



## NEAPŠILTINTOS KARVIDĖS OPTIMALUS TEMPERATŪRINIS-DRĖGMĖS REŽIMAS

**Bronius Kavolėlis<sup>1</sup>, Rolandas Bleizgys<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Lietuvos žemės ūkio universiteto Žemės ūkio inžinerijos institutas,

Instituto g. 20, LT-54132 Raudondvaris, Kauno r., Lietuva. El. paštas: bkavolelis@mei.lt

<sup>2</sup>Lietuvos žemės ūkio universitetas, Šilumos ir biotechnologijų inžinerijos katedra,

Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., Lietuva. El. paštas: Rolandas.Bleizgys@lzuu.lt

Įteikta 2006 02 28; priimta 2006 05 17

**Santrauka.** Darbo tikslas – pagrįsti karvidės temperatūrinio-drėgmės režimo optimalias reikšmes, taikytinas projektuojant ir eksploatuojant vėdinimo sistemą. Sudaryta lygtis, patalpos oro santykinį drėgnį siejanti su patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumu. Taip pat sudaryta lygtis, rodanti, koks yra didžiausias leistinas temperatūrų skirtumas, kad vandens garai nesikondensuotų ant išorinių atitvarų vidinio paviršiaus. Analiziniiais ir eksperimentiniais tyrimais pagrįsta, kad galimas minimalus karvidės oro santykinis drėgnis yra apie 5 % mažesnis už lauko oro santykinį drėgnį. Optimalus temperatūrų tarp patalpos ir lauko oro skirtumas šaltuoju laikotarpiu yra apie 4 °C.

**Prasminiai žodžiai:** karvidė, šiluminės savybės, temperatūrų skirtumas, santykinis oro drėgnis.

### 1. Įvadas

Iki praeito amžiaus septintojo dešimtmečio vidurio rekomenduotina patalpos, kurioje laikomos melžiamos karvės, oro temperatūra buvo 10–15 °C [1]. Todėl vėsus ir vidutinio klimato zonose statytos apšiltintos (šiltos) karvidės. Vėliau, didėjant karvių produktyvumui, rekomenduotina temperatūra nuolat mažinta, nes nustatyta, kad produktyvi karvė išskiria daug šilumos, o žema temperatūra apsaugo gyvulį nuo perkaitimo. Pastarųjų metų tyrimais [2] nustatyta, kad produktyviai karvei, duodančiai 20 ir daugiau kilogramų per parą pieno, tinkamiausia temperatūra – nuo 5 °C šilumos iki 10 °C šalčio. Primilžiai pastebimai mažėja tik temperatūrai viršijus 24 °C šilumos bei nukritus žemiau nei 27 °C šalčio. Tačiau kad nesutrikėtų mėšlo šalinimo sistemos veikimas, karvidės temperatūra neturėtų nukristi žemiau nei 18 °C šalčio [3]. Didžiausias leistinasis karvidės oro santykinis drėgnis žiemą – 95 %, o per karščius – 60 %, mažiausias leistinasis – atitinkamai 50 % ir 40 % [4].

Neapšiltintą tvartą būtina intensyviai vėdinti netgi žiemą [5]. Svarbus vėdinimo intensyvumo rodiklis yra temperatūrų tarp patalpos ir lauko oro skirtumas. Kai jis didelis, yra pavojus, kad bus didelė ir CO<sub>2</sub> koncentracija, didelis oro santykinis drėgnis, o išorinių atitvarų vidinis paviršius rasos. Kad nesikondensuotų vandens garai, o vasarą gyvuliai būtų apsaugoti nuo perkaitimo, tvarto stogą siūloma šiek tiek apšiltinti, pavyzdžiui, lentomis ar kelių sluoksnių plokštėmis [4].

Neapšiltintų plačių (plotis – 32 m) karvidžių temperatūrinio-drėgmės režimo priklausomybę nuo lauko oro parametrų eksperimentiškai tyrė K. A. Janni ir kt. [3]. Jie nustatė, kad sausį, kai lauko oro temperatūra nukrisdavo

iki 24 °C šalčio, karvidžių oro temperatūra būdavo apie 16 °C šalčio, o santykinis drėgnis – apie 95 % (lauko oro – 80 %). Liepą, kai karščiai padidėdavo iki 34 °C, karvidėse būdavo 0–2 °C vėsiau, tačiau oro santykinis drėgnis 8 % viršydavo lauko oro drėgnį (lauke būdavo 71 %, patalpoje – 79 %).

A. Pajumagi ir kt. [6] tyrimų duomenimis, 30 m pločio karvidėje temperatūra liepos – rugsėjo mėnesiais buvo 1–2 °C aukštesnė negu lauke ir kito nuo 4,0 iki 33,8 °C. Patalpos oro santykinis drėgnis laikėsi vidutiniškai 8 % didesnis už lauko oro ir naktimis dažnai padidėdavo iki 100 %. Tačiau beasbesčio šiferio stogas sugerdavo vandens garų kondensatą, kuris dieną išgaruodavo.

Yra gyvulininkystės patalpų mikroklimato rodiklių prognozavimo metodikų. Pastaraisiais metais sudaryti išsamūs mechaniškai vėdinamos kiaulidės oro temperatūros, santykinio drėgnio, dulkių, amoniako koncentracijos dinamikos matematiniai panašumo modeliai [7]. Tačiau nežinant, kaip kinta vėdinimo intensyvumas, kaip pasikeičia gyvulių skleidžiamų šilumos ir vandens garų srautai, kai patalpos temperatūra neigiama, šių modelių taikyti negalima.

Iš literatūros apžvalgos galima spręsti, kad natūraliai vėdinamų neapšiltintų karvidžių temperatūrinis-drėgmės režimas paprastai eksperimentiškai tiriamas gamybos sąlygomis. Taip pat galima daryti prielaidą, kad dėl nepakankamo vėdinimo plačiose karvidėse oro santykinis drėgnis dažnai viršija lauko oro drėgnį.

Darbo tikslas – analiziškai ir eksperimentiškai pagrįsti karvidės temperatūrinio-drėgmės režimo optimalias reikšmes, kurios tiktų projektuojant ir eksploatuojant vėdinimo sistemą.

## 2. Tyrimų metodika ir objektas

Taikyti analiziniai, pagrįsti šiluminės fizikos principais, ir eksperimentiniai tyrimų metodai.

Analiziniais tyrimais gaunama patalpos oro santykinio drėgnio priklausomybė nuo patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumo, analizė siejant su perspektyvių karvidžių šiluminėmis savybėmis, Lietuvos klimatinėmis sąlygomis. Gauti rezultatai palyginti su eksperimentiniais duomenimis.

Karvidės šiluminės savybės apibūdinamos šilumos nuostolių modulių, kuris rodo, kokia gyvulių bendrosios šilumos srauto dalis prarandama pro išorines atitvaras, kai temperatūrų tarp patalpos ir lauko oro skirtumas – vienas laipsnis [8]. Bendrasis šilumos nuostolių modulis  $x_0$  rodo šilumos nuostolius pro visas išorines atitvaras, o dalinis  $x$  – nuostolius pro sienas ir stogą.

Bendrasis šilumos nuostolių modulis, 1/K:

$$x_0 = \frac{\sum UA + \psi P}{\sum Q_0}. \quad (1)$$

Dalinis šilumos nuostolių modulis, 1/K:

$$x = \frac{\sum UA}{\sum Q_0}, \quad (2)$$

čia  $U$  – atitvaros (sienų ir stogo) šilumos perdavimo koeficientas,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $A$  – atitvaros plotas,  $m^2$ ;  $\psi$  – savitieji šilumos nuostoliai pro grindis ir pamatus,  $W/(m \cdot K)$  (kai pamatai ir grindys apšiltinti,  $\psi = 0,9$ , o kai neapšiltinti –  $\psi = 1,5$   $W/(m \cdot K)$ );  $P$  – pamatų perimetras,  $m$ ;  $\sum Q_0$  – gyvulių bendrosios šilumos srautas,  $W$ .

Eksperimentiniai tyrimai atlikti neapšiltintoje 200 vietų 21 m pločio karvidėje. Karvidės sienų ir stogo vidutinis šilumos perdavimo koeficientas – 4,5  $W/(m^2 \cdot K)$ . Bendrasis šilumos nuostolių modulis – 0,057 1/K, o dalinis – 0,056 1/K. Šviežias oras pro 15 mm pločio plyšius tarp išilginių sienų lentų įeina į tvarto viršutinę dalį, o užterštas šalinamas pro 0,6 m pločio kraigo plyšį. Oro šalinimo plyšio bendrasis plotas – 42  $m^2$ . Oro įėjimo angų per šalčius bendrasis plotas – 17  $m^2$ . Šiltuoju metu atidaromos karvidės durys. Tada bendrasis angų sienose plotas prilygsta kraigo plyšio plotui.

Tyrimų metu matuota patalpos ir lauko oro temperatūra ir santykinis drėgnis bei oro srautų greitis kraigo plyšyje ir vėjo greitis. Oro temperatūra ir drėgnis buvo registruojami kas valandą vieną karvių laikymo tvarte laikotarpį – nuo lapkričio iki balandžio mėnesio. Tam naudota kompiuterinis temperatūros ir drėgnio matavimo-registravimo prietaisas TRACER COX. Oro judėjimo ir vėjo greitis matuoti prietaisu ALMEMO-2290-3.

## 3. Analiziniai tyrimai

Patalpos oro santykinį drėgnį, o žiemą dar ir išorinių atitvarų rasojaimą, skaičiuojamuosius vėdinimo sistemos parametrus lemia patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumas, kuris savo ruožtu priklauso nuo šilumos ir vandens garų srautų patalpoje, pastato šiluminių savybių, lauko klimatinė sąlyga.

Patalpos oro santykinio drėgno ir temperatūrų skirtumo sąsaja nustatoma kartu sprendžiant patalpos šilumos ir vandens garų balansų lygtis. Iš šilumos balanso lygties randama, kad savitasis vėdinimo intensyvumas (t. y. vėdinimo intensyvumas, skaičiuojant gyvulių bendrosios šilumos vienetai) šilumos pertekliui pašalinti  $g$ ,  $kg/kJ$ :

$$g = \frac{1}{c} \left[ \frac{\varepsilon + \eta I x}{\Delta t} - x_0 \right], \quad (3)$$

o savitasis vėdinimo intensyvumas vandens garų pertekliui pašalinti –

$$g = \frac{e}{d_i \varphi_i - d_o \varphi_o}, \quad (4)$$

čia  $\varphi_i$ ,  $\varphi_o$  – patalpos ir lauko oro santykinis drėgnis, vieno dalimis;  $d_i$ ,  $d_o$  – patalpos ir lauko oro masinis drėgnis esant sočiajai būsenai,  $g/kg$ ;  $c$  – oro savitoji šiluminė talpa,  $kJ/(kg \cdot K)$ ;  $e$  – savitasis vandens garavimo intensyvumas (vandens garų kiekis, išskiriamas gyvulių ir išgaurojantis patalpoje, tenkantis gyvulių bendrosios šilumos vienetai),  $g/kJ$ ;  $\varepsilon$  – gyvulių laisvosios šilumos ir bendrosios šilumos santykis;  $\eta = \beta/\alpha_o$  – saulės apšvietos koeficientas,  $m^2 \cdot K/W$  ( $\beta$  – atitvaros išorinio paviršiaus Saulės energijos absorbuojimo koeficientas;  $\alpha_o$  – atitvaros išorinio paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas,  $W/(m^2 \cdot K)$ );  $I$  – Saulės energijos į visą išorinių atitvarų paviršių vidutinis srauto tankis,  $W/m^2$ ;  $\Delta t$  – patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumas,  $^{\circ}C$ .

Išsprendus (3) ir (4) lygtis randama, kad

$$\varphi_i = \frac{1}{d_i} \left[ \frac{ce}{\frac{\varepsilon + \eta I x}{\Delta t} - x_0} + \varphi_o d_o \right]. \quad (5)$$

Vidutinis savitasis vandens garavimo intensyvumas taip priklauso nuo patalpos oro temperatūros  $t_i$ ,  $^{\circ}C$ , [9]:

$$e = 0,085 \times 10^{0,02 t_i}. \quad (6)$$

Dydis

$$\varepsilon = 1 - 2,5e, \quad (7)$$

čia 2,5 – vandens savitoji garavimo šiluma,  $kJ/g$ .

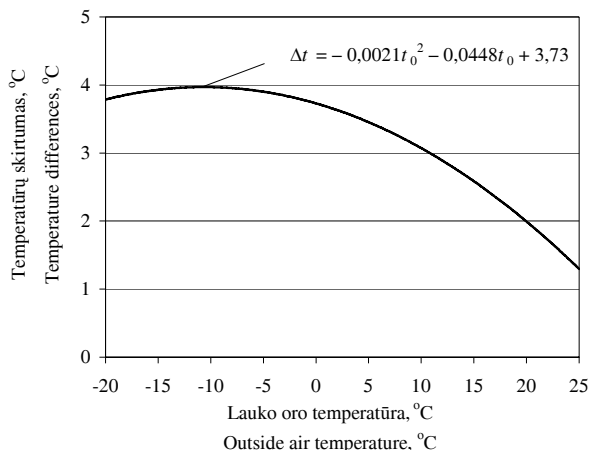
Optimali temperatūrų skirtumo  $\Delta t$  reikšmė yra tokia, kuriai esant patalpos oro santykinis drėgnis  $\varphi_i$  yra mažiausias. Eksperimentinės karvidės analizės rezultatai parodyti 1 ir 2 pav. Analizuojant pasirinkta:

- Lauko oro santykinis drėgnis  $\varphi_o$ , %, priklauso nuo oro temperatūros  $t_o$ ,  $^{\circ}C$  [10]:

$$\varphi_o = 86,6 - 0,535 t_o - 0,0368 t_o^2; \quad (8)$$

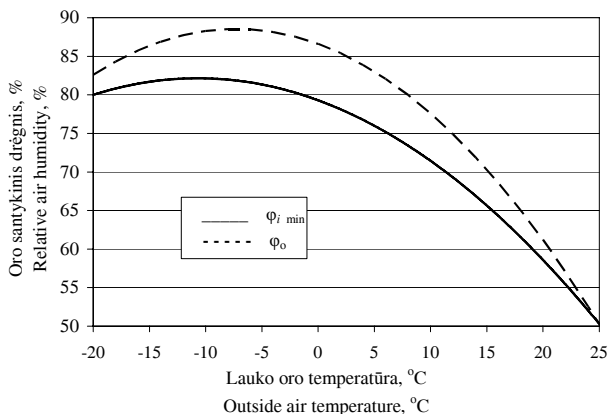
- Saulės apšvietos koeficientas  $\eta = 0,022$   $m^2 \cdot K/W$  [11].
- Saulės apšvietos į pastato atitvaras tankis, atitinkamai pagal lauko oro temperatūrą [11]:

kai $t_o$ , $^{\circ}C$ –	–5	0	10	$\geq 15$
tai $I$ , $W/m^2$ –	20	130	145	190



**1 pav.** Optimalaus patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumo  $\Delta t$  priklausomybė nuo lauko oro temperatūros  $t_o$ , kai karvidės šilumos nuostolių modulis  $x_o = 0,057$  1/K

**Fig 1.** Dependence of optimal difference between inside and outside air temperature  $\Delta t$  on outside air temperature  $t_o$ , when modulus of cowshed heat losses  $x_o = 0,057$  1/K



**2 pav.** Galimo minimalaus patalpos oro santykinio drėgumo  $\phi_{i \min}$  priklausomybė nuo lauko oro temperatūros  $t_o$ , kai karvidės šilumos nuostolių modulis  $x_o = 0,057$  1/K,  $\phi_o$  – lauko oro santykinis drėgnis

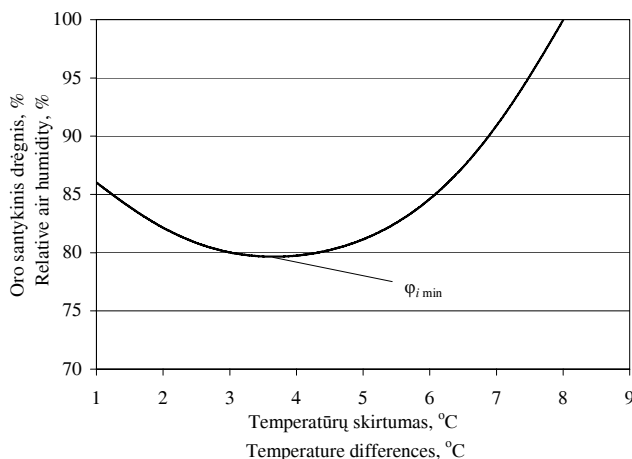
**Fig 2.** Dependence of possible minimum relative humidity of inside air  $\phi_{i \min}$  on outside air temperature  $t_o$ , when modulus of cowshed heat losses  $x_o = 0,057$  1/K,  $\phi_o$  – relative humidity of outside air

Analizės rezultatai rodo, kad šaltuoju laikotarpiu, kai lauko oro temperatūra žemesnė nei 0 °C, optimalus patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumas – apie 4 °C. Tada patalpos oro santykinis drėgnis mažiausias ir apie 5 % mažesnis už lauko oro santykinį drėgnį. Kai temperatūrų skirtumas didėja ar mažėja, palyginti su optimalia reikšme, patalpos oro santykinis drėgnis didėja (3 pav.).

Kad ant išorinių atitvarų vidinio paviršiaus nesikondensuotų vandens garai, leistinasis patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumas randamas iš lygties

$$t_r \leq \theta = t_i - \frac{U}{\alpha_i} \Delta t_l, \quad (9)$$

čia  $t_r$  – patalpos oro rasos taško temperatūra, °C;  $\theta$  – atitvaros vidinio paviršiaus temperatūra, °C;  $\alpha_i$  – atitvaros



**3 pav.** Patalpos oro santykinio drėgumo priklausomybė nuo patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumo, kai lauke 5 °C šalčio, lauko oro santykinis drėgnis – 88 %, karvidės šilumos nuostolių modulis – 0,057 1/K,  $\phi_{i \min}$  – galimas minimalus patalpos oro santykinis drėgnis

**Fig 3.** Dependence of relative humidity of inside air on difference between inside and outside air temperature, when outside air temperature is minus 5 °C, relative humidity of outside air – 88 %, and modulus of cowshed heat losses – 0,057 1/K,  $\phi_{i \min}$  – possible minimum relative humidity of inside air

vidinio paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

Leistinasis temperatūrų skirtumas

$$\Delta t_l \leq \frac{\alpha_i}{U} (t_i - t_r). \quad (10)$$

Patalpos oro ir jo rasos taško temperatūros su oro masiniu drėgnumu siejamos regresijos lygtimis. Statistiškai išanalizavus fizikinius duomenis, gaunama, kad didžiausias (sočioji būseną) masinis oro drėgnis  $d$ , g/kg, taip priklauso nuo oro temperatūros  $t$ , °C:

$$d = 3,82 \times 1,08^t, \text{ kai } (-20 \leq t \leq 5) \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (11)$$

Iš (11) lygties nustatoma, kad patalpos oro temperatūra

$$t_i = 29,9 \lg d - 17,43. \quad (12)$$

Leistinasis faktinis oro masinis drėgnis

$$d_i = d\phi_i = 3,82 \times 1,08^{t_r}, \quad (13)$$

čia  $\phi_i$  – patalpos oro santykinis drėgnis, vieneto dalimis.

Tada patalpos oro rasos taško temperatūra

$$t_r = 29,9(\lg d - \lg \phi_i) - 17,43. \quad (14)$$

Išsprendus (10, 12, 14) lygtis nustatoma, kad norint, jog vandens garai nesikondensuotų ant tvarto išorinių atitvarų vidinio paviršiaus, reikia palaikyti tokį patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumą

$$\Delta t_l = -29,9 \frac{\alpha_i}{U} \lg \phi_i. \quad (15)$$

Jei  $\alpha_i = 8,7$   $W/(m^2 \cdot K)$ , tai

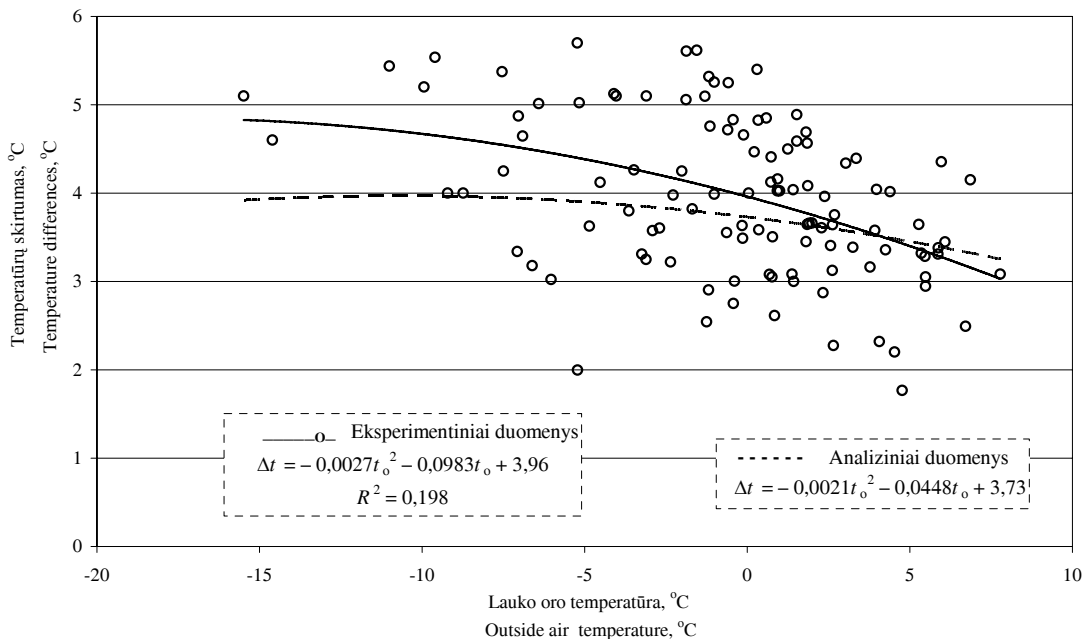
$$\Delta t_l = -\frac{260}{U} \lg \phi_i. \quad (16)$$

Pastaraisiais metais karvidžių stogai dažnai dengiami beasbesčiu šiferiu, kurio šilumos perdavimo koeficientas  $U = 3,7 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ , skarda ( $U = 6,6 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ). Kai lauko oro santykinis drėgnis vidutinis daugiametis, o karvidė normaliai vėdinama, pirmuoju atveju leistinas apie  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūrų skirtumas, o antruoju –  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Žinant optimalų temperatūrų skirtumą, apskaičiuojamas racionalusis vėdinimo intensyvumas bei vėdinimo sistemos parametrai. Bendruoju atveju per vėdinimo sistemą einantis oro srautas (vėdinimo intensyvumas)

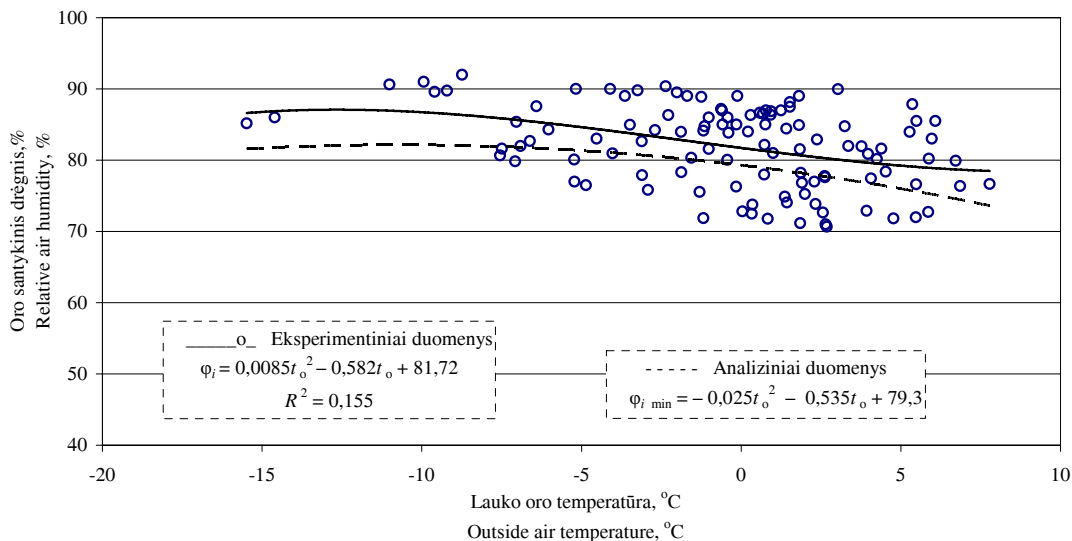
$$G = \frac{\sum Q_0}{c} \left[ \frac{\varepsilon + x\eta I}{\Delta t} - x_0 \right] = \rho_0 v_1 \sum A_1 = \rho_i v_2 \sum A_2, \tag{17}$$

čia  $G$  – optimalus vėdinimo intensyvumas,  $\text{kg/s}$ ;  $\sum Q_0$  – gyvulių bendrosios šilumos srautas,  $\text{kW}$ ;  $\rho_i, \rho_0$  – patalpos ir lauko oro tankis,  $\text{kg/m}^3$ ;  $v_1, v_2$  – oro greitis įėjimo ir šalinimo angose,  $\text{m/s}$ ;  $\sum A_1, \sum A_2$  – bendrieji oro įėjimo ir šalinimo angų plotai,  $\text{m}^2$ .



4 pav. Eksperimentinė ir analizinė patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumo  $\Delta t$  priklausomybė nuo lauko oro temperatūros  $t_o$ , kai karvidės šilumos nuostolių modulis  $x_0=0,057 \text{ 1/K}$

Fig 4. Experimental and analytical dependence of difference between inside and outside air temperature  $\Delta t$  on outside air temperature  $t_o$ , when modulus of cowshed heat losses  $x_0 = 0,057 \text{ 1/K}$



5 pav. Eksperimentinė ir analizinė patalpos oro santykinio drėgnio  $\phi_i$  priklausomybė nuo lauko oro temperatūros  $t_o$ , kai karvidės šilumos nuostolių modulis  $x_0 = 0,057 \text{ 1/K}$

Fig 5. Experimental and analytical dependence of relative air humidity of inside air  $\phi_i$  on outside air temperature  $t_o$ , when modulus of cowshed heat losses  $x_0 = 0,057 \text{ 1/K}$

#### 4. Eksperimentinių tyrimų rezultatai

Eksperimentinių tyrimų rezultatai ir jų lyginimas su analiziniais pateikta 4 ir 5 pav. Taškai atitinka vidutinės paros eksperimentines reikšmes. Tyrimų metu lauko oro vidutinė paros temperatūra kito nuo  $-15,2$  °C šalčio iki  $8,3$  °C šilumos, o santykinis drėgnis – nuo 78,1 iki 98,1 %.

Patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumo eksperimentinę priklausomybę nuo lauko oro temperatūros galima išreikšti šia regresijos lygtimi

$$\Delta t = -0,0027t_o^2 - 0,0983t_o + 3,96. \quad (18)$$

Šaltuoju laikotarpiu karvidės vidutinė paros oro temperatūra buvo  $4,6$  °C ( $p \leq 0,05$ ) aukštesnė už lauko oro temperatūrą. O eksperimentinis temperatūrų skirtumas apie  $1$  °C didesnis už analizinę reikšmę.

Patalpos oro santykinio drėgnio eksperimentinę priklausomybę, %, nuo lauko oro temperatūros galima išreikšti šia regresijos lygtimi

$$\varphi_i = 0,0085t_o^2 - 0,5818t_o + 81,72. \quad (19)$$

Eksperimentinių kreivių determinuojamieji koeficientai  $R^2$  yra 0,198 ir 0,155, t. y. koreliaciniai santykiai – 0,44 ir 0,39. Ryšiai silpni, tačiau pakankami tendencijai išryškinti. Šią tendenciją taip pat patvirtina analiziniai tyrimai.

Skirtumas tarp eksperimentinių ir analizinių patalpos oro santykinio drėgnio reikšmių (5 pav.) buvo nežymus – apie 2 %.

Karvidės vėdinimo intensyvumas kito nuo 450 iki  $760 \text{ m}^3/\text{h}$  karvei ir viršijo rekomenduotiną Europos valstybėse: minimalus žiemą –  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  karvei, maksimalus vasarą –  $500 \text{ m}^3/\text{h}$  karvei [12].

Galima teigti, kad karvidės vėdinimo sistema suprojektuota bei įrengta tinkamai, ir mikroklimato parametrai palaikomi artimi optimaliems.

#### 5. Išvados

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad plačių karvidžių oro santykinis drėgnis dažnai didelis ir net 15 % viršija lauko oro santykinį drėgnį. Prognozuojama, kad didelio drėgnio priežastis – nepakankamas karvidės vėdinimas.

2. Atlikus analizinius tyrimus sudaryta lygtis (3), patalpos oro santykinį drėgnį siejanti su patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumu, apibūdinančiu karvidės vėdinimo intensyvumą.

3. Analiziniais ir eksperimentiniais tyrimais pagrįsta, kad galimas minimalus karvidės oro santykinis drėgnis yra apie 5 % mažesnis už lauko oro santykinį drėgnį.

4. Neapšiltintos karvidės (sienų ir stogo vidutinis šilumos perdavimo koeficientas –  $4,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) optimalus patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumas šaltuoju laikotarpiu (lauke mažiau kaip  $0$  °C) – apie  $4$  °C.

5. Gauti patalpos ir lauko oro temperatūrų skirtumo duomenys leidžia pagrįstai apskaičiuoti natūraliojo vėdinimo sistemos matmenis (vėdinimo angų plotus) visais metų laikais. Sudaryta pradinė matmenų skaičiavimo formulė (17).

#### Literatūra

1. Horntvedt, R. Norwegian lines for keeping of cattle and swine. *Animal husbandry*. Collection of Scientific Works of Lithuanian Institute of Animal Science, No 38, appendix, 2001, p 67–71.
2. Epinatjeff, P. Aussenklimästalle für Milchvien. *Landtechnik*, 52(6), 1997, S 313–316.
3. Janni, K. A.; Alenn, D. M. Thermal environmental conditions in curtain-sided naturally ventilated dairy freestall barns. In: *Livestock Environment VI*. Proceedings of the 6th International Symposium (21–23 May 2001, Louisville, Kentucky, USA). ASAE Publication Number 701PO2001, 2001, p 367–376.
4. Van Caenegem, L.; Wechsler, B. Stallklimawerte und ihre Berechnung. *FAT-Schriftenreihe*, 51, 2000. 89 S.
5. Hilty, R.; Kaufmann, R.; Van Caenegem, L. Building for cattle husbandry. *Yearbook of Agricultural Engineering*. Editors: Matthies, H. J.; Meier, F. VDMA Landtechnik 15, 2002, p 163–170.
6. Pajumagi, A.; Miljan, J. Temperature and humidity regime in summer in a large uninsulated loose housing cowshed with a non-asbestos fiber-cement roof. In: *Actual Tasks on Agricultural Engineering*. Proceedings of the 33th International Symposium on Agricultural Engineering. Opatija, Croatia, 21–25 February 2005, p 543–550.
7. Zhang, L.; Smith, T. F.; O'Shaughnessy, P. T. Development of a simulation model for a ventilation system for swine confinement. In: *Livestock Environment VI*. Proceedings of the 6th International Symposium (21–23 May 2001, Louisville, Kentucky, USA). ASAE publication number 701PO201, 2001, p 293–300.
8. Kavolėlis, B. The parameters of the ventilation system of uninsulated cowsheds. *Energy and Buildings*. Elsevier, 32, 2000, p 1–4.
9. Kavolėlis, B.; Sirvydas, A. P. Apšiltinto ir neapšiltinto tvarto natūralaus vėdinimo sistemų parametru pagrindimas. *Aplinkos inžinerija*, 10(1), 2002, p 20–24.
10. RSN 156–94. Statybinė klimatologija. Vilnius, Lietuvos Respublikos statybos ir urbanistikos ministerija, 1995. 136 p.
11. Kavolėlis, B.; Šateikis, I. Effective cowshed insulating and ventilation system parameters. *Energy and Buildings*. Elsevier, 36, 2004, p 969–973.
12. Seedorf, J.; Hartung, J.; Schroder, M. et al. A Survey of ventilation rates in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70, 1998, p 39–47.

## OPTIMUM TEMPERATURE AND HUMIDITY REGIME OF UNINSULATED COWSHEDS

**B. Kavolėlis, R. Bleizgys**

### Abstract

The objective of the work is to substantiate the optimum values of temperature-humidity regime in cowsheds which are required in designing and exploiting a ventilation system. An equation, which connects relative air humidity of a room with difference between inside and outside air temperature, was developed. Another equation, which shows the greatest allowed difference of temperatures under which water vapour does not condensate on the internal surface of an external partition, was composed as well. By analytical and experimental investigation, it is substantiated that possible minimum relative air humidity in a cowshed is by about 5 % lower than relative outside air humidity. Optimal difference between inside and outside air temperature in the cold period of the year is about 4 °C.

**Keywords:** cowshed, thermal characteristics, temperature difference, relative air humidity.

## РАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ НЕУТЕПЛЕННОГО КОРОВНИКА

**Б. Каволелис, Р. Блейзгис**

### Резюме

Литературный анализ показал, что относительная влажность воздуха широких коровников зачастую оказывается высокой и на 15 % превышает влажность наружного воздуха. Причина этого – недостаточный воздухообмен. Целью работы было обосновать рекомендуемые параметры температурно-влажностного режима коровника, которые необходимы при проектировании и эксплуатации системы воздухообмена. Проведены аналитические и экспериментальные исследования. Разработано и экспериментально проверено уравнение, связывающее относительную влажность воздуха помещения с температурным перепадом между внутренним и наружным воздухом, обосновано условие для невыпадения конденсата на внутренней поверхности ограждения. В холодном коровнике (коэффициент теплопередачи стен и крыши 4,5 Вт/(м<sup>2</sup>·К)) рациональный температурный перепад в зимний период составляет около 4 °C. В этом случае относительная влажность внутреннего воздуха на 5 % ниже, чем влажность наружного воздуха, а водяной пар на поверхности ограждения не выпадает.

**Ключевые слова:** коровник, тепловые условия, температурный перепад, относительная влажность воздуха.

**Bronius KAVOLĖLIS.** Dr Habil, Prof and head of Institute of Agricultural Engineering, Lithuanian University of Agriculture (LŽŪU).

Doctor Habil of Science, Institute of Agricultural Engineering, Lithuanian Academy of Agriculture (now LŽŪU), 1994. Doctor of Science, Lithuanian Academy of Agriculture (now LŽŪU), 1969. Professor (1999), Associate Professor (1996), LŽŪU. Publications: author of over 130 research papers and 7 inventions, 12 books and booklets. Research interests: investigation and development of animal housing technologies.

**Rolandas BLEIZGYS.** Dr, Assoc Prof (since 2000), head of Dept of Heat and Biotechnological Engineering, Lithuanian University of Agriculture (LŽŪU).

Doctor of Science, LŽŪU, 1996. Master of Science, LŽŪU, 1991. Probation in Germany. Publications: author of over 20 research papers. Research interests: technologies and housing systems for animals.