1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

Uurimistöö lepingu nr.4-12/29 vastavalt

SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse sihtfinantseerimise lepingule nr. 3-2_1/30-8/2011

KIKi 2011 aasta Keskkonnakorraldus programmi projekt nr 1183

Ventilatsiooni mahtkiiruse määramine loomuliku ventilatsiooniga vabapidamisega veiselautades

aruanne

Koostanud: Aime Ruus

KESKKONNAINVESTEERINGUTE KESKUS

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences
Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut
Institute of Veterinary Medicine and Animal Sciences

Tartu 2013

SISUKORD

Sissejuhatus
1. Metoodika 3
1.1. Katselauda tutvustus 3
1.2. Mõõtmiste metoodika 3
1.3. Väliskliima andmed 4
2. Kasutatud aparatuur 4
3. Väliskliima andmed 5
4. Tulemused 6
5. Kokkuvõte 10

Sissejuhatus

Ventilatsiooni vooluhulga ehk mahtkiiruse määramine on suhteliselt kergesti teostatav mehaanilise ventilatsiooniga lautades, kus seda on võimalik teha ventilaatori õhuvoolu määramisega.

Loomuliku ventilatsiooniga lautades on ventilatsiooni mahtkiiruse määramine keerulisem ja teostatav kaudsete meetoditega, näiteks gaaside kontsentratsiooni abil.

Käesolevas uurimuses on lisaks tavapärastele sisekliima parameetritele (õhutemperatuur, õhuniiskus ja CO_2 kontsentratsioon) mõõdetud ka õhuliikumise suunda ja kiirust.

Lisaks ventilatsiooni mahtkiirusele on oluline ka varustatus värske õhuga ning loomade heaolu, mille üheks komponendiks on sisekliima.

Uurimistöö eesmärk on andmete kogumine ning andmebaasi loomine ning parameetrite omavahelise sõltuvuse määramine.

Uuringu tulemused leiavad kajastamist UFAW rahvusvahelisel loomade heaolu konverentsil **Science in the Service of Animal Welfare: Priorities around the world,** mis toimub Hispaanias, Barcelonas, Universitat Autònoma de Barcelona, 4.-5. juulil 2013.

1. Metoodika

1.1.Katselauda tutvustus

Katselauda näol on tegemist Eesti Maaülikooli katsefarmiga. mis kasutab lüpsirobotit.

Hoone on põhja-lõunasuunaline (joonis 1) [1].

Joonis 1. Märja katselauda asendiplaan

Mõõtmised viidi läbi lüpsikarja laudas, mis plaanil asub ida pool.

Käsitletud hoone (78x28 m) on soojustatud, kandvateks konstruktsioonideks teraspostid ja liimpuittalad, seinteks kolmekihiline raudbetoonist paneel paksusega 340 mm ning

katusekatteks 100 mm *sandwitch*–paneel. Loomad on vabapidamisel. Novembris 2012 oli laudas 138 lüpsilehma kehamassiga 650-800 kg ning noorloomad kolmes vanusegrupis, massiga vastavalt 35-70 kg, keskmised 70-350 kg ja tiined mullikad 500-600 kg. Mõõtmised viidi läbi lüpsilauda osas.

1.2.Mõõtmiste metoodika

Pidev õhu liikumise kiiruse ja suuna mõõtmine toimus 10-nes erinevas punktis (7 loomade tsoonis, 3 ventilatsiooni korstnate juures) perioodil 01.06.2012-30.04.2013. Paralleelselt mõõdeti ka lauda sisetemperatuuri, suhtelist õhuniiskust ning CO_2 kontsentratsiooni 4-s lauda punktis. Näitajate fikseerimise (salvestamise) intervall oli 10 sekundit.

Saadud andmete baasil kalkuleeritakse ventilatsioonimahud (m^3/h; m^3/h/loom). Leitakse nimetatud parameetrite ja õhu temperatuuri-, niiskuse- ja süsihappegaasi sisalduse vahelised seosed.

2. Aparatuur

Mõõtmiste tarvis kasuti järgmist aparatuuri (joonis 2):

1. Ultraheli anemomeeter WMT 52 (Vaisala) õhu liikumise kiiruse ja suuna fikseerimiseks määratud ajavahemike järel - 10 tk.
2. CO_2 detektor CARBOCAP CGMT 222 (Vaisala) süsihappegaasi kontsentratsiooni fikseerimiseks määratud ajavahemike järel - 4 tk.
3. Temperatuuri ja niiskuse mõõtur HUMICAP HMT 130 õhutemperatuuri ja suhtelise niiskuse näitude fikseerimiseks määratud ajavahemike järel - 4tk.
4. Andmehaldussüsteem Hydromet MAWS 110 andmete automaatseks salvestamiseks ülanimetatud seadmetest - 1tk.

Joonis 2. Mõõteaparatuur mõõtepunktis 4: vasakul õhutemperatuuri, õhuniiskuse ja CO_2 mõõturid, paremal 2D (kahedimensionaalne) anemomeeter

3.Väliskliima andmed

Väliskliima andmed pärinevad nii EMHI kui Tartu Ülikooli Füüsikainstituudi Keskkonnafüüsika labori interneti lehekülgedelt. Õhutemperatuuri dünaamika vaadeldud perioodil on näha jooniselt 3 [2].

Vastavalt õhutemperatuuri graafikule on detailsemaks analüüsiks valitud välja järgmised kuupäevad (tabel 1):

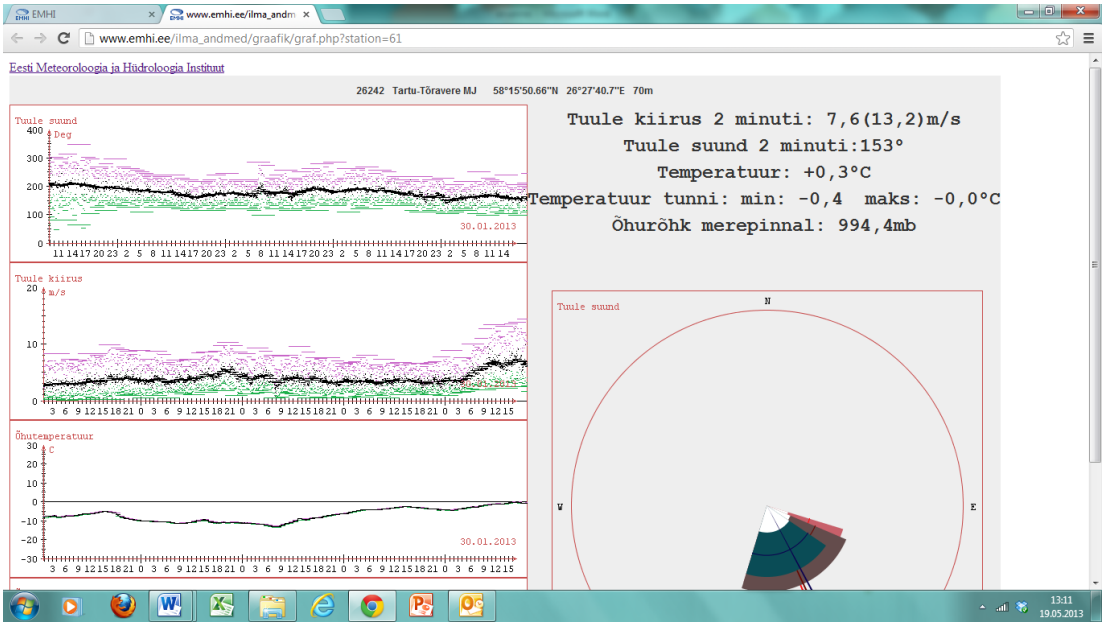
29.07.2012 – perioodi kõrgeima keskmise temperatuuriga päev (keskmine ööpäeva temperatuur 27,45 °C;

29.11.2012 – sügistalvine ilm (keskmine välisõhu temperatuur -4 °C);

20.01.2013 – perioodi madalaima keskmise temperatuuriga päev (keskmine ööpäeva temperatuur -17,95 °C)

30. 01. 2013 - üks suurema tuulekiirusega päevi, mille kohta on andmed saadud EMHI ilmagraafikutelt (joonis 3) [3] ning ilmavaatluse tabelitest [4] (ööpäeva keskmine välisõhu temperatuur -1,23 °C ning tuule kiirus 5,75 m/s).

Joonis 3. Õhutemperatuuri dünaamika katseperioodil.



Joonis 4. EMHI ilmaandmete graafikud – tuulekiirus m/s

Ventilatsiooni mahtkiirused q_v (m^3/h) looma kohta on arvutatud vastavalt ventilatsiooni mahtkiiruse arvutusvalemile tasakaalutingimustes (valem 1):

$$q_v = \frac{P}{c_{in} - c_{out}}, \text{ kus}$$

P – gaasi emissioon g/h, milleks süsihappegaasi (CO_2) puhul on 330 g looma kohta [5],

C_{in} ja C_{out} – vastavalt sise- ja välisõhu süsihappegaasi kontsentratsioon g/m^3.

4. Tulemused

Mõõtmisperioodi kohta koostati andmebaas, mis sisaldab sisekliima (temperatuur, suhteline niiskus, süsihappegaasi kontsentratsioon ning, õhu liikumise kiirus ja suund) andmeid järgmiste ajaperioodide kohta:

a) **2012:** 02.05-21.06, 29.-31.07, 1.-31.08, 1.-23.09, 15.-31.10, 1.-18.11, 29.-30.11, 1.-31.12
b) **2013:** 1.-31.01, 1.-28.02, 1.-31.03, 1.-30.04

Eelpool kirjeldatud nn. ekstreemsete päevade kohta on koostatud andmete koondtabelid (tabelid 1 ja 2).

Tabel 1. Õhutemperatuur, süsihappegaasi kontsentratsioon ja arvutuslik ventilatsiooni mahtkiirus q_v looma kohta valitud päevadel

		Õhutemperatuur, °C					$C0_2$, ppm					q_v m^3/h
		1	2	3	4	väljas	1	2	3	4	Keskm	
tuuline ilm	keskm.	10,83	9,72	8,78	10,04	-1,23	2030,4	2153,5	1720,8	1957,7	1966	117,1
30.01.2013	Min	7,6	6,7	2,9	6,5	-3,8	1350	1402	791	1226		
	Max	13,6	13,4	12,4	12,8	0,8	3120	3070	2326	2588		
külm ilm	Keskm.	8,24	7,48	7,28	7,61	-17,95	3263	3779	3119	3353	3379	61,6
20.01.13	Min	5,2	5,4	4,8	4,2	-25,5	2468	2893	2283	2383		
	Max	11,4	11,1	11,1	10,9	-10,9	4377	5000	4201	4404		
kuum ilm	Keskm.	28,42	28,53	27,92	28,18	27,45	996,4	777,8	661,2	913,6	837	419,3
29.07.12	Min	26,3	25,6	25,4	26,1	25,5	445	442	415	457		
	Max	31,9	32,5	32,2	31,5	30,9	1791	1620	1554	1681		
Sügisilm	Keskm.	5,23	4,75	1,91	2,59	-4	1227,0	1404,8	798,0	1003,8	1108	258,8
29.11.12	Min	2,9	1,7	-0,6	-0,1	-4,8	710	804	403	678		
	Max	7,2	6,8	3,9	4,6	-3	2077	2127	1329	1441		

CO_2 kontsentratsioon erineb vaadeldud päevadel 4 korda, olles kõrgeim (keskmiselt 3379 ppm) külma ilmaga, mil avad on maksimaalselt suletud ning madalaim (837 ppm) suvise palava ilmaga, mil kõik avad on lahti.

Õhu liikumiskiiruse andmetest (tabel 2) võib näha, et õhu liikumiskiirus laudas varieerub 1,6 korda, olles madalaim nii tuulise (keskmiselt 0,18 m/s) kui külma ilmaga (keskmiselt 0,19 m/s) ning kõrgeim sügisese ilmaga (0,28 m/s) tingituna õhutemperatuuri erinevuste, tuule kiiruse ja akende avatuse koosmõjust. Võrreldes tuulekiirust väljas ja õhu liikumiskiirust

laudahoones, ei ole võimalik seaduspära märgata. Talvisel ajal, kui lisada võrdlusesse ka õhutemperatuuride erinevus (külma ilmaga 7,48 °C punktis 2 ja -17.95 °C väljas - Dt=25,43°C ning sügisilmaga vastavalt 4,75 °C punktis 2 ja -4 °C - Dt=8,75°C) võib märgata ventilatsiooniavade avatuse mõju.

Suvise ilmaga, kui õhutemperatuur laudas oli ligikaudu 28 °C, peaks õhu liikumiskiirus laudas olema oluliselt suurem, tekitamaks loomadele jahutavat efekti. Abi oleks ventilaatorite kasutamisest.

Võrreldes CO_2 ja õhu liikumiskiiruse andmeid omavahel, ei ole võimalik seoseid märgata. Kõrgeima CO_2 kontsentratsiooni (3379 ppm) ja vastavalt madalaima arvutusliku ventilatsiooni mahtkiiruse puhul (61,6 m^3/h looma kohta) on õhu liikumiskiirus laudas keskmiselt 0,19 m/s. Madalaima CO_2 kontsentratsiooni (837 ppm) ja vastavalt suurima arvutusliku ventilatsiooni mahtkiiruse puhul (419,3 m^3/h looma kohta) on õhu liikumiskiirus laudas keskmiselt 0,24 m/s.

Tabel 2. Õhu liikumiskiirus valitud päevadel

		Õhu liikumiskiirus mõõtepunktides, m/s											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Kesk	väljas
tuuline ilm	keskm.	0,28	0,22	0,10	0,10	0,22	0,12	0,22	0,14	0,12	0,29	0,18	5,75
30.01.2013	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		3,4
	Max	1,7	1,7	0,4	1,6	0,5	0,4	0,8	1,5	1,1	1,3		8
külm ilm	keskm.	0,54	0,18	0,09	0,06	0,20	0,09	0,19	0,16	0,12	0,24	0,19	0,56
20.01.2013	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	Max	3,7	0,9	0,5	2	1,1	0,5	0,7	1,6	1,7	2,6		1,4
kuum ilm	keskm.	0,48	0,19	0,18	0,26	0,23	0,21	0,23	0,21	0,20	0,24	0,24	3,11
29.07.2012	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1,6
	Max	6,7	0,8	1,4	1,5	1,8	6,9	0,7	1,4	1,5	1,3		4,5
Sügisilm	keskm.	-	0,30	0,23	0,29	0,30	0,18	0,29	-	0,28	0,38	0,28	4,08
29.11.2013	Min	-	0	0	0	0	0	0	-	0,1	0		3,7
	Max	-	1,2	1,1	2	0,8	1,5	0,8	-	2,2	1,2		4,8

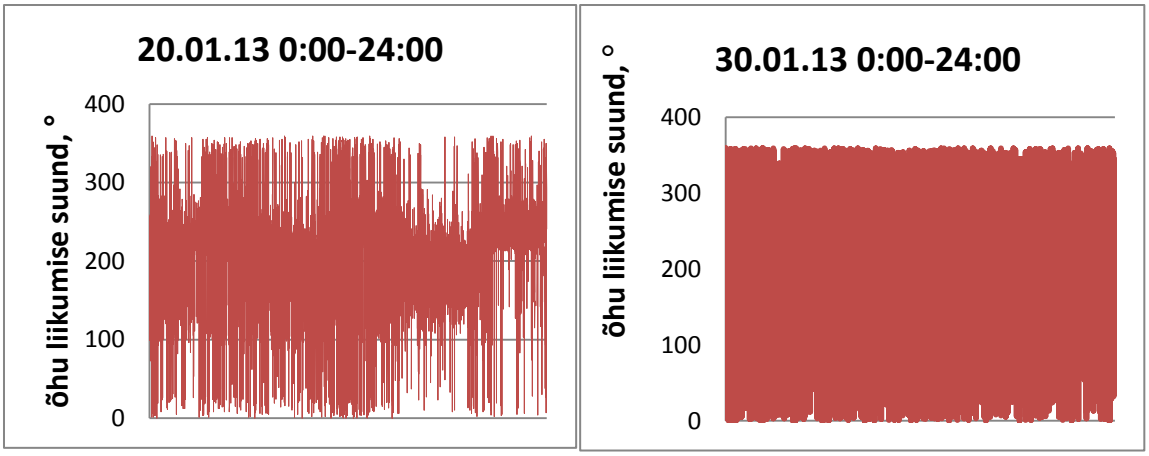
Järgnevalt on vaadeldud eraldi talvist ja suvist perioodi ja kõrvutatud õhu liikumiskiiruse väärtusi ning CO_2 bilansi alusel arvutatud ventilatsiooni mahtkiiruseid. Suvisel ajal varieerub laudas sees ööpäeva keskmine õhu liikumiskiirus 0,22...0,26 m/s (keskmiselt 0,24 m/s). Talvisel ajal esineb ruumis tuuletõmbust, mis mõjutab ekstreemumeid ja nii varieerub ööpäeva keskmine õhu liikumiskiirus laudas rohkem - 0,19...0,47 m/s, (keskmine 0,26 m/s). Ööpäeva keskmiste õhu liikumiskiiruste erinevus suvel ja talvel 0,24 *versus* 0,26 m/s on kõigest 1,08 kordne.

Ööpäeva keskmine CO_2 kontsentratsioon talvel varieerub 1500...3379 ppm-i. Sellele vastav arvutuslik ventilatsiooni mahtkiirus on 61,6...166,7 (keskmiselt 110,0) m^3 looma kohta tunnis. Ööpäeva keskmine CO_2 kontsentratsioon suvel varieerub 834...923 ppm-i, millele vastav ventilatsiooni mahtkiirus ööpäevase keskmise süsihappegaasi bilansi baasil kalkuleerituna varieerub vastavalt 350,6...422,6 (keskmine 392,0) m^3 looma kohta tunnis. Tuginedes CO_2 bilansile on saadud mahtkiiruste erinevus talvel (keskmiselt 110 m^3/h looma kohta) ja suvel (392 m^3/h looma kohta) ca 3,6 korda. Kui õhu liikumiskiirus laudas on suvel ja talvel ligikaudu võrdne, siis arvutuslik ventilatsiooni mahtkiirus erineb kordades (3,6 korda).

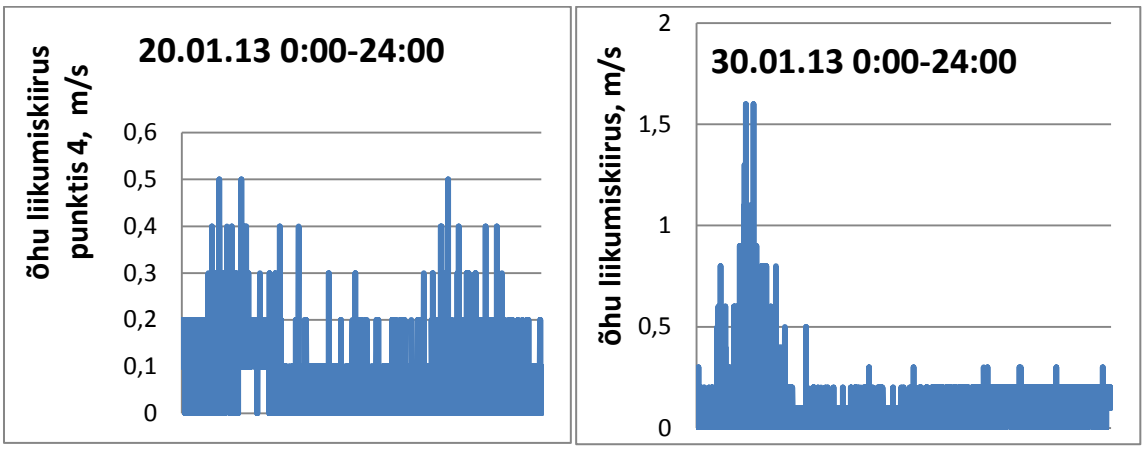
Arvutuslik ventilatsiooni mahtkiirus on aluseks erinevate gaaside (näiteks NH_3) emissioonide arvutamisel. Näiteks tulenevalt 3,6 kordsest ventilatsiooni mahtkiiruste erinevusest võib eeldada ka ligikaudu samasuurt erinevust ammoniaagi emissioonides. Kuna mõõdetud õhu liikumiskiirused laudas (mis on eriti suvel ühtlaselt väikesed) seda kuidagi ei toeta, on põhjust arvata, et kahjulike gaaside, näiteks ammoniaagi emissioonid on ülehinnatud (suurusjärk eeldab detailsemat analüüsi).

Eelnevast võib järeldada, et ventilatsiooni mahtkiiruse arvutamine CO_2 tasakaalu baasil on loomuliku ventilatsiooni puhul küll parim senikasutatutest, kuid tuginedes ainult konvektiivsele õhuvoolule, jätab ta arvestamata gaaside difusiooni osa õhus. Seega on tegelik ventilatsiooni mahtkiirus ilmselt väiksem kui arvutuslik ja selliste gaaside, mille emissioon sõltub ka õhu liikumise kiirusest (näiteks NH_3) väiksem ventilatsiooni mahtkiiruse põhjal arvutatavast.

Jooniselt 5 nähtub, et õhu liikumise suund varieerub pidevalt ja mingisugust kindlasuunalist tendentsi välja tuua ei saa. Jooniselt 6 nähtub, et õhu liikumiskiirus on küllaltki ühtlane, kuid tugines joonis 5 andmetele võib näha, et suund varieerub pidevalt. CO_2 kontsentratsioon erineb samal ajal 1,7 korda (tabel 1, joonis 9).

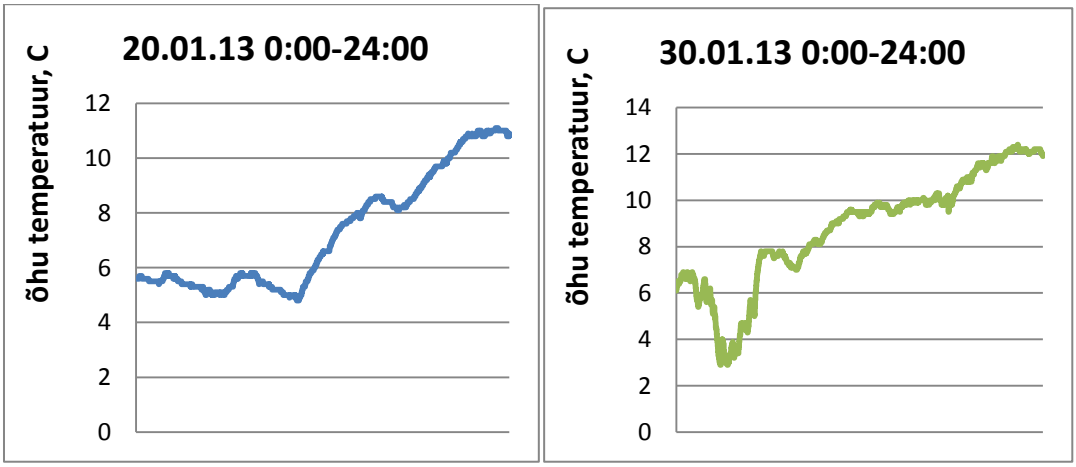


Joonis 5. Õhu liikumise suund laudas mõõtmispunktis 4 külmimal (20.01.13) ja tuulisemal (30.01.13) päeval

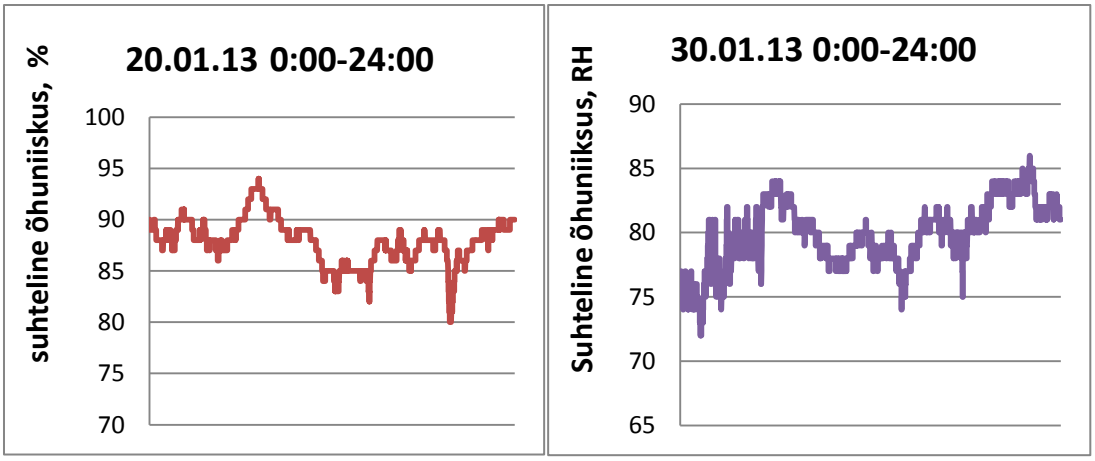


Joonis 6. Õhu liikumiskiirus punktis 4 külmimal (20.01.13) ja tuulisemal (30.01.13) päeval

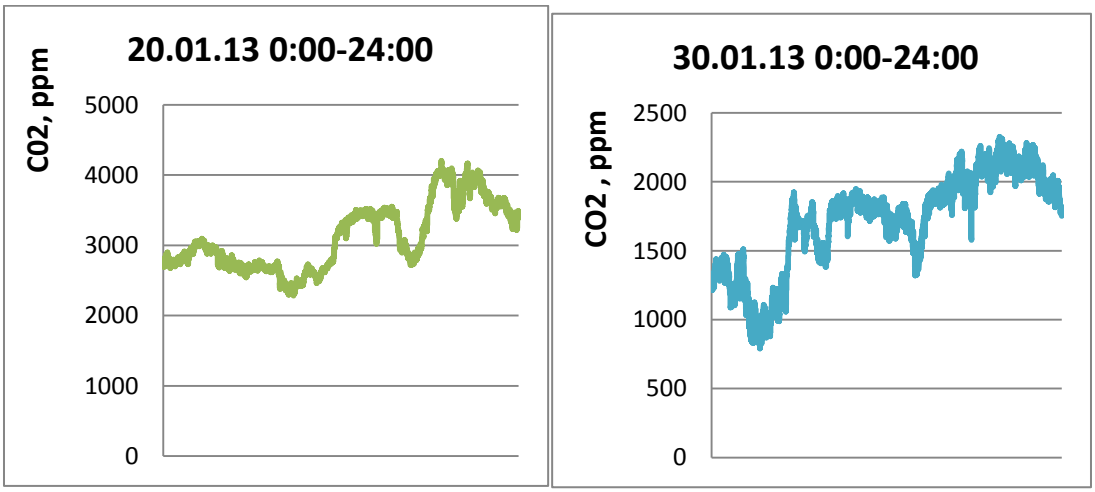
Joonistel 7 ja 8 on toodud vastavalt õhutemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse dünaamika külmimal (20.01.13) ja tuulisemal (30.01.13) päeval



Joonis 7. Õhu temperatuuri dünaamika laudas punktis 4 külmimal (20.01.13) ja tuulisemal (30.01.13) päeval



Joonis 8. Õhu niiskuse dünaamika laudas punktis 4 külmimal (20.01.13) ja tuulisemal (30.01.13) päeval



Joonis 9. CO_2 dünaamika laudas punktis 4 külmimal (20.01.13) ja tuulisemal (30.01.13) päeval

Kokkuvõte

Loomuliku ventilatsiooniga lautades on ventilatsiooni mahtkiiruse määramine komplitseeritud ja teostatav kaudsete meetoditega, näiteks gaaside kontsentratsiooni bilansi abil. Samas on ventilatsiooni mahtkiirus aluseks gaaside koguemissioonide määramisel sellise tehnoloogilise lahendusega lautadest. Samuti on praegu kasutusel olevad vastavad emissioonifaktorid (Keskkonnaministri määrus nr 48, Looma- ja linnukasvatusest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramismeetodid), mille alusel kalkuleeritakse lendunud saasteainete koguseid (saastetasude maksmise alus), tuletatud süsihappegaasi kontsentratsiooni bilansi meetodit rakendades.

Käesolevas uurimuses on lisaks tavapärastele sisekliima parameetritele (õhutemperatuur, õhuniiskus ja CO_2 kontsentratsioon) mõõdetud ka õhuliikumise suunda ja kiirust. Aruandes kajastatud mõõtmisperiood on üks aasta (02.05.2012...30.04.2013). Aparatuur on jätkuvalt paigaldatud ja andmete kogumine jätkub.

Mõõtmisperioodi kohta koostati andmebaas, mis sisaldab sisekliima (temperatuur, suhteline niiskus, süsihappegaasi kontsentratsioon ning õhu liikumise kiirus ja suund). Arvutatud on ventilatsiooni mahtkiirused tuginedes süsihappegaasi massi tasakaalule.

Kui õhu liikumiskiirus laudas on suvel ja talvel ligikaudu võrdne, siis arvutuslik ventilatsiooni mahtkiirus erineb keskmiselt 3,6 korda.

Sellest võib järeldada, et ventilatsiooni mahtkiiruse arvutamine süsihappegaasi tasakaalu baasil on loomuliku ventilatsiooni puhul küll parim senikasutatutest, kuid tugineb ainult konvektiivsele õhuliikumisele ning jätab arvestamata gaaside difusiooni osa. Seega on tegelik ventilatsiooni mahtkiirus ilmselt väiksem kui arvutuslik. Selliste gaaside, mille emissioon loomapidamishoones sõltub nii ventilatsiooni mahtkiirusest ka otsesest õhu liikumise kiirusest pinna kohal (näiteks NH_3) on seega ülehinnatud.

Andmete edasine töötlemine võimaldab välja pakkuda täpsema metoodika ventilatsiooni mahtkiiruse määramiseks ning sellest tulenevalt teha ka ettepanekuid erinevate gaaside emissioonifaktorite korrigeerimiseks.

Andmebaas on ulatuslik ja põhjalik, andmete kasutamist ja töötlemist jätkatakse ning kasutatakse teadusartiklite koostamiseks.

Viidatud allikad

1. Maa-ameti geoportaal http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis
2. Tartu Ülikooli Füüsikainstituudi Keskkonnafüüsika labori interneti lehekülg http://meteo.physic.ut.ee/
3. EMHI koduehekülg www.emhi.ee/ilma_andmed/graafik/graf.php?station=61
4. EMHI kodulehekülg http://www.emhi.ee/index.php?ide=21&ts=1343592437&go=4
5. CIGR, Climatization of Animal Houses, Report of working group on climatisation of animal houses, Report of working group, Aberdeen, Scotland, 1984.
6. Looma- ja linnukasvatusest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramismeetodid – RTL 2008, 99, 1390 - https://www.riigiteataja.ee/akt/13086529.