

OCENA ZMIENNOŚCI WYDAJNOŚCI I PODSTAWOWYCH SKŁADNIKÓW MLEKA KRÓW RASY POLSKIEJ HOLSZTYŃSKO-FRYZYJSKIEJ

Ewa Salamończyk, Piotr Guliński

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach,
Wydział Agrobiotechnologii i Nauk o Zwierzętach, Instytut Zootechniki i Rybactwa,
ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce
E-mail: ewa.salamonczyk@uph.edu.pl

Abstrakt

Celem pracy była ocena zróżnicowania wydajności i poziomu podstawowych składników mleka pozyskiwanego od krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej i wskazanie zasadniczych źródeł tych zmienności. Badaniami objęto 4822 dane dotyczące dobowej użytkowości mlecznej krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej. Ocena wpływu szeregu czynników na zróżnicowanie poziomu składników mleka przeprowadzono w wyznaczonych grupach produkcyjnych, kolejnych okresach laktacji, grupach wiekowych zwierząt, grupach krów o odpowiednim poziomie mocznika i białka w mleku (MB) oraz grupach zwierząt, których mleko charakteryzowało się określonym stosunkiem tłuszczowo-białkowym (STB) i liczbą komórek somatycznych (LKS) w 1 ml. W pracy wykazano, że w rzeczywistej populacji krów miało miejsce istotne różnicowanie wydajności i składników mleka. Charakteryzujące je współczynniki zmienności wyniosły odpowiednio: dla wydajności mleka 20%, dla zawartości tłuszczu 13%, dla zawartości białka 5%, dla zawartości laktozy 13%, dla zawartości suchej masy 39%, poziomu mocznika 37% i dla liczby komórek somatycznych 223%. Zasadniczymi źródłami zmienności składników mleka były: poziom produkcyjny, stan zdrowia krów i poziom zbilansowania energii i białka w dawkach pokarmowych. W wyselekcjonowanej na potrzeby pracy subpopulacji, do której włączono wyłącznie krowy zdrowe i otrzymujące w pełni zbilansowane dawki pokarmowe, wykazano znaczące zmniejszenie zróżnicowania ocenianych cech. CV dla zawartości tłuszczu, białka, laktozy i suchej masy w poszczególnych grupach produkcyjnych charakteryzowały się wartościami wynoszącymi odpowiednio: 7, 3, 3 i 4%. W pracy wykazano, że krowy rasy phf w pełni zdrowe i żywione optymalnie produkują mleko o zbliżonym składzie chemicznym i to niezależnie od ich poziomu produkcyjnego.

Słowa kluczowe: krowy mleczne, rasa polska holsztyńsko-fryzyjska, zmienność wydajności mleka, zmienność składu mleka

Wstęp

Od czasu uzyskania technologicznych możliwości rozpoznawania składu mleka krów wiadomo, że nie jest on stały. Zmienność składu mleka opisywana w pracach naukowych, jak również wynikająca z urzędowych danych z użytkowości zwierząt stawia duże wyzwania w racjonalnej ocenie mleczności krów. Właściwą ocenę danych dotyczących zróżnicowanej użytkowości mlecznej należy uznać za element wyjściowy w pracach mających na celu dalszą poprawę jakości mleka. Jest ona szczególnie istotna dla optymalizacji stosowanych

w programach hodowlanych indeksów selekcyjnych. Umożliwia także pełną ocenę wartości odżywczej i przydatności technologicznej mleka.

Modyfikacja składu chemicznego mleka krów jest efektem występowania szeregu czynników, które na poziomie produkcyjnym konsekwentnie różnicują poziom poszczególnych jego składników. Należą do nich: pora roku (Jeness, 1988; Summer i in., 2007), wiek krowy (Guliński i in., 2003; Brzozowski i Zdziarski, 2006; Millogo i in., 2008; Tsioulpas i in., 2007), stadium laktacji (Borkowska i Januś, 2001; Millogo i in., 2008; Varga i Ishler, 2007), kondycja w okresie produkcji mleka (Rodenburg, 1992; Guliński, 2006), choroby (głównie metaboliczne i wymion) (Kitchen, 1981; Bruckmaier i in., 2004; Rajčević i in., 2003) oraz stosowane technologie żywienia (Fox i McSweeney, 1998; Bogucki, 2006). Zmiany w składzie mleka wynikają z założeń genetycznych zwierząt (ich genotypów), które odgrywają zasadniczą rolę w hormonalnej regulacji syntezy składników mleka (Gaunt, 1980; Barłowska i in., 2006; Król i in., 2011), oraz z poziomu składników pokarmowych podawanych w dawkach żywieniowych, które decydują o poziomie i jakości dostępnych dla zwierząt substancji odżywczych (Jamroz i Potkański, 2001; Bogucki, 2006). Procesy syntezy i wydzielania laktozy, białka i tłuszczu są niezależne, ale regulowane przez dostępność składników odżywczych i hormonalną kontrolę ich wykorzystania (Osorio i in., 2016). W pracy Forsbäcka i in. (2010) dotyczącej zmian w poziomie cech użytkowości mlecznej krów w kolejnych dniach laktacji, najmniejszą zmienność w poziomie cech mleka wykazano dla laktozy (0,9%), a największą w poziomie tłuszczu (7,7%). Zmiany w wielkości pozostałych ocenianych cech w kolejnych dniach laktacji, czyli dobowej wydajności białka oraz koncentracji kazeiny i białka, zamykały się w granicach 1,4–1,8%. Zmiany w dobowej wydajności mleka i LKS pomiędzy kolejnymi dniami laktacji zostały określone odpowiednio na poziomie: 7,9 i 2,0%. Według Gulińskiego i in. (2018) zmienność zawartości głównych składników mleka pochodzącego od populacji krów utrzymywanych w warunkach południowego Podlasia, mierzona wielkością współczynnika zmienności, w przypadku mocznika, laktozy, białka i tłuszczu wynosiła odpowiednio: 48,6, 5,3, 13,8 i 19,5%.

Zmienność dziennej wydajności mlecznej krów mlecznych jest dziedziczna i genetycznie związana z długowiecznością krów oraz często występującymi w stadach bydła mlecznego chorobami, takimi jak *mastitis* i ketoza (Elgersma i in., 2018). Dlatego zróżnicowanie wydajności mleka może być wykorzystane jako wskaźnik odporności w hodowli bydła mlecznego. Według tych autorów chore krowy mają zwykle niższą wydajność mleka i jednocześnie charakteryzuje się ona zwiększoną zmiennością. Najsilniejsze korelacje genetyczne (0,3–0,5) stwierdzono dla wariacji wydajności mleka i dla wskaźników oceny zdrowia wymion, ketozy oraz długowieczności krów. Na tej podstawie autorzy postawili hipotezę, że krowy o genetycznie niskiej zmienności wydajności mleka charakteryzowały się niższą zapadalnością na stany zapalne gruczołu mlekowego, ketozę oraz odznaczały się wyższą długowiecznością w porównaniu do rówieśnic, których wydajność mleka charakteryzowała się średnią zmiennością. Dlatego autorzy zmienność produkcji mleka uznali jako obiecującą cechę zwiększającą możliwości doskonalenia krów ze względu na poprawę ich odporności na występowanie powszechnie występujących chorób i długości użytkowania krów w stadach bydła mlecznego (Elgersma i in., 2018).

Celem pracy była ocena zróżnicowania wydajności i poziomu podstawowych składników mleka pozyskiwanego od krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej i wskazanie zasadniczych źródeł tych zmienności.

Material i metody

Badaniami objęto 4822 dane dotyczące dobowej użytkowości mlecznej krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyskiej (phf). Zwierzęta te były utrzymywane w 10 stadach bydła zlokalizowanych na terenie województw mazowieckiego i podlaskiego w latach 2019–2021. Badano szereg cech wydajności i jakości mleka. Były to: rzeczywista wydajność dobową mleka (kg), wydajność mleka skorygowana o zawartość tłuszczu FCM (kg), wydajność mleka skorygowana o zawartości tłuszczu i białka ECM (kg), procentowa zawartość tłuszczu, białka, laktozy, suchej masy, poziom mocznika (mg/l) i liczba komórek somatycznych (tys./1 ml). Indywidualną dobową wydajność mleka krów skorygowano na mleko o: 4% zawartości tłuszczu (FCM) według wzoru $4\% \text{ FCM} = 0,4 \times \text{wydajność mleka (kg)} + 15 \times \text{wydajność tłuszczu (kg)}$ (Gains, 1928) oraz mleko o zawartości 4% tłuszczu i 3,5% białka (ECM) przy użyciu formuły $\text{ECM} = (\text{wydajność mleka} \times (0,383 \times \% \text{ białka} + 0,242 \times \% \text{ białka} + 0,7832) / 3,1138)$ (Østergaard i in., 2003). Ponieważ rzeczywista liczba komórek somatycznych (LKS) nie spełnia warunków rozkładu normalnego, w pracy dokonano jej transformacji na logarytm naturalny (LKSLN) z jej rzeczywistej liczby.

Oceny wpływu szeregu czynników na zróżnicowanie poziomu składników mleka przeprowadzono w wyznaczonych grupach produkcyjnych, kolejnych okresach laktacji, grupach wiekowych zwierząt, grupach krów o odpowiednim poziomie mocznika i białka w mleku (MB) oraz grupach zwierząt, których mleko charakteryzowało się określonym stosunkiem tłuszczowo-białkowym (STB) i liczbą komórek somatycznych (LKS) w 1 ml. Wyróżniono trzy poziomy wydajności dobowej mleka (<20, 20–30 i >30 kg), cztery okresy laktacji, które obejmowały kolejne miesiące laktacji: 1–3, 4–6, 7–10 i 11–18; oraz cztery grupy wiekowe krów obejmujące zwierzęta, które ukończyły odpowiednio I, II, II–IV i V–XI laktację. W celu oceny wpływu poziomu zbilansowania dawek pokarmowych na zróżnicowanie cech użytkowości mlecznej, ocenianą populację krów podzielono ze względu na poziom zawartości mocznika (mg/l) i koncentrację białka (%) na 9 następujących grup (MB), dla których poziom tych cech kształtował się odpowiednio: I <150 i <3,2; II <150 i >3,6; III >250 i <3,2; IV >250 i >3,6; V 150–250 i 3,2–3,6; VI <150 i 3,2–3,6; VII >250 i 3,2–3,6; VIII 150–250 i <3,2; IX 150–250 i >3,6. Ponadto ze względu na wielkość stosunku tłuszczowo-białkowego w mleku (STB) analizowaną populację krów sklasyfikowano do trzech grup (<1,2; 1,2–1,6; >1,6). Ze względu na liczbę komórek somatycznych (LKS) zwierzęta pogrupowano w następujący sposób, tj.: których mleko zawierało <200, 200–400 i >400 tys. w 1 ml mleka. Szczegółowe dane dotyczące liczebności zwierząt w ramach poszczególnych grup przedstawiono w tabeli 1.

Zmienność analizowanych w pracy cech mleczności krów określono z wykorzystaniem: odchyłeń standardowych od średniej, współczynników zmienności i procentowych różnic pomiędzy wielkością cech określaną w stosunku do średniej ich wartości w populacji. Zróżnicowanie wydajności mleka i jego składników oceniono z wykorzystaniem analizy wariancji. Zastosowano model liniowy uwzględniający efekty poziomu produkcji, okresu laktacji, wieku krów, grup krów o odpowiednim poziomie mocznika i białka w mleku, grup poziomów STB i LKS. Wyniki poddano analizie statystycznej, stosując wieloczynnikową analizę wariancji metodą najmniejszych kwadratów. Istotność różnic między średnimi oszacowano testem Duncana na poziomie $P \leq 0,01$. Obliczenia wykonano przy użyciu procedur GLM i FREQ pakietu statystycznego SAS (SAS Institute, 2008).

Wyniki

W tabeli 1 zestawiono wyniki dotyczące kształtowania się wielkości analizowanych cech wydajności i składu mleka w analizowanej populacji. Średnia rzeczywista wydajność dobową mleka w okresie pełnej laktacji wyniosła 22,1 kg, a procentowa zawartość tłuszczu, białka, laktozy i suchej masy wyniosła odpowiednio: 4,33; 3,44; 4,74 i 13,12. Przeciętny poziom mocznika w 1 litrze i LKS w 1 ml mleka wyniosły odpowiednio: 200 mg i 470 tys. Prezentowane w tabeli 1 wyniki potwierdzają znane i szeroko opisane w literaturze specjalistycznej duże zróżnicowanie cech mleczności. W przypadku analizowanej w pracy populacji, wynik ten był efektem oddziaływania szeregu istotnych czynników środowiskowych, określonych w metodyce pracy. Dla każdej cechy wydajności i składu mleka, ocenianej w obrębie każdego z czynników tj.: poziomu produkcyjnego, okresu. Przeprowadzona analiza wariancji potwierdziła istotność tych różnic przy $P \leq 0,01$. Omawiane wyniki potwierdzają decydujące znaczenie poziomu produkcyjnego krów dla kształtowania się wydajności i składników mleka. Wzrost poziomu produkcyjnego skutkowało negatywnymi zmianami w poziomie podstawowych składników chemicznych mleka. Mleko krów charakteryzujących się najwyższym poziomem produkcyjnym (>30 kg) w porównaniu do grupy krów z najniższego poziomu wydajności (<20 kg) zawierało mniej tłuszczu, białka, laktozy i suchej masy odpowiednio o: 0,89; 0,45; 0,1 i 1,0%. Mleko od krów z najwyższej grupy produkcyjnej w porównaniu do mleka krów o najniższej wydajności zawierało ponad 40 mg mocznika więcej i odznaczało się wyższą jakością cytologiczną tj. niższą liczbą komórek somatycznych w 1 ml (o 82 tys.).

Jako właściwą należy przyjąć zatem hipotezę, że poziom produkcyjny również w przypadku dwóch kolejnych czynników, tj. okresu laktacji i wieku krów był zasadniczym powodem różnicowania cech użytkowości mlecznej krów będących w różnym wieku i w różnych okresach laktacji. Otrzymane w tej części pracy wyniki należy określić jako typowe i charakterystyczne dla populacji bydła mlecznego. Potwierdzają one dotychczasową wiedzę na temat znaczenia okresu laktacji i wieku krów dla różnicowania wydajności mlecznej krów. Jako szczególnie interesujące trzeba określić dane obrazujące zmienność użytkowości mlecznej pomiędzy grupami zwierząt w żywieniu, których stosowane były dawki pokarmowe o zróżnicowanym poziomie zbilansowania energetyczno-białkowego. Podawanie dawek z nadmiarem energii (3,6%) (grupa MB – II, IV i IX) prowadziło do spadku wydajności mleka i wzrostu zawartości tłuszczu i białka. Z kolei mleko zwierząt żywionych dawkami z nadmiarem białka (>250 mg) (grupa MB – III, IV i VII) charakteryzowało się bardzo wysokim poziomem mocznika w mleku. Prezentowane w tej części tabeli 1 wyniki wskazują na wysoko istotne statystycznie oddziaływanie grupy krów, których mleko zawierało odpowiedni poziom mocznika i białka na ocenienie cechy mleczności. W ich świetle poziom zbilansowania energii i białka w dawkach pokarmowych zaliczyć trzeba do jednego z zasadniczych źródeł zmienności cech użytkowości mlecznej krów. Wykazane duże różnice w zawartości tłuszczu i białka dla mleka charakteryzującego się różną wielkością STB uznać należy za oczywiste. Przedstawione w tabeli 1 różnice w procentowej zawartości tłuszczu i białka pomiędzy krowami podejrzanymi o kwasicę i ketozę z drugiej strony trzeba ocenić jako typowe. Wyniosły one odpowiednio: +1,62% i -0,37%. Omawiając wpływ stanu zdrowotnego gruczołu mlekowego na cechy użytkowości mlecznej, trzeba podkreślić, że dotyczył on głównie wydajności mleka i zawartości laktozy w mleku. Zwierzęta o najniższej LKS (<200 tys.) w 1 ml mleka w porównaniu do rówieśnic o najwyższej LKS (>400 tys.) odznaczały się wyższą dobową wydajnością mleka (+1,8 kg), a zawartość laktozy w mleku tych krów była wyższa o +0,19%.

Zasadniczym celem pracy była ocena zmienności cech użytkowości mlecznej w wybranej populacji krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej. W tabeli 2 i 3 przedstawiono

wielkość wybranych miar rozrzutu statystycznego analizowanych w pracy cech mleczności. Przyjmując klasyczne kryterium podziału, przedstawione w tabeli 2 współczynniki zmienności można zaliczyć do trzech grup. Pierwsza to grupa cech o małej zmienności – CV o wartości poniżej 25%. W pracy własnej do grupy cech o najmniejszej zmienności należały zawartości: tłuszczu (20%), białka (13%), laktozy (5%) i suchej masy (13%). Do drugiej grupy cech – o przeciętnej zmienności – należały cechy dobowej wydajności mleka: rzeczywista (39%), FCM (36%) i ECM (35%) oraz koncentracja mocznika (37%). Cechą zaliczaną do trzeciej grupy, odznaczającą się bardzo silną zmiennością, w ocenianej populacji okazała się liczba komórek somatycznych w 1 ml mleka. Dla tej cechy średni CV w całej populacji wyniósł 223%.

W tabeli 3 przedstawiono zmienność omawianych cech użytkowości mlecznej wyrażoną jako procentowe różnice pomiędzy rzeczywistym poziomem cechy i średnią jej wartością w całej populacji. Dane zawarte w tabeli 3 potwierdzają wysokie zróżnicowanie cech w obrębie poszczególnych źródeł ich zmienności. W ten sposób uzyskane wskaźniki wykazały, że najwyższymi procentowymi wartościami w stosunku do średniej w populacji odznaczały się następujące grupy krów: w przypadku wydajności rzeczywistej mleka (produkujące >30 kg); zawartości tłuszczu (STB>1,6); zawartości białka (II grupa krów MB); suchej masy (II i IV grupa MB); mocznika (III, IV i VIII grupa MB). Dla tak sklasyfikowanych podklas procentowe różnice w wielkości cech wyniosły odpowiednio: +66%; +28%; +17%; 8 i 8%; 50; 50 i 48%.

Poszukując przyczyny występowania opisanej wyżej wysokiej zmienności cech wydajności i składu mleka krów rasy phf, w tabelach 4 i 5 przedstawiono wyniki zróżnicowania cech wydajności i składu mleka, w wyselekcjonowanych subpopulacjach. W tabeli 4 subpopulację ograniczono do zwierząt w pełni zdrowych, czyli w których mleku znajdowało się poniżej 200 tys. elementów komórkowych w 1 ml, a stosunek tłuszczowo-białkowy wynosił 1,2–1,6. Tak przeprowadzona selekcja wykluczała wpływ występowania podstawowych schorzeń metabolicznych, kwasicy lub ketozy. W tabeli 5 subpopulację tę zawężono do grupy V MB, oznaczającej, że dawki pokarmowe stosowane w żywieniu tej grupy krów odznaczały się pełnym zbilansowaniem energetyczno-białkowym. Dane zawarte w tabelach 4 i 5 wskazują na znaczące zmniejszenie zróżnicowania cech w tak wyselekcjonowanych subpopulacjach. Przedstawione w tabeli 5 CV dla podstawowych składników mleka – tłuszczu, białka, laktozy i suchej masy w poszczególnych grupach produkcyjnych charakteryzowały się wartościami zamykającymi się w granicach 3–7%. Wykazano ponadto, że w tej subpopulacji wpływ poziomu produkcyjnego na zmienność podstawowych składników mleka okazał się nieistotny statystycznie. Omawiane w tej części pracy wyniki dają podstawę do stwierdzenia, że w badanej populacji bydła rasy phf zasadniczymi źródłami zmienności cech użytkowości mlecznej był poziom zbilansowania energetyczno-białkowego dawek pokarmowych i stan zdrowia zwierząt. Daje to też podstawę do postawienia hipotezy, że krowy rasy phf w pełni zdrowe i żywione racjonalnie produkują mleko o bardzo zbliżonym składzie chemicznym i to niezależnie od ich poziomu produkcyjnego.

Tabela 1. Wpływ badanych czynników na kształtowanie się cech użyteczności mlecznej krów
Table 1. The impact of studied factors on the formation of milk production traits in cows

Czynniki Factors	Liczba obser- wacji No. of observ- ations /n/	Wydajność dobową mleka / Daily milk yield			Cechy jakości mleka / Milk quality traits						
		Rzeczywista / Real /kg/ $\bar{x}\pm SD$	FCM /kg/	ECM /kg/	Tłuszcz Fat /%/	Białko Protein /%/	Laktoza Lactose /%/	Sucha masa Solids /%/	Mocznik Urea /mg/1/	LNLKS LNSCC	LKS - SCC /tys./1 ml/ /thous./1 ml/
Poziom produkcyjny / Production level, kg											
<20	2092	14,6 ^C ±3,4	15,9 ^C ±3,8	16,1 ^C ±3,8	4,66 ^A ±0,84	3,64 ^A ±0,47	4,69 ^C ±0,25	13,48 ^A ±2,23	186 ^C ±73	5,33 ^A ±1,2	505±1146
20-30	1950	24,2 ^B ±2,9	24,9 ^B ±3,9	24,8 ^B ±3,7	4,19 ^B ±0,77	3,32 ^B ±0,39	4,77 ^B ±0,22	12,99 ^B ±1,11	204 ^B ±70	5,15 ^B ±1,2	450±1010
>30	780	36,6 ^A ±5,5	35,2 ^A ±6,1	35,2 ^A ±5,7	3,77 ^C ±0,78	3,19 ^C ±0,33	4,79 ^A ±0,22	12,48 ^C ±0,95	226 ^A ±72	5,02 ^C ±1,3	423±840
Okres laktacji, miesiące / Lactation period, months											
1-3	1343	27,5 ^A ±8,5	27,4 ^A ±8,2	27,0 ^A ±8,1	4,11 ^C ±0,85	3,11 ^D ±0,34	4,80 ^A ±0,23	12,56 ^D ±1,82	198 ^B ±76	4,89 ^D ±1,3	414±1005
4-6	1347	22,9 ^B ±7,6	23,1 ^B ±7,1	23,1 ^B ±7,1	4,13 ^C ±0,74	3,33 ^C ±0,32	4,76 ^B ±0,22	13,40 ^B ±1,56	209 ^A ±73	5,20 ^C ±1,2	473±978
7-9	1214	19,0 ^C ±7,1	20,1 ^C ±6,9	20,2 ^C ±6,9	4,48±0,81 ^B	3,61 ^B ±0,39	4,71 ^C ±0,25	12,83 ^C ±1,67	200 ^B ±71	5,35 ^B ±1,2	487±1095
10-18	918	17,1 ^D ±7,1	18,6 ^D ±7,0	19,0 ^D ±7,1	4,72 ^A ±0,93	3,85 ^A ±0,45	4,68 ^D ±0,22	13,98 ^A ±1,28	191 ^C ±69	5,49 ^A ±1,1	522±1136
Wiek krów, ukończona laktacja / Age of cows, completed lactation											
I	1649	20,9 ^D ±7,6	21,4 ^D ±7,1	21,5 ^D ±7,1	4,31 ^B ±0,82	3,41 ^C ±0,45	4,85 ^A ±0,20	13,06 ^B ±2,00	204 ^A ±75	4,87 ^D ±1,2	328±851
II	1292	21,6 ^C ±8,8	22,5 ^C ±8,2	22,5 ^C ±8,1	4,43 ^A ±0,87	3,52 ^A ±0,47	4,73 ^B ±0,22	13,26 ^A ±1,78	196 ^B ±76	5,11 ^C ±1,2	403±878
III-IV	1433	22,9 ^B ±8,6	23,5 ^B ±8,2	23,5 ^B ±8,0	4,31 ^B ±0,91	3,43 ^B ±0,46	4,68 ^C ±0,24	13,15 ^{AB} ±1,21	198 ^B ±70	5,49 ^B ±1,3	603±1270
V-XI	448	24,8 ^A ±10,1	25,2 ^A ±9,6	25,1 ^A ±9,4	4,19 ^C ±0,78	3,35 ^D ±0,42	4,63 ^D ±0,26	12,79 ^C ±1,57	206 ^A ±68	5,84 ^A ±1,2	756±1242
Grupa krów o odpowiednim poziomie mocznika i białka w mleku (MB) / Group of cows with appropriate levels of urea and protein in milk (UP)											
I	444	23,1 ^D ±6,5	22,8 ^E ±6,7	22,2 ^D ±6,4	3,92 ^C ±0,75	2,95 ^E ±0,18	4,77 ^B ±0,25	12,16 ^D ±1,96	110 ^C ±28	4,97 ^D ±1,3	414±1036
II	443	14,9 ^B ±5,8	17,1 ^F ±6,3	17,5 ^F ±6,4	5,03 ^A ±0,85	4,01 ^A ±0,33	4,65 ^E ±0,26	14,14 ^A ±2,17	112 ^C ±23	5,58 ^A ±1,2	604±1157
III	416	27,6 ^A ±8,7	26,6 ^A ±8,1	26,2 ^A ±7,8	3,82 ^F ±0,79	2,98 ^E ±0,16	4,80 ^A ±0,22	12,36 ^C ±0,89	300 ^A ±42	4,82±1,3	333±706
IV	357	19,2 ^F ±7,6	21,3 ^F ±8,2	21,9 ^D ±8,4	4,82 ^B ±0,78	3,97 ^B ±0,32	4,70 ^{CD} ±0,21	14,13 ^A ±1,32	300 ^A ±43	5,39 ^B ±1,1	488±1084
V	796	22,9 ^D ±7,9	23,4 ^D ±7,6	23,5 ^C ±7,6	4,21 ^D ±0,69	3,40 ^D ±0,11	4,76 ^B ±0,22	12,98 ^B ±1,41	201 ^B ±27	5,22 ^C ±1,2	475±1045
VI	390	20,1 ^E ±6,8	20,7 ^G ±6,6	20,8 ^E ±6,6	4,30 ^C ±0,73	3,39 ^D ±0,10	4,72 ^C ±0,26	12,94 ^B ±1,84	112 ^C ±23	5,21 ^C ±1,3	489±1072
VII	388	24,8 ^C ±8,9	25,1 ^C ±8,5	25,2 ^B ±8,5	4,16 ^D ±0,75	3,41 ^D ±0,10	4,78 ^{AB} ±0,21	13,09 ^B ±0,79	296 ^A ±38	5,04 ^D ±1,2	403±1071
VIII	804	26,7 ^B ±8,6	26,1 ^B ±8,1	25,5 ^B ±7,8	3,89 ^E ±0,69	2,98 ^E ±0,17	4,81 ^A ±0,22	12,29 ^D ±1,36	198 ^B ±28	5,01 ^D ±1,3	405±836
IX	787	17,8 ^G ±6,7	19,9 ^H ±7,2	20,4 ^E ±7,3	4,87 ^B ±0,78	3,94 ^C ±0,29	4,69 ^D ±0,23	14,10 ^A ±1,51	200 ^B ±27	5,53 ^A ±1,1	573±1261
Stosunek tłuszczowo-białkowy (STB) / Fat-to-protein ratio (FPR)											
<1,2	1915	23,9 ^A ±9,3	22,5 ^B ±8,1	22,9 ^B ±8,2	3,71 ^C ±0,62	3,47 ^A ±0,43	4,73 ^{AB} ±0,24	12,54 ^C ±1,52	208 ^A ±72	5,29 ^A ±1,3	513±1045
1,2-1,6	2619	20,7 ^C ±7,7	22,3 ^B ±7,6	22,2 ^C ±7,5	4,65 ^B ±0,67	3,45 ^A ±0,47	4,75 ^A ±0,22	13,43 ^B ±1,75	196 ^B ±73	5,17 ^B ±1,2	467±1024
>1,6	288	22,6 ^B ±8,1	27,5 ^A ±9,8	26,2 ^A ±9,2	5,53 ^A ±0,95	3,12 ^B ±0,43	4,72 ^B ±0,28	14,06 ^A ±1,17	192 ^C ±79	5,05 ^C ±1,3	438±1244
Liczba komórek somatycznych, tys./1 ml / Somatic cell count, thous./1 ml											
<200	2682	22,7 ^A ±8,6	23,2 ^A ±8,0	23,2 ^A ±7,9	4,27 ^C ±0,84	3,37 ^C ±0,42	4,81 ^A ±0,20	13,02 ^B ±1,79	205 ^A ±75	4,32 ^C ±0,6	91±51

Zmienność składu mleka krów

200-400	988	21,4 ^B ±8,1	22,1 ^B ±7,7	22,2 ^B ±7,5	4,44 ^A ±0,87	3,53 ^A ±0,47	4,72 ^B ±0,21	13,29 ^A ±1,74	194 ^B ±72	5,62 ^B ±0,2	281±55	
>400	1152	20,9 ^C ±8,7	21,9 ^B ±8,4	22,0 ^B ±8,2	4,36 ^B ±0,91	3,51 ^B ±0,51	4,62 ^C ±0,63	13,19 ^A ±1,41	194 ^B ±68	6,93 ^A ±0,8	1512±1772	
Razem średnio Total average	/ /	4822	22,1±8,6	22,7±8,1	22,7±7,9	4,33±0,86	3,44±0,46	4,74±0,24	13,12±1,76	200±73	5,21±1,3	470±1047

Średnie w kolumnach w obrębie czynników oznaczone różnym literami różnią się istotnie przy $P \leq 0,01$.

Means within columns for factors marked with different letters differ significantly at $P \leq 0.01$.

Tabela 2. Współczynniki zmienności dla analizowanych w pracy cech użytkowości mlecznej krów (V%) z uwzględnieniem badanych czynników

Table 2. Coefficients of variation for milk yield traits (V%) analysed in the study, with consideration of determined factors

Czynniki Factors	Wydajność dobową mleka / Daily milk yield			Cechy jakości mleka / Milk quality traits						
	Rzeczywista Real /kg/	FCM /kg/	ECM /kg/	Tłuszcz / Fat / %/	Białko / Protein / %/	Laktoza / Lactose / %/	Sucha masa / Solids / %/	Mocznik / Urea mg/1/	LNLKS LNSSC	LKS /tys./1ml/ SCC /thous./1ml
	CV (%)									
Poziom produkcyjny / Production level, kg										
<20	23	24	24	18	13	5	16	39	23	1146
20-30	12	16	15	18	12	5	8	34	23	1010
>30	15	17	16	21	10	5	8	32	26	840
Okres laktacji, miesiące / Lactation period, months										
1-3	31	30	30	21	11	5	14	38	27	1005
4-6	33	31	31	18	10	5	12	35	23	978
7-9	37	34	34	18	11	5	13	36	22	1095
10-18	42	38	37	20	12	5	10	36	20	1136
Wiek krów, ukończona laktacja / Age of cows, completed lactation										
I	36	33	33	19	13	4	15	37	25	259
II	41	36	36	20	13	5	13	39	23	218
III-IV	38	35	34	21	13	5	9	35	24	211
V-XI	41	38	37	19	13	6	12	33	21	164
Grupa krów o odpowiednim poziomie mocznika i białka w mleku (MB)/ Group of cows with appropriate levels of urea and protein in milk (UP)										
I	28	29	29	19	6	5	16	25	26	250
II	39	37	37	21	8	6	15	21	22	192
III	32	30	30	21	5	5	7	14	27	212
IV	40	38	38	16	8	4	9	14	20	222
V	34	32	32	16	3	5	11	13	23	220
VI	34	32	32	17	3	6	14	21	25	219
VII	36	34	34	18	3	4	6	13	24	266
VIII	32	31	31	18	6	5	11	14	26	206
IX	38	36	36	16	7	5	11	14	20	220
Stosunek tłuszczowo-białkowy (STB) / Fat-to-protein ratio (FPR)										
<1,2	39	36	36	17	12	5	12	35	25	204
1,2-1,6	37	34	34	14	14	5	13	37	23	219
>1,6	36	36	35	17	14	6	8	41	26	284
Liczba komórek somatycznych, tys./1 ml / Somatic cell count, thous./1 ml										
<200	38	34	34	20	12	4	14	37	14	56
200-400	38	35	34	20	13	4	13	37	4	20
>400	42	38	37	21	15	14	11	35	12	117
Srednio / Average	39	36	35	20	13	5	13	37	25	223

Zmienność składu mleka krów

Tabela 3. Procentowe różnice w wydajności i wybranych cechach składu mleka z uwzględnieniem badanych czynników (poziom cechy wyrażony jako procent w stosunku do średniej jej wartości w populacji)
 Table 3. Percentage differences in milk yield and selected milk composition traits, taking into account the tested factors (trait level expressed as a percentage relative to the mean value in the population)

Czynniki Factors	Wydajność dobową mleka / Daily milk yield			Cechy jakości mleka / Milk quality traits						
	Rzeczywista/ Real /kg/	FCM /kg/	ECM /kg/	Tłuszcz /Fat %/	Białko / Protein %/	Laktoza / Lactose %/	Sucha masa / Solids %/	Mocznik / Urea /mg/l/	LNLKS LNNSC	LKS / SCC /tys./lml/ thous/l ml
Poziom produkcyjny / Production level, kg										
<20	-34	-30	-29	8	6	<0,1	3	-7	2	35
20-30	10	10	9	-3	-3	<0,1	-1	2	-1	-20
>30	66	55	55	-13	-7	<0,1	-5	13	-4	-47
Okres laktacji, miesiące / Lactation period, months										
1-3	24	21	19	-5	-10	<0,1	-4	-1	-6	-56
4-6	4	2	2	-5	-3	<0,1	2	5	0	3
7-9	-14	-11	-11	3	5	<0,1	-2	0	3	17
10-18	-23	-18	-16	9	12	<0,1	-4	-5	5	52
Wiek krów, ukończona laktacja / Age of cows, completed lactation										
I	-5	-6	-5	0	-1	<0,1	0	2	-7	-142
II	-2	-1	-1	2	2	<0,1	1	-2	-2	-67
III-IV	4	4	4	0	0	<0,1	0	-1	5	133
V-XI	12	11	11	-3	-3	<0,1	-3	3	12	286
Grupa krów o odpowiednim poziomie mocznika i białka w mleku (MB) / Group of cows with appropriate levels of urea and protein in milk (UP)										
I	5	0	-2	-9	-14	<0,1	-7	-45	-5	-56
II	-33	-25	-23	-7	17	<0,1	8	-44	7	134
III	25	17	15	-12	-13	<0,1	-6	50	-7	-137
IV	-13	-6	-4	11	15	<0,1	8	50	3	18
V	4	3	4	-3	-1	<0,1	-1	1	0	5
VI	-9	-9	-8	-1	-1	<0,1	-1	-44	0	19
VII	12	11	11	-4	-1	<0,1	0	48	-3	-67
VIII	21	15	12	-10	-13	<0,1	-6	-1	-4	-65
IX	-19	-12	-10	12	15	<0,1	7	0	6	103
Stosunek tłuszczowo-białkowy (STB) / Fat-to-protein ratio (FPR)										
<1,2	8	-1	1	-14	1	<0,1	-4	4	2	43
1,2-1,6	-6	-2	-2	7	0	<0,1	2	-2	-1	-3
>1,6	2	21	15	28	-9	<0,1	7	-4	-3	-32
Liczba komórek somatycznych, tys./1 ml / Somatic cell count, thous./1 ml										
<200	3	2	2	-1	-2	<0,1	-1	3	-17	-379
200-400	-3	-3	-2	3	3	<0,1	1	-3	8	-189
>400	-5	-4	-3	1	2	<0,1	1	-3	33	1042

Tabela 4. Wpływ poziomu produkcyjnego i poziomu zbilansowania dawek pokarmowych na kształtowanie się cech użyteczności mlecznej krów o prawidłowym stosunku tłuszczowo-białkowym w mleku (STB=1,2–1,6) oraz optymalnej liczbie komórek somatycznych (<200 tys./1 ml)

Table 4. The influence of production level and level of balanced feed rations on the development of milk yield traits in cows with a proper fat-to-protein ratio in milk (FPR=1.2–1.6) and optimal somatic cell count (<200 thous./1 ml)

Czynniki Factors	Liczba obserwacji /Number of observa- tions /n/	Wydajność dobową mleka / Daily milk yield			Cechy jakości mleka / Milk quality traits						
		Rzeczywista / Real /kg/	FCM /kg/	ECM /kg/	Tłuszcz Fat /%/	Białko Protein /%/	Laktoza Lactose /%/	Sucha masa Solids /%/	Mocznik Urea /mg/1/	LNLKS LNSCC	LKS SCC /tys./1 ml/ thous./1 ml
$\bar{x}\pm SD$											
Poziom produkcyjny, kg / Production level, kg											
<20	705	15,0 ^C ±3,0	16,8 ^C ±3,3	16,7 ^C ±3,3	4,83 ^A ±0,62	3,57 ^A ±0,43	4,81 ^B ±0,18	13,53 ^A ±0,43	190 ^C ±73	4,42 ^A ±0,68	98±50
20-30	603	23,8 ^B ±2,7	25,3 ^B ±3,2	24,9 ^B ±3,2	4,42 ^B ±0,55	3,27 ^B ±0,38	4,84 ^A ±0,19	13,20 ^B ±1,15	204 ^B ±73	4,27 ^B ±0,70	88±51
>30	184	36,3 ^A ±5,3	37,1 ^A ±5,8	36,4 ^A ±5,8	4,14 ^C ±0,48	3,11 ^C ±0,30	4,83 ^{AB} ±0,17	12,76 ^C ±0,78	222 ^A ±68	4,12 ^C ±0,84	82±51
Grupa krów o odpowiednim poziomie mocznika i białka w mleku (MB) / Group of cows with appropriate levels of urea and protein in milk (UP)											
I	145	22,6 ^C ±6,3	22,7 ^{CD} ±6,2	22,1 ^D ±6,1	4,06 ^D ±0,36	2,96 ^D ±0,18	4,85 ^A ±0,20	12,28 ^C ±2,13	109 ^C ±27	4,18 ^D ±0,72	82±49
II	119	15,5 ^H ±4,8	18,5 ^H ±5,4	18,8 ^F ±5,5	5,33 ^A ±0,61	3,96 ^A ±0,32	4,77 ^B ±0,17	14,16 ^A ±2,92	115 ^C ±20	4,49 ^{AB} ±0,66	106±51
III	139	22,6 ^A ±8,7	26,6 ^A ±8,4	25,9 ^A ±8,3	4,02 ^D ±0,37	2,98 ^D ±0,16	4,84 ^A ±0,18	12,64 ^C ±0,74	304 ^A ±48	4,15 ^D ±0,75	80±51
IV	95	18,4 ^G ±7,7	21,5 ^{EF} ±8,6	21,8 ^D ±8,8	5,18 ^B ±0,53	3,93 ^{AB} ±0,28	4,76 ^B ±0,18	14,53 ^A ±0,81	302 ^A ±45	4,55 ^A ±0,53	106±47
V	242	20,4 ^E ±6,9	22,2 ^{DE} ±7,2	22,0 ^D ±7,1	4,61 ^C ±0,35	3,40 ^C ±0,10	4,84 ^A ±0,16	13,37 ^B ±1,55	200 ^B ±27	4,36 ^{BC} ±0,62	93±49
VI	131	19,2 ^F ±5,6	21,1 ^{FG} ±6,2	20,9 ^E ±6,1	4,66 ^C ±0,37	3,40 ^C ±0,10	4,81 ^{AB} ±0,16	13,27 ^B ±2,1	113 ^C ±25	4,21 ^{CD} ±0,64	87±49
VII	105	21,5 ^D ±7,7	23,4 ^C ±8,1	23,3 ^C ±8,0	4,61 ^C ±0,37	3,42 ^C ±0,10	4,86 ^A ±0,17	13,57 ^B ±0,42	297 ^A ±40	4,21 ^{CD} ±0,66	81±45
VIII	298	25,3 ^B ±7,8	25,6 ^B ±7,7	24,9 ^B ±7,5	4,08 ^D ±0,34	2,98 ^D ±0,16	4,86 ^A ±0,20	12,40 ^C ±1,7	198 ^B ±28	4,15 ^D ±0,80	82±52
IX	218	17,3 ^H ±5,5	20,4 ^G ±6,7	20,7 ^E ±6,7	5,20 ^B ±0,46	3,92 ^B ±0,26	4,77 ^B ±0,17	14,46 ^A ±1,5	200 ^B ±26	4,59 ^A ±0,53	113±50
Razem /średnio Total /Average	1492	21,2±7,7	22,7±7,6	22,5±7,7	4,58±0,63	3,39±0,43	4,82±0,18	13,31±1,89	199±73	4,32±0,70	92±51

Średnie w kolumnach w obrębie czynników oznaczone różnymi literami różnią się istotnie przy $P\leq 0,01$ Means within columns for factors marked with different letters differ significantly at $P\leq 0.01$

Zmienność składu mleka krów

Tabela 5. Poziom cech użytkowości mlecznej krów o prawidłowym stosunku tłuszczowo-białkowym w mleku (STB=1,2–1,6), optymalnej liczbie komórek somatycznych (<200 tys./1 ml) i żywionych w pełni zbilansowanymi dawkami pokarmowymi w poszczególnych grupach produkcyjnych
 Table 5. Level of milk performance traits in cows with a proper fat-to-protein ratio in milk (FPR=1.2–1.6), optimal somatic cell count (<200 thous./1 ml), and fed fully balanced feed rations within each production group

Czynniki Factors	Liczba obserwacji / Number of observations /n/	Wydajność dobową mleka / Daily milk yield			Cechy jakości mleka / Milk quality traits							
		Rzeczywista Real /kg/	FCM /kg/	ECM /kg/	Tłuszcz Fat %/	Białko Protein %/	Laktoza Lactose %/	Sucha masa Solids %/	Mocznik Urea /mg/1/	LNLKS LNSSC	LKS SCC /tys./1 ml/ /thous./1 ml/	
		$\bar{x} \pm SD$										
		V%										
Poziom produkcyjny, kg / Production level, kg												
<20	135	15,5 ^C ±2,5 16	17,2 ^C ±2,9 16	17,1 ^C ±2,9 16	4,70 ^A ±0,35 7	3,42 ^A ±0,11 3	4,83 ^A ±0,17 3	13,32 ^A ±0,59 4	198 ^A ±27 13	4,41 ^B ±0,58 13	96±47 48	
20-30	83	23,8 ^B ±2,7 11	25,7 ^B ±2,7 10	25,6 ^B ±2,7 10	4,52 ^B ±0,35 8	3,39 ^A ±0,10 3	4,86 ^A ±0,16 3	13,45 ^A ±0,39 3	200 ^A ±28 14	4,34 ^B ±0,63 14	92±50 54	
>30	24	35,5 ^A ±4,7 13	37,7 ^A ±4,7 12	37,5 ^A ±4,6 12	4,43 ^B ±0,31 7	3,37 ^A ±0,09 2	4,84 ^A ±0,12 2	13,30 ^A ±0,49 3	209 ^A ±27 13	4,11 ^A ±0,76 18	79±53 67	
Razem/ średnio Total/Average	242	20,4±6,9 33	22,2±7,2 32	22,0±7,1 32	4,61±0,35 7	3,40±0,10 3	4,84±0,16 3	13,37±0,55 4	200±27 13	4,36±0,62 14	93±49 52	

Średnie w kolumnach oznaczone różnym literami różnią się istotnie przy P≤0,01.
 Means within columns with different letters differ significantly at P≤0.01.

Omówienie wyników

W świetle dotychczasowej wiedzy i uzyskanych w pracy wyników zróżnicowanie wydajności i składników mleka uznaje się jako typowe zjawisko występujące w populacjach bydła mlecznego. Precyzyjna odpowiedź na pytanie, jak dochodzi do wysokiej zmienności fenotypowej szeregu cech mleczności zwierząt posiadających te same genotypy, jest jedną z ważniejszych we współczesnej hodowli bydła mlecznego. Pigliucci i in. (2006) określili zmienność cech jako plastyczność fenotypową, która oznacza „zdolność poszczególnych genotypów do wytwarzania różnych fenotypów pod wpływem różnych warunków środowiskowych”. Według Lee i in. (2022) fenotypowa plastyczność opisuje zjawisko, za pomocą którego takie same genetycznie jednostki w obrębie populacji mogą różnić się od siebie środkami epigenetycznymi. W kontekście szybko zmieniających się warunków organizmy posiadające zmienne fenotypy w obrębie genetycznie podobnych populacji stwarzają możliwość przypadkowego dopasowania osobników do niepewnych warunków. Vogt (2015) podaje, że zmienność fenotypowa w populacjach jest wynikiem zmienności genetycznej i dwóch niegenetycznych źródeł zmienności, a mianowicie zmienności wywołanej środowiskiem i stochastycznej zmienności rozwojowej. Autor ten wyjaśnia, iż stochastyczna zmienność rozwojowa wywoływana jest w środowisku przez stochastyczne (losowe) zdarzenia komórkowe oraz nieliniowe mechanizmy podczas modelowania i morfogenezy.

Pélabon i in. (2020) stwierdzili, że sensowne porównanie zmienności cechy ilościowej wymaga kontrolowania zarówno wymiaru podmiotu zmiennego, jak i wymiaru czynnika generującego zmienność. Chociaż współczynnik zmienności jest często używany do mierzenia i porównywania zmienności cech ilościowych, uwzględnia on tylko wymiar tych pierwszych, a jego użycie do porównywania zmienności może czasami być niewłaściwe. Autorzy ci zwracają uwagę na potrzebę zachowania świadomości wymiarów cech i związku między średnią a odchyleniem standardowym podczas porównywania CV, nawet jeśli skale na których wyrażane są cechy, pozwalają na miarodajne obliczenie CV. Kejdowa Rysova i in. (2023) w badaniach przeprowadzonych na krowach holsztyńsko-fryzyjskich utrzymywanych w Czechach wykazali znaczne zróżnicowanie współczynników zmienności dla ocenianych w pracy składników mleka. Dla krów w okresie wczesnej laktacji wyniosły one dla procentowej zawartości tłuszczu, białka, laktozy i suchej masy odpowiednio: 60,29; 8,80; 8,01 i 13,30%. Zbliżone do uzyskanych w badaniach własnych wielkości współczynników zmienności dla składników mleka, uzyskanych z 159 360 danych dotyczących krów holsztyńsko-fryzyjskich utrzymywanych we Włoszech opisali Stocco i in. (2023). W tej pracy współczynniki zmienności dla zawartości tłuszczu, białka i laktozy wyniosły odpowiednio: 19, 11 i 4%. Lu i in. (2021) podali CV dla podstawowych składników mleka 1800 krów pierwiastek rasy holsztyńsko-fryzyjskiej w Holandii. Wyniosły one dla zawartości tłuszczu, białka i laktozy odpowiednio: 15,9 i 3%.

W świetle dostępnych danych składnikiem mleka o najwyższej zmienności jest tłuszcz. W obrębie ras bydła mlecznego występują znaczne wahania jego koncentracji (Maurice-Van Eijndhoven i in., 2013; Litwińczuk i in., 2012). Technologie żywienia to najważniejsza droga prowadząca do zmian zawartości tłuszczu mleka. Mogą one prowadzić do uzyskania zmian w modelach fermentacji lub składu tłuszczu wchłaniającego się z przewodu pokarmowego. Dobór genetyczny prowadzi do zmian zawartości tłuszczu w mleku, ale wywiera jednocześnie również wpływ na inne składniki, ponieważ istnieje duża korelacja między zawartością poszczególnych składników w mleku (Miglior i in., 2005; Bovenhuis i in., 2013). W USA najwyższą zawartością tłuszczu charakteryzuje się mleko krów rasy jersey (5,5%) i guernsey (5,0%), a najniższą produkowane przez rasę holsztyńską (3,5%) (Jenness, 1988). Na duży wpływ rasy na skład mleka wskazują wyniki badań Litwińczuka i in. (2012).

Skład mleka krów zmienia się w kolejnych ukończonych przez nie laktacjach (Fox i McSweeney, 1998; Millogo i in., 2008; Tsioulpas i in., 2007). Szczyt produkcyjny krowy osiągają w okresie pełnej dojrzałości somatycznej, zwykle pomiędzy III a V laktacją, a następnie ich wydajność mleka sukcesywnie spada (Litwińczuk i Szulc, 2005). Poziom tłuszczu w mleku jest negatywnie skorelowany z wiekiem krów. Rogers i Stewart (1982) podali, że w mleku krów na przestrzeni 5 laktacji nastąpił spadek zawartości tłuszczu o 0,2%. W populacji ocenianego bydła holsztyńskiego w USA zawartość białka mleka zmniejszała się w okresie pierwszych 5 laktacji o 0,1–0,5%, natomiast o 0,02–0,05% na przestrzeni pojedynczej laktacji (Rook i Thomas, 1980). Prowadząc podobne analizy w Polsce, Stenzel i in. (2003) wykazali wyraźny spadek procentowej zawartości tłuszczu wraz z postępującą liczbą laktacji (z 4,25% w I laktacji do 4,17% w laktacji V). Szereg autorów jako ważne źródło zmienności dla zawartości tłuszczu w mleku krów wskazuje okres laktacji (Borkowska i Januś, 2001; Millogo i in., 2008; Summer i in., 2007; Varga i Ishler, 2007). Najwyższy poziom tłuszczu znajduje się w siarze. W ciągu pierwszych dwóch miesięcy laktacji zwykle następuje spadek jego koncentracji, a od trzeciego do końca trwania laktacji ma miejsce systematyczny wzrost koncentracji tłuszczu w mleku.

Według wielu wyników badań sezon produkcji należy do istotnych czynników różnicujących poziom tłuszczu w mleku. Według Jennesa (1985) sezonowe wahania procentowej zawartości tłuszczu w mleku mogą wynosić nawet +0,45% na korzyść mleka produkowanego w miesiącach zimowych. W ocenie Litwińczuka i Szulca (2005) podaż i jakość pasz są związane z porą roku, stąd krowy najwięcej mleka wytwarzają w miesiącach wiosennych i na początku lata. Jednak wyższą zawartość składników mleka, w badaniach Barłowskiej i in. (2005), zarówno u krów rasy simentalskiej, jak i czarno-białej (cb), uzyskano w okresie żywienia zimowego. Mleko w tym czasie zawierało o 0,59% (cb) i 0,12% (rasa simentalska) więcej suchej masy w stosunku do mleka pozyskiwanego w okresie żywienia letniego. Cytowane wyniki są zgodne z rezultatami doświadczeń przeprowadzonych przez innych autorów (Borkowska i Polski, 2004; Gardzina-Mytar i in., 2008; Górską i Mróz, 2004; Litwińczuk i in., 2001; Summer i in., 2007; Varga i Ishler, 2007), w których również stwierdzano na ogół wyższy poziom poszczególnych składników w mleku w miesiącach jesienno-zimowych, zaś najniższy w okresie wiosenno-letnim.

Procent białka mleka i jego skład mogą być modyfikowane głównie przez selekcję genetyczną (Bovenhuis i in., 2013). Odziedziczalność zawartości białka w wytwarzanym mleku jest wysoka i wynosi od 0,3 do 0,7. Udział białka właściwego w mleku w niewielkim stopniu może być modyfikowany przez sposób żywienia. Całkowity procent białka w mleku można obniżyć poprzez włączenie tłuszczów do diety lub zwiększenie procentu zawartości tłuszczu mleka przez podawanie dawek pokarmowych o wysokim udziale włókna (Magan i in., 2021).

Laktoza należy do najbardziej stabilnych składników mleka krowiego. Stabilność ta wynika ze ścisłego związku jaki występuje między syntezą laktozy a ilością wody pobieranej do mleka (Alesio i in., 2021). Laktoza jest łatwo metabolizowana przez mikroorganizmy, co sprawia, że mleko należy do łatwo fermentowanych substancji. Dlatego do obniżania jej poziomu w mleku dochodzi w zasadzie wyłącznie na skutek obniżania jakości higienicznej mleka i zwiększania liczby zawartych w nim komórek somatycznych (Costa i in., 2019a; Alessio i in., 2021). Także wiek krów jest czynnikiem istotnie różnicującym poziom laktozy w mleku. Według Haile-Mariam i Pryce (2017) oraz Costy i in. (2019b) w mleku krów pierwiastek koncentracja laktozy była wyższa aniżeli w mleku krów wieloródek. Autorzy ci wykazali spadek poziomu laktozy wraz z wiekiem krów odpowiednio u bydła mlecznego hodowanego w Australii i Włoszech.

Guliński i Kłopotowska (2019) za podstawowy czynnik zmienności składników mleka uznali poziom produkcyjny zwierząt. W opinii tych autorów wzrost wydajności dobowej

krów rasy phf o 1 kg był związany ze spadkiem procentowej zawartości tłuszczu, białka i suchej masy odpowiednio o: $-0,03$; $-0,03$ i $-0,05\%$. Jednocześnie miał miejsce wzrost koncentracji laktozy o $0,004\%$.

Stany zapalne wymion i związana z nimi liczba komórek somatycznych w mleku należą do jednego z podstawowych czynników różnicujących skład chemiczny mleka krów. Wzrostowi liczby komórek somatycznych w mleku towarzyszą istotne zmiany w jego składzie chemicznym oraz spadek wydajności. Zmiany te radykalnie obniżają jego przydatność technologiczną. Skutkiem stanów zapalnych wymion jest: zmniejszenie zawartości suchej masy w mleku o $1-3\%$, zmniejszenie zawartości tłuszczu o $0,5-1,5\%$, zmniejszenie udziału kazeiny z 77 do 68% . *Mastitis* (zapalenie wymienia) zwykle powoduje znaczny spadek zawartości tłuszczu i zmiany w składzie tłuszczu mlecznego (Kitchen, 1981; Needs i Anderson, 1984; Schultz, 1977). Podkreślić trzeba, że stanom zapalnym wymion towarzyszy około 10% spadek poziomu tłuszczu. W przypadku laktozy i kazeiny spadek ten jest wyższy i wynosi około $15-18\%$ (Harmon, 1994).

Ketoza jest najczęściej występującą chorobą metaboliczną u wysokowydajnych krów mlecznych w okresie pierwszych $6-8$ tygodni laktacji (Brunner i in., 2019; Buttchereit i in., 2012; Guliński, 2019; Fiorentin i in., 2018; Januś i Borkowska, 2013). Jej zasadniczą przyczyną jest zbyt niski poziom węglowodanów strukturalnych we krwi, będący skutkiem negatywnego bilansu energetycznego w tej fazie laktacji. Niezbilansowanie energetyczne dawek pokarmowych prowadzi do uwalniania dużych ilości kwasów tłuszczowych pochodzących z zapasów tłuszczu podskórnego, co wpływa na zmniejszenie poboru suchej masy przez zwierzęta. Do głównych objawów ketozy należy pojawienie się w płynach organizmu (krwi, mleku i moczu) nadmiernej ilości tzw. ciał ketonowych (kwas β -hydroksymasłowy, kwas acetylooctowy i aceton) będących wynikiem niepełnego rozkładu kwasów tłuszczowych w wątrobie. Do podstawowych objawów wystąpienia ketozy należy także podwyższenie poziomu tłuszczu w mleku (powyżej 5%) przy jednoczesnym obniżeniu poziomu białka (poniżej $2,9\%$). Stosunek tłuszczowo-białkowy zostaje podwyższony do poziomu powyżej $1:1,4$ (Guliński, 2021).

Podsumowanie

W rzeczywistej populacji krów występuje istotne zróżnicowanie wydajności i składników mleka. Charakteryzujące je współczynniki zmienności wyniosły odpowiednio: dla wydajności mleka 20% , dla zawartości tłuszczu 13% , dla zawartości białka 5% , dla zawartości laktozy 13% , dla zawartości suchej masy 39% , poziomu mocznika 37% i dla liczby komórek somatycznych 223% . W pracy udowodniono, że zasadniczymi źródłami zmienności składników mleka były: poziom produkcyjny, stan zdrowia krów oraz poziom zbilansowania energii i białka w dawkach pokarmowych. W wyselekcjonowanej na potrzeby pracy subpopulacji, do której włączono wyłącznie krowy zdrowe i otrzymujące w pełni zbilansowane dawki pokarmowe, wykazano znaczące zmniejszenie zróżnicowania ocenianych cech. CV dla zawartości tłuszczu, białka, laktozy i suchej masy w poszczególnych grupach produkcyjnych charakteryzowały się wartościami wynoszącymi odpowiednio: 7 , 3 , 3 i 4% . Jako szczególnie interesujące należy ocenić wyniki analizy wariancji przeprowadzone w obrębie tej subpopulacji, które nie potwierdziły istotności oddziaływania poziomu produkcyjnego na poziom składników mleka. Uzyskane w pracy wyniki potwierdzają, że krowy rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej w pełni zdrowe i żywione racjonalnie produkowały mleko o bardzo zbliżonym składzie chemicznym i to niezależnie od ich poziomu produkcyjnego.

Piśmiennictwo

- Alessio D.R.M., Velho J.P., McManus C.M., Knob D.A., Vancin F.R., Veiverberg Antunes G., Busanello M., De Carli F., Thaler Neto A. (2021). Lactose and its relationship with other milk constituents, somatic cell count, and total bacterial count. *Livest. Sci.*, 252: 104678.
- Barłowska J., Litwińczuk Z., Topyła B. (2005). Parametry fizykochemiczne tłuszczu mleka krów różnych ras z okresu żywienia wiosenno-letniego. *Med. Weter.*, 61 (8): 937–939.
- Barłowska J., Litwińczuk Z., Król J., Topyła B. (2006). Technological usefulness of milk of cows of six breeds maintained in Poland relative to a lactation phase. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 15/56, SI 1: 17–22.
- Bogucki M. (2006). Żywienie krów a skład mleka. *Por. Gosp.*, 4: 38–39.
- Borkowska D., Januś E. (2001). Wpływ czynników poza genetycznych na wydajność i skład mleka oraz liczbę komórek somatycznych. *Rocz. Nauk. Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCCXLIV, Zoot.*, 53: 25–30.
- Borkowska D., Polski R. (2004). Ocena wpływu wybranych czynników na poziom mocznika i inne cechy mleka krów z gospodarstw indywidualnych. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, vol. XXII, 4, sec. EE*: 25–31.
- Bovenhuis H., Visker M.H.P., Lundèn A. (2013). Selection for milk fat and milk protein composition. *Adv. Anim. Bios.*, 4(3): 612–617.
- Bruckmaier R.M., Ontsouka C.E., Blum J.W. (2004). Fractionized milk composition in dairy cows with subclinical mastitis. *Vet. Med. Czech.*, 49(8): 283–290.
- Brunner N., Groeger S., Raposo J.C., Bruckmaier R.M., Gross J.J. (2019). Prevalence of subclinical ketosis and production diseases in dairy cows in Central and South America, Africa, Asia, Australia, New Zealand, and Eastern Europe. *Transl. Anim. Sci.*, 3(1): 84–92.
- Brzozowski P., Zdziarski K. (2006). Wpływ genotypu, wieku, stadium laktacji i wydajności mlecznej krów czarno-białych na punkt zamrażania mleka. *Med. Weter.*, 62(1): 93–95.
- Buttchereit N., Stamer E., Junge W., Thaller G. (2012). Genetic parameters for energy balance, fat/protein ratio, body condition score and disease traits in German Holstein cows. *J. Anim. Breed. Gen.*, 129: 280–288.
- Costa A., Lopez-Villalobos N., Sneddon N.W., Shalloo L., Franzoi M., De Marchi M., Penasa M. (2019a). Invited review: Milk lactose – Current status and future challenges in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 102 (7): 5883–5898.
- Costa A., Lopez-Villalobos N., Visentin G., De Marchi M., Cassandro M., Penasa M. (2019b). Heritability and repeatability of milk lactose and its relationships with traditional milk traits, somatic cell score and freezing point in Holstein cows. *Animal*, 13 (5): 909–916.
- Elgersma G.G., de Jong G., van der Linde R., Mulder H.A. (2018). Fluctuations in milk yield are heritable and can be used as a resilience indicator to breed healthy cows. *J. Dairy Sci.*, 101: 1240–1250.
- Fiorentin E.L., Zanovello S., Gato A., André L., Piovezan A.L., Alves M.V., Rocha R.X., Gonzalez F. (2018). Occurrence of subclinical metabolic disorders in dairy cows from western Santa Catarina state. Brazil. *Pesq. Vet. Bras.*, 38(4): 629–634.
- Forsbäck L., Lindmark-Månsson H., Andrèn A., Åkersedt M., Andrée L., Svennersten-Sjaunja K. (2010). Day-to-day variation in milk yield and milk composition at the udder-quarter level. *J. Dairy Sci.*, 93: 3569–3577.
- Fox P.F., McSweeney P.L.H. (1998). *Dairy Chemistry and Biochemistry*, London, Blackie Academic & Professional.

- Gains W.L. (1928). The energy basis of measuring milk yield in dairy cows. University of Illinois. Agriculture Experiment Station. Bulletin No. 308.
- Gardzina-Mytar E., Węglarz A., Felańczak A., Ormian M., Makulska J. (2008). Wydajność i skład mleka krów rasy polskiej czerwonej utrzymywanych w stadzie zachowawczym i doskonałym. *Rocz. Nauk. Zoot.*, 35(1): 3–10.
- Gaunt S.N. (1980). Genetic variation in the yields and contents of milk constituents. *Int. Dairy Fed. Bull., Document*, 125, 73.
- Górska A., Mróz B. (2004). Cechy fizyczno-chemiczne mleka towarowego w zależności od sezonu i systemu odbioru. *Zesz. Nauk. Prz. Hod.*, 74: 71–77.
- Guliński P. (2006). Praktyczne wykorzystanie oceny kondycji krów mlecznych. *Bydło*, 12: 20–22.
- Guliński P. (2019). Prevalence of selected metabolic diseases in dairy herds in eastern Poland. *Acta Sci. Pol. Zoot.*, 18(2): 31–40.
- Guliński P. (2021). Ketone bodies – causes and effects of their increased presence in cows' body fluids: A review. *Veterinary World*, 14(60): 1492–1503.
- Guliński P., Kłopotowska A. (2019). Próba opracowania metody określania typowego składu chemicznego mleka polskich krów rasy holsztyńsko-fryzyjskiej – propozycja. *Rocz. Nauk. PTZ*, 15(3): 9–21.
- Guliński P., Dobrogowska E., Niedziałek G., Mróz B. (2003). Próba określenia związków pomiędzy liczbą komórek somatycznych a wybranymi cechami użytkowości mlecznej krów. *Zesz. Nauk. Prz. Hod.*, 69: 101–110.
- Guliński P., Salamończyk E., Młynek K. (2018). *Możliwości modyfikacji składu chemicznego mleka krów: monografia*. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach.
- Haile-Mariam M., Pryce J.E. (2017). Genetic parameters for lactose and its correlation with other milk production traits and fitness traits in pasture-based production systems. *J. Dairy Sci.*, 100: 3754–3766.
- Harmon R.J. (1994). Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts. *J. Dairy Sci.*, 77: 2103–2112.
- Jamroz D., Potkański A. (2001). *Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo, Podstawy szczegółowego żywienia zwierząt*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Januś E., Borkowska D. (2013). Occurrence of ketone bodies in the urine of cows during the first three months after calving and their association with milk yield. *Arch. Anim. Breed.*, 56(1): 581–588.
- Jenness R. (1988). *Fundamentals of dairy chemistry. Composition of milk*. Springer US.
- Kejdova Rysova L., Duchacek J., Legarova, V., Gasparik M., Sebova A., Hermanova S., Codl R., Pytlik J., Stadnik L., Nejeschlebova H. (2023). Dynamics of milk parameters of quarter samples before and after the dry period on Czech farms. *Animals*, 13: 712.
- Kitchen B.J. (1981). Bovine mastitis: Milk compositional changes and related diagnostic tests. *J. Dairy Res.*, 48: 167.
- Król J., Brodziak A., Litwińczuk A. (2011). Podstawowy skład chemiczny i zawartość wybranych białek serwatkowych w mleku różnych ras i w serwatce podpuszczkowej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4, 77: 74–83.
- Lee U.J., Mortola E.N., Kim E., Long M. (2022). Evolution and maintenance of phenotypic plasticity. *Biosystems*, 222: 104791.
- Litwińczuk Z., Szulc T., (red.) (2005). *Hodowla i użytkowanie bydła*. Państwowe Wyd. Rol. i Leśne, Warszawa.
- Litwińczuk A., Litwińczuk Z., Pieróg M., Walczyna M. (2001). Właściwości fizyczne i skład chemiczny mleka towarowego. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, vol. XIX, ss. 47–55.

- Litwińczuk Z., Barłowska J., Chabuz W., Brodziak A. (2012). Nutritional value and technological suitability of milk from cows of three Polish breeds included in the genetic resources conservation programme. *Ann. Anim. Sci.*, 12: 423–432.
- Lu H., Wang Y., Bovenhuis H. (2021). Phenotypic and genetic effects of season on milk production traits in dairy cattle in the Netherlands. *J. Dairy Sci.*, 104(4): 4486–4497.
- Magan J.B., O’Callaghan T.F., Kelly A.L., McCarthy N.A. (2021). Compositional and functional properties of milk and dairy products derived from cows fed pasture or concentrate-based diets. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20: 1–32.
- Maurice-Van Eijndhoven M.H.T., Bovenhuis H., Soyeurt H., Calus M.P.L. (2013). Differences in milk fat composition predicted by mid-infrared spectrometry among dairy cattle breeds in the Netherlands. *J. Dairy Sci.*, 96(4): 2570–2582.
- Miglior F., Muir B.L., Van Doormaal B.J. (2005). Selection indices in Holstein cattle of various countries. *J. Dairy Sci.*, 88: 1255–1263.
- Millogo V., Ouédraogo G.A., Agenäs S., Svennersten-Sjaunja K. (2008). Survey on dairy cattle milk production and milk quality problems in peri-urban areas in Burkina Faso. *Afr. J. Agric. Res.*, 3(3): 215–224.
- Needs E.C., Anderson M. (1984). Lipid composition of milk from cows with experimentally induced mastitis. *J. Dairy Res.*, 51: 239.
- Osorio J.S., Lohakare J., Bionaz M. (2016). Biosynthesis of milk fat, protein, and lactose: roles of transcriptional and posttranscriptional regulation. *Physiological Genomics*, 48: 231–256.
- Østergaard S., Sorensen J.T., Houe H. (2003). A stochastic model simulating milk fever in a dairy herd. *Prev. Vet. Med.*, 58: 125–143.
- Pélabon Ch., Hilde Ch.H., Einum S., Gamelon M. (2020). On the use of the coefficient of variation to quantify and compare trait variation. *Evolution Letters*, 4-3: 180–188.
- Pigliucci M., Murren C.J., Schlichting C.D. (2006). Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation. *J. Exp. Biol.*, 209(12): 2362–2367.
- Rajčević M., Potočnik K., Levstek J. (2003). Correlations between somatic cells count and milk composition with regard to the season. *Agric. Cons. Sci.*, 68(3): 221–226.
- Rodenburg J. (1992). Body condition scoring of dairy cattle. Ontario Ministry of Agriculture and Food Fact Sheet, 411/10.
- Rogers G.L., Stewart J.A. (1982). The effects of some nutritional and non-nutritional factors on milk protein concentration and yield. *Aust. J. Dairy Technol.*, 37: 26.
- Rook J.A.F., Thomas P.C. (1980). Principles involved in manipulating the yields and concentrations of constituents in milk. *Bull. Int. Dairy Fed.*, Document, 125: 66.
- SAS Institute Inc. (2008). *Statistical Analysis System User’s Guide. Version 9.1.* SAS Institute, Cary
- Schultz L.H. (1977). Somatic cell in milk – physiological aspects and relationship to amount and composition of milk. *J. Food Prot.*, 40: 125.
- Stenzel R., Chabuz W., Ciastek K., Żelezik M. (2003). Wpływ wybranych czynników środowiskowych i genotypu na jakość i skład chemiczny mleka pozyskiwanego w gospodarstwach prywatnych Lubelszczyzny. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, XXI, 8: 55–62.
- Stocco G., Cipolat-Gotet C., Stefanon B., Zecconi A., Francescutti M., Mountricha M., Summer A. (2023). Herd and animal factors affect the variability of total and differential somatic cell count in bovine milk. *J. Anim. Sci.*, 101: 2023.
- Summer A., Sandri S., Tosi F., Franceschi P., Malacarne M., Formaggioni P., Mariani P. (2007). Seasonal trend of some parameters of the milk quality payment for Parmigiano-Reggiano cheese. *Ital. J. Anim. Sci.*, 6, suppl. 1: 475–477.

- Tsioulpas A., Grandison A.S., Lewis M.J. (2007). Changes in physical properties of bovine milk from the colostrum period to early lactation. *J. Dairy Sci.*, 90: 5012–5017.
- Varga G.A., Ishler V.A. (2007). Western Dairy Management Conference Proceedings Reno, NV March 7-9, Managing Nutrition for Optimal Milk Components, ss. 17–28.
- Vogt G. (2015). Stochastic developmental variation, an epigenetic source of phenotypic diversity with far-reaching biological consequences. *J. Biosci.*, 40: 159–204.

Zatwierdzono do druku: 19 IX 2023

ASSESSMENT OF PERFORMANCE VARIABILITY AND BASIC COMPONENTS OF MILK FROM POLISH HOLSTEIN-FRIESIAN COWS

Ewa Salamończyk, Piotr Guliński

SUMMARY

The aim of this study was to assess the performance variation and levels of key milk components obtained from Polish Holstein-Friesian (PHF) cows and identify the primary sources of these variabilities. The research encompassed 4822 data points regarding the daily milk yield of Polish Holstein-Friesian cows. The evaluation of the impact of various factors on the variation in milk component levels was conducted within designated production groups, successive lactation periods, age groups of animals, groups of cows with specific levels of urea and protein in milk (UP), and groups of animals whose milk exhibited a defined fat-to-protein ratio (FPR) and somatic cell count (SCC) per 1 ml. The study demonstrated significant diversification in performance and milk components within the actual population of cows. The coefficients of variation were as follows: 20% for milk yield, 13% for fat content, 5% for protein content, 13% for lactose content, 39% for solids content, 37% for urea level, and 223% for somatic cell count. The main sources of milk component variability were production level, cow health status, and the balance of energy and protein in feed rations. In the subpopulation selected for the purposes of this study, which exclusively included healthy cows receiving fully balanced feed rations, a significant reduction in variability of the assessed traits was observed. The coefficients of variation for fat, protein, lactose, and solids content in respective production groups were 7%, 3%, 3%, and 4%. The study demonstrated that fully healthy PHF cows, fed optimally, produce milk with a similar chemical composition regardless of their production level.

Key words: dairy cows, Polish Holstein-Friesian breed, milk yield variability, milk composition variability