

## PIENO DAŽNINIŲ CHARAKTERISTIKŲ PRIKLAUSOMYBIŲ NUO TEMPERATŪROS TYRIMAS

Audrius Zajančauskas<sup>1</sup>, Aleksandras Savilionis<sup>1</sup>, Eimantas Bičius<sup>1</sup>, Vygantas Petrauskas<sup>1</sup>, Eugenijus Aniulis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Lietuvos žemės ūkio universitetas, Studentų g. 11, Akademijos mstl., LT-4324 Kauno r.*

<sup>2</sup>*Lietuvos veterinarijos akademija, Tilžės g. 18, LT-3022 Kaunas*

**Santrauka.** Kuriant šiuolaikines karvių tešmens mastito kontrolės bei monitoringo priemones, kai taikomi metodai paremti pieno dažninių charakteristikų analize, svarbu įvertinti pieno čiurkšlės temperatūros bei kitų veiksnių įtaką pieno dažninėms charakteristikoms.

Šiame straipsnyje pateikiami normalizuotų pieno bandinių dažninių charakteristikų priklausomybės nuo temperatūros tyrimo duomenys.

Eksperimentais nustatyta, kad bandinių temperatūros įtaka jų dažninių charakteristikų  $Z(f)$  realiosioms  $\text{Re}[Z(f)]$  ir menamosioms  $\text{Im}[Z(f)]$  dedamosioms yra ženkli. Pavyzdžiuui, kai dažnis  $f = 400 \text{ Hz}$ , bandinio temperatūrai pakilus nuo  $12^\circ\text{C}$  iki  $22^\circ\text{C}$ , perdavimo funkcijos menamosios dedamosios  $\text{Im}[Z(f)]$  nuokrypis sudarė 40%, o realiosios  $\text{Re}[Z(f)] - 22,8\%$ . Šiuo atveju norint, kad eksperimento metu pieno bandinių pilnutinės varžos funkcijos  $Z(f)$  realiosios  $\text{Re}[Z(f)]$  ir menamosios  $\text{Im}[Z(f)]$  dedamosios nuokrypis dėl temperatūros būtų ne didesnis kaip  $0,5\%$ , reikia stabilizuoti bandinio temperatūros nuokrypi  $\pm 0,125^\circ\text{C}$  ribose.

Temperatūros stabilizavimas eksperimento metu  $\pm 0,75^\circ\text{C}$  diapazonu užtikrina 6% dažninės charakteristikos temperatūrinį stabiliumą.

Taip pat nustatyta, kad temperatūros ir dažninės charakteristikos dedamųjų pokyčių priklausomybė yra netiesinė.

Tiriant pieno bandinių dažnines charakteristikas, eksperimento metu būtina užtikrinti bandinių temperatūros svyravimą  $\pm 0,125^\circ\text{C}$  ribose.

**Raktažodžiai:** plienas, pieno dažninės charakteristikos, temperatūra.

## INVESTIGATION OF TEMPERATURE INFLUENCE ON MILK IMPEDANCE FREQUENCY CHARACTERISTICS

**Summary.** A number of indirect tests including spectral analysis of milk impedance have been developed to detect mastitis in cows. Spectral analysis of milk impedance has limitations for using in practice because is designed for use in laboratory. The objectives of this trial were to investigate the temperature influence on milk impedance frequency characteristics and to designed milk impedance measurement system..

Frequency characteristics of milk impedance have been measured by two channel signal analyzer. Signal analyser collect both input  $U_{in}(t)$  and  $U_{out}(t)$  signals from milk impedance measurement scheme. Signal  $U_{out}(t)$  was divided by referent resistor  $R$  and afterwards the output of currency  $I_{out}(t)$  was estimated. From the Furje transformation on measured input voltage  $U_{in}(t)$  and current  $I_{out}(t)$  the amplitude spectra  $U_{in}(f)$  and  $I_{out}(f)$  of those signals was detected. The milk indipence  $Z(f)$  finction was determined by dividing  $I_{out}(f)$  to  $U_{out}(f)$ .

It was estimated that temperature have shown significant influence to the real  $\text{Re}[H(j\omega)]$  and imaginary  $\text{Im}[H(j\omega)]$  part of milk impedance frequency characteristics. For example if the milk sample temperature have shown from  $12^\circ\text{C}$  to  $20^\circ\text{C}$  the imaginary part  $\text{Im}[H(j\omega)]$  of milk impedance frequency characteristics In this case if the  $0,5\%$  temperature uncertainty of milk impedance characteristics was given  $t_{given}^\circ\text{C} \pm 0,125^\circ\text{C}$ . During the experiment we hold milk temperature in the range of  $t_{given}^\circ\text{C} \pm 0,75^\circ\text{C}$  so we have had  $6\%$  uncertainty of milk impedance characteristics from the temperature fluctuation. It was shown that temperature influence on milk impedance is not linear. In conclusion during measure of milk impedance characteristics the milk sample temperature must be held in certain range with possible less temperature fluctuation.

**Keywords:** milk, impedance, temperature, mastitis.

**Ivadas.** Vienas iš šiuolaikinių ir perspektyviausių metodų, taikomų mastito monitoringo sistemose, – spektrinė analizė, paremta dažninių charakteristikų tyrimais. Tokius tyrimus paprastai galima atlikti tik stacionariai įrengtose laboratorijose. Tas riboja spektrinės analizės metodą taikymą karvių tešmens mastito diagnostikoje.

Atlikti tyrimai ir mokslinėje literatūroje paskelbti duomenys rodo, kad pagal pieno dažnines charakteristikas žemų dažnų srityje ir jų ryšį su ekvivalentinėmis elektros grandinėmis galima kontroliuoti pieno sudėties bei kokybės parametrus, taip pat ir somatininių ląstelių skaičių

piene (Oliveria et al., 1990; Whaiti et al., 1977; Cady et al., 1978; Bossuty et al., 1983; Martins, 1982; Fistenberg-Eden et al., 1983; Martins et al., 1983). Tai sudaro galimybes sukurti karvių tešmens ankstyvojo mastito monitoringo priemones, tinkamas naudoti mechanizuoto melžimo sistemoje.

Žinoma, kad pieno, kaip ir kitų skysčių, laidumas elektros srovei priklauso nuo temperatūros (Тепень А., 1979).

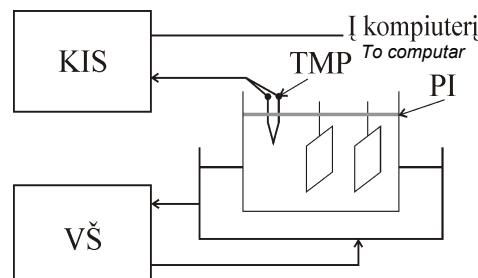
Tačiau mokslinėje literatūroje duomenų apie pieno bandinių kompleksinės varžos bei jos dažnines charakteristikas žemų dažnų srityje, taip pat informacijos

apie pieno bandinių temperatūros įtaką jo kompleksinei varžai bei dažninėms charakteristikoms, nerasta. Todėl, kuriant minėtos paskirties tyrimų bazę, pieno bandinių temperatūros svyrapimų įtakos jų dažninėms charakteristikoms nustatymas eksperimentų rezultatams yra ypač svarbus.

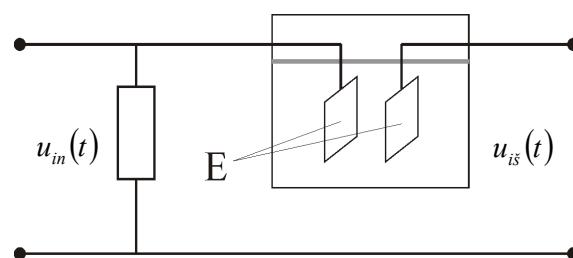
**Darbo tikslas** – nustatyti normalizuotų pieno bandinių dažninų charakteristikų priklausomybę nuo bandinių temperatūros ir parengti reikalavimus pieno bandinių temperatūrai stabilizuoti jų dažninų charakteristikų eksperimentinių tyrimų eigoje.

**Medžiagos ir metodai.** Eksperimentiniams tyrimams atliki ir pieno bandinių temperatūros nuokrypio įtakai pilnuitinės varžos (impedanso varžos) dažninų charakteristikų parametrams tirti buvo sukonstruotas eksperimentinis stendas, kurio struktūrinė schema parodyta 1 pav. Eksperimentiniams tyrimui panaudotas šviežias geriamas karvių pienas. Pieno pilnuitinės varžos dažninės charakteristikos matuoamos „Brul & Kier“ dviejų kanalų signalų analizatoriumi. Signalų analizatoriaus veikimo principas pagrįstas greitos Furjė transformacijos skaičiavimo principu. Signalų analizatoriumi matuoamas į pieno mēginių paduotas signalas  $u_{in}(t)$ , taip pat per elektrodų porą ir pieno bandinių praėjės signalas  $u_{is}(t)$  (2 pav.). Signalų  $u_{is}(t)$  vertę padalinus iš atraminės varžos  $R$  modulio (2 pav.) randama pieno mēginių pratekėjusi srovė  $i_{is}(t)$ .

Atlikus greitos Furjė transformacijos veiksmus,



1 pav. Pieno temperatūros pokyčio matavimo eksperimentinio stendo struktūrinė schema. PI – pieno bandinio indas; TMP – termopora; KIS – keitiklis – įtampa–skaičius ( kodas ); VŠ – termostatas



2 pav. Pieno bandinio pilnuitinės varžos dažninų charakteristikų matavimo principinė schema (E – matavimo elektrodų pora)

Nagrinėjamoje matavimo sistemoje temperatūros jutiklis yra termopora, montuojama greta matavimo elektrodų (1 pav.). Jos signalui (termo EVJ) matuoti naudotas keitiklis įtampa–skaičius ( kodas ).

Termopora buvo pagaminta laboratorinėmis sąlygomis iš  $0,125 \text{ mm}^2$  vario ir konstantano laidų, dėl to termopora ir keitiklis sugraduoti. Tam tikslui panaudotas

gaunami  $u_{in}(t)$  ir  $i_{is}(t)$  signalų amplitudžių spektriniai tankiai  $U_{in}(f)$  ir  $I_{is}(f)$  (Футников, 1990).  $U_{in}(f)$  ir  $I_{is}(f)$  santykis yra pieno pilnuitinės varžos  $Z(f)$  funkcijos vaizdas. Jį galima išskaidyti į realiąjį ir menamąjį dedamąsias:

$$Z(f) = \frac{I_{is}(f)}{U_{in}(f)} = \operatorname{Re}[Z(f)] + j \cdot \operatorname{Im}[Z(f)],$$

čia:  $\operatorname{Re}[Z(f)]$  – realioji pieno pilnuitinės varžos vaizdo dedamoji,  $\operatorname{Im}[Z(f)]$  – menamoji pilnuitinės varžos vaizdo dedamoji.

Kad pieno dažninų charakteristikų matavimai būtų tikslesni ir patikimesni, jie matuojami pakartotinai ir išvedamas gautų verčių vidurkis. Šios procedūros atliekamos automatiškai, signalų analizatoriuje nurodžius pakartotinų matavimų skaičių.

Pieno elektrinio laidumo priklausomybę nuo temperatūros galima susieti lygtimi (Тепень, 1979)

$$Y = Y_0(1 + \alpha\Delta t),$$

čia:  $Y$  – elektrinis laidumas esant bet kokiai aplinkos temperatūrai;

$Y_0$  – elektrinis laidumas, kai  $t = 20^\circ\text{C}$  ;

$\alpha$  – temperatūros koeficientas

(pienui  $\alpha = 0,02^\circ\text{C}^{-1}$ ) (Тепень, 1979);

$\Delta t$  – temperatūrų skirtumas tarp aplinkos ir  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ .

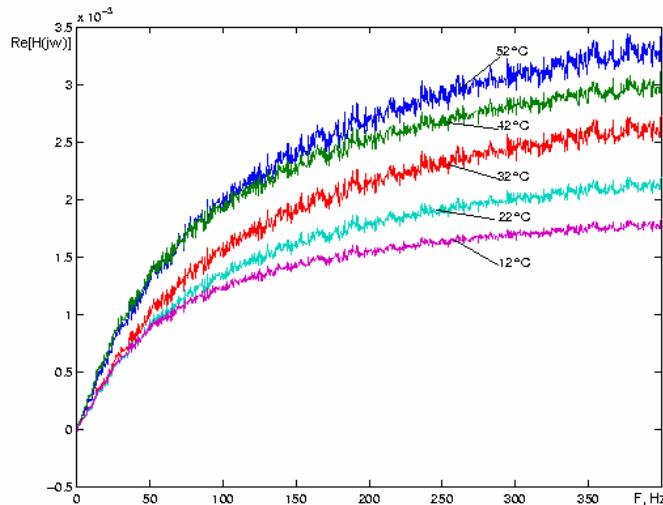
monitoriaus ekrane. Jeigu pieno bandinių temperatūros vertė yra nustatyta, tai eksperimento eiga valdanti programa leidžia išmatuoti pieno dažnines charakteristikas.

Gauti temperatūros matavimo stendo gradavimo taškai buvo aproksimuoti matematine išraiška, kuri susieja termoporos EVJ vertę su pieno temperatūros verte:

$$T = 265,89 \cdot x + 0,87,$$

čia: x – matavimo keitiklio sustiprinta termoporos EVJ reikšmė.

**Tyrimų rezultatai.** Iš eksperimentinių tyrimų rezultatų buvo sudarytos pieno bandinių normalizuotų dažninių charakteristikų priklausomybės nuo temperatūros, kurių realiosios dedamosios  $\text{Re}[Z(f)]$  pateiktos 3 paveiksle, o menamosios  $\text{Im}[Z(f)]$  – 4 paveiksle. Siekiant užtikrinti matuojamos reikšmės patikimumą, eksperimentiniai matavimai pakartoti 800 kartų ir išvestas gautų priklausomybių vidurkis.

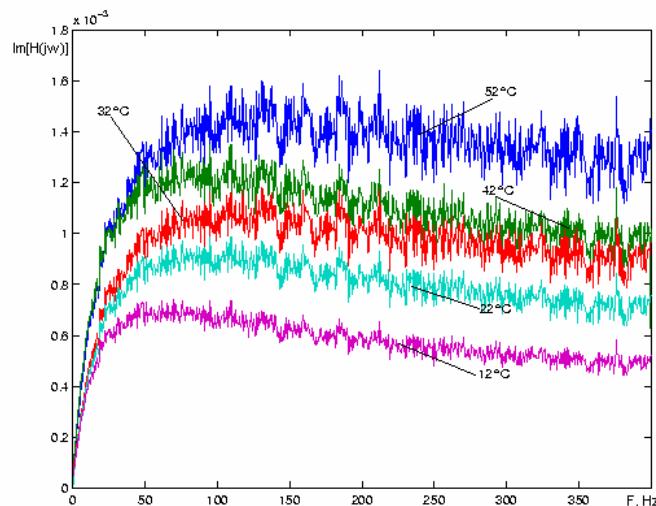


3 pav. Pieno bandinio pilnutinės varžos normalizuotos dažninės charakteristikos  $Z(f)$  realiosios dedamosios tyrimas  $\text{Re}[Z(f)]$  esant pieno temperatūrai  $12^{\circ}\text{C}$ ,  $22^{\circ}\text{C}$ ,  $32^{\circ}\text{C}$ ,  $42^{\circ}\text{C}$  ir  $52^{\circ}\text{C}$ .

Iš gautų eksperimentinių duomenų matyti, kad, pavyzdžiui, bandinio temperatūrai pakitus nuo  $12^{\circ}\text{C}$  iki  $22^{\circ}\text{C}$ , dažninės charakteristikos realiosios dedamosios  $\text{Re}[Z(f)]$  nuokrypis sudarė 22,8%, o menamosios  $\text{Im}[Z(f)]$  – 40%. Bandinio temperatūrai pakitus nuo  $22^{\circ}\text{C}$  iki  $32^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Re}[Z(f)]$  nuokrypis sudarė 23,4%, o  $\text{Im}[Z(f)]$  – 28,57%. Kai bandinio temperatūra pakilo nuo  $32^{\circ}\text{C}$  iki  $42^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Re}[Z(f)]$  nukrypo 13,2%, o  $\text{Im}[Z(f)]$  –

7,7%. Kai bandinio temperatūra pakilo nuo  $42^{\circ}\text{C}$  iki  $52^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Re}[Z(f)]$  pakito 10%, o  $\text{Im}[Z(f)]$  – 32,98%.

Taigi iš gautų eksperimentinių duomenų matyti ženkli bandinių temperatūros itaka jų dažninės charakteristikos realiosioms  $\text{Re}[Z(f)]$  ir menamosioms  $\text{Im}[Z(f)]$  dedamosioms. Be to, aiškiai matyti, kad temperatūros pokyčių ir dažninės charakteristikos dedamujų nuokrypių priklausomybė yra netiesinė.



4 pav. Pieno bandinio pilnutinės varžos normalizuotos dažninės charakteristikos  $Z(f)$  menamosios dedamosios tyrimas  $\text{Im}[Z(f)]$  esant pieno temperatūrai  $12^{\circ}\text{C}$ ,  $22^{\circ}\text{C}$ ,  $32^{\circ}\text{C}$ ,  $42^{\circ}\text{C}$  ir  $52^{\circ}\text{C}$

**Aptarimas ir išvados.** Tiriant pieno bandinių dažnines charakteristikas, eksperimento metu būtina užtikrinti pastovią bandinių temperatūrą, mat bandinio temperatūrai pakitus, pavyzdžiui, nuo 12°C iki 22°C,  $\text{Im}[Z(f)]$  nuokrypis sudarė 40%. Šiuo atveju norint užtikrinti eksperimento 0,5% temperatūros paklaidą, reikia bandinio temperatūrą stabilizuoti 0,125°C. Temperatūros stabilizavimas iki  $\pm 0,75^\circ\text{C}$  užtikrina 6% dažninės charakteristikos temperatūros stabilumą. Taigi pieno bandinių dažninių charakteristikų tyrimų metu būtina naudoti tikslesnes temperatūros stabilizavimo priemones.

1. Pieno bandinių temperatūra daro nemažą įtaką bandinių pilnutinės varžos funkcijos  $Z(f)$  realajai  $\text{Re}[Z(f)]$  ir menamajai  $\text{Im}[Z(f)]$  dedamosioms. Bandinio temperatūrai pakitus nuo 12°C iki 22°C, dažninės charakteristikos realiosios dedamosios  $\text{Re}[Z(f)]$  nuokrypis buvo 22,8%, o menamosios  $\text{Im}[Z(f)]$  – 40%.

2. Norint, kad eksperimento metu pieno bandinių pilnutinės varžos funkcijos  $Z(f)$  realiosios  $\text{Re}[Z(f)]$  bei menamosios  $\text{Im}[Z(f)]$  dedamosios nuokrypis dėl temperatūros būtų ne didesnis kaip 0,5%, reikia stabilizuoti bandinio temperatūrą su absoliutine nuokrypa, ne didesne kaip 0,125°C. Temperatūros stabilizavimas eksperimento metu  $\pm 0,75^\circ\text{C}$  užtikrina 6% dažninės charakteristikos temperatūros stabilumą.

3. Temperatūros ir dažninės charakteristikos dedamuojų pokyčių priklausomybė yra netiesinė.

#### Literatūra

1. Bossuty R. and Weas G. Impedance measurements to detect post- pasteurisation contamination of pasteurised milk. // Journal of food protection. 1983. Vol. 46. P. 622- 624.
2. Cady P., Hardy D., Martins S., Dufourt S. and Kreager S. Automated impedance measurement for rapid screening of milk microbial content. // Journal of food protection. 1978. Vol. 41.
3. Fistenberg-Eden R. and Tricarico M. impedimetric determination of total, mesophilic, and pysotrophic counts in raw milk. // Journal of food science. 1983. Vol. 48. P. 1750-1754.
4. Martins S. B., Hodapp S., Doufour S. W., Krarger S.J. Evaluation of a rapid impedimetric method for determining the keeping quality of milk. // Journal of food protection. 1982. Vol. 45, No 13. P. 1221-1226.
5. Martins S. Evaluation of rapid impedimetric method for determining the keeping quality of milk. // Journal of food protection. 1982. Vol. 45. P. 1221-1226.
6. Oliveria J. and Parmele C. Rapid enumeration of physotrophic bacteria in raw and pasteurised milk. // Journal of food technology. 1990. Vol. 39. P. 269-272.
7. Whaiti I. and Fryer T. The enumeration of bacterial in refrigerated milk. // N. Z. Journal of dairy science technology. 1977. Vol. 12. P. 51-57.
8. Тепень А. Химия и физика молока. Москва: Топливная промышленность, 1979. С. 622.
9. Футников В. С. Фильтрация измерительных сигналов. Ленинград: Энергоатомиздат. 1990. С. 191.