

VEISELAUDA SISEKLIIMAT MÕJUTAVAD TEGURID JA LÜPSIPLATSI KLIIMAPARAMEETRITE TÕÖKINDLUS

I. Tomson, V. Viljasoo, N. Bajeva, A. Bajeva

Eesti Maaülikool

Sissejuhatus

Nüüdisajal on sisekliima töökindlus ja selle tagamise meetodid muutumas järjest aktuaalsemaks uurimisvaldkonnaks. Sisekliima hõlmab suures koguses erinevaid parameetreid, mida eriala teadlased on ka palju mõõtnud, kuid sisekliima töökindlust ja selle tagamise meetodeid ei ole meile teada olevatel andmetel varem uuritud. Sellest tulenevalt on huvipakkuv uurida ka tootmises kasutatavate tehnoloogiate, materjalide ning nendest tekkivate kõrvalproduktide mõju sisekliimale.

Nõuetekohase sisekliima tagamiseks kasutatakse peamiselt kütmist, õhustamist ja ventilatsiooni. Väärtustades sisekliimat ja taotleades selle vastavust kehtestatud normidele, loome eeldused eelkõige kvaliteetsema elu- ja töökeskkonna tagamisele. Kui sisekliima parameetrid ei püsi normtasemel, toimub nende töökindluse muutumine ajas, mis väljendub tõrgetena parameetrite osas.

Artiklis esitatakse andmed veiselaudas kasutatavate ja saadavate materjalide sisekliimaliste omaduste ja sisekliima parameetrite normide kohta, käsitletakse valitud parameetrite töökindlusnäitajaid ja nende alluvust jaotusseadustele.

Uurimistöö eesmärgiks oli veiselauda sisekliimat mõjutavate tegurite ja olulisemate sisekliima-parameetrite normide määramine selleks, et arendada tootmiskeskonna sisekliima töökindluse hindamist.

Püstitatud eesmärgi saavutamiseks olid lahendatud järgmised ülesanded: 1) veiselauda sisekliimat mõjutavate tegurite määramine ja süstematiseerimine; 2) veiselauda sisekliima parameetrite ja normide käsitus; 3) lüpsiplatsi sisekliima töökindluse hindamine kliimaparameetrite töökindlusnäitajate määramise alusel.

Võtmesõnad: sisekliima, mikrokliima, elektrokliima, parakliima, väliskeskond, tehnoloogilised protsessid, materjalid, töökindlus.

Objekt ja meetodika

Teaduslikest uurimistöödest selgus, et mõiste *kliima* on käsitletav *välis-* ja *sisekliimana*, mis omakorda võivad olla liigitatavad kliimaparameetrite erisuste tõttu *mikro-*, *para-* ja *elektrokliimaks*. Koostatud meetodikat on võimalik edukalt kasutada valitud uurimissuuna teaduspõhiseks arendamiseks ja tulemuste praktikasse evitamiseks nii põllumajanduses kui ka tööstuses (Tomson, 2001; Viljasoo, Tomson, 2003).

Teaduslike uurimisvaldkondade diferentseerituse tõttu on iga kliimaparameetri uurimist võimalik arendada omaette teadusvaldkonnaks. Selline käsitus on võimalik tänu elektroonilistele ja täpsetele mõõteriistadele. Samas on võimalik kliimaparameetrid ka rühmitada. Näiteks kasutati Eesti Vabariigi tööohutus- ja tervishoiualastes õigusaktides (Tööohutus..., 1998) mõistet *mikrokliima*, mis ühendas ühte rühma selliseid näitajaid nagu õhutemperatuur \mathcal{G}_k , suhteline õhuniiskus W_s , õhuliikumiskiirus v ja soojuskoormus Q . Lisaks on soovitatav arvestada niisuguste näitajatega nagu kastepunkt \mathcal{G}_p , absoluutne õhuniiskus W_a (Tomson, 2001; Viljasoo, Tomson, 2003), loomalt erituv soojus Q_s ja niiskus W_l .

Teist rühma, millesse koondusid *sisekliima* sellised näitajad nagu müra \bar{X} , vibratsioon, valgustustihedus E , rõhk, kiirus R , gaasid (O_2 , CO_2 , CO , NH_3 , NO_2 , SO_2 , H_2S), tolm T , bakterid, viirused, õhuvajadus H , optimaalne õhumaht looma kohta H_o , õhuvahetuskordus N , normpindala looma kohta S_a ja veiselauda kõrgus h_a (Tomson, 2001; Viljasoo, Tomson, 2003), on võimalik nimetada *parakliimaks* (Viljasoo, Tomson, 2002). Mõiste *parakliima* tuleneks kreeka keelsest sõnast *para*, mis antud valdkonnas oleks mõistetav kui igasuguse tegevusega põhjustatud kõrval- ja juures- või kaastoimiv nähtus.

Elektrokliima (ingl *electroclimate*) on elu-, tootmis- või muu tegevusega seotud ruumivälise või ruumisise õhu elektrostaatiline seisund. Elektrokliimaline õpetus ja uurimistöö põhineb ionisatsiooniteooria sellistel põhimõistetel nagu aeroioon, polaarsus, ionisatsioon, aerosool, ionide piirliikuvus, õhu elektrijuhtivus, aeroioonide elektrostaatiline hajuvus, ionide stabiilsus, kontsentratsioon ja unipolaarsustegur (Viljasoo, Tomson, 2001).

Elektrokliima parameetrid on määratud loendatud aeroioonide alusel. Lautades aeroioonide kontsentratsiooni määramiseks kasutati ionide loendurit UT-8401, mille mõõtmisviga on $\pm 10\%$. Veiselaudas on mõõdetud keskkonna selliseid mikro- ja parakliimaparameetreid nagu õhu temperatuur, õhu suhteline ja absoluutne niiskus, kastetäpp, õhu liikumiskiirus ja õhu gaasiline koostis (O_2 , CO_2 , NH_3). Selleks kasutati

mõõteseadet Data LOGGER ALMEMO 8990-8 koos O₂ anduriga ZA9000-AK2K, CO₂ anduriga FYA6000-CO2, termohügroanduriga FHA646-1, mis kõik on mõõtmisveaga ±1%, termoanemoanduriga FHA645TH2, mõõtmisviga ±3%, ja ammoniaagianduriga ZA9601-FS2, mõõtmisviga ±2% lõppväärtusest (Tomson, 2001; Viljasoo, Tomson, 2003; Viljasoo, Tomson, 2002).

Usalduslike mõõtmistulemuste saamiseks valiti kooskõlas katsete kavandamise teooriaga (Melnikov jt, 1980) usalduslikuks tõenäosuseks $\alpha = 0,95$. Valitud tõenäosusega andmete saamiseks mõõdeti iga parameetrit vähemalt 30 korda. Mõõtmistulemused registreeriti sidustöötlusmeetodil, statistiliste andmete töötlemiseks kasutati Microsoft Excel programmi.

Mõõtmistulemuste statistilisest infokogumist arvutati mikro-, para- ja elektrokliima parameetrite *suhtelised ülekaalud* ning elektrokliima parameetrite alusel õhu *suhteline saastatus* ja *suhteline värskus* järgmiste valemitega:

$$A = \frac{B}{C} \cdot 100 - 100; \quad S = \frac{q_m}{q_\delta} \cdot 100 - 100; \quad V = 100 - \frac{q_m}{q_\delta} \cdot 100, \quad (1, 2, 3)$$

$$\text{kui } \bar{q} > q_\delta, \text{ siis } K_{SV} = \left(\frac{\bar{q}}{q_\delta} - 1 \right) \cdot 100, \quad \text{kui } \bar{q} < q_\delta, \text{ siis } K_{SV} = \left(1 - \frac{\bar{q}}{q_\delta} \right) \cdot 100, \quad (4)$$

- kus A – sisekliima parameetrite suhteline ülekaal %;
 B – sisekliima parameetrite kontsentratsioonid materjalidest mõjutatud õhus;
 C – sisekliima parameetrite kontsentratsioonid materjalidest mõjutamata õhus;
 S – õhu suhteline saastatus %;
 V – õhu suhteline värskus %;
 K_{SV} – õhu suhtelise saastatuse ja värskuse koosmõju %;
 q_m – aeroioonide unipolaarsustegur ($q_m = n^+/n^-$, kus n^+ – kergeste plusslaenguga aeroioonide kontsentratsioon; n^- – kergeste miinuslaenguga aeroioonide kontsentratsioon) materjalidest mõjutatud õhus;
 q_δ – aeroioonide unipolaarsustegur ($q_\delta = n^+/n^-$, kus n^+ – kergeste plusslaenguga aeroioonide kontsentratsioon; n^- – kergeste miinuslaenguga aeroioonide kontsentratsioon) materjalidest mõjutamata õhus;
 \bar{q} – aeroioonide unipolaarsustegurite väärtuste aritmeetiline keskmine.

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli määrata veisefarmides kasutatavate ja saadavate materjalide võimalikke mõjusid lauda sisekliimale. Selleks mõõdeti sisekliima parameetreid suvel Tartu lähisel oleva suurfarmi viies lüpsilaudas. Andmed lautades kasutatavate materjalide ja tehnoloogiate kohta on toodud tabelites 1, 2. Laudasisese õhkonna kliimaparameetrite mõõtmisi tehti diagnoosikava (tabel 3) kohaselt, mis koostati lauda suvise päevakava alusel. Samuti järgiti kehtivates õigusaktides esitatud nõuet mõõta sisekliimaparameetreid ühe päeva kestel töövahetuse alguses, keskel ja lõpus 1 m kõrgusel (Tööohutus..., 1998). Mõõtmiskõrguse valikul lähtuti ka Soomes, Rootsis ja Venemaal (OCT 1981; Balanin, 1988; Simakov, 1991; Karhunen, 1992) kasutatavast keskmisest mõõtmiskõrgusest 1 m.

Seoses sellega, et õhu elektrostaatiline seisundi uurimisega on maailmateaduses tegeldud alates 19. sajandi lõpust tänapäevani (Keskkonnaalaste..., 1998; Minh, 1963; Sanitarno-gigienitšeskije, 1980; Tšičevski, 1989) ja tehtud uurimistöö tulemusena on välja arenenud ionisatsiooniteooria ja -praktika (Tint, 2000), on valitud uurimisvaldkond eriti aktuaalne ja perspektiivne ka loomapidamises. Selleks, et saada ülevaadet tehnoloogiliste protsesside mõjust ruumisisesest keskkonna elektrokliimale, on eelkõige oluline koguda eraldi käsitletavat teavet tootmises kasutusel olevate materjalide kohta. Veiselautades enam levinud materjalidest on käesolevas töös uuritud silo, õlleraba ja jõusööta, allapanust kuuse-, kase-, haavasaepuru, põhku ja turvast ning kõrvalproduktist sõnnikut (Tomson, 2001; Viljasoo, Tomson, 2001).

Veiselauda lüpsiplatsi sisekliima parameetrite tõrgete statistika kirjeldab aastase perioodi jooksul õhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse mittevastavust töötajale-lüpsjale ja lüpsilehmale kehtestatud normidele. Tõrgete intensiivsuse muutumine aasta jooksul on sesoonse iseloomuga, mida on võimalik selgitada kliimategurite mõjuga. Esitatud andmeid saab kasutada sisekliimaparameetrite tõrgete tõenäosuslikuks prognoosimiseks. Olenevalt konkreetsetest oludest võib teatud ajaperioodil (kuu, sesoon, aasta) toimuda erinev arv tõrkeid. Ainult parameetri keskmise töövältuse kasutamine prognoosina on ebapiisav selle vähese täpsuse tõttu. Sisekliima parameetrite kvalitatiivse taseme tagamiseks on vajalik määrata nende töövõime taseme hinnangulised väärtused.

Parameetri keskmine töövältus (tõrkevältus) ning standardhälve on arvutatud valemitega

$$\bar{t}_i = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad \sigma_i = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}_i)^2}, \quad (5, 6)$$

kus \bar{t}_i – parameetri keskmine töövältus;
 t_i – i-es töövältus;
 n – tõrgete arv;
 σ_i – standardhälve.

Et käsitleda kliimaparaameetri töövõimet selle tõrketa töö tõenäosuse järgi, on variatsiooniteguri arvutusvalemiga

$$v_i = \frac{\sigma_i}{\bar{t}_i} \quad (7)$$

määratud arväärtuste (normaaljaotusseadus (NJS) 0...0,399; Weibulli jaotusseadus (WJS) 0,4...0,765; eksponent-jaotusseadus (EJS) > 0,765) puhul parameetri töövõime alluvus järgmistele jaotusseadustele (Viljasoo, 1998):

$$P_t = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t_i - \bar{t}_i)^2}{2\sigma_t^2}\right), \quad (8)$$

$$P_t = \exp\left(-\left(\frac{t_i}{a}\right)^b\right), \quad P = \exp(-\lambda \cdot t_i), \quad (9, 10)$$

kus P_t – tõrketa töö tõenäosus;
 a, b – Weibulli parameetrid (Selivanov, Artemjev, 1978);
 λ – tõrkevoo parameeter ($\lambda = t_i / \bar{t}_i$).

Olenevalt sisekliima parameetrite tõrgetest põhjustatud tagajärgedest on soovitatav kehtestada parameetri töövõimele hinnang (Viljasoo, 1998). Vastavalt hägusate hulkade teooriale võib see olla vastuvõetav tasemel rahuldav, hea, väga hea, eeskujulik ja täielik.

Veiselautade lüpsiplatside sisekliima parameetrite diagnoosimine toimus Leeli farmi (Mikson, 2000) ja OÜ Revino farmi (Bajeva, Bajeva, 2005) soojustamata lautades ning Vana-Võidu ja Kärevere PÜ farmide (Mikson, 2000) soojustatud lautades aasta ringi lüpsi ajal hommikuti kella 04:00-st 07:00-ni ja õhtuti kella 15:00-st 18:00-ni, moodustades kuuettunnise lüpsipäeva.

Andmete registreerimiseks reaajas lüpsipäevade vältel on kasutatud diagnoosiseadet DATA LOGGER ALMEMO 8990-8 koos mõõteanduritega, mille mõõtmisvead olid $\pm 1... \pm 3\%$ lõppväärtusest. Andmete töötlemisel on kasutatud andmetöötlusprogramme Microsoft Word ja Excel.

Uurimistöö tulemused

Nagu tabelist 1 selgub, on mikrokliimanäitajatest, võrreldes nullkatsega (õhuga), temperatuur \mathcal{G}_t mõnevõrra langenud kõikide materjalide puhul. Seda võib põhjendada konvektsiooniga, mille tulemusena makroskoopiliste ainehulkade liikumisega kaasneb soojuse edasikandumine vedelikku, gaasi või puistainesse. Suhteline õhuniiskus on materjali esialgsest niiskusest. Antud juhul väheneb see jõusööda mõjul ning teiste materjalide puhul suureneb rohkem või vähem. Sellest võib järeldada, et enamik loomakasvatustes kasutatavatest materjalidest suurendab tootmiskeskonnas suhtelist õhuniiskust. Õhuliikumiskiiruse üldine suurenemine väiksema säilitusajaga (kuni 12 h) materjalide puhul, võrreldes 0-katsega, on eelkõige põhjustatud materjalide värskusest.

Sisekliima näitajatest õhu O_2 -sisaldus materjalide mõju tõttu oluliselt ei muutu. Ammoniaagisisaldust õhus vähendavad turvas (45%), saepuru (35...44%) ja jõusööt (41%), mis toimub NH_3 neeldumisel nendes materjalides. Kui allapanu puhul on see eesmärgikohane, siis jõusööda puhul kahjulik nähtus. Värske sõnnikuga tehtud katsetes saadud tulemustest selgub, et ka see materjal pigem seob ammoniaaki. Õhu NH_3 -sisaldust suurendab kõige rohkem silo (279%).

Segamaterjalid (kase-, haava-, kuusesaepuru-sõnnik ja põhu- ning turbasõnnik) säilitusajaga kuni 12 tundi vähendavad õhu ammoniaagisisaldust kuni 79%.

Elektrokliima näitajatest selgub, et allapanumaterjalid suurendavad aeroioonide summaarset kogust (7...162%) ning seda n^+ aeroioonide (1...225%) ja n^- aeroioonide (2...129%) arvel. Nagu tabelis 1 esitatud unipolaarsustegurit q iseloomustavatest andmetest selgub, parendab kõige rohkem tootmiskeskonna sanitaarhügieenilist seisundit turvas (40%) ja halvendab mõningal määral kuusesaepuru (20%). See võib olla põhjustatud kuusepuidu vaigu keemilisest koostisest. Söödadest mõjutavad tootmiskeskonnas õhu ionisatsiooni negatiivselt jõusööt (23%) ja õlleraba (9%), samas aga silo, millest eraldub suuremas koguses n^- aeroioone (22%), parendab keskkonna sanitaarhügieenilist seisundit (62%). Sellest võib teha järelduse, et NH_3 kui keemiline aine on bioloogilistele organismidele piinormist (25 ppm) suuremates kogustes (Tint, 2000) kahjulik ning samas miinusioonina sanitaarhügieeni seisukohalt kasulik. Sõnniku mõju suurendab õhus aeroioonide kogust (2...28%) n^+ aeroioonide (13...33%) ja n^- aeroioonide (6...28%) arvel. Sõnnikust kui kõrvalproduktina saadavast materjalist tulenev negatiivne mõju sanitaarhügieeni olukorrale (2...66%) on saadud katseandmete alusel.

Tabel 1. Veiselauda sisekliimat mõjutavad tegurid

Jrk nr	Tegurid	Mikrokliima					Parakliima	
		g_k °C	W_s %	g_p °C	W_a g/kg	v m/s	O_2 %	NH_3 ppm
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Söödad	Säilitusaeg 12...96 h, suhteliste ülekaalude (alakaalude) suurimad väärtused %						
1.1.	Haljasmass	–	30	38	32	60	2	137
1.2.	Hein (värske)	1	6	10	8	90	2	129
1.3.	Silo	(4)	27	67	22	–	–	279
1.4.	Õlleraba	(4)	30	73	30	(13)	–	(7)
1.5.	Jõusööt	(1)	(6)	(6)	(2)	(21)	–	(41)
2.	Allapanud	Säilitusaeg 12...96 h, suhteliste ülekaalude (alakaalude) suurimad väärtused %						
2.1.	Hein (vana)	3	–	(0,5)	–	(11)	–	(18)
2.2.	Kuusesaepuru	(5)	11	–	–	(10)	–	(35)
2.3.	Kasesaepuru	(3)	2	11	(12)	–	–	(44)
2.4.	Haavasaepuru	(1)	8	7	7	(12)	–	(35)
2.5.	Odrapõhk	–	2	2	1	10	–	(51)
2.6.	Turvas	(5)	17	46	19	(16)	–	(45)
3.	Saadused	Säilitusaeg 12...96 h, suhteliste ülekaalude (alakaalude) suurimad väärtused %						
3.1.	Ekskrement	(1)	4	7	6	42	–	(64)
3.2.	Kuusesaepuru-sõnnik	(1)	16	19	16	6... (12)	–	(74)... (17)
3.3.	Kasesaepuru-sõnnik	(1)	11	13	11	32	–	(79)... 15
3.4.	Haavasaepuru-sõnnik	(1)	13	15	13	56	–	(74)... (40)
3.5.	Odrapõhusõnnik	(1)	19	24	21	10... (21)	(1)	(78)... 17
3.6.	Turbasõnnik	(1)	13	16	14	16	(1)	(78)... (20)

Tabeli 1 järg

Jrk nr	Tegurid	Elektrokliima						
		n^+ cm^{-3}	n^- cm^{-3}	$\sum n^{\pm}$ cm^{-3}	q n^+/n^-	V %	S %	K_{sv} $q=1,3\%$
		10	11	12	13	14	15	16
4.	Söödad	Säilitusaeg 12...96 h, suhteliste ülekaalude (alakaalude) suurimad väärtused %						
4.1.	Haljasmass	(20)	24	8	0,39	36	–	70
4.2.	Hein (värske)	(61)	79	27	0,13	78	–	90
4.3.	Silo	(26)	22	7	0,28	62	–	78
4.4.	Õlleraba	17	8	11	0,51	–	9	61
4.5.	Jõusööt	41	13	22	0,58	–	23	55
5.	Allapanud	Säilitusaeg 12...96 h, suhteliste ülekaalude (alakaalude) suurimad väärtused %						
5.1.	Hein (vana)	(1)... 225	(11)... 129	(7)... 162	0,78	–	11... 42	40
5.2.	Kuusesaepuru	22	2	7	0,42	–	20	68
5.3.	Kasesaepuru	15	17	16	0,42	2	–	68
5.4.	Haavasaepuru	18	(28)	(21)	0,76	–	16	42
5.5.	Odrapõhk	1	29	18	0,38	20		71
5.6.	Turvas	(25)	23	9	0,26	40	–	80
6.	Saadused	Säilitusaeg 12...96 h, suhteliste ülekaalude (alakaalude) suurimad väärtused %						
6.1.	Ekskrement	28... (7)	6... (21)	14... (15)	1,00 0,89	–	27... 16	23... 32
6.2.	Kuusesaepuru-sõnnik	26	(18)... 28	(11)... 27	1,02 0,72	– 2	22 –	22... 45
6.3.	Kasesaepuru-sõnnik	33... 7	(9)... (3)	6... 2	1,06 0,84	– –	47... 12	18... 35
6.4.	Haavasaepuru-sõnnik	13... 29	(21)... 11	(8)... 20	1,16 0,87	– –	43... 16	11... 33
6.5.	Odrapõhusõnnik	(2)... 42	(3)... 15	(3)... 28	1,11 0,61	– –	2... 22	15... 53
6.6.	Turbasõnnik	27... 26	(21)... (24)	(5)... (2)	1,31 0,84	– –	62... 66	(0,8)... 35

Nagu tabelist 2 on näha, oli laudas kõige enam õhu suhtelist ja absoluutset niiskust ning kastepunkti suurendav tehnoloogia sõnniku eemaldamine. Suhtelise ja absoluutse niiskuse ning kastepunkti suhteline ülekogus suurenes võrreldes välisõhuga vastavalt 49%, 51% ja 45%.

Tabel 2. Veiselauda sisekliimat mõjutavad tehnoloogiaprotsessid

Jrk nr	Olukord ja tehnoloogiaprotsessid	Mikrokliima					Parakliima	
		ϑ_k °C	W_s %	ϑ_p °C	W_a g/kg	v m/s	O_2 %	NH_3 ppm
1.	Väliskliima	24,06	54,70	14,35	10,18	0,23	20,98	8,39
2.	Tühi laut	Suhteliste ülekaalude (alakaalude) suurimad väärtused %						
		(1... 11)	27... 44	0... 38	16... 43	(50)... 45	(2)... 0,6	67... 94
3.	Lehmad sisenevad lauta	(5)... 13	1... 5	0... 44	32... 51	(5... 51)	0,3... (2,7)	17... 94
4.	Jõusööda jaotamine	(3)... 16	3... 42	8... 47	8... 56	38... 48	0... (2,4)	48... 104
5.	Mineraalide jaotamine	(5)	3... 10	2... 5	2... 5	(45)	0	–
6.	Haljasmassi jaotamine	(5)... 17	28... 47	31... 54	34... 65	(43... 48)	(0,95... 3,0)	91... 170
7.	Õlleraba jaotamine	(4)... 17	6... 47	34... 51	38... 60	(47)... 65	0,2... (2,2)	55... 195
8.	Lüpsmine	(12)... 19	2... 43	30... 51	34... 60	(48)... 147	0,2... (4,7)	71... 328
9.	Lehmad lähevad välja	12... (3)	2... 15	34... 0	37... 0	(51... 61)	0... (2)	27... 0
10.	Sõnniku eemaldamine	(5)... 16	2... 49	8... 45	8... 51	(55)... 33	0... (2,2)	32... 278
11.	Keskmine	(5,4)... 15,7	23,4	26,8	33,3	(45,8)... 62,7	(2,46)... 0,16	92,8
Jrk nr	Olukord ja tehnoloogiaprotsessid	Elektrokliima						
		n^+ cm^{-3}	n^- cm^{-3}	$\sum n^{\pm}$ cm^{-3}	q n^+/n^-	V %	S %	K_{sv} $q=0,88\%$
1.	Väliskliima	343	338	731	0,88	–	–	–
2.	Tühi laut	Suhteliste ülekaalude (alakaalude) suurimad väärtused %						
		71... (61)	64... (20)	67... (37)	16... (53)	53	16	11
3.	Lehmad sisenevad lauta	(60)	(60)	(60)	25	22	39	(2)
4.	Jõusööda jaotamine	54... (52)	43... (58)	48... (47)	132	18	132	39
5.	Mineraalide jaotamine	(26)	(5)	(15)	22	22	–	(22)
6.	Haljasmassi jaotamine	6... (66)	45... (53)	26... (59)	(27)	27	–	(24)
7.	Õlleraba jaotamine	(69)	(65)	(65)	(30)	30	8	(9)
8.	Lüpsmine	47... (55)	41... (58)	43... (57)	65... (5)	5	65	14
9.	Lehmad lähevad välja	11... (50)	20... (28)	16... (38)	(32)	32	–	(19)
10.	Sõnniku eemaldamine	24... (26)	10... (31)	(29)	77... (32)	32	77	11
11.	Keskmine	35,... (51,7)	37,2... (42,0)	40,0... (45,2)	67,4... (29,8)	26,8	56,2	19... (15)

Võrreldes välisõhuga suurenes laudas suhtelise õhuniiskuse suhteline ülekaal, lehmade lauta sisenemise ajal (5%), mida võib põhjendada lehmade higistamise ja hingeldamise tagajärjel laudaõhku eraldunud veeauruga. Haljasmassi ja õlleraba jaotamise ajal tõusis suhtelise õhuniiskuse suhteline ülekaal vastavalt 47%, mis on põhjustatud märgade söötade omapärast.

Võrreldes välisõhuga oli laudas suhtelise õhuniiskuse suhteline ülekaal suur jõusööda ja haljasmassi jaotamise ning lüpsmise ajal, vastavalt 42, 47 ja 43%. Seda võib põhjendada lehmade higistamise tagajärjel tekkiva veeauruga ning õllerabast niiskuse aurumisega.

Kastepunkti väärtus suurenes laudas seal toimuvate tehnoloogiaprotsesside ajal ja kasutatavate ning saadavate materjalide mõjust tulenevalt kõige rohkem (54%) haljasmassi jaotamise ajal. Õhu absoluutne niiskus suurenes samal ajal 65%.

Samuti suurenes laudas sõnniku eemaldamise ajal ammoniaagi suhteline ülekogus võrreldes välisõhuga, 278%. Ammoniaagi selline kontsentratsioon õhus on lühiajaliselt lubatud, kuigi see võib kahjustada nii loomade kui ka inimeste tervist.

Ammoniaagi suhteline ülekaal 328%, võrreldes välisõhuga, oli kõige suurem lüpsmise ajal sõnnikukäigus. Seda saab põhjendada lüpsmise ajal ärritunud lehmadel tavalisest intensiivsema ekskrementide ja uriini eraldumisega.

Haljasmassi jaotamise käigus toimub selle mehaaniline mõjutamine, mille tulemusena suureneb n^- aeroioonide arv õhus kuni 45%, mis tagab veiselauda õhu suhtelise värskuse parenemise 27% võrra.

Rohkem suurenes n^+ ja n^- aeroioonide kontsentratsioon lüpsmise (43%) ja jõusööda jaotamise (48%) ajal. Haljasmassi jaotamise ajal vähenes järsult n^+ ja n^- aeroioonide arv, vastavalt 66 ja 53%, mis on tingitud traktori väljaheidete gaaside saastavast mõjust lauda elektrokliimale.

Suhteline värskus oli suurim 53% tühjas laudas, mis väheneb erinevate tehnoloogiaprotsesside puhul, kuid jääb siiski domineerivaks võrreldes suhtelise saastatusega.

Tühjas laudas oli õhu suhteline saastatus 16%, mida põhjustab n^+ aeroioonide ülekaal. Lüpsmise ajal õhu suhteline saastatus suurenes kuni 65%-ni, mida võib põhjendada lehmade ärritumisega ja väljaheidete koguse suurenemisega.

Võrreldes välisõhuga oli suhtelise saastatuse ülekaal suurim jõusööda jaotamise (132%), sõnniku eemaldamise (77%), lüpsmise (65%) ja lehmade lauta sisenemise (39%) ajal.

Haljasmass ja õlleraba suurendasid keskkonna suhtelist värskust võrreldes välisõhuga vastavalt 27 ja 30%. Võrreldes neid tulemusi õlleraba kohta saadud katseandmete tabeli 1 alusel arvutatud õhu suhtelise saastatusega, võib siiski õlleraba kohta saadud positiivset tulemust põhjendada haljasmassi jaotamise ajal õhu suhtelise värskuse suurenemisega.

Õhu suhteline värskus võrreldes välisõhuga suurenes 32% lehmade väljumise ajal laudast.

Nagu tabelist 3 selgub, ei vasta veiselautade sisekliima mikro-, para- ja elektrokliima kehtestatud normidele selliste paraameetrite osas nagu õhutemperatuur, kastepunkt, absoluutne õhuniiskus, õhumaht looma kohta ja aeroioonide kogus.

Vastavalt teaduspublikatsioonist (Reppo jt, 1999) saadud andmetele on lüpsja töö summaarne energeetiline koormatus 151 W. Sellest järeldub, et lüpsja töö vastab õigusaktides (Töökeskkond 2006) esitatud normide kohaselt mitteamalasel töökohal keskmise raskusastmega tööle (II B), mille energeetiline norm on vahemikus 133...292 W. Vastavalt õigusaktides kehtestatud normidele on lüpsja töökeskkonna sisekliima optimaalseks temperatuurivahemikuks talveperioodil 13...19 °C ja suveperioodil 15...22 °C ning optimaalseks õhu suhtelise niiskuse vahemikuks nii talve-, kui ka suveperioodil 40...70%. Loomale on tema tervise ja produktiivsuse järgi kehtestatud optimaalseks õhutemperatuuriks 5...20 °C (Reppo, Pals, 2001; Liiske, 1992) ning optimaalseks õhu suhteliseks niiskuseks 60...85% (Liiske, 1992).

Tabelist 4 on näha, et talvel oli soojustamata lauda lüpsiplatsil kahe lüpsipäeva (12,8 h) vältel temperatuuriparaameeter normis ja sellele järgnevalt ühe lüpsipäeva (6,3 h) vältel normist väljas. Kevadel ja suvel olid lehma suhtes temperatuuriparaameetrid sagedasti normist väljas, töövältused (5,8 ja 4,8 h) olid keskmiselt vaid 3,5 korda pikemad kui tõrkevältused. Sügisperioodil oli õhu temperatuur normis.

Tabelist 4 on näha, et sügisel ja talvel olid soojustamata lauda lüpsiplatsil lehma suhtes õhu suhtelise niiskuse tõrkevältused (2,8 ja 4,6 h) pikemad kui töövältused, vastavalt 1 ja 1,5 korda. Siit järeldub, et mittevastavus normile on suurem kui vastavus. Kevadel ja suvel olid töövältused (5,9 ja 3,9 h) pikemad, vastavalt 1,7 ja 1,1 korda.

Tabelist 5 on näha, et kevadel ja suvel olid soojustatud lauda lüpsiplatsi õhu temperatuuri töövältused lüpsja suhtes pikemad kui tõrkevältused, vastavalt 1 ja 1,2 korda, aga talvel oli lüpsja suhtes õhu temperatuuri tõrkevältus pikem 1,9 korda ning suvel lehma suhtes 2,3 korda lühem kui paraameetri töövältus. Soojustatud lauda lüpsiplatsil oli sügisperioodil õhu temperatuur normis.

Tabelist 5 on näha, et talvel lehma ja suvel nii lehma kui ka lüpsja suhtes olid soojustatud lauda lüpsiplatsil õhu suhtelise niiskuse töövältused pikemad kui tõrkevältused, vastavalt 2,1; 2,6 ja 2,1 korda. Kevadel olid paraameetri tõrkevältused nii lehma kui ka lüpsja suhtes pikemad, vastavalt 1,1 ja 9,7 korda.

Tabel 3. Diagnoosandmete registreerimisžurnaal

Jrk nr	Tegurid	Mikrokliima							
		ϑ_k °C	W_s %	ϑ_p °C	W_a g/kg	v m/s	Q W/m ²	Q_s W	W_l g/h
1.	Väliskliima	24,06	54,70	14,35	10,18	0,23	–	–	–
2.	Mikrokliima normid	5... 20	60... 85	≤ 15	≤ 10	0,2... 1,0	≤ 30	305... 775	340... 920
3.	Mikrokliima veiselaudas	21,17... 28,64	55,0... 82,05	14,35... 22,1	10,18... 16,80	0,09... 0,57	–	–	–
4.	Keskmine mikrokliima	24,91	67,50	18,20	13,57	0,33	–	–	–
5.	Mikrokliima vastavus normidele	EI	JAH	EI	EI	JAH	–	–	–
Jrk nr	Tegurid	Parakliima							
		O_2 %	CO_2 %	CO ppm	NH_3 ppm	NO_2 ppm	SO_2 ppm	H_2S ppm	T mg/m ³
1.	Väliskliima	20,98	0	–	8,39	–	–	–	–
2.	Parakliima normid	20... 21	≤ 0,25	≤ 10	≤ 25	≤ 2	≤ 1	≤ 0,5	≤ 5
3.	Parakliima veiselaudas	19,99... 21,11	–	–	8,39... 35,91	–	–	–	–
4.	Keskmine parakliima	20,55	–	–	22,15	–	–	–	–
5.	Parakliima vastavus normidele	JAH	–	–	JAH	–	–	–	–
Jrk nr	Tegurid	Parakliima							
		H m ³ /h	H_o m ³	N h ⁻¹	S_a m ²	h_a m	R μSv/h	E lx	\bar{X} dB(A)
1.	Parakliima normid	≥ 100	≥ 30	1...5	5...9	3...6	≤ 0,15	≥ 40	≤ 87
2.	Parakliima veiselaudas	> 100	16,4... 39,6	> 3	6,1... 9,7	2,7... 4,1	–	–	–
3.	Keskmine parakliima	> 100	26,7	> 3	7,6	3,4	–	–	–
4.	Parakliima vastavus normidele	JAH	EI	JAH	JAH	JAH	–	–	–
Jrk nr	Tegurid	Elektrokliima							
		n^+ cm ⁻³	n^- cm ⁻³	$\sum n^\pm$ cm ⁻³	q n^+/n^-	V %	S %	K_{sv} $q=1,3\%$	
1.	Väliskliima	343	388	731	0,88	–	–	+32	
2.	Elektrokliima normid	≥ 400... ≤ 3000	≥ 600... ≤ 5000	≥ 1000... ≤ 8000	≤ 1,0... 1,3	> 0	≤ 30	±30%	
3.	Elektrokliima veiselaudas	449... 194	516... 229	987... 447	0,77... 0,95	12,5	8,0	+41... +27	
4.	Keskmine elektrokliima	322	373	717	0,86	2	–	+34	
5.	Elektrokliima vastavus normidele	EI	EI	EI	JAH	JAH	JAH	JAH	

Kokkuvõte ja järeldused

Tehnoloogilised protsessid muutuvad keerukamaks ja täpsemaks, sest teadus ja tehnika arenevad. Seda on võimalik saavutada võttes arvesse palju võimalikke paraameetreid. Mikro-, para- ja elektrokliima paraameetrite uurimistulemused võimaldavad motiveerida loomade ülalpidamise praktikat.

Sisekliima uurimine loomade ülalpidamises on vajalik selleks, et hinnata valitud materjalide ja tehnoloogiliste protsesside mõju tootmiskeskonnale, inimeste ja loomade produktiivsusele, nende tervisele ja tootmisele.

Valitud eksperimendi meetod võimaldab erinevate materjalide mõju uurimist ja selle modelleeritud koosmõju arvestamist tootmisel. See võib olla aluseks ventilatsioonisüsteemide kavandamisel tootmishoonetes ning materjalide ja protsesside valimisel.

Soojustamata ja soojustatud lautade lüpsiplatsi sisekliima paraameetrite norme tuleb käsitleda nii töötaja kui lehma seisukohalt.

Selleks, et viia veiselauda lüpsiplatsil sisekliimaparaameetrid vastavusse normidega, on vajalik mitmealalistel töökohtadel võtta kasutusele täiendavaid soojus- ja jahutusseadmeid ning kasutada neid lüpsi ajal.

Soojustamata ja soojustatud lautade lüpsikodasid on võimalik rekonstrueerida täiendava soojustusmaterjaliga ja/või leida lahendusi ventilatsiooni ehitamisega.

Lüpsiplatsi sisekliima paraameetrite tõrketa töö tõenäosus allub normaal- ja Weibulli jaotusseadustele.

Sisekliima paraameetrite töövõime (töövältus tõrke kohta) on küll piisav 60%-lise tõrketa töö tõenäosuse puhul, kuid arvestatavaks heaks tasemeks saab lugeda selle vastavust $\geq 70\%$ -sele väärtusele.

Tabel 4. Soojustamata lauda lüpsiplatsi õhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse töökindlusnäitajad lüpsilehmale sobivama töökeskkonna (5...20 °C, 60...85%) järgi

Töökindlusnäitajad	Tähis, ühik	Õhu temperatuur °C			Õhu suhteline niiskus %			
		talv	kevad	suvi	sügis	talv	kevad	suvi
Töövältus tõrke kohta	\bar{t}_t, h	12,8	5,8	4,8	2,6	3,1	5,9	3,9
Tõrkevältus taastumise kohta	\bar{t}_f, h	6,3	1,6	1,4	2,8	4,6	3,4	3,4
Standardhälve tõrke kohta	σ_t, h	4,8	2,2	1,1	1,3	0,5	0,8	2,0
Standardhälve taastumise kohta	σ_f, h	1,9	0,4	0,3	0,7	0,8	0,3	1,4
Variatsioonitegur (töövältus)	v_t	0,373	0,378	0,231	0,483	0,148	0,134	0,524
Variatsioonitegur (tõrkevältus)	v_f	0,297	0,28	0,221	0,232	0,178	0,092	0,417

Tabel 5. Soojustatud lauda lüpsiplatsi õhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse töökindlusnäitajad lüpsjale (13...19 °C – talv-kevad ning 15...22 °C – suvi-sügis, 40...70%) ja lüpsilehmale (5...20 °C, 60...85%) sobivama töökeskkonna järgi

Töökindlusnäitajad	Tähis, ühik	Õhu temperatuur °C				Õhu suhteline niiskus %				
		talv	kevad	suvi		talv	kevad	suvi		
		lüpsja	lüpsja	lehm	lüpsja	lehm	lehm	lüpsja	lehm	lüpsja
Töövältus tõrke kohta	\bar{t}_t, h	2,7	4,3	8,8	3,9	4,0	1,6	1,0	5,7	8,4
Tõrkevältus taastumise kohta	\bar{t}_f, h	5,2	4,1	3,9	3,3	1,9	1,8	9,7	2,2	4,0
Standardhälve tõrke kohta	σ_t, h	1,4	0,8	2,6	1,1	1,1	0,1	0,0	1,4	3,0
Standardhälve taastumise kohta	σ_f, h	2,2	1,8	1,1	0,7	0,2	0,2	2,6	0,3	2,4
Variatsioonitegur (töövältus)	v_t	0,52	0,191	0,3	0,272	0,300	0,077	0,000	0,238	0,361
Variatsioonitegur (tõrkevältus)	v_f	0,42	0,449	0,268	0,199	0,11	0,091	0,263	0,137	0,601

Kirjandus

- Bajeva, N., Bajeva, A. 2005. Soojuspumba tööparaameetrite mõju OÜ Revino veisefarmi sisekliimale. – Bakalaureusetöö. EPMÜ, Tartu, 135 lk.
- Balanin: Баланин В. И. 1988. Зоогиgienический контроль микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 144 с.
- Karhunen, J. 1992. Kaasut ja pöly elainsuojien ilmanvaihtoissa, – Vakolan Tiedote, 25 s.

- Keskkonnaalaste õigusaktide kogumik. 1998. A-TEAM. Tallinn, 432 lk.
- Liiske, M. 1992. Mikrokliimaseadmed. – Tartu: EPA rotaprint, 156 lk.
- Melnikov jt: Мельников С. В., Алешкин В. Р., Роцин П. М. 1980. Планирование эксперимента в исследованиях с/х процессов. Л.: Колос, 168 с.
- Mikson, E. 2000. Lehmalauda ja lüpsiplatsi sisekliima. – Magistriväitekiri. EPMÜ, Tartu, 114 lk.
- Minh: Минх А. А. 1963. Ионизация воздуха и её гигиеническое значение. Изд. второе. Москва, 352 с.
- OСТ 70.2.33–80. 1981. Методы оценки безопасности. Эргономическая оценка. Москва, 19 с.
- Reppo, B., Leola, A., Lindsaar, I., Nurmsalu, A. 1999. Milking parlour size, capacity and milker's energy load. 27. Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering", Opatia, Croatia, p. 231–236.
- Reppo, B., Pals, A. 2001. Effect of manure disposal technology on the cowshed microclimate. Perspective sustainable technological processes in agricultural engineering. Raudondvaris, 20–21 September 2001, p. 193–198.
- Sanitarно-gigienitšeskije: Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений 1980. Москва, 7 с.
- Selivanov, Artemjev: Селиванов А. И., Артемьев Ю. Н. 1978. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 248 с.
- Simakov, A. 1991. Mikrokliima ja ventilatsioon. – Eesti Põllumajanduse Infokeskus, Tallinn, 72 lk.
- Tint, P. 2000. Töökeskkond ja ohutus. TEN-TEAM OÜ. Tallinn, 264 lk.
- Tomson, I. 2001. Tehnoloogiaprotsessides kasutatavate ja saadavate materjalide mõju veiselauda kliimaparametritele. Magistritöö. EPMÜ, Tartu, 102 lk.
- Tšičevski: Чижевский А. Л. 1989. Аэроионификация в народном хозяйстве. – 2-е изд., сокр. Москва: Стройиздат, 488 с.
- Töökeskkond 2006. Väljaandja TEN-TEAM OÜ. Tallinn, 24 lk. CD-versioon.
- Tööohutus- ja tervishoiualased õigusaktid. 1998. A-TEAM. Tallinn, 352 lk.
- Viljasoo, V., Tomson, I. 2001. Loomapidamises kasutatavate ja saadavate materjalide mõju sisekliimale. – Põllumajandustehnika, -ehitus ja -energeetika. EPMÜ teadustööde kogumik nr 214. – Tartu, lk 289–294.
- Viljasoo, V., Tomson, I. 2003. Tootmisprotsessides kasutatavate ja saadavate materjalide mõju veiselauda sisekliimale. – Agraarteadus XIV, nr 2, lk 125–136.
- Viljasoo, V. 1998. Piima jahutus-säilitusseadmete töökindlus ja selle tagamise meetodid. Tehnikateaduste doktorikraadi taotlemise väitekiri. EPMÜ. Tartu, 148 lk.
- Viljasoo, V., Tomson, I. 2000. Ionisatsiooniteooria põhimõistete analüüs. – Põllumajandustehnika, -ehitus ja -energeetika. EPMÜ teadustööde kogumik nr 206. – Tartu, lk 190–196.
- Viljasoo, V., Tomson, I. 2002. Materjalidest mõjutatud sisekliima uurimismeetod. – APS-i toimetised 2, lk 114–126.