3.32 (FR), 4.06–4.16 (RL) and 4.00–4.01 (RR) kg of milk (Table 3). On the other hand, there was a marked increase in this parameter in the winter months. In a single milking, an average yield from the front quarters was 3.31 (left) to 3.46 (right) kg of milk, and from the rear quarters – 4.28 (right) to 4.38 (left) kg of milk.

The milk yield of the cows depends to a significant extent on their nutrition. On farms feeding the cows summer or winter feed depending on the season, it is the main factor that differentiates animal productivity and the chemical composition of the milk. In herds, especially high-yield herds fed a homogeneous ration throughout the year, other factors, such as humidity and temperature in the barn may influence cow performance. Imrich et al. [2021] showed a statistically significant higher performance of cows in the winter period, compared to the summer period, despite ensuring welfare of the animals.

A possible reason is that less favourable environmental conditions, with high temperatures during the summer months, reduce cow productivity, but also change the chemical composition of the milk and its cytological quality. The results of the studies cited above are in line with the results of the author’s own analysis.

With successive lactations, the share of front quarters in total milk yield decreased – from 46.9% in primiparous cows to 41.2% in cows in lactation 5 and onwards (Table 4). The share of rear quarters in milk yield in turn increased from 53.1 to 58.8%. With every successive lactation, the disproportion in the milk yield between the front quarters and rear quarters widened – from 6.2 p.p. (primiparous cows) to 17.6 p.p. (5th and further lactations). In an earlier study by Bogucki [2018], among primiparous cows the share of the front quarters and rear quarters in daily milk yield was 45.8 and 54.2%, while in multiparous cows it was 41.8 and 58.2%. The results

**Table 4.** Share of individual udder quarters in milk yield in successive lactations, %

| Number of lactation | Share of quarters |      |      |       |
|---------------------|-------------------|------|------|-------|
|                     | Front             | Rear | Left | Right |
| 1                   | 46.9              | 53.1 | 49.1 | 50.9  |
| 2                   | 43.8              | 56.2 | 49.9 | 50.1  |
| 3                   | 42.6              | 57.4 | 50.2 | 49.8  |
| 4                   | 42.0              | 58.0 | 50.4 | 49.6  |
| ≥5                  | 41.2              | 58.8 | 49.6 | 50.4  |

**Table 5.** Share of individual udder quarters in milk yield in successive lactation periods, %

| Lactation period (days) | Share of quarters |      |      |       |
|-------------------------|-------------------|------|------|-------|
|                         | Front             | Rear | Left | Right |
| ≤100                    | 45.1              | 54.9 | 49.9 | 50.1  |
| 101–200                 | 43.9              | 56.1 | 49.9 | 50.1  |
| 201–300                 | 43.3              | 56.7 | 49.8 | 50.2  |
| >300                    | 41.9              | 58.1 | 48.0 | 52.0  |

**Table 6.** Share of individual udder quarters in milk yield in individual seasons, %

| Season | Share of quarters |      |      |       |
|--------|-------------------|------|------|-------|
|        | Front             | Rear | Left | Right |
| Spring | 44.1              | 55.9 | 49.5 | 50.5  |
| Summer | 43.7              | 56.3 | 49.3 | 50.7  |
| Autumn | 44.1              | 55.9 | 49.8 | 50.2  |
| Winter | 43.9              | 56.1 | 50.2 | 49.8  |

of the author's own analysis also correspond to those obtained by Kuczaj et al. [2010] and Šlyžius et al. [2013].

Comparing the share of left and right quarters in milk yield, showed differences ranking from 0.2 to 1.8% (Table 4). A similar result – an average of 0.77% – was obtained in a study conducted on a Lithuanian dairy cattle farm [Šlyžius et al. 2014].

With higher lactation numbers, there was a decrease in the share of the front quarters in milk yield, from 45.1% to 41.9% (Table 5). The disproportion in milk yield between the front and rear quarters thus increased, from 9.8 to 16.2 percentage point. In the case of automatic milking systems, it is possible to achieve longer milking times, while conventional milking increases the risk of overmilking.

Comparing the share of left and right quarters in milk yield in the first three lactation periods showed minimal (up to 1.0 p.p.) variation in favour of the right quarters. A higher difference was found in cows at the end of lactation period, where the proportion of milk yield was 48.0 and 52.0% (for left and right quarters respectively).

In terms of individual seasons, the difference in milk yield between front and rear quarters ranged from 11.8 p.p. in spring and autumn, through 12.2 p.p. in winter, to 12.6 p.p. in summer (Table 6).

However, comparing the left and right halves of the udder showed similar performance. The most balanced values were observed in the autumn and winter months (0.4 p.p.), followed by spring (1.0 p.p.) and summer (1.4 p.p.).

## CONCLUSIONS

In the oldest cows, an increase was observed in udder quarter milk yield in lactations 1–3, followed by a decrease in lactation 4 and then another increase. Cows in the 5th lactation onwards have better milk yield than cows in the 3rd lactation. An average milk yield of one quarter of the udder for all lactations was 3.81 kg. With higher lactation numbers, there was a decrease in milk yield for all udder quarters. The reduction in udder quarter milk yield of lactating cows ranged from 1.52 kg (rear right



quarters) to 1.78 kg of milk (rear left quarters) and from 1.59 kg (front right quarters) to 1.70 kg of milk (front left quarters). The milk yield of the individual udder quarters showed a clear increase only in the winter season, while there was little variation in the other seasons. With successive lactations, the share of front quarters in total milk yield decreased – from 46.9% in primiparous cows to 41.2% in cows in the 5th lactation onwards. The share of rear quarters in milk yield in turn increased. With every successive lactation, the disproportion in the milk yield between the front quarters and rear quarters widened. However, in terms of the parameters taken into account, no difference was found in the milk yield between the left and right halves of the udder.

## ACKNOWLEDGEMENT

This study was financed by the BN 53/2019 and Educational Fund of the Faculty of Animal Breeding and Biology, Bydgoszcz University of Science and Technology.

## REFERENCES

- Atasever, S., Erdem, H. (2009). Association between subclinical mastitis markers and body condition scores of Holstein cows in the Black Sea region, Turkey. *J. Anim. Vet. Adv.*, 8, 476–480.
- Bogucki, M. (2018). Effect of lactation stage and milking frequency on milk yield from udder quarters of primiparous and multiparous cows. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 48, 636–642. DOI: [10.4314/sajas.v48i4.5](https://doi.org/10.4314/sajas.v48i4.5).
- Brzozowski, M., Piwczyński, D., Sitkowska, B., Bogucki, M., Sawa, A. (2020). The impact of introduction of an automatic milking system on production traits in Polish Holstein-Friesian cows. *Anim. Sci. Pap. Rep.*, 38, 49–59. DOI: [10.1016/j.livsci.2020.104140](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104140).
- Carlström, C., Pettersson, G., Johansson, K., Strandberg, E., Ståhlhammar, H., Philipsson, J. (2013). Feasibility of using automatic milking system data from commercial herds for genetic analysis of milkability. *J. Dairy Sci.*, 96(8), 5324–5332. DOI: [10.3168/jds.2012-6221](https://doi.org/10.3168/jds.2012-6221).
- GUS (2023). *Produkcja zwierzęca – Zwierzęta gospodarskie* [Animal production – Livestock]. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa. [In Polish]
- Hammer, J., Morton, J., Kerrisk, K. (2012). Quarter milking udder and lactation level risk factors and indicators for clinical mastitis during automatic milking system. *Aust. Vet. J.*, 90, 167–174. DOI: [10.1111/j.1751-0813.2012.00917.x](https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2012.00917.x).
- Hopster, H.R.M.B., Bruckmaier, R.M., Van der Werf, J.T.N., Korte, S.M., Macuhova, J., Korte-Bouws, G., Van Reenen, C.G. (2002). Stress responses during milking: Comparing conventional and automatic milking in primiparous dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 85, 3206–3216. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74409-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74409-3).
- Imrich, I., Toman, R., Pšenková, M., Mlyneková, E., Kanka, T., Mlynek, J., Pontešová, B. (2021). Effect of temperature and relative humidity on the milk production of dairy cows. *Sci. Tech. Innov.*, 12(1), 22–27. DOI: [10.5604/01.3001.0015.5609](https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5609).
- Inzaghi, V., Zucali, M., Thompson, P.D., Penry, J.F., Reinemann, D.J. (2021). Changes in milk and milk characteristics prior to clinical mastitis confirmation. *Ital. J. Anim. Sci.*, 20, 1552–1559. DOI: [10.1080/1828051X.2021.1984852](https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1984852).
- Kuczaj, M. (2010). *Hodowla bydła, standardy unijne i krajowe* [Cattle breeding, EU and national standards]. Wyd. UP Wrocław. [In Polish]
- Kuczaj, M., Preš, J., Bodarski, R., Kupczyński, R., Stefaniak, T., Jawor, P. (2010). Performance of milk production and cows' health status as a function of milking frequency. *Med. Wet.*, 66(1), 32–36.
- Kumar, P., Dar, Y., Kumar, A. (2022). Functional anatomy of cow mammary glands with special reference to its defence mechanism. *Int. J. Cow Sci.*, 6(1), 30–31. DOI: [10.18231/j.ijcs.2022.005](https://doi.org/10.18231/j.ijcs.2022.005).
- Nogalski, Z., Czerpak, K., Pogorzelska, P. (2011). Effect of automatic and conventional milking on somatic cell count and lactation traits in primiparous cows. *Ann. Anim. Sci.*, 11, 433–441.
- Penry, J.F., Crump, P.M., Hernandez, L.L., Reiemann, D.J. (2018). Association of quarter milking measurements and cow-level factors in an automatic milking system. *J. Dairy Sci.*, 10(8), 7551–7562. DOI: [10.3168/jds.2017-14153](https://doi.org/10.3168/jds.2017-14153).
- Penry, J.F., Crump, P.M., Ruegg, P.L., Reinemann, D.J. (2017). Cow and quarter-level milking indicators and their associations with clinical mastitis in an automatic milking system. *J. Dairy Sci.*, 100, 9267–9272. DOI: [10.3168/jds.2017-12839](https://doi.org/10.3168/jds.2017-12839).
- PFHBiPM (2022). *Ocena i hodowla bydła. Dane za rok 2021* [Cattle evaluation and breeding, 2021 data]. Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka. [In Polish]
- PFHBiPM (2023). *Ocena i hodowla bydła. Dane za rok 2022* [Cattle evaluation and breeding, 2022 data]. Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka. [In Polish]
- Pritchard, T., Coffey, M., Mrode, R., Moore, K., Wall, E. (2010). Genetic Parameters of Udder Health Traits in Holstein Friesian UK Dairy Cattle. Conference: World Congress on Genetics Applied to Livestock Production At: Leipzig, Germany, Vol. 9 WCGALP.
- SAS (2022). *SAS/STAT® 9.4 User's guide*. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sitkowska, B., Aerts, J., Piwczyński, D., Pejka, B., Mroczkowski, S. (2014). Wpływ wybranych czynników na wydajność mleczną krów w robotach udojowych Effect of selected factors on milk yield of cows in milking robots. *Rocz. Nauk. Zoot.*, 41, 41–49. [In Polish]
- Sitkowska, B., Piwczyński, D., Brzozowski, M., Aerts, J. (2016). Dój ćwiartkowy w grupie krów pierwsiaków i wieloródek [Quarter milking in a group of primiparous and multiparous cows]. *Rocz. Nauk. PTZ*, 12 (4), 35–48. [In Polish]. DOI: [10.5604/01.3001.0013.5397](https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.5397).
- Solano, L., Halbach C., Bennett T.B., Cook N. B. (2022). Milking time behavior of dairy cows in a free-flow automated milking system. *JDS Communications*, 3, 426–430. DOI: [10.3168/jdsc.2022-0243](https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0243).

- Stankūnienė, V., Tacas, J., Mišeikienė, J. (2008). Dairy Farm Owner. In: Lithuanian Veterinary Academy. Milking Training Center, 32–39.
- Steenefeld, W., Vernooij, J., Hogeveen, H. (2015). Effect of sensor systems for cow management on milk production, somatic cell count, and reproduction. *J. Dairy Sci.*, 98, 3896–3905. DOI: [10.3168/jds.2014-9101](https://doi.org/10.3168/jds.2014-9101).
- 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. *Ann. Anim. Sci.*, 13, 783–795. DOI: [10.2478/aoas-2013-0053](https://doi.org/10.2478/aoas-2013-0053).
- Šlyžius, E., Juozaitienė, V., Tušas, S., Juozaitis, A., Žymantienė, J. (2013). Relation of udder quarter development with daily milk yield, composition and somatic cell count. *Vet. Med. Zoot.*, 63(85), 76–80.
- Šlyžius, E., Juozaitienė, V., Tušas, S., Juozaitis, A., Žymantienė, J. (2014). Udder quarters morphological and milking traits risk factors influencing productivity and subclinical mastitis in dairy cows. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 20 (6), 1502–1507.
- Tančin, V., Ipema, B., Hogewerf, P., Mačuhová, J. (2006). Sources of variation in milk flow characteristics at udder and quarter levels. *J. Dairy Sci.*, 89, 978–988. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72163-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72163-4).
- Tse, C., Barkema, H.W., DeVries, T.J., Rushen, J., Pajor, E.A. (2018). Impact of automatic milking systems on dairy cattle producers' reports of milking labour management, milk production and milk quality. *Animal*, 12(12), 2649–2656. DOI: [10.1017/S1751731118000654](https://doi.org/10.1017/S1751731118000654).
- Weaver, S.R., Hernandez, L.L. (2016). Autocrine-paracrine regulation of the mammary gland. *J. Dairy Sci.*, 99, 842–853. DOI: [10.3168/jds.2015-9828](https://doi.org/10.3168/jds.2015-9828).
- Weiss, D., Weinfurter, M., Bruckmaier, R.M. (2004). Teat anatomy and its relationship with quarter and udder milk flow characteristics in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 87, 3280–3289. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73464-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73464-5).
- Wright, J.B., Wall, E.H., McFadden, T.B. (2013). Effects of increased milking frequency during early lactation on milk yield and udder health of primiparous Holstein heifers. *J. Anim. Sci.*, 91, 195–202. DOI: [10.2527/jas.2012-5692](https://doi.org/10.2527/jas.2012-5692).
- Zucali, M., Bava, L., Tamburini, A., Gislón, G., Sandrucci, A. (2021). Association between Udder and Quarter Level Indicators and Milk Somatic Cell Count in Automatic Milking Systems. *Animals*, 11, 3485. DOI: [10.3390/ani11123485](https://doi.org/10.3390/ani11123485).

## UWARUNKOWANIA PRODUKCYJNOŚCI ĆWIARTEK WYMION KRÓW DOJONYCH AUTOMATYCZNIE

### STRESZCZENIE

Celem pracy była analiza wydajności mlecznej ćwiartek gruczołu mlecznego krów dojonych automatycznie, z uwzględnieniem numeru laktacji, okresu laktacji i pory roku, jak również określenie udziału poszczególnych ćwiartek (przednich i tylnych, lewych i prawych) w produkcji mleka ogółem w czasie pojedynczego doju. Analizy przeprowadzono na podstawie danych pozyskanych z jednej z ferm bydła, w której utrzymywano 280 krów rasy PHF, dojonych 4 robotami VMS. Analizowano: wydajność w czasie doju ćwiartek przednich lewych i prawych, tylnych lewych i prawych, stosunek wydajności ćwiartek przednich do tylnych i lewych do prawych. Odnotowano wzrost produktywności ćwiartek wymion w laktacjach 1–3, następnie obniżenie w 4 i ponowny wzrost u krów najstarszych. Krowy będące w laktacjach  $\geq 5$  produkowały więcej mleka niż krowy w 3 laktacji. Biorąc pod uwagę wszystkie doje jedna ćwiartka produkowała średnio 3,81 kg mleka. Wraz z zaawansowaniem laktacji odnotowano spadek mleczności wszystkich ćwiartek wymienia. Obniżenie mleczności ćwiartek gruczołu mlecznego krów w laktacji wyniosło od 1,52 kg (tylne prawe) do 1,78 kg mleka (tylne lewe) i od 1,59 kg (przednie prawe) do 1,70 kg mleka (przednie lewe). Produkcyjność poszczególnych ćwiartek wiosną, latem i jesienią była mało zróżnicowana. W miesiącach zimowych odnotowano natomiast wyraźny jej wzrost. Wraz z kolejnymi laktacjami zmniejszał się udział ćwiartek przednich w całkowitej produkcji mleka - z 46,9% u pierwiastek do 41,2% u krów  $\geq 5$  laktacji. Udział ćwiartek tylnych w produkcji mleka tym samym wzrastał. Wraz z kolejną laktacją i jej zaawansowaniem pogłębiała się dysproporcja w produktywności ćwiartek przednich i tylnych. Porównując lewą i prawą połowę wymienia w obrębie uwzględnionych czynników wykazano podobne ich wydajności.

**Słowa kluczowe:** krowy, mleko, gruczoł mleczny, ćwiartka, produkcja mleka



## **6.2 OŚWIADCZENIE AUTORÓW ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

## Oświadczenie Autora rozprawy doktorskiej

mgr inż. Iwona Kuropatwińska  
ROLHOD Sp. z o.o.  
Wąsewo

### OŚWIADCZENIE

Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionych artykułach naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej był następujący:

1. Kuropatwińska I., Bogucki M., Sawa A., Miller M. Relationships between milk electrical conductivity, daily milk yield, and milking ability of primiparous and multiparous cows. The Journal of Animal & Plant Sciences, 2020, 30, 2, 298-304, <https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.2.0044>, pkt. MNiSW: 20, Impact Factor: 0,490.

Wykonane zadania przez Doktoranta w ramach artykułu - udział 70%:

- a) opracowanie koncepcji pracy,
- b) udział w organizacji bazy danych dotyczących parametrów doju automatycznego krów,
- c) opracowanie statystyczne wyników,
- d) interpretacja wyników,
- e) współredakcja pracy.

2. Kuropatwińska I., Bogucki M. Determinants of udder quarter milk yield in automatically milked cows. Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica, 2023, 22, 3, 66-72, DOI: 10.21005/asp.2023.22.3.08, pkt. MNiSW: 70.

Wykonane zadania przez Doktoranta w ramach artykułu - udział 90%:

- a) opracowanie koncepcji pracy,
- b) udział w organizacji bazy danych dotyczących parametrów doju automatycznego krów,
- c) opracowanie statystyczne wyników,
- d) interpretacja wyników,
- e) współredakcja pracy.

Bydgoszcz, 21.06.2024

miejsowość, data

*Iwona Kuropatwińska*

.....  
Podpis Autora rozprawy doktorskiej

*Bogucki M.*

.....  
Podpis promotora

## **6.3 OŚWIADCZENIA WSPÓLAUTORÓW ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH**

## Oświadczenie Współautora

dr hab. inż. Mariusz Bogucki, prof. PBŚ  
Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt  
Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt  
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

### OŚWIADCZENIE

Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionych artykułach naukowych był następujący:

1. Kuropatwińska I., Bogucki M., Sawa A., Miller M. Relationships between milk electrical conductivity, daily milk yield, and milking ability of primiparous and multiparous cows. The Journal of Animal & Plant Sciences, 2020, 30, 2, 298-304, <https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.2.0044>, pkt. MNiSW: 20, Impact Factor: 0,490.

Wykonane zadania w ramach artykułu:

- a) współudział w nadzorze merytorycznym badań,
- b) współredakcja pracy,
- c) autor korespondencyjny.

2. Kuropatwińska I., Bogucki M. Determinants of udder quarter milk yield in automatically milked cows. Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica, 2023, 22, 3, 66-72, DOI: 10.21005/asp.2023.22.3.08, pkt. MNiSW: 70.

Wykonane zadania w ramach artykułu:

- a) współudział w nadzorze merytorycznym badań,
- b) współredakcja pracy,
- c) autor korespondencyjny.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez mgr inż. Iwonę Kuropatwińską jako część rozprawy doktorskiej opartej na zbiorze opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Bydgoszcz, 21.06.2024 r.  
miejsowość, data



.....  
podpis Współautora

## Oświadczenie Współautora

prof. dr hab. inż. Anna Sawa

### OŚWIADCZENIE

Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionym artykule naukowym był następujący:


1. Kuropatwińska I., Bogucki M., Sawa A., Miller M. Relationships between milk electrical conductivity, daily milk yield, and milking ability of primiparous and multiparous cows. The Journal of Animal & Plant Sciences, 2020, 30, 2, 298-304, <https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.2.0044>, pkt. MNiSW: 20, Impact Factor: 0,490.

Wykonane zadania w ramach artykułu:

- a) współudział w nadzorze merytorycznym badań.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionej pracy przez mgr inż. Iwonę Kuropatwińską jako część rozprawy doktorskiej opartej na zbiorze opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Bydgoszcz, 21.06.2024 r.  
miejsowość, data

  
.....  
podpis Współautora

## Oświadczenie Współautora

mgr inż. Michał Miller  
Zakład Biologii Molekularnej  
Instytut Genetyki i Hodowli Zwierząt w Jastrzębcu

### OŚWIADCZENIE

Oświadczam, iż mój wkład autorski w niżej wymienionym artykule naukowym był następujący:

1. Kuropatwińska I., Bogucki M., Sawa A., Miller M. Relationships between milk electrical conductivity, daily milk yield, and milking ability of primiparous and multiparous cows. The Journal of Animal & Plant Sciences, 2020, 30, 2, 298-304, <https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.2.0044>, pkt. MNiSW: 20, Impact Factor: 0,490.

Wykonane zadania w ramach artykułu:

- a) współdział w opracowaniu statystycznym bazy danych,
- b) współdział w interpretacji wyników.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionej pracy przez mgr inż. Iwonę Kuropatwińską jako część rozprawy doktorskiej opartej na zbiorze opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Bydgoszcz, 21.06.2024 r.  
miejsowość, data



podpis Współautora