

Ep. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
Seeria A nr. 38 1951

LEO JÜRGenson

LAUDA NIISKUSE, SOOJUSE JA CO₂-
SISALDUSE OLENEVUS PIIRDETARIN-
DITEST JA ÕHUSTUSSEADMEIST

Л. К. ЮРГЕНСОН

ЗАВИСИМОСТЬ РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ,
ТЕПЛОТЫ И СОДЕРЖАНИЯ CO₂ В ПОМЕ-
ЩЕНИЯХ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ЖИВОТНЫХ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОГРАЖ-
ДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И УСТАНОВОК
АЭРАЦИИ

Sundeksemplar

, „20“ кн 1951 а.



EESTI RIUKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1951

ENOV Teaduste Akadeemia
Keskraamatukogu

**LAUDA NIISKUSE, SOOJUSE JA CO₂-SISALDUSE
OLENEVUS PIIRDEATARINDITEST
JA ÕHUSTUSSEADMEIST**

Annotatsioon.

Ehitusfüüsikalise analüüsiga najaal on selgitatud, kuidas lauda piirdetarindid ja õhustusseadmed mõjutavad lauda siseolukorda, on toodud valemid õhustusseadmete ehitamiseks ja antud soovitusi laudale vajaliku soojapidavuse ja niiskusekaitsse kindlustamiseks.

Sisukord.

	Lk.
Annotatsioon	4
Eessõna	5
1. Järelduste kokkuvõte	6
2. Lauda niiskuse, soojuse ja CO_2 -sisalduse arvutamise alused	8
3. Lauda piirdetarindite soojapidavus	18
4. Lauda tõmbekorsten	27
5. Värskeõhu sissevoolu avad	38
6. Lauda niiskuse, soojuse ja CO_2 -sisalduse olukord	47
7. Lisad	61
8. Oskussõnad, tähised ja mõõtühikud	73

Eessõna.

Olulisemaid ülesandeid meie kolhooside väljaehitamisel ja sovhooside arendamisel on ratsionaalse lauda ehitus, mis kõigiti rahuldaks tervislikkuse nõudeid ja seega soodustaks karja toodanguvõimet, kergendaks talitajate tööd ja tõstaks ehitise vastupidavust. Tervisliku ja ökonoomse lauda küsimuse lahendus omab veel erilist tähtsust looduse stalinliku ümberkujundamise plaani täitmise taustal, mis ennenähtamatult suurendab kultuurniitude pindala, võimaldades mitmekordistada kariloomade arvu ning seega veelgi kiiremini tõsta rahva majanduslikku heaolu.

Lautade praegune üldiselt ebarahuldav olukord on võrdlemisi kergesti parandatav, kui selleks rakendada teadmisi, mida meile pakub nõukogude eesrindlik ehitusteadus.

Käesolevas esities on lähtutud varemilmunud töös „Lauda soojamajandus ja õhustus”¹ kirjeldatud laudaehituse põhialustest ja õhustussüsteemist, mis koosneb ühest tugeva tõmbevõimega õhustuskorstnast ja arvukatest, kogu lauda ulatuses ühtlaselt ärajaotatud kitsastest piludest värskeõhu sisselaskmiseks. Esitise paremaks selgitamiseks on lisas 11 toodud ülalmainitud töö olulisemate järelduste kokkuvõte koos selgitavate joonistega.

Oskussõnade, tähte ja mõõtühikute seletus on toodud kaheksandas peatükis.

Praegusaegsed töekspidatmised lautade soojapidavuse ja õhustamise kohta on juba ellu rakendatud reas ehitatakates sovhooside ja kolhooside lautades. Esimesed uued moodsad laudad tulevad majandamisele lähemal ajal ja loovad siis hea võimaluse võrrelda teoreetiliste arvutuste tulemusi tegeliku elu kogemustega.

Autor.

¹ RK „Teaduslik Kirjandus”, Tartu, 1949.

1. Järelduste kokkuvõte.

1. Lauda küttesooja hulk moodustab 75% majutatud loomade kogu soojaeritusest.
2. Küttesooja iga kcal kohta eritab kari 0,558 g veeauru ja 0,217 liitrit CO_2 .
3. Sooja-, veeauru- ja CO_2 -erituste omavaheline võrdelisus võimaldab lauda ehitusfüüsikalise analüüsni alusühikuks võtta küttesooja kilokalori.
4. Lauda soojabilanssi iseloomustab piirdekao moodul (c), mis näitab, millise murdosa küttesooja toodangust moodustab soojakadu läbi piirete õhutemperatuuri vahe (T) ühe $^{\circ}\text{C}$ kohta.
5. Tervislikkuse nõuete rahuldamiseks peaks $T = 10, 15, 20$ ja 25°C puhul lauda c teoreetiliselt olema väiksem kui vastavalt 5, 3, 2 ja 1% ühe $^{\circ}\text{C}$ kohta.
6. Lae puhul on kõrge soojapidavus olulisem ja ka hõlpsam saavutada kui seina puhul.
7. Laudalae soojajuhtivus olgu alla $K = 0,3$. Seina kohta võib nõuet pehmendada vastavalt oludele.
8. Kui laut on 10 m lai ja lae $K = 0,3$, siis annab savisein karjalaudale üldise soojapidavuse seisukohalt veel vastuvõetava, looduslikest täissein aga puuduliku lahenduse.
9. Hoone, mis mahutab neli pikirida kariloomi, annab tervislikuma ja ökonomsema lauda kui kaherealine.
10. Laudas tuleb vahetada $Q = \frac{1}{0,24} \left(\frac{1}{T} - c \right) \text{ kg õhku küttesooja iga kcal kohta.}$
11. Õhustatud lauda õhk sisaldab veeauru $0,134 : \left(\frac{1}{T} - c \right)$ g/kg võrra enam kui välisõhk.

12. Õhustatud lauda õhk sisaldab CO_2
 $0,23 + 0,052 : \left(\frac{1}{T} - c\right)$ l/kg.
13. Niikaua kui seda võimaldab välistemperatuur, tuleb lauta õhustada tehislike seadmete kaudu.
14. Teades piirdekaa ja tõmbevõime moodulite (c ja m) suurusi, võib määrata, milline on soojuse, niiskuse ja CO_2 -sisalduse olukord laudas iga antud välistemperatuuri puhul (vt. joon. 14—20).
15. Õhustusseade peab rahuldasvalt töötama ka väikese temperatuuride vahe (T) puhul.
16. Õhustuskorsten peab avatud akende puhul suutma T alandada vähemalt 15 kraadini, kuid soovitatavalalt 12 kraadini.
17. Suletud akende puhul peab õhustusseade suutma T alandada 20 kraadini.
18. Lühike ja avar tõmbekorsten on odavam ehitada kui pikk ja kitsas.
19. Õhustusseadme tõmbevõimet iseloomustab moodul

$$m = \frac{1}{n\sqrt{T}} \left(\frac{1}{T} - c \right) = 1210 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H}{R}},$$

mis tähendab õhuvoolu kg-ides küttesooja iga kcal kohta, kui $\sqrt{T} = 1$.

20. Õhustuskorstna vajalik pind on $M = \frac{m \Sigma A}{1210} \sqrt{\frac{R}{H}}$.
21. Korstna pind olgu $c = 0,01$ puhul vähemalt $\frac{0,67}{\sqrt{H}}$, kuid soovitatavalalt $\frac{1}{\sqrt{H}}$ cm^2 küttesooja iga kcal/h kohta.
22. Õhupilude vajalik pind on seejuures vastavalalt $\frac{0,48}{\sqrt{H}}$ ja $\frac{0,42}{\sqrt{H}} \frac{\text{cm}^2 \text{h}}{\text{kcal}}$.
23. Õhupilude pinna valem on

$$x = \sqrt{\frac{R_a}{H \left(\frac{M}{\Sigma A} \right)^2 \frac{8750}{\left(\frac{1}{T} - c \right)^2} T_a - R_k}}$$

24. Värskeõhu sissevõtuks on ventaken soodsam kui seinaava.
25. Õhustuskorstna klapp nõuab reguleerimist $c \leq 0,02$ puhul ainult siis, kui välistemperatuur langeb alla $-12^\circ C$ (kui mitte arvestada tuule toimet).
26. Õhustusseade töötab $m = 0,088$ puhul rahuldatvalt, kuni välistemperatuur tõuseb $+6$ kraadini; välistemperatuuri langedes aga rahuldatab nõudeid $c = 0,03$, $0,02$ ja $0,01$ puhul kuni vastavalt $-8,2^\circ C$, $-12^\circ C$ ja $-18^\circ C$ kraadini.
27. Õhustuskorstna ajejõudu võib õhu mahukaalude vahe asemel väljendada temperatuuri vahes T .
28. Toodud lahendused on rakendatavad ka sigalate puhul.

2. Lauda niiskuse, soojuse ja CO_2 -sisalduse arvutamise alused.

Laudaõhk, milles kariloomad meie ilmastikus peavad veetma suurema osa omast elust, peab olema puhas, parajalt soe ja parajalt niiske. Seda nõuab meilt nii looma tervishoiu kui ka karjatoodangu kaalutlus — ühtlasi aga ka sotsialistlik hoolitsus karjatalitajate töötamistingimuste eest.

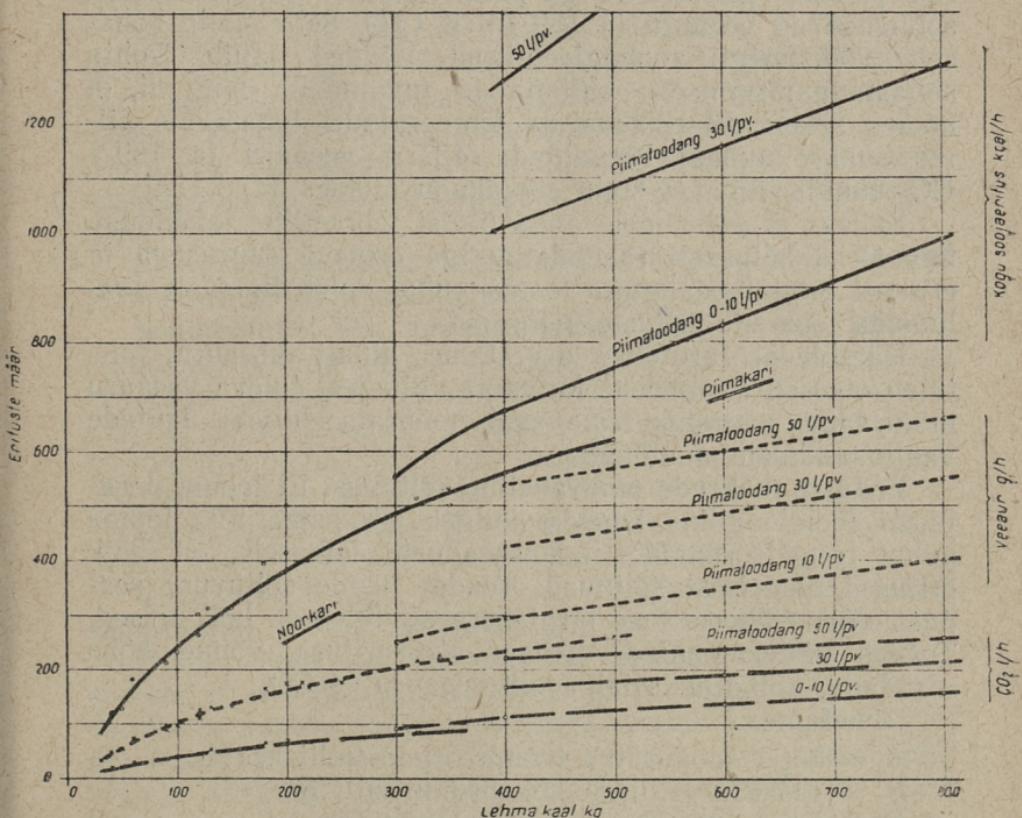
Loetletud nõuded lasevad end kõige kergemini määratleda õhu relatiivse niiskusega, temperatuuriga ja süsihappegaasi sisaldusega. Kehtivate normide¹ kohaselt on lehmalaudas ülimalt lubatav relatiivne niiskus 85% (köetavas laudas ülimalt 75%) ja temperatuur talveoludes soovitatavalta $+8^\circ C$, kuid alati vähemalt $+6^\circ C$. CO_2 -sisaldus, mida teadagi tuleb vaadelda ainult kui reogaaside üldist indikaatorit, ei tohi lehmalaudas ületada 2,5 liitrit kuupmeetri kohta, s. o. 2,5 mahu-promilli.

Need nõuded on heas kooskõlas eesrindliku zoohügieeni tõekspidamistega ja, nagu seda näeme hiljem, on ka ehitusfüüsika seisukohalt omavahel hästi kooskõlas.

Loetletud nõuete rahuldamiseks tuleb laudast pidevalt kõrvaldada veeauru, sooja ja CO_2 hulgad, mida loomad laudaõhku paiskavad. Seda tuleb teha sama pidevalt, kui toimub nende juurdevool laudaõhku, s. o. vahetpidamatult.

¹ FOCT 2662-49.

Lihtsaim ja tavalisim laudaõhu puastamise viis on lauda õhustamine, s. o. reostunud laudaõhu vahetamine värske, puhta ja suhteliselt kuiva välisõhuga. Et aga välisõhk on siseõhust külmem, siis on lauda õhustamine alati seotud suhteliselt suurte soojakadudega.



Joonis 1. Sooja, veeauru ja CO₂ eritus kariloomadelt tunnis, olenevalt kaalust ja päevasest piimatoodangust.

Рис. 1. Количество выделяемого крупным рогатым скотом тепла (ккал/час), водяного пара (г/час) и CO₂ (л/час), в зависимости от веса и продуктивности животных.

See asjaolu seabki ülesandele ranged ja täpsed piirid, sest laudasooja on kasutada piiratud hulgal — ainult nii palju, kui seda eritavad loomad. Loomade eritatud sooja-hulgaga tuleb katta soojakuulu lauda õhustamiseks kui ka soojakaod läbi hoonete piirdetarindite (lae, seinte, akende jne.).

Normide kohaselt arvestatavad eritusi piima- ja noor-
karja puhul kujutab joon. 1, kus olenevalt looma kaalust
ja piimatoodangust on näidatud tunnised veeauru eritu-
sed grammides, CO_2 eritused liitrites ja soogaeritus kilo-
kalorites. Nii näiteks eritab 600-kilone läpsilehm 30-liit-
rise päevase piimatoodangu puhul igas tunnis 1156 kcal
sooja, 487 g veeauru ja 189 liitrit CO_2 . Selle näite kohaselt
võiksimegi zoohügieenilised nõuded lauda kohta
sõnastada järgmiselt: ehitada ja majandada laut nii, et
hoides relatiivset niiskust ja temperatuuri lubatavais pii-
res, saaks laudast kõrvaldada 487 g veeauru ja 189 l
 CO_2 tunnis, ilma et kogu soojakadu ületaks 1156 kcal.

Selleks et ülesandele anda üldist teoreetilist lahendust,
mis oleks hõlpsasti rakendatav iga erineva suurusega ja
erineva piimatoodanguga looma puhul, tuleb ligemalt analüüsida loomade erituste määrasid.

Käesolevas arutelus arvestame ainult veeauru, mis tuleb otseselt loomadelt. Muudest allikatest tuleva veeauru mõju lauda siseolukorrale saab määrata hiljem lautade vaatlusandmete analüüsist.

Erituste määrade omavaheline sõltuvus. Et looma organi-
nismi füsioloogiline tegevus kulgeb iga sama liiki looma
puhul rangelt samade loodusseaduste kohaselt, on kõik
eritused üksteisest sõltuvad. Teades nende sõltuvuse sea-
dust, võime ühe erituse järgi kergesti tuletada kõik teised.
Teades näiteks antud looma soogaeritust, võime kohe
arvutada, kuipalju eritab loom veeauru ja CO_2 .

Nimetame:

A_0 = kogu soogaeritus looma organismilt kcal/h,

B = veeauru eritus looma organismilt g/h,

D = CO_2 eritus looma organismilt l/h;

siis on

$B = 0,421A_0 \text{ g/h}$,

$D = 0,164A_0 \text{ l/h}$.

See tähendab, et looma kogu soogaerituse iga kcal
kohta eritab loom 0,421 g veeauru ja 0,164 l CO_2 ; see
võrdelisus kehtib nii läpsilehmade, kinniste lehmade ja
pullide kui ka noorloomade ja vasikate puhul.

Erituste omavahelise võrdelisuse arvestamine lihtsus-
tab väga oluliselt teoreetilisi arvutusi, mida enam ei tar-
vitse eraldi teha iga kindla suurusega ja kindla toodangu-
võimega looma kohta, vaid ainult ühe üldise juhtumi

tarvis. Hiljem toodavais arvutusis ongi seepärast aluseks võetud mitte kindla suuruse ja toodanguga loom, vaid soojaerituse ühik (kilokalor), millele kindlas vahekorrmas vastab ka kindel veeauru ja CO₂-eritus. Saadud lahendusi saab siis kergesti rakendada igal tegelikult esineval konkreetsel juhtumil.

Märgime siinkohal, et erituste võrdelisus on sama ka teiste loomade ja ka inimeste puhul. Saadud lahendusi saab seetõttu rakendada ka sigalate ning samuti ka inimeste kogumiskohtade õhustuse arvutamiseks. Üks 500-kilone lüpsilehm eritab sama palju sooja, veeauru ja süsihappegaasi kui 10 inimest, kui nad ei tee füüsilist tööd.

Käesolevat arutlust selgitavad näited on kõik toodud loomalaudade olukorra kohta.

Soojakulutus vee aurustamiseks. Samuti kui inimese puhul, nii toimub ka looma organismis tekkiva soojahulga eritamine osaliselt vee aurustamise teel. Lauda soojamajanduse seisukohalt vähendab iga kg looma organismis auruks muudetud vett vaba soojahulka laudas keskmiselt 585 kcal vörra (vt. lisa 1).

Loom eritab tunnis B grammi veeauru. Vee aurustamisele kuluv soojahulk on seega $0,585B$ kcal/h.

Küttesooja eritus. Kuna veeaur kõrvaldatakse laudast sadestamata olekus, siis läheb vee aurustamisele kulutatud soojahulk lauda soojamajandusele kaduma selles mõttes, et teda ei saa kasutada siseõhu ega piirdetarindite soojendamiseks. Lauda soojamajanduses saame kasutada ainult ülejäävat, nn. vaba soojahulka, mis looma organismilt väljub kiirguse, konvektsiooni ja konduktiooni teel. Nimetame seda lühidalt lauda küttesoojakas.

Küttesooja hulk on järelikult

$$A = A_0 - 0,585B$$

Asendades $B = 0,421A_0$, saame

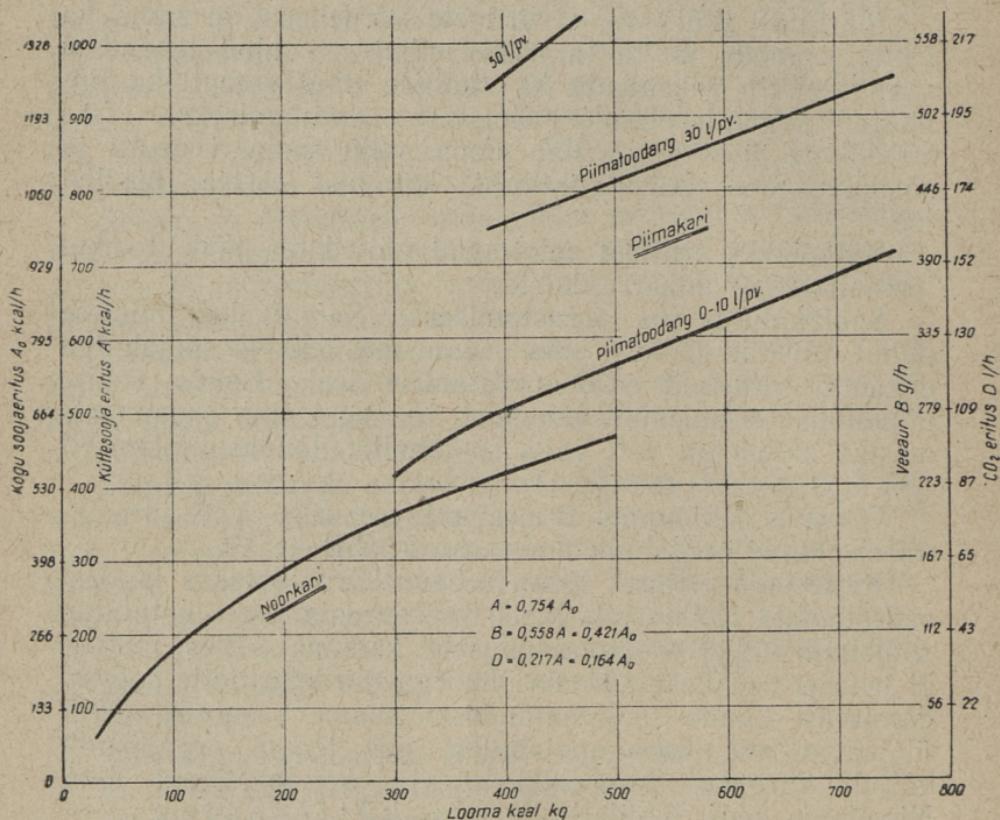
$$A = 0,754A_0$$

Lauta küttev soojahulk on järelikult ümmarguselt 75% sooja kogueritusest. Selle soojahulgaga tuleb katta nii see soojakadu, mida tekitavad lauda piirded, kui ka soojakulu laudaõhku paisatava veeauru kõryaldamiseks õhustamise teel.

Käesolev töö on rajatud normidekohastele erituste mää-

radele ja jätab arvestamata veeauru (ja sellest järelduvalt ka küttesooja) erituste muutlikkuse olenevalt lauda siseolukorras. Tegelikult muutub erituste määr üsna tunduvalt, eriti kui sisetemperatuur ületab 10° C.

Küttesooja eritust olenevalt looma kaalust ja piima-



Joonis 2. Loomadelt tunnis erituva kogu- ja küttesooja hulk kilokalorites, veeauru eritus grammides ja CO_2 eritus liitrites, olenevalt looma kaalust ja päevastest piimatoodangust.

Рис. 2. Общее количество выделяемого скотом тепла, количество свободного тепла (ккал/час) и количества водяного пара (г/час) и CO_2 (л/час).

toodangust kujutab joon. 2. Mõõtskaala muutmise teel on samas ühtlasi näidatud ka veeauru ja CO_2 eritused, mis veel kord näitab ja rõhutab nende omavahelist võrdelisust: vaba küttesooja iga kcal kohta eritab loom 0,558 g veeauru ja 0,217 liitrit CO_2 .

Lauda soojamajandusliku arvutuse aluseks võiks sama hästi võtta iga üksikerituse määra (kas A_0 , A , B või D), sest need on kõik üksteisega võrdelised. Füüsikaliselt on aga õigem ja näitlikum lähtuda vabast küttesoja hulgast, mis kõige selgemini näitab, milleks kuluvad laudasooja kalorid.

Sel alusel on

$$\begin{array}{ll} \text{küttesoja eritus} & A = 0,754A_0 \text{ kcal/h,} \\ \text{veearu eritus} & B = 0,421A_0 = 0,558A \text{ g/h,} \\ \text{CO}_2 \text{ eritus} & D = 0,164A_0 = 0,217A \text{ l/h.} \end{array}$$

Kõigis järgnevais arvutusis on aluseks võetud küttesoja kilokalor.

Hoone soojakaotavus. Soojakadu S läbi lauda piirde tarindite on seda suurem, mida suurem on sise- ja välis- temperatuuri vahe ($T_s - T_v = T$), mida suuremad on piirde tarindite pinnad (F) ja mida suurem on nende soojajuhtivus (K).

$$S = T \cdot \Sigma KF \text{ kcal/h}$$

Suurust ΣKF nimetame hoone soojakaotavussekseks.

Selleks et anda üldist lahendust, mida saab rakendada igal eri juhtumil, on soodsam arvutada soojakadu läbi piirete ühe küttesoja kcal kohta.

Jagades avalduse mõlemad pooled küttesoja tunnise juurdevooluga ΣA , saame

$$\frac{S}{\Sigma A} = T \cdot \frac{\Sigma KF}{\Sigma A} = T \cdot c,$$

kus $c = \frac{\Sigma KF}{\Sigma A}$ on hoone piirde tarindite kaudu kaduma- mineva soojahulga moodul, mida nimetame lühidalt piirdekao mooduliks.

Füüsikaliselt tähendab see moodul soojakadu (kcal) läbi piirete küttesoja iga kcal kohta ja temperatuuride vahe iga kraadi kohta. Veelgi selgemalt võiksime öelda, et piirdekao moodul c näitab, millise murdosa küttesoojast moodustab soojakadu läbi piirete, kui temperatuuride vahe on 1 kraad.

Piirdekao mooduli arvuline suurus on tavaliselt mõõdetav sajandikmurruga; sellepärast on otstarbekas c suurus väljendada protsentides °C kohta.

Kui näiteks $c = 1\%/\text{°C}$, siis voolab läbi lauda piirete temperatuuride vahe iga kraadi kohta 1% küttesooja hulgast; kümnekraadilise vahe puhul vastavalt 10%.

Lauda küttesooja igast kilokalorist läheb sel alusel kaduma läbi piirdetarindite $c \cdot T$ kilokalorit; õhustamiseks jäääb järgi ülejääv osa, s. o. $1 - c \cdot T$ kilokalorit. Et kogu arvutus oli tehtud küttesooja juurdevoolu ühe kcal kohta, siis võime üldiselt öelda, et lauda õhustamiseks vabaks jäääv soojahulk on $1 - c \cdot T$ kcal iga küttesooja kcal kohta.

Lauda õhuvahetuse saame arvutada selleks otstarbeksi vabaks jäävast soojahulgast. Alljärgnevas oletamegi, et lauda õhustuseks on kulutatud kogu küttesooja hulk, mis järgi jäääb piirdekadudest. Sel alusel on:

Lauta paisatava küttesooja ühikuks võetav hulk 1 kcal. Soojakadu läbi piirete $c \cdot T$ kcal/kcal.

Soojahulk lauda õhustamiseks $1 - c \cdot T$ kcal/kcal.

Välisõhu iga kilogrammi soojenduseks kulub

$$0,240 \cdot T \text{ kcal}^1.$$

Järelikult saab kasutada oleva soojahulgaga $(1 - c \cdot T)$ vahetada $Q = \frac{1 - c \cdot T}{0,240 \cdot T}$ kg laudaõhku küttesooja iga kcal kohta.

$$Q = \frac{1}{0,24} \left(\frac{1}{T} - c \right) \text{ kg/kcal} \quad (1)$$

Kui loom eritab küttesooja 700 kcal/h, siis on vajalik õhuvahetus looma kohta.

$$Q_h = 700 \frac{1}{0,24} \left(\frac{1}{T} - c \right) \text{ kg/h.}$$

Kui küttesooja juurdevool lauta on ΣA kcal/h, siis on õhuvahetus lauda kohta

$$Q_h = Q \cdot \Sigma A = \frac{1}{0,24} \left(\frac{1}{T} - c \right) \Sigma A \text{ kg/h} \quad (1a)$$

Veeauru sisaldus laudaõhus on seda suurem, mida suurem on veeauru eritus iga kcal kohta ($B : A$) ja mida väiksem on õhuvahetus (Q). Veeauru juurdevool küttesooja iga kcal kohta on 0,558 g. See pidevalt juurdevolav veeauru hulk jaotab end ühtlaselt sama pidevalt vahetatava õhustusõhu hulgale. (Q).

¹ Vt. lisa 2.

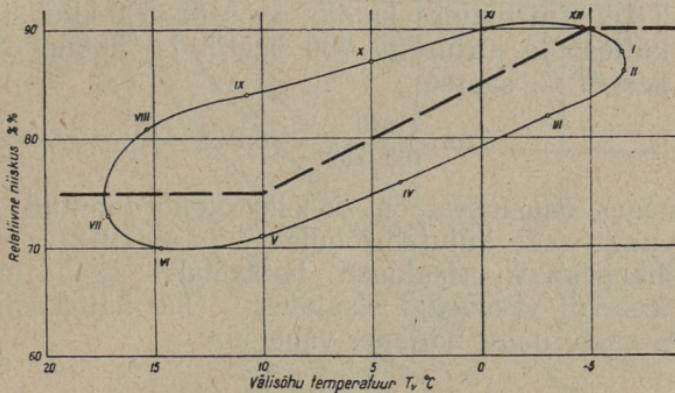
Vahetatava õhu iga kg kõrvaldab seega $b = 0,558$:
 $\frac{1}{0,24} \left(\frac{11}{T} - c \right)$ grammi veeauru. Selle suuruse võrra peab laudaõhk sisaldama veeauru enam kui välisõhk.

Siiit saame

$$b = \frac{0,134}{\frac{1}{T} - c} \text{ g/kg} \quad (2)$$

See veeauruhulk tuleb lisada välisõhu aurusisaldusele, et leida laudaõhu absoluutset aurusisaldust. Viimases tuleb arvutada laudaõhu relatiivne niiskus.

Veeauru sisaldus välisõhus oleneb muidugi antud asu-



Joonis 3. Kuu keskmise temperatuuri ja relatiivne niiskus Tartus. Arvutuse aluseks on võetud jämeda katkendjoonega näidatud kulg.
 Рис. 3. Средняя месячная температура и относительная влажность в г. Тарту. Пунктирная линия показывает режим, принятый за основу расчетов.

koha ilmastikust. Käesolevas arutluses võiksime aluseks võtta mingi ümariku suuruse, mis vastaks ilmastikule ENSV südamikus, nagu näiteks Tartus.

Välisõhu keskmisi temperatuure ja relatiivset niiskust Tartu kohta kujutab joonis 3. Kogu laudaperioodi kohta on keskmine välistemperatuur -1°C ja relatiivne niiskus 85%, mis on aluseks võetud välisõhu soojamahutavuse arvutuses (vt. lisa 2).

Laudaõhu relatiivse niiskuse arvutamisel on aluseks võetud joonisel 3 paksu katkendjoonega märgitud kulg.

See annab lihtsa arvutusreegli ja antud otstarbekks küllal-dase täpsuse. Kui välja jäätta maikuu, mis oma +10,1-kraa-dise temperatuuriga sisuliselt enam ei kuulu laudakuude hulka, kujutab paks joon üsna täpselt ka tõelist olukorda.

Laudaõhu relatiivset niiskust (olenevalt sise- ja välis-õhu temperatuurist, lauda piirdekaao moodulist c ning õhustamise määras) kujutavad joonised 14—20, mis on arvutatud eelpool toodud aluste ja valemi (2) kohaselt. Diagrammide tegelikul rakendamisel konkreetsete juhtumite puhul tuleb kõigepealt leida olukorda iseloomustav c suurus valemist

$$c = \frac{\Sigma KF}{\Sigma A}$$

Näide. Kui näiteks laudas on sada 500-kilolist lüpsi-lehma küttesooja eritusega 700 kcal/h ja hoone $\Sigma KF = 840$ kcal/h°C, saame

$$c = \frac{840}{100 \cdot 700} = 0,012$$

Olenedes õhustusesest on siseõhu olukord antud laudas selline, nagu seda kujutab joonis 17 ($c = 0,012$).

Süsihaptegaasi sisalduse laudaõhus saab määrata samal teel kui veeaurugi sisalduse. Ühe küttesooja kilo-kaloriga saab, nagu nägime, vahetada

$$Q = \frac{1}{0,24} \left(\frac{1}{T} - c \right) \text{ kg } \text{õhku.}$$

Süsihaptegaasi juurdevool küttesooja iga kcal kohta on $D : A = 0,217$ liitrit. Vahetatava õhu iga kg kõrvaldab seega

$$d = 0,217 : \frac{1}{0,24} \left(\frac{1}{T} - c \right) = \frac{0,0522}{\frac{1}{T} - c} \text{ liitrit CO}_2.$$

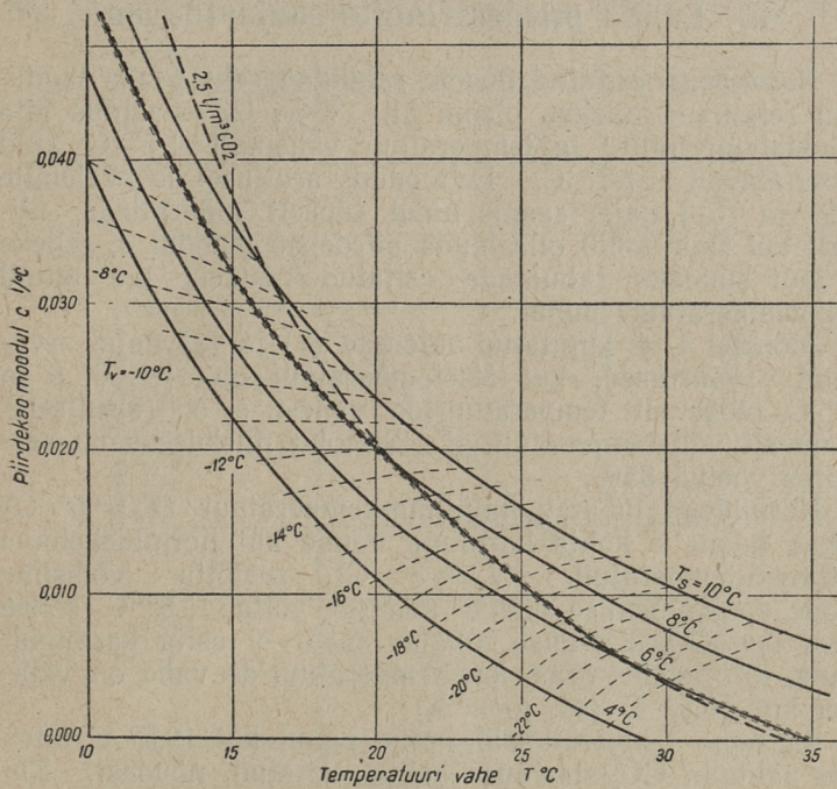
Selle suuruse võrra peab laudaõhk sisaldama süsi-haptegaasi enam kui välisõhk.

Puhas maaõhk sisaldab CO_2 keskmiselt 0,3 liitrit m^3 kohta, s. o. $0,3 : 1,3 = 0,23$ liitrit kg kohta.

CO_2 sisaldus laudaõhus on seega

$$0,23 + \frac{0,0522}{\frac{1}{T} - c} \text{ 1/kg} \quad (3),$$

mis vastavalt lauda sisetemperatuurile tu'eb ümber arvutada liitritesse m^3 kohta. Sellekohase arvutuse tullemused on kujutatud joonistel 14—20, olenevalt temperatuurist, lauda piirdekaao moodulist ja õhustuse määrist.



Joonis 4. Piirdekaao mooduli vajalikud suurused, olenevalt temperatuuride vahest, kui sisetemperatuur on 4, 6, 8 ja 10°C , relatiivne niiskus on 85% ja CO_2 -sisaldus 2,5 promilli. Palistatud joon kujutab graafiku kulgu, mille puhul on veel rahuldatud normide nõuded.

Рис. 4. Величина модуля теплопотерь через ограждающие конструкции (c), необходимая для обеспечения $T_s = 4, 6, 8$ и 10°C , 85% отн. влажности и содержания CO_2 в $2,5 \text{ л}/\text{м}^3$. Тройная линия показывает ход графика при условии выполнения требований ГОСТ.

CO_2 -sisaldus laudaõhus on seda madalam, mida suurem on õhuvahetus. Õhuvahetus saab aga olla seda suurem, mida madalam on laudaõhu temperatuur. CO_2 kõrvaldamise seisukohalt on seepärast lauda olukord seda soodsem, mida külmem on laudaõhk.

Laudaõhu relatiivse niiskuse seisukohalt on aga olu-

kord soodsam siis, kui laudaõhu temperatuur on kõrgem, sest õhu küllastusmääär veeauruga tõuseb temperatuuri tõustes.

3. Lauda piirdetarindite soojapidavus.

Normidega esitatud nõuete rahuldamiseks peaks laudaõhu relatiivne niiskus olema alla 85%, CO_2 -sisaldus alla 2,5 mahupromilli¹ ja temperatuur vähemalt $+6^\circ\text{C}$, kuid soovitataval $+8^\circ\text{C}$. Eeltoodud arutluse ja valemite [(2) ja (3)] näjal saame nüüd täpselt määratleda, ülmalt kui suur tohib olla lauda piirdekao moodul c , selleks et laut suudaks rahuldada esitatud nõudeid iga antud välistemperatuuri puhul.

Joonisel 4 on kujutatud valemite (2) ja (3) näjal arvutatud c väärtsused, kui sisetemperatuur on $+4$, 6 , 8 ja 10°C , olenevalt temperatuuride vahest, s. o. (sisuliselt) olenevalt välistemperatuurist. Siseõhu niiskuseks on seejuures võetud 85%.

Normidega lubatav miinimumtemperatuur ($T_s = 6^\circ\text{C}$) esitab hoone c kohta karmima nõude kui normidekohane optimum-temperatuur ($T_s = 8^\circ\text{C}$), seetõttu võiksime hoone soojapidavuse nõuete aluseks võtta $+8^\circ\text{C}$ selles osas, kus CO_2 -sisalduse lubatav määr ei esita karmimat nõuet, s. o. selles osas, kus temperatuuride vahe on väiksem kui $19,5^\circ\text{C}$ (vt. joon. 4).

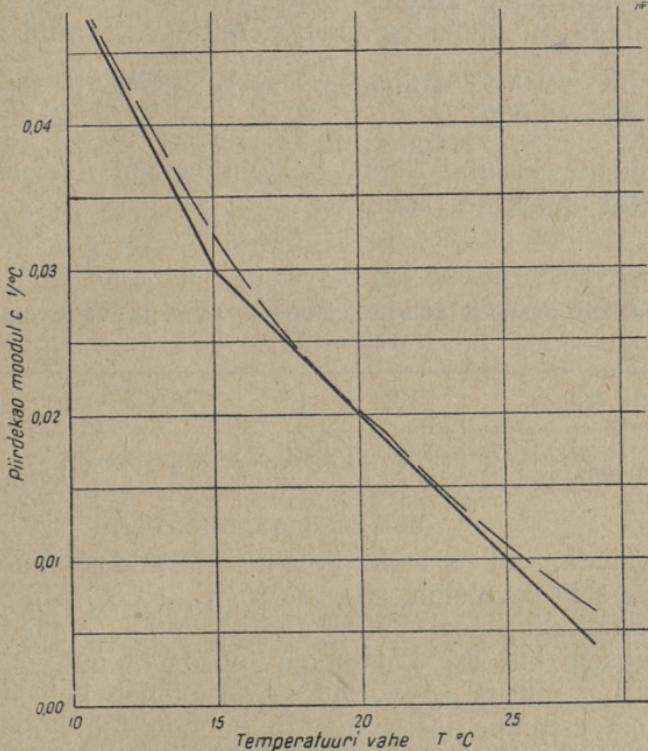
Suurema temperatuuride vahe puhul kui $19,5^\circ\text{C}$ tuleb juba lähtuda CO_2 -sisalduse kohta esitatud nõudest. Kui temperatuuride vahe tõuseb üle 27°C , on juba võimatu pidada lauda temperatuuri $+6^\circ\text{C}$ tasemel ja ühtlasi hoida CO_2 sisaldus 2,5 promilli tasemel. Järelikult ei saa siin üldse rahuldada mõlemaid nõudeid korraga, kui küttesooja kuskilt teisest allikast juurde ei tule.

Joonisel 4 on jäädud $T_s = +6^\circ\text{C}$ nõude juurde, mis on sisuliselt tähtsam.

Lauda piirdekao mooduli lubatavat ülemmäära kujutav graafik koosneb seetõttu kolmest kõverjoonest, milles algosa rahuldas optimaalset nõuet, et $T_s = +8^\circ\text{C}$, keskosa arvestab tingimust, et CO_2 -sisaldus ei ületaks 2,5 promilli ja lõpposa peab silmas, et T_s ei langeks alla $+6^\circ\text{C}$.

¹ 1,96 liitrit õhu kg kohta; vt. lisa 3.

Kui T tõuseb 33°C -ni, peab c langema nullini¹. See tähendab, et CO_2 -sisalduse pidamiseks 2,5 promilli piirides ei tohiks piirdetarindid üldse sooja kaotada, ja kogu küttesoe tuleks kulutada õhustamiseks. Kui aga T on juba üle 33°C , siis muutub CO_2 -sisalduse nõude rahuldamine



Joonis 5. Piirdekaa mooduli ümardatud suurus, mis antud T puhul rahuldab tervislikkuse nõudeid. Katkendjoon kujutab graafiku täpset kulgu (v. joon: 4).

Рис. 5. Округленная величина модуля c , которая при данной T еще обеспечивает приемлемый режим внутреннего воздуха.

ainult loomadelt erituva küttesoojaga laudas füüsikaliselt võimatuks.

Et aga c tegelikult kunagi ei saa langeda nullile, muutub CO_2 -sisalduse hoidmine alla $2,5\%$ piiri võimatuks juba väiksema temperatuuri vahel, nagu seda ligemalt näeme hiljem. Üldiselt peab aga märkima, et normide

¹ Vt. lisa 3.

nõuded veeauru- ja CO_2 -sisalduse kohta on sisuliselt väga hästi omavahel kooskõlastatud.

Piirdekao mooduli c ülimalt lubatav suurus, mis lubab rahuldada normide nõudeid, on joonisel 4 märgitud palistatud joonega. Säilitades praktiliseks otstarbeks küllaldast täpsust, võime selle kolmest kõverjoonest koosneva graafiku asendada murtud sirgjoonega, mille võrrandid on

$$c = 0,09 - 0,004T \quad (\text{piirides } T = 10 - 15^\circ \text{C}),$$

$$c = 0,06 - 0,002T \quad (\text{, } T = 15 - 27,5^\circ \text{C}).$$

Seda joont kujutab joon. 5. Olulisemad iseloomustavad punktid on antud tabelis 1.

Tabel 1.

Lauda piirdekao mooduli suurus olenevalt sise- ja välistemperatuuri vahest T .

Temperatuuri vahe T :	10	15	20	25	${}^\circ\text{C}$
Piirdekao moodul c :	5	3	2	1	$\% {}^\circ\text{C}$

Kui nõuda, et siseõhk oleks normidekohane, kui $T = 25^\circ$, peaks c olema alla $1,0\% / {}^\circ\text{C}$, s. o. läbi piirete toimuv soojakadu peab ühekraadise temp. vahe puhul olema väiksem kui 1% küttesooja juurdevoolust.

Mooduli c suurus ($c = \Sigma KF : \Sigma A$) oleneb kahest tegurist, millest esimene iseloomustab hoonet, teine aga hoonesse mahutatud karja soogaeritust. Teoreetiliselt peaksime justnagu saama esitatud nõuet rahuldada igas laudas, milles on täidetud arvutuse aluseks võetud põhioletus, et laut on alati õhustatud maksimaalselt lubataval määral. Tegelikult aga ei saa loomi hoonesse kuhjata kuitahes suurel huigal. Suurust ΣA saab seepärast suurendada ainult teatava kindla piirini.

Piirdekao mooduli vähendamiseks tuleb seepärast hoolitseda, et lauda piirded oleksid küllalt suure soojapidavusega või et nende pind oleks küllalt väike, nii et lauda soojakaotavus ΣKF ei ületaks lubatavat piiri.

Vaatame nüüd, kuidas seda teha. Enne aga peame kindlaks määrama praktilise mõõdupuu lauda soojapidavuse või soojakaotavuse ligemaks iseloomustamiseks.

Hoone soojakaotavuse iseloomustamiseks on ebasobiv kasutada üldist soojakaotavust ΣKF , sest see ei võimalda hinnata ega omavahel võrrelda hooneid, mis on mõõtmete't erinevad. Täpsema pildi ja õigema iseloomustuse saamiseks tuleb seepärast hoone kohta arvutada sooja erikaotavus mingi põhilise mõõtühiku alusel, nagu seda on looma ase, ruumi kuupmeeter või põrandapinna ruutmeeter.

Lauda puhul on kõige otstarbekam võtta põhiühikuks põrandapinna m^2 , kui kõige olulisem tegur loomade mahutamisel. Nii näiteks on suuremates lehmalautades ühe looma kohta tulev põrandapind väga ligidaselt $7,0\ m^2$. Looma kohta tulev kubatuur oleneb aga lauda kõrgusest ja võib kõikuda $20-30\ m^3$ piirides.

Alljärgnevas on seepärast hoone küttessooja kaotavuse mõõdupuuks võetud erikaotavus põrandapinna ruutmeetri kohta:

$$\alpha = \frac{\Sigma KF}{P},$$

kus: α = hoone küttessooja erikaotavus $kcal/m^2h^\circ C$,

ΣKF = piirdetarindite pinna ja soojajuhtivuse korruktiste summa $kcal/h^\circ C$,

P = põranda pind m^2 .

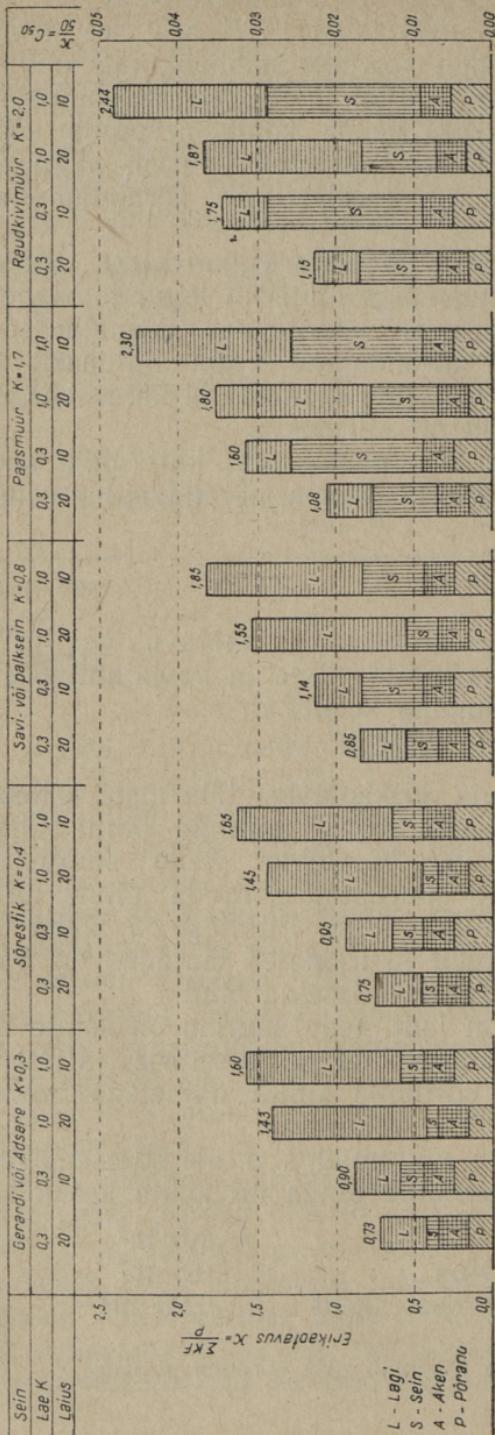
Lauda küttessooja erikaotavus tähendab sellekohaselt soojakadu kilokalorites tunnis põranda pinna ühe m^2 ja temperatuuri vahe ühe $^\circ C$ kohta. Selle suurus oleneb piirdetarindite pinna suurusest põranda pinna m^2 kohta, teiseks nende soojajuhtivusest. Piiretest on kõige tähtsam lauda lagi, mille pind suuremates lautades on vähemalt kaks korda nii suur kui välisseina pind.

Mida väiksem on laut, seda suurem on seinte osatähtsus; koos sellega muutub ka niiskusetörje järjest raske-maks. Käesolevas piirdume ainult näidetega moodsatest suurtest lautadest.

Kui aluseks võtta suuremad, s. o. üle 60 asemega karjalaudad, siis tuleb põranda pinna m^2 kohta keskmiselt

lage	1,0 m^2
välisseina	0,5 m^2
kahekordset akent . . .	0,08 m^2 ¹

¹ Normide kohaselt 6,3 kuni 8,3% põranda pinnast.



Joonis 6. Lauda küttesoja erikaotavus olenevalt seina ja lae soojajuhtivusest ja lauda laiustest. Paremal on võrdluseks näidatud c väärtsused, kui küttesoja toodang on $50 \text{ kcal/m}^2\text{h}$.

Рис. 6. Величина показателя теплопотерь через отражающие конструкции c , в зависимости от теплопроводимости стен (K) и от ширины здания (Laius). На правой стороне показаны величины модуля c при условии, что $a = 50 \text{ ккал}/\text{м}^2 \text{ час.}$

Välisuksed ei mõjuta olukorda kuigi oluliselt, seepärast jätame nad siinkohal arvestamata.

Et näitlikumalt selgitada, kuidas hoone ehitusmaterjal ja ehitusviis mõjutavad lauda sooja erikaotavust, on joonisel 6 toodud näiteid enam-kasutatud materjalide ja tarindustele puhul, nagu seda on materjalidest raudkivi, paas, tellis, savi ja puit ning tarindusviisidel massiivne sein ja kergsein.

Et selgemalt esile tuua paremusi, mida pakub laiem laudahoone, on olukorda vaadeldud kahelt seisukohalt: 1) kui lauda laius on 10 m, mis mahutab 2 pikirida loomi ja 2) kui lauda laius on 20 m, mis mahutab 4 rida loomi. Suurem laius alandab tunduvalt hoone ehituskulusid ja soodustab ka tervislikuma siseolukorra loomist.

Joonisel kujutatud lautade α on 0,73 kuni 2,44 kcal/m²h °C, olenedes seinte ja eriti lae soojapidavusest. Soojapidav lagi alandab isegi kivimüüridega lauda α kuni 1,6-ni, lauda suuremal laiusel aga kuni 1,1-ni. Seinte soojapidavuse tõustes alaneb α veelgi madalamale — kuni 0,73.

Lauda soojakaotavust mõjutab kõige suuremal määral soojavool läbi lae. Joonisel 6 toodud näidetes küünib soojakadu läbi seinte ainult raudkivimüüridega kitsa lauda puhul nii kõrgele kui soojakadu läbi lae. Seetõttu on ka lae soojapidavuse tõstmise laudale olulisem kui seina puhul. Õnneks on lae soojapidavust ka hõlbus tõsta lihtsa täidisega, mida katus kaitseb vihma eest. Ka on laetäidist kergem kaitsta siseniiskuse eest.

Selle asemel et pidada piirete ülimalt lubatavaks soojajuhtivuseks $K=0,4$, on õigem nõuda lagedelt $K=0,3$ ja vajaduse korral pehmendada nõudeid seinte kohta.

Üksikute lahenduste võrdluse toome hiljem, kasutades mõõdupuuks soovitava ja saavutatava c suurust. Selleks peame aga enne vaatlema küttesooja juurdevoolu.

Küttesooja kogutoodang ΣA on laudasolevate loomade küttesooja erituste summa ja oleneb seega lauta mahutatud karja suurusest, loomade kaalust ja piimatoodangust. Lautade iseloomustamiseks ja võrdlemiseks soojatoodangu seisukohalt on aga tarvis arvutada küttesooja eritoodang, s. o. soojatoodang ühe põhiühiku kohta, milleks siingi on otstarbekohane võtta põrandapinna ruutmeeter.

Küttesooja eritoodang $a = \Sigma A : P$ tähendab sellekoha-

selt keskmist tunnist soojaeritust põranda m^2 kohta. Lehma'audas tuleb ühe sõime kohta keskmiselt 7 m^2 bruto põrandapinda. Küttesooja eritoodang on seega $1/7$ majutatud looma keskmisest küttesooja eritusest. Loomade küttesooja eritus on kujutatud joonisel 2. Nii näiteks on küttesooja eritus 220-kiloliselt noorloomalt ümmarguselt 300 kcal/h; 30-liitrise piimatoodanguga 800-kiloliselt lüpsi-lehmalt aga 980 kcal/h. Kui aseme suurus mõlema näitena toodud looma puhul on sama, siis võib küttesooja eritoodang laudas kõikuda väga suurtes piirides ja tuleb vastavalt o'udele täpsemalt arvutada iga erijuhtumi jaoks.

Üldiseks teoreetiliseks arutluseks on aga tarvis tuletada mingi iseloomustav suurus, mille najal saaks ligemalt arutada ja seletada lauda vajalikku soojapidavuse määra ja anda praktilised juhised lauda projektijale ja ehitajale. Tegelikkuses tuleb arvestada, et lehma keskmine piimatoodang on umbkaudselt kümme liitrit päevas. Ka väga heade lehmade puhul on aastane piimatoodang 6000 kg ümber aastas, mis keskmiselt teeb päeva kohta $6000 : 365 = 17$ liitrit. See arv ei jaotu aga ühtlaselt kogu aastale. Kõige suurem on toodang hiliskevadel ja kõige madalam talvel.

Laudas on vajadus küttesooja järgi kõige suurem südalvel, mil karja piimatoodang ja järelikult ka soojatoodang on väike. Hoone vajaliku soojapidavuse otsustamisel peame seepärast arvestama keskmisest madalamat küttesooja toodangut.

Kevadel aga on lauda kõige olulisemaks teguriiks küllal-dane õhustus ja jahutus, sest soojemate ilmade ja ohtrama päikesepaiste ning loomade suurema toodanguvõime tõttu tuleb laudas enam karta soojust kui külmust. Õhustus-seadmete võimsuse otsustamisel tuleb seepärast arvestada keskmisest suuremat erituste määra, seega ka suuremat soojatoodangut.

Arvutusnäidetes, mis puudutavad õhustusseadmeid, on seepärast aluseks võetud 500-kilone lüpsilehm, piimatoodanguga 20 liitrit päevas. Selline loom eritab tunnis 716 kcal küttesooja ja 400 g veeauru. Küttesooja eritoodang on siis $716 : 7$, s. o. ümmarguselt $a = 100 \text{ kcal/m}^2\text{h}$, eeldusel et laudas pole ühtegi tühja sõime. Kui aga asemestest on täidetud $2/3$, siis on küttesooja eritoodang ümmarguselt $70 \text{ kcal/m}^2\text{h}$.

Hoone soojapidavust käsitlevates näidetes on aluseks võetud sama loom piimatoodanguga kuni 10 liitrit päevas ja küttescoja toodanguga 560 kcal/h. Küttescoja eritoodang on siis $560 : 7 = 80$ kcal/m²h. Kui sellest suurusest projektimise varuteguri arvel arvestada $\frac{2}{3}$, siis on a ümmarguselt 50 kcal/m²h. See määr ongi võetud aluseks laudahooneid nende soojapidavuse seisukohalt võrdlevates näidetes¹.

Et leida piirdekaa moodulit (mis võimaldab täpselt arvutada, milline on laudaõhu niiskuse, soojuse ja CO₂-sisaluse olukord), tuleb hoone küttescoja erikaotavus (α) jagada küttescoja eritoodanguga (a), s. o. $c = \alpha : a$.

Tüüpiliste lautade c -väärtusi võime nüüd arvutada ja võrrelda ülaltoodud a ja c väärtuste ajal. Sellekohaselt on joonisel 6 lisaks lautade küttescoja erikaotavusele joonise parempoolses servas näidatud ka samade lautade c -väärtused, mis on arvutatud oletusel, et küttescoja eritoodang on 50 kcal/m²h.

Selleks et selgemini esile tuua selliste tegurite nagu lauda seina tüübi, lauda laiuse ja lakalae soojapidavuse mõju lauda oodatavale siserežiimile, on joonisel 7 samad laudad veel kord järjestatud c - ja saavutatavate T -väärtuste järgi. Laudad on joonisel märgitud nõutavate c -väärtuste (joon. 5) diagrammile sellele kohale, kus antud laut veel suudab rahuldada normidega esitatavaid nõudeid laudaõhu soojuse, kuivuse ja puhtuse kohta, antud temperatuuri vahe puhul.

Joonisel on laudad rõhtsate sidejoontega ühendatud gruppidesse vastavalt lauda laiusele (kas 10 m või 20 m) ja vastavalt lakalae soojapidavusele (kas $K = 1,0$ või 0,3). Suurem lauda laius kui ka piirete väiksem soojajuhtivus soodustavad o'ukorda.

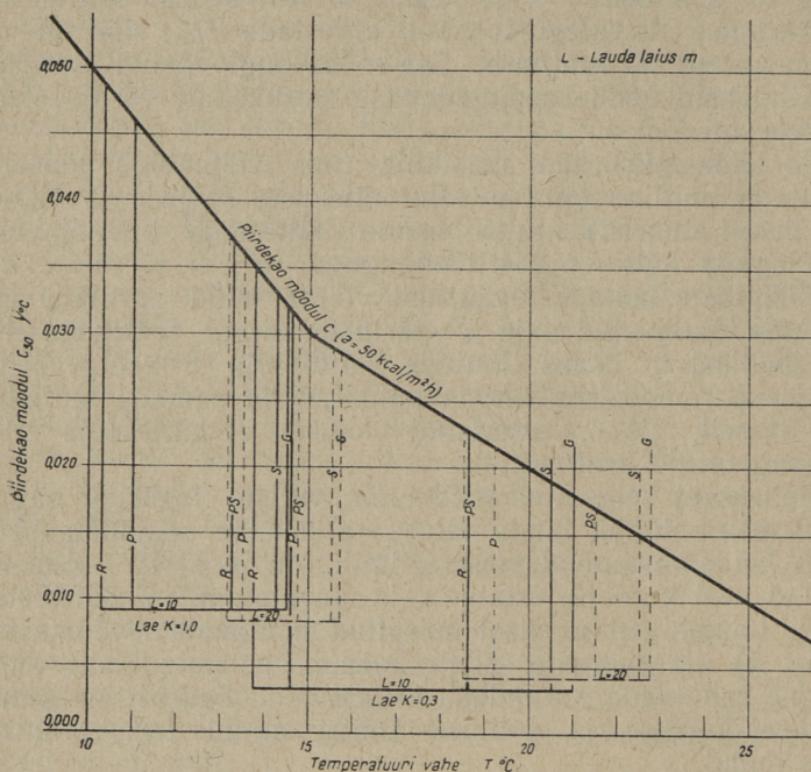
Lautade suhtelist headust saame võrrelda nende küttescoja erikaotavuse (α), või ka sellest tuletatud $c_{50} = \alpha : 50$ järgi, mida näitavadki joonised 6 ja 7.

Neist viimane kujutab seega lautade järjestust paremuse järgi.

Üldiselt peaks laut meie ilmastikus veel rahuldama

¹ Täiskasvanud inimene eritab keskmiselt 73 kcal küttescoja tunnis, $a = 70$ vastab seega olukorrale inimeste kogumiskohas, kus m² kohta tuleb üks inimene. Teatris tuleb m² kohta keskmiselt 1,4 inimest ja $a = 100$ kcal/m²h.

tervislikkuse nõudeid sooapidavuse seisukohalt, kui T on vähemalt 20°C . Kümnekraadise pakasega on siis laudas kindlustatud veel puhas ja 10°C soe õhk. Selle nõude



Joonis 7. Sise- ja välisõhu temperatuuride vahe, mille puhul on veel võimalik rahuldada nõudeid lauda tervislikkuse kohta, olenevalt lauda ehitusest. R — raudkivimüür; P — paasmüür; PS — tempsavi või palksein; S — täidistatud sõrestiksein; G — seini Gerardi või Adsere sein.

Рис. 7. Разница температур T , при которой данное здание может еще дать приемлемый режим внутреннего воздуха. R — бутовые стены; P — плитняковые стены; PS — глиняные или рубленные деревянные стены; S — засыпно-каркасные стены; G — стены системы Герарда или Адсера; L — ширина здания в м; $\text{Lae } K$ — коэффициент теплопроводимости перекрытия.

rahuldamiseks tohib c_{50} olla ülimalt 0,02 või \times ülimalt 1,0 $\text{kcal}/\text{hm}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sellelt seisukohalt kõlblikku lauta on joonise 7 kohaselt võimalik saavutada ainult hästi sooja ($K = 0,3$)

lakalae puhul. Tavalise kaherealise (10 m) lauda puhul annab vaevu rahuldava lahenduse savi- ja palksein, täiesti rahuldava aga seinad, kus kerge täidise kiht on vähemalt 20 cm paks. Looduskivist massiivseintega laudad jääävad aga soojapidavuselt puudulikkuks.

Laia lauda puhul, mis mahutab 4 pikirida loomi, on olukord palju soodsam. Massiivne looduskivimüür, mis kitsa lauda puhul üldse ei rahuldanud nõudeid, annab nüüd sama üldtulemuse kui palksein kitsa lauda puhul. Looduskivist müüri puhul võib aga seinaäärsetele loomadele ohtlik olla välisseina külmahõogus.

Väiksemate soojakadude tõttu läbi seinte ja põranda annab lai laut palju parema siseolukorra kui kitsas. Peame ka veel silmas, et lai laut säästab umbes 40% välisseinte pinda, umbes 15% katuse pinda ja umbes 5% põranda ja lae pinda. Seejuures annab lai hoone vähemalt 50% enam lakaruumi, mis juba üksi tasub enamkulutused katusekere ehitamisel.

4. Lauda tõmbekorsten.

Õhuvahtuse määär on eelpooltoodud valemi (1) kohaselt $Q = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T} - c \right)$, kilogrammides küttesooja iga kcal kohta.

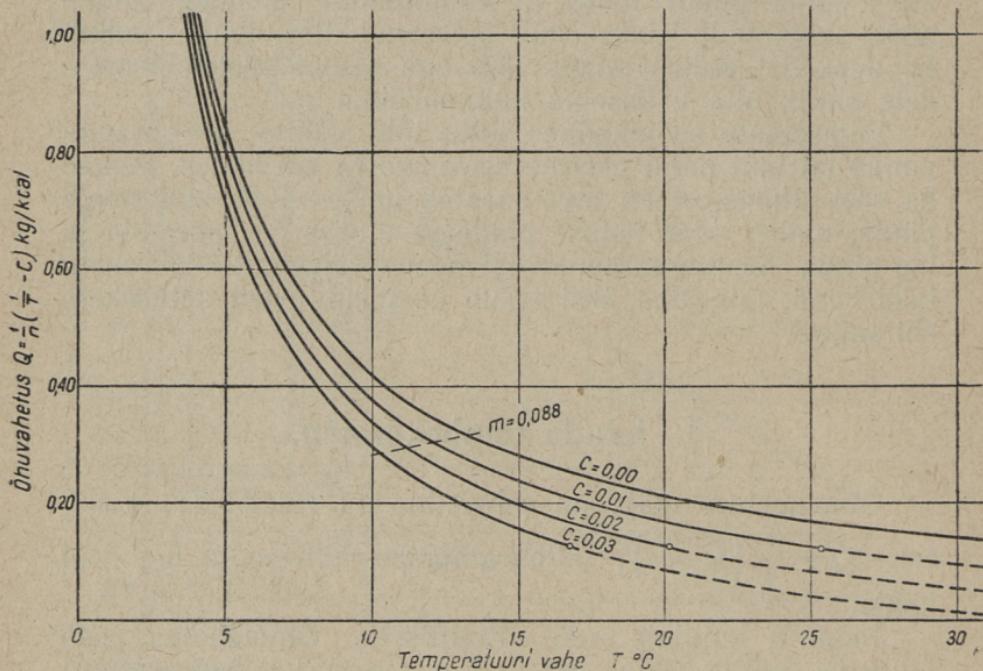
Joon. 8 kujutab seda graafiliselt. Õhuvahtus peab langema nullile hetkel, mil $1 : T = c$, s. o. kui temperatuuri vahe läheb niivõrd suureks, et kogu kasutada olev küttesooja hulk kulub tervenisti piirdekadude katmiseks. Kui c on 0,01; 0,02 ja 0,03, siis on T , mille puhul $Q = 0$, vastavalt 100; 50 ja $33,3^\circ C$.

Tegelikult aga tõuseb siseõhu relativne niiskus või CO_2 -sisaldus lubamatult kõrgele juba enne, kui õhuvahtus täiesti võimatuks muutub. Sellekohaselt on ka lauda kriitiline T tegelikult palju väiksem kui $T = 1 : c$. Joonisel 8 on piirid, kus CO_2 -sisaldus ületab lubatava määra (2,5 mahupromilli), märgitud sõõridega ja kõverjooned väljaspool neid punkte (s. o. antud lauda kohta zootehniliselt lubamatus piirkonnas) kujutatud katkendjoonega.

Vastupidiselt, vajalik õhuvahtus muutub lõpmata suureks, kui $T = 0$, s. o. kui $T_s = T_v$. Vastavalt T teoreetiliselt

võimalikele kõikumistele väärustete $1:c$ ja nulli vahel, peab ka lauda õhuvahetus kõikuma nulli ja lõpmatuse vahel, sõltudes T -st ja c -st.

Et anda õhuvahetuse määrist selgemat ettekujutust, on joonisel 9 näidatud lauda soojamajanduse seisukohalt lubatav tunnine õhuvahetus siseõhu kuupmeetrites ühe



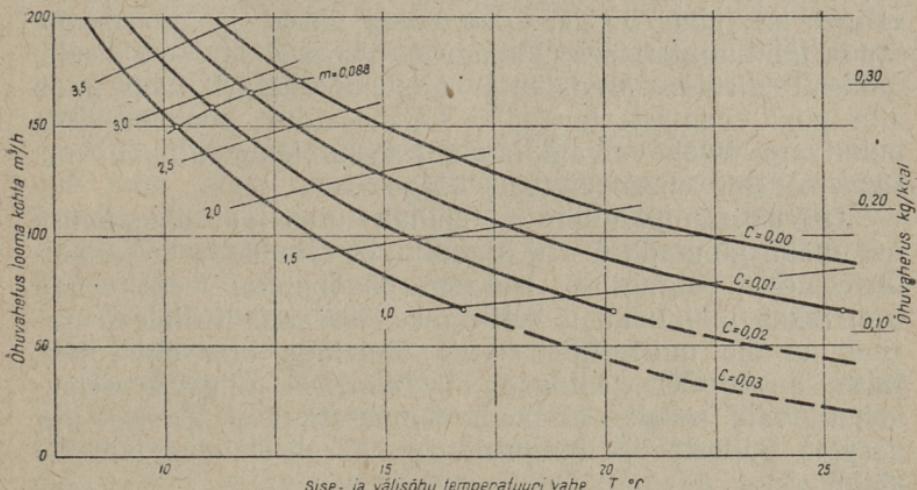
Joonis 8. Lauda õhustuse määär õhu kilogrammides küttesooga ühe kcal kohta, olenevalt sise- ja välistemperatuuri vahest T .

Рис. 8. Воздухообмен коровника в кг на ккал свободного тепла в зависимости от T .

tugeva lüpsi'ehma (700 kcal/h) kohta, sõltuvalt lauda piirdekaa moodulist ja T -st. Kuna siseõhu mahukaal (10°C) on ümmarguselt $1,25 \text{ kg/m}^3$, siis on kõnesolev graafik kergesti tuletatav eelmisest (joon. 8) püstskala muutmise teel vahekoras $1 : (700 : 1,25) = 1 : 560$, nagu see on joonise 9 paremal serval ka märgitud.

Lauda õhuvahetuse määär, mis $T = 0$ puhul peaks olema lõpmata suur, hakkab järsult langema, kui T erineb nullist mõne kraadi võrra; suurema T puhul on õhuvahetuse lan-

gus juba aeglasem. Viiekraadise vahe puhul tuleb ühe looma kohta tunnis vahetada ümmarguselt 400 m^3 laudaõhku, kusjuures see määr oleneb võrdlemisi vähe piirdekaao moodulist, s. o. lauda soojapidavusest. Kui aga T tõuseb 10 kraadile, siis on õhuvahtetus ümmarguselt $200 \text{ m}^3/\text{h}$ looma kohta ja on juba suuremal määral sõltuv c -st. Viiteistkümnekraadise T hoidmiseks tuleb laudast, mille $c = 0,01$, tunnis väljutada ümmarguselt 130 m^3 laudaõhku.



Joonis 9. Lauda õhuvahtetus 700 kcal/h küttesoja toodanguga looma kohta m^3/h . Peente joontega on võndluseks näidatud, kui suur peaks olema 5 m kõrge korstna ristlõike pind ruutdetsimeetrites ühe looma kohta ($R = 1,75$).

Рис. 9. Обмен воздуха в $\text{м}^3/\text{час}$ на животное, выделяющее 700 ккал/час. Тонкими линиями показано необходимое сечение вытяжной трубы при высоте $H = 5 \text{ м}$ в дм^2 на животное.

Lauda siseolukorda määrvaks teguriks (ja seega ka T määrvaks peateguriks olukorras, kus välistemperatuur on üle nulli) ongi tegelikkuses õhuvahtuse määri. Mida suurem on vahetatava õhu hulk, seda ligemale langeb sisetemperatuur välistemperatuurile. Vastupidiselt, mida väiksem on õhuvahtetus, seda kõrgemale peab tõusma T_s ja seda suuremaks muutub T .

Lauda siseolukorda, s. o. temperatuuri, relatiivset niiskust ja CO_2 -sisaldust olenevalt lauda c -st, välisõhu temperatuurist ja õhuvahtuse määrist kujutavad joonised 14—20.

Võrreldes võimalikke olukordi samas laudas olenevalt õhustuse määrist näeme, et jaheda ilmaga on olukord soodsam siis, kui õhustus on mõõdukas.

Ohram õhustamine jahutab lauta ja tõstab seega õhu relatiivset niiskust. Eriti silmatorkav on see soojade ilmadega. Seetõttu on üldiselt soovitatav, niikaua kui võimalik, teostada lauda õhustust ikka õhustusseadmete kaudu, s. o. kontrollitult. Alles siis, kui välistemperatuur lilineb $+10^{\circ}\text{C}$ -le, mispuhul välisõhu relatiivne niiskus langeb ise juba 75%-le, tuleb avada uksed ja üle minna lauda läbituulutamisele. Õhustuse määra ei saa aga meelevaldselt piirata. Madalama välistemperatuuri puhul seab siin piiri enamasti laudaõhu CO_2 -sisaldus; soojema ilma puhul aga tuleb valvata lauda siseõhu temperatuuri, mis tükub tõusma ebasoovitavalt kõrgele.

Kui välistemperatuur on madal, tuleb laut õhustamise teel maha jahutada 6—10 kraadini, et rahuldada CO_2 -sisalduse nõuet, olgugi et väiksem õhustamine teeks lauda soojemaks ja laudaõhu kuivemaks. Kui aga välistemperatuur on üle nulli, tuleb lauta õhustada üha ohramalt, mitte enam CO_2 -sisalduse või relatiivse niiskuse seisukohalt, vaid selleks, et lauda temperatuur ei tõuseks liigkõrgele. Selle tõelise kõrguse aga määrab õhustusseadmete võime.

Joonise 14—20 vasak-alumises osas, kus T_v on üle nulli, on graafikud lõpetatud piiril, kus $T = 0$ ja vajalik õhu-vahetus on teoreetiliselt lõpmata suur — olukord, mis on juba füüsikaliselt saavutamatu.

Õhustusseadmete piiratud võime tõttu ei saa nimelt T kunagi langeda nullile, ja teoreetiliselt võimalik olukord muutub praktiliselt saavutamatuks juba suurema T puhul. Minimaalselt saavutatav T oleneb seetõttu õhustusseadmetest, s. o. õhustuskorstna ristlõikest, kõrgusest, esinevatest õhuvoolu takistustest, paigutusest jne.

Kriitiline olukord õhustusseadmete töötamise seisukohalt. Meie ilmastiku oludes võiksime selleks võtta aja, mil välistemperatuur on null ja $+6^{\circ}\text{C}$ vahel, millest viimane vastab madalaimale normidega lubatavale siseõhu temperatuurile.

Üldiselt võetuna on $+5$ -kraadise välistemperatuuri puhul veel soovitav, et lauda õhustus toimuks täpselt reguleeritavate õhustusseadmete kaudu, nagu seda on

tõmbekorsten ning õhuavad ja aknad. Selline teadlikult ehitatud tehislite seadmete kaudu toimuva õhustus aitab paremini ära hoida jahedat õhutõmmet, mis võiks kahjustada loomade tervist.

Teadlikult ja vajaduse kohaselt reguleeritava õhustuse eeliseid kinnitavad ka lauda ehitusfüüsikalise analüüsitiulemused (joon. 14—20), mis näitavad, et õhustuse tarbe-kohase piiramisega saab väga tunduvalt vähendada laudaõhu relatiivset niiskust. Nii näiteks on välisõhu relatiivne niiskus $+5^{\circ}\text{C}$ puhul keskmiselt 80% (v. joon. 3), ja alles siis, kui lauda temperatuur on sellest tunduvalt kõrgemal, saab laudaõhu niiskus langeda samale tasemele või veelgi madalamale.

Kui välistemperatuur tõuseb üle $+6$ kraadi, siis muutub juba väga raskeks lauta õhustada ainult korstna kaudu, sest selleks vajaliku tõmbevõime saavutamiseks peavad õhustusseadmete mõõted siis minema liiga suureks, kui mitte lubada lauda soojusel tõusta üle $18-20^{\circ}\text{C}$. Lauda õhustusseadmete vajalikud mõõted on seega otse-selt olenevad taotletavast T alammäärást.

Taotletav T . Meie ilmastikus oleks soovitatav, et vahet sise- ja välisõhu temperatuuri vahel saaks õhustusseadmete abil ka sooja ilmaga vähendada 12 kraadini. Siis on veel $+6^{\circ}\text{C}$ välistemperatuuri puhul võimalik hoida lauda temperatuuri $+18^{\circ}\text{C}$ tasemel, ilma et tarvis oleks üle minna lauda otsesele läbituulutamisele uste kaudu.

Kui aga õhustusseadmed selle nõude rahuldamiseks liig raskepäraseks tikuvalt muutuma, tuleb vahel leppida suurema T -väärtusega. Seejuures peaks aga üldiselt lubatavaks piiriks olema $T = 15^{\circ}\text{C}$. $+6^{\circ}\text{C}$ välistemperatuuri puhul on siis laudas ülimalt 21° soojust. See temperatuur on ilmselt juba liig kõrge, kuid olukord pole veel rusuv, sest õhk on seejuures kuiv ja on elavalt liikvel.

Vaatame nüüd, kui suur on õhustuskorstna tõmbevõime.

Õhustuskorstna tõmbevõime on

$$V = 3600 M \sqrt{\frac{4\gamma}{\gamma} \frac{H \cdot 2g}{R}} \text{ m}^3/\text{h},$$

kus

$$M = \text{õhustuskorstna ristlõike pind m}^2,$$

$$\gamma = \text{siseõhu mahukaal kg/m}^3,$$

$$\begin{aligned}\Delta\gamma &= \text{sise- ja välisõhu mahukaalu vahe } \text{kg/m}^3, \\ H &= \text{korstna kõrgus } ^1 \text{ m}, \\ g &= \text{maakiirendus} = 9,81 \text{ m/sek}^2, \\ R &= \text{õhuvoolu kogutakistus (vt. lisa 4).}\end{aligned}$$

Selles valemis on korstna tõmbe ajejõudu määrvateks teguriteks γ ja $\Delta\gamma$. Karjalauda õhustusseadmete arvutamisel on aga palju soodsam mahukaalu (γ) ja selle erinevuse ($\Delta\gamma$) asemel opereerida temperatuuride vahega T .

Nagu seda lisas 5 ligemalt on näidatud, võime ülaltoodud valemi, praktiliseks otstarbeksi küllaldase täpsusega, asendada valemiga

$$V = 970M \sqrt{\frac{H \cdot T}{R}} \text{ m}^3/\text{h} \text{ ehk}$$

$$Q_h = 1210M \sqrt{\frac{H}{R}} \sqrt{T} \text{ kg/h.}$$

Selles valemis oleneb suurus $1210M \sqrt{\frac{H}{R}}$ ainult korstnast

ja tähendab tõmbevõimet kg/h kui $\sqrt{T} = 1^\circ \text{C}$.

Et käeso'evas töös kõikide arvutuste aluseks on võetud küttesooja kcal, siis on ka korstna tõmbevõime soovitatav väljendada sama põhiühiku kohta. Jagame seepärast vörandi mölemad pooled ΣA -ga, saame

$$\frac{Q_h}{\Sigma A} = Q = 1210 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H}{R}} \cdot \sqrt{T} = m \cdot \sqrt{T} \text{ kg/kcal},$$

kus

$m = \text{õhustuskorstna tõmbevõime moodul, s. o. korstna tõmbevõime õhu kilogrammides küttesooja iga kcal kohta, kui } \sqrt{T} = 1,$

$\Sigma A = \text{küttesooja juurdevool kcal/h,}$

$Q = m \sqrt{T}$ näitab korstna tõmbevõimet kilogrammides küttesooja iga kcal kohta.

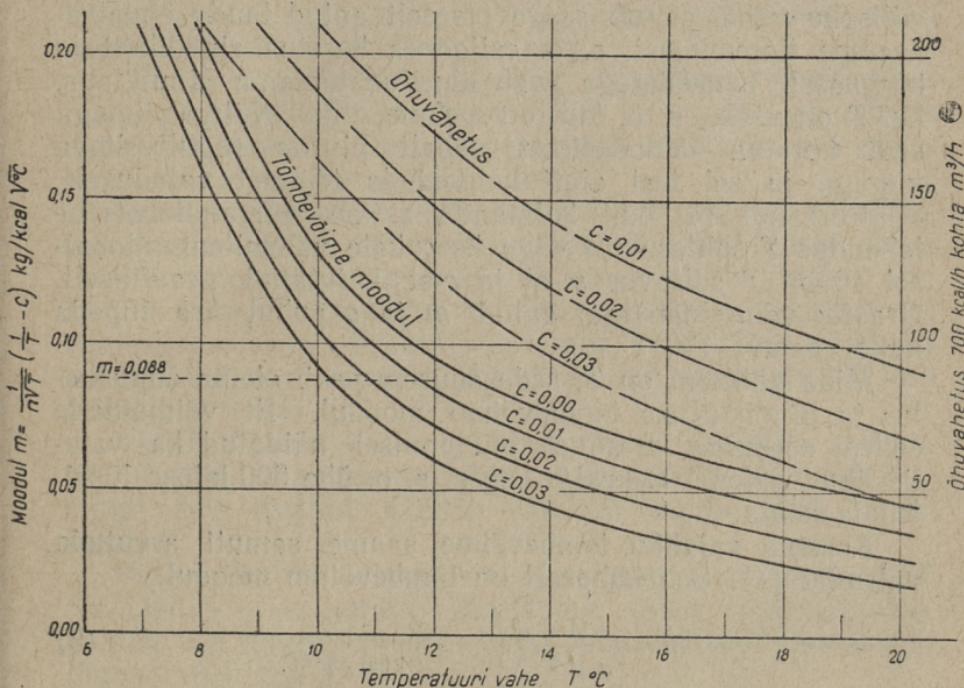
Õhustuskorstna tõmbevõime on nüüd väljendatud samades ühikutes kui õhustuse määrgi. Lauda õhustamiseks kasutada olev soojahulk laudaõhku paisatava kütte-

¹ Selleks on tavaliselt püstne kaugus lauda laest kuni korstna ülaservani.

sooja iga kcal kohta on $1 - cT$ kcal. Selle soojahulgaga saab vahetada

$$Q = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T} - c \right)$$

kilogrammi õhku küttesooja kcal kohta (vt. valem 1).



Joonis 10. Õhustusseadme tõmbevõime moodul, olenevalt temperatuuri vahest ja piirdékaa moodulist. Punktirjoontega on võrdluseks näidatud vajalik õhuvahetus ühe 500 kg lüpsilehma kohta (700 kcal/h).

Рис. 10. Модуль вытяжной способности установки аэрации в зависимости от T и c . Пунктиром показан необходимый обмен воздуха на условную корову в 500 кг (700 ккал/час).

Võrrutades need avaldised, saame võrrandi

$$m \cdot \sqrt{T} = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T} - c \right) \quad (4),$$

millest vastavalt c -le ja m -le võime määrata T , s. o. minimaalse temperatuuri vahe, mida võimaldab saavutada antud laut.

Nii näiteks, kui lauda $c = 0,01$ ja $m = 0,1$, siis asendades $n = 0,240$ leiate, katsetamise teel, et $T = 11,1^\circ\text{C}$.

See tähendab, et antud lauta ei saa korstna kaudu õhus-tamise teel jahutada madalamale kui $11,1^{\circ}$ üle välistemperatuuri. Seega, kui väljas on $+6^{\circ}\text{C}$, peab lauda temperatuur olema vähemalt $17,1^{\circ}\text{C}$, $+8^{\circ}\text{C}$ välistemperatuuri puhul aga $19,1^{\circ}\text{C}$.

Minimaalselt võimalik temperatuuride vahe sise- ja välisõhu vahel sõltub seega otseselt antud lauda õhustus-seadme tippvõimist, s. o. esjoones korstna ristlõikest ja kõrgusest. Täisvõimega peab õhustus töötama ainult siis, kui T on väike, s. o. kui on pehme ilm. Külma ilmaga saab korstna tõmbevõimet vabalt piirata reguleeritava klapiga ja sel teel alati kohandada tõmmet vajadusele.

Võrrandi (4) kui kolmanda astme võrrandi otsene lahendus T suhtes viib väga keerukate valemiteni. Joonisel 10 on T sõltuvus m -st ja c -st kujutatud graafiliselt. Graafik võimaldab iga antud m ja c puhul ära lugeda neile vastava T .

Mida väiksem on T , seda suurem peab olema õhuvahetus ja järelikult ka tõmbevõime moodul. Et võimaldada sellest selgemat kujutlust, on joonisel näidatud ka vajalik õhuvahetus 700 kcal/h kohta, s. o. ühe 500-kilose lüpsi-lehma kohta.

Korstna vajaliku tõmbevõime saame samuti arvutada valemist (4). Sellekohaselt on tõmbevõime moodul

$$m = \frac{1}{n \sqrt{T}} \left(\frac{1}{T} - c \right) \frac{\text{kg}}{\text{kcal} \cdot \sqrt{^{\circ}\text{C}}} \quad (5)$$

Eelpool arutasime, et veel lubatav T tohib olla ülimalt 15°C , kuid peaks olema soovitataval 12° C. Asendades need arvud valemisse, saame

$$T = 15^{\circ} \text{ puhul } m = 0,072 - 1,07c$$

$$T = 12^{\circ} \text{ puhul } m = 0,01 - 1,2c$$

Teades tõmbevõime nõutavat moodulit, võime kergesti valida õhustuskorstna mõõted võrrandi abil:

$$m = 1210 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H}{R}}$$

Õhustuskorstna vajalik ristlõike pind on sellekohaselt

$$M = \frac{m \cdot \Sigma A}{1210} \cdot \sqrt{\frac{R}{H}} \quad (6)$$

Kui korsten on sirge ja sile ning ilma eriliste lisatakistus-

teta, siis piiravad siin õhuvoolu oluliselt ainult kiirendustakistus $z = 1,0$ ja sissevoolu suudmetakistus $z = 0,6$, kokku seega 1,6 (vt. lisa 4).

Õhu hõordetakistus vastu korstna seinu on keskmiselt 0,03 ühikut toru pikkuse meetri kohta, kui toru mõõted on vähemalt $0,6 \times 0,6$ m. Viiemeetrise pikkuse puhul on kogu hõordetakistus $5 \times 0,03 = 0,15$, seega suhteliselt väike suurus võrreldes suudmetakistusega.

Lauda tõmbekorstna vajaliku tippvõime arvutamisel tuleb, nagu öeldud, arvestada ajejõu (s. o. õhu erikaalude vahe) seisukohalt kõige ebasoodsamat olukorda, kus välistemperatuur on üle null kraadi.

Loomalauda puhul tuleb seepärast arvestada, et juhtumil, kus tarvis on tööle rakendada õhustusseadme kogu tippvõime, on aknad avatud või sisepoolte kallutatud nii, et õhu sissevoolu takistus (korstnas valitseva voolukiiruse suhtes) on väike. Praktiliselt võime selle võtta võrdseks nulliga, kui ventaknad on ülevalt avatud vähemalt 200 mm laiuselt (vt. lisa 6).

Välisõhu lauta sissevoolamisel esineva takistuse nulliga võrrutamist võib teisest küljest põhjendada ka tuule toimega, mis avatud aknast vajaliku hulga õhku lauta surub.

Peame ka veel silmas, et õhustuskorstna arvutamisel on jäetud arvestamata lisatõmme, mida tõmbekorstnas tekib üle katuse voolav tuul, mis oluliselt soodustab tõmmet (vt. lisa 7).

Lauda õhustuskorstna tippvõime arvutamisel võib seepärast üldiselt võtta $R_k = 1,6 + 0,15 = 1,75$.

Avaldame valemitest (6) ja (5) suuruse $\frac{M}{\Sigma A}$, mis tähendab korstna vajalikku ristlõike pinda (m^2) küttesooja tunnise juurdevoolu ühe kilokalori kohta:

$$\frac{M}{\Sigma A} = \frac{m_k}{1210} \sqrt{\frac{R}{H}} = \frac{1}{1210 n} \left(\frac{1}{T_k} - c \right) \cdot \sqrt{\frac{R}{H \cdot T_k}} \quad (7)$$

Asendades $R = 1,75$ ja $n = 0,24$, saame

$$\frac{M}{\Sigma A} = \frac{\frac{1}{T_k} - c}{220 \sqrt{T_k \cdot H}} \frac{m^2 h}{kcal} \quad (7a)$$

Näide. Milline on 5,5 m pika tõmbekorstna vajalik pind, kui laudas on 100 looma keskmise küttesoja eritusega 560 kcal, lauda $c = 0,016$ ja lubatav $T_k = 13^\circ C$.

Lahendus: $\Sigma A = 100 \cdot 560 = 56\,000 \text{ kcal/h}$.

$$M = \frac{\left(\frac{1}{13} - 0,016\right) 56\,000}{220 \sqrt{13 \cdot 5,5}} = 1,85 \text{ m}^2$$

Kui lauda $c = 0,01$, siis on $T_k = 12^\circ C$ puhul

$$M = \frac{0,96 \cdot \Sigma A}{10\,000 \sqrt{H}} \text{ m}^2,$$

mille võiksime ümmarguselt kirjutada

$$\frac{M}{\Sigma A} = \frac{1}{10\,000 \sqrt{H}} \frac{\text{m}^2 \text{h}}{\text{kcal}}$$

ehk

$$\frac{M}{\Sigma A} = \frac{1}{\sqrt{H}} \frac{\text{cm}^2 \text{h}}{\text{kcal}}$$

Kui näiteks loom eritab 700 kcal küttesoja tunnis ja $H = 5 \text{ m}$, siis on $M = 700 : 10\,000 \sqrt{5} = 0,0313 \text{ m}^2$ looma kohta.

Seega peaks korstna pind viiemeetrise pikkuse puhul olema ümmarguselt 3 dm^2 tingimusliku looma kohta, et saavutada $T_k = 12^\circ C$.

Kui aga $T_k = 15^\circ C$, siis on

$$M = \frac{0,67 \cdot \Sigma A}{10\,000 \sqrt{H}} \text{ m}^2 \text{ ehk}$$

$$\frac{M}{\Sigma A} = \frac{0,67}{\sqrt{H}} \frac{\text{cm}^2 \text{h}}{\text{kcal}}$$

Kui näiteks loom eritab 700 kcal küttesoja tunnis, siis on

$$M = 0,67 \cdot 700 : 10\,000 \sqrt{5} = 0,021 \text{ m}^2 \text{ looma kohta.}$$

Seega peaks korstna pind viiemeetrise pikkuse puhul olema ümmarguselt 2 dm^2 tingimusliku looma kohta, kui nõuda, et sisetemperatuur ei tohi tõusta enam kui $15^\circ C$ üle välistemperatuuri.

Praktilise üldreegli soojapidava lauda korstna kohta
võime seepärast sõnastada nii:

Lauda, mille $c = 0,01$, õhustuskorstna pind tunnise küttesooja iga kcal kohta olgu vähemalt $\frac{2}{3}$, kuid soovitatavalt 1 cm^2 , kui korstna kõrgus on 1m; pikema korstna puhul väheneb vajalik pind võrdeliselt kõrguse ruutjuurega.

$$\frac{M}{\Sigma A} = \frac{0,67}{\sqrt{H}} \text{ kuni } \frac{1,0}{\sqrt{H}} \frac{\text{cm}^2 h}{\text{kcal}} \quad (7b)$$

Õhustuskorstna optimaalne pikkus. Valemi kohaselt tuleb korsten teha seda kõrgem (s. o. seda pikem), mida väiksem on lõõri pind. Et aga lõõri pinna suurendamine nõub vähem materjali kui korstna pikendamine, tuleks lauda korsten ehitada nii lühike, kui seda lubavad olud (vt. lisa 8). Ka lisatõmme, mille korstnas tekitab üle katuse voolav tuul, on seda suurem, mida vähem korsten ulatub üle katuse pinna.

Korsten peaks seega ulatuma üle katuse pinna ainult niipalju, kui seda on tarvis kaitseks lume eest, s. o. umbes 50 cm, mõõtes harja poolt küljest.

Korstna pikkus siiski ei tohi olla ka liig väike, sest avaras, kuid lühikeses püstkanalis võib kergesti esile tulla jaheda õhu allavool. Selle vältimiseks tuleks taotleda, et korstna kõrgus ei oleks väiksem kui paar korstna külgmõõtu. Kuna puuduvad praktilised kogemused lühikeste ja avarate tömbeturudega, ei saa praegu täpsemalt määrata pikkuse lubatavat alampiiri.

Jaheda õhu allavoolu takistamiseks tuleb reguleeritav õhuklapp alati asetada korstna tippu, nii et korsten ka klapi osalise avamise puhul oleks võimalikult pikas ulatuses täidetud sooja õhuga.

Ülaltoodud valemid on tuletatud oletusel, et lauda aknad on niipalju avatud, et värskeõhu sissevoolu takistus on null. See on õigustatud oletus korstna vajaliku suuruse arvutamisel, sest väikese T puhul, s. o. sooja ilmaga võivad aknad olla lahti. Kui aga välistemperatuur langeb märgatavalt alla nulli, tuleb aknad sulgeda ja värske õhk sisse lasta läbi sellekohaste õhupilude või avade.

Vaatame nüüd, kui suured peavad olema sissevoolu avad, et nad rahuldamalt täidaksid oma ülesannet.

5. Värskeõhu sissevoolu avad.

Õhu sissevoolu läbi värskeõhu pilude võime arvutada valemist

$$V = 3600 M \sqrt{\frac{A\gamma}{\gamma} \cdot \frac{2g \cdot H}{R_{a+k}}}, \text{ kusjuures}$$

takistustegur R_{a+k} nüüd peab sisaldama nii korstna kui ka õhu sissevoolu ava takistust. Õhupilude takistustegur ventakna puhul on $R_a = 1,6$. Ligikaudselt sama suur on ka takistustegur lihtsate seinaavade puhul. Aluseks võttes õhustuskorstnas valitsevat voolukiirust, on kogu takistustegur nüüd $R_{a+k} = 1,75 + \frac{1,6}{x^2}$, kus $x = \text{sissevooluavade kogupind jagatud korstna pinnaga.}$

Asendades saadud R_{a+k} väärtsuse ja võttes $\frac{A\gamma}{\gamma} = 0,0037T$ (vt. lisa 5), saame

$$Q = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T_a} - c \right) = 1230 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H \cdot T_a}{1,75 - 1,6/x^2}} \text{ kg/kcal} \quad (8),$$

kus T_a tähendab õhu sissevoolu avade arvutamisel arvestatavat temperatuuri vahet.

Õhustussüsteemi tõmbevõime moodul on nüüd

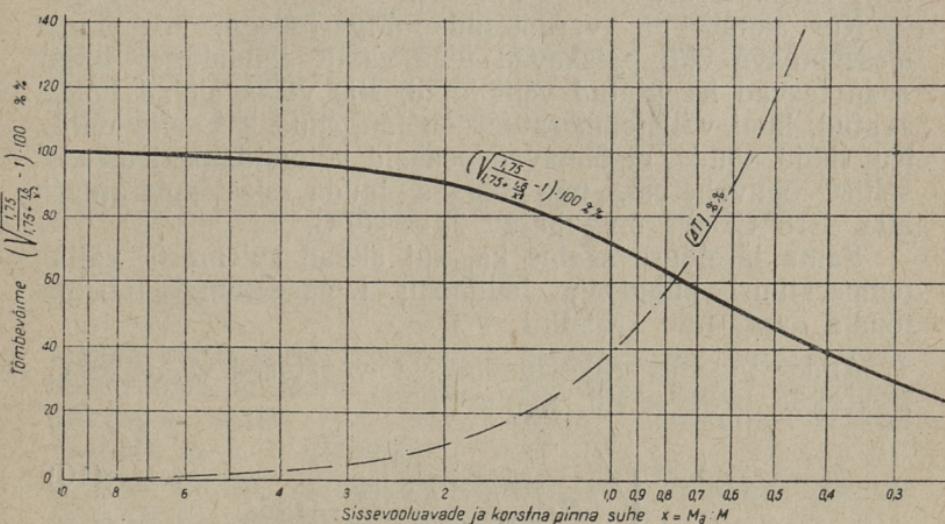
$$m_a = 1230 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H}{1,75 + 1,6/x^2}}$$

Et laudast läbivoolav õhk peab ületama suurema kogutakistuse kui lahtiste akende puhul, on tõmbevõime moodul nüüd väiksem, kusjuures tõmbevõime kahaneb pöördvõrdeliselt takistustegurite suhte ruutjuurega:

$$\frac{m_a}{m_k} = \frac{1230}{1210} \sqrt{\frac{R_k}{R_{a+k}}} = \text{ümmarguselt } \sqrt{\frac{1,75}{1,75 + 1,6/x^2}}$$

Väga oluliseks teguriks lauda õhustusseadmete töös on sellekohaselt vooluavade suhteline suurus. Selle mõju on kujutatud graafiliselt joonisel 11, mis näitab tõmbevõime kahanemist sõltuvalt sissevooluava suurusest, konstantse temperatuuri vahes puhul. Juba ventakende sulgemine ja õhu suunamine läbi pilude langetab tõmbevõime 72 protsendile endisest, isegi siis, kui $x = 1$, s. o. kui õhupilude pind on võrdne korstna pinnaga.

Et anda selgemat kujutlust õhupilude avaruse tähtsusest, on joonisel 11 märgitud, kuipalju peaks tõusma T selleks, et tasa teha õhupilude tekitatud takistus. Kui $x = 1,0$, oleks õhupilude takistuse ületamiseks tarvis T tõsta 38% võrra, s. o. näit. 12 kraadilt 16,7 kraadile. Kui aga õhupilude pind on 50% korstna pinnast, siis oleks voolutakistuse ületamiseks tarvis tõsta temperatuuri vahet 114% võrra, s. o. 12 kraadilt 26-le. Et aga lauda oludes õhuvahetuse vajadus T tõustes langeb, siis ei anna joon. 11 veel täielikku pilti õhupilude vajalikust pinnast.



Joonis 11. Ohustusseadme tõmbevõime olenevus sissevoolu avade pinna suurusest, väljendatud protsentides tõmbevõimest avatud akende ja uste puhul. Peen joon näitab, mitme % võrra peaks tõusma T , et kompenseerida sissevooluavade takistust.

Рис. 11. Производительность системы аэрации в зависимости от величины отверстий для впуска свежего воздуха, в процентах от производительности при открытых окнах и дверях. Тонкая линия показывает насколько % должна подняться T , чтобы компенсировать сопротивления стенных отверстий.

Õhupilude vajaliku pinna suuruse võime tuletada valemist (8)

$$\frac{1}{n} \left(\frac{1}{T_a} - c \right) = 1230 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H \cdot T_a}{R_k + R_a/x^2}} \quad (8a),$$

mildest saame

$$x = \sqrt{\frac{R_a}{H \cdot \left(\frac{M}{\Sigma A}\right)^2 \cdot \frac{87500}{\left(\frac{1}{T_a} - c\right)^2} \cdot T_a - R_k}} \quad (9)$$

Arvutamiseks peame üles seadma kindla nõude selle kohta, kui suur peab olema T_a , s. o. millise temperatuuri vahe puhul tuleb sulgeda aknad ja töole lasta õhupilud. Siin võiksime arutada järgmiselt:

Kui aknad on varustatud juhtvarjudega, mis lauta sissevoolava õhu paiskavad üles vastu laudalage, nagu seda teevad kallutatud ventaknad, siis võiks aknad hoida avatud, kuni välistemperatuur on langenud $2^\circ C$ alla nulli. Kui nüüd nõuda, et õhuavad peaksid võimaldamata teostada sellist õhuvahetust, mis hoiaks lauda sisetemperatuuri alla $+18^\circ C$, siis on lubatav $T_a = 20^\circ C$.

Sama järeltuse saame ka, kui aknad suleme 0° välistemperatuuri puhul ja lauda õhu temperatuuril lubame tõusta kuni $+20$ kraadini.

Andes valemis (9) sümbolitele väärtsused $T_a = 20^\circ C$, $R_k = 1,75$ ja $R_a = 1,6$, saame

$$x = \sqrt{\frac{1,6}{H \cdot \left(\frac{M}{\Sigma A}\right)^2 \frac{1750000}{(0,05 - c)^2} - 1,75}} \quad (10)$$

Näide. Laudas on 100 viiesaja-kilost lüpsilehma ($A = 700$ kcal/h); $c = 0,01$; korstna kõrgus $H = 5$ m ja lõõri pind $M = 2,0$ m 2 . Milline peaks olema õhu sissevoolu avade kogupind, kui õhustusseade peaks $T_v = -2^\circ C$ puhul suutma hoida lauda sisetemperatuuri $+18^\circ C$ tasemel?

Lahendus: Asetades antud väärtsused valemisse (10), saame $x = 0,80$.

Seega on avade pind $M_a = 0,80 \cdot 2 = 1,60$ m 2 .

Kui aga korstna pind on 3 m 2 , saame

$$x = 0,46 \text{ ja } M_a = 0,46 \cdot 3,0 = 1,38 \text{ m}^2$$

Õhuavade suuruse valemid muutuvad üsna lihtsaks, kui lisaks T -le anda kindel väärthus ka c -le.

Kui $c = 0,01$ ja $T_k = 12^\circ \text{C}$, siis on $\frac{M}{\Sigma A} = \frac{0,96}{10^4 \sqrt{H}}$ ja valem (9) annab $T_a = 20$ puhul

$$x = 0,44 \quad \text{ja} \quad \frac{M_a}{\Sigma A} = \frac{0,42}{10^4 \sqrt{H}}$$

Kui aga $T_k = 15^\circ \text{C}$, siis on

$$\frac{M}{\Sigma A} = \frac{0,67}{10^4 \sqrt{H}}; \quad x = 0,71 \quad \text{ja} \quad \frac{M_a}{\Sigma A} = \frac{0,48}{10^4 \sqrt{H}}$$

Näide: Leida õhustuskorstna ja õhupilude mõõted, kui laudas on 100 lehma keskmise kaaluga 500 kg ($A = 700 \text{ kcal/h}$) ja korstna pikkus on 6 m.

Lubatav $T_k = 12^\circ \text{C}$; $c = 0,01$; $T_a = 20^\circ \text{C}$.

Lahendus:

$$\text{Korstna ristlõike pind } M = \frac{0,96 \cdot 100 \cdot 700}{10^4 \cdot \sqrt{6}} = 2,74 \text{ m}^2$$

$$\text{Pilude kogupind } M_a = \frac{0,42 \cdot 70000}{10^4 \sqrt{6}} = 1,20 \text{ m}^2.$$

Looma kohta tuleb kaherealise paigutusega laudas keskmiselt 0,65 m akna pikkust. Kui kõik aknad varustada piludega, peaks pilu laius olema $1,20 : (100 \cdot 0,65) = 0,019 \text{ m}$, s. o. 19 mm.

Kui samas näites teeme korstna väiksema (nii et $T_k = 15^\circ \text{C}$), saame

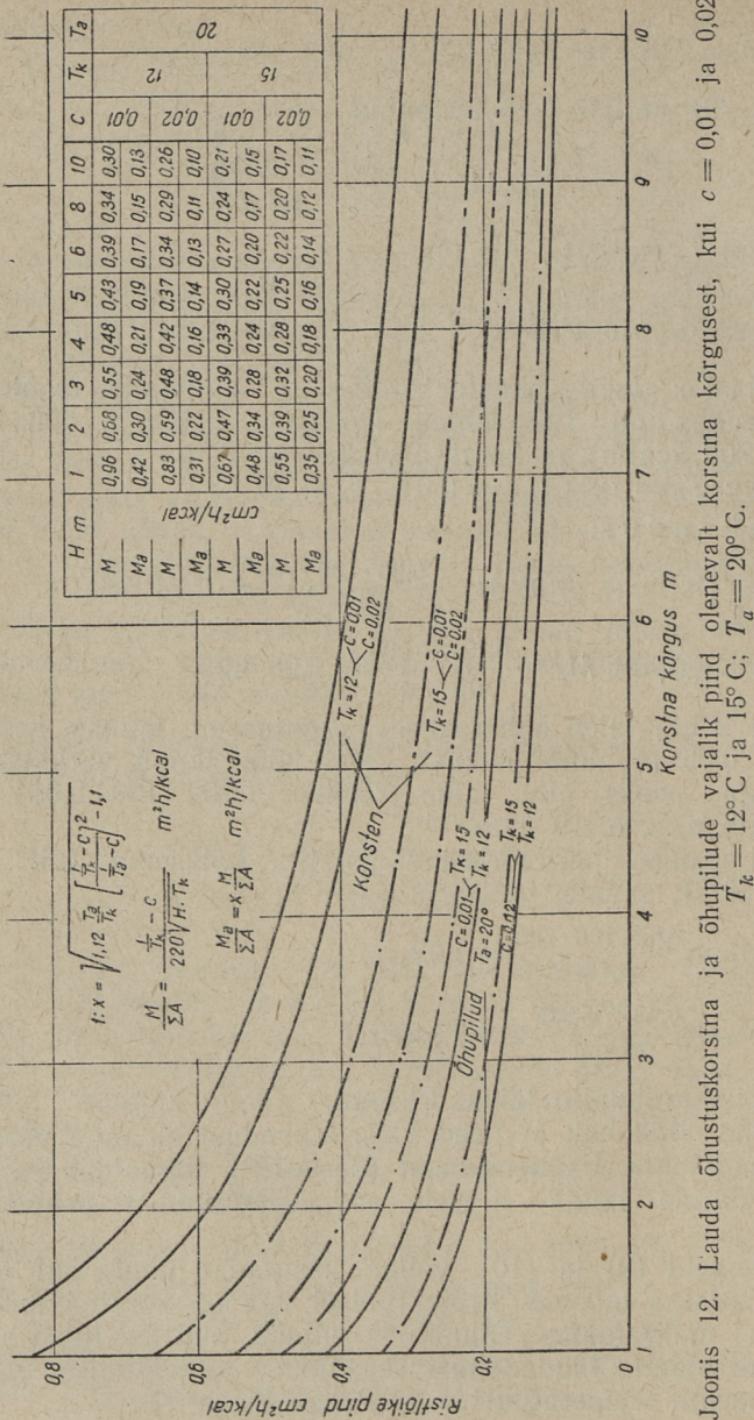
$$M = \frac{0,67 \cdot 100 \cdot 700}{10^4 \sqrt{6}} = 1,92 \text{ m}^2$$

$$M_a = \frac{0,48 \cdot 70000}{10^4 \sqrt{6}} = 1,37 \text{ m}^2,$$

mis nõuaks õhupilu laiust 21 mm.

Märgime siinkohal, et need kaks lahendust ei anna võrdsesti head lauta. Esimene neist ($T_k = 12^\circ$) võimaldab paremini vältida lauda liigset soojaksmuutumist pehmete ilmadega.

Valemeid (9) ja (10) võime kasutada juhul, kui on teada korstna mõõted. Projektimisel aga on korstna mõõted veel määramata. Õhupilude vajalik suurus tuleb sel juhtumil siduda lauda õhustusseadmete projektimise aluseks olevate temperatuuride vahedega T_k ja T_a .



Joonis 12. Lauda õhustuskorstna ja õhupilude vajalik pind olenevalt korstna kõrgusest, kui $c = 0,01$ ja $0,02$; $T_k = 12^\circ\text{C}$ ja 15°C ; $T_a = 20^\circ\text{C}$.

Рис. 12. Необходимое сечение вытяжной трубы и стеновых отверстий, в зависимости от высоты трубы, при $c = 0,01$ и $0,02$; $T_k = 12^\circ\text{C}$ и 15°C ; $T_a = 20^\circ\text{C}$.

Sel alusel on (vt. lisa 9)

$$x = \sqrt{\frac{R_a}{\left[1,025 \frac{\left(\frac{1}{T_k} - c \right)^2 T_a}{\left(\frac{1}{T_a} - c \right)^2 T_k} - 1 \right] R_k}} \quad (11)$$

Selle valemi kohaselt arvutatud õhuteede suurust kujutab joonis 12 ja tabel 2 (kui $R_a = 1,6$ ja $R_k = 1,75$).

Nagu näeme, kõigub x suurus võrdlemisi suurtes piirides. Selle põhjuseks on asjaolu, et mida avaram on korsten, seda kitsamad võivad olla õhupilud. Samuti ka vastuoksa, mida kitsam on korsten, seda suhteliselt avaramad peaks olema õhupilud, et tagada vajalikku õhuvahtest.

Õhupilude nõutav pind ei moodusta seepärast mingit kindlat murdosa korstna pinnast, vaid oleneb alati lauda põhiteguritest $(c, \frac{M}{\Sigma A}, H^1, T_k \text{ ja } T_a)$.

Näide tabeli kasutamisest. Kui $T_k = 12$; $c = 0,014$ ehk 1,4%; $M = 6$ ja $\Sigma A = 50\,000$, siis on korstna pind $M = 0,91 \Sigma A : 10\,000 \sqrt{H} = 0,91 \cdot 50\,000 : 10\,000 \sqrt{6} = 1,85 \text{ m}^2$ ja pilude pind $M_a = 0,41 \cdot 1,85 = 0,76 \text{ m}^2$.

Praktilise üldreegli õhuavade kohta saame tuletada joonisel 12 või tabelist 2, mis näitab kui suur on vajalik õhuteede pind olenevalt T -st ja c -st. Nagu näeme, oleneb avade suurus heade lautade puhul ($c = 0,6 - 1,2\%$) võrdlemisi vähe c suurusest.

Kui aluseks võtta laut, mille $c = 1,0\%$, siis on praktiline reegel:

Värskeõhu pilude vajalik pind 1 m kõrge korstna puhul on $0,42 \text{ cm}^2$ küttesooja tunnise juurdevooluiga kcal kohta, kui korstna pind on $0,96 \text{ cm}^2/\text{h kcal}$. Kõrgema korstna puhul väheneb vajalik pind võrdeliselt kõrguse ruutjuurega.

¹ Korstna kõrguseks H on siin nimetatud korstna püstset pikkust laudat laest kuni korstna ülaservani, sest avatud ventakende puhul on õhu sissevool lauta praktiliselt lae all. H suurus on arvutustes võetud konstantne. Tegelikult on aga suletud ventakende puhul sissevoolu ava akna püstmõõdu võrra madalam ja efektiivne H keskmiselt 1 m võrra suurem. See asjaolu soodustab õhuvoolu.

Tabel 2.

(1) Tõmbekorstna ja õhupilude vajalik pind, selleks et õhupilude töötamisel lauda temperatuur ei tõuseks enam kui 20°C üle välisõhu temperatuuri ($T_a = 20^{\circ}\text{C}$), avatud akende puhul aga 12 ja 15°C ($T_k = 12$ ja 15°C); $R_k = 1,75$; $R_a = 1,6$.

Piirde-kao moodul c %	Temp. vahemaa avatud akende puhul T_k $^{\circ}\text{C}$	Tõmbe-korsten $10^4 \frac{M}{\Sigma A} \cdot \sqrt{H}$ $\frac{\text{m}^2\text{h}}{\text{kcal}} \sqrt{m}$	Suhe $M_a : M = x$ %	Õhupilud $10^4 \frac{M_a}{\Sigma A} \sqrt{H}$ $\frac{\text{m}^2\text{h}}{\text{kcal}} \sqrt{m}$
0,0	12	1,09	49	0,53
0,2	12	1,07	48	0,51
0,4	12	1,04	47	0,49
0,6	12	1,01	46	0,47
0,8	12	0,99	45	0,44
1,0	12	0,96	44	0,42
1,2	12	0,93	42	0,40
1,4	12	0,91	41	0,37
1,6	12	0,89	40	0,35
1,8	12	0,86	38	0,33
2,0	12	0,83	37	0,31
1,0	15	0,67	72	0,48
1,2	15	0,64	71	0,45
1,4	15	0,62	69	0,42
1,6	15	0,59	67	0,39

Seinaavad värskeõhu sisselaskmiseks sooja ilmaga. Üldiselt on lauda õhustamiseks kõige soodsam kasutada ventakent, milles õhupilu laius akna suletud olekus on umbes 20 mm ja akna kallutatud olekus umbes 200 mm. Neil juhtumitel, kui aknad pole kallutatavad, tuleb värskeõhu sisselaskmiseks kasutada seinaavasid. Need peavad aga nüüd täitma ka neid ülesandeid, mida täidavad ventaknad kallutatud olekus, s. o. ilma kahjulikku õhutõmmet tekitamata peavad õhuavad suutma õhustada ja jahutada lauta ka siis, kui välistemperatuur tõuseb üle nulli.

Öhuavad peavad seepärast olema niivõrd avarad, et saaksime temperatuuri vahe (T) alla viia vähemalt 15, kuid soovitatavalta 12 kraadini. Lauda õhustusseadme üldvõrrand

$$\frac{1}{n\sqrt{T}} \left(\frac{1}{T} - c \right) = 1230 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H}{R_k + (R_a : x^2)}}$$

on aga T suhtes lahendamatu, kui kolmanda astme võrrand.

Et näitlikult selgitada üksikute tegurite mõju ja kiiresti leida õhuavade vajalik suurus (xM), tuleb seepärast kasutada graafilist kujutust. Kuna aga T oleneb paljudest teguritest (piirdekao moodul c , korstna pind M ja kõrgus H , küttesooja kogutoodang ΣA , ning korstna ja õhuava aerodünaamilised takistustegurid R_k ja R_a), siis on otstarbekas need koondada iseloomustavatesse rühmadesse.

Nii võime eraldada rühma $\frac{M}{\Sigma A} \sqrt{H}$, mis iseloomustab korstna mõõteid. Nagu seda nägime varem, peaks selle avaldise suurus olema $(0,7 \text{ kuni } 1,0) \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \sqrt{\text{m h/kcal}}$.

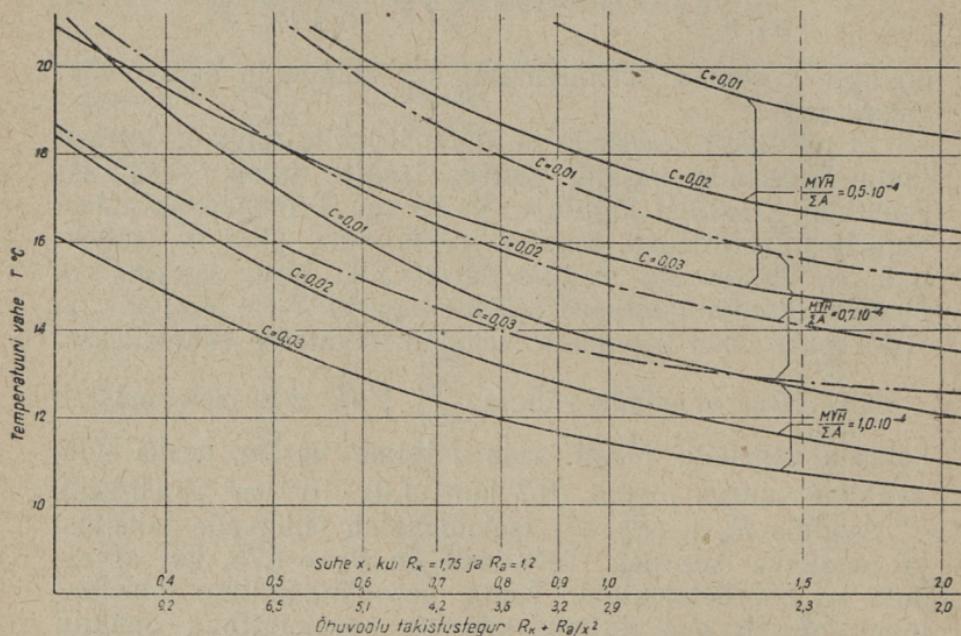
Avaldis $R_k + (R_a : x^2)$ iseloomustab õhuavade takistusi ja seinaava suurust. Tavaliselt on $R_k = 1,75$, kui arvestada ka hõõrdetakistust. Kuna aerodünaamiline takistustegur oleneb ava kujust, siis on reguleeritava õhupilu tegur olenev ka veel pilu avamise määrist. Soodsatel tingimustel, mis sagedamini esinevad pilu ahendatud seisupuhul, võib R_a langeda kuni 1,05-ni. Ümardatud servadega ava puhul võiks keskmiselt võtta $R_a = 1,2$.

Kui arvestada, et suurus x kõigub piirides 0,4 kuni 4,0, siis on avaldise $R_k + R_a/x^2$ suurus tavalistes oludes 9 kuni 1,8, nagu see ka kujutatud on joonise 13 rõhtteljel. Et teha diagrammi ülevaatlikumaks, on samas otseselt näidatud ka x suurused, oletusel et $R_k = 1,75$ ja $R_a = 1,2$.

Näide. Vaatame näiteks, kui suur peaks olema õhuvava, kui nõuda, et laudas, mille $c = 0,02$, $\Sigma A = 60\,000$ ja $H = 5 \text{ m}$, ei tohi $T_v = +5^\circ\text{C}$ puhul T_s tõusta üle 20°C (s. o. nõutav $T = 15^\circ\text{C}$).

Võtame korstna suuruseks ühel puhul $M = 2,7 \text{ m}^2$ ja teisel $1,9 \text{ m}^2$. Suurus $\frac{M\sqrt{H}}{\Sigma A}$ on siis vastavalt $1 \cdot 10^{-4}$ ja $0,7 \cdot 10^{-4}$.

Esitatud tingimustes on vajalik x joonise 13 kohaselt esimesel juhtumil 0,53 ja teisel 1,0. Järelkult peaks õhuavade suurus avarama korstna puhul olema $0,53 \cdot 2,7 = 1,4 \text{ m}^2$, teisel juhtumil aga $1,0 \cdot 1,9 = 1,9 \text{ m}^2$.



Joonis 13. Sise- ja välisõhu temperatuuride vahemik olenevalt piirdekao moodulist ($c = 0,01$; $0,02$ ja $0,03$), korstna võimsusest ning õhuvoolu takistustegurist ($R_k + R_a/x^2$).

Рис. 13. Зависимость T от величины c , вытяжной способности трубы и общего аэродинамического сопротивления системы аэрации.

Joonisel 13 on võrdluseks kujutatud veel olukord, kui $\frac{M}{\Sigma A} \cdot \sqrt{H} = 0,5 \cdot 10^{-4}$, s. o. kui õhustuskorsten on liig nõrga tömbega. Sellise korstna puhul on üldse võimaltu rahanudada nõuet, et $T_a = 15^\circ \text{C}$. Nii võime ka värskeõhu sissevooluavade ehitamise seisukohalt järeltada, et $10^4 M \sqrt{H} : \Sigma A$ peaks olema vähemalt 0,7, kuid soovitatavalt 1,0.

Nagu näeme toodud näitest ja jooniselt 13, on õhuavade vajalik pind võrdlemisi suur. Kui veel nõuda, et $T_a = 12^\circ \text{C}$, on seinaavade vajalik pind mitmekordset suur-

rem kui korstna pind. Seinaavad peavad seetõttu olema küllaltki suured. Kui näiteks avade pikkus on võrdne akende kogupikkusega, siis peaks õhuavade laius olema sama kui eelpool arvutatud kallutatud ventakendel, s. o. 200 mm. Sellise seinaava ehitus on küllaltki raske ja tülikas, eriti kui silmas pidada nõuet, et ava peab olema varustatud kaitsevarjuga, mis paiskaks sissevoolava õhujoa üles vastu lage, nagu seda teeb kallutatud ventaken. Värskeõhu sissevõtuks on seinaava seetõttu vähem praktiline kui ventaken.

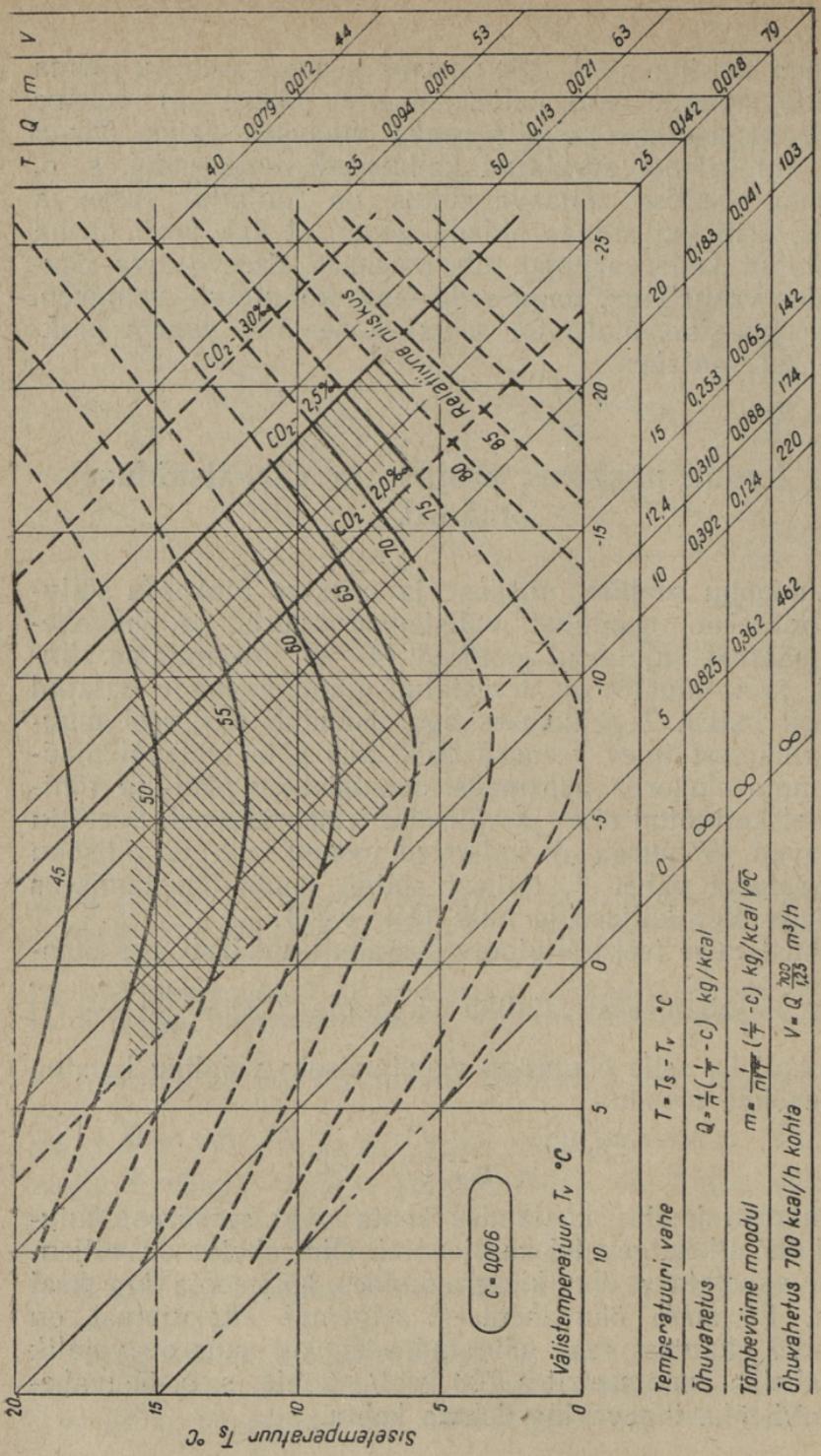
6. Lauda niiskuse, soojuse ja CO_2 -sisalduse olukord.

Laudaõhu soojuse, niiskuse ja puhtuse olukorda sõltuvalt piirdekaao moodulist, välistemperatuurist ja õhuvahe- tuse määrist kujutavad joonised 14—20. Meenutame siin kohal, et arvutustes on arvestatud ainult loomade eritatud veeauru hulka. Tegelikkuses aga lisandub siia veel muudest allikatest tulev veeauru hulk, mis võib teataval määral muuta olukorda pahemaks. Joonistel on püst- ja rõht- telgedel kujutatud sise- ja välisõhu temperatuurid. Seetõttu kujutavad 45° nurga all kulgevad jooned sise- ja välisõhu temperatuuri vahet T , millega sõltub lauda õhustamiseks kasutada olev küttesooja hulk ($1 - c \cdot T$).

Õhustamise teel väljutatav soojahulk määrab aga oma korda väljutamiseks vajaliku õhuhulga $[Q = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T} - c \right)]$ ja samuti ka selle õhuhulga vahetamiseks vajaliku korstna tõmbevõime mooduli

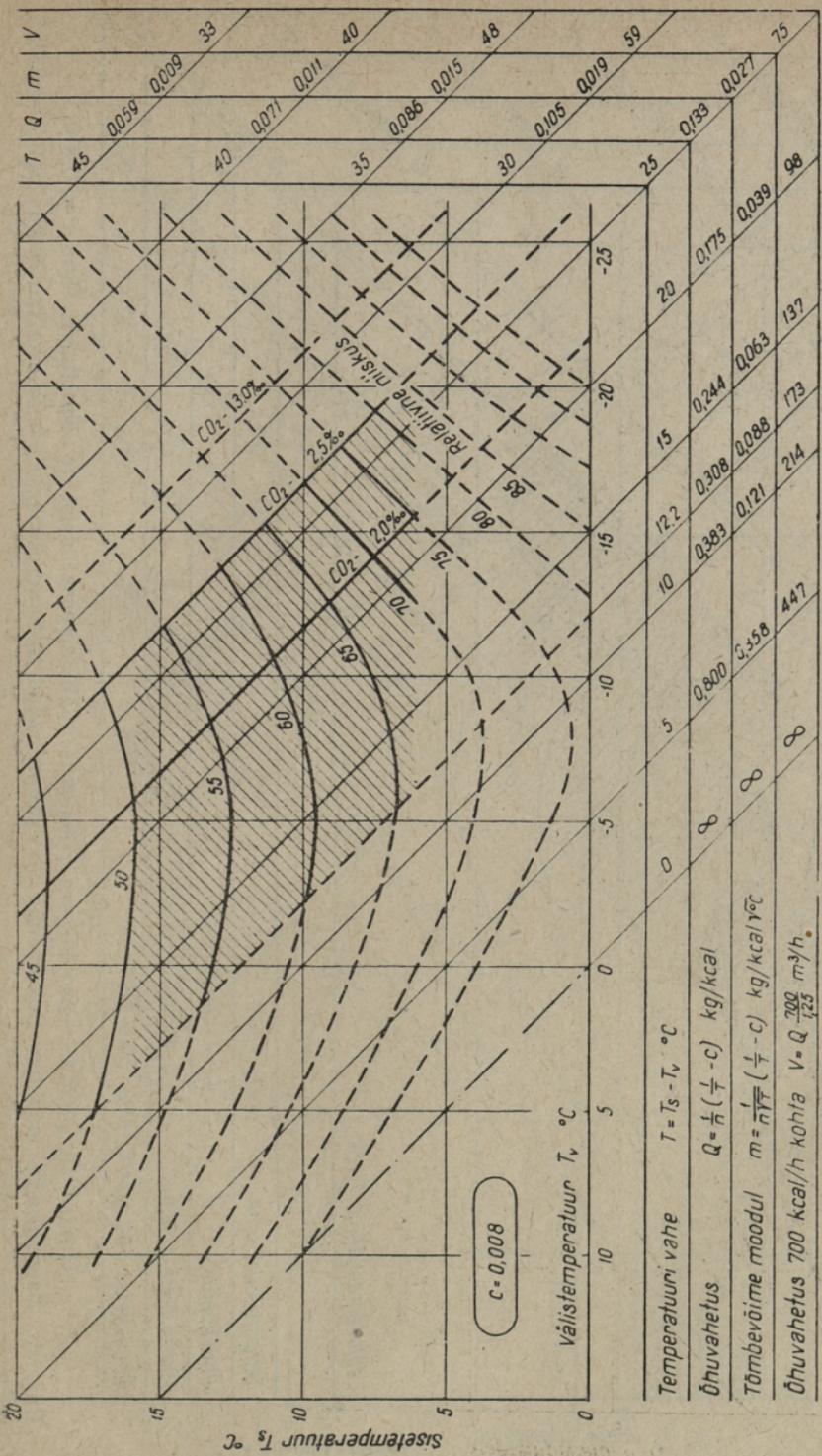
$$m = \frac{1}{n \cdot \sqrt{T}} \left(\frac{1}{T} - c \right) .$$

Andmed lauda õhustamise kohta ongi seepärast kujutatud 45° all kulgevatel kaldjoontel. Õhuvahetus on väljen- datud vahetatava õhu kilogrammides küttesooja iga kcal kohta. Et anda õhuvahetusest selgemat ettekujutust, on joonistel alumises reas näidatud veel, kui suur on vajalik õhuvahetus kuupmeetrites 700 kcal/h kohta, s. o. õhuvahetus m^3/h ühe tugeva läpsilehma kohta.

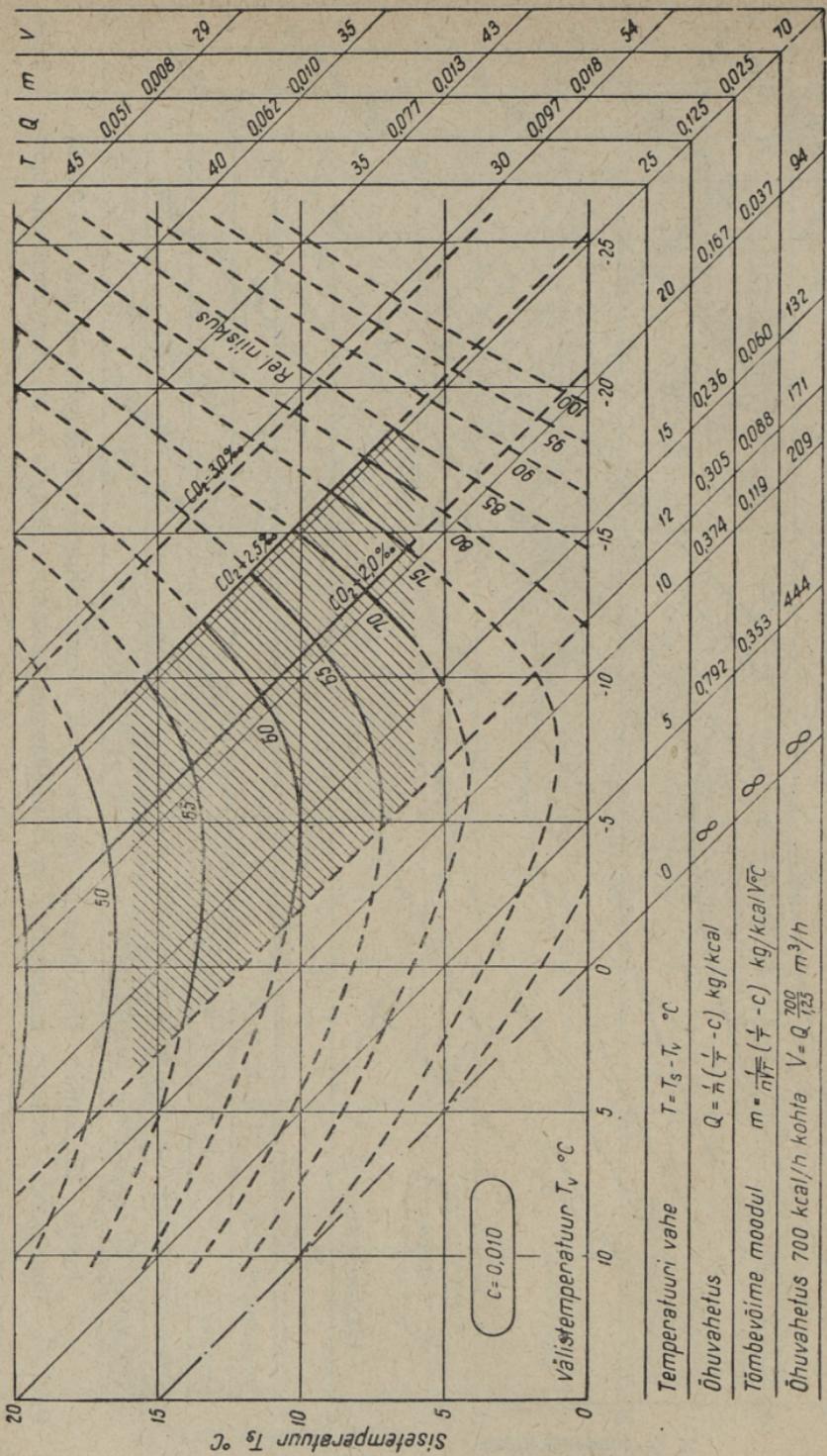


Joonis 14. Lauda siseolukorra olenevus välistemperatuurist ja õhustusest, kui $c = 0,006$. Viirutatud ala paitab olukorda, mis on füüsikaliste saavutatav ja tervishoiu seisukohta lubatav.

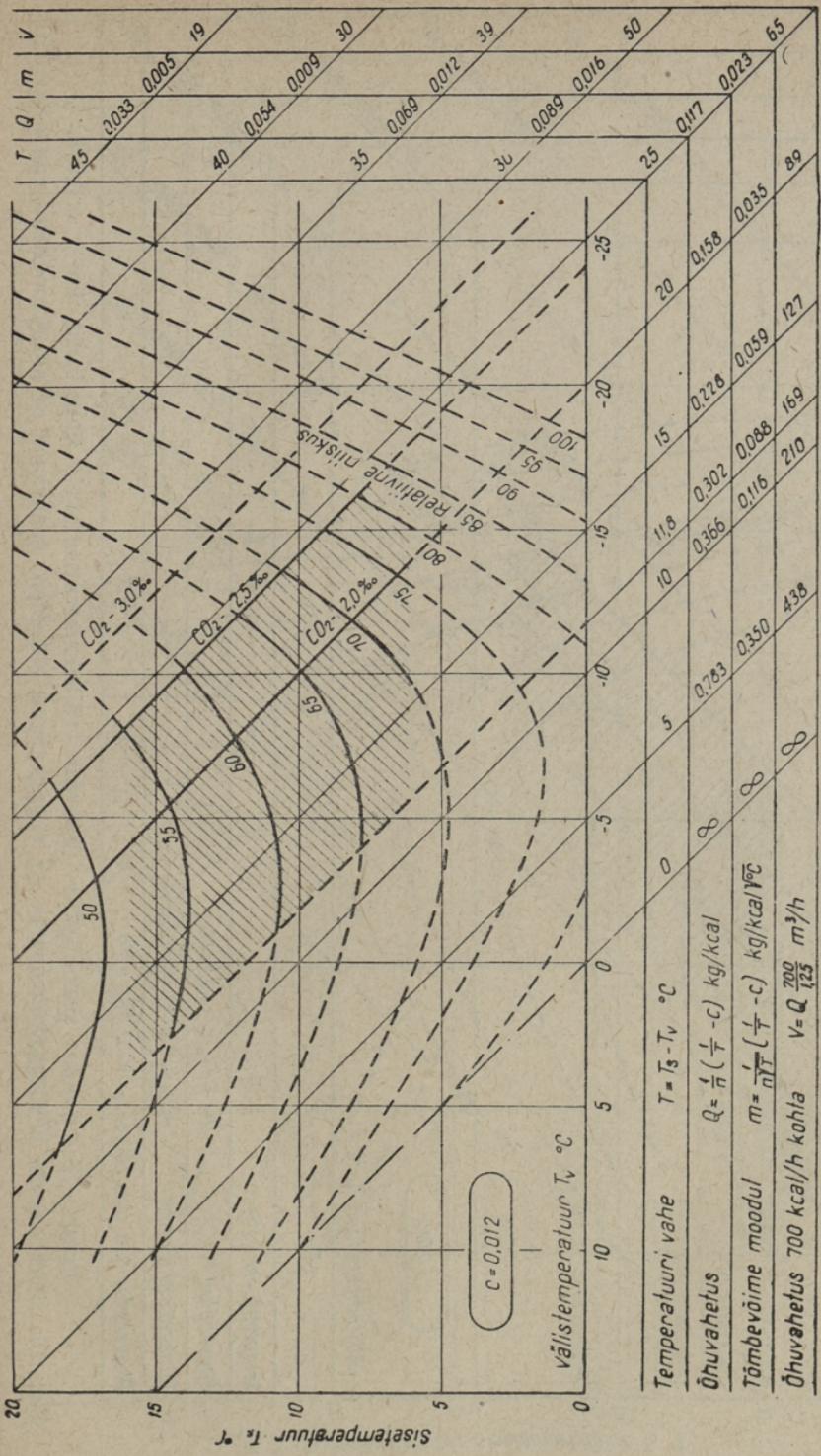
Рис. 14. Зависимость режима помещения от температуры внешнего воздуха и от воздухообмена при $c = 0,006$. Штриховой помечено поле зоотехнически допускаемого и физически достижимого режима при данной величине c .

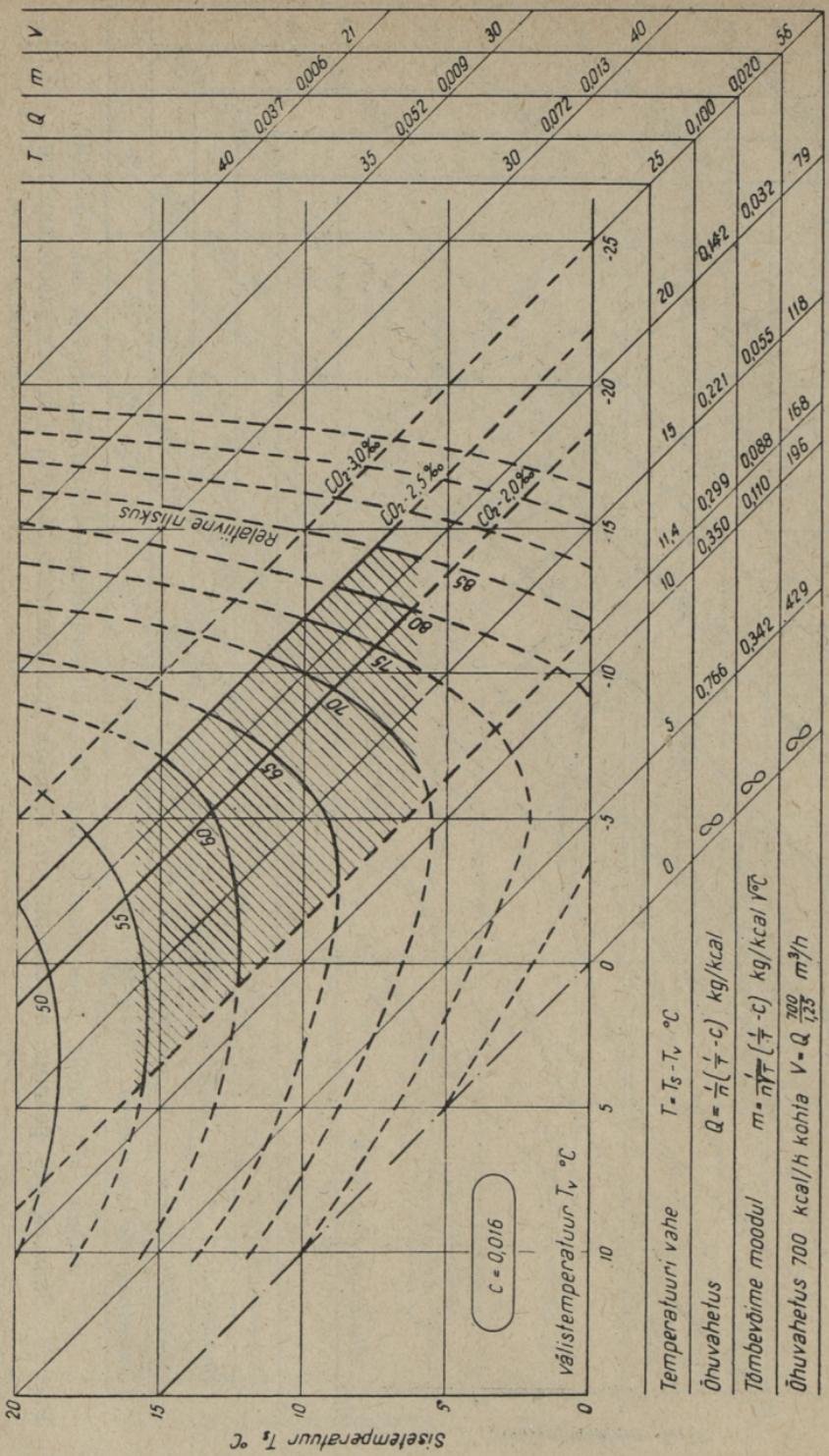


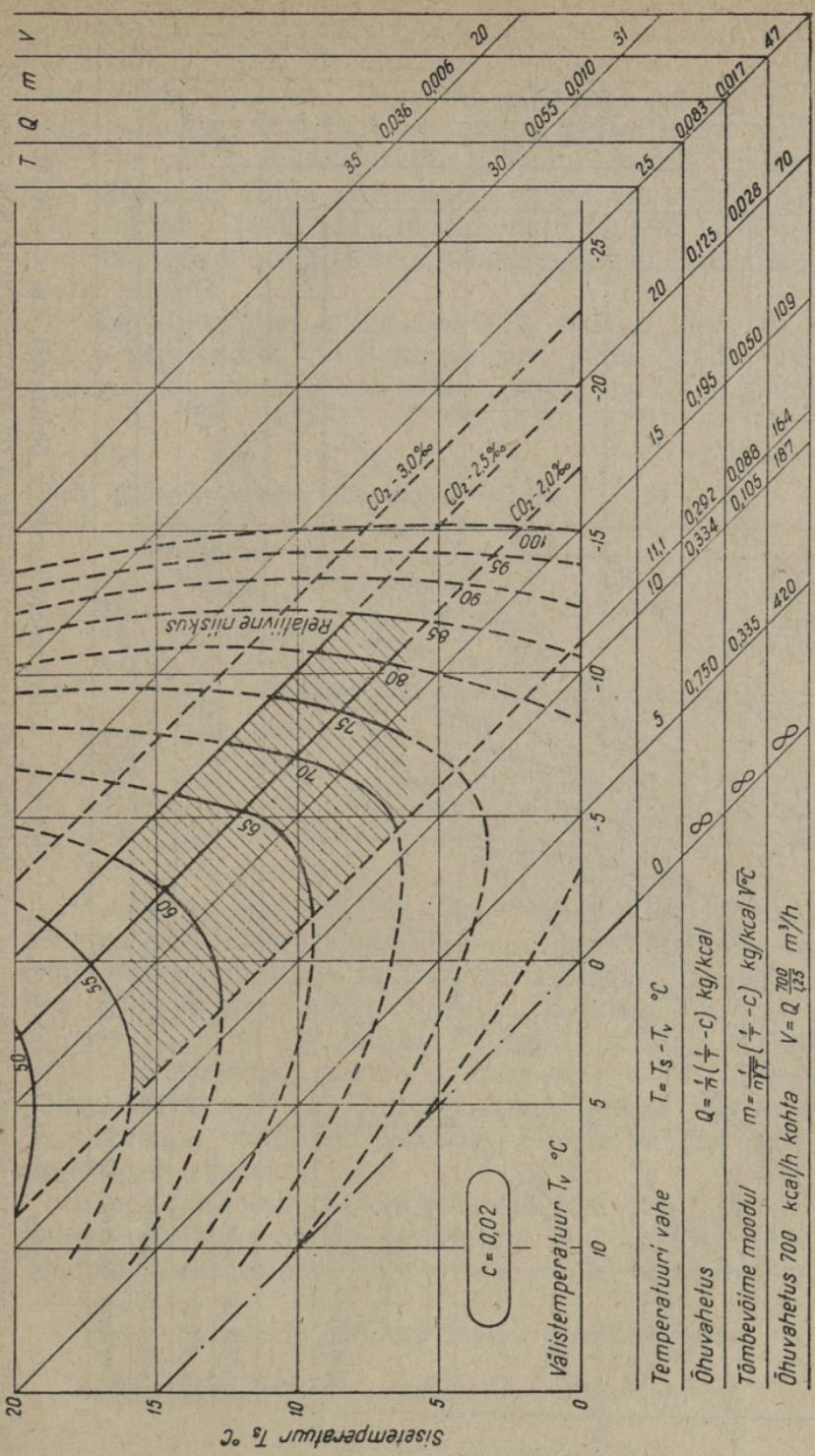
Joonis 15. Lauda siseolukorra olenevus välistemperatuurist ja õhustusest, kui $c = 0.008$. Рис. 15. Зависимость режима помещения от температуры внешнего воздуха и от воздушообмена при $c = 0.008$.



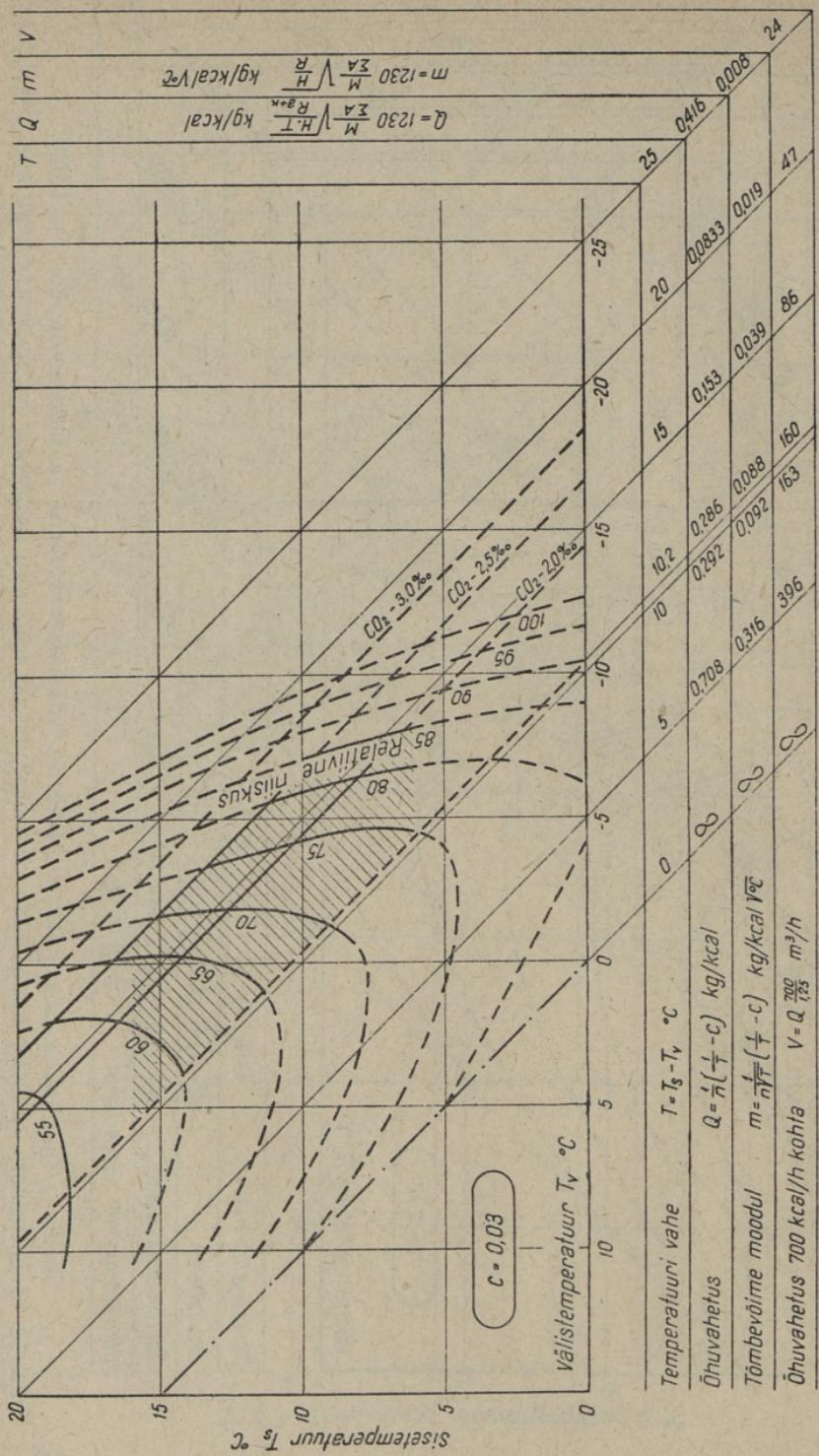
Joonis 16. Lauda siseolukorra olenevus välistemperatuurist ja õhustusest, kui $c = 0,010$. Рис. 16. Зависимость режима помещения от температуры внешнего воздуха и от воздухообмена при $c = 0,010$.







Joonis 19. Lauda siseolukorra olenevus välistemperatuuri ja õhustusest, kui $c = 0,020$.
 Рис. 19. Зависимость режима помещения от температуры внешнего воздуха и от воздухообмена при $c = 0,020$.



Joonis 20. Lauda siseoluksiga olenevus välistemperatuurist ja õhustusest, kui $c = 0,030$. Рис. 20. Зависимость режима помещения от температуры внешнего воздуха и от воздухообмена при $c = 0,030$.

Et hoida lauda siseolukorda parajuse piires, tuleb laudast välja õhustada loomade eritatud veeaur, CO_2 ja piirdekadudest järelejääv küttesooja hulk. Seega määrabki õhustuse määr laudaõhu täpse temperatuuri, niiskuse ja CO_2 -sisalduse. Mida ohtram on õhuvahetus, seda jahedamaks muutub laut, seda madalamale langeb CO_2 -sisaldus ja seda ligemale välisõhu niiskusele tõuseb laudaõhu relatiivne niiskus.

Nii näiteks, kui lauda $c = 0,01$, siis on joon. 16 kohaselt -10°C välistemperatuuri puhul lauda olukorra olenevus õhustusmäärist selline, nagu seda näitab tabel 3.

Tabel 3.

Lauda olukorra olenevus õhustusmäärist, kui $c = 0,01$ ja $T_v = -10^\circ\text{C}$.

Õhuvahetus		T_s ${}^\circ\text{C}$	Relat. niiskus %	CO_2 - sisaldus mahu- promillides ²
Q kg kcal	V m^3 700 kcal ¹			
0,374	209	0	78	1,0
0,236	132	+5	70	1,5
0,167	94	+10	63	2,0
0,125	70	+15	56	2,5
0,097	54	+20	49	3,2

Piirkond on siin olukord, kus $T = 0$, mille puhul õhuvahetus peab olema lõpmatult suur ja laudaõhu koostis ja temperatuur muutuma samaks kui välisõhul. Tegelikult on aga õhuvahetuse määr piiratud lauda õhustusseadme võimega ja T ei saa kunagi langeda nullile. Praktiliselt veel saavutatavaks piirkond on umbes $T = 12^\circ\text{C}$, sest kui püüda korstna kaudu lauta jahutada sellest piirist veelgi madalamale, muutuvad õhustusseadmete mõõted juba eba-praktiliselt suureks.

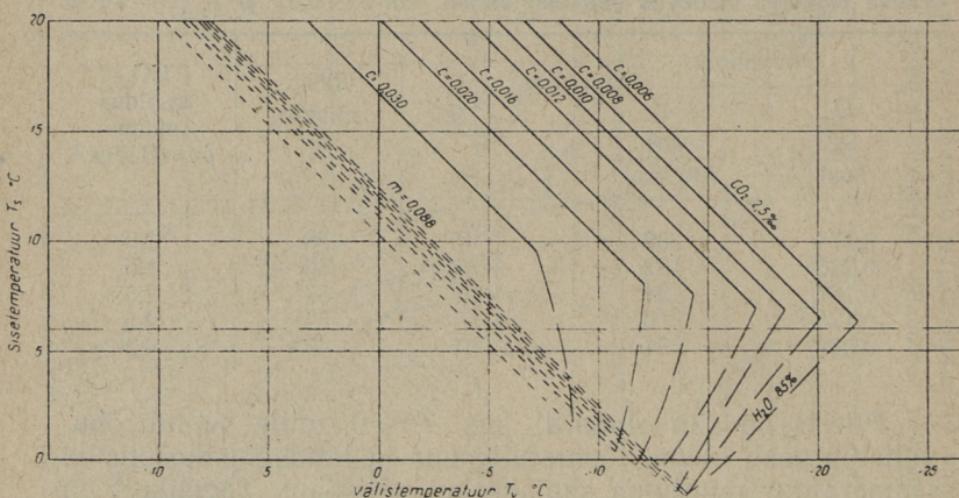
Lauda siseolukorda kujutavatel joonistel (14—20) on kaldse punktiirjoonega kujutatud olukord, kui õhustusseadme tõmbevõime moodul on $m = 0,088$. See vastab

¹ S. o. õhuvahetus m^3/h ühe tugeva lüpsilehma kohta

² Selle võib arvutada valemist $0,3 + 0,067 : \left(\frac{1}{T} - c \right)$

juhtumile, kus 5 m kõrge tõmbekorstna puhul tuleb iga 500-kilose lüpsilehma kohta 3 dm^2 korstna põiklõike pinda. Kaheteistkümnekraadise temperatuuride vahe ja avatud akende puhul väljutab selline korsten $0,305 \text{ kg}$ õhku ühe kcal kohta, s. o. 213 kg/h ($171 \text{ m}^3/\text{h}$) ühe tugeva lüpsi-lehma kohta (vt. lisa 10).

Siseõhu relativset niiskust kujutavad jooned, mis on väljaspool piiri, mis võimsate õhustusseadmete puhulgi on tegelikkuses saavutamatu, on joonistel kujutatud punktiirjoontega. Samuti on punktiirjoontega kujutatud relativse niiskuse jooned neis piirkonnis, kus laudaõhu temperatuur on alla $+6^\circ\text{C}$ ja kus CO_2 -sisaldus on üle 2,5 promilli.



Joonis 21. Sise- ja välisõhu temperatuurid, mille puhul on veel võimalik rahuldada lauda tervislikkuse nõudeid antud c suuruse puhul.

Рис. 21. Температуры внутреннего и наружного воздуха, при которых еще возможно удовлетворить требования зоогигиены при данной величине модуля c .

Relatiivne niiskus on järelikult kujutatud täisjoontega selles piirkonnas, mis tegelikult veel saab või normide-kohaselt tohib laudas esineda. Selgemaks esiletoomiseks on see ala viirutatud kaldjoontega. Viirutatud ala näitab seega, milline saab olla või milline tohib olla lauda sise-olukord antud c puhul. Mida väiksem on piirdekao moodul,

s. o. mida suurem on lauda soojapidavus, seda ulatuslikum on viirutatud ala ja seda parem ja tervislikum on olukord laudas.

Piirete soojapidavuse mõju laudaõhu tervisliikkusele aitab võrrelda joon. 21, kus on eraldi välja joonestatud need piirid, mille juures antud laut veel suudab rahuldada siseõhu olukorra kohta püstitatud nõudeid.

Sisuliselt kujutab see joonis samu andmeid, mis joonis 4, ainult erinevas kujutluses.

Mida suurem on hoone soojapidavus (s. o. mida väiksem on *c*), seda soodsam on lauda olukord ja seda madalama välistemperatuuri puhul suudab hoone rahuldada siseõhu niiskuse, soojuse ja puhtuse kohta esitatud nõudeid. Laut, mille $c = 0,006$, töötab rahulda vält kuni välis temperatuur alaneb 22°C alla nulli; laut, mille $c = 0,03$, suudab aga nõudeid rahuldada ainult kuni $-7,2$ kraadini.

Tegelikult on need piirid veelgi kitsamat, sest veeauru tuleb juurde veel sõnnikust, toidust ning joogi- ja pesuveest.

Veeauru, sooja ja CO_2 salvestus laudas ja selle mõju siseolukorra muutustele on käesolevas arutelus arvestamata. Kui välisolukord muutub, siis ei saa lauda siseolukord sellele vastavaks muutuda kohe, vaid alles mõne aja pärast. Kui näiteks suure pakase või puuduliku õhustuse tõttu laut on mõnda aega niiske, siis ei saa ta pärast põhjuse kõrvvaldamist kuivaks minna enne, kui kõik vahepeal sadenenud ja laudas salvestunud veehulk on jõudnud välja voolata.

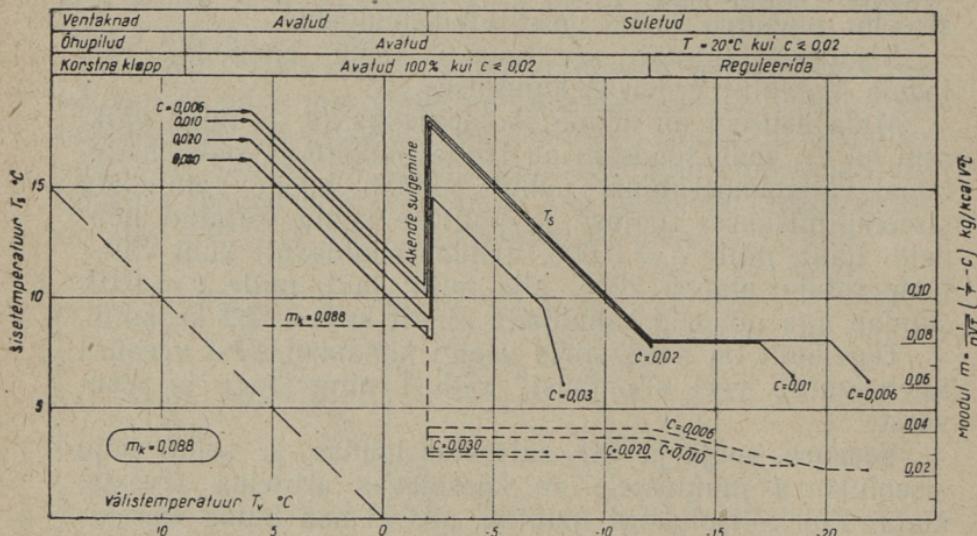
See kehtib samuti lauda soojuse kohta. Olenevalt lauda sooja- ja niiskusesalvestusest, kulub ikka tükk aega, enne kui välistemperatuuri muutus täismääral avaldub lauda sisetemperatuurile.

Meenutame siinkohal veel kord, et käesolev töö põhineb normidekohastele erituste määradele ja jätab arvestamata siseolukorrast tingitud erituste kõikumised, samuti ka muist allikaist tuleva veeauru. Loodame arvutusi täpsustada, kui käimasolevatest uurimustest selguvad vajalikud lähteandmed.

Siseolukorra olenevust õhustusseadmete seisust aitab selgitada ja neljal juhtumil ($c = 0,006, 0,01, 0,02$ ja $0,03$) omavahel võrrelda joonis 22, mis kujutab sisetemperatuuri olenevalt õhustusseadmete seisust ja välistemperatuurist.

Joonisel on siseõhu olukord märgitud ainult selles piirkonnas, kus antud laut veel suudab rahuldada normide nõudeid.

Korstna tõmbevõime moodul on kõikide lautade puhul võetud võrdne ($m_k = 0,088$). On oletatud, et kõrgema kui



Joonis 22. Lauda sisetemperatuur olenevalt välistemperatuurist ja õhustusseadmete seisust, kui $m_k = 0,088$ ja $c = 0,006; 0,01; 0,02$ ja $0,03$.

Рис. 22. Температура внутреннего воздуха в зависимости от наружной температуры и от регулирования установок аэрации при $m = 0,088$ и $c = 0,006; 0,01; 0,02$ и $0,03$. Резкое повышение T_s вызывается закрытием окон при $T_v = -2^\circ\text{C}$.

$+6^\circ\text{C}$ välistemperatuuri puhul on kari laudast väljas või et lauda õhustamine toimub otsese läbituulutamise teel uste ja akende kaudu.

Kui nüüd $T_v = +6^\circ\text{C}$ puhul uksed sulgeda ning õhustusõhk lauta juhtida üle kallutatud ventakende ja laudast väljutada läbi tõmbekorstna, siis on lauda sisetemperatuur tasakaalustunud seisundis seda kõrgem, mida suurem on hoone soojapidavus (mida väiksem on c).

Selle põhjuseks on, et väiksemate piirdekkadude puhul tuleb korstna kaudu väljutada suurem hulk sooga, järelkult ka suurem kogus õhku, mis võrdse m puhul nõub suuremat temperatuuri vahet.

Antud juhtumil on sisetemperatuur $c = 0,01$ puhul $0,9^\circ\text{C}$ võrra kõrgem kui $c = 0,02$ puhul (kui m on mõlema lauda puhul sama, nagu oletatud).

Välistemperatuuri langedes alla $+6^\circ\text{C}$ hakkab alanema ka sisetemperatuur. Kui välistemperatuuri langedes alla -2°C sulgeda ventaknad ja õhustusõhk juhtida läbi õhupilude, siis langeb tõmbevõime ja siseõhu temperatuur peab jälle tõusma. Tõusu täpne määr oleneb siin õhupilude takistusest. Käesolevas oletame, et õhupilud on tarindatud nii, et nad rahuldaksid nõuet $T_a = 20^\circ\text{C}$ iga lauda puhul.

Kui $c = 0,01$, siis langeb tõmbevõime moodul $m = 0,037$ -le ja sisetemperatuur tõuseb 18 kraadini.

Samuti kui eelmiselgi juhtumil, on seogi puudus tegelikkuses kõrvaldatav akende kauema lahtiolemisega, mida soojapidavama lauda ohtram soojakiirgus ka vabamalt teha lubab ilma looma tervist ohustamata. Joonisel näidatud kõrgem sisetemperatuur soojapidavamas laudas ei tarvitse seepärast tegelikkuses üldsegi esineda.

Kui lauda $c = 0,03$, siis ei tohi lasta T_a tõusta 20 kraadini, sest õhu CO_2 -sisaldus ületaks siis lubatava piiri (joonis 20). Et hoida CO_2 -sisaldus 2,5 promilli tasemeil, tuleb värskeõhu sissevoolu avad teha niivõrd avarad, et T_a ei tõuseks üle $16,8^\circ\text{C}$, s. o. et õhustusseadme moodul oleks vähemalt $m = 0,03$.

Kui leppida lauda sisetemperatuuri kõikumisega joonisel 22 näidatud piirides, siis ei vaja õhustusseadmed mingit tülikamat reguleerimist (peale akende sulgemise), kui välistemperatuur on üle -12 kraadi. Alles sellel piiril tuleb lauda liigse jahtumise välimiseks hakata korstnaklappi järk-järgult koomale tõmbama.

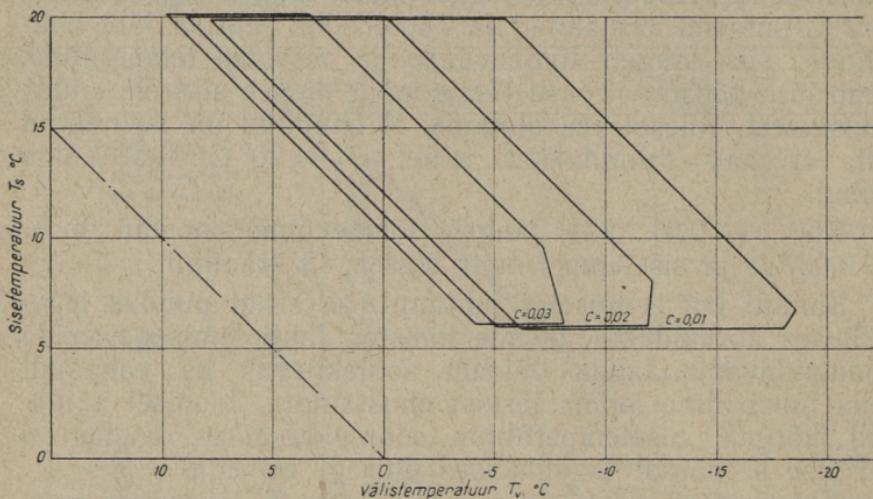
Tuletame siinkohal meelete, et käesolevas arutluses ei ole arvestatud lisatõmmet, mida korstnas tekitab üle katuse voolav tuul.

Joonisel 22 on kujutatud lauda olukord, kui on avatud kas ainult kõik aknad või ainult kõik õhupilud, ilma et koos õhupiludega lahti oleks ka mõned aknad.

Üldiselt tulebki tegelikkuses selle poole püüda, sest erineva voolutakistuse tõttu ei saa need kaks avaliiki kuigi hästi töötada koos.

Akende osalise avamisega ja korstnaklapi reguleerimisega saab aga lauda siseolukorda reguleerida ka väljas-

poole joonisel 22 kujutatud piire. Siseõhu soojuse, niiskuse ja puhtuse piirkonnad, mis on veel saavutatavad heade õhustusseadmetega ($m = 0,088$) ja mis on ühtlasi veel



Joonis 23. Siseõhu soojuse lubatavad piirid, mida võimaldavad saavutada laudad, mille $c = 0,01; 0,02$ ja $0,03$, olenevalt välistemperatuurist.

Рис. 23. Пределы теплоты внутреннего воздуха, которые могут быть достигнуты при $c = 0,01; 0,02$ и $0,03$.

lubatavad kehtivate normidega ($+6^\circ\text{C}$; 85%; 2,5 promilli CO_2), on eraldi kujutatud joonisel 23 kõigi kolme lauda puhul, mille $c = 0,01; 0,02$ ja $0,03$.

Parima olukorra annab ikka soojapidavam laut.

7. LISAD.

Lisa 1.

Üks kg vett seob auruks muutumisel (0°C puhul) 597 kcal sooja, milline arv tavaliselt võetaksegi organismi veeauru erituse arvestuse aluseks.

Lauda soojamajanduse seisukohalt peame aga täpsemalt vahet tegema looma ja lauda soojakadude vahel. Joogivesi, mille temperatuuriks võiksime keskmiselt võtta $+10^{\circ}\text{C}$, soojeneb looma organismis umbes 39 kraadini ja neelab seega 29 kcal. Muutudes veeauruks looma kopsudes, kus temperatuur on 39°C , seob iga kg vett 575 kcal sooja; looma naha pinnal aga, kus temperatuur võiks olla umbes 30°C — 580 kcal.

Kui arvestada, et veeauru eritus toimub peamiselt (60% ulatuses) naha kaudu ja ainult 40% ulatuses hingamiselundite kaudu, siis jahutab iga kg aurutatud vett looma organismi ümmarguselt 600 kcal võrra.

Lauda soojamajanduse seisukohalt tuleb veel silmas pidada, et veeaur ei välju laudast sama temperatuuriga, millega ta väljub looma kopsudest ja nahalt. Jahtudes kuni laudaõhu temperatuurini, annab üks kg veeauru laudaõhule tagasi 0,444 kcal sooja iga $^{\circ}\text{C}$ kohta. Üks kg veeauru jahutab seetõttu lauta vähemal määral kui looma organismi.

Et opereerida ainult ühe kindla keskmiselt õige arvuga, on käesolevas töös võetud, et iga kg looma organismis auruks muudetud vett vähendab vaba soojahulka laudas keskmiselt 585 kcal, s. o. 0,585 kcal/g võrra. See suurus ongi võetud arvutuste aluseks.

Lisa 2.

Õhu soojamahutavus 0°C puhul on 0,239, veeaurul aga 0,444 kcal/kg $^{\circ}\text{C}$. Joonise 3 kohaselt on välisõhu kesk-

mine temperatuur laudaperioodi vältel -1°C ja relatiivne niiskus 85%.

-1°C puhul sisaldab 85% niiske õhk $3,5 \times 0,85 = 3,0$ g veeauru õhu kg kohta. Välisõhu soojamahutavus on seega:

$$\begin{array}{rcl} \text{õhk} & & 0,239 \text{ kcal/kg } {}^{\circ}\text{C} \\ \text{H}_2\text{O} \quad 0,003 \times 0,44 = & 0,001 & , \\ & & \hline \text{Kokku} & 0,240 \text{ kcal/kg } {}^{\circ}\text{C} \end{array}$$

Lisa 3.

Normide kohaselt lubatav CO_2 -sisaldus laudaõhus on 2,5 mahupromilli, s. o. $2,5 : 1,3 = 1,92$ liitrit õhu kg kohta, kui temperatuur on 0°C ja $2,5 : 1,25 = 2,00$ liitrit õhu kg kohta, kui temperatuur on $+10^{\circ}\text{C}$. Kui arvutuste aluseks võtta toodud arvude keskmise, on lubatav CO_2 -sisaldus $\frac{1}{2}(1,92 + 2,0) = 1,96$ liitrit õhu kg kohta. CO_2 -sisaldus välisõhus on maaoludes keskmiselt 0,23 l/kg. Lubatav CO_2 -sisalduse tõus laudaõhus, võrreldes välisõhuga, on järelkult $1,96 - 0,23 = 1,73$ l/kg.

Asetades selle suuruse valemisse (3), saame $1,73 = 0,0522 : \left(\frac{1}{T} - c\right)$, kust leiame, et $c = 0$ puhul on suurim lubatav $T = 33^{\circ}\text{C}$ ja $c = 0,01; 0,02$ ja $0,03$ puhul vastavalt $25, 20$ ja $16,7^{\circ}\text{C}$.

Lisa 4.

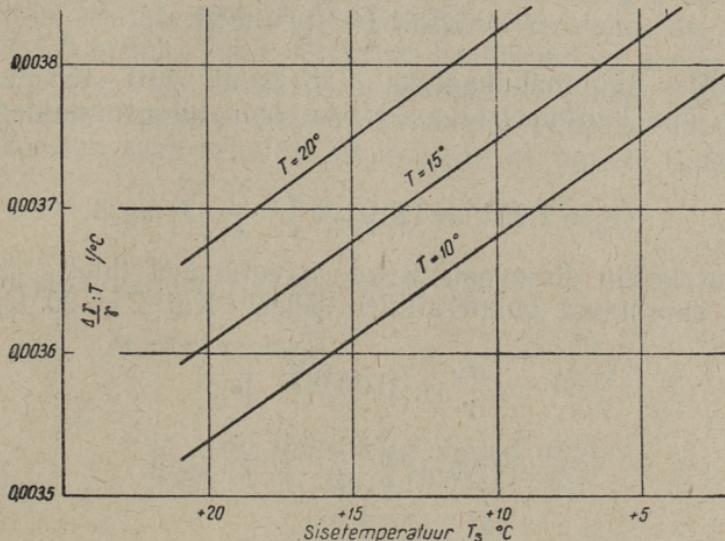
Tõmbekorstna suudmetakistust põhjustavad (lisaks õhu kiirendamisele) pöörisvoolud, mis tekivad järskude voolutee muutuste ja teravate kantide taga. Kui õhutoru algab siledas laes täisnurksete kantidega, siis on $z = 0,5$. Kui aga toru servad ümardada raadiuse järgi, mille pikkus on pool toru läbimõõtu, siis langeb takistustegur kümnen-dikule endisest, s. o. $z = 0,05$.

Takistus tõuseb järsult, kui õhutoru allots ulatub välja lae pinnast.

Tavalise laudakorstna suurte mõõtude tõttu on raske ümardada allotsa sõrvi, mis pealegi tulevad varustada väikese veeninaga. Suudme takistusteguri keskmine suurus on seepärast $z = 0,6$.

Korstna ülaotsa $z = 0$, kui korstnal puudub katus. Katus suurendab korstna takistust väga märgatavalt, eriti kui on olemas piluvõred, mispuhul ülaotsa takistustegur võib tõusta $z = 5$ -ni.

Korstna kujust tingitud takistustele tuleb lisada energia kulu õhu kiirendamiseks, mida võime arvestada takistusena teguriga $z = 1$.



Joonis 24. Suurus $\frac{\Delta\gamma}{\gamma} : T$, olenevalt T -st, laudaõhu tavalistest temperatuuride puhul.

Рис. 24. Величина $\frac{\Delta\gamma}{\gamma} : T$ в зависимости от величины T , при обычных температурах помещений для сельскохозяйственных животных.

Lisa 5.

$$\text{Tõmbekorstna võime on } V = 3600M \sqrt{\frac{\Delta\gamma}{\gamma} \frac{H \cdot 2g}{R}}$$

Nagu seda ligemalt selgitab joonis 24, on suurus $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}$ (s. o. välis- ja siseõhu mahukaalu vahe jagatud siseõhu mahukaaluga) lauda õhustuse seisukohalt kriitiliste temperatuuride puhul üsna ligidaselt võrdeline temperatuuride vahega T .

Pehme ilmaga laudas tavaliselt valitseva olukorra puhul (sisetemperatuur $10-15^\circ\text{C}$, $T = 10$ kuni 15°) võime seepärast teha asenduse:

$$\frac{\Delta \gamma}{\gamma} = 0,0037T.$$

Asendades samuti $g = 9,81$ m/sek 2 , saame

$$V = 970M \sqrt{\frac{H \cdot T}{R}} \text{ m}^3/\text{h}.$$

Võttes õhu mahukaaluks $1,25 \text{ kg/m}^3$ ($10-15^\circ$ puhul), võime õhu kantmeetrid asendada õhu kilogrammidega ja saame

$$Q_h = 1,25V = 1210 \cdot M \sqrt{\frac{H}{R} \cdot T} \text{ kg/h.}$$

Värskeõhu sissevoolu avade arvutamisel tuleb lähtuda veidi suuremast temperatuuri vahest. Kui $T = 20^\circ\text{C}$, siis on

$$\frac{\Delta \gamma}{\gamma} = 0,0038T \quad \text{ja}$$

$$Q_h = 1230M \sqrt{\frac{H}{R} \cdot \sqrt{T}} \text{ kg/h.}$$

Lisa 6.

Ventakna nõutava avalaiuse kallutatud olekus märgime tähega s ja akna avause vaba pinna tähega M_a . Et voolutakistus on kiiruse ruuduga võrdeline, siis on ta avapinnaga pöördvõrdeline. Kui arvutuse aluseks võtta voolukiirus korstnas, siis on sissevoolu ava takistus pöördvõrdeline suurusega $(M_a : M)^2 = x^2$.

Eelpool oli oletatud, et see takistus on avatud akna puhul niivõrd väike, et selle võime tähele panemata jäätta. Selleks aga, et anda küsimusele umbkaudugi matemaatiliselt põhjendatud vastus, võtame lubatavaks kiirendustakistuseks aknas $\frac{1}{20}$, s. o. 5% korstna kiirendus-takistustest. Siis peaks akna avatud pind olema $\sqrt{20} = 4,5$ korda suurem korstna pinnast M . Kui arvestada, et ühe aseme kohta tuleb tavalisest laudas ülimalt $0,03 \text{ m}^2$ korstna pinda ja keskmiselt $0,65$ meetrit akna pikkust, saame

$$s = \frac{M_a}{0,65} = \frac{4,5 \cdot 0,03}{0,65} = 0,21 \text{ m}$$

Lisa 7.

Öhu kiirus, mida tõmbekorstnas tekitab üle katuse voolav tuul, ulatub, olenedes oludest, 30 kuni 90 protsendini tuule kiirusest. Viimane on meil rannikutel keskmiselt 5 m/sek. ja sisemaal 3,2 m/sek. Keskmise lisakiiruse tõmbekorstnas võib seetõttu olla 1,0 kuni 4,5 m/sek. Mainime nende arvude võrdluseks, et voolukiirus, mida 5 m pikas korstnas tekitab 12-kraadine temperatuurivaha, on keskmiselt 1,5 m/sek. Tuule tekitatud lisatõmme on seega väga tähtis tegur, mis oluliselt soodustab õhustust. Korstna mõõdete arvutamisel peame aga selle jätmata arvestamata, sest korsten peab rahulda vält töötama ka tuuleta ilmadega.

Lisa 8.

Korstna vajalik ristlõike pind on

$$M = r \cdot s = \frac{K_1}{\sqrt{H}} \quad \text{ja} \quad r = \frac{K_1}{s\sqrt{H}},$$

kus

r ja s on lõõri külgmõõted ning

$$K_1 = \frac{\Sigma A \left(\frac{1}{T_k} - c \right)}{220 \sqrt{T_k}},$$

mis igal antud juhtumil on konstantne suurus. Korstna ehitamiseks vajaliku materjali ja tööjõu hulu on väga ligidaselt võrdeline korstna seinte kogupinnaga

$$P_k = 2(r + s)H = 2 \left(\frac{K_1}{s\sqrt{H}} + s \right) H$$

Tingimustest

$$\frac{\partial P_k}{\partial s} = 0 \quad \text{ja} \quad \frac{\partial P_k}{\partial H} = 0, \quad \text{saame}$$

$$-\frac{K_1}{s^2\sqrt{H}} + 1 = 0 \quad \text{ja} \quad \frac{K_1}{2s\sqrt{H}} + s = 0,$$

$$\text{mille lahendused on } H = 0 \quad \text{ja} \quad \frac{1}{s^2} = 0.$$

Seega on korstna maksumus kõige väiksem, kui korstna kõrgus on võimalikult väike ja külgmõõt võima-

likult suur, s. o. kui korsten on võimalikult lühike ja avar.

Lisa 9.

Tõmbekorstnast läbivoolava õhu kaal avatud akende puhul on

$$Q_k = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T_k} - c \right) = 3600 \gamma_k \cdot \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{\Delta \gamma_k}{\gamma_k} \frac{2gH}{R_k}} \frac{\text{kg}}{\text{kcal}}.$$

Öhupilude töötamisel on aga

$$Q_a = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T_a} - c \right) = 3600 \gamma_a \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{\Delta \gamma_a}{\gamma_a} \frac{2gH}{R_{a+k}}} \frac{\text{kg}}{\text{kcal}}.$$

Jagades esimese võrrandi teisega saame

$$\frac{\frac{1}{T_k} - c}{\frac{1}{T_a} - c} = \sqrt{\frac{R_{a+k}}{R_k} \cdot \frac{\Delta \gamma_k}{\Delta \gamma_a}},$$

sest siseõhu mahukaal on mõlemal juhtumil sama:
 $\gamma_k = \gamma_a$.

Öhustuskorstna ja öhupilude aerodünaamilised takistused on võrdelised läbivoolava õhu kiiruste ruutudega. Et aga läbivoolav õhuhulk on sama, siis on kiirused pöördvõrdelised ristlõike pindadega, kui tähele panemata jäätta õhu mahu suurenemist temperatuurpaisumise tõttu. Seega korstnas valitseva voolukiiruse alusel on

$$R_{a+k} = \Sigma z_k + \frac{1}{x^2} \quad \Sigma z_a = R_k + \frac{1}{x^2} R_a = R_k \left(1 + \frac{1}{x^2} \frac{R_a}{R_k} \right).$$

Lisa 5 kohaselt on

$$\frac{\Delta \gamma_k}{\Delta \gamma_a} = \frac{0,0037}{0,0038} \frac{T_k}{T_a} = 0,974 \frac{T_k}{T_a}.$$

Asetades need suurused ülalleitud valemissesse, saame:

$$x = \sqrt{\frac{R_a}{\left[\frac{1,025 \left(\frac{1}{T_k} - c \right)^2 T_a}{\left(\frac{1}{T_a} - c \right)^2 T_k} - 1 \right] R_k}}$$

Kui võtta $R_k = 1,75$ ja $R_a = 1,6$, saame

$$x = \sqrt{1,12 \frac{T_a}{T_k} \left[\frac{\frac{1}{T_k} - c}{\frac{1}{T_a} - c} \right]^2 - 1,1}$$

mis ongi aluseks võetud joonisel 12 toodud diagrammi ja tabeli arvutamisel.

Lisa 10.

Tõmbevõime moodul $m = 0,088$ tähendab, et õhustusseade kõrvaldab laudast $0,088 \text{ kg } \ddot{\text{o}}\text{hku}$ küttesooja iga kcal kohta, kui temperatuuri vahe on 1°C . Suurema T puhul on õhu hulk \sqrt{T} korda suurem.

Järelikult kui $T = 12^\circ\text{C}$, on õhu hulk $0,088 \cdot \sqrt{12} = 0,305 \text{ kg/kcal}$. Arvutatult ühe looma kohta, kes eritab 700 kcal küttesooja tunnis, on õhu hulk $0,305 \cdot 700 = 213 \text{ kg/h}$, s. o. $213 : 1,25 = 171 \text{ m}^3/\text{h}$.

Lisa 11.

(Töö „Lauda soojamajandus ja õhustus” — RK „Teaduslik kirjandus” 1949 — Olulisemate järeduste kokkuvõte).

1. Lauda soojapidavus ja küllaldane õhustus on vaja likud nii looma tervishoiu ja piimaanni kui ka ehitise niiskusekaitse seisukohalt.

2. Lauda soojapidavus peab olema küllaldane, et loomalt tunnis eritatavast 500 kcal soojahulgast jätkuks piirdetarindite soojakadude katmiseks ja 300 g õhu niiskuse väljutamiseks.

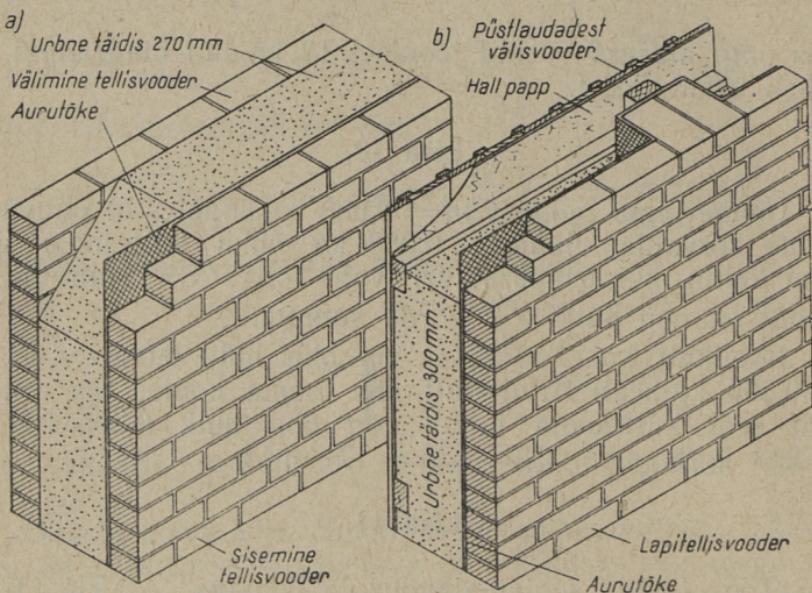
3. Mida kõrgem on lauda piirdetarindite soojapidavus, seda tõhusam on õhustus ning seda kuivem ja tervislikum on laut.

4. Lauda seina ja lae soojajuhtivus peaks olema alla $0,4 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, s. t. kerge täidisekihi paksus peaks olema vähemalt 20 cm.

5. Soojapidav täidis seinas ja laes tuleb kaitsta lauda õhu kasteniiskuse eest tõrvapapiga, pärgamiiniga või tõrvvõõbaga.

6. Otstarbekamaid kivist laudaseinu on paksu täidisekihiga Gerardi või Adsere sein, puitseintest — sõrestiksein.

7. Veeauru tõkkekihi soovitatav takistus lauda seinas ja laes olgu üldiselt vähemalt $40 \text{ hm}^2 \text{ mmHg/g}$.

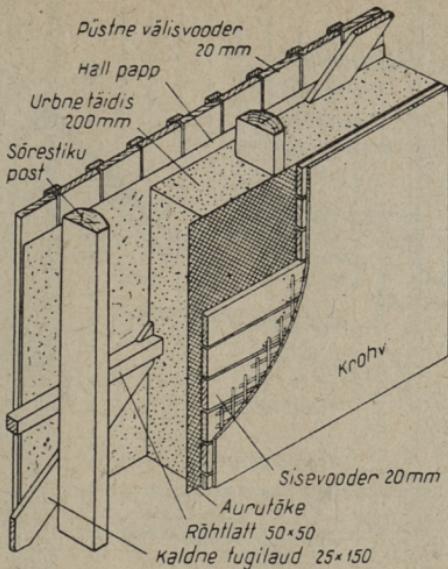


Joonis 25. Gerardi ja Adsere seinad lauda seinana. a. Gerardi sein; seestpoolt alates: lapitellisest müüritis 120 mm, aurutöke, urbne täidis 270 mm, lapitellisest müüritis 120 mm. b. Adsere sein; seestpoolt alates: lapitellisest müüritis piilaritega, aurutöke, urbne täidis 230—300 mm; hall papp, püstlaudadest välisvooder servaliistudega.

Рис. 25. Стены Герарда и Адсере в качестве стен помещений для сельскохозяйственных животных. а. Стена Герарда: внутренняя 120 мм кирпичная стенка; слой пароизоляции; пористая засыпка 270 мм; 120 мм кирпичная стенка. б. Стена Адсере: внутренняя стенка 120 мм с пиллястрами; пароизоляция; пористая засыпка; картон; наружная обшивка.

8. Ohustuskorstna ristlõike pind peab olema 2 kuni 3 dm^2 täiskasvanud looma kohta. Korsten tuleb hoolikalt kaitsta väliskülma ja siseniiskuse eest.

9. Lauda niiskusekaitse ja õhustus vajavad kohalikes oludes ligemati uurimist ja katsetamist tegelikus elus.

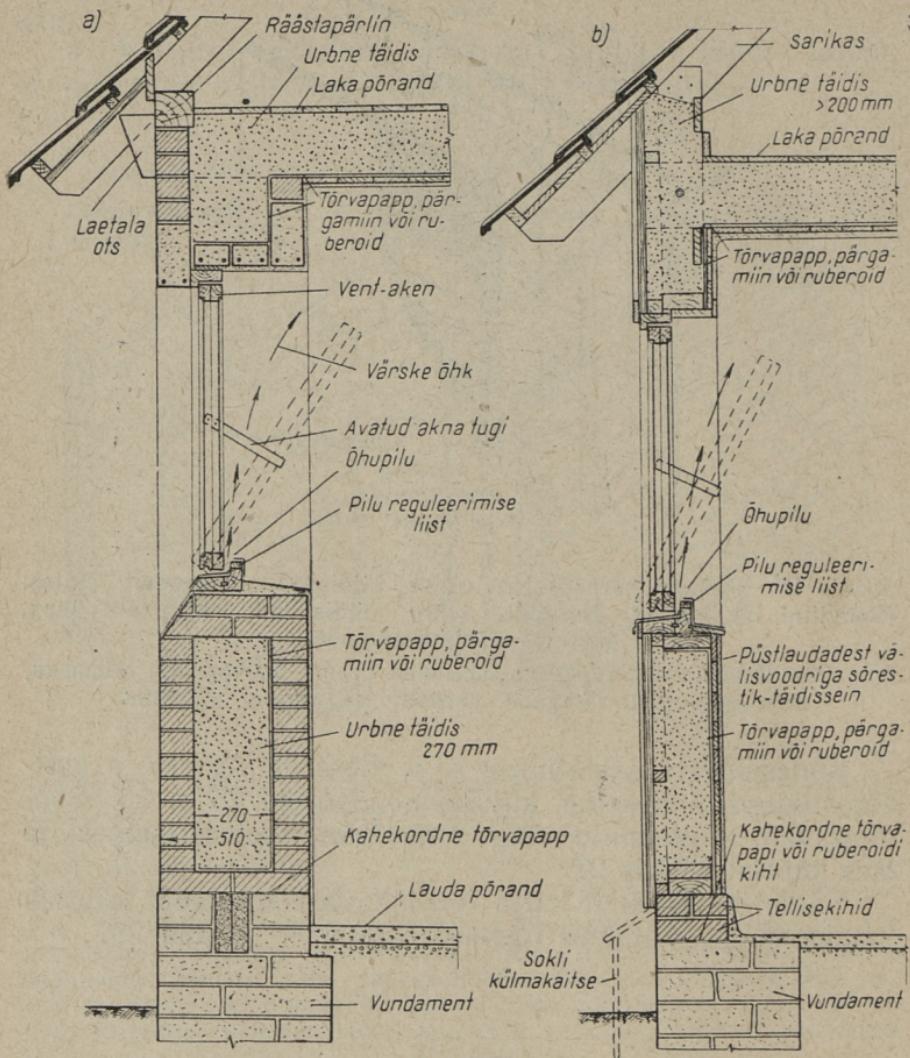


Joonis 26. Puidust sörestiksein urbse täidisega. Seestpoolt alates: krohvitud laudvooder, aurutõke, urbne täidis 200 mm, hall papp, püstlaudadest välisvooder.

Рис. 26. Деревянная каркасно-засыпная стена: внутренняя обшивка, пароизоляция; засыпка; картон; наружная обшивка.

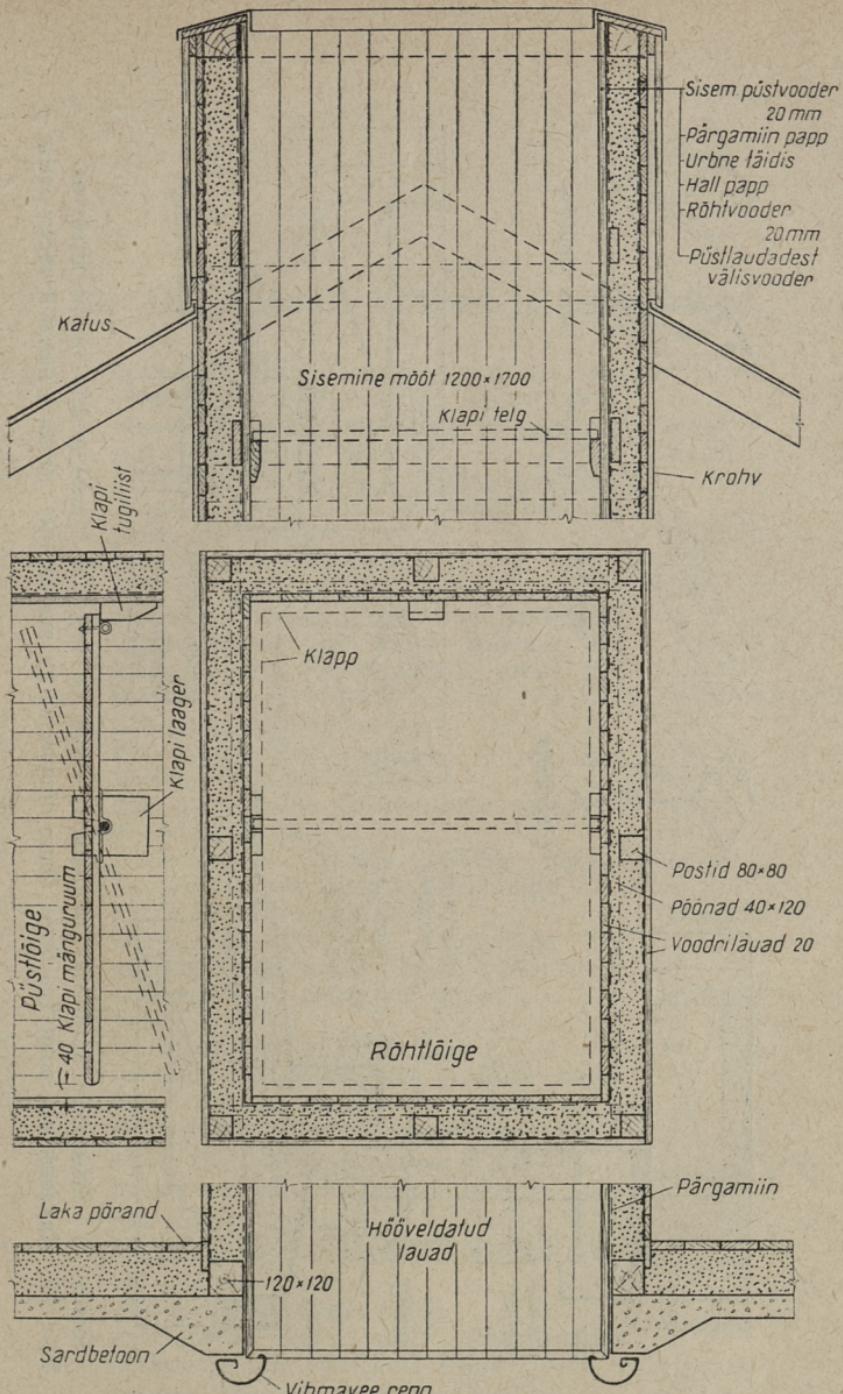
Kõnesolevaid seinatüüpe, s. o. Gerardi, Adsere ja puit-sörestikuga täidisseina, kujutavad joonised 25 ja 26. Soovitatavaid ventaknaid ning aurutõkke asetust seinas ja laes kujutab joonis 27.

Näidet sajapealist karja teenindavast korstnast kujutab joonis 28 ja ventakna ligemati ehitust — joonis 29.



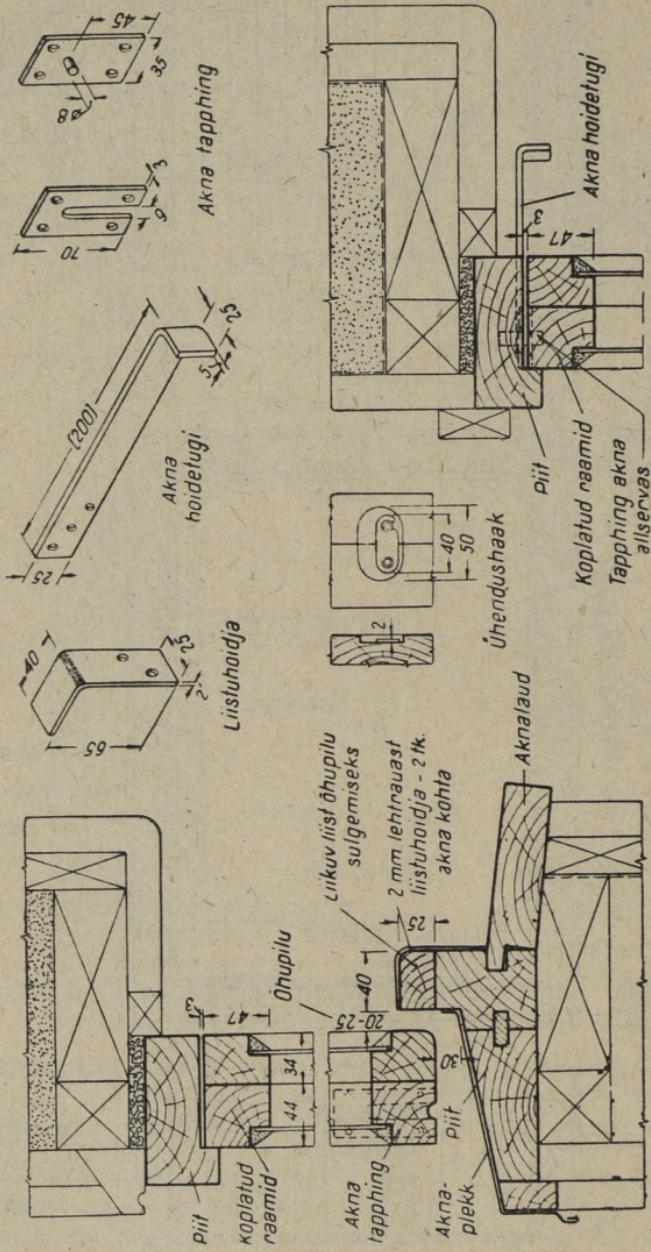
Joonis 27. Värskeõhu sissevooluava laudaakna allservas. Külm õhk paiskub vastu lauda lage, kus ta soojeneb, enne kui alla valgub. Õhuvoolu saab reguleerida pilu laiusega ja akna kallutamisega sisepoole.

Рис. 27. Впуск свежего воздуха через окно помещения. Струя холодного воздуха направляется под потолок. Поток воздуха регулируется шириной щели, а также наклонением окна вовнутрь.



Joonis 28. Sajapealist karja teenindav 7 m kõrge õhustuskorsten lõori suurusega 1200×1700 mm.

Рис. 28. Конструкция вытяжной трубы сечением в 1200×1700 мм. Данная труба имеет высоту в 7 м и обслуживает стадо в сто голов крупного рогатого скота.



Joonis 29. Sissepoolle kallutatav laudaaken. Aken on toetatud tapphingede raami allservas.
Рис. 29. Наклоняемое вовнутрь окно. Окно опирается на шарнирные петли в нижней части рамы,

8. Oskussõnad, tähised ja mõõtühikud.

<i>A</i>	— küttesooja eritus loomalt, s. o. see osa (keskmiselt 75%) sooja kogueritusest, mis aitab lauta soojendada ja õhustada	kcal/h
<i>A₀</i>	— sooja kogueritus loomalt	kcal/h
<i>a</i>	— küttesooja eritoodang (küttesooja tunnise juurdevool lauta, arvutatult põrandapinna m ² kohta)	kcal/m ² h
<i>B</i>	— veeauru eritus loomalt	g/h
<i>b</i>	— õhu veeauru-sisalduste vahe	g/kg
<i>c</i>	— piirdekao moodul (murdosa küttesooja juurdevoolust, mis läheb kaduma läbi lauda piirete temperatuuri vahe 1°C kohta)	%/ ^o C või 1/ ^o C
<i>D</i>	— CO ₂ -eritus loomalt	1/h
<i>d</i>	— õhu CO ₂ -sisalduste vahe	1/kg
<i>γ</i>	— siseõhu mahukaal	kg/m ³
<i>Aγ</i>	— sise- ja välisõhu mahukaalude vahe	kg/m ³
<i>F</i>	— piirdetarindi pind	m ²
<i>H</i>	— tõmbekorstna kõrgus (püstne pikkus laudalaest kuni korstna ülaservani)	m
<i>K</i>	— piirdetarindi soojajuhtivus	kcal/m ² h °C
<i>z</i>	— küttesooja erikaotavus (soojakadu läbi piirdetarindite tunnis ühe °C kohta, arvutatult põrandapinna m ² kohta)	
<i>L</i>	— lauda laius	kcal/m ² h °C
<i>M</i>	— õhustuskorstna ristlõike pind	m
<i>M_a</i>	— värseõhu sissevoolu ava ristlõike pind	m ²
<i>m</i>	— õhustusseadme tõmbevõime moodul (s. o. tõmbevõime õhu kilogrammides küttesooja ühe kcal kohta, kui $\sqrt{T} = 1$)	m ²
<i>m_a</i>	— õhustusseadme tõmbevõime moodul sulitud akende puhul	kg/kcal $\sqrt{^{\circ}\text{C}}$
<i>m_k</i>	— õhustuskorstna tõmbevõime moodul avatud akende puhul	kg/kcal $\sqrt{^{\circ}\text{C}}$
<i>n</i>	— õhu soojamahutavus (0,24)	kg/kcal $\sqrt{^{\circ}\text{C}}$
<i>Q</i>	— vahetatava õhu hulk kilogrammides küttesooja ühe kilokalori kohta	kcal/kg °C
<i>Q_h</i>	— tunnine õhuvool kilogrammides	kg/kcal
<i>V</i>	— tunnинe õhuvool kuupmeetrites	kg/h m ³ /h

R	— õhuvoolu takistustegur korstnakiiruse alusel	1/1
R_k	— õhuvoolu takistustegur tõmbekorstnas	1/1
R_a	— värskeõhu sissevoolu avade takistustegur	1/1
R_{k+a}	— kogu õhustusseadme takistustegur korstnakiiruse alusel	1/1
S	— ruumi soojakadu läbi piirdetarindite	kcal/h
T	— sise- ja välisõhu temperatuuride vahemik	°C
T_a	— temperatuuride vahemik suletud akende puhul	°C
T_k	— temperatuuride vahemik avatud akende puhul	°C
T_s	— sisetemperatuur	°C
T_v	— välistemperatuur	°C
x	— värskeõhu sissevooluavade pinna suhe korstna pinnaga ($M_a : M$)	1/1
z	— aerodünaamiline takistustegur	1/1

ЗАВИСИМОСТЬ РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ, ТЕПЛОТЫ И СОДЕРЖАНИЯ СО₂ В ПОМЕЩЕНИЯХ
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ,
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И УСТАНОВОК АЭРАЦИИ.

Аннотация.

На основе строительно-физического анализа выясняется, каким образом ограждающие конструкции и установки аэрации определяют внутренний режим помещения, приводятся формулы для проектирования установок аэрации и даются рекомендации по обеспечению помещений теплоизоляцией и защите от сырости.

Содержание.

	Стр.
Аннотация	76
От автора	77
1. Сводка основных выводов	77
2. Основы расчета влажности, теплоты и содержания CO_2 помещений для сельскохозяйственных животных	79
3. Теплоизоляция ограждающих конструкций	82
4. Вытяжная труба	84
5. Отверстия для свежего воздуха	88
6. Режим влажности, теплоты и содержания CO_2	91
7. Символы и обозначения	94
8. Сводка выводов работы, «Тепловой и влажностный режим коровника»	95

От автора.

Настоящая работа является результатом дальнейшего развития и продолжения труда «Тепловой и влажностный режим коровника»¹, и исходит из описанных там основных положений об ограждающих конструкциях и установках аэрации. За основу принята система аэрации, которая состоит из одной мощной вытяжной трубы и ряда узких подоконных щелей для выпуска свежего воздуха, равномерно распределенных по всему периметру здания.

Для полноты изложения основ настоящей работы в конце статьи (глава 8) приведена сводка основных выводов вышеназванной брошюры, вместе с поясняющими рисунками (рис. 25—29). Условные знаки и обозначения приведены в главе 7.

1. Сводка основных выводов.

1. Количество свободного тепла в неотапливаемом помещении для скота составляет 75% общего количества тепла, выделяемого животными.
2. Животные выделяют 0,558 г водяного пара и 0,217 л CO_2 на каждую ккал свободного тепла.
3. Учитывая, что выделения тепла, водяного пара и CO_2 находятся во взаимной зависимости, за основную единицу строительно-физического анализа помещений для сельскохозяйственных животных целесообразно принять единицу количества (ккал) свободного тепла.
4. Параметром теплотехнических расчетов режима помещений для сельскохозяйственных животных целесообразно принять модуль теплопотерь ограждающих конструкций (c), который показывает, какую долю от количества свободного тепла составляют потери тепла через ограждающие конструкции на 1°C разницы температур внутреннего и наружного воздуха (T).
5. Для выполнения требований зоогигиены при $T = 10, 15, 20$ и 25°C , теоретическая величина c должна быть соответственно ниже 5, 3, 2 и 1,0% на 1 град.
6. Повышенная теплоизоляция перекрытия является более важным фактором и более легко выполнимой задачей, чем повышенная теплоизоляция стены.
7. Коэффициент теплопередачи перекрытия помещения для сельскохозяйственных животных должен быть ниже $K = 0,3$. Тре-

¹ Издательство «Научная Литература» Тарту, 1949.

бования относительно стен можно смягчить, учитывая конкретные условия.

8. Если перекрытие имеет $K = 0,3$ и ширина здания составляет 10 м, то стена из глины еще дает коровнику приемлемую общую теплоизоляцию, бутовая же стена — недостаточную.
9. Помещение, в котором крупный рогатый скот расположен в четырех продольных рядах, является более гигиеничным и более экономичным, чем помещение с двумя продольными рядами животных.
10. Необходимый обмен воздуха в помещениях для сельскохозяйственных животных составляет $Q = \frac{1}{0,24} \left(\frac{1}{T} - c \right)$ в кг на ккал свободного тепла.
11. Воздух в достаточно аэриированном помещении для скота содержит водяного пара на $0,134 : \left(\frac{1}{T} - c \right)$ г/кг больше, чем внешний воздух.
12. Содержание CO_2 в аэриированном помещении для скота составляет $0,23 + 0,052 : \left(\frac{1}{T} - c \right)$ л/кг.
13. Обмен воздуха должен производиться через искусственные установки аэрации, поскольку это позволяет наружная температура.
14. Установки аэрации должны эффективно функционировать даже при малой T .
15. Зная величины модулей теплопроводности ограждений и производительности системы аэрации (c и m), можно определить режим теплоты, влажности и содержания CO_2 при данной внешней температуре (рис. 14—20).
16. Мощность вытяжной трубы должна быть достаточной, чтобы при открытых окнах снизить T по крайней мере до 15°C , а желательно до 12°C .
17. Мощность системы аэрации должна быть достаточной, чтобы при закрытых окнах снизить T до 20°C .
18. Короткая вытяжная труба большего сечения обходится при постройке дешевле, чем длинная и более узкая.
19. Мощность системы аэрации определяется модулем

$$m = \frac{1}{n \sqrt{T}} \left(\frac{1}{T} - c \right) = 1210 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H}{R}},$$

который показывает обмен воздуха в кг на ккал свободного тепла, при $\sqrt{T} = 1$.

20. Необходимое сечение вытяжной трубы составляет

$$M = \frac{m \Sigma A}{1210} \sqrt{\frac{R}{H}} \text{ м}^2.$$

21. При $c = 0,01$ минимально допустимое сечение вытяжной трубы составляет $\frac{0,67}{VH}$, рекомендуемое же — $\frac{1}{VH}$ см² на ккал свободного тепла в час.
22. Сечение щелей для впуска свежего воздуха должно при этом составить соответственно $\frac{0,48}{VH}$ и $\frac{0,42}{VH}$ см²/ккал в час.
23. Сечение щелей для впуска свежего воздуха определяется формулой

$$x = \sqrt{\frac{R_a}{H \left(\frac{M}{\Sigma A}\right)^2 \frac{8750}{\left(\frac{1}{T} - c\right)^2} T_a - R_k}}$$

24. Наклоняемые вовнутрь окна дают лучшее решение вопроса впуска свежего воздуха, чем стекловые отверстия.
25. При $c \leq 0,02$ клапан вытяжной трубы требует регулирования лишь при наружных температурах (T_v) ниже -12°C (не учитывая влияния ветра).
26. При $m = 0,088$ установки аэрации отвечают требованиям зоогигиены, пока наружная температура стоит ниже $+6^{\circ}\text{C}$; при морозе же эти требования выполнимы при $c = 0,03; 0,02$ и $0,01$ соответственно до $-8,2^{\circ}\text{C}, -12^{\circ}\text{C}$ и $-18,5^{\circ}\text{C}$.
27. Силу тягового побуждения вытяжной трубы, вместо разницы в объемном весе воздуха, можно выразить в разнице температур (T).
28. Приведенные решения равно применимы при расчете помещений для всех видов сельскохозяйственных животных.

2. Основы расчета влажности, теплоты и содержания CO₂ помещений для сельскохозяйственных животных.

Воздух помещений для крупного рогатого скота должен согласно нормам¹ иметь температуру выше 6°C , относительную влажность ниже 85% и содержание CO₂ ниже 2,5 л/м³.

Для выполнения этого требования следует полностью удалить из помещения выделяемые скотом тепло и газы. Это достигается путем непрерывного воздухообмена. Обмен воздуха связан, однако, с расходом тепла, единственным источником которого является сам скот. Это обстоятельство и определяет нашу задачу: удалить путем аэрации все газообразные выделения за счет выделяемого скотом тепла, которое должно также возместить теплопотери через ограждающие конструкции. В данном труде примем в расчет только выделяемый непосредственно скотом водяной пар. Влияние

¹ ГОСТ 2662-49.

других источников влаги на режим помещения можно определить из анализа результатов наблюдений помещений в условиях эксплуатации.

Взаимная зависимость выделений. На каждую ккал общего выделения тепла животные выделяют 0,421 г пара и 0,164 л CO₂. Из общего выделения тепла 25% расходуется на испарение воды. Поскольку пар удаляется из помещения в не осажденном виде, это количество тепла не используется для отопления помещения. Количество свободного тепла составляет поэтому 75% общего выделения тепла. Учитывая строгую зависимость выделений, целесообразно принять за основную единицу расчетов не какое-либо условное животное, а единицу количества свободного тепла, как наиболее логичный и гибкий параметр. На этом основании выделение пара составляет 0,558 г/ккал, а выделение CO₂ — 0,217 л/ккал, т. е.

$$B = 0,421A_0 = 0,558A \text{ г/час}$$

$$D = 0,164A_0 = 0,217A \text{ л/час.}$$

Взаимная зависимость выделений остается той же и при других видах животных, а также и для людей. Полученные решения применимы, поэтому, также при расчете режима помещений для других видов животных, а также и в случае рабочих помещений и помещений с массовым скоплением людей. Одна корова весом в 500 кг, которая дает 20 литров молока в сутки, выделяет столько же тепла, пара и CO₂, как 10 человек в состоянии покоя.

В действительности доля свободного тепла в значительной мере зависит от режима помещения. Это не учитывается в данной работе, основанной на нормативные количества выделений.

Потери тепла через ограждающие конструкции составляют $S = T \cdot \Sigma KF$ ккал/час. Для получения общего решения нам целесообразно расчитывать теплопотери на ккал свободного тепла. Разделив обе стороны уравнения на ΣA , получим

$$\frac{S}{\Sigma A} = T \frac{\Sigma KF}{\Sigma A} = T \cdot c,$$

где $c = \frac{\Sigma KF}{\Sigma A}$ показывает долю количества свободного тепла, кото-

рая теряется через ограждающие конструкции на каждый градус разницы температур. В дальнейшем назовем с модулем теплопотерь через ограждающие конструкции.

При разнице температур T потеря тепла через ограждающие конструкции составляет $c \cdot T$ ккал на ккал свободного тепла. На аэрацию остается поэтому свободным $1 - c \cdot T$ ккал/ккал.

Необходимый воздухообмен определяется из наличного для этого количества тепла. Предположим в последующем, что на аэрацию употребляется все количество тепла, которое остается от теплопотерь через ограждающие конструкции. Исходя из этого имеем:

Количество свободного тепла 1 ккал

Потери через ограждающие конструкции $c \cdot T$ ккал/ккал

Остается на аэрацию $1 - c \cdot T$ ккал/ккал.

Поскольку согревание 1 кг наружного воздуха требует $0,24 \cdot T$ ккал, то наличным количеством тепла ($1 - c \cdot T$ ккал/ккал) можно обменять

$$Q = \frac{1 - c \cdot T}{0,24 \cdot T} \text{ кг воздуха на каждую ккал свободного тепла.}$$

$$Q = \frac{1}{0,24} \left(\frac{1}{T} - c \right) \text{ кг/ккал} \quad (1)$$

Воздухообмен на одно животное, выделяющее 700 ккал/час, составляет $Q_h = 700 \cdot \frac{1}{0,24} \left(\frac{1}{T} - c \right)$ кг/час.

Воздухообмен для всего помещения составляет

$$Q_h = Q \cdot \Sigma A = \frac{1}{0,24} \left(\frac{1}{T} - c \right) \Sigma A \text{ кг/час.} \quad (1a)$$

Содержание водяного пара в воздухе помещения тем выше, чем больше выделение пара на ккал тепла и чем меньше обмен воздуха (Q). Приток пара составляет 0,558 г/ккал. Этот непрерывный приток пара распределяется на также непрерывно обменивающееся количество воздуха (Q).

Каждый кг обмениваемого воздуха удаляет поэтому

$$b = \frac{0,558 \cdot 0,24 \cdot T}{1 - c \cdot T}$$

водяного пара. Отсюда получим

$$b = \frac{0,134}{\frac{1}{T} - c} \text{ г/кг} \quad (2)$$

Это количество нужно прибавить к содержанию пара в наружном воздухе, чтобы найти абсолютное содержание пара в помещении. Из этого можем определить относительную влажность в помещении.

Среднюю относительную влажность и температуру средней части Эстонской ССР (г. Тарту) показывает рис. 3. За основу расчетов принят ход, показанный пунктирной линией.

Результаты теоретических расчетов показаны на рис. 14—20. При пользовании этими диаграммами надо сперва найти величину c и потом подобрать соответствующий график. Так например, если коровник содержит 100 голов скота по 500 кг, выделяющих в час 700 ккал свободного тепла, и ΣKF составляет 840 ккал/час $^{\circ}\text{C}$, то

$$c = \frac{840}{70000} = 0,012. \text{ Режим помещения в зависимости от воздухо-}$$

обмена в данном случае изображает рис. 17 ($c = 0,012$).

Содержание CO_2 в помещении определяется аналогичным путем. Поскольку приток CO_2 составляет 0,217 л на ккал, то получим

$$d = \frac{0,217 \cdot 0,24 \cdot T}{1 - c \cdot T} = \frac{0,0522}{\frac{1}{T} - c} \text{ л/кг}$$

Принимая за содержание CO_2 наружного воздуха 0,23 л/кг, получим содержание CO_2 в помещении

$$0,23 + \frac{0,0522}{\frac{1}{T} - c} \text{ л/кг} \quad (3)$$

Соответственно температуре можем отсюда вычислить содержание CO_2 в $\text{л}/\text{м}^3$, что и показано на диаграммах рис. 14—20.

3. Теплоизоляция ограждающих конструкций.

Необходимую величину модуля c можем определить из уравнений (2) и (3). На рис. 4 показан график величин c в зависимости от T при $T_s = 4, 6, 8$ и 10°C и при относительной влажности, равной 85%. В сущности этот график дает нам необходимую величину c в зависимости от наружной температуры.

Допускаемая нормативами минимальная температура помещения ($T_s = +6^\circ\text{C}$) представляет к c более суровые требования, чем оптимальная температура ($T_s = +8^\circ\text{C}$). Поэтому в той части графика, где допускаемый предел содержания CO_2 не предъявляет более строгих требований, за основу расчетов теплоизоляции можем взять температуру $T_s = 8^\circ\text{C}$. Сюда относится предел, где T не превышает $19,5^\circ\text{C}$. Выше этого предела определяющим фактором является уже содержание CO_2 . Если разница температур превышает 27°C , то уже невозможно совместно выполнить оба названные требования. Остаемся поэтому лишь при требовании $T_s = 6^\circ\text{C}$.

График, изображающий предельно допустимую величину модуля c , состоит следовательно из трех кривых, помеченных тройной линией на рис. 4.

Величина c равна нулю при $T = 33^\circ\text{C}$. Это значит, что даже при условии, когда все количество свободного тепла полностью употребляется на воздухообмен (т. е. когда теплопотери через ограждения равны нулю), является невозможным выполнить также и требование относительно минимально допускаемой температуры.

Необходимую величину модуля c можем (с достаточной для практических целей точностью) изобразить одной ломанной линией, показанной на рис. 5. При $T = 10; 15; 20$ и 25 величина c должна быть соответственно ниже 5; 3; 2 и 1,0 процента на градус.

Показателем теплопотерь помещения (χ) назовем величину

$$\chi = \frac{\Sigma K F}{P} \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{час град}}, \text{ которая показывает потерю тепла в ккал.}$$

в час на градус разницы температур и на м^2 площади пола.

Величина показателя χ зависит от теплопроводности ограждающих конструкций (K) и от величины их площади по сравнению с площадью пола. На рис. 6 приведены примеры типичных величин в зависимости от материала и конструкции стен и от теплоизоляции перекрытия.

Чтобы яснее уяснить преимущества более широкого помещения, ширина его принятая равной $L = 10$ м в одном случае и $L = 20$ м во втором. В последнем случае коровник размещает 4 продольных ряда животных и дает, по сравнению с двухрядным помещением, около 40% экономии в наружных стенах, 15% в площади крыши и кровли и 5% в площади пола и перекрытия. Притом уменьшение охлаждающих площадей значительно снижает потери тепла и повышает гигиеничность помещения.

В расчетах принято, что при $L = 10$ м на m^2 площади пола приходится 1,0 m^2 перекрытия, 0,5 m^2 наружной стены и 0,08 m^2 окна с двойным остеклением.

При обычных коровниках показатель $\alpha = 0,73 - 2,44$ ккал/ m^2 час $^{\circ}\text{C}$, в зависимости от теплоизоляции перекрытия и стен. Утепленное перекрытие снижает α помещения до 1,6 даже при бутовых стенах; двойная же ширина — до 1,1. По мере повышения теплоизоляции стен, α падает еще ниже, доходя до 0,73. Учитывая особое значение, которое имеет высокая теплоизоляция перекрытия, а также сравнительное удобство ее достижения, следует стремиться, чтобы K перекрытий был не выше 0,3. При необходимости можно смягчить требования относительно особо высокой теплоизоляции стен.

Приток свободного тепла (ΣA) зависит от размещенного в помещении скота, от веса животных и от их продуктивности. Для нашей цели целесообразно пользоваться показателем $a = \Sigma A : P$ ккал/ m^2 час, показывающим приток свободного тепла в час на m^2 площади пола.

Дойная корова в 500 кг, дающая 20 л молока в сутки, выделяет в час 716 ккал свободного тепла и занимает в среднем 7 m^2 площади коровника. Величина a будет в этом случае $716 : 7 =$ округленно 100 ккал/ m^2 час. Это количество принято за основу примеров расчета установок аэрации.

При обсуждении вопроса теплоизоляции помещения следует, однако, ориентироваться на более низкое выделение тепла, ибо средний удой коров понижается зимой, когда надобность в тепле является наиболее актуальной.

Корова в 500 кг, дающая до 10 л молока в сутки, выделяет 560 ккал свободного тепла в час, т. е. 80 ккал/ m^2 час. Учитывая, однако, возможность наличия временно незанятых стойл, а также необходимость создания некоторого коэффициента запаса, за среднюю величину a в последующем взято $a = 50$ (т. е. округленно $2/3 \times 80$) ккал/ m^2 час.

Величина модуля c выражается отношением

$$c = \frac{\alpha}{a} = \frac{\Sigma K F}{\Sigma A}$$

Величина модуля c при обычных коровниках показана на правой стороне рис. 6, при условии, что $a = 50$.

Для более четкого выяснения роли определяющих факторов, полученные данные еще раз показаны на рис. 7. Помещения расположены здесь в порядке понижения модуля c и соответствующей ему величины T . Данные приводятся здесь на диаграмме допускаемых величин модуля c (рис. 5) в том месте, где рассматриваемый

коровник еще отвечает требованиям зоогигиены при соответствующей разнице температур (T). Помещения соединены горизонтальными линиями в группы, согласно ширине ($L = 10$ и 20 м) и согласно теплоизоляции перекрытия ($K = 1,0$ и $0,3$).

Мерилом для сравнения качества помещений может служить показатель χ , равно как и полученный из него модуль c_{50} ($c_{50} = \chi : 50$; рис. 6 и 7). В наших климатических условиях помещения для сельскохозяйственных животных должны удовлетворять требованиям зоогигиены при величине T не менее 20°C . При десятиградусном морозе в этом случае мы будем иметь в помещении чистый воздух и температуру $+10^{\circ}\text{C}$. Для выполнения этого требования c должен быть не выше 0,02 (рис. 5).

Пригодный, с этой точки зрения, коровник может дать нам только здание с теплым ($K = 0,3$) перекрытием. При обычном двухрядном коровнике ($L = 10$ м) стены из глины или из бревен дают еще еле приемлемое решение. Хорошее решение дают все стены, утепленные легкой пористой засыпкой в 20 см толщиной. Бутовые стены не дают приемлемого решения.

При $L = 20$ м бутовые стены дают тот же общий результат, как стены из глины или бревен в случае десятиметровой ширины. Однако в случае бутовых стен на животных, расположенных непосредственно у стены, может оказаться повышенное теплопоглощение внутренней поверхности.

4. Вытяжная труба.

Воздухообмен составляет согласно (1) $Q = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T} - c \right)$ кг/ккал.

Графическое изображение этой функции показывает рис. 8. Обмен воздуха должен быть бесконечно большим при $T = 0$, и падает до нуля при $T = 1 : c$. Чтобы дать более ясное представление о количествах подлежащего обмену воздуха, на рисунке 9 показан обмен на 700 ккал/час (т. е. на одну условную корову) в зависимости от c и T .

Поскольку объемный вес воздуха при $+10^{\circ}\text{C}$ составляет окруженно 1,25 кг/м³, то мы можем легко вывести данный график (рис. 9) из предыдущего (рис. 8). Для этого следует только изменить вертикальный масштаб в отношении $1,25 : 700 = 1 : 560$, как это и показано на правой стороне рисунка 9.

Необходимый воздухообмен падает резко с повышением величины T . При $T = 5^{\circ}\text{C}$ обмен составляет 400 м³ в час и притом сравнительно мало зависит от модуля c . При $T = 10^{\circ}\text{C}$ обмен составляет 200 м³/час и уже в большей мере зависит от величины c . При $T = 15^{\circ}\text{C}$ и $c = 0,01$ часовой обмен воздуха составляет окруженно 130 м³.

Внутренний режим и T определяются в основном обменом воздуха. Чем больше обмен воздуха, тем ближе к T_v приближается T_s . Наоборот, чем меньше Q , тем выше должна подняться T_s , а следовательно и T .

Сравнивая возможности внутреннего режима на рис. 14—20, видим, что при прохладной погоде режим является наиболее приемлемым при умеренном обмене воздуха. Чрезмерный обмен воздуха охлаждает помещение и тем повышает относительную влажность. Это явление выражается особо ярко при температурах выше нуля. Аэрация помещений должна поэтому производиться через искусственные и удобно регулируемые установки аэрации, поскольку это позволяет наружная температура.

Лишь при наружной температуре T_v , близкой к 10°C , можно будет проветривать здание через открытые двери и окна.

Обмен воздуха нельзя однако ограничивать произвольно. При холодной погоде целесообразно охладить коровник до $6-10^\circ\text{C}$, чтобы избежать чрезмерного содержания CO_2 , хотя более высокая температура (т. е. меньший воздухообмен) дала бы более низкую относительную влажность. При положительной же температуре помещение требует все большего и большего обмена воздуха, но уже не из соображений содержания CO_2 или водяного пара, а для того, чтобы избежать чрезмерно высокой температуры помещения. Установки аэрации следуют поэтому проектировать так, чтобы они эффективно функционировали и при малом температурном перепаде.

Чем меньше разница T , тем больше должно быть количество обмениваемого воздуха для того, чтобы удалить данное число ккал тепла.

На рис. 14—20 графики прерваны в левой нижней части на границе, где $T = 0$ и где необходимый обмен воздуха должен быть теоретически бесконечно большим, т. е. является физически невыполнимым. Минимально-достижимый уровень T определяется поэтому установками аэрации, т. е. сечением и высотой трубы и величинами аэродинамических сопротивлений.

Критическим периодом в отношении аэрации является погода, когда T_v стоит между нулем и $+5^\circ\text{C}$. При такой температуре еще желательно, чтобы аэрация производилась через искусственные и точно регулируемые установки, защищающие скот от холода сквозняка.

Такое регулирование желательно также с точки зрения строительной физики. Расчеты показывают (см. рис. 14—20), что уместное ограничение воздухообмена значительно снижает относительную влажность. Так например, при $+5^\circ\text{C}$ относительная влажность наружного воздуха составляет 80% (рис. 3) и лишь при значительно более высокой T_s влажность коровника может понизиться до этого уровня или даже еще ниже.

При $T_v = 6^\circ\text{C}$ становится уже трудным аэрировать помещение через вытяжную трубу. Требуемый воздухообмен тогда настолько велик, что требуемые размеры трубы возрастают до практически невыполнимых величин, если не позволить T_s подняться выше $+18-20^\circ\text{C}$. Размеры установок аэрации зависят поэтому непосредственно от требуемой величины T .

Если условиться, что при $T_v = +6^\circ\text{C}$ T_s не должна подняться выше $+18^\circ\text{C}$, то допускаемая разница составляет $T = 12^\circ\text{C}$. В случае особой необходимости можно еще мириться с $T = 15^\circ\text{C}$,

учитывая, что хотя температура и стоит выше 20°, но воздух оказывается при этом сухим и находится в оживленном движении.

Вытяжная труба удаляет из помещения количество воздуха

$$V = 3600 M \sqrt{\frac{A\gamma H \cdot 2g}{\gamma R}} \text{ м}^3/\text{час.}$$

Вместо объемного веса воздуха нам целесообразно выразить тяговое побуждение в разнице температур T . Как это показывает рис. 24, можно с достаточной для нашей цели точностью заменить величину $A\gamma/\gamma$ величиной 0,0037 T при $T = 12^\circ\text{C}$ и величиной 0,0038 T при $T = 20^\circ\text{C}$. Тогда получим (при мягкой погоде, где $T =$ ниже 15°):

$$V = 970 M \sqrt{\frac{H}{R} T} \text{ м}^3/\text{час.}$$

$$Q_h = 1210^1 M \sqrt{\frac{H}{R} T} \text{ кг/час.}$$

Имея в виду, что за основу всех расчетов в данном докладе взята килокалория свободного тепла, нам следует базировать на ту же единицу и формулу вытяжной способности трубы. Разделив обе стороны предыдущего уравнения на ΣA , получим

$$Q = \frac{Q_h}{\Sigma A} = 1210 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H}{R} T} = m \cdot \sqrt{T} \frac{\text{кг}}{\text{ккал}},$$

$$\text{где } m = 1210 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H}{R}} \text{ кг/ккал} \cdot \sqrt{^\circ\text{C}}.$$

m — модуль вытяжной способности системы аэрации — показывает воздухообмен в кг воздуха на ккал свободного тепла при разнице температур в 1 град.

Согласно формуле (1а) имеем

$$\frac{Q_h}{\Sigma A} = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T} - c \right)$$

Приравнив эти уравнения, получим формулу

$$m \cdot \sqrt{T} = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T} - c \right) \quad (4).$$

из которой соответственно c и m можем вычислить T , т. е. минимальную разницу температур, которую даст нам данная установка аэрации. Поскольку алгебраическое решение этого уравнения относительно T ведет к сложным вычислениям, на рис. 10 дан график величин T в зависимости от m и c .

Чтобы дать лучшее представление о величине необходимого воздухообмена, там-же показан и воздухообмен на 700 ккал/час, т. е. на дойную корову в 500 кг, дающую 20 л молока в сутки.

¹ При $T = 20^\circ\text{C}$, величина этого коэффициента составляет 1230.

Необходимая величина модуля m определяется из формулы

$$m = \frac{1}{n \sqrt{T}} \left(\frac{1}{T} - c \right) \frac{\text{кг}}{\text{ккал} \sqrt{^{\circ}\text{C}}} \quad (5)$$

Для достижения $T = 15^{\circ}\text{C}$ величина m должна быть не ниже $m = 0,072 - 1,07 \text{ с}$, а при $T = 12^{\circ}\text{C}$ не ниже $m = 0,01 - 1,2 \text{ с}$. Зная величину m , можем вычислить необходимые размеры вытяжной трубы.

Сечение вытяжной трубы составляет следовательно

$$M = \frac{m \Sigma A}{1210} \sqrt{\frac{R}{H}} \text{ м}^2 \quad (6)$$

При прямой трубе существенное сопротивление потоку воздуха оказывает только ускорение воздуха ($z = 1,0$), сопротивление входного отверстия трубы (в среднем $z = 0,6$) и сопротивление на преодоление трения. Последнее обычно не превышает величины 0,15. Суммируя эти величины, получим $R_k = 1,75$.

Полная вытяжная способность трубы понадобится только при положительной наружной температуре, когда окна приоткрыты или наклонены вовнутрь. Сопротивление потоку воздуха в окнах (отнесенное к скорости воздуха в труbe) будет поэтому весьма слабое. Сопротивление стенных отверстий можем вследствие этого принять в данном случае равным нулю.

Подставив $R_k = 1,75$, $n = 0,24$ и $m = \left(\frac{1}{T} - c \right)$: $n \sqrt{T}$, получим

$$\frac{M}{\Sigma A} = \frac{\frac{1}{T_k} - c}{220 \sqrt{T_k \cdot H}} \frac{\text{м}^2 \text{ час}}{\text{ккал}} \quad (7)$$

Пример: При $H = 5,5 \text{ м}$, $c = 0,016$ и $T_k = 13^{\circ}\text{C}$, сечение трубы для коровника, который вмещает 100 голов по $A = 560 \text{ ккал/час}$, составляет

$$M = \left(\frac{1}{13} - 0,016 \right) 56000 : 220 \sqrt{13 \cdot 5,5} = 1,85 \text{ м}^2.$$

При $c = 0,01$ и $T_k = 12^{\circ}\text{C}$ получим согласно формуле (7):

$$M = \frac{0,96 \Sigma A}{10000 \sqrt{H}} \text{ м}^2$$

При $c = 0,01$ и $T_k = 15^{\circ}\text{C}$

$$M = \frac{0,67 \Sigma A}{10000 \sqrt{H}} \text{ м}^2$$

Правило для практического применения можем следовательно выразить так:

В хорошо теплоизолированном помещении минимально приемлемое сечение вытяжной трубы длиной в 1 м составляет $\frac{2}{3} \text{ см}^2$, а

рекомендуемое — 1,0 см² на каждую ккал часового притока свободного тепла. При большей длине сечение уменьшается пропорционально квадратному корню длины.

$$\frac{M}{\Sigma A} = \frac{0,67}{\sqrt{H}} \text{ до } \frac{1,0}{\sqrt{H}} \frac{\text{см}^2 \text{ час}}{\text{ккал}} \quad (7a)$$

Короткая вытяжная труба большого сечения обходится при постройке дешевле, чем длинная и более узкая. До получения опыта из практики рекомендуется взять длину не короче двух диаметров.

Действие ветра. Вызываемая ветром скорость движения воздуха в вытяжной трубе зависит от аэродинамических условий и составляет 30—90% скорости ветра. Средняя скорость ветра в продолжение стойлового периода составляет 3,2 м/сек в средней части ЭССР и 5 м/сек в прибрежной полосе.

Средняя добавочная скорость воздуха в вытяжной трубе может составить поэтому 1,0—4,5 м/сек. Упомянем для сравнения, что $T = 12^\circ\text{C}$ дает при $H = 5$ м скорость 1,5 м/сек. Ветер может, следовательно, в очень значительной мере повысить действие вытяжной трубы. Это, однако, нельзя учитывать при решении размеров трубы, ибо аэрация должна эффективно функционировать и при тихой погоде.

5. Отверстия для свежего воздуха.

Щели для впуска свежего воздуха определяются формулой потока воздуха через всю систему аэрации.

$$Q = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{T_a} - c \right) = 1230 \frac{M}{\Sigma A} \sqrt{\frac{H \cdot T_a}{R_k + R_a : x^2}} \text{ кг/ккал} \quad (8)$$

в которой $R_{a+k} = R_k + R_a : x^2$ выражает общее сопротивление трубы и стенных отверстий для впуска свежего воздуха.

Существенным фактором является здесь величина x , т. е. сечение стенных отверстий в долях сечения трубы. Влияние этого фактора показывает рис. 11, изображающий понижение производительности системы аэрации в зависимости от величины x . Когда сечение стенных отверстий равно сечению трубы ($x = 1$), производительность системы составляет 72% от вытяжной способности системы при открытых окнах.

Из уравнения (8) получается

$$x = \sqrt{\frac{R_a}{H \left(\frac{M}{\Sigma A} \right)^2 \frac{87500}{\left(\frac{1}{T_a} - c \right)^2} T_a - R_k}} \quad (9)$$

Если окна снабжены отбойными щитами, которые направляют струю прохладного воздуха вверх под потолок, как это делают

наклоненные сверху вовнутрь окна, то они могут оставаться открытыми, пока T_v стоит выше -2°C . Если теперь исходим из требования, что температура помещения должна при закрытых окнах держаться ниже $+18^\circ\text{C}$, то допускаемое T_a составляет 20°C . Тот же результат получим, если окна закрыть при 0°C и допустить $T_s = +20^\circ\text{C}$. Принимая $T_a = 20^\circ\text{C}$; $R_k = 1,75$ и $R_a = 1,6$, получим формулу

$$x = \sqrt{\frac{1,6}{H \left(\frac{M}{\Sigma A}\right)^2 \frac{1750 \cdot 000}{(0,05 - c)^2} - 1,75}} \quad (10)$$

Пример: Каково должно быть сечение подоконных щелей, если коровник вмещает 100 коров по 500 кг ($A = 700$ ккал/час); $H = 5$ м; $c = 0,01$; $M = 2$ м² и $T_a = 20^\circ\text{C}$.

Подставив эти значения в формулу (10) получим $x = 0,80$, сечение отверстий $M_a = 0,80 \cdot 2 = 1,6$ м².

Если же сечение трубы $M = 3$ м², то получим $x = 0,46$ и $M_a = 1,38$ м².

При $c = 0,01$ и $T_k = 12^\circ\text{C}$ сечение трубы $\frac{M}{\Sigma A} = \frac{0,96}{10^4 \sqrt{H}}$

Согласно (9) получим при $T_a = 20^\circ\text{C}$:

$$x = 0,44 \text{ и } \frac{M_a}{\Sigma A} = \frac{0,42}{10^4 \sqrt{H}}$$

Если же $T_k = 15^\circ\text{C}$ и $T_a = 20^\circ\text{C}$, то

$$\frac{M}{\Sigma A} = \frac{0,67}{10^4 \sqrt{H}} ; \quad x = 0,71 \text{ и } \frac{M_a}{\Sigma A} = \frac{0,48}{10^4 \sqrt{H}}$$

Пример: Каковы должны быть размеры трубы и подоконных щелей при $\Sigma A = 70\,000$ ккал/час; $H = 6$ м; $T_k = 12^\circ\text{C}$; $c = 0,01$ и $T_a = 20^\circ\text{C}$?

$$\text{Труба: } M = \frac{0,96 \cdot 70\,000}{10^4 \sqrt{6}} = 2,74 \text{ м}^2$$

$$\text{Щели: } M_a = \frac{0,42 \cdot 70\,000}{10^4 \sqrt{6}} = 1,20 \text{ м}^2$$

При общей длине оконных проемов в 65 м ширина подоконных щелей составляет

$$1,20 : 65 = 0,019 \text{ м} = 19 \text{ мм.}$$

Формулы 9 и 10 применимы, когда нам уже известны размеры трубы. При проектировании же целесообразнее оперировать основными величинами T_a и T_k . Формула для x примет тогда вид

$$x = \sqrt{\frac{R_a}{\left[1,025 \left(\frac{1}{T_k} - c \right)^2 \frac{T_a}{T_k} - 1 \right] R_k}} \quad (11)$$

График этой формулы изображен на рис. 12. Типичные данные приведены в таблице 2.

Стенные отверстия для приема свежего воздуха при положительной T_v . Наиболее практическое решение проблемы отверстий для свежего воздуха дают в общем наклоняемые вовнутрь окна, снабженные специальными щелями для впуска свежего воздуха (см. рис. 27 и 29). Ширина щелей составляет около 20 мм, ширина же свободного прохода при наклоненных окнах — 200 мм.

В случае, если окна не открываемы, то сечение стенных отверстий должно быть достаточное для надлежащей аэрации помещения и при положительной температуре. Эти отверстия должны, следовательно, обеспечить снижение T до 15 или 12°C, без причинения сквозняка, вредного животным.

Общая формула аэрации (8) является уравнением третьей степени по отношению к T и содержит слишком много факторов, чтобы быть наглядной. Для более наглядного выяснения роли наиболее существенных факторов они связаны в характерные группы и изображены графически на рис. 13.

Величина $\frac{M}{\Sigma A} \sqrt{H}$ характеризует вытяжную способность трубы.

Согласно предыдущему ее значение при $c = 0,01$ должно быть в пределах $0,7 \cdot 10^{-4}$ и $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{ м}^{1/2}$ час/ккал.

Величина $R_k + R_a : x^2$ характеризует сопротивление стенных отверстий потоку воздуха. Если учесть также трение, то при обычных условиях $R_k = 1,75$. Величина R_a может колебаться от 1,05 до 1,6. При колебании значения x от 0,4 до 4 величина $R_k + R_a : x^2$ колебается от 1,8 до 9. Для большей наглядности на диаграмме показаны также непосредственные значения x при предположении, что $R_k = 1,75$ и $R_a = 1,2$.

Пример: Найдем величину стенных отверстий, если $c = 0,02$; $\Sigma A = 60000$; $H = 5$ и $T_a = 15^\circ\text{C}$ (т. е. при $T_v = +5^\circ\text{C}$ температура T_s должна быть ниже $+20^\circ\text{C}$). Примем за величину $M 2,7 \text{ м}^2$ в одном случае и $1,9 \text{ м}^2$ во втором, чemu соответствуют $M \sqrt{H} : \Sigma A = 1,0 : 10^4$ и соответственно $0,7 : 10^4$.

Согласно рис. 13 $x = 0,53$ в первом случае и $x = 1,0$ во втором. Величина стеновых отверстий составляет $0,53 \cdot 2,7 = 1,4 \text{ м}^2$ в первом случае и $1,0 \cdot 1,9 = 1,9 \text{ м}^2$ во втором.

При $\frac{M}{\Sigma A} \sqrt{H} = 0,5 : 10^4$ вообще невозможно достичь $T_a = 15^\circ \text{C}$,

ибо вытяжная способность трубы является недостаточной.

Как показывает рис. 13 и приведенный пример, величина стеновых отверстий получается весьма значительной. Если еще требовать, чтобы $T_a = 12^\circ \text{C}$, то сечение стеновых отверстий должно во много раз превысить сечение вытяжной трубы. В случае, если длина стеновых отверстий равна общей длине окон, минимально приемлемая ширина отверстий получается та же, что и в случае наклоняемых окон, т. е. порядка 200 мм.

Принимая во внимание, что отверстия следует снабдить отбойными щитами, то следует, что стеновые отверстия являются далеко менее практическими, чем наклоняемые окна.

6. Режим влажности, теплоты и содержания CO_2 .

Внутренний режим помещения в зависимости от модуля c , наружной температуры и воздухообмена (Q) показан на рис. 14—20. Напомним, что здесь учитывается только влага непосредственных паровидных выделений скота.

Внутренняя и наружная температура показана на главных осях координат. Поэтому ось под углом 45° показывает разницу температур T , которая определяет количество наличного свободного тепла для аэрации ($1 - c \cdot T$). Это количество в свою очередь определяет необходимый обмен воздуха Q , а также необходимый для совершения этого обмена модуль вытяжной способности трубы.

Данные об обмене воздуха показаны поэтому на оси, наклоненной под углом 45 градусов. Воздухообмен выражен в кг на ккал свободного тепла. Чтобы дать более ясное представление о количестве подлежащего обмену воздуха, на последней строке показан также обмен в м^3 на 700 ккал/час, т. е. воздухообмен на условную дойную корову.

Чем интенсивнее обмен воздуха, тем больше охлаждается помещение и тем ближе приближается влажность внутреннего воздуха к влажности наружного. Так например, при наружной температуре в -10°C , зависимость внутреннего режима от интенсивности обмена воздуха (см. рис. 16) является такой, как показывает таблица 3.

При $T = 0^\circ \text{C}$ Q равно бесконечности и режим воздуха помещения должен стать тем же, что и режим наружного воздуха. Практически же обмен воздуха ограничивается вытяжной способностью установок аэрации. На рис. 14—20 пунктирной (наклонной) линией показан режим при $m = 0,088$. Это соответствует случаю, когда при $H = 5 \text{ м}$ сечение трубы составляет 3 дм^2 на 700 ккал/час. Такая труба обменивает при $T = 12^\circ \text{C}$ 0,305 кг воздуха на ккал свободного тепла, т. е. 213 кг/час = 171 $\text{м}^3/\text{час}$ на условную корову.

Таблица 3.

Режим помещения при $c = 0,01$ и $T_v = -10^\circ\text{C}$, в зависимости от аэрации.

Обмен воздуха		Темп. T_s ${}^\circ\text{C}$	Отн. влажность %	Содержание CO_2^1 l/m^3
кг/ккал	$\text{m}^3/700 \text{ ккал}$			
0,374	209	0	78	1,0
0,236	132	+ 5	70	1,5
0,167	94	+ 10	63	2,0
0,125	70	+ 15	56	2,5
0,097	54	+ 20	49	3,2

Графики относительной влажности вне этого предела, т. е. вне предела, достижимого мощной установкой аэрации, вычерчены пунктиром. Графики показаны пунктиром также в случаях, где температура помещения стоит ниже $+6^\circ\text{C}$ и содержание CO_2 превышает 2,5 л/м³.

Сплошными линиями и штриховкой показан, следовательно, физически достижимый и зоотехнически допускаемый (в случае крупного рогатого скота) режим помещения, при данном модуле теплопотерь через ограждающие конструкции (c).

Чем меньше величина c , т. е. чем выше теплоизоляция помещения, тем дальше простирается поле штриховки: тем лучшим и гигиеничным является режим помещения.

Роль теплоизоляции ограждающих конструкций выявляется более ярко рис. 21, где показаны пределы, при которых данное помещение еще может удовлетворять требованиям зоогигиены в случае крупного рогатого скота. В сущности это те же данные, которые показаны на рис. 4, только в ином представлении.

При $c = 0,006$ помещение обеспечивает приемлемый режим, пока наружная температура не падает ниже -22°C . При $c = 0,03$ пределом является уже мороз в $7,2^\circ\text{C}$.

В действительности эти пределы стоят еще уже вследствие наличия прочих источников влаги.

Аккумуляция влаги, тепла и CO_2 в помещении и влияние такой аккумуляции на режим помещения не учтены в данном изложении. Вследствие явления аккумуляции, перемены в наружном режиме сказываются на внутреннем лишь через некоторое время. Так например, если помещение вследствие сильного мороза или недостаточной аэрации имело в продолжение некоторого времени чрезмерную влажность, то после устранения этой причины помещение станет сухим лишь после удаления накопившейся влаги.

По той же причине помещение будет иметь некоторую инерцию и в режиме теплоты.

¹ по формуле $0,3 + 0,067 : \left(\frac{1}{T} - c \right)$.

Зависимость режима помещения от регулирования установок аэрации показывает рис. 22, при $c = 0,006; 0,01; 0,02$ и $0,03$. Режим помечен только в тех пределах, где еще выполнены требования зоогигиены. За модуль вытяжной способности трубы взят $m = 0,088$. Предположено, что при наружной температуре выше $+6^\circ\text{C}$ проветривание происходит непосредственно через открытые двери и окна.

Если теперь при $+6^\circ\text{C}$ закрыть двери, впускать свежий воздух через промежуток над наклоненными вовнутрь окнами и выводить использованный через вытяжную трубу, то температура помещения должна подняться. Этот подъем тем больше, чем меньше величина c . Так например, при $c = 0,01$ темп. T_s подымается на $0,9^\circ\text{C}$ выше чем при $c = 0,02$ (при равном m). При понижении наружной температуры понижается и внутренняя.

Температура помещения должна опять подняться, если при -2°C закрыть окна и впускать воздух через подоконные щели. Величина подъема определяется здесь величиной сопротивления щелей движению воздуха.

В данном случае предположено, что щели рассчитаны на $T_a = 20^\circ\text{C}$. При $c = 0,01$ модуль аэрации падает до $m = 0,037$ и T_s подымается до $+18^\circ\text{C}$. Как и в предыдущем случае, так и здесь, можно понизить температуру, если держать окна открытыми дольше. Более интенсивное теплоизлучение хорошо теплоизолированного помещения способствует при этом защите скота от простуды.

При $c = 0,03$ нельзя допускать $T_a = 20^\circ\text{C}$, при которой содержание CO_2 превосходит уровень $2,5 \text{ л}/\text{м}^3$.

Данное помещение требует поэтому более широких щелей для свежего воздуха, чтобы обеспечить $T_a = 16,8^\circ\text{C}$. Этому соответствует модуль $m = 0,03$.

Установки аэрации не требуют никакого регулирования кроме закрытия окон, пока наружная температура стоит выше -12°C . Лишь при большем морозе надо суживать свободное отверстие вытяжной трубы. Напомним здесь, что при этом не учитывается влияние ветра.

На рис. 22 показан режим при полностью открытых или полностью закрытых окнах, без того чтобы окна были открыты частично. В общем следует и в действительности стремиться к соблюдению этого правила, ибо вследствие неравноти сопротивлений движению воздуха названные две группы отверстий не могут эффективно функционировать параллельно.

Путем частичного открытия окон и регулирования клапана можно, однако, регулировать режим помещения и за пределы графика, показанные на рис. 22.

Пределы, которые достижимы хорошими установками аэрации ($m = 0,088$) и которые допустимы требованиями зоогигиены, показаны на рис. 23. Наиболее гибкое и лучшее решение дает всегда хорошо теплоизолированное помещение.

7. Символы и обозначения.

<i>A</i>	— выделяемое животным количество свободного тепла, т. е. та часть (75%) общего тепловыделения, которая используется для утепления и аэрации	
<i>A₀</i>	— общее выделение тепла животным	ккал/час
<i>a</i>	— часовая продукция свободного тепла на м ² площади пола	ккал/час
<i>B</i>	— выделение водяного пара животным (g/h)	ккал/м ² час
<i>b</i>	— разница в содержании водяного пара в воздухе	г/час
<i>c</i>	— модуль теплопотерь через ограждающие конструкции (доля количества свободного тепла, которая вытекает через ограждающие конструкции на град. разницы температур <i>T</i>)	%/град. или 1/град. л/час
<i>D</i>	— выделение CO ₂ животным (l/h)	
<i>d</i>	— разница в содержании CO ₂ в воздухе (l/kg)	л/кг
<i>r</i>	— объемный вес воздуха (kg/m ³)	кг/м ³
<i>Δr</i>	— разница в объемном весе воздуха	кг/м ³
<i>F</i>	— площадь ограждающих конструкций (m ²)	m ²
<i>H</i>	— высота вытяжной трубы (вертикальное расстояние от потолка помещения до верхнего края трубы)	m
<i>K</i>	— коэффициент теплопередачи ограждения	ккал/м ² час град.
<i>z</i>	— показатель теплопотерь помещения (потеря тепла через ограждающие конструкции в час на град разницы температур и на m ² площади пола)	ккал/м ² час град.
<i>L</i>	— ширина здания	m
<i>M</i>	— сечение вытяжной трубы	m ²
<i>M_a</i>	— сечение отверстий для впуска свежего воздуха	m ²
<i>m</i>	— модуль мощности системы аэрации (количество обмениваемого воздуха в кг на ккал свободного тепла при $\sqrt{T} = 1$)	кг/ккал $\sqrt{\text{град.}}$
<i>m_a</i>	— модуль <i>m</i> при закрытых окнах.	
<i>m_k</i>	— модуль <i>m</i> при открытых окнах.	
<i>n</i>	— теплоемкость воздуха	ккал/кг град.

Q	— обмен воздуха на ккал свободного тепла	кг/ккал
Q_h	— часовой обмен воздуха в килограммах	кг/час
V	— часовой обмен воздуха в кубических метрах	м ³ /час
R	— коэффициент аэродинамического сопротивления на основе скорости воздуха в вытяжной трубе	1/1
R_k	— коэффициент сопротивления вытяжной трубы	1/1
R_a	— коэффициент сопротивления отверстий для свежего воздуха	1/1
R_{k+a}	— общий коэф. сопротивления установок аэрации на основе скорости воздуха в трубе	1/1
S	— потери тепла через ограждения	ккал/час
T	— разница температур внутреннего и наружного воздуха в °С	град.
T_a	— разница температур при закрытых окнах	град.
T_k	— разница температур при открытых окнах	град.
T_s	— температура внутреннего воздуха	град.
T_v	— температура наружного воздуха	град.
x	— сечение отверстий для свежего воздуха в долях сечения вытяжной трубы	1/1

8. Сводка выводов работы «Тепловой и влажностный режим коровника».

1. Достаточная теплоизоляция и аэрация коровника необходимы как с точки зрения здоровья скота и продукции молока, так и с точки зрения защиты здания от сырости.
2. Теплоизоляция коровника должна быть достаточной, чтобы выделяемыми коровою 500 ккал/час возместить все теплопотери через ограждения и удалить путем аэрации 300 г водяного пара.
3. Чем выше теплоизоляция здания, тем эффективнее будет действие аэрации, и тем более приемлемым будет режим влажности и гигиеничности.
4. Теплопроводность стены и перекрытия должна быть ниже $K = 0,4$, т. е. толщина слоя легкой засыпки должна быть, по крайней мере, 20 см.
5. Утепляющий слой стены или перекрытия должен быть пароизолирован от конденсационной влаги слоем пергамина, толя или смолы.
6. Практичной кирпичной стеной коровника является стена Герарда или Адсера; деревянной же стеной — каркасно-засыпная.

7. Пароизоляция в стене или в перекрытии коровника должна иметь сопротивление паропроницанию не менее 40 ч м² мм рт/г.

8. Вытяжная труба должна иметь сечение не менее 2—3 дм² на животное и быть защищена от холода и влаги.

9. Проблемы аэрации коровника и защиты от влаги требуют исследования и испытания на практике.

* * *

*

Типы упомянутых стен показаны на рис. 25 и 26. Установка для впуска свежего воздуха и расположение слоев пароизоляции в стенах и перекрытиях показаны на рис. 27. Пример конструкции вытяжной трубы приведен на рис. 28 и пример конструкции на-клоняемого вовнутрь окна на рис. 29.

Vastutav toimetaja H. Oloot.

Tehniline toimetaja H. Kohu.

Korrektorid S. Palm ja A. Kalberg.

Ladumisele antud 21. VII 1951. Trükkimisele antud 3. XII 1951. Trükijarv 1000. Paber 54×84,1/16. Trükipoognaid 6. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 4,92. Arvutuspoognaid 4,76. MB-16957. Trükkoda „Hans Heidemann“, Tartu, Vallikraavi 4.

Tellimise nr. 2582.

На эстонском и русском языках,

Hind rbl. 1,90