

PARAMETRY GENETYCZNE DZIENNEJ WYDAJNOŚCI MLEKA, TŁUSZCZU I BIAŁKA ORAZ ZAWARTOŚCI LAKTOZY W MLEKU OSZACOWANE NA PODSTAWIE PRÓBNYCH UDOJÓW KRÓW RASY POLSKIEJ HOLSZTYŃSKO-FRYZYJSKIEJ ODMIANY CZARNO-BIAŁEJ

Emil Jesiołkiewicz¹, Ewa Ptak², Magdalena Jakiel¹

¹Institut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, Dział Genetyki i Hodowli Zwierząt, 32-083 Balice k. Krakowa

²Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Genetyki i Metod Doskonalenia Zwierząt, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

Celem pracy było oszacowanie parametrów genetycznych dziennej wydajności mleka, tłuszczu i białka oraz zawartości laktozy w mleku na podstawie udojów próbnych z 1 laktacji krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej. Wybrano 36 687 próbnych udojów 4113 krów pochodzących z 47 stad o minimalnej liczebności 30 krów w stadzie. Krowy cielily się w latach 2006–2007. Do szacowania parametrów genetycznych użyto Bayesowskiej metody próbkowania Gibbsa, wykorzystując wielocechowy model liniowy z losowymi regresjami. Krzywe laktacji modelowano za pomocą wielomianów Legendre'a stopnia czwartego. W modelu uwzględniono stały efekt stado × data próbnego udoju, stałe regresje krzywoliniowe na liczbę dni doju w obrębie podklas sezon wycielenia × klasa wieku wycielenia × grupa genetyczna oraz losowe regresje krzywoliniowe na liczbę dni doju dla efektu zwierzęcia (addytywnego genetycznego) i trwałych wpływów środowiska (permanent environment). Analizowano 4 cechy jednocześnie: wydajność mleka, tłuszczu i białka oraz zawartość laktozy w mleku. Odziedziczalność średniej dziennej zawartości laktozy oraz odziedziczalność laktacyjnej zawartości laktozy były najwyższe i wynosiły odpowiednio 0,414 (sd = 0,06) i 0,527. Odziedziczalności średniej dziennej wydajności mleka, tłuszczu i białka były równe 0,353, 0,278 i 0,303, z odchyleniem standardowym równym odpowiednio 0,047, 0,056 i 0,091, podczas gdy oszacowane odziedziczalności laktacyjnej wydajności tych cech były wyższe niż uśrednione odziedziczalności dziennej wydajności (0,401, 0,342 i 0,413 dla wydajności mleka, tłuszczu i białka). Wartości odziedziczalności dziennej wydajności każdej z analizowanych cech były najwyższe na początku i na końcu laktacji. Zawartość laktozy w mleku nie była genetycznie skorelowana z żadną z trzech cech wydajności mlecznej; współczynniki korelacji genetycznej między zawartością laktozy i wydajnością mleka, tłuszczu oraz białka równały się odpowiednio –0,046, –0,005 i –0,011, zatem selekcja prowadzona w celu zwiększenia wydajności białka i tłuszczu w mleku nie powinna wpłynąć na zmianę zawartości laktozy w mleku.

Od wielu lat było mleczne doskonalone jest w zakresie cech produkcyjnych, takich jak wydajność mleka, tłuszczu i białka. Nowe technologie przetwarzania mleka, a także preferencje konsumentów stawiają przed producentami mleka coraz większe wymagania, jeśli chodzi o jakość mleka. Walory smakowo-zapachowo-zdrowotne produktów wytworzonych z mleka w dużym stopniu zależą od jego cech organo-

leptycznych i fizykochemicznych. Z kolei te cechy są uwarunkowane poziomem takich składników mleka, jak białko, tłuszcz, sole mineralne i laktoza. Praca hodowlana prowadzona w celu pozyskiwania mleka o wysokiej jakości i przydatności technologicznej wymaga znajomości parametrów genetycznych doskonałych cech. O ile parametry genetyczne podstawowych składników mleka, takich jak białko i tłuszcz, są znane i wielokrotnie były badane, o tyle parametry genetyczne zawartości laktozy w mleku są mało znane i wymagają oszacowania.

Laktoza

Laktoza jest najważniejszym węglowodanem mleka krowiego i stanowi główny składnik suchej masy tego surowca. Średnia procentowa zawartość laktozy w mleku krowim wynosi 3,5–4,8% (Kozikowski i Przybyłowicz, 1994). We wczesnym okresie dojrzewania ssaków laktoza pokrywa około 50% ich zapotrzebowania na energię, korzystnie wpływa na wchłanianie wapnia, magnezu i fosforu oraz na lepsze wykorzystanie przez organizm witaminy D. Laktoza ma względnie mały indeks glikemiczny w porównaniu z innymi cukrami, co sprzyja regulacji wydzielania hormonów (np. insuliny, glukagonu i peptydu żołądkowo-jelitowego). Wpływa także korzystnie na regulację motoryki przewodu pokarmowego. Zawarta w niej galaktoza stanowi podstawowy element budulcowy ośrodkowego układu nerwowego (Hutyra i Iwańczak, 2009). Laktoza jest głównym regulatorem ciśnienia osmotycznego w komórce. Ma również właściwości resorpcji wody do światła pęcherzyka wydzielniczego, co prowadzi jednocześnie do kontroli nad biosyntezą mleka (Linzell i in., 1974).

W niskich temperaturach laktoza ulega krystalizacji, zmniejsza się jej rozpuszczalność, utrudniając tym samym produkcję niektórych niefermentowanych przetworów mleczarskich, takich jak lody, mleko skondensowane czy napoje na bazie serwatki. Jako cukier łatwo redukujący, ulega reakcji Maillarda i w konsekwencji powoduje zmiany organoleptyczne produktów oraz ogranicza przyswajalność składników mineralnych (Synowiecki i Maciuńska, 1999). Z drugiej strony, jako pożywka bakterii fermentujących oraz substrat w tworzeniu kwasu mlekowego laktoza jest niezbędna do produkcji fermentowanych przetworów mlecznych, takich jak jogurty, kefir i twarde sery.

Laktoza ogranicza zastosowanie serwatki oraz innych preparatów mlekozastępczych w żywieniu zwierząt, zwłaszcza koni i świń. Drób trawi laktozę wyłącznie przy udziale mikroflory jelitowej (Minakowski i in., 1998).

Parametry genetyczne

Znajomość wskaźników odziedziczalności (h^2) oraz korelacji genetycznych (r_g) między cechami pozwala na skuteczne sterowanie selekcją oraz lepsze prognozowanie jej wyników. W praktyce, korelacje genetyczne są wykorzystywane do przewidywania zmian wartości jednej cechy jeśli doskonali się cechą drugą. W innej sytuacji, gdy jedna z cech jest trudno mierzalna, można o niej wnioskować na podstawie zależności z inną, łatwą do określenia cechą (Strabel, 2006).

Niewiele jest prac na temat szacowania parametrów genetycznych, tj. odziedziczalności procentowej zawartości laktozy w mleku oraz korelacji genetycznych między laktozą a innymi składnikami mleka. Wskaźniki odziedziczalności laktozy za-

mieszczony w literaturze zagranicznej wahają się od 0,48 do 0,52–0,55 (Anderson i in., 1985; Chongkasikit i in., 2002; Miglior i in., 2007; Welper i Freeman, 1992). Neja i in. (2006) oszacowali odziedziczalność zawartości laktozy w I laktacji krów rasy hf odmiany czarno-białej na poziomie 0,29. Korelacje genetyczne między procentową zawartością laktozy w mleku a wydajnością mleka, oszacowane przez Welper i Freeman (1992), Neja i in. (2006) oraz Miglior i in. (2007), były niskie (–0,30, –0,077 i 0,096). Korelacje genetyczne między procentową zawartością laktozy a wydajnością białka i tłuszczu były nieco wyższe i ujemne (–0,21 i –0,16) (Welper i Freeman, 1992).

Cel

Celem pracy było oszacowanie parametrów genetycznych dziennej wydajności mleka, tłuszczu i białka oraz zawartości laktozy w mleku na podstawie próbných udojów pochodzących z I laktacji krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej.

Material i metody

Dane pochodziły z bazy SYMLEK i zostały udostępnione przez Polską Federację Hodowców Bydła i Producentów Mleka. Wybrano 36 687 próbných udojów z I laktacji 4113 krów. Krowy cielili się w latach 2006–2007. Próbne udoje wykonano między 6. a 305. dniem doju. Średnie wartości badanych cech podano w tabeli 1. Krowy pochodziły z 47 stad o minimalnej liczebności 30 krów w stadzie, ze średnią liczbą krów równą 87. Utworzono 1330 klas stado × data próbnego udoju (HTD – Herd × Test Date). Przyjęto dwa sezony wycielenia: IV–IX (sezon 1) i X–III (sezon 2). Ze względu na udział genów rasy holsztyńsko-fryzyjskiej (hf) krowy podzielono na 3 grupy genetyczne: <50% hf (1 grupa), 50–75% hf (2 grupa) i >75% hf (3 grupa). Utworzono cztery klasy wieku wycielenia: <18;26> (1 klasa), <27; 30> (2 klasa), <30; 34> (3 klasa) i <35; 48> (4 klasa). Liczebności krów i obserwacji w poszczególnych klasach i grupach podano w tabeli 2.

Tabela 1. Podstawowe statystyki badanych cech obliczone na podstawie 36 687 próbných udojów krów-pierwiastek

Table 1. Summary statistics calculated with use of 36,687 test-day records of primiparous cows

Cecha – Trait	\bar{x}	sd	CV	min.	maks. – max
Laktoza (%)	4,86	0,21	4,29	2,34	5,71
Lactose (%)					
Mleko (kg)	24,55	7,34	29,90	1,4	55
Milk (kg)					
Tłuszcz (kg)	0,99	0,33	33,74	0,048	3,313
Fat (kg)					
Białko (kg)	0,82	0,24	28,76	0,055	2,148
Protein (kg)					

\bar{x} – średnia arytmetyczna, sd – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności, min. – wartość minimalna, maks. – wartość maksymalna

\bar{x} – arithmetic mean, sd – standard deviation, CV – coefficient of variation, min. – minimum value, max – maximum value

Tabela 2. Liczba krów i liczba próbnych udojów zestawiona według grup genetycznych, klas wieku i sezonów wycielenia
 Table 2. Number of cows and number of test-day records by genetic group, age at calving and season of calving

	Liczba krów No. of cows	Liczba próbnych udojów No. of test-day records
Grupa genetyczna Genetic group		
1 (<50% hf)	73	650
2 (50–75% hf)	464	4185
3 (>75% hf)	3576	31852
Klasy wieku Age at calving		
1 <18;26>	2136	19072
2 <27; 30>	1225	10948
3 <31; 34>	578	5116
4 <35; 48>	174	1551
Sezon wycielenia Season of calving		
1 (IV–IX)	2070	18680
2 (X–III)	2043	18007
Razem Total	4113	36687

Zbiór rodowodowy zawierał dane sięgające dwa pokolenia wstecz. Krowy z wydajnościami miały znanych rodziców i były córkami 849 ojców i 3898 matek. Pięć matek miało zarejestrowane własne wydajności. Zbiór rodowodowy zawierał 517 grup półrodzeństwa. Zwierzęta z brakującymi informacjami o przodkach przypisano do tzw. grup nieznanymi rodziców (phantom parents) według roku urodzenia i procentowego udziału genów rasy hf.

W celu oszacowania komponentów (ko)wariancji wykorzystano wielocechowy model zwierzęcia następującej postaci:

$$y = Hh + Xb + Wp + Za + e$$

w którym:

$y = [y_p, \dots, y_d]'$ – wektor obserwacji 4 analizowanych cech: zawartości laktozy, wydajności mleka, tłuszczu i białka,

$h = [h_p, \dots, h_d]'$ – wektor stałych efektów HTD (stado \times data próbnego udoju),

$b = [b_p, \dots, b_d]'$ – wektor współczynników stałych regresji krzywoliniowych w obrębie podklasy sezon wycielenia \times klasa wieku wycielenia \times grupa genetyczna,

$p = [p_p, \dots, p_d]'$ – wektor współczynników losowych regresji krzywoliniowych dla efektu trwałych wpływów środowiska (permanent environment),

$a = [a_p, \dots, a_d]'$ – wektor współczynników losowych regresji krzywoliniowych dla efektu zwierzęcia (addytywnego genetycznego),

$e = [e_p, \dots, e_d]'$ – wektor błędów losowych.

Krzywe regresji modelowano za pomocą wielomianów Legendre'a stopnia 4. następującej postaci: $L(x) = \sum_{i=0}^4 d_i L_i(x)$, gdzie d_i – współczynnik regresji, $L_i(x)$ – wielomian i-tego stopnia, przy czym: $L_0(x) = 1$, $L_1(x) = \sqrt{3}x$, $L_2(x) = \frac{\sqrt{5}}{2}(3x^2 - 1)$
 $L_3(x) = \frac{\sqrt{7}}{2}(5x^3 - 3x)$, $L_4(x) = \frac{3}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3)$,

$x = 2 \frac{\text{dim} - \text{dim}_{\min}}{\text{dim}_{\max} - \text{dim}_{\min}} - 1$ (tzn. $x \in \langle -1, 1 \rangle$), dim – dzień doju, dim_{\min} – minimalny dzień doju ($\text{dim}_{\min} = 6$), dim_{\max} – maksymalny dzień doju ($\text{dim}_{\max} = 305$). Macierze \mathbf{H} , \mathbf{X} , \mathbf{W} , \mathbf{Z} wiążą obserwacje ze stałymi i losowymi efektami w modelu. Macierze (ko)wariancji efektów losowych w modelu miały następującą postać: $\mathbf{V}(\mathbf{p}) = \mathbf{I} \otimes \mathbf{P}_0$, $\mathbf{V}(\mathbf{a}) = \mathbf{A} \otimes \mathbf{G}_0$, $\mathbf{V}(\mathbf{e}) = \sum^+ \mathbf{R}^i$, gdzie \mathbf{A} – macierz spokrewnień addytywnych między zwierzętami, \mathbf{P}_0 i \mathbf{G}_0 – macierze (ko)wariancji między współczynnikami regresji dla efektów \mathbf{p} i \mathbf{a} , \mathbf{R}^i – macierz diagonalna, z elementami na przekątnej równymi średnim wariacjom resztowym w kolejnych dniach doju dla i-tej cechy. Symbol \otimes jest symbolem iloczynu Kroneckera, a \sum^+ jest sumą prostą macierzy.

Do szacowania komponentów (ko)wariancji użyto Bayesowskiej metody próbkowania Gibbsa. Wykorzystano program autorstwa dr. Ignacego Miształa (gibbs1f90). Wygenerowano 100 000 próbek, z których pierwsze 5000 odrzucono. Pozostałe próbki uśredniono, otrzymując macierze (ko)wariancji:

$$\hat{G} = \begin{bmatrix} \hat{G}_1 & \hat{G}_{12} & \hat{G}_{13} & \hat{G}_{14} \\ \hat{G}_{21} & \hat{G}_2 & \hat{G}_{23} & \hat{G}_{24} \\ \hat{G}_{31} & \hat{G}_{32} & \hat{G}_3 & \hat{G}_{34} \\ \hat{G}_{41} & \hat{G}_{42} & \hat{G}_{43} & \hat{G}_4 \end{bmatrix}, \hat{P} = \begin{bmatrix} \hat{P}_1 & \hat{P}_{12} & \hat{P}_{13} & \hat{P}_{14} \\ \hat{P}_{21} & \hat{P}_2 & \hat{P}_{23} & \hat{P}_{24} \\ \hat{P}_{31} & \hat{P}_{32} & \hat{P}_3 & \hat{P}_{34} \\ \hat{P}_{41} & \hat{P}_{42} & \hat{P}_{43} & \hat{P}_4 \end{bmatrix}, \hat{R}^c = \begin{bmatrix} \hat{\sigma}_{e_1}^2 & \hat{\sigma}_{e_{12}} & \hat{\sigma}_{e_{13}} & \hat{\sigma}_{e_{14}} \\ \hat{\sigma}_{e_{21}} & \hat{\sigma}_{e_2}^2 & \hat{\sigma}_{e_{23}} & \hat{\sigma}_{e_{24}} \\ \hat{\sigma}_{e_{31}} & \hat{\sigma}_{e_{32}} & \hat{\sigma}_{e_3}^2 & \hat{\sigma}_{e_{34}} \\ \hat{\sigma}_{e_{41}} & \hat{\sigma}_{e_{42}} & \hat{\sigma}_{e_{43}} & \hat{\sigma}_{e_4}^2 \end{bmatrix}$$

gdzie $\hat{G}_i, \hat{P}_i, \hat{\sigma}_{e_i}^2$ są podmacierzami wariancji i-tej cechy, a $\hat{G}_{ij}, \hat{P}_{ij}, \hat{\sigma}_{e_{ij}}$ są podmacierzami kowariancji między i-tą a j-tą cechą. Dla i-tej cechy ($i = 1, 4$) w każdym dniu doju ($\text{dim} = 6, 305$) obliczono wariancje genetyczne i środowiskowe dla efektów losowych w modelu jako: $\hat{\sigma}_{g_{i \text{ dim}}}^2 = l'_{\text{dim}} \hat{G}_i l_{\text{dim}}$, $\hat{\sigma}_{p_{i \text{ dim}}}^2 = l'_{\text{dim}} \hat{P}_i l_{\text{dim}}$, a dla wydajności laktacyjnych jako: $\hat{\sigma}_{g_{i \text{ lak}}}^2 = l'_{\text{lak}} \hat{G}_i l_{\text{lak}}$, $\hat{\sigma}_{p_{i \text{ lak}}}^2 = l'_{\text{lak}} \hat{P}_i l_{\text{lak}}$, gdzie wektor $l'_{\text{dim}} = [L_0(x), L_1(x), L_2(x), L_3(x), L_4(x)]'$

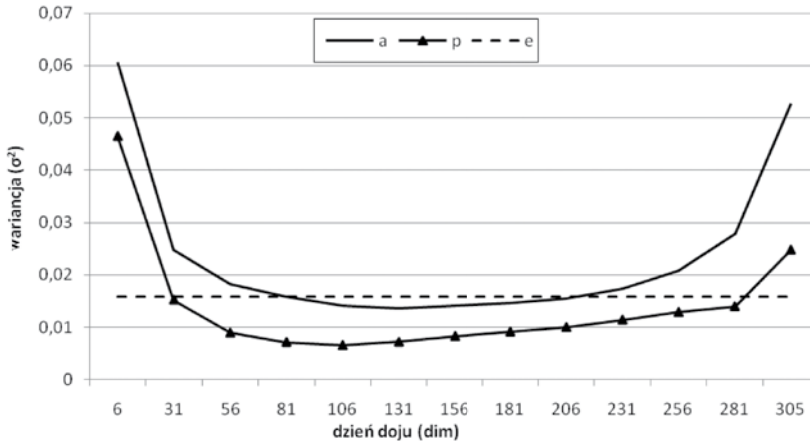
i wektor $l'_{\text{lak}} = [\sum_{i=6}^{305} L_0(x), \sum_{i=6}^{305} L_1(x), \sum_{i=6}^{305} L_2(x), \sum_{i=6}^{305} L_3(x), \sum_{i=6}^{305} L_4(x)]'$.

Kowariancje genetyczne między wydajnością laktacyjną cech c_i i c_j obliczono w następujący sposób: $\sigma_g(c_i, c_j) = l'_{\text{lak}} \hat{G}_{ij} l_{\text{lak}}$. Wartości odziedziczalności dziennej ($h_{i, \text{dim}}^2$) i laktacyjnej ($h_{i, \text{lak}}^2$) wydajności i-tej cechy oraz korelacje genetyczne między cechami wydajności laktacyjnej ($r_g(c_i, c_j)$) wyznaczono według wzorów:

$$h_{i, \text{dim}}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{g_{i \text{ dim}}}^2}{\hat{\sigma}_{g_{i \text{ dim}}}^2 + \hat{\sigma}_{p_{i \text{ dim}}}^2 + \hat{\sigma}_{e_i}^2}, h_{i, \text{lak}}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{g_{i \text{ lak}}}^2}{\hat{\sigma}_{g_{i \text{ lak}}}^2 + \hat{\sigma}_{p_{i \text{ lak}}}^2 + 300\hat{\sigma}_{e_i}^2}, r_g(c_i, c_j) = \frac{\hat{\sigma}_g(c_i, c_j)}{\sqrt{\hat{\sigma}_{g_{i \text{ lak}}}^2 \hat{\sigma}_{g_{j \text{ lak}}}^2}}$$

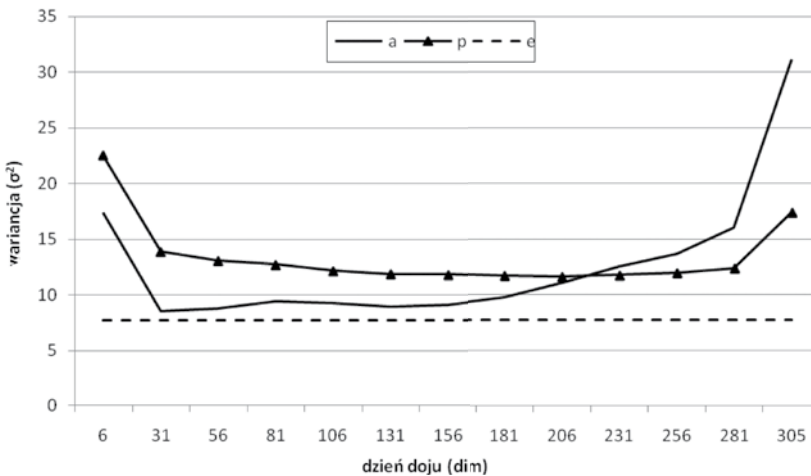
Wyniki

Na rysunkach 1–4 przedstawiono, jak zmieniały się wariancje genetyczne ($\hat{\sigma}_{gi\ dim}^2$), trwałe środowiskowe ($\hat{\sigma}_{pi\ dim}^2$) oraz wariancje resztowe ($\hat{\sigma}_{ei}^2$) dla czterech analizowanych cech w kolejnych dniach 305-dniowej laktacji. Krzywe obrazujące zmiany wariancji dla dwóch pierwszych efektów przypominały kształtem parabolę, z większymi wartościami na początku i końcu laktacji oraz w miarę wyrównanymi, mniejszymi wartościami w środkowej fazie laktacji. W modelu przyjęto stałą wartość wariancji resztowej w kolejnych dniach 305-dniowej laktacji (linia prosta).



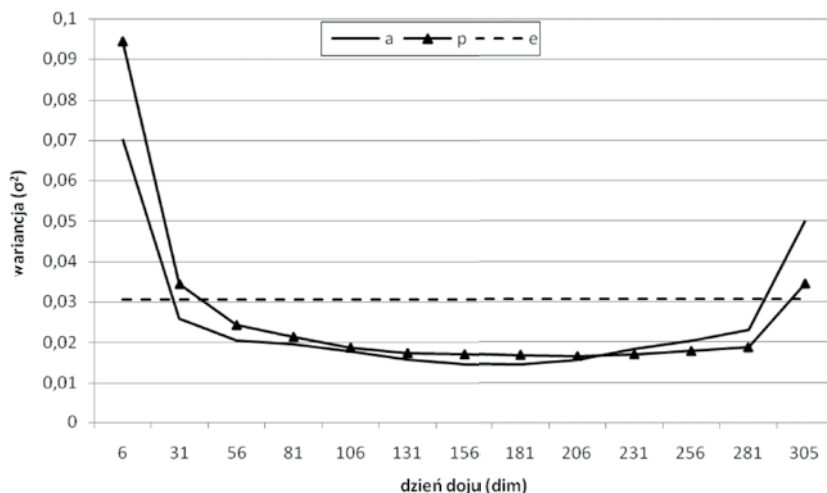
Rys. 1. Wariancje genetyczne (a), trwałych wpływów środowiska (p) i resztowe (e) dla dziennej zawartości laktozy w I laktacji krów.

Fig. 1. Genetic (a), permanent environmental (p) and residual (e) variances for daily lactose percentage of primiparous cows

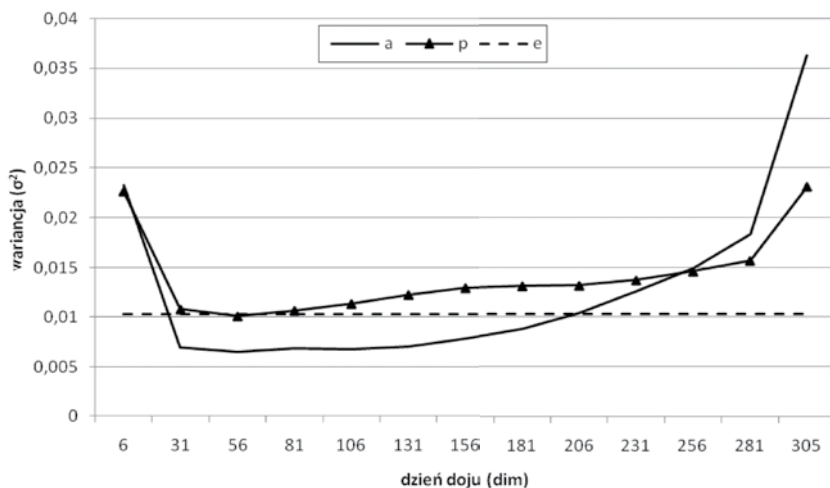


Rys. 2. Wariancje genetyczne (a), trwałych wpływów środowiska (p) i resztowe (e) dla dziennej wydajności mleka w I laktacji krów

Fig. 2. Genetic (a), permanent environmental (p) and residual (e) variances for daily milk yield of primiparous cows



Rys. 3. Wariacje genetyczne (a), trwałych wpływów środowiska (p) i resztowe (e) dla wydajności tłuszczu w I laktacji krów
 Fig. 3. Genetic (a), permanent environmental (p) and residual (e) variances for fat yield of primiparous cows



Rys. 4. Wariacje genetyczne (a), trwałych wpływów środowiska (p) i resztowe (e) dla wydajności białka w I laktacji krów
 Fig. 4. Genetic (a), permanent environmental (p) and residual (e) variances for protein yield of primiparous cows

W każdym dniu 305-dniowej laktacji wariancja genetyczna oszacowana dla zawartości laktozy w mleku była wyższa od wariancji trwałej środowiskowej (średnio o 0,0088; 57%) (rys. 1). W przypadku wydajności mleka i białka wariancja genetyczna była mniejsza niż wariancja efektu trwałego środowiskowego przez pierwsze 200 dni laktacji. W kolejnych 100 dniach laktacji sytuacja odwróciła się: wariancja

genetyczna była większa niż wariancja trwałych wpływów środowiska i w ostatnim miesiącu jej wartość rosła o wiele szybciej (rys. 2 i 4). Wariancje obu efektów: addytywnego genetycznego i trwałych wpływów środowiska oszacowane dla wydajności tłuszczu zmieniały się podobnie jak dla wydajności mleka i białka, z tym że różnice między wartościami wariancji były ledwie zauważalne w środkowej fazie laktacji, a w pierwszym miesiącu większe niż w ostatnim (rys. 3).

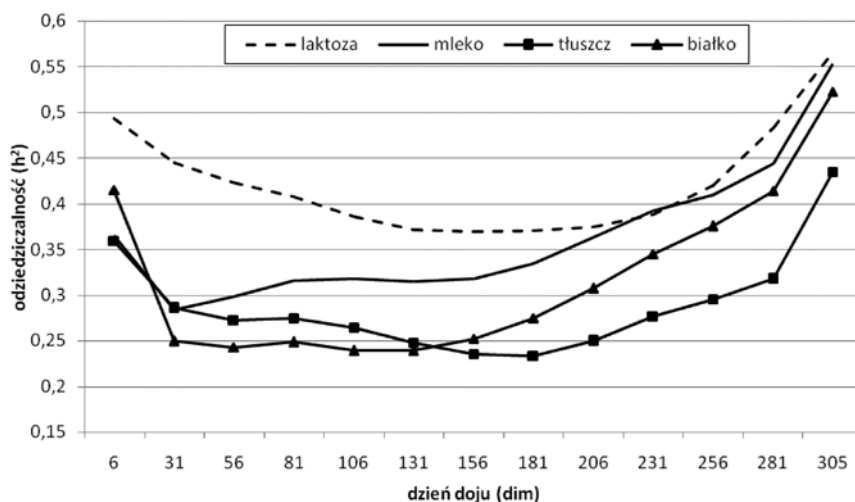
Średnie odziedziczalności dziennej zawartości laktozy, wydajności mleka, tłuszczu i białka w I laktacji wraz z wartościami granicznymi podano w tabeli 3. Średnia odziedziczalność dziennej wydajności mleka (0,353) była niższa od odziedziczalności dziennej zawartości laktozy (0,414), a wyższa od h^2 wydajności białka i tłuszczu (0,303 i 0,278, odpowiednio). Największą zmiennością charakteryzowała się odziedziczalność dziennej wydajności białka ($sd = 0,091$), a najmniejszą – dziennej wydajności mleka ($sd = 0,047$); odchylenia standardowe odziedziczalności dziennej zawartości laktozy (0,060) i tłuszczu (0,056) były podobnej wielkości. Odziedziczalności laktacyjnych wydajności wszystkich cech, oszacowane na podstawie modelu z losowymi regresjami, okazały się wyższe niż średnie h^2 cech wydajności dziennej (tab. 3).

Tabela 3. Odziedziczalność laktacyjnej (h^2_{lak}) oraz średniej dziennej (h^2_{dim}) zawartości laktozy i wydajności mleka, tłuszczu i białka wraz z odchyleniem standardowym (sd) i zakresem (min. – maks.)
Table 3. Heritabilities of lactational (h^2_{lak}) and average daily (h^2_{dim}) lactose percentage and milk, fat and protein yields (with standard deviations (sd) and ranges (min-max) for the latter)

Cecha Trait	h^2_{lak}	h^2_{dim} (sd)	min. – maks min – max.
Laktoza (%) Lactose (%)	0,527	0,414 (0,060)	0,370–0,566
Mleko (kg) Milk (kg)	0,401	0,353 (0,074)	0,284–0,554
Tłuszcz (kg) Fat (kg)	0,342	0,278 (0,056)	0,234–0,435
Białko (kg) Protein (kg)	0,413	0,303 (0,091)	0,240–0,522

Stwierdzono znaczne zróżnicowanie wartości odziedziczalności w czasie trwania laktacji, co zobrazowano na rysunku 5. Odziedziczalność zmieniała się w kolejnych dniach doju w taki sposób, że największe wartości występowały na początku i na końcu 305-dniowej laktacji, podczas gdy w środkowym stadium były mniejsze i stabilne (rys. 5).

Dzienną zawartość laktozy cechowała najwyższa odziedziczalność, której wartość zmieniała się od 0,370 w środkowej fazie laktacji do 0,566 w 305. dniu laktacji. Mniejsze wartości odziedziczalności oszacowano w przypadku dziennej wydajności mleka (od 0,286 pod koniec pierwszego miesiąca do 0,554 na końcu 305-dniowej laktacji). Wartości h^2 dziennej wydajności tłuszczu zmieniały się od 0,234 w środku laktacji do 0,435 w ostatnim dniu doju, natomiast odziedziczalność dziennej wydajności białka przyjmowała wartości od 0,240 w drugim miesiącu do 0,522 w ostatnim dniu laktacji. Każda z czterech analizowanych cech była najwyższej odziedziczalna w ostatnich dniach 305-dniowej laktacji.



Rys. 5. Odziedziczalność (h^2) dziennej zawartości laktozy, wydajności mleka, tłuszczu i białka w I laktacji krów

Fig. 5. Heritability (h^2) of daily lactose percentage and milk, fat, and protein yields of primiparous cows

Odziedziczalność dziennej zawartości laktozy i wydajności tłuszczu zmieniała się w kolejnych dniach 305-dniowej laktacji bardzo podobnie, z tym że wartości h^2 zawartości laktozy były większe niż h^2 wydajności tłuszczu o około 0,13 (rys. 5). Kształt krzywych obrazujących zmiany w odziedziczalności dziennej wydajności mleka i białka był również zbliżony, przy czym różnica między odziedziczalnością obu cech w żadnym dniu doju nie przekraczała wartości 0,08, na korzyść wydajności mleka.

Tabela 4. Wartości korelacji genetycznych między czterema badanymi cechami laktacyjnej wydajności mlecznej

Table 4. Genetic correlations among four lactational milk yield traits

Cecha Trait	Tłuszcz (kg) Fat (kg)	Białko (kg) Protein (kg)	Laktoza (%) Lactose (%)
Mleko (kg) Milk (kg)	0,581	0,638	-0,046
Tłuszcz (kg) Fat (kg)		0,675	-0,005
Białko (kg) Protein (kg)			-0,011

W tabeli 4 przedstawiono wartości korelacji genetycznej między cechami wydajności laktacyjnej. Korelacje genetyczne między zawartością laktozy a wydajnością mleka, tłuszczu lub białka były ujemne i bliskie zera, odpowiednio (-0,046, -0,005, -0,011). Zależności genetyczne między wydajnością mleka a wydajnością tłuszczu lub białka były umiarkowanej wielkości, dodatnie i wynosiły odpowiednio 0,581 i 0,638.

Omówienie wyników

Strabel i Jamrozik (2006), Strabel i in. (2005) oraz Strabel i Misztal (1999) odnotowali podobny przebieg krzywej obrazującej zmiany wartości komponentów wariacji w kolejnych dniach 305-dniowej laktacji dla trzech cech wydajności mlecznej (mleka, tłuszczu i białka), tzn. wyższe wartości w początkowej i końcowej fazie laktacji, a w miarę wyrównane i niższe – w środkowej fazie laktacji. Wariancja efektu trwałego środowiskowego (p), oszacowana przez Pool i in. (2000), zmieniła się w sposób podobny jak w tej pracy, natomiast dla wariacji addytywnej genetycznej (a) autorzy ci otrzymali odmienny kształt krzywej, tzn. mniejsze wartości na początku i końcu laktacji, a większe w środkowym jej stadium.

Odziedziczalności w kolejnych dniach 305-dniowej laktacji, przedstawione na rysunku 5, zmieniły się podobnie jak odziedziczalności dziennej wydajności cech mlecznych uzyskane przez takich autorów, jak Jamrozik i Schaeffer (1997), Strabel i Misztal (1999) oraz Kettunen i in. (2000), tzn. wszystkie cechy były wyżej odziedziczalne na początku i końcu laktacji niż w okresie środkowym. Pool i in. (2000), Strabel i Jamrozik (2006), Jakobsen i in. (2002) oraz Tijani i in. (1999) odnotowali odmienną tendencję zmian h^2 w kolejnych dniach doju, tzn. w pierwszej i końcowej fazie laktacji odziedziczalność była niższa niż w fazie środkowej. Zróżnicowany kształt krzywych, obrazujących zmiany w odziedziczalności dziennej wydajności cech mlecznych, tłumaczony jest zarówno niewielkimi zbiorami danych użytych do analizy bardzo złożonej w tym przypadku zmienności, jak również wyborem funkcji matematycznej do modelowania krzywych laktacji (Pool i in., 2000; Strabel i Jamrozik, 2006). Według Misztala i in. (2000) wartości parametrów genetycznych cech dziennej wydajności, w tym odziedziczalności, w dużym stopniu zależą od modelu liniowego zastosowanego do ich szacowania. Z kolei, badania Bormann i in. (2003) oraz Muir i in. (2007) pokazały, że różnice w kształcie krzywych przedstawiających odziedziczalność w kolejnych dniach doju zależą od poziomu wydajności krów; większe oszacowania h^2 w początkowej i końcowej fazie laktacji, a mniejsze w środkowej fazie laktacji obserwowano w stadach z relatywnie niską wydajnością, podczas gdy w stadach z wysoką wydajnością tendencja zmian w odziedziczalności była odwrotna (mniejsze wartości h^2 na początku i na końcu laktacji, a większe w środku).

Parabolicznie zmieniające się wartości odziedziczalności cech dziennej wydajności, z większymi wartościami na początku i na końcu laktacji, można tłumaczyć np. niewielką liczbą próbných udojów w tych okresach laktacji, która nie jest wystarczająca, aby dokładnie opisać dość skomplikowaną zmienność założoną w modelu liniowym dla cech wydajności dziennej oraz tym, że próby z początkowych i końcowych dni laktacji wnoszą niewiele informacji (Ptak, 2004; Strabel i Jamrozik, 2006). Wyższe wartości h^2 w pierwszych dniach laktacji mogą być także związane z czynnikiem biologicznym, tzn. zależnością między jakością i ilością mleka wyprodukowanego w pierwszych 10 dniach laktacji, czyli w okresie krytycznym dla przeżywalności cieląt, co w konsekwencji może powodować zwiększenie genetycznego komponentu wariacji w tym okresie (Jamrozik i Schaeffer, 1997).

Przedstawione w pracy odziedziczalności dziennej wydajności mleka, tłuszczu i białka w pierwszej laktacji mieściły się w granicach prezentowanych przez innych

autorów (Ptak, 2004; Jamrozik i Schaeffer, 1997; Jakobsen i in., 2002; Kettunen i in., 2000). Wartości odziedziczalności dziennej zawartości laktozy były nieznacznie niższe od wartości, jakie otrzymali Miglior i in. (2007) (średnio 0,478). Autorzy ci szacowali h^2 , stosując podobną metodę, model liniowy i dane o podobnej grupie zwierząt (pod względem liczebności i średniej wartości cechy). Wyniki badań Neja i in. (2006) oraz Chongkasikit i in. (2002) pokazały, że odziedziczalność zawartości laktozy (odpowiednio 0,261 oraz 0,238) jest dużo niższa od prezentowanej w niniejszej pracy i, co ciekawe, utrzymuje się na podobnym poziomie jak odziedziczalność mleka. Neja i in. (2006) badali populację polskiego bydła holsztyńsko-fryzyjskiego odmiany czarno-białej z rejonu Pomorza i Kujaw i zastosowali metodę REML i model zwierzęcia z losowymi regresjami, natomiast Chongkasikit i in. (2002) szacowali odziedziczalność, również metodą REML, ale w oparciu o prostszy model liniowy, bez regresji losowych.

Wydajność tłuszczu była niżej odziedziczalna niż wydajność białka, co potwierdzają wyniki innych badań (Neja i in., 2006; Miglior i in., 2007). Średnia odziedziczalność dziennej wydajności tłuszczu, równa 0,278, była zbliżona do wartości prezentowanych przez Welper i Freeman (1992), Gaunt (1973), Ptak (2004), Jakobsen i in. (2002) oraz Neja i in. (2006), a odziedziczalność wydajności białka (średnio 0,303) nie odbiegała od wartości jaką otrzymali Neja i in. (2006) oraz Stoop i in. (2007). Miglior i in. (2007), podobnie jak Jamrozik i Schaeffer (1997), oszacowali h^2 wydajności tłuszczu na poziomie 0,369–0,429, natomiast Strabel i Misztal (1999) oraz Strabel i Jamrozik (2006) – na poziomie 0,11–0,16. Odziedziczalność wydajności białka prezentowana przez ww. autorów wynosiła 0,423 i 0,39 odpowiednio.

W literaturze można znaleźć zróżnicowane oszacowania odziedziczalności dziennej wydajności mleka, przy czym wyniki prezentowane w tej pracy pozostają w zgodzie z tymi, które uzyskali Jamrozik i Schaeffer (1997), Olori i in. (1999) i Ptak (2004), stosując model z regresjami losowymi oraz Pool i in. (2000), którzy użyli modelu z funkcją kowariancji. Niższe wartości odziedziczalności dziennej wydajności mleka zaprezentowali Strabel i Jamrozik (2006) oraz Neja i in. (2006), szacując h^2 na podstawie modelu z losowymi regresjami, a także Welper i Freeman (1992) i Gaunt (1973), którzy szacowali h^2 na podstawie wydajności laktacyjnych. Miglior i in. (2007) oraz Kettunen i in. (2000) przedstawili wyższe wartości odziedziczalności wydajności mleka (powyżej 0,5).

Na podstawie udojów próbnych możliwe jest oszacowanie odziedziczalności laktacyjnej wydajności cech (Jamrozik i Schaeffer, 1997). Tak obliczona odziedziczalność jest zwykle wyższa niż h^2 , którą szacuje się przy użyciu 305-dniowych wydajności (Strabel i Misztal, 1999; Ptak, 2004). Taką tendencję zaobserwowano w tej pracy: h^2 obliczone dla laktacyjnych wydajności mleka, tłuszczu i białka oraz laktacyjnej zawartości laktozy wynosiły odpowiednio 0,401, 0,342, 0,413 i 0,527 (tab. 3). W polskiej populacji krów mlecznych odziedziczalność laktacyjnej wydajności mleka, tłuszczu i białka w pierwszej laktacji równała się odpowiednio 0,23, 0,19 i 0,17, gdy do obliczeń zastosowano model laktacyjny (Jagusiak, 1997). Strabel i Szwaczkowki (1997) uzyskali nawet mniejsze wartości odziedziczalności wydajności laktacyjnych (0,16, 0,10 i 0,11 dla mleka, tłuszczu i białka), natomiast podane przez tych autorów odziedziczalności laktacyjnych wydajności obliczone na podstawie udojów próbnych

były wyższe i wynosiły odpowiednio 0,29, 0,20 i 0,20. Ci ostatni autorzy stwierdzili, że wykorzystanie odziedziczalności oszacowanych na podstawie próbnych udojów, a dotyczących wydajności za laktację, daje możliwość efektywniejszej selekcji.

Stosunkowo silne (dodatnie) korelacje genetyczne (r_g) oszacowane między takimi cechami, jak wydajność mleka, tłuszczu i białka, potwierdzają genetyczną zależność istniejącą między wymienionymi cechami. Wyniki te są zgodne z wynikami uzyskanymi przez Miglior i in. (2007) oraz Neja i in. (2006) i nieco niższe od oszacowań Welper i Freeman (1992) (0,71 między wydajnością mleka i tłuszczu oraz 0,92 między wydajnością mleka i białka).

W analizowanej populacji polskich krów mlecznych nie stwierdzono genetycznej zależności między zawartością laktozy a wydajnością mleka i jego podstawowymi składnikami ($|r_g| < 0,05$). Welper i Freeman (1992) odnotowali również niewielkie, ujemne wartości współczynników korelacji między zawartością laktozy i cechami wydajności mlecznej (od $-0,16$ do $-0,30$), natomiast współczynnik korelacji genetycznej między zawartością laktozy i wydajnością mleka obliczony przez Miglior i in. (2007) był bliski zera ale dodatni (0,096). Ci ostatni autorzy otrzymali bardzo silną zależność genetyczną między wydajnością laktozy i mleka ($r_g = 0,98$), sugerując, że wydajność laktozy jest genetycznie tą samą cechą co wydajność mleka. Mocną genetyczną zależność między wydajnością laktozy i mleka odnotowali również Welper i Freeman (1992) ($r_g = 0,92$). Wyniki takie nie powinny dziwić, biorąc pod uwagę mechanizm biosyntezy mleka opisany przez Linzell i in. (1974), według których głównym regulatorem ciśnienia osmotycznego w pęcherzykach mlekotwórczych jest laktoza i ona kontroluje biosyntezę mleka. Laktoza pozwala na przejście wody i niektórych jonów do światła pęcherzyków, utrzymując jednocześnie odpowiednie ciśnienie między płynem pęcherzykowym a naczyniami krwionośnymi.

Reasumując, zawartość laktozy w mleku jest cechą najwyżej odziedziczalną spośród czterech analizowanych cech. Wartości odziedziczalności dziennej zawartości laktozy w mleku oraz wydajności mleka, tłuszczu i białka zmieniały się parabolicznie i były najwyższe w początkowej i końcowej fazie laktacji. W podobny sposób zmieniała się również wariancja genetyczna oraz wariancja trwałych wpływów środowiska wymienionych wyżej cech. Stwierdzono brak genetycznej zależności między wydajnością mleka, tłuszczu i białka a zawartością laktozy w mleku. Korelacje genetyczne między zawartością laktozy w mleku a wydajnością mleka, białka i tłuszczu były ujemne i bliskie zeru (odpowiednio $-0,046$, $-0,005$ i $-0,011$), zatem selekcja prowadzona na zwiększenie wydajności białka i tłuszczu w mleku nie powinna wpłynąć na zmianę zawartości laktozy w mleku. W zależności od przyjętego celu hodowlanego można wybierać zwierzęta o wysokiej, względnie niskiej wartości hodowlanej dla zawartości laktozy bez szkody dla ww. składników mleka.

Piśmiennictwo

- Anderson R.R., Collier R.J., Guidry A.J., Heald C.W., Jenness R., Larson B.L., Tucker H.A. (1985). Lactation. Iowa State Univ. Press Ames.
- Bormann J., Wiggans G.R., Druet T., Gengler N. (2003). Within-herd effects of age at test-day and lactation stage on test-day yields. *J. Dairy Sci.*, 86: 3765–3774.

- Chongkasikit N., Vearasilp T., Meulen U. ter (2002). Heritability estimates of protein %, fat %, lactose %, non fat solid and total solids of dairy cattle in Northern Thailand. (<http://www.tropentag.de/2002/abstracts/full/243.pdf>).
- Gaunt S.N. (1973). Genetic and environmental changes possible in milk composition. *J. Dairy Sci.*, 56: 270–278.
- Hutyra T., Iwańczak B. (2009). Nietolerancja laktozy: patofizjologia, objawy kliniczne, rozpoznanie i leczenie. *Pol. Merk. Lek.*, XXVI: 148–152.
- Jagusiak W. (1997). Wielocechowy model zwierzęcia w ocenie wartości hodowlanej krów. AR Kraków.
- Jakobsen J.H., Madsen P., Jensen J., Pedersen J., Christensen L.G., Sorensen D.A. (2002). Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holsteins estimated in random regression models using REML. *J. Dairy Sci.*, 85: 1607–1616.
- Jamrozik J., Schaeffer L.R. (1997). Estimates of genetic parameters for a test day model with random regressions for yield traits of first lactation Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 80: 762–770.
- Kettunen A., Mäntysaari E.A., Pösö J. (2000). Estimation of genetic parameters for daily milk yields of primiparous Ayrshire cows by random regression test-day models. *Livest. Prod. Sci.*, 66: 251–261.
- Kozikowski W., Przybyłowicz K. (1994). Wartość żywieniowa składników mleka krowiego. *Prz. Mlecz.*, 10: 256–261.
- Linzell J.L., Peaker M., Rowell J.G. (1974). Electrical conductivity of foremilk for detecting sub-clinical mastitis in cows. *J. Agric. Sci.*, 83: 309–325.
- Miglior F., Sewalem A., Jamrozik J., Lefebvre D.M., Moore R.K. (2006). Analysis of milk urea nitrogen and lactose and their effect on longevity in Canadian dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 89: 4886–4894.
- Miglior F., Sewalem A., Jamrozik J., Bohmanova J., Lefebvre D.M., Moore R.K. (2007). Genetic analysis of milk urea nitrogen and lactose and their relationships with other production traits in Canadian Holstein cattle. *J. Dairy Sci.*, 90: 2468–2479.
- Minakowski D., Lipiński K., Tywończuk J., Warمیńska-Radyko I. (1998). Suszona serwatka w żywieniu zwierząt. *Prz. Mlecz.*, 04: 119–121.
- Misztal I., Strabel T., Jamrozik J., Mäntysaari E.A., Meuwissen T.H.E. (2000). Strategies for estimating the parameters needed for different test-day models. *J. Dairy Sci.*, 83: 1125–1134.
- Muir B.L., Kistemaker G., Jamrozik J., Canavesi F. (2007). Genetic parameters for a multiple-trait multiple-lactation random regression test-day model in Italian Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 90: 1564–1574.
- Neja W., Sawa A., Piwczyński D. (2006). Wskaźniki odziedziczalności, korelacji genetycznych i fenotypowych oraz powtarzalności oszacowane dla dziennej wydajności mleka, jego składu i jakości cytologicznej w trzech pierwszych laktacjach krów rasy cb z Pomorza i Kujaw. *Pr. Mat. Zoot.*, 63: 59–68.
- Olori V.E., Hill W.G., McGuirk B.J., Brotherstone S. (1999). Estimating variance components for test day milk records by restricted maximum likelihood with a random regression animal model. *Livest. Prod. Sci.*, 61: 53–63.
- Pool M.H., Janss L.L.G., Meuwissen T.H.E. (2000). Genetic parameters of Legendre polynomials for first parity lactation curves. *J. Dairy Sci.*, 83: 2640–2649.
- Ptak E. (2004). Oszacowanie wartości genetycznej bydła mlecznego na podstawie udojów próbnych. *Zesz. Nauk. AR Kraków*, s. 298.
- Stoop W.M., Bovenhuis H., Arendonk J.A.M. van (2007). Genetic parameters for milk urea nitrogen in relation to milk production traits. *J. Dairy Sci.*, 90: 1981–1986.
- Strabel T. (2006). Genetyka cech ilościowych zwierząt w praktyce. Materiały do zajęć (<http://jay.up.poznan.pl/~strabel/dydaktyka/gci.pdf>).
- Strabel T., Jamrozik J. (2006). Genetic analysis of milk production traits of Polish Black-and-White cattle using large-scale random regression test-day models. *J. Dairy Sci.*, 89: 315–3163.
- Strabel T., Misztal I. (1999). Genetic parameters for first and second lactation milk yields of Polish Black-and-White cattle with random regression test-day models. *J. Dairy Sci.*, 82: 2805–2810.
- Strabel T., Szwaczkowski T. (1997). Additive genetic and permanent environmental variance components for test day milk traits in Black-White cattle. *Livest. Prod. Sci.*, 48: 91–98.

- Strabel T., Szyda J., Ptak E., Jamrozik J. (2005). Comparison of random regression test-day models for Polish Black and White cattle. *J. Dairy Sci.*, 88: 3688–3699.
- Synowiecki J., Maciuńska J. (1999). Laktoza w żywieniu ludzi i zwierząt. *Med. Wet.*, 08: 497–500.
- Tijani A., Wiggans G.R., Tassell C.P. van, Philpot J.C., Gengler N. (1999). Use of (co)variance functions to describe (co)variances for test day yield. *J. Dairy Sci.*, 82, p. 226.
- Welper R.D., Freeman A.E. (1992). Genetic parameters for yield traits of Holsteins, including lactose and somatic cell score. *J. Dairy Sci.*, 75: 1342–1348.

Zatwierdzono do druku 21 XI 2011

EMIL JESIOŁKIEWICZ, EWA PTAK, MAGDALENA JAKIEL

Genetic parameters for daily yield of milk, fat and protein and milk lactose content estimated based on test-day records of Polish Black-and-White Holstein-Friesian cows

SUMMARY

The objective of the study was to estimate genetic parameters for daily yield of milk, fat and protein and milk lactose content based on test-day records of primiparous Polish Black-and-White Holstein-Friesian cows. Data on 36687 test-day yields of 4113 cows originating from 47 herds with at least 30 cows per herd were selected. Cows calved from 2006 to 2007. Genetic parameters were estimated with the Bayesian Gibbs sampling method using a multitrait linear model with random regressions. Lactation curves were modelled using fourth order Legendre polynomials. The model accounted for the fixed effect of herd \times test date, fixed regressions within subclasses of calving season \times age at calving \times genetic group, and random regressions for the additive genetic and permanent environmental effects. The 4 traits analysed concurrently were yield of milk, fat and protein, and milk lactose content. Heritabilities of average daily lactose percentage and lactational lactose percentage were the highest at 0.414 (sd = 0.06) and 0.527, respectively. Heritabilities of average daily milk, fat and protein yields were 0.353, 0.278 and 0.303, with a standard deviation of 0.047, 0.056 and 0.091, respectively, whereas the estimated heritabilities of the lactational yield of these traits were higher than averaged heritabilities of daily yield (0.401, 0.342 and 0.413 for milk, fat and protein yield). Heritabilities of the daily yield of each trait analysed were the highest at the beginning and at the end of lactation. Milk lactose content was not correlated genetically with any of the three milk yield traits; the coefficients of genetic correlation between lactose content and yield of milk, fat and protein were 0.046, 0.005 and 0.011, respectively, which means that selection for increased yield of milk protein and fat should have no effect on changing milk lactose content.

Key words: genetic parameters, lactose, dairy cattle, Gibbs sampling