

## PIIMA LAAPUMIST MÕJUTAVAD TEGURID

I. Kübarsepp, M. Henno, K. Mihhejev, O. Kärt, J. Samarütel, K. Ling, T. Kaart

**ABSTRACT. Factors influencing milk coagulation properties.** Milk samples ( $n=1407$ ) from first lactation cows of five experimental groups (Estonian Holstein, with higher pedigree index  $>112$  – EHF-t; Estonian Holstein, with middle pedigree index  $95-112$  – EHF; Red-and-White Holstein – RHF; Estonian Red – EPK; Estonian Native – EK) on Põlula Experimental Farm were taken once a month from January to October 2001 and twice a month from October 2001 to November 2002. Samples were tested for calcium, phosphorus and protein contents, somatic cell count and pH. A Formagraph was used for measuring rennet coagulation time (RCT), curd firming time ( $K_{20}$ ), and curd firmness ( $E_{30}$ ). One individual, using the visual technique developed by Edmonson, twice a month assessed body condition scores (BCS). Results were evaluated statistically using general linear model including both discrete and continuous effects.

Individuality of a cow, stage of lactation, experimental group, pH and milk calcium content significantly affected all measured coagulation properties. Milk protein content affected RCT and  $E_{30}$ , and milk phosphorus content only  $E_{30}$ . The renneting properties showed marked lactational changes. The milk coagulation properties were at their best during the 1st month of lactation (5–30 d after calving) and again from the 5th month ( $>150$  d after calving) onward. From all noncoagulated milk samples most fell in the period of 61–120 days after calving. The milk characterized by abnormal rennetability was more frequent among stage of lactation than the breed. Coagulation properties of milk were significantly better in EK group.

**Keywords:** milk renneting properties, noncoagulated milk, Estonian dairy cattle breeds, months of lactation, milk calcium content, milk phosphorus content, milk pH, somatic cell count, body condition.

Juustu väljatuleku, koostise ja struktuuri määrab suures osas laapumisel kujunev kalgendi struktuur. Ideaalne juustupiim laapub kiiresti, moodustades tiheda, heade süneresiomadustega ning suure kuivainesaldusega kalgendi.

Piima laapumist mõjutavaid faktoreid on palju. Kirjanduse andmetel on neist üheks olulisemaks piimavalkude geneetilisest polümorfismist põhjustatud lehma individuaalne mõju (Feagan *et al.*, 1972; Jakob, Puhan, 1992; Lodes *et al.*, 1996; Ikonen *et al.*, 1999). Käesolevas artiklis käsitletakse selliseid piima laapumisomadusi mõjutavaid tegureid nagu tõug, laktatsioonikuu, piima valgu-, kaltsiumi- ja fosforisisaldus, pH, somaatiliste rakkude arv ja lehmade toitumushinne. Kõigi nende mõjufaktorite uurimisele pööratakse arenenud piimakarjakaasvatusega riikides suurt tähelepanu, kuna heade laapumisomadustega piim võimaldab suurendada juustu väljatulekut ja parandada kvaliteeti. Erinevuste tõttu katsemetoodikates, katseandmete statistilises analüüsis ja interpreteerimises on uurimisgruppide tulemused lahknevad, eriti laktatsioonikuu mõju osas.

EPMÜ Loomakasvatusteaduste instituudi piimanduslaboris alustati piima laapumisomadusi mõjutavate tegurite selgitamist 2001. aastal Põlula katsefarmis läbiviidava projekti "Eesti veisetõugude maksimaalse piimajõudluse väljaselgitamine" raames. Artiklis vaadeldakse esimesel laktatsioonil lehmade piima laapumisomadusi mõjutanud tegureid.

**Võtmesõnad:** piima laapumisomadused, mittelaapuv piim, eesti piimaveisetõud, laktatsioonikuu, piima kaltsiumisisaldus, piima fosforisisaldus, piima pH, somaatiliste rakkude arv piimas, toitumushinne.

### Materjal ja meetodika

Põlula katsefarmis komplekteeriti 2000. aasta lõpus erinevatest Eestis kasvatatavatest piimaveise tõugu kuuluvatest tiinetest mullikatest viis katserühma:

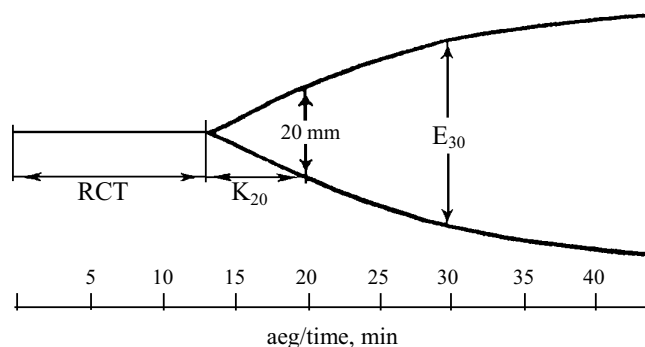
- eesti holsteini tõugu mustakirju veise kõrgeima aretusväärtusega (SPAV $>112$ ) rühm EHF-t;
- eesti holsteini tõugu mustakirju veise keskmise aretusväärtusega (SPAV  $95-112$ ) rühm EHF;
- eesti holsteini tõugu punasekirju veise rühm RHF;
- eesti punast tõugu veiste rühm EPK;
- eesti maatõugu veiste rühm EK.

Laudaperioodil söödeti kõiki lehmi *ad libitum* täisratsioonilise segasöödaga (keskmine metaboliseeruva energia sisaldus 1.–150. laktatsioonipäeval 12 MJ/kg kuivaines ja alates 151. laktatsioonipäevast 11,0–11,5 MJ/kg kuivaines). Karjatamisperioodidel (12. mai – 4. okt 2001, 4. mai – 31. aug 2002) kasutati kombineeritud söötmist:

päeval karjatamine väga hea rohukamaraga karjamaal; öösel *ad libitum* segasööd (Kärt *et al.*, 2002). Katses olnud lehmade toitumust hindas üks inimene kaks korda kuus, kasutades Edmonsoni *et al.* (1989) visuaalset tehnikat.

Piimaproovid ( $n=1407$ ) laapumisomaduste määramiseks võeti Põlula katsefarmi esimesel laktatsioonil olevatelt lehmadel ( $n=115$ ) alates 2001. aasta 23. jaanuarist üks kord kuus ja alates 9. oktoobrist 2001 kuni 2002. aasta 1. novembrini kaks korda kuus koos jõudluskontrolli piimaproovidega ning konservandina kasutati preparaati Bronopol<sup>®</sup>. 2001. a määrati kaks korda kuus igast katserühmast valitud viie lehma piimaproovidest kaltsiumisisaldus tiitrimetriselt ja fosforisisaldus spektrometriselt (IDF standardid 36A:1992 ja 42B:1990) ning alates 2002. a määrati kaltsiumisisaldus kõikide katsefarmi lehmade piimaproovidest kord kuus. Piima laapumisomaduste määramiseks kasutati Formagraafi (Foss Electric A/S, Hillerød, Denmark) ning piima 37 °C temperatuuril saadud laapumisdiagrammidelt (joonis 1) mõõdeti järgmised ensümaatilist koagulatsiooni ehk laapumist iseloomustavad näitajad:

- RCT** – piima laapumise aeg (min), s.o aeg laapensüümi lisamisest kalgendumise alguseni;
- K<sub>20</sub>** – kalgendi moodustumise intensiivsus (min), s.o aeg kalgendi moodustumise algusest kuni ajani, mil kalgend on küllalt tugev lõikamiseks ning diagrammi haarade vaheline kaugus on 20 mm;
- E<sub>30</sub>** – kalgendi maksimaalne tugevus 30 min pärast laapensüümi lisamist (mm).



**Joonis 1.** Piima laapumisdiagramm ja diagrammilt mõõdetavad piimalaapumist iseloomustavad näitajad  
**Figure 1.** Diagram produced by a milk-coagulation meter, and the three milk-coagulation parameters calculated from the diagram

Laapensüümina kasutati kümosiini (Maxiren 600) üheprotsendilist (v/v) vesilahust, mida lisati 10 ml piimale 0,2 ml. Piima pH määrati toatemperatuuril vahetult enne laapumisomaduste määramist (pH Meter MP 220, Mettler). Andmete analüüsimisel kasutati ka jõudluskontrolli käigus määratud piimatoodangu, soomaatiliste rakkude arvu (SRA) ning valgu- ja rasvasisalduse andmeid.

Piima laapumist mõjutavate faktorite selgitamiseks, nende mõju statistilise olulisuse kontrollimiseks ja uuritavate tunnuste vähimruutude keskmiste leidmiseks erinevatel faktorite tasemetel viidi programmpaketi SAS (SAS INST. Inc., 1991) abil läbi üldiste lineaarsete mudelite analüüs (GLM). Erinevate faktorite mõjude selgitamiseks uuritavatele tunnustele kasutati järgmist üldist lineaarset mudelit:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + N_{ij} + L_l + b_1 \cdot \text{VALK}_{ijkl} + b_2 \cdot \text{Ca}_{ijkl} + b_2 \cdot \text{P}_{ijkl} + b_2 \cdot \text{pH}_{ijkl} + b_3 \cdot \text{SRA}_{ijkl} + b_4 \cdot \text{BCS}_{ijkl} + e_{ijkl},$$

kus  $Y_{ijkl}$  – uuritav tunnus (RCT,  $K_{20}$ ,  $E_{30}$ ),

$\mu$  – üldkeskmise,

$T_i$  – katserühma mõju,  $i \in \{\text{EHF-t, EHF, RHF, EPK, EK}\}$ ,

$N_{ij}$  – lehma mõju (katserühma siseselt),  $j \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ , kus  $n_i$  on  $i$  rühma lehmade arv,

$L_k$  – laktatsioonikuu mõju  $l \in \{1, 2, \dots, 11\}$  (laktatsiooniperiood jaotati laktatsioonikuudeks 30 laktatsioonipäeva kaupa ja 11. laktatsioonikuu moodustasid kõik laktatsioonipäevad alates 301.),

$\text{VALK}_{ijkl}$  – piima valgusisaldus,

$\text{Ca}_{ijkl}$  – piima kaltsiumisisaldus,

$\text{P}_{ijkl}$  – piima fosforisisaldus,

$\text{pH}_{ijkl}$  – piima pH,

$\text{SRA}_{ijkl}$  – soomaatiliste rakkude arv piimas,

$\text{BCS}_{ijkl}$  – toitumushinne,

$b_1, b_2, b_3, b_4$  – regressioonikordajad,

$e_{ijkl}$  – jääk.

## Tulemused

Tabelis 1 on esitatud uuritud piimaproovide laapumist iseloomustavate näitajate, kaltsiumi- ja fosforisisalduse, pH ja määratud jõudluskontrolli näitajate ning lehmade toitumushinnete statistilised karakteristikud.

**Tabel 1.** Piima laapumist ja koostist iseloomustavate näitajate ning lehmade toitumushinde statistilised karakteristikud

**Table 1.** Summary statistics of milk renneting properties and composition traits, and body condition score (BCS)

Näitaja/Trait	n	$\bar{x}$	min	max	s
RCT, min <sup>1</sup>	1297	8,2	1	23	3,22
K <sub>20</sub> , min	1064	8,9	1	23	4,68
E <sub>30</sub> , mm	1407	27,6	0	59	13,6
Ca, %	681	0,1214	0,078	0,221	0,0166
P, %	460	0,0971	0,040	0,154	0,0130
pH	1337	6,77	6,44	7,07	0,089
Valgusisaldus / Protein content, %	1384	3,57	2,62	5,49	0,400
SRA/SCC, 10 <sup>3</sup> /ml	1384	327	3	9106	640
Toitumushinne/BCS	669	3,16	2,25	4,50	0,34

Piima laapumist iseloomustavaid näitajaid määrati kokku 1407 piimaproovist. Uuritud piimaproovidest laapus 1297 proovi, kusjuures kalgendi moodustumise intensiivsust oli võimalik mõõta 1064 piimaproovil.

Piima laapumist iseloomustavad näitajad varieerusid väga suurtes piirides. Kui keskmiselt hakkas piim laapuma 8,2 minutit pärast laapensüümi lisamist, siis äärmuslikel juhtudel pikenes see aeg 23 minutini. Uuritud piimaproovidest ei laapunud aga üldse 110 proovi ehk 7,8%.

Uurimistulemused, mis iseloomustavad erinevate faktorite mõju olulisust ja uuritava faktori osakaalu tunnuse varieeruvuse kirjeldamisel ( $R^2$ ), on esitatud tabelis 2. Kõiki uuritud piima laapumist iseloomustavaid näitajaid (RCT, K<sub>20</sub>, E<sub>30</sub>) mõjutasid statistiliselt oluliselt lehma individuaalsus ( $P < 0,0001$ ), katserühm ( $P < 0,01$ ), laktatsioonikuu ( $P < 0,001$ ), piima pH ( $P < 0,0001$ ) ja piima kaltsiumisisaldus ( $P < 0,01$ ). Piima valgusisaldus mõjutas oluliselt piima laapumise aega (RCT) ( $P < 0,05$ ) ja kalgendi maksimaalset tugevust (E<sub>30</sub>) ( $P < 0,01$ ) ning piima fosforisisaldus kalgendi maksimaalset tugevust ( $P < 0,01$ ). Udara tervist iseloomustav piima somaatiliste rakkude arv (SRA) ja lehmade toitumushinne (BCS) ei osutunud meie uurimuses olulisteks piima laapumisomadusi mõjutavateks faktoriteks.

Suurima osa RCT, K<sub>20</sub>, E<sub>30</sub> varieeruvusest kirjeldas lehma individuaalsus, kirjeldatuse osakaalud vastavalt 20,3%, 27,7% ja 24,9% (tabel 2). Sellele järgnesid laktatsioonikuu (12,9%, 11,5%, 12,7%) ja katserühma mõju (3,92%, 10,9%, 4,35%).

**Tabel 2.** Piima laapumistäitajaid mõjutavate tegurite olulisus (P) ja kirjeldatuse osakaal (kitsendatud  $R^2$ )

**Table 2.** Significance (P) and restricted  $R^2$  for factors influencing milk renneting properties

Mõjufaktor Influence factor	RCT, min		K <sub>20</sub> , min		E <sub>30</sub> , mm	
	P	$R^2$ , %	P	$R^2$ , %	P	$R^2$ , %
Lehma individuaalsus Cow individuality	<0,0001	20,3	<0,0001	27,7	<0,0001	24,9
Laktatsioonikuu / Month of lactation	<0,0001	12,9	<0,0001	11,5	<0,0001	12,7
Katserühm / Experimental group	0,0011	3,92	<0,0001	10,9	<0,0001	4,35
pH	<0,0001	5,05	<0,0001	3,97	<0,0001	2,86
Kaltsiumisisaldus / Calcium content	0,0062	1,58	0,0002	2,70	<0,0001	1,97
Fosforisisaldus / Phosphorus content	0,5650	0,07	0,2947	0,21	<0,0001	1,50
Valgusisaldus / Protein content	0,0112	1,35	0,8800	0,01	0,0036	0,81
SRA/SCC	0,5454	0,08	0,3397	0,17	0,3620	0,08
Toitumushinne/BCS	0,2867	0,24	0,8550	0,01	0,3394	0,09

Piima laapumistäitajate, koostise, laktatsioonikuu ja lehmade toitumushinde (BCS) vahelisi korrelatiivseid seoseid iseloomustavad korrelatsioonikordajad on esitatud tabelis 3.

**Tabel 3.** Uuritud näitajate omavaheliste seoste korrelatsioonikordajad  
**Table 3.** Correlations between studied parameters

	Lakt-kuu Month of lact.	Piim, kg Yield, kg	Rasv, % Fat, %	Valk, % Protein, %	SRA, 10 <sup>3</sup> /ml SCC, 10 <sup>3</sup> /ml	RCT, min	K <sub>20</sub> , min	E <sub>30</sub> , mm	pH	Ca, %	P, %	BCS
Lakt-kuu Month of lact.	1											
Piim, kg Yield, kg	-0,472 ***	1										
Rasv, % Fat, %	0,196 ***	-0,525 ***	1									
Valk, % Protein, %	0,536 ***	-0,622 ***	-0,364 ***	1								
SRA, 10 <sup>3</sup> /ml SCC, 10 <sup>3</sup> /ml	-0,013	-0,033	0,033	0,070	1							
RCT, min	-0,136 **	0,119 **	-0,093 *	-0,036	0,156 ***	1						
K <sub>20</sub> , min	-0,344 ***	0,268 ***	-0,316 ***	-0,428 ***	0,081	0,577 ***	1					
E <sub>30</sub> , mm	0,400 ***	-0,321 ***	0,196 ***	0,338 ***	-0,073	-0,698 ***	-0,813 ***	1				
pH	0,245 ***	-0,171 ***	0,009	0,193 ***	0,139 **	0,271 ***	0,055	-0,054	1			
Ca, %	0,349 ***	-0,371 ***	0,160 ***	0,614 ***	0,025	-0,169 ***	-0,220 ***	0,322 ***	0,249 ***	1		
P, %	0,285 ***	-0,248 ***	0,131 **	0,581 ***	0,064	-0,006	-0,218 **	0,387 ***	0,146 **	0,514 ***	1	
BCS	0,160 ***	-0,388 ***	0,237 ***	0,309 ***	0,016	-0,004	-0,149 **	0,209 ***	0,187 ***	0,197 ***	0,253 ***	1

\* P<0,05 \*\* P<0,01 \*\*\* P<0,001

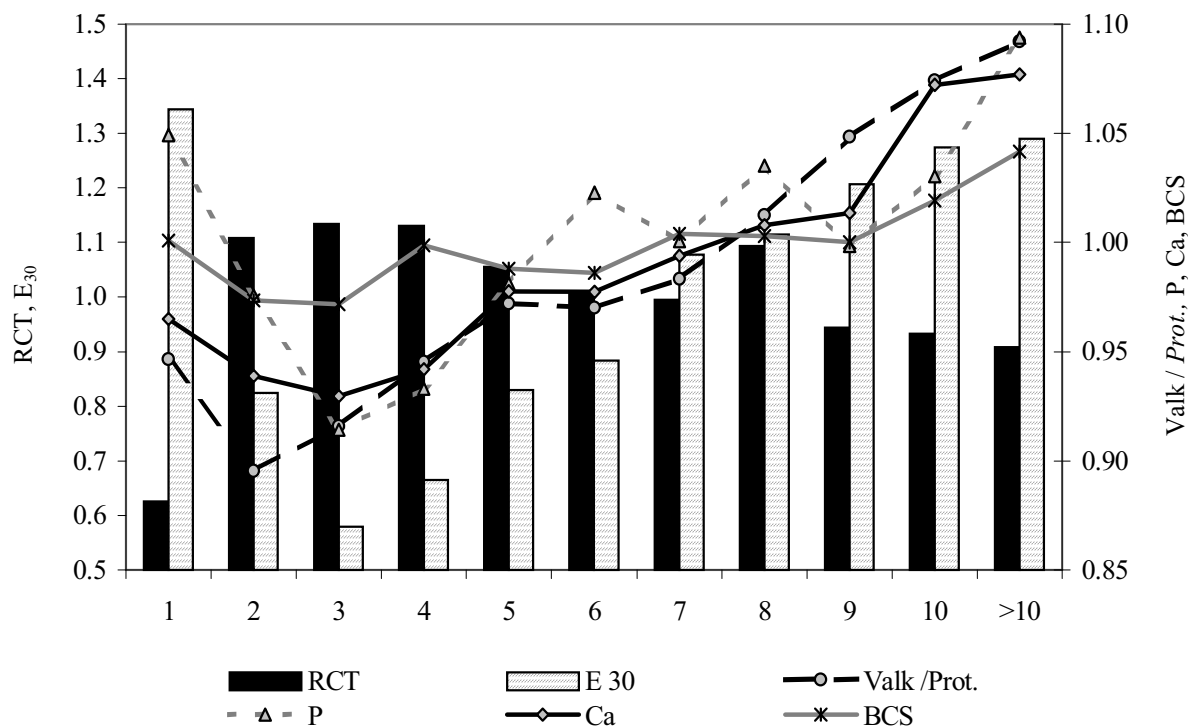
Laapumisnäitajate omavahelisi seoseid iseloomustas tugev negatiivne korrelatsioon RCT ja E<sub>30</sub> (r=-0,698) ning K<sub>20</sub> ja E<sub>30</sub> (r=-0,813) vahel. Keskmise tugevusega positiivne korrelatsioon (r=0,577) oli RCT ja K<sub>20</sub> vahel. Kõnealusel uurimuses oli mõjufaktorite ja piima laapumisnäitajate vahelistest seostest tugevaim negatiivne korrelatsioon piima valgusisalduse ja kalgendi moodustumise intensiivsuse vahel (r=-0,428) ning tugevaim positiivne seos valgusisalduse ja kalgendi maksimaalse tugevuse vahel (r=0,338). Kaltsiumi- ja fosforisisaldused piimas mõjutasid enim kalgendi maksimaalset tugevust, korrelatsioonikordajad vastavalt 0,322 ja 0,387. Ka lehmade toitumushinne mõjutas piima laapumisnäitajatest enim kalgendi maksimaalset tugevust (r=0,209). Piima pH mõjutas kõige tugevamalt piima laapumise aega (r=0,271).

**Laktatsioonikuu** mõjutas oluliselt (P<0,001) kõiki uuritud piima laapumisnäitajaid (tabel 2). Laapumisnäitajate (RCT, K<sub>20</sub>, E<sub>30</sub>) muutust laktatsiooni jooksul iseloomustavad tabelis 4 esitatud vähimruutude keskmised. Kõigi uuritud näitajate osas olid piima laapumisomadused parimad laktatsiooni alguses ja teisel poolel. Sarnaselt laapumisomadustega olid ka piima valgu-, kaltsiumi- ja fosforisisaldused ning lehmade toitumushinded madalamad laktatsiooni teisest kuni neljanda kuuni (tabel 4, joonis 2). Piima valgusisaldus saavutas oma miinimumi teistest uuritud piima koostisainetest kõige varem – teisel laktatsioonikuul. Piima pH muutus laktatsiooni jooksul suhteliselt vähe, olles siiski laktatsiooni lõpus kõrgem kui laktatsiooni alguses.

**Tabel 4.** Piima laapumisnäitajate vähimruutude keskmised (LSM), keskmised piima valgu-, kaltsiumi- ja fosforisisaldused ning lehmade toitumushinne (BCS) laktatsioonikuude lõikes

**Table 4.** Least square means of milk coagulation properties, and mean milk protein, calcium and phosphorus content and body condition scores during lactation

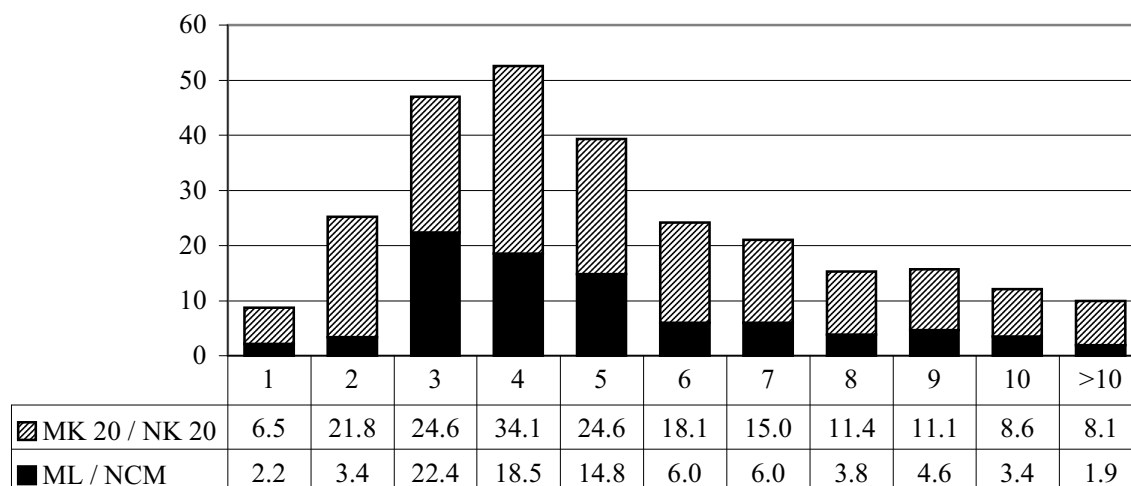
Laktatsioonikuu Month of lact.	n	RCT, min	K <sub>20</sub> , min	E <sub>30</sub> , mm	Valk, % Protein, %	Ca, %	P, %	pH	BCS
1	92	8,5	12,6	23,0	3,41	0,1171	0,1019	6,71	3,16
2	119	11,6	14,3	16,6	3,22	0,1140	0,0947	6,75	3,08
3	134	11,4	12,4	12,8	3,28	0,1128	0,0888	6,75	3,07
4	135	11,1	14,5	16,7	3,38	0,1144	0,0906	6,77	3,16
5	122	9,6	12,8	20,7	3,44	0,1187	0,0953	6,76	3,12
6	116	8,4	13,2	23,8	3,46	0,1186	0,0993	6,76	3,11
7	100	8,2	10,1	28,5	3,60	0,1206	0,0972	6,78	3,17
8	105	8,1	7,8	32,8	3,72	0,1223	0,1005	6,78	3,17
9	108	7,0	7,1	37,3	3,78	0,1230	0,0969	6,79	3,16
10	116	6,4	6,0	40,2	3,84	0,1302	0,1000	6,81	3,22
>10	260	5,5	5,0	42,3	3,88	0,1307	0,1062	6,81	3,29



**Joonis 2.** Piima laapumis- ja koostise näitajate ning lehmade toitumushinde suhtelised (keskmise suhtes) väärtused laktatsioonikuude lõikes

**Figure 2.** Relative (regarding to mean value) milk coagulation properties, milk protein, calcium and phosphorus content and cow's body condition scores during lactation

Kõigist analüüsitud piimaproovidest oli mittelaapunud (ML) piimaproovide osakaal suurim kolmandal laktatsioonikuul (22,4%). Madala kalgendi moodustumise intensiivsusega e halvasti laapuvate piimaproovide (MK<sub>20</sub>) osakaal oli suurim neljandal laktatsioonikuul (34,1%) ning väiksem laktatsiooni lõpus (>300 päeva), vastavalt 1,9% (ML) ja 8,1% (MK<sub>20</sub>) (joonis 3).



**Joonis 3.** Mittelaapunud (ML) ja madala kalgendi moodustamise intensiivsusega (MK<sub>20</sub>) piimaproovide osakaal (%) laktatsioonikuu piimaproovides

**Figure 3.** Percentage of noncoagulated milk samples (NCM) and samples that did not reach K<sub>20</sub> 30 min after enzyme addition (NK<sub>20</sub>) from samples of respective month of lactation

**Katserühm** mõjutas oluliselt ( $P < 0,01$ ) kõiki uuritud piima laapumisnäitajaid (tabel 2), kirjeldades nende varieeruvusest vastavalt 3,92% (RCT), 10,9% (K<sub>20</sub>) ja 4,35% (E<sub>30</sub>). Katserühmade keskmised piima laapumisnäitajad, kaltsiumi- ja fosforisisaldused ning pH ja lehmade toitumushinne on esitatud tabelis 5. Kõigi uuritud näitajate osas oli parimate laapumisomadustega EK katserühma lehmade piim (RCT=6,4 min; K<sub>20</sub>=4,7 min; E<sub>30</sub>=39,2 mm; joonis 4).

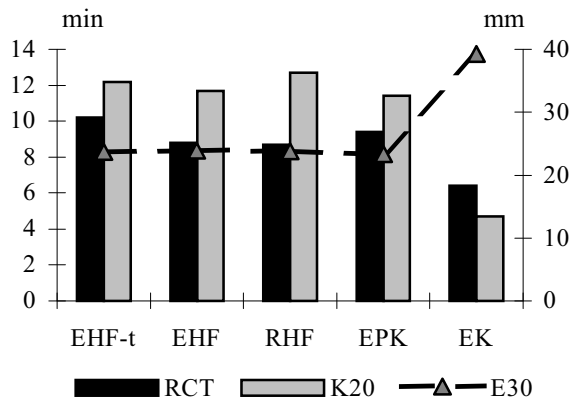
**Tabel 5.** Piima laapumisnäitajate vähimruutude keskmised ja piima koostis ning lehmade toitumushinded erinevates katserühmades

**Table 5.** Least square means of milk coagulation properties and milk composition and body condition scores for different trial groups

Rühm Group	n	RCT, min	K <sub>20</sub> , min	E <sub>30</sub> , mm	ML NCM, %	MK <sub>20</sub> NK <sub>20</sub> , %	Ca, %	P, %	pH	BCS
EHF-t	295	10,2 <sup>b</sup>	12,2 <sup>a</sup>	23,7 <sup>a</sup>	6,44	19,3	0,1179 <sup>a</sup>	0,0923 <sup>a</sup>	6,79 <sup>a</sup>	2,95 <sup>a</sup>
EHF	455	8,8 <sup>a</sup>	11,7 <sup>a</sup>	23,9 <sup>a</sup>	8,57	16,9	0,1178 <sup>a</sup>	0,0901 <sup>a</sup>	6,78 <sup>a</sup>	2,97 <sup>a</sup>
RHF	253	8,7 <sup>a</sup>	12,7 <sup>a</sup>	23,8 <sup>a</sup>	10,67	15,8	0,1271 <sup>b</sup>	0,1005 <sup>b,c</sup>	6,76 <sup>a</sup>	3,29 <sup>b</sup>
EPK	283	9,4 <sup>a,b</sup>	11,4 <sup>a</sup>	23,3 <sup>a</sup>	4,95	17,3	0,1242 <sup>b</sup>	0,1029 <sup>b</sup>	6,76 <sup>a</sup>	3,28 <sup>b</sup>
EK	121	6,4	4,7	39,2	9,09	7,44	0,1209	0,0984 <sup>c</sup>	6,80 <sup>a</sup>	3,44

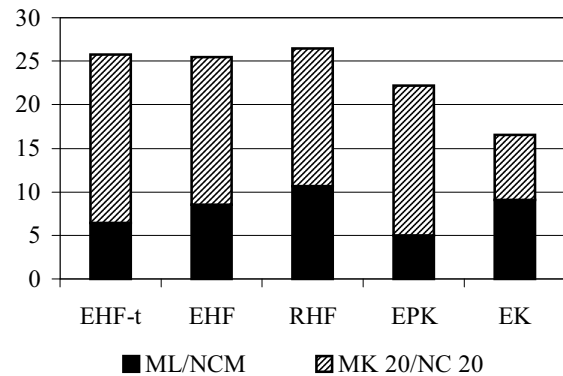
<sup>a, b, c</sup> – samade indeksitega keskmised samas tulbas ei erine oluliselt,  $P > 0,05$  / means with the same superscripts in the same column are not significantly different ( $P > 0,05$ )

Kõige suurem oli mittelaapunud piimaproovide osakaal RHF katserühmas (10,67%) ja kõige väiksem EPK katserühmas (4,95%) (joonis 5). Siinjuures tuleb aga märkida, et EK katserühma lehmade arv oli väiksem kui kõigis teistes katserühmades ja kõik selle grupi mittelaapunud piimaproovid pärinesid ühelt lehmalt (reg nr 635466), kelle piim ei laapunud kogu katseperioodi vältel ühelgi korral. Halvasti laapuvate piimaproovide (MK<sub>20</sub>) osakaal oli suurem mustkirju holsteini katserühmades EHF<sub>t</sub> – 19,3%, EHF – 16,9% ja kõige madalam (7,44%) EK katserühmas. Mittelaapunud piimaproovide keskmine valgusisaldus oli kõigis katserühmades, välja arvatud EHF rühm, oluliselt väiksem kui laapuvatel piimaproovidel (tabel 6). Parimate laapumisnäitajatega EK lehmade piim sisaldas teiste katserühmade piimast rohkem valku ning lehmade toitumushinne oli selles katserühmas kõrgeim.



**Joonis 4.** Piima vähimruutude keskmised laapumisnäitajad katserühmade lõikes

**Figure 4.** Least square means of milk renneting properties for trial groups



**Joonis 5.** Mittelaapunud (ML) ja madala kalgendumise intensiivsusega piimaproovide (MK<sub>20</sub>) jaotus katserühmade viisi (% katserühma proovidest)

**Figure 5.** Distribution of noncoagulated milk samples (ML) and samples that did not reach K<sub>20</sub> 30 min after enzyme addition (MK<sub>20</sub>) for trial groups (% of milk samples in trial group)

**Tabel 6.** Laapuvate ja mittelaapunud piimaproovide keskmised valgusisaldused

**Table 6.** Mean protein content of coagulated and noncoagulated milk samples

Katserühm <i>Trial group</i>	Kõik piimaproovid <i>All milk samples</i>		Laapuvad piimaproovid <i>Coagulated milks</i>		Mittelaapunud piimaproovid <i>Noncoagulated milks</i>	
	Valk, %, (s)	n	Valk, %, (s)	n	Valk, %, (s)	n
	<i>Protein, %, (s)</i>		<i>Protein, %, (s)</i>		<i>Protein, %, (s)</i>	
EHF-t	3,53 (0,360) <sup>a</sup>	288	3,55 (0,359) <sup>a</sup>	269	3,28 (0,276)	19
EHF	3,40 (0,365) <sup>a</sup>	448	3,40 (0,364) <sup>a</sup>	409	3,40 (0,374) <sup>a</sup>	39
RHF	3,64 (0,364) <sup>a</sup>	252	3,65 (0,378) <sup>a</sup>	225	3,55 (0,216)	27
EPK	3,72 (0,368) <sup>a</sup>	277	3,73 (0,365) <sup>a</sup>	263	3,52 (0,368)	14
EK	3,85 (0,445) <sup>a</sup>	119	3,87 (0,450) <sup>a</sup>	108	3,80 (0,425)	11
Kõik	3,57 (0,400) <sup>a</sup>	1384	3,58 (0,401) <sup>a</sup>	1274	3,48 (0,360)	110

<sup>a</sup> – sama indeksiga keskmised samas reas ei erine oluliselt, P>0,05 / means with the same superscripts in the same row are not significantly different (P>0.05)

Piima laapumisomaduste muutusi seoses piima **somaatiliste rakkude arvu** suurenemisega kirjeldavad tabelis 6 esitatud andmed. Laapumisnäitajad ei erinenud statistiliselt oluliselt siis, kui SRA ühes milliliitris piimas oli alla 500 000. SRA arvu suurenemisel üle 500 000 ml<sup>-1</sup> halvenesid oluliselt kõik uuritud laapumisnäitajad. Somaatiliste rakkude arvu suurenemisega kaasnes ka halvasti laapuvate piimaproovide (MK<sub>20</sub>) osakaalu suurenemine (tabel 7).

**Tabel 7.** Piima laapumisomadused sõltuvalt somaatiliste rakkude arvust piimas

**Table 7.** Milk coagulation properties according to somatic cell count in milk

SRA, tuh/ml <i>SCC, 10<sup>3</sup>/ml</i>	RCT, min			K <sub>20</sub> , min			E <sub>30</sub> , mm			<sup>1</sup> ML NCM	<sup>1</sup> MK <sub>20</sub> NK <sub>20</sub>
	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s		
0–250	919	8,0 <sup>a</sup>	3,2	762	8,9 <sup>a</sup>	4,1	1004	27,7 <sup>a</sup>	13,9	8,6	15,5
251–500	186	7,9 <sup>a</sup>	2,8	160	8,0 <sup>a</sup>	4,2	196	30,3 <sup>a</sup>	12,2	4,6	13,8
501–1000	93	8,8 <sup>b</sup>	3,6	73	10,0 <sup>b</sup>	5,0	102	25,0 <sup>b</sup>	13,0	8,8	19,6
>1000	98	9,6 <sup>b</sup>	3,6	69	9,9 <sup>b</sup>	4,7	104	24,4 <sup>b</sup>	12,7	5,8	27,9

<sup>1</sup> – mittelaapunud piimaproovide (ML) ja madala kalgendumise intensiivsusega (MK<sub>20</sub>) piimaproovide osakaal (%) antud SRA vahemikku kuulunud piimaproovidest / percentages of noncoagulated milk samples (NCM) and of milks that did not reach K<sub>20</sub> 30 min after enzyme addition (NK<sub>20</sub>) from milk samples, belonged to respective SCC interval

<sup>a, b</sup> – samade indeksitega keskmised samas tulbas ei erine oluliselt, P>0,05 / means with the same superscripts in the same column are not significantly different (P>0.05)

## Arutelu

Kõiki uuritud piima laapumisnäitajaid (RCT,  $K_{20}$ ,  $E_{30}$ ) mõjutasid oluliselt lehma individuaalsus, laktatsioonikuu, katserühm, piima pH ja kaltsiumisisaldus (tabel 2). Kõige suurem oli lehma individuaalne mõju, mis on ilmselt vähemalt osaliselt seotud piimavalkude geneetilise polümorfismiga, kuna mitmed uurimused (Ng-Kwai-Hang, 1998; Lodes *et al.*, 1996; Mayer *et al.*, 1997) kinnitavad piimavalkude geneetiliste variantide suurt mõju piima laapumisnäitajatele.

**Laktatsioonikuu** mõjutas oluliselt ( $P < 0,001$ ) kõiki piima laapumisnäitajaid (tabel 2), kusjuures piim laapus paremini laktatsiooni alguses ja lõpus ning kõige halvemini laktatsiooni 3.–4. kuul (tabel 4, joonised 2 ja 3). Meie uurimistulemustega sarnaselt kirjeldavad piima laapumisomaduste muutust laktatsiooniperioodil ka Kreuzer jt (1996), Ostersen jt (1997) ning Ikonen jt (1999). Okigbo jt (1985) ning Davoli jt (1990) väidavad aga, et piima laapumisomadused laktatsiooni lõpus halvenevad, ning Schaar (1984) ja Lodes jt (1996), et laktatsiooni järk ei mõjuta piima laapumisomadusi. Couloni jt (1998) andmetel piima laapumise aeg laktatsiooni lõpus küll pikeneb ja kalgendi tugevus suureneb, kuid need muutused ei ole statistiliselt usutavad.

Üheks põhjuseks, miks laktatsioonikuu mõju hindamisel piima laapumisomadustele on saadud väga erinevaid tulemusi, peavad Kreuzer jt (1996) ning Ostersen jt (1997) erinevusi uuritavate karjade söötmistasemes ja selle faktori eiramist katsetoodikaks. Söötmistaseme olulist mõju uurimistulemustele kinnitavad ka Lucey ja Fox (1992) ning Macheboeuf jt (1993), kelle andmetel olid madala söötmistaseme korral piima laapumisomadused laktatsiooni lõpus halvad ning piim ei sobinud juustu tootmiseks. Kõrge söötmistasemega karjas olid aga piima laapumisomadused head ka laktatsiooni lõpus, mida kinnitavad ka meie uurimistulemused (tabel 4, joonis 2).

Piima laapumisomaduste halvenemise põhjuseks laktatsiooni lõpus peetakse  $\gamma$ -kaseiini sisalduse suurenemist (Okigbo *et al.*, 1985; Bastian *et al.*, 1991; Ostersen *et al.*, 1997), kusjuures piima  $\gamma$ -kaseiini sisaldus on laktatsiooni lõpus eriti suur väikese piimatoodangu korral (O'Keefe *et al.*, 1982). Osterseni jt (1997) andmetel kindlustavad aga kõrge söötmistaseme ja mõõdukas toodang kinnijätmisel (üle 10 kg päevas) piima suhteliselt väikese  $\gamma$ -kaseiini sisalduse ja head laapumisomadused ka laktatsiooni lõpus. Ühtlaselt kõrge söötmistaseme kogu laktatsiooni jooksul, suur toodang kinnijätmisel ja piima head laapumisomadused laktatsiooni lõpus iseloomustavad ka meie katset. Viimase kontroll-lüpsi keskmine toodang enne kinnijätmist oli 18,7 kg päevas ja ainult neljal lehmal oli viimase kontroll-lüpsi piimatoodang alla 10 kg päevas.

Piima laapumisomaduste halvenemist laktatsiooni lõpus seostatakse ka piima **pH** tõusuga, mis soodustab kolloidsete kaltsiumiühendite teket ja lahustunud Ca sisalduse alanemist (Keogh *et al.*, 1982) ning plasmiooni aktiivsuse suurenemisega kaasnevat proteolüüsi taseme tõusu (Donnelly, Barry, 1983). Piima pH mõju laapumisomadustele käsitlevaid uurimusi iseloomustab aga suur varieeruvus. Meie uurimuses oli piima pH laktatsiooni lõpus suurem kui alguses (tabel 4), mis on kooskõlas mitmete teiste autorite (Lucey, Fox, 1992; Coulon *et al.*, 1998) andmetega, kuigi Kreuzer *et al.* (1996) ei täheldatud pH muutusi laktatsiooniperioodil. Erinevad on ka piima pH ja laapumisomaduste vahelisi seoseid kirjeldavad uurimistulemused. Okigbo jt (1985), Macheboeufi jt (1993) ning Lodesi jt (1996) andmetel halvenevad kõik piima laapumisomadused paralleelselt pH tõusuga. Grandison jt (1984), Lucey, Fox (1992) ning Ostersen jt (1997) leidsid aga, et piima pH mõjutab peamiselt ainult laapumise aega. Meie andmetel (tabelid 2 ja 3) mõjutas pH statistiliselt oluliselt kõiki uuritud laapumisomadusi, kuid kõige rohkem piima laapumise aega (kitsendatud  $R^2=5,05\%$ ;  $r=0,271$ ).

Sarnaselt piima laapumisomadustega muutusid laktatsiooniperioodil ka piima valgu-, kaltsiumi- ja fosforisisaldus ning lehma toitumuse hinne (joonis 2). Meie uurimuses ei osutunud **lehmade toitumuse hinne** statistiliselt usutavaks laapumisnäitajaid mõjutanud faktoriks, kuid oluline korrelatsioon kalgendi moodustumise intensiivsuse ( $-0,149$ ) ja kalgendi maksimaalse tugevusega ( $0,209$ ) viitab sellele, et paremas toitumuses oleva lehma piim kalgendub kiiremini ja moodustab tugevama kalgendi. Osterseni jt (1997) andmetel mõjutab lehmade toitumuse tase poegimisel piimavalkude proteolüüsi ja piima laapumisomadusi (lehmade toitumust hinnati selles uurimuses ultraheliga). Meie uurimuses kasutatav subjektiivne toitumuse hindamise meetod on kasutusel paljudes riikides eeskätt lüpsilehmade kehavarude mobilisatsiooni hindamiseks negatiivse energia-bilansi perioodil. Võib arvata, et üheks mittelaapuvate piimaproovide suure osakaalu põhjuseks kolmandal-neljandal laktatsioonikuul on negatiivsest energiabilansist tingitud muutused piima koostises. Siiani on söötmise mõju piima laapumisomadustele laktatsiooni tipp-perioodil vähe uuritud ja saadud tulemused on vasturääkivad. Keffordi jt (1995), O'Brieni jt (1997, 1999) andmetel suurendas laktatsiooni keskel energia- ja proteiinisalduse suurendamine söödaratsioonis piimavalgu, kaseiini- ja vadakuvalkude sisaldust, kuid ei parandanud piima laapumisomadusi. Guinee jt (2001) andmetel paranesid aga laktatsiooni keskel söötmistaseme tõstmise korral piima laapumisomadused koos kaseiini- ja vadakuvalkude sisalduse suurenemisega piimas.

Piima **valgu- ja kaltsiumisisaldus** oli laktatsiooni lõpus oluliselt suurem kui laktatsiooni alguses ja keskel (tabel 4), millist trendi kinnitavad ka mitmed varasemad uurimistulemused (Ostersen *et al.*, 1997; Coulon *et al.*, 1998; Ikonen *et al.*, 1999; Kübarsepp *et al.*, 2002). Piima kaltsiumisisaldus mõjutas oluliselt kõiki laapumisnäitajaid (tabel 2), mille põhjuseks on piimas leiduva kaltsiumi vahetu osavõtt laapumisprotsessist. Laapumisprotsessis moodustab kaltsium sidemeid para- $\kappa$ -kaseiiniga (moodustub  $\kappa$ -kaseiinist laapensüümi toimel), mille tulemusel suureneb agregatsioon ja piimast moodustub tugevam kalgend (Lucey, 2002).



Kaltsiumisisalduse ja kalgendi maksimaalse tugevuse vaheline korrelatsioonikordaja oli 0,32. Piima kaltsiumisisalduse olulist mõju kõigile laapumisnäitajatele kinnitavad ka Tervala jt (1985) uurimistulemused.

Kalgendi tugevuse suurenemise peamiseks põhjuseks laktatsiooni lõpus peavad Kreuzer jt (1996) piima valgusisalduse suurenemist, kuna nende katses vähendas valgusisalduse arvestamine kalgendi tugevuse arvutamisel selle erinevusi erinevatel laktatsioonijärkudel. Sarnaselt nende andmetega oli ka meie uurimuses kalgendi tugevuse ja piima valgusisalduse vaheline korrelatiivne seos küllalt tugev ( $r=0,34$ ). Piima valgusisalduse suurenemisega kaasnes ka piima kaltsiumi- ja fosforisisalduse suurenemine (korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,614 ja 0,581).

Piima valgusisaldust peetakse ka peamiseks **tõugudevaheliste piima laapumisomaduste erinevuste** põhjuseks. Grandisoni (1986) andmetel reastuvad erinevad tõud piima rasva- ja valgusisalduse alusel järgmiselt: džõrsi > gõrnsi > ääršir > briti friisi > briti holstein. Sarnases järjekorras halvenevad ka piima laapumisomadused. Tõugudevaheliste piima laapumisomaduste erinevuste selgitamisel meie katses leiti, et parimate laapumisomadustega oli eesti maatõugu lehmade piim (tabel 5, joonised 4 ja 5), mis sisaldas rohkem valku kui teiste katserühmade lehmade piim (tabel 6). Kohalikku tõugu lehmade piima paremaid laapumisomadusi võrreldes holsteini tõugu lehmadega kinnitavad ka mitmed eelnevad uurimised (Tervala *et al.*, 1983; Macheboeuf *et al.*, 1993; Malossini *et al.*, 1996; Auldlist *et al.*, 2002). Eespool nimetatud autorid väidavad, et kohalikku tõugu lehmade piim sisaldab rohkem valku, kaseiini, kaltsiumi ja fosforit ning on paremate laapumisomadustega kui holsteini või friisi tõugu lehmade piim. Peamiseks piima laapumisomaduste erinevuse põhjuseks erinevatel tõugudel on genotüübist tulenevad erinevused piima valgulises koostises ning piimavalgu koguses. Kohalike tõugude lehmade piima paremad laapumisomadused on seletatavad  $\kappa$ -kaseiini B-alleeli suurema esinemissagedusega. Kõnealuse uurimistöö esimeses etapis ei määratud piimavalkude geneetilisi variante, kuid nende ja piima valgusisalduse olulist mõju piima laapumisomadustele kinnitavad lehma individuaalsuse suur mõju (tabel 2) ja mittelaapunud piimaproovide väiksem valgusisaldus võrreldes laapuvate piimaproovidega (tabel 6).

Lüpsilehmade haigustest on juustutööstustele suurimaks probleemiks **mastiit**. Põletikulise protsessi arenedes lehma udaras hakkab piima keemiline koostis üha rohkem sarnanema vere koostisega, sest veresoonte läbilaskvuse suurenemisel satub piima järjest enam vere komponente (Korhonen, Kaartinen, 1996). Piima keemilise koostise muutused on põhjustatud muutustest nõristatavas piimas ja sekretsioonijärgsetest muutustest, mille käivitajateks on somaatilistest rakkudest, vereplasmast ja udara näärmekoest pärinevad ensüümid. Juustu tootmise seisukohalt on olulisemateks muutusteks piima kaseiini-, Ca- ja P-sisalduse vähenemine ning mitsellaarse kaseiini lahustuvuse suurenemine (Grandison, 1986). **Somaatiliste rakkude arvu** suurenemisega mastiidihaigete lehmade piimas kaasneb ka proteolüütilise aktiivsuse suurenemine, eriti plasmiooni aktiivsuse suurenemine (Politis, Ng-Kwai-Hang, 1989). Suurem osa uurimistööd, mis käsitlevad somaatiliste rakkude arvu mõju piima laapumisomadustele, kinnitavad, et SRA tõusuga kaasneb piima laapumisomaduste halvenemine (Grandison, 1986; Ikonen *et al.*, 1999). Seevastu Lodesi jt (1996) uurimustes ei mõjutanud piima SRA piima laapumisomadusi. Sarnaselt meie tulemustega (tabel 7) leidsid ka Politis ja Ng-Kwai-Hang (1988) ning Auldlist jt (1996), et piima laapumisomadused halvenevad oluliselt siis, kui SRA on suurem kui 500 000 ml<sup>-1</sup>.

## Kokkuvõte

Põlula katsefarmis esimesel laktatsioonil olevate lehmadega läbiviidud uurimuse andmetel mõjutasid kõiki uuritud piima laapumisnäitajaid statistiliselt usutavalt lehma individuaalsus, laktatsioonikuu, katserühm, piima pH ja kaltsiumisisaldus. Kõige suuremat mõju piima laapumisomadustele avaldasid lehma individuaalsed iseärasused. Paremini laapus piim laktatsiooni esimesel kuul ning laktatsiooni teisel poolel. Halvemini laapus piim kolmandal ja neljandal laktatsioonikuul. Piima valgu-, kaltsiumi- ja fosforisisalduse suurenemisega kaasnes kalgendi moodustumise intensiivistumine ja maksimaalse tugevuse suurenemine. Piima somaatiliste rakkude arvu suurenemise korral (üle 500 000/ml) hakkasid oluliselt halvenema kõik piima laapumisnäitajad. Parimate laapumisomadustega piima lüpsid eesti maakarja lehmad. Lehmade toitumushinde suurenemisega kaasnes kalgendi maksimaalse tugevuse suurenemine.

Et piima laapumisomadusi mõjutavad väga oluliselt lehma geneetilised iseärasused, tuleks selgitada, kuidas on Eesti tingimustes võimalik ja otstarbekas seda arvestada aretustöös. Selgitamist vajavad piima laapumisomaduste ja lehmade söötmise vahelised seosed. Et piima laapumisomadused halvenevad oluliselt laktatsiooni tipp-perioodil, tuleks põhjalikumalt uurida selle põhjusi. Piima laapumisomaduste muutused erinevatel laktatsioonidel ja seda põhjustavad tegurid tuleks selgitada edasise uurimistöö käigus.

*Uurimistöö on läbi viidud põllumajandusministeeriumi projekti "Eesti veiselõugude maksimaalse piimajõudluse väljaselgitamine" (leping nr 287), Teaduskompetentsi Nõukogu sihtfinantseeritava teema nr 0422102s02 ja ETF grandid (nr 4823) toel.*

## Kirjandus

- Auldist, M., Coats, S., Sutherland, B. J., Mayes, J. J., McDowell, G. H., Rogers, G. L. Effects of somatic cell count and stage of lactation on cow milk composition and the yield and quality of Cheddar cheese. – *Journal of Dairy Research*, 63, p. 269–280, 1996.
- Auldist, M., Mullins, C., O'Brien, B., O'Kennedy, B. T., Guinee, T. Effect of cow breed on milk coagulation properties. – *Milchwissenschaft* (accepted), 2002.
- Bastian, E. D., Brown, R. J., Erkstrom, C. A. Plasmin activity and milk coagulation. – *Journal of Dairy Science*, 74, p. 3677–3685, 1991.
- Coulon, J.-B., Verdier, I., Pradel, P., Almena, M. Effect of lactation stage on the cheesemaking properties of milk and the quality of Saint-Nectaire-type cheese. – *Journal of Dairy Research*, 65, p. 295–305, 1998.
- Davoli, R., Dall'Olio, S., Russo, V. Effect of kappa-casein genotype on the coagulation properties of milk. – *Journal of Animal Breeding*, 107, p. 458–464, 1990.
- Donnelly, W. J., Barry, J. G. Casein compositional studies. 3. Changes in Irish milk for manufacturing and the role of milk proteinase. – *Journal of Dairy Research*, 8, p. 121–130, 1983.
- Edmonson, A. J., Lean, L. J., Weaver, L. D., Farver, T. A body condition scoring chart of Holstein dairy cows. – *Journal of Dairy Science*, 72, p. 68–78, 1989.
- Feagan, J. T., Bailey, L. F., Hehir, A. F., McLean, D. M., Ellis, N. J. S. Coagulation of milk proteins. – Effects of genetic variants of milk proteins on rennet coagulation and heat stability of normal milk. – *Australian Journal of Dairy Technology*, 27, p. 129–134, 1972.
- Grandison, A. Causes of variation in milk composition and their effects on coagulation and cheese making. – *Dairy Industries International*, 51, p. 21–24, 1986.
- Grandison, A., Ford, G. D., Owen, A. J., Millard, D. Chemical composition and coagulating properties of renneted Friesian milk during the transition from winter ration to spring grazing. – *Journal of Dairy Research*, 51, p. 69–78, 1984.
- Guinee, T. P., Mulholland, E. O., O'Brien, B., Murphy, J. J. Effect of diet quality on the suitability of mid-lactation bovine milk for cheddar cheese manufacture. – *The Australian Journal of Dairy Technology*, 56, p. 3–8, 2001.
- IDF Standard 36A:1992 – Milk. – Determination of calcium content. – Titrimetric method.
- IDF Standard 42B:1990 – Milk. – Determination of total phosphorus content. – Spectrometric method.
- Ikonen, T., Ahlfors, K., Kempe, R., Ojala, M., Ruottinen, O. Genetic parameters for the milk coagulation properties and prevalence of noncoagulating milk in Finnish dairy cows. – *Journal of Dairy Science*, 82, p. 205–214, 1999.
- Jakob, E., Puhán, Z. Technological properties of milk as influenced by genetic polymorphism of milk protein. A review. – *International Dairy Journal*, 2, p. 157–178, 1992.
- Kefford, B., Christian, M. P., Sutherland, B. J., Mayes, J. J., Grainger, C. Seasonal influences on Cheddar cheese manufacture: influence of diet quality and stage of lactation. – *Journal of Dairy Research*, 62, p. 529–537, 1995.
- Keogh, M. K., Kelly, P. M., O'Keeffe, A. M., Phelan, J. A. Studies of milk composition and its relationship to some processing criteria. 2. Seasonal variation in the mineral levels in milk. – *Irish Journal of Food Science and Technology*, 6, p. 13–27, 1982.
- Korhonen, H., Kaartinen, L. Mastiidist tingitud piima koostise muutused. – *Lehma udar ja udarahaigused*. Koost. Sandholm, M., Honkanen-Buzalski, T., Kaartinen, L., Pyörälä, S. – Tartu, lk 70–76, 1996.
- Kreuzer, M., Schulz, J.-P., Fry, C., Abel, H. Rennet coagulation properties of milk from cows at three stages of lactation supplied with graded levels of an antimicrobial feed supplement. – *Milchwissenschaft*, 51, p. 243–247, 1996.
- Kärt, O., Saveli, O., Ling, K., Samarütel, J., Jaakson, H. Milk production, dry matter intake and fertility in first-parity cows bred in Estonia. – *Proceedings "Research for Rural Development 2002"*, Latvia University of Agriculture, Jelgava 22–24 May, p. 69–72, 2002.
- Kübarsepp, I., Henno, M., Kärt, O., Kaart, T. Eesti veisetõugude piima kaltsiumi- ja fosforisisaldused ning neid mõjutavad faktorid. – *Agraarteadus* nr 3, lk 162–175, 2002.
- Lodes, A., Buchberger, J., Krause, I., Aumann, J., Klostermeyer, H. The influence of genetic variants of milk proteins on the compositional and technological properties of milk. 2. Rennet coagulation time and firmness of the rennet curd. – *Milchwissenschaft*, 10, p. 543–548, 1996.
- Lucey, J. A. Rennet Coagulation of Milk. – *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Ed. by H. Roginski, J. W. Fuquay, P. F. Fox. – Academic Press, vol. 1, p. 286–293, 2002.
- Lucey, J. A., Fox, P. F. Rennet coagulation properties of late-lactation milk: Effect of pH adjustment, addition of CaCl<sub>2</sub>, variation in rennet level and blending with midlactation milk. – *Irish Journal of Agricultural Food Research*, 31, p. 173–184, 1992.

- Macheboeuf, D., Coulon, J.-B., D'Hour, P. Effect of breed, protein genetic variants and feeding on cows' milk coagulation properties. – *Journal of Dairy Research*, 60, p. 43–54, 1993.
- Malossini, F., Bovolenta, S., Piras, C., Rosa, M. D., Ventura, W. Effect of diet and breed on milk composition and rennet coagulation properties. – *Ann Zootech*, 45, p. 29–40, 1996.
- Mayer, H. K., Ortner, M., Tschager, E., Ginzinger, W. Composite milk protein phenotypes in relation to composition and cheesemaking properties of milk. – *International Dairy Journal*, 7, p. 305–310, 1997.
- Ng-Kwai-Hang, K. F. Genetic polymorphism of milk proteins: Relationships with production traits, milk composition and technological properties. – *Canadian Journal of Animal Science*, 78, p. 131–147, 1998.
- O'Brien, B., Dillon, P., Murphy, J. J., Mehra, R. K., Guinee, T. P., Connolly, J. F., Kelly, A., Joyce, P. Effect of stocking density and concentrate supplementation of grazing dairy cows on milk production, composition and processing characteristics. – *Journal of Dairy Research*, 66, p. 215–229, 1999.
- O'Brien, B., Murphy, J. J., Connolly, J. F., Mehra, R., Guinee, T. P., Stakelum, G. Effect of altering the daily herbage allowance in mid lactation on the composition and processability of bovine milk. – *Journal of Dairy Research*, 64, p. 621–625, 1997.
- O'Keefe, A. M., Phelan, J. A., Keogh, K., Kelly, P. Studies of milk composition and its relationship to some processing criteria. IV Factors influencing the renneting properties of a seasonal milk supply. – *Ir. J. Feed Sci. Technol.*, 6, p. 39–48, 1982.
- Okigbo, L. M., Richardson, G. H., Brown, R. J., Ernstrom, C. A. Variation in coagulation properties of milk from individual cows. – *Journal of Dairy Science*, 68, p. 822–828, 1985.
- Ostensen, S., Foldager, J., Hermansen, J. E. Effects of stage of lactation, milk protein genotype and body condition at calving on protein composition and renneting properties of bovine milk. – *Journal of Dairy Research*, 64, p. 207–219, 1997.
- Politis, I., Ng-Kwai-Hang, K. F. Association between somatic cell count of milk and cheese-yielding capacity. – *Journal of Dairy Science*, 71, p. 1720–1727, 1988.
- Politis, I., Ng-Kwai-Hang, K. F. Environmental factors affecting plasmin activity in milk. – *Journal of Dairy Science*, 72, p. 1713–1718, 1989.
- Schaar, J. Effects of  $\kappa$ -casein genetic variants and lactation number on the renneting properties of individual milk. – *Journal of Dairy Research*, 51, p. 397–406, 1984.
- Tervala, H.-L., Antila, V., Syväjärvi, J. Factors affecting the renneting properties of milk. – *Meijeritieteellinen Aikakauskirja*, XLIII (1), p. 16–25, 1985.
- Tervala, H.-L., Antila, V., Syväjärvi, J., Lindström, U. B. Variations in the renneting properties of milk. – *Meijeritieteellinen Aikakauskirja*, XLI (2), p. 24–33, 1983.

## Factors Influencing Milk Coagulation Properties

I. Kübarsepp, M. Henno, K. Mihhejev, O. Kärt, J. Samarütel, K. Ling, T. Kaart

### Summary

The coagulation properties of milk are of great importance because they influence cheese yield and quality. Milk with favourable coagulation properties (short coagulation and curd firming times, and a firm curd) is expected to give more cheese with desirable composition than milk with unfavourable properties. In many countries it has been found that as a result of the breeding of cows, there has been an increase in milk production, but the coagulation properties of milk have decreased, and the number of cows in the population who produced non-coagulated milk has increased.

This work is the first one in this specific field in Estonia. Therefore, the object of the current study was to compare milk coagulation properties of Estonian dairy cattle breeds during first lactation. Based on the obtained results, different factors and their magnitude of influence on coagulation properties of milk were evaluated.

Milk samples from cows ( $n=115$ ) of five experimental groups on Põlula Experimental Farm were taken once a month from January 23, 2001, and twice a month from October 9, 2001 to November 1, 2002. The cows were fed identically *ad libitum* on a well-balanced TMR.

Experimental groups in Põlula Experimental Farm:

- Estonian Holstein breed (high pedigree index >112) EHF-t
- Estonian Holstein breed (middle pedigree index 95–112) EHF
- Red-and-White Holstein breed RHF
- Estonian Red breed EPK
- Estonian Native breed EK

The milk samples for testing coagulation properties were preserved with Bronopol® and analysed the next day. The milk coagulation properties were determined at 37 °C using a Formagraph (Foss Electric A/S, Hillerød, Denmark). Chymosin Maxiren 600 diluted 1:100 with distilled water, was added at a rate of 0.2/10 ml milk. The following rennet coagulation parameters were measured (Figure 1):

RCT – rennet coagulation time in minutes, the time from the addition of rennet to milk to the beginning of coagulation;

K<sub>20</sub> – curd firming time in minutes, the time from the beginning of coagulation to the moment the width of the curve was 20 mm;

E<sub>30</sub> – firmness of the curd in millimetres, the width of the curve 30 min after the addition of rennet.

The pH of milk was determined (pH Meter MP 220, Mettler) before Formagraph analysis. Milk calcium and phosphorus contents were determined once a month by using IDF standards (36A:1992, 42B:1990) in Dairy Laboratory of the Institute of Animal Science. In addition, data about milk yield, protein content, fat content and somatic cell count obtained from Animal Recording Centre were used. Cows were scored twice a month for body condition (BCS) by one individual using the visual technique developed by Edmonson *et al.* (1989).

Results were evaluated using the SAS statistical package (SAS INST. Inc., 1991) general linear model (GLM) including both discrete and continuous effects.

From studied milk samples (n=1407) coagulated 1297 samples and curd firming time was possible to record in 1064 cases (Table 1). All measured milk coagulation parameters were significantly influenced by individuality of a cow, months of lactation, experimental group, pH, and milk calcium content (Table 2). Milk protein content significantly affected the rennet coagulation time and firmness of the curd. Firmness of the curd was significantly influenced also by milk phosphorus content. Restricted R<sup>2</sup> for analysed influence factor indicates what percent of variability of milk coagulation parameters is described only by this factor. The milk coagulation properties were mostly influenced by the individuality of a cow. This resulted from the differences in milk protein content and genotype. Coagulated milk samples contained more protein than noncoagulated samples (Table 6). The correlations between different renneting parameters were clear (Table 3). On the basis of correlation coefficients, the composition of milk had an effect on milk renneting properties. Curd firming time and firmness of the curd were significantly correlated with milk fat, protein, calcium, and phosphorus contents. Rennet coagulation time was significantly correlated with milk SCC, pH, and calcium content. Increased BCS of cows shortened the curd firming time and increased firmness of the curd.

All renneting parameters of milk were significantly influenced and correlated with the month of lactation. The milk coagulation properties were at their best during the 1st month of lactation (5–30 d after calving) and from the second part of lactation onward (Table 4, Figure 2). The lowest coagulation characteristics were observed in the third-fourth month after calving. Percentages of noncoagulated milk samples (NCM) and samples that did not reach K<sub>20</sub> 30 min after enzyme addition (NK<sub>20</sub>) from samples of respective month of lactation were higher during the third, fourth, and fifth month of lactation (Figure 3).

Coagulation properties of milk from cows of five experimental groups were higher in EK group (Table 5, Figure 4). Percentage of noncoagulated milk samples was the highest in RHF group (Figure 5). All noncoagulated milk samples in EK group originated from one cow (ID No 635466).

An increase in somatic cell count over 500,000/ml resulted in a decreased rennet coagulation properties of milk (Table 7).

As the stage of lactation had a significant effect on the rennet coagulation parameters, it is very important to eliminate seasonal differences in milk production. As milk coagulation had a massive effect on the cheese production and on the efficiency of milk processing, the further research on these directions would be necessary.