

**Aneta Brodziak\*, Anna Litwińczuk\*\*, Monika Kędzierska-Matysek\*\*,  
Jolanta Król\*\***

## **ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH MAKRO- I MIKROELEMENTÓW W MLEKU KRÓW RÓŻNYCH RAS I SERWATCE PODPUSZCZKOWEJ**

### **CONTENT OF SELECTED MACRO- AND MICROELEMENTS IN MILK OF DIFFERENT COWS BREEDS AND RENNET WHEY**

**Słowa kluczowe:** pierwiastki, mleko krowie, serwatka podpuszczkowa.

**Key words:** elements, cow milk, rennet whey.

*The aim of the work was the evaluation of selected macro- and microelements content in milk of three cows breeds and rennet whey obtained from its. The studies were conducted on 188 milk and whey samples, in that: 60 taken from cows of Polish Holstein-Friesian Black and White variety, 45 – Polish Holstein-Friesian Red and White variety, 47 – Simmental and 36 – Jersey. The content of selected elements, i.e. macroelements (K, Ca, Na i Mg) and microelements (Zn, Cu, Fe i Mn), was established by flameless technique of the atomic absorption spectrometry with SpectrAA280FZ spectrometer (Varian, USA) use. The obtained results were analyzed by the Statsoft Inc. Statistica ver.6 (Statsoft Inc. 2003). The lowest content of analyzed macroelements, with the exception of Ca, as well as microelements, especially Zn and Cu, was stated in milk of Jersey cows. Regardless of cows breed, a high level of K and Na was noticed in rennet whey. The biggest differences in analyzed elements concentration, between milk and whey, was observed for Ca.*

---

\* *Dr Aneta Brodziak – Katedra Hodowli i Ochrony Zasobów Genetycznych Bydła, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin; tel.: 81 445 65 94; e-mail: aneta.brodziak@up.lublin.pl*

\*\* *Prof. dr hab. Anna Litwińczuk, dr inż. Monika Kędzierska-Matysek, dr inż. Jolanta Król – Katedra Towaroznawstwa i Przetwórstwa Surowców Zwierzęcych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin; tel.: 81 445 67 84, 81 445 65 94, 81 445 68 56.*

## 1. WPROWADZENIE

Mleko oraz jego produkty stanowią źródło składników mineralnych w codziennej diecie człowieka. Makro- i mikroelementy obecne w mleku uczestniczą w podtrzymywaniu przemian metabolicznych zachodzących w organizmie ludzkim oraz wpływają na chemiczne i funkcjonalne właściwości białek mleka. Zawartość pierwiastków w mleku może bezpośrednio wskazywać na jakość surowca i przetworów mlecznych, a pośrednio na stopień zanieczyszczenia środowiska. Produkcja mleka jest bowiem ściśle powiązana ze stanem środowiska, tj. powietrza, gleby i wody, poprzez paszę spożywaną przez krowy [Scherz, Kirchhoff 2006; Malbe i in. 2010; Elsayed i in. 2011; Król i in. 2010].

Źródło pierwiastków stanowi również serwatka pozyskiwana z mleka, będąca ubocznym produktem w przemyśle mleczarskim przy produkcji serów. Rocznie w Polsce powstaje ponad milion ton serwatki. W roku 2009 produkcja serwatki wyniosła 1,1 mln ton, w tym 160 tys. ton serwatki w postaci stałej, przy ogólnej produkcji mleka 12,4 mln ton od 2585 tys. krów mlecznych [PFHBiPM 2010, IERiGŻ-PIB 2010]. Dawniej serwatkę traktowano jako odpad zanieczyszczający środowisko i najczęściej pozbywano się jej w sposób kosztowny lub wykorzystywano ją jako relatywnie niskowartościowe artykuły żywnościowe, np. jako paszę dla zwierząt. W rzeczywistości serwatka stanowi cenne źródło niewykorzystanych w pełni składników, w tym niezbędnych pierwiastków.

Dopiero od niedawna przemysł mleczarski dysponuje metodami umożliwiającymi pełniejsze zagospodarowanie serwatki lub poszczególnych białek z niej wyodrębnionych, stosując np. filtrację membranową. Optymalne zagospodarowanie tych składników w istotny sposób wpływa na zwiększenie opłacalności produkcji, a zarazem zmniejsza zagrożenie ekologiczne [Strohmaier 2004; Smithers 2008].

Celem podjętych badań była ocena zawartości wybranych makro- i mikroelementów w mleku krów trzech ras i w uzyskanej z niego serwatce podpuszczkowej.

## 2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono w latach 2007–2009 w 17 gospodarstwach utrzymujących krowy trzech podstawowych ras mlecznych w Polsce: polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, odmiany czarno- i czerwono-białej; jersey oraz simentalskiej.

Krowy wszystkich ras utrzymywano w systemie intensywnym, w oborach wolnostanowiskowych, tzn. w ciągu całego roku we wszystkich gospodarstwach żywienie krów prowadzono według pełnoporcjowego systemu TMR (ang. total mixed ration).

Próbki mleka pobierano indywidualnie od każdej krowy w czasie próbnego udoju. Badaniem objęto łącznie 188 próbek mleka, z czego 60 pochodziło od krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, odmiany czarno-białej, 45 – od krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, odmiany czerwono-białej, 47 – krów rasy simentalskiej oraz 36 – rasy jersey.

Próbki (50 cm<sup>3</sup>) pobierano do jałowych pojemników z tworzywa sztucznego [AOAC 2000a] i przewożono do laboratorium Katedry Towaroznawstwa i Przetwórstwa Surowców Zwierzęcych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Do momentu wykonania analiz próbki mleka przechowywano w temp. -24°C. W celu wydzielenia serwatki, po rozmrożeniu oraz wymieszaniu, z każdej próbki odmierzano 30 cm<sup>3</sup> mleka i przeprowadzano enzymatyczną koagulację kazein za pomocą podpuszczki (Fromase® 220TL Granulate, DSM Food Specialities, Francja). Następnie 0,5 g każdej próbki mleka i serwatki poddawano mineralizacji w 220°C, przez 15 minut, w obecności mieszaniny kwasu HNO<sub>3</sub> i HCl (POCh, Polska), zgodnie ze standardami AOAC [2000b] i PN-EN 14084:2004 [2004]. Uzyskane mineralizaty rozcieńczano wodą dejonizowaną do objętości 50 cm<sup>3</sup> i poddawano analizie, jednocześnie ze „ślepą próbką”.

Zawartość wybranych składników mineralnych, tj. makroelementów (K, Ca, Na i Mg) oraz mikroelementów (Zn, Cu, Fe i Mn) oznaczono techniką płomieniową atomowej spektrometrii absorpcyjnej, z wykorzystaniem spektrometru SpectrAA280FZ (Varian, USA). Analizy zostały przeprowadzone w Centralnym Laboratorium Agroekologicznym Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie stosując program StatSoft Inc. Statistica ver. 6 (Statsoft Inc. 2003), na podstawie jednoczynnikowej analizy wariancji. Istotne różnice pomiędzy średnimi w grupach określono stosując test Tukeya dla różnych liczebności, przy poziomie istotności  $p \leq 0,05$  i  $p \leq 0,01$ .

### 3. WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że najmniejsza zawartość analizowanych makroelementów – z wyjątkiem Ca – charakteryzowało mleko pozyskane od krów rasy jersey. Najwyższy poziom K i Na stwierdzono w mleku krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, odmiany czarnobiałej – odpowiednio: 1310,5 mg/dm<sup>3</sup> ( $p \leq 0,05$ ) i 413,9 mg/dm<sup>3</sup>. Potwierdziły to badania Barłowskiej [2007], która oceniając mleko krów siedmiu ras wykazała najwyższe stężenie K w mleku krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, odmiany czarnobiałej (1258,6 mg/dm<sup>3</sup>). Rodríguez i in. [2001] stwierdzili znacznie większą koncentrację K (o 113,5 mg/dm<sup>3</sup>) i Na (o 120,1 mg/dm<sup>3</sup>) w mleku krów rasy holsztyńskiej utrzymywanych na Wyspach Kanaryjskich niż koncentracja K w mleku krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, odmiany czarnobiałej. Sola-Larrañaga i Navarro-Blasco [2009] natomiast wykazali, że mleko krów utrzymywanych w Hiszpanii zawierało 1344 mg/dm<sup>3</sup> K i 372 mg/dm<sup>3</sup> Na.

Mleko pozyskane od krów rasy simentalskiej zawierało natomiast najwięcej Ca (1022,5 mg/dm<sup>3</sup> przy  $p \leq 0,05$ ) i Mg (134,0 mg/dm<sup>3</sup>) (tab. 1). Potwierdzenie tego stanowią badania Gregi i in. [2000], którzy także wykazali, że mleko krów rasy simentalskiej stanowiło najcenniejsze źródło Ca (138,25 mg%). Król i in. [2010] odnotowali natomiast, że mleko krów tej

**Tabela 1.** Zawartość wybranych makro- i mikroelementów, mg/dm<sup>3</sup> w mleku ocenianych ras krów (średnia±błąd standardowy średniej)  
**Table 1.** Macro- and microelements content, mg/dm<sup>3</sup> in milk of analyzed cows' breeds (mean±mean standard error)

Rasa	n	Makroelementy				Mikroelementy				
		K	Ca	Na	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	
Polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarnobiałej	60	1310,5±40,3 <sup>b</sup>	919,0±14,4 <sup>a</sup>	413,9±20,9	127,9±3,0	3,46±0,17 <sup>A</sup>	0,058±0,004 <sup>B</sup>	0,063±0,004 <sup>A</sup>	0,100±0,007 <sup>B</sup>	
Polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czerwonobiałej	45	1257,0±50,4 <sup>ab</sup>	977,5±31,3 <sup>ab</sup>	383,4±14,5	128,3±3,7	6,59±0,66 <sup>B</sup>	0,040±0,002 <sup>A</sup>	0,102±0,009 <sup>B</sup>	0,083±0,013 <sup>AB</sup>	
Simentalska	47	1159,5±30,7 <sup>a</sup>	1022,5±26,6 <sup>b</sup>	394,2±17,8	134,0±3,0	7,63±0,40 <sup>B</sup>	0,042±0,002 <sup>A</sup>	0,233±0,015 <sup>C</sup>	0,051±0,006 <sup>A</sup>	
Jersey	36	1046,5±71,1 <sup>a</sup>	967,0±65,1 <sup>ab</sup>	328,7±20,5	124,3±7,4	7,99±0,34 <sup>B</sup>	0,056±0,005 <sup>AB</sup>	0,156±0,009 <sup>B</sup>	0,087±0,008 <sup>AB</sup>	
Ogółem	188	1233,4±23,5	965,4±13,6	393,3±10,4	129,3±1,8	5,76±0,25	0,048±0,002	0,126±0,007	0,082±0,005	

**Objaśnienia:** a, b, A, B, C – różnice pomiędzy rasami; a, b – różnice istotne przy p≤0,05; A, B, C – różnice istotne przy p≤0,01.

**Tabela 2.** Zawartość makroelementów, mg/dm<sup>3</sup> w serwatce podpuszczkowej uzyskanej z mleka ocenianych ras krów (średnia±błąd standardowy średniej)

**Table 2.** Macroelements content, mg/dm<sup>3</sup> in rennet whey obtained from milk of analyzed cows' breeds (mean±mean standard error)

Rasa	n	K	Ca	Na	Mg
Polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarnobiałej	60	1160,6±38,3 <sup>b</sup>	518,6±24,4 <sup>A</sup>	403,5±24,3 <sup>b</sup>	118,6±10,2
Polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czerwonobiałej	45	1121,0±24,3 <sup>b</sup>	581,4±26,0 <sup>AB</sup>	359,2±18,3 <sup>ab</sup>	104,8±15,2
Simentalska	47	1003,8±30,5 <sup>ab</sup>	634,5±31,1 <sup>B</sup>	379,7±17,6 <sup>b</sup>	122,7±12,6
Jersey	36	920,5±28,2 <sup>b</sup>	594,7±17,8 <sup>AB</sup>	315,1±20,1 <sup>a</sup>	119,2±11,0
Ogółem	188	1045,5±27,2	597,5±23,9	362,7±25,8	115,2±14,0

**Objaśnienia:** a, b, A, B – różnice pomiędzy rasami; a, b – różnice istotne przy p≤0,05; A, B – różnice istotne przy p≤0,01.

rasy utrzymywanych systemem tradycyjnym zawierało, w porównaniu do mleka produkowanego systemem intensywnym, więcej Ca (średnio o 125,2 mg/dm<sup>3</sup>) i Mg (średnio o 22,4 mg/dm<sup>3</sup>). Zdaniem Barłowskiej [2007] jednakże największa zawartość omawianych makroelementów charakteryzowała mleko pozyskane od krów rasy jersey. Martino i in. [2001] podają, że mleko krów utrzymywanych na terenie Hiszpanii zawierało średnio 112 mg/dm<sup>3</sup> Mg oraz 1187 mg/dm<sup>3</sup> Ca. W mleku ocenianym przez Rodrígueza i in. [2001] zawartość Ca wahała się od 1196 do 2236 mg/dm<sup>3</sup>, a Mg od 71,5 do 159,0 mg/dm<sup>3</sup>, w mleku analizowanym przez Sola-Larrañaga i Navarro-Blasco [2009] zaś wynosiła odpowiednio: od 760 do 1380 mg/dm<sup>3</sup> oraz od 69,4 do 126,4 mg/dm<sup>3</sup>.

Cennym źródłem mikroelementów, a zwłaszcza Zn i Cu, okazało się mleko pozyskane od krów rasy jersey (tab. 1). W porównaniu do mleka zwierząt rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, odmiany czarnobiałej zawierało zbliżoną ilość Cu (0,056 mg/dm<sup>3</sup>), przy dwukrotnie większej zawartości Zn (7,99 mg/dm<sup>3</sup> przy p≤0,01). Dużą zawartość Zn w mleku krów rasy jersey (6,25 mg/dm<sup>3</sup>) i rasy simentalskiej (6,71 mg/dm<sup>3</sup>) potwierdzają wyniki badań Barłowskiej [2007]. Zawartość miedzi natomiast kształtowała się w granicach od 0,041 mg/dm<sup>3</sup> (rasa simentalska) do 0,064 mg/dm<sup>3</sup> (rasa jersey). Dobrzański i in. [2005] wykazali, że mleko krów utrzymywanych na terenie Dolnego Śląska zawierało średnio 3163,68 µg/dm<sup>3</sup> Zn i 89,85 µg/dm<sup>3</sup> Cu, zaś krów z terenu Górnego Śląska odpowiednio: 3085,42 i 65,37 µg/dm<sup>3</sup>. Elsayed i in. [2011] wykazali natomiast, że zawartość Cu w mleku krów utrzymywanych w różnych regionach Egiptu wahała się od 0,614 do 1,234 mg/kg. Naccari i in. [2006] podają, że mleko pochodzące od krów z różnych sycylijskich farm zawierało przeciętnie 6,1 mg/kg Zn i 61,7 µg/kg Cu. Krowy natomiast utrzymywane na Wyspach Kanaryjskich produkowały mleko zawierające średnio 4,41 mg/dm<sup>3</sup> Zn i 0,08 mg/dm<sup>3</sup> Cu [Rodríguez i in. 2001], we Włoszech odpowiednio: 2016 µg/kg i 1,98 µg/kg [Licata i in. 2004] a w Hiszpanii – 4631 µg/dm<sup>3</sup> i 51,8 µg/dm<sup>3</sup> [Sola-Larrañaga i Navarro-Blasco 2009]. Scherz i Kirchoff [2006] wskazali na różnice w zawartości Zn w mleku, które wahały się od 310 do 445 µg/100 g mleka.

W mleku analizowanych ras krów stwierdzono istotne różnice (p≤0,01) w zawartości Fe i Mn. Mleko krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej zawierało największą ilość Mn (0,100 mg/dm<sup>3</sup>), a jednocześnie najmniejszą ilość Fe (0,063 mg/dm<sup>3</sup>). Identyczną zależność (istotną przy p≤0,05) stwierdziła Barłowska [2007].

W mleku pozostałych ras krów zanotowano dwukrotnie, a u krów rasy simentalskiej nawet czterokrotnie więcej Fe. Istotne różnice (p≤0,01) w zawartości Mn w mleku krów uzyskano w odniesieniu do ras simentalskiej i polskiej holsztyńsko-fryzyjską odmiany czarnobiałej (o 0,049 mg/dm<sup>3</sup> więcej w mleku krów odmiany czarnobiałej).

Według Rodrígueza i in. [2001] zawartość Fe w mleku wahała się od 0,19 do 1,00 mg/dm<sup>3</sup> (średnio 0,515 mg/dm<sup>3</sup>), według Malbe i in. [2010] zaś – od 0,670 (system ekologiczny) do 0,778 mg/dm<sup>3</sup> (system tradycyjny). Zawartości Fe i Mn uzyskane przez Sola-Larrañaga i Navarro-Blasco [2009] były większe, tj. wynosiły Fe – 290,0 µg/dm<sup>3</sup> i Mn – 29,1

$\mu\text{g}/\text{dm}^3$ . Wyniki badań własnych autorów tego opracowania dotyczące zawartości Fe i Mn w mleku krów simentalskich okazały się zbliżone do przedstawionych przez Martino i in. [2001] oraz Król i in. [2010]. Dobrzański i in. [2005] stwierdzili zaś większą zawartość Mn w mleku pozyskanym na terenie Śląska, a Ataro i in. [2008] – w mleku krów utrzymywanych w okolicy kopalń w Południowej Afryce.

Wyniki uzyskane przez autorów niniejszego opracowania dowodzą, że tendencje w zawartości analizowanych makroelementów w serwatce podpuszczkowej były analogiczne do wyników dotyczących mleka (tab. 2). Istotne różnice stężenia analizowanych makroelementów w serwatce uzyskano w odniesieniu do Ca ( $p \leq 0,01$ ), a także K ( $p \leq 0,05$ ) i Na ( $p \leq 0,05$ ). Niezależnie od rasy krów, oceniana serwatka zawierała niemalże dwukrotnie mniej Ca (68% Ca w mleku). Najbogatszym źródłem tego pierwiastka okazała się serwatka pozyskana z mleka krów rasy simentalskiej ( $634,5 \text{ mg}/\text{dm}^3$ ). Warto zaznaczyć, że w trakcie zakwaszania mleka – kiedy  $\text{pH}=4,6$  – tylko część jonów Ca dysocjuje z miceli kazeinowych i przemieszcza się do serwatki lub permeatu. Pozostała znaczna ilość tego pierwiastka występuje w postaci koloidalnego fosforanu wapnia we frakcji kazeinowej [Siemianowski, Szpendowski 2010]. Zawartość Mg w serwatce trzech ras krów była z kolei na zbliżonym poziomie, kształtując się od 104,8 (polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czerwono-białej) do 122,7  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (simentalska). Z mleka do serwatki przechodziło natomiast najwięcej jonów jednowartościowych, tj. około 90% Na i 85% K, niezależnie od rasy krów. Zdaniem Deca i Chojnowskiego [2003] znaczna demineralizacja serwatki podpuszczkowej następuje w procesie nanofiltracji, w trakcie której redukcja zawartości Na i K wynosi około 70%. Ostojić i in. [2005] w permeacie po ultrafiltracji serwatki uzyskali w suchej masie 1,182% Na, 4,234% K, 0,195% Ca oraz 0,156% Mg. Siemianowski i Szpendowski [2010] potwierdzają mniejszą zawartość Ca, zarówno w odniesieniu do permeatu, jak i mleka.

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Stwierdzono, że najmniejsza zawartość analizowanych makroelementów, z wyjątkiem Ca, oraz mikroelementów, a zwłaszcza Zn i Cu, charakteryzowała mleko pozyskane od krów rasy jersey.
2. Zauważono, niezależnie od rasy krów, wysoką zawartość K i Na w uzyskanej serwatce.
3. Największe różnice pomiędzy stężeniem uwzględnionych pierwiastków w mleku a stężeniem tych pierwiastków w serwatce zanotowano w odniesieniu do Ca.

#### PIŚMIENNICTWO

**Artykuły żywnościowe – Oznaczanie pierwiastków śladowych – Oznaczanie zawartości ołowiu, kadmu, cynku, miedzi, żelaza i chromu metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS) po mineralizacji mikrofalowej.** 2004. PN-EN 14084:2004.

- ATARO A., MCCRINDLE R.I., BOTHA B.M., MCCRINDLE C.M.E., NDIBEWU P.P. 2008. Quantification of trace elements in raw cows milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *Food Chemistry* 111: 243–248.
- BARŁOWSKA J. 2007. Wartość odżywcza i przydatność technologiczna mleka krów 7 ras użytkowanych w Polsce. *Rozprawy habilitacyjne* 321. Wydawnictwo AR, Lublin.
- DEC B., CHOJNOWSKI W. 2003. Zastosowanie procesu nanofiltracji w przetwórstwie serwatki. *Przegląd Mleczarski* 4: 134–136.
- DOBRZAŃSKI Z., KOŁACZ R., GÓRECKA H., CHOJNACKA K., BARTKOWIAK A. 2005. The content of microelements and trace elements in raw milk from cows in the Silesian region. *Polish Journal of Environmental Studies* 14, 5: 685–689.
- ELSAYED E.M., HAMED A.M., BADRAN S.M., MOSTAFA A.A. 2011. A survey of selected essential and toxic metals in milk in different regions of Egypt using ICP-AES. *International Journal of Dairy Sciences* 6, 2: 158–164.
- GREGA T., SADY M., FAROT A., PUSTKOWIAK H. 2000. Poziom wapnia, fosforu, laktozy oraz kwasu cytrynowego w mleku krów różnych ras. *Roczniki Naukowe Zootechniki, Suppl.* 5: 27–30.
- KRÓL J., BRODZIAK A., WOLANCIUK A., WÓJCIK M. 2010. Zawartość składników mineralnych w mleku krów simentalskich w zależności od systemu żywienia. *Roczniki Naukowe PTZ* 6, 4: 321–328.
- LICATA P., TROMBETTA D., CRISTANI M., GIOFRE F., MARTINO D., CALO M. 2004. Levels of “toxic” and “essential” metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. *Environment International* 30: 1–6.
- MALBE M., OTSTAVEL T., KODIS I., VIITAK A. 2010. Content of selected micro and macro elements in dairy cows’ milk in Estonia. *Agronomy Research* 8: 323–326.
- MARTINO F.A.R., SÁNCHEZ M.L.F., SANZ-MEDEL A. 2001. The potential of double focusing-ICP-MS for studying elemental distribution patterns in whole milk, skimmed milk and milk whey of different milks. *Analytica Chimica Acta* 442: 191–200.
- NACCARI F., MARTINO D., TROMBETTA D., CRISTANI M., LICATA P., NACCARI C., RICHETTI A. 2006. Trace elements in bovine milk from dairy farms in Sicily. *Italian Journal of Food Sciences* 18, 2: 227–234.
- Official Methods of Analysis. Collection of Milk Laboratory Sample.** AOAC. 2000a. 925.20. 17<sup>th</sup> Ed. Arlington – Virginia, USA.
- Official Methods of Analysis. Multielement metod.** AOAC. 2000b. 986.15. 17<sup>th</sup> Ed. Arlington – Virginia, USA.
- OSTOJIC S., PAVLOVIĆ M., ŽIVIĆ M., FILIPOVIĆ Z., GORJANOVIĆ S., HRANISAVLJEVIĆ S., DOJČINOVIĆ M. 2005. Processing of whey from dairy industry waste. *Environmental Chemical Letters* 3: 29–32.
- RODRÍGUEZ E.M., SANZ ALAEJOS M., DIAZ ROMERO C. 2001. Mineral concentrations in cows milk from the Canary Island. *Journal of Food Composition and Analysis* 14: 419–430.

- SCHERZ H., KIRCHHOFF E. 2006. Trace elements in foods: Zinc contents of raw foods – A comparison of date originating from different geographical regions of the world. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 420–433.
- SIEMIANOWSKI K., SZPENDOWSKI J. 2010. Charakterystyka serwatki i permeatów otrzymanych w czasie produkcji serów twarogowych. *Przegląd Mleczarski* 2: 14–17.
- SMITHERS G.W. 2008. Whey and whey proteins – From ‘gutter to gold’. *International Dairy Journal* 18: 695–704.
- SOLA-LARRAÑAGA C., NAVARRO-BLASCO I. 2009. Chemometric analysis of minerals and trace elements in raw cow milk from the community of Navarra, Spain. *Food Chemistry* 112: 189–196.
- STROHMAIER W. 2004. Chromatographic fractionation of whey proteins. *Bulletin of the International Dairy Federation* 389.
- Wyniki oceny wartości użytkowej bydła ras mlecznych.** 2010. Raport: Sytuacja na rynku mleka. PFHBiPM.