

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Ehitusteaduskond
Keskkonnatehnika Instituut
Kütte ja ventilatsiooni õppetool

Reet Volt

**ÕHU TÖÖTLEMISE MEETODITE ANALÜÜS ALANDATUD
TEMPERATUURIGA TOIDUKÄITLEMISE RUUMIDES**

Magistritöö
EKK 80 LT

Juhendaja: professor Teet-Andrus Kõiv

Tallinn 2007

Eessõna

Käesoleva töö idee sai alguse peale TTÜ Toiduaineteinstituudi prof. Toomas Paalme „Ventilatsioon toiduainetetööstuses“ [1] ja insener Ants Viilupi „Ventilatsioon toidukäitlemise ruumides“ [2] ettekannetes käsitletud probleemidesse põhjalikumat süvenemist. Ekspertide sõnul on oluline üle vaadata ja hinnata nii kehtivaid nõudeid ja määrusi kui ka seda, kuidas saavutatakse sellistes tööruumides nõutud sisekliima vastavus Euroopa Liidu normatiivaktidele. Ülesanne tõstatub eriti teravalt selle tõttu, et enamikes nähtud lihatööstuse ventilatsiooniprojektides on projekterijad eiranud Head Ehitustava. Projektlahendustes ei ole kasutatud sissepuhkeõhu kuivatamist ning seetõttu antakse ruumidesse kevad-suvi-sügis perioodil peaaegu 100 %-lise niiskusega õhku. Sel kombel luuakse soodne keskkond mikroorganismide paljunemiseks ning nende levimiseks seadmetele ja sealt omakorda toodangusse. Kui sellele lisanduvad veel valed tehnilised lahendused, ebaõiged õhuvahetuse korraldamise alused ning ehitus-tehnoloogilised vead, siis seatakse tootja probleemide ette, kus hügieenilise tootmiskeskonna loomine on keeruline ja seotud põhjendamatult suurte kulutustega.

Kuigi hügieenilise tootmiskeskonna loomine on kahtlematult ülioluline kõikide toidutööstuste puhul, on käesoleva töö uurimisobjektiks peamiselt lihatööstus. Selle tööstusharu puhul on kogu tootmistsükli vältel tegemist lahtise toormega, mis aga on sisekeskkonna muutumise suhtes eriti tundlik. Värske liha on ideaalne valguline keskkond bakterite paljunemiseks, olles rikas toitainetest, mõõdukalt happeline ja vajalikult niiske. Isegi loomade tapatingimused võivad esitada tingimusi lihatööstuse sisekeskkonna kujundamise alustele. Isegi väikesed eksimused konstruktiivsetes lahendustes mõjutavad toidutooret.

Sisukord

1.Sissejuhatus	5
2. Nõutavad sisekliima parameetrid	
2.1 Seadusandluse poolt esitatavad nõuded sisekliimale.....	7
2.2 Liha töötlemise tehnoloogiast ja liha mikrobioloogiast tulevad nõuded sisekliimale.....	9
2.3. Ehituslikust ja üldtehnoloogilisest osast tulevad nõuded tootmisruumide sisekliimale.....	15
2.3.1. Üldnõuded.....	15
2.3.2 Veeauru kondenseerumine külmadele piirdepindadele ja toodangule.....	16
3. Niiskuseralduste ja õhuvahetuse määramine	19
3.1 Niiskuseraldused ruumi.....	19
3.1.1 Niiskuseralduste määramine inimestelt.....	19
3.1.2 Niiskuseralduste määramine põrandalt.....	20
3.1.2.1 Niiskuseralduse määramine põrandatelt tootmise ajal.....	20
3.1.2.2 Niiskuseralduse määramine põrandate pesemise ja kuivamise ajal.....	21
3.2 Ruumi soojusbilanss ja õhuvahetuse määramine.....	25
3.2.1 Soojusbilanss.....	25
3.2.2 Ruumis toimuvad protsessid.....	26
3.2.3 Õhuvahetuse määramise alused.....	35
3.2.4 Vajaliku õhuvahetuse määramine.....	39
4. Õhu töötlemise meetodid	42
4.1 Võimalikud kasutatavad ventilatsiooni lahendused.....	42
4.1.1 Üldine lähenemine õhutöötlemise meetodite leidmiseks.....	42
4.1.2 Erinevad talvised õhutöötlemise meetodite lahendused.....	43
4.1.3 Erinevad suvised õhutöötlemise meetodite lahendused.....	44
4.2 Leitud õhutöötlemissüsteemide lahendused.....	46
4.2.1 Süsteemi tööpõhimõte.....	50
5. Kokkuvõte ja järeldused	52
5.1 Kokkuvõte käesolevast tööst.....	52

5.2 Järeldused	53
5.3 Soovitused edaspidiseks tööks samas valdkonnas.....	54
Summary	55
Kasutatud kirjandus	56
LISAD	58-96

1. Sissejuhatus

Alandatud temperatuuriga toidukäitlemisruumide sisekliima projekteerimise vajalikeks lähteandmeteks on ruumi õhu suhteline niiskus (φ) ja temperatuur. Eeldades, et on lihtne välja selgitada kõik vajalikud sisekliima parameetrid, tuli selles siiski pettuda. Selgus, et nii Eestis kui ka teistes Euroopa Liidu liikmesriikides on seadusandlusega kindlaks määratud toiduainetetööstuse ruumides nõutavad temperatuurid, kuid vajalik õhu suhtelise niiskuse tase ruumides ja vastavad tehnoloogiast tulenevad nõuded puuduvad. Selleks, et välja selgitada lähtealuseid sisekliima parameetrite määramiseks tuleb järgida nii kehtivat seadusandlust kui ka hügieeni käsitlevaid nõudeid. Lisaks tuleb arvestada ka konstruktiivsetest lahendustest tulenevate eripäradega.

Samas, kuigi intervjuud lihatööstuse tehnoloogi hr. Priit Soosaarega ja Rakvere Lihakombinaadi toiduhügieeni peaspetsialisti hr. Marko Breiveliga ei andnud otseselt vajalikke lähteandmeid sisekliima kujundamiseks, aitasid need mõttevahetused valitud teemas tõstatuvaid probleeme seostada praktiliste kogemustega. Selgus, et tehnoloogid ja tootmisega tegelevad inimesed ei tunne insener-tehnilisi lahendusi. Seetõttu peab insener, kes esitab toiduainete käitlemise ruumide ventilatsiooni lahenduse, tundma vastava toiduaine käitlemise nõudeid piisava põhjalikkusega. Selliseid ruume on näiteks liha-, piima-, kalatööstuses, kulinaariaköörides, aiasaaduste töötlemise tööstustes jm. Esmapilgul sarnased tootmised on siiski äärmiselt spetsiifiliste tehnoloogiliste eripäradega ja seega nõuavad omaette lähenemist. Näiteks liha- ja kalatööstustes on peaaegu kogu tootmistsükli jooksul tegemist katmata toormega ja kõrge õhu niiskus loob soodsa keskkonna mikroorganismide aktiivseks paljunemiseks. Liiga madala õhu niiskuse puhul aga liha ja kala pind kuivab ning sellega langeb toodangu kvaliteet. Piimatööstuses on madala temperatuuriga ruumideks vaid laagerdus- ja säilituslaod. Nendes kõrge õhu niiskus tekitab küll lisakulutusi hallituse kõrvaldamiseks, aga madalam õhu niiskus ei ole eriliseks probleemiks, kui toore on pakendatud kilesse.

Siinkohal toon paar näidet... Näiteks, kui lihatööstuses ei peeta kinni loomade tapmise heast tavast, siis peab sisekliima vastama kõrgendatud nõudmistele. Kui loom on tapetud stressiseisundis, siis liha pH on tunduvalt kõrgem ja seega soodsamaks kasvukeskkonnaks patogeensetele mikroobidele. Samuti, kui jahutusseadmete torustikud on soojustatud mittepiisava soojustusega või on torustikud paigaldatud lahtiselt tootmisruumi. Sellisel juhul võib

mittepiisava soojustuse tõttu torustiku välispinnal tekkida kondensaat, mis on tootesse sattumisel bakteriaalse saastatuse allikas.

Käesolev töö sisaldab alandatud temperatuuriga toidukäitlemisruumi jaoks vajaminevate sisekliima kujundamise põhimõtete selgitamist, sisekliimat mõjutavate faktorite analüüsimist ning nende lähteandmete alusel sobivaima vajaliku sisekliima tagamise lahenduse leidmist. Töös on võrreldud erinevaid ventilatsiooniga niiskuse väljaviimise võimalusi tootmisruumist. Tootmisruumis on niiskuseralduste allikaks inimesed, põrandate pesemisel põrandale jääv veekiht ja toore. Peale niiskuse eraldub ja vabaneb ruumi ka soojus. Soojuseraldused ruumi aga tekivad inimestelt, valgustitelt, läbi piirdekonstruktsioonide ja tehnoloogilistelt seadmetelt. Kuid tsükliliselt eralduvaid soojushulki on alandatud sisetemperatuuriga ruumidest ventilatsiooniga eemaldada keeruline ja kulukas. Seetõttu kasutatakse praktikas selleks autonoomseid jahutusseadmeid, mida aga antud töö maht ei võimalda käsitleda. Antud töö käsitleb õhu töötlemise meetodeid. Erinevate variantide puhul selgitatakse sisekliima vastavus tehnoloogilistele vajadustele ning väljapakutud kuivatussüsteemide ühildamisvõimalused ventilatsioonisüsteemidega.

Töö põhineb kirjandusallikate teoreetilisel analüüsil ning võrdlusel siiani praktikas kasutatavaga. Teoreetilised andmed pärinevad teaduslikest artiklitest, eeskirjadest, käsiraamatutest. Rõhku on pööratud mitte ainult ventilatsioonialasele, vaid ka toiduhügieeni- ja veterinaariaalasele kirjandusele, et selgitada välja sisekliima kujundamise alused. Peale teoreetilise analüüsi, on tehtud praktilised mõõtmised ja arvutused lihatööstuse tootmisruumide põhjal. Tuleb arvestada sellega, et lihatööstuses on ka ruume, milledele tehnoloogilised protsessid esitavad täiesti erinevaid nõudeid. Oma magistritöö arvutuste teostamise aluseks võtsin mudelina suurima tehnoloogilise koormusega töötava madalatemperatuurilise lihatööstuse ruumi, milleks on lihavorstide tootmisruum.

Analüüsi lõpptulemusena on välja pakutud mõningad soovitused lihatööstuses sobiva ja nõuetele vastava sisekliima saavutamiseks.

2. Nõutavad sisekliima parameetrid

2.1 Seadusandluse poolt esitatavad nõuded sisekliimale

Eestis on tootmisruumide sisekliima määratud SOM 28.detsembri 1995.a. määrusega nr. 66 „Tööruumide mikrokliima tervisekaitse normid ja –eeskirjad“ TKNE-5/1995, [3] mis sisaldab tööruumi õhu temperatuuri, suhtelise niiskuse ja õhu liikumiskiiruse lubatavaid väärtusi. Alandatud temperatuuriga lihatööstuses on tegemist keskmise raskusega tööga. Keskmise raskusega töö puhul on määruses sätestatud optimaalseks õhu temperatuuriks +16...+19°C, ülemine lubatud temperatuuri piir alalisel töökohal võib olla +21°C ja alumine lubatud temperatuur +15°C, suhteline niiskus peab TKNE-5/1995 järgi jääma piiridesse 40-60 % ja mitte ületama 70 %. Antud määrusega on öeldud, et tööruumides, kus mikrokliima lubatavaid väärtusi ei ole võimalik kehtestada tootmisprotsessile esitatavate tehnoloogiliste nõuete, nende tagamise tehnilise saavutamatus või majanduslikult põhjendatud ebaotstarbekuse tõttu, tuleb ette näha abinõud töötajate kaitseks võimaliku ülekuumenemise või jahtumise eest: kliimaseade, õhkdušid, puhke- ja soojendusruumid, eririietus kaitseks kõrge või madala temperatuuri eest ja muud isikukaitsevahendid, töö- ja puhkerežiimi määramine jms. Selle määrusega peab arvestama töötajate töökohtade loomisel.

Eesti standard EVS 839:2003 [4] käsitleb ühiskondlike ja üldotstarbeliste ruumide sisekliima tingimusi. Selle järgi peab ruumiõhu niiskussisaldus olema eksploatatsiooniks ettenähtud piires, mis ei kahjusta inimese tervist, rahuldab tehnoloogilistele protsessidele esitatud nõudeid, väldib veeauru kondenseerumist konstruktsioonidel ning ei põhjusta niiskuskahjustusi ega mikroorganismide kasvu.

Euroopa parlamendi ja nõukogu määruses (EÜ) nr. 852/2004 [5] toiduhügieeni kohta on määratud ventilatsiooni üldnõuded toidukäitlemisruumidele. Nendes ruumides: „peab olema piisav loomuliku või mehaanilise ventilatsiooni võimalus. Tuleb vältida õhu mehaanilist liikumist saastunud alast puhtasse alasse. Ventilatsioonisüsteemid peavad olema konstrueeritud nii, et filtritele ja muudele puhastatavatele või vahetatavatele osadele oleks hea juurdepääs”. Seega peab ventilatsiooni õhuvoolu tase tagama töötajatele värske õhu juurdevoolu, samas peab ventilatsioonisüsteem olema projekteeritud nii, et oleks välditud bioaerosoolide edasikandumine

õhu teel töötlemisruumidesse. Toidukäitlemisruumides kasutatavaid ventilatsioonisüsteeme vaatame punktis 3.2.2.

Eelnevalt vaadeldud seadused ja määrused ei andnud konkreetsemaid lähteandmeid vajaliku sisekliima loomiseks lihatööstustes. Kuid selgus, et lihatööstused peavad järgima eelkõige Euroopa parlamendi ja nõukogu määrust (EÜ) nr. 853/2004 [6], millega sätestatakse loomset päritolu toidu hügieeni erireeglid. Määruses [6] on öeldud: „lõikamise, konditustamise, trimmimise, tükeldamise, pakendisse käärimise ja pakendamise ajal säilitatakse maksimaalselt lihakeha temperatuuri $+4^{\circ}\text{C}$, ümbritseva õhu temperatuuril maksimaalselt $+12^{\circ}\text{C}$ ”. Kuigi määrus ei sätesta tootmisruumide õhu normatiivset niiskustaset, saame selle aluseks võtta vajalike niiskusparameetrite leidmisel.

Lisaks on vaadatud Codex Alimentariust (standard) [16], mis annab soovituslikud nõuded tootmisruumide, seadmete ja varustuse hügieenile ning ventilatsioonile. Standardis on öeldud, et loomuliku või mehaanilise ventilatsiooniga peab olema välditud:

- liigsoojuse, niiskuse ja kondensatsiooni tekkimine
- õhk ei oleks saastatud tolmu või suitsuga
- õhu liikumine mustemast piirkonnast puhtamasse piirkonda

Kuna lihatööstuses on tegemist peaaegu kogu tootmistsükli jooksul katmata lahtise toormega, on toidukäitlemisettevõtetel keeruline saavutada nõuetele vastav sisekliima, kuid kindlasti on vaja kindlustada puhas toodang tarbijale. Järelkult kõikides eelnevalt toodud määrustes ja soovitustes esitatud nõuete saavutamisel peab toidukäitlemisruumides eelkõige kinni pidama Hea Tootmistavast (GMP) [7], mille abil tagatakse toidu kvaliteet. Hea Tootmistava põhikriteeriumiteks on, et :

- toit ei oleks toodetud allpool tootmiseks vajalike tingimuste taset
- toit ei oleks valmistatud, pakitud ega hoitud antisanitaarsetes tingimustes , mis võivad toitu saastata, mis omakorda võib kahjustada inimese tervist.

Peale Hea Tootmistava üldiste juhiste hügieenilise tootmiskeskonna saavutamiseks, on lihatööstuse sisekliima loomisel vaja arvestada Ohuanalüüsi ja Kriitiliste Kontrollpunktide Süsteemi (HACCP) [5; 8] eesmäärke, millised on :

- kontrollida ja vältida tootmises esinevaid probleeme

- kindlustada ohutu toidu tootmine toormest pakendamiseni

HACCP on riskide ennetamisel põhinev toiduohutussüsteem, ennetamaks ohtlike toiduainete jõudmist tarbijani. Selle aluseks on standardprogramm Codex Alimentarius.

Ka Ameerika Kütte, jahutuse ja õhu konditsioneerimise Inseneride ühingu poolt välja antud käsiraamat „ASHRAE“ [18] ei esita vajaminevaid lähteandmeid. ASHRAEs on käsitletud ja antud juhendeid tootmisruumide jahutamiseks kohtjahutitega ning on antud vajaminevad lähteandmed ladudele. Kuid antud töö maht ei hõlma kohtjahutitega ruumide allajahutamist. Ladudele vajalikud lähteandmed ühtisid ka veterinaariaalases kirjanduses [9] toodud andmetega.

Seega saime teada, et tootmisruumides peab olema ventilatsioon piisav ja vastama Hea Tootmistavale. Kuigi eelnevalt vaadeldud määrustest ja standarditest ei selgunud otseselt käesoleva töö ühe olulise parameeteri- tootmisruumide vajaliku suhtelise niiskuse (ϕ) väärtus, saame selle leida kui võtame aluseks Hea Tootmistava ja Euroopa parlamendi ja nõukogu määruse[6]. Kuid täpsemate lähtealuste saamiseks peab tundma ehituslikke lahendusi ja ruumi tehnoloogiat.

Ka konsulteerides tehnoloogidega, ei selgunud vajaminevad projekteerimise lähtealused, kuid selgus, et tuleb põhjalikult tunda tootmisruumi sisekeskkonda ja toidutooret (liha) mõjutavaid protsesse.

2.2. Liha töötlemise tehnoloogiast ja liha mikrobioloogiast tulenevad nõuded sisekliimale

Nii ASHRAE-st [18] kui ka veterinaariaalases kirjandusest [9] selgus ainult vajaminev õhu suhteline niiskus (ϕ) säilitusladudes. Õhu suhteline niiskus on laoruumides üheks olulisemaks teguriks, mis mõjutab hallituste arenemist. Liha happeline reaktsioon ei takista hallituste arenemist, vaid isegi soodustab seda. Eriti ulatuslikult arenevad hallitused ülesulanud lihal. Selgus, et sobivamaks õhu suhteliseks niiskuseks liha laoruumides on 85-90 % [9]. 95 % -lise suhtelise niiskuse puhul on hallituste arenemine väga intensiivne, alla 85-% korral aga täheldatakse liha värvi muutusi ja suurt lihakadu. Õhu tsirkulatsiooni abil on võimalik hallituste arenemist tunduvalt pidurdada. Kuid üldjuhul ei projekteerita ventilatsiooni alla 0°C ruumidesse. Eriti lopsakalt areneb hallitus lihal niisketes ja halvasti õhustatud ruumides. Hallituste arenemine lihal oli takistatud seda suuremal määral, mida intensiivsem oli õhu

liikumine laoruumis. Tuleb aga arvestada, et intensiivne õhu tsirkulatsioon ja ventilatsioon põhjustavad rikkalikumat hapniku juurdepääsu laos säilitavatele produktidele, mis aga omakorda põhjustab rasvade kiiremat rääsumist.

Samas näiteks juustutööstuse soolamisruumides ei ole piiravat tingimust õhu suhtelise niiskuse lubatavate väärtuste kohta ruumis. Seega saab niiskust hoida hallituse kasvu pärssivas 50-60 % piires. Optimaalne sisekliima juustutööstuse soolamisruumis on temperatuur $+14^{\circ}\text{C}$ ja õhu suhteline niiskus 65 %. Juustu laos ei tohi niiskus liiga madalale langeda, mis võib põhjustada toodangu kuivamist. Kuid optimaalsed sisekliima parameetrid juustutööstuse laagerduslaos kiletatud toodangu puhul on $+8\dots+12^{\circ}\text{C}$ ja 60 % ja säilituslaos on $+4\dots+6^{\circ}\text{C}$ ja 60 %. Samas kalatööstuses värske kala laos peab suhtelise niiskuse tase olema vähemalt 95%. Niiskuse langemisel alla antud väärtuse, hakkab kala soomus kuivama. Selline olukord põhjustab toodangu kvaliteedi langust.

Selgus, et hallitusseened arenevad väga intensiivselt õhuniiskuse 95 % juures. Sellised ideaalsed tingimused hallitusseente arenemiseks esinevad toidukäitlemise ruumides, kus ventilatsioon ei ole piisav. Kuid lihatöötlemisruumid eeldavad suurt õhu liikumist, mis ei ole sobilik hallitusseentele. Seega hallitusseened ei oma liha töötlemisel suurt ohtu, kuid on ohtlikud säilitusladudes.

Liha on soodsaks arenemiskeskkonnaks mikroobidele, mis soodsa temperatuuri puhul paljunevad kiiresti ja muudavad liha toiduks kõlbmatuks [9]. Seega peab mikroobide arenemise piiramiseks arvestama juba looma tapmise tingimustega, kuna sellest momendist muutub lihaskoe reaktsioon. Liha reaktsioon muutub happelisemaks- vesiniku ionide kontsentratsioon lihas suureneb. Eluslooma puhul on lihaste pH 7,1-7,2, kuid juba üks tund pärast looma tapmist on lihaste pH langenud 6,4-6,2-ni; 24 tunni järel langeb lihaste pH väärtus kuni 5,6-ni, üksikutel juhtudel isegi kuni 5,4-ni.

Liha happeline reaktsioon aeglustab tunduvalt lihas leiduvate mikroobide paljunemist. Niisugust liha on võimalik pikemat aega säilitada värskena, eriti siis, kui säilitustingimused on head. Vastandina sellele jääb haigelt ja väsinult tapetud loomade liha pH 7,0-6,6 piiridesse, mis loob mikroobidele arenemiseks soodsad tingimused.

Looma tapmisel ja liha töötlemisel liha saastub vähemal või suuremal määral mikroobidega sõltuvalt sellest, kuidas järgitakse hügieenilisi tingimusi liha käitlemisel. Õhus, vees, ruumides ja liha töötlemise riistadel ning seadmetel esineb alati mikroobe, seega liha saastumist on raske vältida. Selleks, et vähendada liha saastumist patogeensete mikroobidega liha töötlemisel ja säilitamisel, tuleb ilmingimata luua ebasoodne keskkond mikroobide paljunemiseks.

Lisaks peab tootja jälgima ja kinni pidama nii Hea Tootja Tavast kui ka Ohuanalüüsi ja Kriitiliste Kontrollpunktide Süsteemi nõuetest. Kui on töötajatele selgeks tehtud hügieeni põhitõed, siis juba toorme töötlemise algstaadiumis vähendatakse lihakeha saastumise riski.

Liha riknemise kiirus sõltub oluliselt liha reaktsioonist (pH), lihas leiduvate mikroobide liigist ja rohkusest, samuti säilitamisruumi temperatuurist ja õhu suhtelisest niiskusest (ϕ). Mikroobid saavad paljuneda järgmistel tingimustel [10]:

- toitainete olemasolu – kindlustamaks mikroobide kasvuks vajalikku energiat ja toitu
- temperatuur – mikroobid võivad olenevalt liigist paljuneda väga suurtes temperatuuride vahemikus (-5 kuni +90°C). Mõned jaelembelised nn. psührotroofsed patogeendid nagu *Clostridium botulinium*, *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogenes* võivad paljuneda ka alla +8 °C juures, kuigi kasv on siis aeglustunud.
- keskkonna happelisus e. pH – bakteritele on sobivaim neutraalne (pH 7) ja sellele lähedane keskkond, hallitusseened eelistavad mõnevõrra happelisemat keskkonda. Kui keskkonna pH on alla 4,5, siis bakterite paljunemine on pärsitud. Eelnevast selgus, et lihakehal on pH väärtus keskmiselt 5,6, üksikutel juhtudel 5,4, järelikult tuleb arvestada ka liha pH-ga.
- vee aktiivsus (a_w), s.o vaba vee olemasolu – soolatud, magusas ja külmutatud toidus olev vesi on mikroobidele kättesaamatu, mistõttu mikroobid neis toitudes ei kasva või kasvavad aeglaselt.
- aeg – mikroobide kasvuks on peale sobivate tingimuste vaja aega. Mikroobide generatsiooni aeg sõltub patogeeni liigist ja kasvukeskkonna temperatuurist.

Kõigepealt selgitame vee aktiivsuse mõistet. a_w – vee aktiivsus (vaba vee olemasolek) [11; 14] on hügrokoopse materjalil või kehas oleva tasakaalulist ja keemiliselt mitteseotud veehulka kajastav dimensioonitu suurus, kusjuures $a_w = 0$ vastab absoluutselt veevaba aine ja $a_w = 1$ vastab puhtale veele. Vee aktiivsuse mõõtmine põhineb tasakaalulise õhuniiskuse mõõtmisel. Vee

aktiivsus on tavaliselt defineeritud kui tasakaalulise veeauru osarõhu suhe pinna kohal tasakaalulisse veeaururõhku puhta vee kohal ($T = \text{const}$).

Ainete vee aktiivsus vastab suhtelisele veekogusele materjalis, mis on avaldatud valemiga :

$$a_w = \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

kus,

p – veeauru osarõhk õhus materjali kohal, Pa;

p_0 – veeauru osarõhk puhta vee püürpinnal samal temperatuuril, Pa.

Vee aktiivsuse mõiste leiab rakendust eelkõige toiduainete tehnoloogias, kus mikroorganismide kasvu kiirust iseloomustatakse erinevate toiduainete vee aktiivsusega. Vee aktiivsuse alandamisega on võimalik aeglustada mikrobioloogilise kasvu kiirust ja ühtlasi pikendada toiduainete säilimise aega.

Vee aktiivsuse juurde pöördume veel ehituslikust ja üldtehnoloogilisest osast tulenevate nõuete osas (pt. 2.3.1), kus küll ei kasuta mõistet vee aktiivsus (a_w), vaid käsitleme samasisuliselt mõistet õhu suhteline niiskus (φ) toorme kohal ja konstruktsiooni püürpinnal. Selle saame valemiga (2), kui vee aktiivsuse korrutame 100-ga.

$$\varphi = a_w \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

Tabelis 1 on toodud võrdlus toore liha ja kuivatatud liha vee aktiivsuse kohta.

Tabel 1. Toore liha ja kuivatatud liha vee aktiivsuse võrdlus

Aine	a_w
Toores liha	0,98
Kuivatatud liha	0,7

Allolevas tabelis 2 kajastuvad liha mõjutavate patogeensete mikroorganismide vee aktiivsuse (a_w) kasvupiirkonnad pindade kohal, millede põhjalikumal analüüsimisel selguvad lihatööstuse toodangut ohustavate mikroorganismide nimetused ja millisest suurema õhu suhtelise niiskuse väärtuse juures on vastava mikroorganismi jaoks sobivaim kasvupiirkond.

Tabel 2. Patogeensete mikroobide kasvupiirkonnad [1,12]

Organism	Eksisteerimistemperatuuripiirkond °C	pH väärtus	a _w piirkond
<i>Salmonella spp.</i>	6,5-47	4,5- ?	>0,95
<i>Clostridium botulinum</i> Nonproteolytic B			
E	5- ?	(b)	NR (c)
F	3,3- 15-30	(b)	>0.965
	4-?	(b)	NR (c)
<i>Staphylococcus aureus</i>	7-45	4,2-9,3	>0,86
<i>Campylobacter jejuni</i>	25-42	5,5-8	NR
<i>Yersinia enterocolitica</i>	1-44	4,4-9	NR
<i>Y.pseudotuberculosis</i>	5-43	(b)	NR
<i>Listeria monocytogenes</i>	2-45	4,8-9,6	>0,95 (d)
<i>Vibrio cholerae</i> O1	8-42	6-9,6	>0,95
<i>V.cholerae</i> non-O1	(b)	(b)	(b)
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	12,8-40	5-9,6	>0,94
<i>Clostridium perfringens</i>	10-52	5,5-8	>0,93
<i>Bacillus cereus</i>	10-49	4,9-9,3	>0,95
<i>Escherichia Coli</i>	2,45-45	4,6-9,5	>0,935
<i>Shigella spp.</i>	>8-<45	?-9-11	NR
<i>Streptococcus pyogenes</i>	<10-<45	4,8-<9,2	NR

(a)- *Salmonella* liiki kuuluvate hulgas võib a_w madalaim piiri liikide kasv varieeruda näiteks *Salmonella newport* = 0,941, *Salmonella typhimurium* = 0,945

Salmonella newport on inimesele patogeenne mikroob, mis ei hävi liha soolamisel ja suitsetamisel.

(b) Väärtus, samuti mitte kindlaks tehtud, on tõenäoliselt lähedane teiste selle liigi genoomidele.

(c) NR märgib, et mitte ühtegi avaldatud väärtust ei leitud, aga tegevusetult elutseva rakule a_w > 0,95 on sobiv.

(d) minimaalne a_w teadmata.

Tootmisruumi vajaliku suhtelise niiskuse selgitamiseks võtame aluseks tabeli 2. Selle järgi selguvad liha kvaliteeti ohustavad patogeensed mikroorganismid, kui liha asub tootmisruumi temperatuuriga +12°C ja kui toorme pH on keskmiselt 5,6. Kuna tabelis on määratud ära ka antud patogeense mikroorganismi a_w piirkond, siis kasutades valemit (2) saame teada φ_{max}, mida ületada ei tohi.

Seega analüüsid tabelit 2, selgub:

Campylobacter jejuni, *Vibrio parahaemolyticus* on käsitlemisest välja jäetud, kuna ei avalda ohtu alandatud temperatuuridega toidukäitlemisruumide mikrokliimale, sest antud patogeensete mikroobide jaoks on eluspüsimiseks vajalik ruumitemperatuur kõrgem kui lihatööstuses hoitav +12°C [9]

Staphylococcus aureus ($a_w > 0,86$) areneb toatemperatuuril, seega pole eriti ohtlik lihatööstuses liha töötlemisprotsessis. Temperatuuris +5...+6°C on stafülokokkide paljunemine ja toksiini moodustumine tugevasti pidurdatud. *S. Aureus* esineb enamasti piimatööstuses kõrgematel temperatuuridel.

Vibrio cholerae O1, *V. cholerae non O1* ($a_w > 0,95$) ja *Shigella spp.* ($a_w > 0,95$) eksisteerivad kõrgema pH puhul kui selleks on lihakeha pH 5,6

Clostridium perfringens ($a_w > 0,93$) ja *Bacillus cereus* ($a_w > 0,95$) eksisteerivad kõrgematel temperatuuridel, kui on lihatööstuses kasutusel

Clostridium botulinum ($a_w > 0,965$) ei arene värskel lihal, küll aga lihasaadustes nende pikemaajalisel säilitamisel, eriti soodsad tingimused kujunevad *Cl. Botulinum*'i paljunemiseks hermeetiliselt suletud konservides. Optimaalne temperatuur mikroobi arenemiseks ja toksiini redutseerimiseks on +30 kuni +37°C. *Cl.botulinum*'i paljunemine ja toksiini moodustumine aeglustuvad temperatuuri langemisel; +4°C juures lakkab toksiini moodustumine.

Salmonella perekonda kuuluvad mikroobid on väliskeskkonna tingimuste suhtes võrdlemisi resistentsed. Ebasoodsate säilitamistingimuste korral rikastub liha *salmonellaga*. Sel puhul võib liha säilitada normaalse ilme ja lõhna. *S.typhimurium* ($a_w = 0,945$) on üheks sagedasemaks toidumürgitust põhjustavaks mikroobiks inimestel, kutsudes mõnikord esile raskesti kulgevat haigust. On täheldatud, et inimene võib pärast tervistumist jääda selle mikroobi püsieritajaks.

Escherichia Coli ($a_w = 0,935$) võib inimestel esile kutsuda toidumürgitust. Lihakeha pH =5,6 ja töötlemisruumide madalad temperatuurid (+12°C) loovad soodsad tingimused *E.Coli* paljunemiseks.

Tabeli 2 põhjal saime teada patogeensete mikroobide eksisteerimistingimuste järgi lihatööstuse sisekliima parameetrid. Patogeensete mikroobide a_w väärtuse järgi saab leida sisekeskkonna jaoks vajaliku maksimaalse niiskuseväärtuse, et pindadel, tööpindade lähedal ja ruumi sisepindadel ei tekiks olukorda, kus veeaktiivsus ületaks neid piire. Nägime, et toodangut ohustavate patogeensete mikroobide a_w väärtused jäävad üle 95 %. Seega antud väärtuste alusel

võiks ruumis õhu suhtelist niiskust hoida lihakeha töötlemisruumides piirides 93..94 %. Kuid lisaks saadud väärtusele, mis sai leitud patogeensete mikroobide eksisteerimistingimusi analüüsidest, tuleb arvestada ka teisi tööruumi mõjutavaid faktoreid.

2.3. Ehituslikust ja tehnoloogilisest osast tulenevad nõuded tootmisruumide sisekliimale

2.3.1. Üldnõuded

Eelnevalt sai analüüsitud erinevate patogeensete mikroorganismide mõju toormele ja leitud maksimaalne lubatud suhteline niiskus (φ_{\max}), mille ületamisel luuakse ideaalne keskkond patogeensete mikroorganismide arenemiseks toormel.

Allolevas peatükis aga analüüsitakse ja leitakse kuidas hea ehitustava eiramine mõjutab tootmisruumi sisekliima lähtealuseid.

Tootmishoone peab [13]:

- Kaitsma tootmiskeskonda välise saastainete eest
- Kaitsma tootmiskeskonda mikroorganismidega saastumise eest
- Kindlustama ohutu ja meeldiva töökeskkonna
- Kaitsma töötajaid väliskeskonna mõjude eest

Samas näeb hea ehitustava ka ette, et:

- Hoones peab hügieen olema tagatav võimalikult lihtsate meetmetega
- Ehitis peab olema hinnalt soodne (sh vajaliku sisekliima tagamise süsteemid)

Konstruktiivsete lahendustega on tehtud sageli vigu, mida ei saa heastada ventilatsiooniga. Näiteks on jahutusseadmete torustikud soojustatud mittepiisava soojustusega või on torustikud paigaldatud lahtiselt tootmisruumi. Sellega on jämedalt eiratud mõlemal puhul nii head Ehitustava kui ka Hea Tootmistava. Jahutustorustiku mittepiisava soojustuse tõttu võib torustiku välispinnal tekkida kondensaad, mis on tootesse sattumisel bakteriaalse saastatuse allikas. Lisaks võib kõrvuti asetsevates tootmisruumides tekkida halva seinasoojustuse ja selle valesti paigaldamise tulemusena ehituslikud vead, mille negatiivset mõju tootmisruumidele analüüsimegi järgmises punktis

2.3.2 Veeauru kondenseerumine külmadel piirete pindadel ja toodangul

Veeauru kondenseerumine konstruktsiooni pinnale (ka konstruktsiooni sisemistele kihtidele) leiab aset siis, kui pinna temperatuur langeb alla õhu kastepunkti temperatuuri. Lihatoöstuse tootmisruumides on madalad ruumitemperatuurid ja kõrge suhteline niiskus, millest tulenevalt ruumi kastepunkti väärtus on lähedane ruumi õhu temperatuurile. Näiteks ruumiõhu parameetrite $+12^{\circ}\text{C}$ ja $\varphi = 93\%$ juures on kastepunkti temperatuur $+10,9^{\circ}\text{C}$. Seetõttu on madala temperatuuriga toidutöötlemise ruumide projekteerimisel eriti oluline kontrollida piirdekonstruktsioonide sisepinna temperatuure kondensaadi tekkimise vältimiseks.

Kontrollimaks piirdekonstruktsiooni temperatuuri, kasutatakse järgnevat valemit [19; 20]:

$$t_{\text{sein}} = t_s - \frac{U_{\text{sein}}}{\alpha \times (t_s - t_v)} \quad (3),$$

kus

t_{sein} - piirdekonstruktsiooni ehk seina sisepinna temperatuur, $^{\circ}\text{C}$;

t_s - ruumiõhu kuivtermomeetri temperatuur, $^{\circ}\text{C}$;

U_{sein} - seina soojusjuhtivus, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$;

t_v – välisõhu temperatuur, $^{\circ}\text{C}$;

α – soojusülekanne tegur konstruktsiooni ja õhu vahel ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$).

Kondensaadi vältimiseks peaks seina soojusjuhtivus täitma järgmist tingimust :

$$U_{\text{sein}} < \frac{(t_s - t_{kp}) \times \alpha}{t_s - t_v} \quad (4)$$

kus

t_{kp} - ruumiõhu kastepunkti temperatuur, $^{\circ}\text{C}$

Näiteks kui maksimaalne õhu niiskus ruumis on 93 %, siis tingimuse (4) järgi selgub, et:

$$U_{\text{sein}} < \frac{(12 - 10,90) \times 8}{12 - (-26)}$$

$$U_{sein} < 0,23 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

kui aga maksimaalne õhu suhteline niiskus ruumis on vaid ühe protsendi võrra kõrgem ehk 94%, siis peab seina soojusjuhtivus olema juba oluliselt suurem ehk

$$U_{sein} < \frac{(12 - 11,07) \times 8}{12 - (-26)}$$

$$U_{sein} < 0,20 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

Senini on praktikas kujunenud, et konstruktsioonide tootjad pakuvad külmade ruumide seinte soojusjuhtivus 0,2 W/m²·°C. Sellise väärtuse juures saame ruumi sisepinna temperatuuriks:

$$t_{kp} = t_s - \frac{U_{sein} \times (t_s - t_v)}{\alpha}$$

seega,

$$t_{kp} = 12 - \frac{0,2 \times (12 - (-26))}{8} = 11,05 \text{ }^\circ\text{C}$$

Leitud ruumi sisepinna temperatuurile $t_{kp} = +11,05 \text{ }^\circ\text{C}$ vastava ruumiõhu suhtelise niiskuse ϕ ruumiõhu temperatuuri $t_s = +12 \text{ }^\circ\text{C}$ juures leiame h-x diagrammilt ja selleks väärtuseks saame 93,8 %.

Kuid õhu suhteliseks niiskuseks (ϕ) pinna kohal antud tingimuste juures saame h-x diagrammilt 87 %.

Seega veeauru kondenseerumise tingimusest piirdepindadele saime teada, et õhu suhteline niiskus ruumis ei ületaks 87 %. Seega võime tootmisruumis maksimaalseks õhu suhteliseks niiskuseks võtta 87 %. Õhu suhteline niiskus seinakonstruktsiooni pinna lähedal on 93 %

Tootmisruumi minimaalse lubatud niiskuse väärtuse leiame järgides Euroopa parlamendi ja nõukogu määrust (EÜ) nr. 853/2004 [6], mille järgi hoitakse liha temperatuuri mitte üle +4°C. Liha töötlemisel tootmisruumis tuleb vältida olukorda, kus liha pind hakkab kuivama. Etteantud parameetrite juures $t_s = +12^\circ\text{C}$ ja $t_{liha} = +4^\circ\text{C}$ selgub h-x diagrammilt, et niiskus kondenseerub lihal kui ruumis oleks suhteline niiskus 62 %. Kuna toodangu temperatuur tõuseb ruumis, siis eeldame pinnatemperatuuriks $t_{pind} = +5^\circ\text{C}$. Antud väärtuse ja küllastuskõvera lõikepunktist h-x diagrammil mööda x=constant joont üles liikudes kuni ruumi temperatuurini $t_s = +12^\circ\text{C}$, saame suhteliseks

niiskuseks $\varphi = 65 \%$. Sellise suhtelise niiskuse juures ei hakka liha pind veel kuivama ega muuda lühiajaliselt sellistes tingimustes viibides värvi. Leitud madalaima niiskuse väärtuse juures oleme taganud toodangu kvaliteedi.

Kokkuvõttena on tabelis 3 toodud mõningad lihatööstuse ruumid, nende temperatuurid ja ruumide suhteline niiskus.

Tabel 3. Mõningad lihatööstuses soovitatavad ruumide temperatuurid ja suhtelised niiskused

Ruumi nimetus	Ruumi temperatuur t, °C	Suhteline niiskus φ , %
Pool ja veerandrümpade hoiuruum	+2	85-90
Lihalõikusruum	+12	65-87
Lõigatud liha hoiuruum	+2	85-90
Plokkliha sulatusruum	+12	65-87
Lihavorstide tootmisruum	+12	65-87
Suitsulihatoodete valmistamise ruum	+12	65-87
Termilise töötlemise ruum	+2	85-90
Valmistoodete jahutusruum	+2...+4	85-90
Valmistoodete säilitusruum	+2...+4	85-90
Lihatoodete pakendamine	+12	65-87
Viilutatud toodete pakendamine	+4	85-90
Lihatoodete pakendamine (termokahanev)	+6	85-90
Säilitusruum	+2...+4	85-90

3. Niiskuseralduste ja õhuvahetuse määramine

3.1 Niiskuseraldused ruumi

Ventilatsioonisüsteemide dimensioneerimisel ning energiakulutuste arvutamisel on otsustava tähtsusega teada õigeid niiskuseraldusi ruumist. Alahinnatud niiskuseraldused ruumist viivad aladimensioneeritud seadmete valikuni, kuid samas seadmete üledimensioneerimine suurendab seadmete maksumust ning eksploatatsiooni kulusid.

Vajaliku energiakulu määramiseks ning energia kokkuhoiu võimaluste hindamiseks on vajalik teada alandatud temperatuuriga tööruumides toimuvaid aurustumisprotsesse ja niiskuseraldusi mõjutavaid tegureid.

Toodanguruumides tulevad olulised niiskuseraldused:

- Niiskuseraldused inimestelt
- Niiskuseraldused põrandapindadelt tootmise ja pesemise ajal
- Niiskuseraldused tehnilistelt seadmetelt pesemise ajal
- Niiskuseraldused toodangult

Euroopa parlamendi ja nõukogu määruse (EÜ) nr. 853/2004 [6] kohaselt peab liha säilitama temperatuuril +4°C. Kui liha tuuakse külmaost töötlemisruumi, mille temperatuur on +12°C ja õhu suhteline niiskus üle 65 %, siis h-x diagrammilt selgub, et lihalt ei eraldu niiskust ruumi, vaid pigem hakkab niiskus lihapinnale kondenseeruma. Seega ei arvesta niiskuseraldusi toodangult. Niiskuseraldused tehnilistelt seadmetelt arvestatakse koos niiskuseraldustega põrandatelt.

3.1.1 Niiskuseralduste määramine inimestelt

Kirjanduses avaldatud niiskuseralduste andmete põhjal [15] võib ühelt inimeselt keskmise raskusega tööl eralduvaks niiskushulgaks ajaühikus +12°C juures võtta 86 g/h.

Inimestelt eralduv niiskuskogus ajaühikus on avaldatav valemiga :

$$M_i = m_i \times n \quad (5),$$

kus

M_i – inimestelt eralduv niiskus , kg/s;

n - inimeste arv tootmisruumis;

m_i - ühelt inimeselt eralduv niiskus , kg/s.

3.1.2 Niiskuseralduste määramine põrandalt.

3.1.2.1 Niiskuseralduse määramine põrandatelt tootmise ajal

Ruumis õhu kontakteerumisel märja põrandapinnaga toimuv protsess koosneb soojuse ja massivahetusest, mille tulemusel õhu termodünaamilised omadused muutuvad. Aurustumisprotsess leiab aset, kui veeauru osarõhk veepinna kohal on kõrgem veeauru osarõhust ruumi õhus. Massi vahetus vee ja õhu vahel toimub molekulide liikumise ehk diffusiooni teel.

Nagu peatükis 3.1 selgus, on niiskuseralduste analüüsimisel oluline arvestada märja põrandaga. Põrandate pesemise ajal sellele sattuv õhuke veekiht jahtub mõne aja möödudesi õhu märja termomeetri temperatuurini, kuna vee aurustumiseks vajalik lisasoojus puudub. Seejärel hakkab õhuke veekiht käituma adiabaatsele aurustumisprotsessile vastavalt. Niiskuseraldused vähenevad sellega oluliselt ning aurustumiseks vajalik soojus võetakse täielikult õhust. Adiabaatne aurustumisprotsess leiab aset, kui õhu kuivtermomeetri temperatuur t_a on kõrgem veepinna temperatuurist t_p ning veepinna temperatuur on võrdne õhu märja termomeetri temperatuuriga t_m ehk $t_a > t_p = t_m$. Sellisel juhul toimub õhu niiskussisalduse suurenemine. Adiabaatset aurustumisprotsessi võib lugeda tasakaaluprotsessiks, kus ilmne soojus antakse konvektsiooni ja kiirgusena veele ning sama kogus soojust tuleb tagasi ruumi varjatud soojusena ehk soojuskogusena, mis on vajalik vee aurustumiseks. Antud olukorras võetakse vajalik soojus õhult ning on vaja anda varjatud soojusena tagasi õhule, et hoida vedeliku ja õhu temperatuurid muutumatutena [21].

Tootmise ajal ruumi põrandalt eralduvat niiskuskogust saab arvutada lihtsustatud valemiga [21]

$$M_{põrand} = 6,5 \times 10^{-3} \times (t_a - t_m) \times A_{põrand} \quad (6),$$

kus

$M_{põrand}$ – põrandalt eralduv niiskus, kg/h;

t_a – ruumi õhutemperatuur, °C;

t_m – märja termomeetri temperatuur, °C.

$A_{p\text{örand}}$ – märja pörandi pindala, m^2 .

Selleks, et teada ruumi eralduvat niiskust ühes sekundis, saame valemi (6) teisendada valemiks

$$M_{p\text{örand}} = \frac{6,5 \times 10^{-3} \times (t_a - t_m) \times A_{p\text{örand}}}{3600} \quad (6.1)$$

kus

$M_{p\text{örand}}$ – pörandalt eralduv niiskus, kg/s .

Tootmisruumides on 7-10 cm paksune betoonpörand. Pörandi pinnatemperatuur on ligilähedane märja termomeetri temperatuurile $+10,1^\circ C$, kui õhu temperatuur tootmisruumis on $+12^\circ C$ ja õhu suhteline niiskus ruumis tootmise ajal on 76 %. Arvutuste tulemusena selgub, et pörandalt eralduv aurustusprotsessi korral 0,75 kg/h niiskust, millele lisandub veel inimestelt eralduv 0,43 kg/h , mis teeb kokku ruumis eralduvaks summaarseks niiskuskoguseks tunnis 1,18 kg/h .

Adiabaatses protsessis eralduv niiskushulk ajaühikus on toodud lisas 1.

3.1.2.2 Niiskuseralduse määramine pörandate pesemise ja kuivamise ajal

Vastavalt Heale Tootmistavale ei ole lubatud toidutoorme käitlemine ja pörandate pesemine ühel ajal. Seega lihatööstuses ei saa esineda olukorda, kus samas ruumis toimub üheaegselt tootmine ja pörandate pesu, järelikult on vaja analüüsida pörandate pesemis-kuivamistsükli eraldi.

Tootmise ajal toimus pörandalt adiabaatne aurustumine. Pesemise ja kuivamise ajal pörandale jääv õhuke veekiht hakkab kätuma mitteisotermsele aurustumisprotsessile vastavalt. Mitteisotermises aurustumisprotsessis on veepinna temperatuur kõrgem õhu kuivtermomeetri temperatuurist ning mõlemad on suuremad kui õhu märja termomeetri temperatuur $t_a < t_p > t_m$. Toimub õhu soojendamise ja niisutamise ning vee jahutamise. Mitteisotermises aurustumisprotsessis on tingituna veeauru osarõhkude vahe suurenemisest vedeliku pinnal ja õhus aurustumise intensiivsus oluliselt suurem võrreldes adiabaatse aurustumisprotsessiga. Suureneb ka vee aurustumiseks vajalik soojushulk.

Mitteisotermises aurustumisprotsessis saab aurustumisintensiivsuse saab ligikaudselt määrata empiirilise seosega [21]

$$j = (a_{tp} + 0,131 \times v_{\delta}) \times (p_{a,p} - p_{a,\delta}) \quad kg/(m^2 \cdot h) \quad (7),$$

kus

$p_{a,p}$, $p_{a,\delta}$ - veeaurude osarõhud õhus ja veeaurudega täielikult küllastunud õhus veepinna temperatuuril, kPa;

a_{tp} - tegur, mis oleneb veepinnatemperatuurist. (Lihatööstuse puhul jäävad ruumi temperatuurid alla 30 °C, seega võib a_{tp} võtta 0,216)

Kuna $(p_{a,p} - p_{a,\delta}) > 0$, siis on soojus- ja niiskusvool vee pinnalt ruumi. Vee aurustumist mõjutab suurel määral õhu liikumiskiirus veepinna kohal [21].

Ligikaudu saab veeauru osarõhu veeauruga küllastunud niiskes õhus leida empiirilise seosega [21]

$$p_{a,p} = 479 + (11,52 + 1,62 \times t)^2 \quad (8),$$

kus

t – õhu temperatuur, °C.

Põrandalt eralduvat niiskust ruumi põranda pesemise järel saab arvutada valemiga [21]

$$M_{põrand} = j \times A_{põrand} \quad (9),$$

kus

$M_{põrand}$ – põrandalt eralduv niiskus, kg/h;

$A_{põrand}$ – märja põranda pindala, m²;

ehk

$$M_{põrand} = \frac{(0,216 + 0,131 \times v_{\delta}) \times (p_{a,p} - p_{a,\delta}) \times A_{põrand}}{3600} \quad (9.1),$$

kus

$M_{põrand}$ – põrandalt eralduv niiskus, kg/s.

Kogemuslikult on tootjatel teada, et põrandad ei saa piisavalt kuivaks kui nendelt peale pesemist ei korjata mehaaniliselt võimalikult palju vett kokku (näiteks põrandalt kogutakse üleliigne vesi kokku spetsiaalse põrandakuivatusharjaga). Eeldame, et peale mehaanilist kuivatamist põrandakuivatusharjaga jääb põrandale ca. 0,1 mm paksune veekiht, mis on tingitud ebataasustest põrandal. Sellistel eeldustel jääb 58 m² suuruse pinnaga põrandale 5,8 kg vett. Intervjuudest tehnoloog hr. Priit Soosaarega ja Rakvere Lihakombinaadi toiduhügieeni

peaspetsialisti hr. Marko Breiveliga selgus, põrandat pestakse kõigepealt puhta veega, mille temperatuur jääb vahemikku 55-60°C. Edasi pestakse põrandat desinfitseeriva vahendiga veetemperatuuril 35°C. Põrandalt eralduva niiskuskoguse arvutamise aluseks võtame kohapealsed mõõtmistulemused, mis kajastuvad tabelis 4.

Mitteisotermse aurustumisprotsessi arvutused kohapealsete mõõtmistulemuste järgi on toodud lisas 2.

Arvutustes kasutatud situatsiooni kirjeldus

Tabelis 4 on näidatud kuivamisprotsessi algusest kuni kuivamise esimese tunni lõpuni eralduvad niiskuskogused (antud tabeli arvutuskäik on toodud lisas 3). Arvutuste aluseks on mõõtmised lihatööstuse vorstide valmistamisruumis pindalaga 58 m². Mõõdetavas ruumis põranda pesemise ja kuivamise ajal autonoomne jahutus ei töötanud. Mõõdistatud õhu voolutase tootmisruumis oli sissepuhe +213 l/s ja väljatõmme -212 l/s ning tegemist oli seguneva õhuvahetusega. Mõõdistamine toimus 08.02.2007 .a., mõõdistatud välisõhu temperatuur oli $t_v = -18,5$ °C

Tootmise ajal oli mõõdetud põrandatemperatuur +11 °C, kuuma veega põranda pesemise ajal tõusis põrandatemperatuur +16 °C-ni, ruumiõhu temperatuur tõusis +15,5 °C-ni ja õhu suhteliseks niiskuseks ruumis oli 72 %. Antud olukord kestis ruumis ligikaudu 10 minutit. Aurustumine põrandalt toimub mitteisotermse protsessina. Kui kasutada arvutustel valemit (9.1), saame põrandalt aurustuvaks niiskuskoguseks 1,296 kg, millele lisandub veel kahelt töötajalt eralduv niiskuskoguseks 0,029 kg, mis arvutatakse vastavalt valemile (5). Seega kokku ruumist eralduvaks niiskushulgaks on inimestelt aurustuva niiskuskoguse ja põrandalt aurustuva niiskuskoguse algebraline summa ehk 1,325 kg. Peale pesemise lõppu tõmmatakse põrandakuivatusharjaga üleliigne veekiht kokku, edasi hakkab toimuma põranda kuivamine. Ruumi eralduvaks niiskuskoguseks võetakse ainult põrandalt kuivamise ajal eralduv niiskuskogus, kuivamise ajal ruumis enam inimesi ei viibi. Kümme minutit peale pesemise lõppu on nii ruumi temperatuur kui ka põrandatemperatuur jäänud samaks, mis pesemise ajal, aga õhu suhteline niiskus on langenud 72-lt %-lt 66,1 %-ni. Selline õhu suhtelise niiskuse langus aga intensiivistab põranda kuivamist, sest kuivem õhk seob rohkem niiskust, mida on selgesti näha ka allolevas tabelis 4. 20 minuti möödudes peale põranda pesemise lõppu on põranda temperatuur langenud +16°C -lt +15°C-ni ja ruumiõhu temperatuur on langenud +15,5°C-lt +14,5°C-ni, mõõdetud õhu suhteline niiskus on 64 %. Sellistes tingimustes järgmise 10 minuti

jooksul põrandalt aurustuv niiskuskogus on 1,53 kg. Edasi ei toimu põrandalt aurustumine enam mitteisotermsele aurustumisele vaid adiabaatsele aurustumisprotsessile vastavalt ja seega aurustumise intensiivsus väheneb veelgi, kuna põranda temperatuur on langenud ruumiõhu temperatuurist allapoole. Liites esimeses tunnis ruumist eraldunud niiskuskogused kokku, saame tulemuseks 5,105 kg, kuid eelnevalt eeldasime, et 58 m suurusele põrandale jääb 5,8 kg vett. Seega põrandad ei saa täiesti kuivaks ühe tunni jooksul.

Tabel 4. Põrandalt eralduv niiskuskogus erinevates pesemise ja kuivamise faasides.

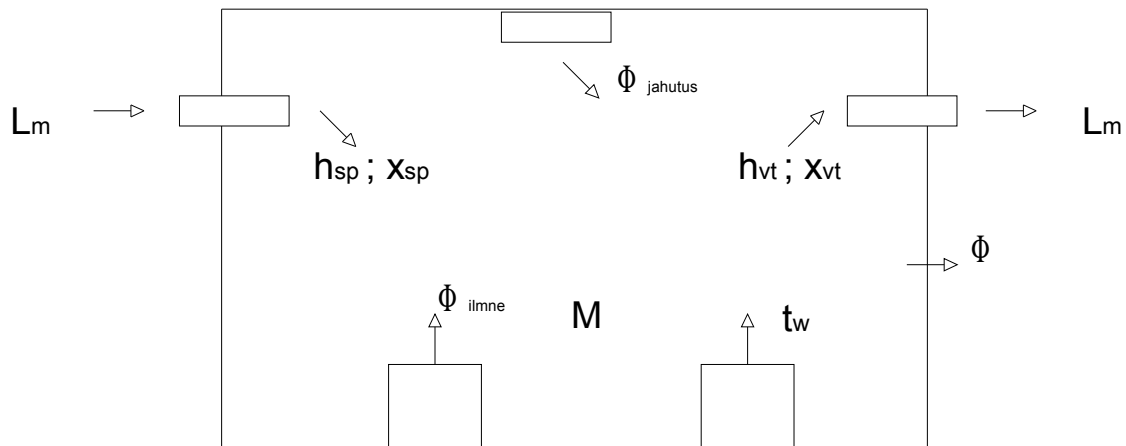
	Mõõtmise kellaeg	Põranda temperatuur mõõtekohas, °C	Õhu temperatuur, °C	φ , %	Protsessi kirjeldus	Niiskuse allikas	Ajavahemikus eralduv niiskus, kg (Lisa 3)
Pesemine	17.20-17.30	+16	+15,5	72	Mitteisotermne aurustumine	põrand	1,296
Pesemine						inimesed (2tk)	0,029
Kuivamine	17.30-17.40	+15	+14,5	66,1	Mitteisotermne aurustumine	põrand	1,548
Kuivamine	17.40-17.50	+15	+14	64	Mitteisotermne aurustumine	põrand	1,530
Kuivamine	17.50-18.20	+13	+14	63	Adiabaatne aurustumine	põrand	0,702

Niiskuseraldused kokku 5,105 kg

Visuaalselt oli põrand peale ühe tunni möödumist enamjaolt kuivanud, kuid üksikud märjad tsoonid eksisteerisid. Pesemise aega pikendades anname põrandasse suurema soojushulga ja seega pikendame mitteisotermse aurustumise perioodi ning sellega kiirendame põrandate kuivamist.

3.2 Ruumi soojusbilanss ja õhuvahetuse määramine

3.2.1 Soojusbilanss



Joonis 1. Tootmisruumi sisekliima soojustasakaalu mõjutavad tegurid

Tootmisruumi soojus- ja niiskusbilansi võrrandid avalduvad alljärgnevalt [21]

$$L_m \times h_{vt} = L_m \times h_{sp} + \Phi_{ilmne} + M \times (t_m \times c_a + 2501) \pm \Phi - \Phi_{jahutus} \quad (10),$$

kus

L_m – ruumi antava ja ruumist võetava ventilatsiooni õhu massivooluhulk, kg/s;

h_{vt} – väljatõmbeõhu entalpia, kJ/kg;

h_{sp} – sissepuhkeõhu entalpia, kJ/kg;

Φ_{ilmne} – ilmne soojusvool ruumi inimestelt ja seadmetelt, kW;

M – niiskuseraldused ruumi inimestelt ja seadmetelt veeauruna, kg/s;

t_m – aurustuva niiskuse temperatuur (lähedane märgtermomeetri temperatuurile), °C;

c_a – veeauru erisoojus, 1,805 kJ/(kg·°C);

Φ – soojuskaod läbi piirdetarindite, kW;

$\Phi_{jahutus}$ – soojusvool jahutusseadmetelt, kW.

Ruumi soojus- ja niiskusbilansi võrranditest saab kätte protsessikiire nurgateguri h-x diagrammil, millelt on võimalik avaldada nii sissepuhkeõhu parameetrid kui ka vajalikud jahutusvõimsused.

Valemist (10) on võimalik avaldada protsessikiir jahutuse korral [21]

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{\Phi_{ilmne} + M \times (t_m \times c_a + 2501) \pm \Phi - \Phi_{jahutus}}{M} \quad (12),$$

kus

ε – protsessikiire nurgategur h-x diagrammil, kJ/kg_{niiskust};

$\Delta h = h_{vt} - h_{sp}$, entalpiate vahe, kJ/kg_{kõ}. Väljatõmbeõhu entalpia h_{vt} võib võtta võrdseks ruumiõhu entalpiaga h_s

$\Delta x = x_{vt} - x_{sp}$, niiskussisalduste vahe, kg/kg_{kõ}. Väljatõmbeõhu niiskussisalduse x_{vt} võib võtta võrdseks ruumiõhu niiskussisaldusega x_s .

Arvutusliku soojuskao soojusülekandest läbi piirete ning infiltratsiooni saab määrata valemitega:

$$\Phi = \sum U \times A_{piire} \times (t_s - t_{võ}) \quad (13),$$

kus

U- piirde soojusjuhtivustegur, W/ m²· °C;

A_{piire}- piirde pindala, m²;

t_s – ruumiõhu temperatuur, °C;

t_{võ} – välisõhu temperatuur, °C;

Mitteisotermises aurustusprotsessis on ilme soojusvoog veelt õhule määratav valemiga [21]

$$q_{ilmne} = (5,71 + 4,06 \times v_{\delta}) \times (t_p - t_{\delta}) \quad \text{W/m}^2 \quad (14)$$

Ilme soojusvool veelt õhule aga on määratav valemiga [21]

$$\Phi_{ilmne} = q_{ilmne} \times A_{põrand} \quad \text{W} \quad (15)$$

3.2.2 Ruumis toimuvad protsessid

Protsessikiire arvutamisel tuleb eristada suvel ja talvel toimuvaid protsesse. Lisaks on tegemist kolme eri režiimiga, milledeks on töötamis-, pesemis- ja kuivamisrežiim.

Seega, lihavorstide tootmisruumi protsessikiirte arvutamisel peab arvestama järgmiste olukordadega:

- 1) Töötamine talvel
- 2) Töötamine suvel
- 3) Pesemine talvel
- 4) Pesemine suvel
- 5) Kuivamine talvel
- 6) Kuivamine suvel

Talvistes tingimustes arvutatakse protsessikiir vastavalt valemile [21]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{\Phi_{ilmne} + M \times (t_m \times c_a + 2501) - \Phi - \Phi_{jahutus}}{M} \quad (16),$$

kus

ilmne soojusvool on arvutatav järgmise valemiga [21]

$$\Phi_{ilmne} = \Phi_{inimesed} + \Phi_{seadmed} + \Phi_{valgustid} + \Phi_{veelt\ \deltahule} \quad \text{kW} \quad (17) \quad \text{ja}$$

$$M = M_{inimesed} + M_{p\ddot{o}rand} \quad \text{kg/s} \quad (18)$$

Suvistes tingimustes arvutatakse protsessikiir vastavalt valemile [21]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{\Phi_{ilmne} + M \times (t_m \times c_a + 2501) + \Phi - \Phi_{jahutus}}{M} \quad (19)$$

Arvutuste aluseks on võetud lihavorstide tootmisruum, mille põhjal on konstrueeritud ruumi mudel pindalaga 58 m² ja ruumi kõrgus 3,5 m. Ruumis paiknevad kõige suuremate soojuseraldustega seadmed:

- lihahunt, mille elektrivõimsus on 7,5 kW
- kutter, mille elektrivõimsus on 35 kW
- vorstipritš, mille elektrivõimsus on 2 kW

Arvestades tegelikku töö aega ja soojusena eralduvat võimsust, saame seadmetelt eralduvaks soojusvooluks $\Phi_{seadmed} = 11 \text{ kW}$

Lisaks eraldub soojust ruumi veel töötajatelt (ühe inimese soojuseraldus ruumi 183 W [15], 5 töötajat) ja ruumi valgustavad kuusteist 58 W-st luminofoorvalgustit, millede soojuseraldus ruumi on $\Phi_{valgustid} = 58 \times 16 = 0,928 \text{ kW}$

Lihavorstide tootmisruumis talvel on soojuskaod läbi piirete $\Phi = 850 \text{ W}$, suvel on soojuseraldused läbi piirdetarindite $\Phi = 800 \text{ W}$. Suvised soojuseraldused läbi piirdetarindite on arvutatud programmiga LAMTA+, mis arvestab päikesemõju välisseinale ja ilmakaart mille suunas välissein asetseb. Antud tootmisruumi välissein asub lõuna suunas ($U_{\text{sein}} = 0,14 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{°C}$), ruumis on kaks akent pindalaga kokku $4,16 \text{ m}^2$ ($U_{\text{aken}} = 1,8 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{°C}$). Soojuskadude arvutus on toodud lisas 4, soojuseralduste arvutus läbi piirdetarindite on toodud lisas 5. Arvutuste tegemisel on arvestatud kahe erineva olukorraga, kus esimesel juhul töötamise ajal autonoomne jahutus ruumis töötab ning põranda pesemise ja kuivamise ajal on autonoomne jahutus välja lülitatud. Teisel juhul nii töötamise kui ka põrandate pesemise ja kuivamise ajal autonoomne jahutus töötab, hoides samas etteantud ruumi temperatuuri $+ 12 \text{ °C}$.

Nurgateguri ε väärtused on toodud tabelis 6, soojusbilansi arvutuskäik on toodud lisas 6. Arvutuse alused on toodud järgnevalt:

1) Töötamine talvistes tingimustes. Autonoomne jahutus töötab. Märgadelt pindadelt aurumine toimub adiabaatses protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$\Phi = 0,85 \text{ kW}$ (soojuskaod läbi piirete)

$\Phi_{\text{jahutus}} = 12,02 \text{ kW}$

$\Phi_{\text{inimesed}} = 5 \times 183 \text{ W} = 915 \text{ W} = 0,915 \text{ kW}$

$\Phi_{\text{seadmed}} = 11 \text{ kW}$ (tsüklilise soojuseralduse osa)

$\Phi_{\text{valgustid}} = 0,928 \text{ kW}$

$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{inimesed}} + \Phi_{\text{seadmed}} + \Phi_{\text{valgustid}} = 0,915 + 11 + 0,928 = 12,84 \text{ kW}$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$M_{\text{inimesed}} = 0,0001194 \text{ kg/s}$

$M_{\text{põrand}} = 0,00023 \text{ kg/s}$

$M = M_{\text{inimesed}} + M_{\text{põrand}} = 0,0001194 + 0,00023 = 0,000349 \text{ kg/s}$

2) Töötamine suvistes tingimustes. Autonoomne jahutus töötab. Märgadelt pindadelt aurumine toimub adiabaatses protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$\Phi = 0,80 \text{ kW}$ (soojuseraldused läbi piirete)

$\Phi_{\text{jahutus}} = 13,58 \text{ kW}$

$\Phi_{\text{inimesed}} = 5 \times 183 \text{ W} = 915 \text{ W} = 0,915 \text{ kW}$

$\Phi_{\text{seadmed}} = 11 \text{ kW}$ (tsüklilise soojuseralduse osa)

$\Phi_{\text{valgustid}} = 0,928 \text{ kW}$

$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{inimesed}} + \Phi_{\text{seadmed}} + \Phi_{\text{valgustid}} = 0,915 + 11 + 0,928 = 12,84 \text{ kW}$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised.

$M_{\text{inimesed}} = 0,0001194 \text{ kg/s}$

$M_{\text{põrand}} = 0,00021 \text{ kg/s}$

$M = M_{\text{inimesed}} + M_{\text{põrand}} = 0,0001194 + 0,00023 = 0,000349 \text{ kg/s}$

3) Pesemine talvistes tingimustes. Autonoomne jahutus seisab. Märgadelt pindadelt aurumine toimub mitteisotermises protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$\Phi = 0,85 \text{ kW}$ (soojuskaod läbi piirete)

$\Phi_{\text{jahutus}} = 0 \text{ kW}$ (jahutus seisab)

$\Phi_{\text{inimesed}} = 2 \times 183 \text{ W} = 366 \text{ W} = 0,366 \text{ kW}$

$\Phi_{\text{seadmed}} = 0 \text{ kW}$ (seadmed ei tööta)

$\Phi_{\text{valgustid}} = 0,928 \text{ kW}$

$\Phi_{\text{veelt-õhule}} = 3,16 \text{ W/m}^2 \times 58 \text{ m}^2 = 183 \text{ W} = 0,183 \text{ kW}$

$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{inimesed}} + \Phi_{\text{seadmed}} + \Phi_{\text{valgustid}} + \Phi_{\text{veelt õhule}} = 0,366 + 0,928 + 0,183 = 1,477 \text{ kW}$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$M_{\text{inimesed}} = 0,0000477 \text{ kg/s}$

$M_{\text{põrand}} = 0,00216 \text{ kg/s}$

$M = M_{\text{inimesed}} + M_{\text{põrand}} = 0,0000477 + 0,00216 = 0,00216 \text{ kg/s}$

4) Pesemine suvistes tingimustes. Autonoomne jahutus seisab. Märgadelt pindadelt aurumine toimub mitteisotermises protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$$\Phi = 0,80 \text{ kW (soojuseraldused läbi piirete)}$$

$$\Phi_{\text{jahutus}} = 0 \text{ kW (jahutus seisab)}$$

$$\Phi_{\text{inimesed}} = 2 \times 183 \text{ W} = 366 \text{ W} = 0,366 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{seadmed}} = 0 \text{ kW (seadmed ei tööta)}$$

$$\Phi_{\text{valgustid}} = 0,928 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{veelt-õhule}} = 3,16 \text{ W/m}^2 \times 58 \text{ m}^2 = 183 \text{ W} = 0,183 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{inimesed}} + \Phi_{\text{seadmed}} + \Phi_{\text{valgustid}} + \Phi_{\text{veelt õhule}} = 0,366 + 0,928 + 0,183 = 1,477 \text{ kW}$$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$$M_{\text{inimesed}} = 0,0000477 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{põrand}} = 0,00216 \text{ kg/s}$$

$$M = M_{\text{inimesed}} + M_{\text{põrand}} = 0,0000477 + 0,00216 = 0,00216 \text{ kg/s}$$

5) Kuivamine talvistes tingimustes. Autonoomne jahutus seisab. Märgadelt pindadelt aurumine toimub mitteisotermises protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$$\Phi = 0,85 \text{ kW (soojuskaod läbi piirete)}$$

$$\Phi_{\text{jahutus}} = 0 \text{ kW (jahutus seisab)}$$

$$\Phi_{\text{inimesed}} = 0 \text{ kW (inimesed ei viibi enam ruumis)}$$

$$\Phi_{\text{seadmed}} = 0 \text{ kW (seadmed ei tööta)}$$

$$\Phi_{\text{valgustid}} = 0 \text{ kW (valgustid ei põle)}$$

$$\Phi_{\text{veelt-õhule}} = 3,16 \text{ W/m}^2 \times 58 \text{ m}^2 = 183 \text{ W} = 0,183 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{veelt õhule}} = 0,183 \text{ kW}$$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$$M_{\text{inimesed}} = 0 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{põrand}} = 0,00255 \text{ kg/s}$$

$$M = M_{\text{põrand}} = 0,00255 \text{ kg/s}$$

6) Kuivamine suvistes tingimustes. Autonoomne jahutus seisab. Märgadelt pindadelt aurumine toimub mitteisotermises protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$$\Phi = 0,80 \text{ kW ((soojuseraldused läbi piirete))}$$

$$\Phi_{\text{jahutus}} = 0 \text{ kW (jahutus seisab)}$$

$$\Phi_{\text{inimesed}} = 0 \text{ kW (inimesed ei viibi enam ruumis)}$$

$$\Phi_{\text{seadmed}} = 0 \text{ kW (seadmed ei tööta)}$$

$$\Phi_{\text{valgustid}} = 0 \text{ kW (valgustid ei põle)}$$

$$\Phi_{\text{veelt-õhule}} = 3,16 \text{ W/m}^2 \times 58 \text{ m}^2 = 183 \text{ W} = 0,183 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{õhule}}^{\text{veelt}} = 0,183 \text{ kW}$$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$$M_{\text{inimesed}} = 0 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{põrand}} = 0,00255 \text{ kg/s}$$

$$M = M_{\text{põrand}} = 0,00255 \text{ kg/s}$$

Tabel 6. Protsessikiire väärtused kui põrandate pesemise ja kuivamise ajal autonoomne jahutus ei tööta.

Toimingu nr.	Toimingu nimetus	Aastaeg	Aurustumise iseloom	Nurgategur ϵ , kJ/kg _{niiskust}
1	Töötamine	Talv	Adiabaatne	2442
2	Töötamine	Suvi	Adiabaatne	2700
3	Pesemine	Talv	Mitteisotermne	2808
4	Pesemine	Suvi	Mitteisotermne	3556
5	Kuivamine	Talv	Mitteisotermne	2257
6	Kuivamine	Suvi	Mitteisotermne	2917

Teise variandina nurgateguri ϵ määramisel on arvestatud olukorraga, kus nii töötamise kui ka põrandate pesemise ja kuivamise ajal töötab autonoomne jahutus, hoides samas etteantud ruumi temperatuuri + 12 °C.

Arvutuste aluseks on võetud valemid (17-19)

Nurgateguri ϵ väärtused on toodud tabelis 7, soojusbilansi arvutuskäik on toodud lisa 7, arvutuse alused on toodud järgnevalt:

1) Töötamine talvistes tingimustes. Autonoomne jahutus töötab. Märgadelt pindadelt aurumine toimub adiabaatses protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$$\Phi = 0,85 \text{ kW (soojuskaod läbi piirete)}$$

$$\Phi_{\text{jahutus}} = 12,02 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{inimesed}} = 5 \times 183 \text{ W} = 915 \text{ W} = 0,915 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{seadmed}} = 11 \text{ kW (tsüklilise soojuseralduse osa)}$$

$$\Phi_{\text{valgustid}} = 0,928 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{inimesed}} + \Phi_{\text{seadmed}} + \Phi_{\text{valgustid}} = 0,915 + 11 + 0,928 = 12,84 \text{ kW}$$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$$M_{\text{inimesed}} = 0,0001194 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{põrand}} = 0,00021 \text{ kg/s}$$

$$M = M_{\text{inimesed}} + M_{\text{põrand}} = 0,0001194 + 0,00023 = 0,000349 \text{ kg/s}$$

2) Töötamine suvistes tingimustes. Autonoomne jahutus töötab. Märgadelt pindadelt aurumine toimub adiabaatses protsessis

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$$\Phi = 0,80 \text{ kW (soojuseraldused läbi piirete)}$$

$$\Phi_{\text{jahutus}} = 13,58 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{inimesed}} = 5 \times 183 \text{ W} = 915 \text{ W} = 0,915 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{seadmed}} = 11 \text{ kW (tsüklilise soojuseralduse osa)}$$

$$\Phi_{\text{valgustid}} = 0,928 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{inimesed}} + \Phi_{\text{seadmed}} + \Phi_{\text{valgustid}} = 0,915 + 11 + 0,928 = 12,84 \text{ kW}$$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$$M_{\text{inimesed}} = 0,0001194 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{põrand}} = 0,00021 \text{ kg/s}$$

$$M = M_{\text{inimesed}} + M_{\text{põrand}} = 0,0001194 + 0,00023 = 0,000349 \text{ kg/s}$$

3) Pesemine talvistes tingimustes. Autonoomne jahutus töötab, et hoida ruumis püsivalt +12 °C.

Märgadelt pindadelt aurumine toimub mitteisotermises protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$$\Phi = 0,85 \text{ kW (soojuskaod läbi piirete)}$$

$$\Phi_{\text{jahutus}} = 0,24 \text{ kW (autonoomne jahutus töötab, et hoida ruumis püsivalt +12 °C)}$$

$$\Phi_{\text{inimesed}} = 2 \times 183 \text{ W} = 366 \text{ W} = 0,366 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{seadmed}} = 0 \text{ kW (seadmed ei tööta)}$$

$$\Phi_{\text{valgustid}} = 0,928 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{veelt-õhule}} = 25,28 \text{ W/m}^2 \times 58 \text{ m}^2 = 1466 \text{ W} = 1,466 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{inimesed}} + \Phi_{\text{seadmed}} + \Phi_{\text{valgustid}} + \Phi_{\text{veelt-õhule}} = 0,366 + 0,928 + 1,466 = 2,76 \text{ kW}$$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$$M_{\text{inimesed}} = 0,000047 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{põrand}} = 0,00321 \text{ kg/s}$$

$$M = M_{\text{inimesed}} + M_{\text{põrand}} = 0,0000477 + 0,00321 = 0,00326 \text{ kg/s}$$

4) Pesemine suvistes tingimustes. Autonoomne jahutus töötab, et hoida ruumis püsivalt +12 °C.

Märgadelt pindadelt aurumine toimub mitteisotermises protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$$\Phi = 0,80 \text{ kW (soojuseraldused läbi piirete)}$$

$$\Phi_{\text{jahutus}} = 0,24 \text{ kW (autonoomne jahutus töötab, et hoida ruumis püsivalt +12 °C)}$$

$$\Phi_{\text{inimesed}} = 2 \times 183 \text{ W} = 366 \text{ W} = 0,366 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{seadmed}} = 0 \text{ kW (seadmed ei tööta)}$$

$$\Phi_{\text{valgustid}} = 0,928 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{veelt-õhule}} = 25,28 \text{ W/m}^2 \times 58 \text{ m}^2 = 1466 \text{ W} = 1,466 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{inimesed}} + \Phi_{\text{seadmed}} + \Phi_{\text{valgustid}} + \Phi_{\text{veelt-õhule}} = 0,366 + 0,928 + 1,466 = 2,76 \text{ kW}$$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$$M_{\text{inimesed}} = 0,0000477 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{põrand}} = 0,00321 \text{ kg/s}$$

$$M = M_{\text{inimesed}} + M_{\text{põrand}} = 0,0000477 + 0,00321 = 0,00326 \text{ kg/s}$$

5) Kuivamine talvistes tingimustes. Autonoomne jahutus töötab, et hoida ruumis püsivalt +12 °C. Märgadelt pindadelt aurumine toimub mitteisotermises protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$$\Phi = 0,85 \text{ kW (soojuskaod läbi piirete)}$$

$$\Phi_{\text{jahutus}} = 0,17 \text{ kW (autonoomne jahutus töötab, et hoida ruumis püsivalt +12 °C)}$$

$$\Phi_{\text{inimesed}} = 0 \text{ kW (inimesed ei viibi enam ruumis)}$$

$$\Phi_{\text{seadmed}} = 0 \text{ kW (seadmed ei tööta)}$$

$$\Phi_{\text{valgustid}} = 0 \text{ kW (valgustid ei põle)}$$

$$\Phi_{\text{veelt-õhule}} = 18,96 \text{ W/m}^2 \times 58 \text{ m}^2 = 1100 \text{ W} = 1,10 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{õhule}}^{\text{veelt}} = 1,10 \text{ kW}$$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$$M_{\text{inimesed}} = 0 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{põrand}} = 0,00320 \text{ kg/s}$$

$$M = M_{\text{põrand}} = 0,00320 \text{ kg/s}$$

6) Kuivamine suvistes tingimustes. Autonoomne jahutus töötab, et hoida ruumis püsivalt +12 °C.

Märgadelt pindadelt aurumine toimub mitteisotermises protsessis.

Soojuseraldused ruumi on järgmised:

$$\Phi = 0,80 \text{ kW (soojuseraldused läbi piirete)}$$

$$\Phi_{\text{jahutus}} = 0,17 \text{ kW (autonoomne jahutus töötab, et hoida ruumis püsivalt +12 °C)}$$

$$\Phi_{\text{inimesed}} = 0 \text{ kW (inimesed ei viibi enam ruumis)}$$

$$\Phi_{\text{seadmed}} = 0 \text{ kW (seadmed ei tööta)}$$

$$\Phi_{\text{valgustid}} = 0 \text{ kW (valgustid ei põle)}$$

$$\Phi_{\text{veelt-õhule}} = 18,96 \text{ W/m}^2 \times 58 \text{ m}^2 = 1100 \text{ W} = 1,10 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{ilmne}} = \Phi_{\text{õhule}}^{\text{veelt}} = 1,10 \text{ kW}$$

Niiskuseraldused ruumi on järgmised:

$$M_{\text{inimesed}} = 0 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{põrand}} = 0,00320 \text{ kg/s}$$

$$M = M_{\text{põrand}} = 0,00320 \text{ kg/s}$$

Tabel 7. Protsessikiire väärtused, kui autonoomne jahutus töötab.

Toimingu nr.	Toimingu nimetus	Aastaaeg	Aurustumise iseloom	Nurgategur ϵ , kJ/kg _{niiskust}
1	Töötamine	Talv	Adiabaatne	+2442
2	Töötamine	Suvi	Adiabaatne	+2700
3	Pesemine	Talv	Mitteisotermne	+3037
4	Pesemine	Suvi	Mitteisotermne	+3543
5	Kuivamine	Talv	Mitteisotermne	+2549
6	Kuivamine	Suvi	Mitteisotermne	+3064

Kui võrrelda lisas 2 arvutuste tulemusena saadud niiskusvoogusid põrandalt, siis selgub, et põrandate pesemise ajal autonoomse jahutuse töötamisel on märjalt põrandalt aurustumine on ligi kaks korda intensiivsem kui autonoomse jahutuse mittetöötamisel. Tootmisruumi visuaalse vaatluse ja ajalise mõõtmise järgi selgus sama efekt: autonoomse jahutuse töötamisel kuivas põrand märgatavalt kiiremini kui autonoomse jahutuse mittetöötamisel.

3.2.3 Õhuvahetuse määramise alused

Käesolevas töös esimesena käsitletud peatükis 2. selgus, et nii Eestis kui ka teistes Euroopa Liidu liikmesriikides on seadusandlusega kindlaks määratud toiduainetetööstuse ruumides nõutavad temperatuurid, kuid vajalik õhu suhtelise niiskuse tase ja õhuvahetus ruumides ei ole aga seadustes ega määrustes eelnevalt määratletud. Peatükis 2.3 selgusid lihatööstuses vajaminevad õhu suhtelised niiskused erinevates ruumides. Antud alapeatüki eesmärgiks on välja selgitada vajalik õhuvahetus tootmisruumis. Õhuvahetuse määramisel tuleb arvestada sellega, et ruumi õhuvahetus ei oleks liiga suur, mis suurendaks põhjendamatult energiakulu. Samas peab arvestama õhuvahetuse määramisel sellega, et õhuvahetus peab olema piisavalt suur suutmaks siduda põrandatelt aurustuvat niiskust, mis on suurim põrandate pesemise ajal. Lisaks peab alandatud temperatuuriga toidukäitlemisruumi õhuvahetuse määramisel peab arvestama järgmiste tingimustega:

- soojuseraldused ruumis
- niiskuseraldused ruumis
- bakterite generatsiooniaeg

Kuna peatükis 3.1.2.2 kirjeldatud tootmisruumis paiknevad suure soojuseraldusega seadmed, siis tuleb kontrollida, kas on võimalik ja kuidas on otstarbekas eemaldada ruumist seadmetelt eralduvat soojust. Üheks võimaluseks ruumist eralduva soojuste väljaviimiseks on kasutada üldventilatsiooni.

Ruumis eralduva soojuste eemaldamiseks vajalik õhu massivooluhulk on määratav valemiga

$$L_m = \frac{\Phi_{\delta}}{\rho \times c_p \times \Delta t} \quad (20),$$

kus

L_m – õhu massivooluhulk, m^3/s ;

Φ_{δ} – soojuseraldused ruumis, W;

ρ – õhutihedus, (ca $1,2 \text{ kg}/m^3$);

c_p – õhu erisoojus, ($1005 \text{ J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$);

Δt – temperatuuride vahe, $^\circ\text{C}$.

Tootmisruumi õhuvahetus määramise aluseks on võetud sama ruum, mida on kirjeldatud peatükis 3.1.2.2. Kõige suuremad soojuseraldused lihavorstide tootmisruumis on töötamise ajal. Seadmete soojusrealdused on $\Phi_{\text{seadmed}} = 11 \text{ kW}$ (vt. p 3.2.1)

Õhuvoolu tase ruumi on seega

$$L = \frac{11000}{1,2 \times 1000 \times (12 - 8)} = 2,29 m^3 / s$$

Õhuvahetuse kordarv ruumis on määratav valemiga

$$n = \frac{L \times 3600}{V} \quad (21),$$

kus

n – õhuvahetuse kordarv 1 tunnis;

L – õhuvoolu tase, m^3/s ;

V – ruumi kubatuur, m^3 .

Seega

$$n = \frac{2,29 \times 3600}{(58 \times 3,5)} = 41 \text{ korda tunnis}$$

Ilma tõmbetuult tekitamata on ventilatsiooniga ruumis eralduvat soojust raske eemaldada. Seda näitab ka praktika. Selliste tsükliliselt ruumis eralduvate soojushulkade ruumist väljaviimiseks reeglina ei kasutata üldventilatsioonisüsteemi. Seadmetelt eralduv soojus eemaldatakse praktikas ruumile eraldi valitud autonoomse jahutusseadmega, mille võimsus määratakse maksimaalse soojuseraldusele vastavalt ja seadet ise juhitakse temperatuuri järgi. Aga käesolevas töös autonoomse kohtjahutuse otsust määramist ei käsitleta.

Kui arvutada antud tingimustele välja protsessikiir ϵ , ilma et autonoomne jahus töötaks, siis lisas 8 selgub, et protsessikiir $\epsilon_{\text{talv}} = 36\,883 \text{ kJ/kg}_{\text{niiskust}}$ ja $\epsilon_{\text{suvi}} = 41\,611 \text{ kJ/kg}_{\text{niiskust}}$. Teades ruumi õhuvoolu taset ja väljatõmbeõhu parameetreid, on valemi (22) [21] järgi võimalik leida sissepuhkeõhu soojussisalduse (entalpia) h_{sp} parameetrid.

$$\Phi = L_m \times \Delta h \quad (22), \text{ millest}$$

$$\Delta h = \frac{\Phi}{L_m}$$

kus

Φ - soojusvool, kJ/s;

L_m - õhu massivooluhulk, kg/s.

Seega

$$L_m = 2,29 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 2,748 \text{ kg/s}$$

$$\Delta h = \frac{\Phi}{L_m} = \frac{11}{2,748} = 4,00 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{sp}} = h_{\text{vt}} - \Delta h = 29 - 4 = 25 \text{ kJ/kg}$$

h-x diagrammilt selgub aga, et realselt ei olegi võimalik sellist soojuseraldusi ainult ventilatsiooniga eemaldada, sissepuhkeõhu parameetrid lõikuvad protsessikiirega küllastuskõveral. Protsess ise on toodud lisas 15.

Üheks vajalikuks näitajaks tootmisruumi õhuvahetuse määramisel on bakterite generatsiooniaeg (generatsiooniajaks nimetatakse aega, mis kulub ühe raku pooldumiseks). Peatükis 2.2.3 selgusid põhilised patogeensed mikroorganismid, mis mõjutavad liha kvaliteeti (*E.Coli* ja *S. Typhimurium*) Soodsates tingimustes toimub kiirestikasvavate rakkude pooldumine iga 20-30 minuti järel [23]. Enamik baktereid aga ei paljune nii kiiresti ja nende generatsiooniaeg on soodsates tingimustes 1-3 tundi. Kuid alandatud temperatuuriga tootmisruumides jäävad *E.Coli* ja *Salmonella* metaboolselt aktiivseks, aga ei jagune. Rakud püsivad puhkeasendis ehk statsionaarses faasis, kus nende kasvukiirus järjest aeglustub. Näiteks *S. Typhimurium*'il kulub temperatuurilangusel 10 °C-ni ümberkohastumiseks aega ca.2,5 tundi [22] *E. Coli*'l aga 4 tundi [23]. Seega tuleb arvestada *S. Typhimurium*'i generatsiooniajaga, kuna *E. Coli* generatsiooniaeg on märgatavalt pikem.

Pöördudes tagasi tabelite 6 ja 7 juurde, mis kajastusid eelmises alapeatükis 3.2.1, siis nendest selgub, et põhiline erinevus pesemise ja kuivamise ajal seisneb selles, kui antud tingimustes autonoomne jahutus ei tööta, siis ruumi temperatuur tõusis pesemise ajal 15,5 °C-ni, mis aga omakorda loob soodsamad tingimused patogeensete mikroorganismide (*E.Coli* ja *S. Typhimurium*) generatsiooniaja lühenemiseks. Andmete [22] põhjal selgub, et +15 °C juures *S. Typhimurium*-i generatsiooniaeg on ca. 2 tundi, +12 °C juures ca. 3 tundi. Temperatuuri langedes generatsiooniaeg lüheneb logaritmiliselt.

Seega peame põrandate kuivamisel arvestama tingimusega, et kuivamistsükli pikkus ei ületaks kolme tundi põrandate pesemise ja kuivamise ajal kui autonoomne jahutus töötab ja kahte tundi kui autonoomne jahutus seisab.

Eelnevast selgub, et lihatööstuse tootmisruumide nõutava sisekliima saavutamiseks moodustub kaks erinevat süsteemi:

- Niiskuse eemaldamine ventilatsioonisüsteemiga
- Soojuse eemaldamine autonoomse jahutusseadmega, mida antud töö ei hõlma

3.2.4 Vajaliku õhuvahetuse määramine

Õhuvahetuse leidmisel on kõigepealt lähtunud õhuvahetuse kordsusest ruumis. Kasutades õhuvoolu taseme leidmiseks järgnevat valemit

$$L = V \times n \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (23),$$

kus

L – õhuvool, m^3/h

V – ruumi kubatuur, m^3

n – õhuvahetuse kordarv 1 tunnis

Eelnevalt arvatud ruumi niiskuseralduste põhjal, millede väärtused on toodud lisas 6 ja õhuvahetuse põhjal saab leida tootmisruumi väljatõmbe ja sissepuhke niiskussisalduste vahe Δx kasutades selleks valemit

$$M = L_m \times \Delta x \quad (24), \text{ millest}$$

$$\Delta x = \frac{M}{L_m},$$

kus

M – ruumist eralduv niiskusvool õhku, kg/s ,

L_m – õhu massivooluhulk, kg/s .

Kuna meil on teada ruumi väljatõmbeõhu parameetrid $t_{vt}=+12 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi=76 \text{ \%}$ (eeldades, et on segunev õhuvahetus, mitte laminaarne õhuvahetus) ja kandes väljatõmbeõhu parameetrid h - x diagrammile ning tõmmates vajamineva protsessikiire väärtuse antud väljatõmbepunktist läbi, siis saame leida ka sissepuhkeõhu parameetrid, mis asetsevad samal protsessikiirel. Sissepuhkõhu niiskussisaldus on avaldatav aga järgmisest valemist [21]

$$\Delta x = x_{vt} - x_{sp} \quad (25), \text{ millest}$$

$$x_{sp} = x_{vt} - \Delta x$$

kus

x_{vt} - väljatõmbeõhu niiskussisaldus, kg/kg_{kõ};

x_{sp} - sissepuhkeõhu niiskussisaldus, kg/kg_{kõ}.

Kui sissepuhkeõhu parameetrid ei ole sobivad, kontrollitakse sissepuhkeõhu punkti asukohta uuesti, muutes eelnevalt õhuvahetuse kordsust ruumis.

Kõigepealt on õhuvahetuse leidmiseks tootmisruumis lähtunud 10-kordsest õhuvahetusest ruumis. Arvutuste tulemusena selgus, et 58 m² suuruse ja 3,5 m kõrguse lihavorstide tootmisruumi õhuvooluks tuli sellisel juhul

$$L = 58 \times 3,5 \times 10 = 2030 \text{ m}^3/\text{h} = 564 \text{ l/s}$$

Sissepuhkõhu niiskussisalduse leidmise arvutused on toodud lisas 9.

Leitud on sissepuhkeõhu niiskussisaldused arvestades arvutustes niiskuseraldusi nii talvel kui ka suvel ja kolmes eri režiimis, milledeks on töötamine, põrandate pesemine ja põrandate kuivamine. Leitud sissepuhkeõhu niiskussisalduste kandmisel h-x diagrammil asuvale protsessikiirele selgus, et 10 –kordne õhuvahetus on sobiv.

Samasugused arvutused on tehtud ka 5-kordse õhuvahetusega. Sellisel juhul oleks tootmisruumi õhuvoolu tase järgmine :

$$L = 58 \times 3,5 \times 5 = 1015 \text{ m}^3/\text{h} = 282 \text{ l/s}$$

Sissepuhkõhu niiskussisalduse leidmise arvutused on toodud lisas 10.

Leitud sissepuhkeõhu niiskussisalduste järgi selgus, et talvistes tingimustes põrandate kuivamise ajal tuleb $x_{sp} = -0,7 \text{ g/kg}_{kõ}$, millest järeldub, et 5-kordset õhuvahetust ei ole võimalik kasutada. Selgub, et 5-kordne õhuvahetus jääb liiga väikeseks, kuna talvistes tingimustes ei suuda selline õhuvahetus tootmisruumis pesemise ajal põrandalt eralduvat niiskuskogust endaga siduda.

Arvutused on tehtud ka 8-kordse õhuvahetusega. Sellisel juhul oleks tootmisruumi õhuvoolu tase järgmine:

$$L = 58 \times 3,5 \times 8 = 1624 \text{ m}^3/\text{h} = 451 \text{ l/s}$$

Sissepuhkõhu niiskussisalduse leidmise arvutused on toodud lisas 11.

Arvutustest selgus, et 8-kordne õhuvahetus ruumis tundub olevat kõige reaalsem ja otstarbekam, mis omakorda vastab ruumi õhuvahetusele ligikaudu 8 l/s m² kohta.

Samasugune arvutuskäik sissepuhkõhu niiskussisalduse x_{sp} leidmise kohta nii 10-, 5- kui ka 8-kordse õhuvahetuse puhul on tehtud ka eeldusel, kui kõigis kolmes eri režiimis – töötamise, pesemise ja kuivamise ajal autonoomne jahutus töötab, hoides pidevalt ruumis etteantud temperatuuri +12 °C. Vastavad arvutused on toodud lisades 12, 13 ja 14. Saadud tulemustest selgus ka variandi puhul, kui autonoomne jahutus pidevalt töötab, ei sobi 5-kordne õhuvahetus, vaid sobivad nii 10-kordne kui ka 8-kordne õhuvahetus ruumis, kuid väiksem õhukogus on majanduslikult kasulikum.

Seega on edaspidistes arvutustes lähtunud 8-kordsest õhuvahetusest ruumis.

4. Õhu töötlemise meetodid

4.1 Võimalikud kasutatavad ventilatsioonilahendused

4.1.1 Üldine lähenemine õhutöötlemise meetodite leidmiseks

Peatükis 2.1 käsitletud määrusest [5] selgus, et toidukäitlemisruumidele esitatud üldnõuetes ventilatsiooni kohta peab olema piisav loomuliku või mehaanilise ventilatsiooni võimalus.

Loomulik ventilatsioon aga ei taga piisavat õhuvahetust tootmisruumis kindlustamiseks vajalikku ruumiõhu kvaliteeti ning ei väldi kondensaadi teket külmadel piirdepindadel. Seega on alandatud temperatuuriga toidukäitlemise ruumides välistatud loomuliku ventilatsiooni kasutamine.

Ventilatsiooni eesmärk madala töötemperatuuriga toidu käitlemise ruumides on:

- Eemaldada märgadelt pindadelt (nt. peale põrandate pesemist) õhku aurustuv niiskus
- Hoida ruumi sisetemperatuuri ja suhtelist niiskust soovitud tasemel
- Eemaldada ruumist õhku haihtuvad ühendid (näiteks põrandapesemisel kasutatavad desinfitseerimisevahendid)
- Hoida tarvilikku rõhkude vahet tööruumi ning väliskeskkonna ja ümbritsevate ruumide suhtes, vähendamaks saaste levikut ruumide vahel.

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määruses (EÜ) nr. 852/2004 [5] esitatud nõuete tagamiseks on olemas järgmised võimalused:

- soojustagastita sundventilatsioon
- soojustagastiga sundventilatsioon
- retsirkulatsiooniga süsteemid
- kohtväljatõmbed

Selleks et saavutada õigeid sissupuhkeõhu parameetreid, tuleb eelnevalt välisõhku töödelda nii suvel kui ka talvel.

Arvutuslikeks välisõhu parameetriteks on võetud järgmised suurused

- talvel $t_v = - 26 \text{ }^\circ\text{C}$
- suvel $t_v = + 27 \text{ }^\circ\text{C}$ ja suhteline välisõhu niiskus $\phi_v = 50 \text{ } \%$ [24]

Antud töös ei ole vaadeldud soojustagastitega süsteemide kasutamise võimalusi, kuna tegemist on alandatud temperatuuriga toidukäitlemisruumidega, milledes maksimaalne lubatud ruumi õhu

temperatuur on +12 °C ja seega soojustagastus on väga väike. Lisaks tekib soojustagastis väljatõmbeõhu kõrge niiskussisalduse tõttu temperatuuri langemisel alla null kraadi külmumine.

4.1.2 Erinevad talvised õhutöötlemise meetodite lahendused

1) Talvine õhutöötlemine sisspuhkesüsteem õhu soojendamise ja isothermse niisutamisega. Protsess ise on toodud lisas 16. Selline lahendus sobib nii töötamise, põrandate pesemise kui ka kuivamise ajal talvistes tingimustes ja üleminekuperioodil, kuid tuleks leida sobivam õhutöötlemisprotsess, kuna terve välisõhu ülessoojendamine suurte õhuvoolude puhul osutub ebaökonomiseks. Lisaks tuleb sissepuhkeõhku eelnevalt niisutada, sest peale küttekalorifeeri väljuv õhk peab vastama ruumi sissepuhkeõhu parameetritele, kuid antud juhul jääb sissepuhkeõhu niiskussisaldus liiga madalale. Alandatud temperatuuriga toidukäitlemisruumide jaoks vajaliku sisekliima loomiseks ei saa kasutada adiabaatse niisutusega süsteemi. Adiabaatne niisutamine toimub kas pind aurustusniisutis või niisutuskambris, kuid antud juhul tuleb vältida niisutusmeetodit, kus veetilgad ja õhk on otseses kokkupuutes, sest veega võib tootmisruumi edasi kanduda bakterioloogiline reostus. Kui kasutada niisutussüsteemi, siis ainult aurniisutust ehk isothermset niisutust.

Küttekalorifeeri võimsus on arvutatav järgmise valemiga [21]

$$\Phi = c_{\delta} \times L_m (t_{K1} - t_v) \quad \text{kW} \quad (26),$$

kus

c_{δ} - õhu erisoojus, kJ/(kg·°C);

L_m -õhu massivooluhulk, kg/s;

t_{K1} - õhu lõpptemperatuur, °C;

t_v - õhu algtemperatuur, °C.

Niisutamiseks kuluv auru vooluhulk on avaldatav valemiga [21]

$$G = L_m \times (x_{SP} - x_V) \quad \text{kg/h} \quad (27),$$

kus

L_m - õhu massivooluhulk, kg/h;

x_{SP} - õhu niiskussisaldus pärast niisutamist kg/kg_{kõ};

x_V - õhu algne niiskussisaldus, kg/kg_{kõ}.

Ainult sissepuhke ja väljatõmbe süsteemide kasutamine on ebaökoonoomne. Suurte õhuhulkade soojendamine talvel ja jahutamine suvistes tingimustes etteantud väärtusteni on kallid. Selleks, et energiat kokku hoida, on otstarbekas kasutada retsirkulatsiooniga sissepuhkesüsteemi.

Retsirkulatsiooni vajadus:

- paremaks õhujaotamiseks ruumis
- saame kasutada suuri õhukoguseid niiskuse väljaviimiseks
- õhuliikumise tagamiseks kogu ruumi ulatuses
- ei ole vaja uuesti kogu ventilatsiooni õhku soojendada või jahutada (energia kokkuhoid)

2) Õhu talvine töötlemine õhu retsirkulatsiooniga enne kalorifeeri

Kui kanda õhu töötlemisprotsess h-x diagrammidele, selgub et ühendades ruumist väljatõmbeõhu punkti ja välisõhupunkti omavahel, toimub juba +6 °C juures niiskuse väljakondenseerumine. Seega antud lahendus jääb valikust kõrvale. Protsess ise on toodud lisas 17.

3) Talvine õhu töötlemine õhu soojendamise ja retsirkulatsiooniga peale kalorifeeri.

Protsessid ise on toodud lisades 18, 19 ja 20. h-x diagrammilt selgub, et selline variant sobib nii töötamise, põrandate pesemise kui ka kuivamise ajal. Erinevus seisneb selles, et erinevate režiimide ajal on vajalik muuta retsirkulatsiooni õhukogust vastavalt eelnevalt leitud sissepuhkeõhu niiskussisalduse asukohale protsessikiirel.

Välisõhu soojendamiseks vajamineva soojusvoolu (võimsuse) saame arvutada valemi (25) järgi.

4.1.3 *Erinevad suvised õhutöötlemise meetodite lahendused*

1) Õhu suvine töötlemine jahutamise ja kuivatamisega pindjahutis.

Protsess on toodud lisas 21. Konstrueerides antud protsessi h-x diagrammil, selgub et töötamise ajal saab antud lahendust kasutada. Kuid samas pole lahendus otstarbekas, kuna väljatõmbeõhu entalpia h_{vt} on väiksem välisõhu entalpiast h_v . Sellisel juhul kui $h_{vt} < h_v$, siis on otstarbekas kasutada retsirkulatsiooni.

2) Õhu suvine töötlemine retsirkulatsiooniga, jahutamisega ja kuivatamisega pindjahutis.

Vastavad protsessid on toodud lisades 22 ja 23. Konstrueerides protsessi h-x diagrammil, selgub et antud lahendus on sobilik alandatud temperatuuriga toidukäitlemise ruumide sissepuhkeõhu töötlemiseks töötamise ajal, kuid põrandate pesemise ja kuivamise ajal ei saa antud lahendust kasutada. Et jõuda h-x diagrammil vajamineva sissepuhkeõhu niiskussisalduseni vastaval protsessikiirel tuleks õhk jahutada alla peaaegu 0 °C-ni, kuid sellistes tingimustes hakkab jahutuspatarei ise juba jäätuma. Seega tuleb leida põrandate pesemise ja kuivamise režiimideks teistsugune sobilik lahendus.

Jahutusvõimsus (otseaurustusega süsteem) on avaldatav valemiga [21]

$$\Phi_J = L_m \times (h_V - h_J) \quad \text{kW} \quad (28),$$

kus

L_m - õhu massivooluhulk, kg/s;

h_V - välisõhu soojussisaldus, kJ/kg_{kõ};

h_J - õhu soojussisaldus punktis J, kJ/kg_{kõ}.

Lisaks on vaja õhku täiendavalt soojendada. Kalorifeeri soojusvõimsus on avaldatav valemiga [21]

$$\Phi_K = L_m \times (h_K - h_J) \quad \text{kW} \quad (29),$$

kus

L_m - õhu massivooluhulk, kg/s;

h_K - kalorifeerist väljuva õhu soojussisaldus, kJ/kg_{kõ};

h_J - õhu soojussisaldus punktis J, kJ/kg_{kõ}.

3) Õhu suvine kuivatamine rootori abil.

Vastav protsess on toodud lisa 24. Konstrueerides protsessi h-x diagrammil selgub, et antud lahendus on sobilik suvistes tingimustes alandatud temperatuuriga toidukäitlemise ruumide sissepuhkeõhu töötlemiseks nii töötamise, põrandate pesemise kui ka kuivamise režiimides.

Rootorkuivati eelised teiste süsteemide ees:

- Väike elektrienergia tarvidus
- Aastaringselt stabiilne soovitud niiskusetase
- Seadmete vähene hooldusvajadus

- Pikk tööiga
- Seadmed töötavad ka külmakraadidel (ilma kondenseerijata variant)
- Seade ei soodusta bakterite kasvu

4) Suvine õhutöötlemine jahutamisega, kuivatamisega rootorkuivatis ja jahutamisega pindjahutis.

Vastav protsess ise on toodud lisas 25. Kuigi eelnev süsteem õhu kuivatamine rootorkuivati abil sobis, on eelneval juhul problemaatiline leida vastavat rootorkuivatit. Parem lahendus seisneb sissepuhkeõhu eelnevas jahutamises enne rootorkuivatisse sisenemist. Eelneva sissepuhkeõhu jahutamisega alandatakse kuivatisse mineva õhu temperatuuri ja seega ei tõuse rootorkuivatist väljuva õhu temperatuur liiga kõrgele.

Kuivatist väljumisel suundub õhk II astme jahutuspatareisse, millest väljudes saadakse vajaminevate parameetritega sissepuhkeõhk.

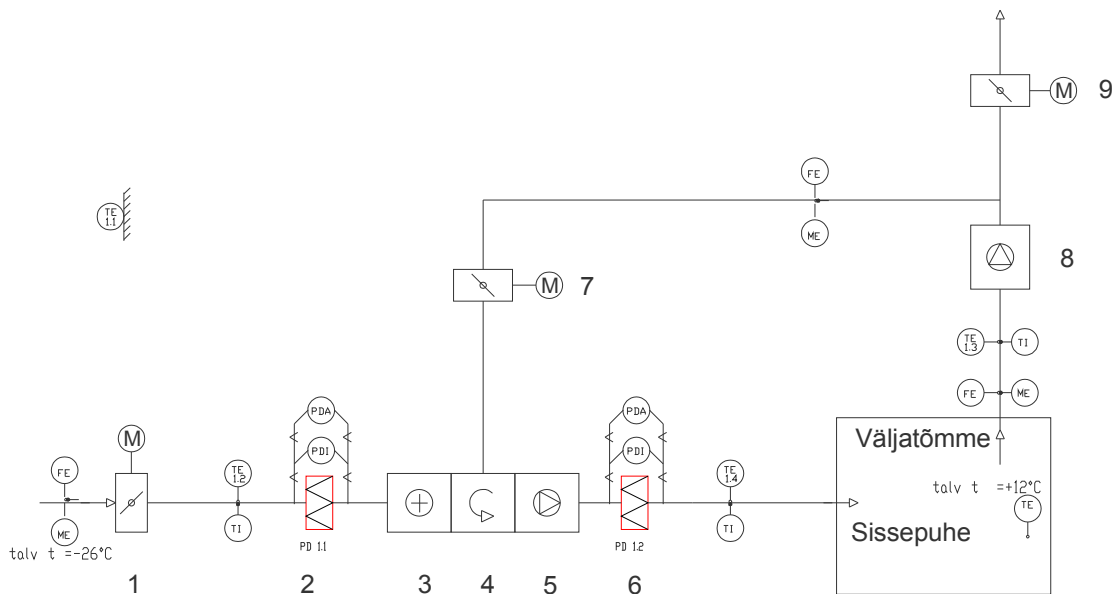
5) Suvine õhutöötlemine retsirkulatsiooniga, jahutamisega, kuivatamisega rootorkuivatis ja jahutamisega pindjahutis.

Vastav protsess ise on toodud lisas 26. Kuigi eelnev süsteem, mis koosnes õhu jahutamisest, õhu kuivatamisest rootorkuivati abil ja õhu jahutamisest pindjahutis, sobis nii põrandate pesemise kui ka kuivamise ajal, on otstarbekam enne kasutada retsirkulatsiooni. Eelneva sissepuhkeõhu retsirkulatsiooniga ja edasise õhu jahutamisega I astme jahutuspatareis alandatakse kuivatisse mineva õhu temperatuuri veelgi ning seega ei tõuse rootorkuivatist väljuva kuivatatud õhu temperatuur liiga kõrgele.

Kuivatist väljumisel suundub õhk II astme jahutuspatareisse, millest väljudes saadakse vajaminevate parameetritega sissepuhkeõhk.

4.2 Leitud õhutöötlemissüsteemide lahendused

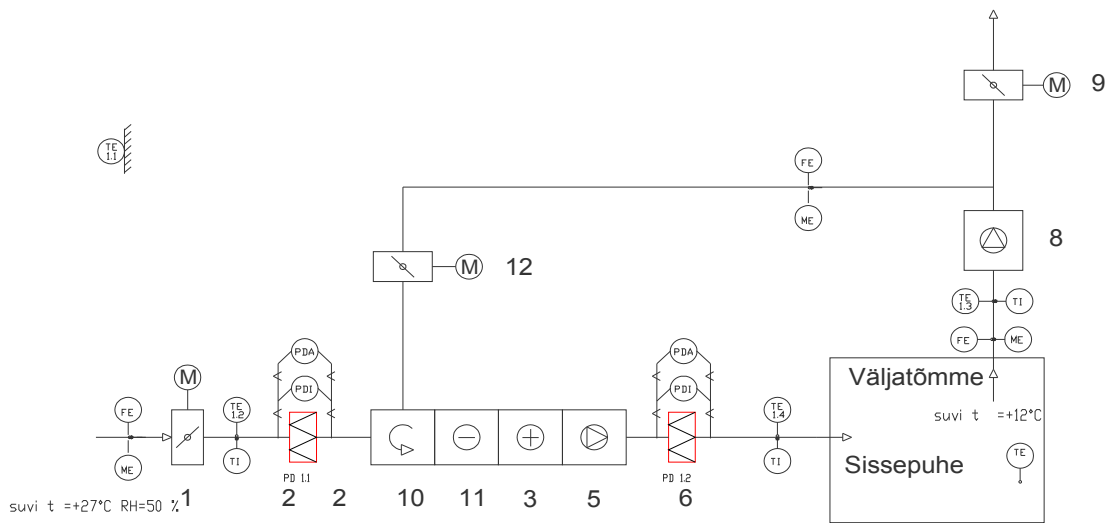
Eelnevalt sai kirjeldatud võimalikke õhutöötlemissüsteeme, mis võiksid rahuldada alandatud temperatuuriga toidukäitlemise ruumidele vajaliku sisekliima saamist ja selle hoidmist etteantud tasemel. Kandes vastavad protsessid h-x diagrammile selgus, et talvistes tingimustes ja üleminekuperioodil (kevad-sügis) peab süsteem koosnema kõigepealt küttekalorifeerist, siis retsirkulatsiooniosast. Retsirkulatsiooni õhuvoolu muudetakse vastavalt vajadusele vooluhulga ja niiskusanurite järgi. Talvise ja üleminekuperioodi õhutöötlemise protsessi põhimõtteline skeem on toodud joonisel 2.



Joonis 2. Talvine ja üleminekuperioodi õhutöötlemisprotsessi skeem töötamise, põrandate pesemise ja kuivamise ajal

1- välisõhuklapp (KL 1), 2-eelfiltrid (filtrid G3+F7), 3- kalorifeer, 4-segamissektsioon, 5- sissepuhke ventilaator, 6-lõppfilter (filter F9), 7-talvine retsirkulatsiooni klapp (KL 2), 8- väljatõmbe ventilaator, 9-väljaviskel ajamiga klapp (KL 3)

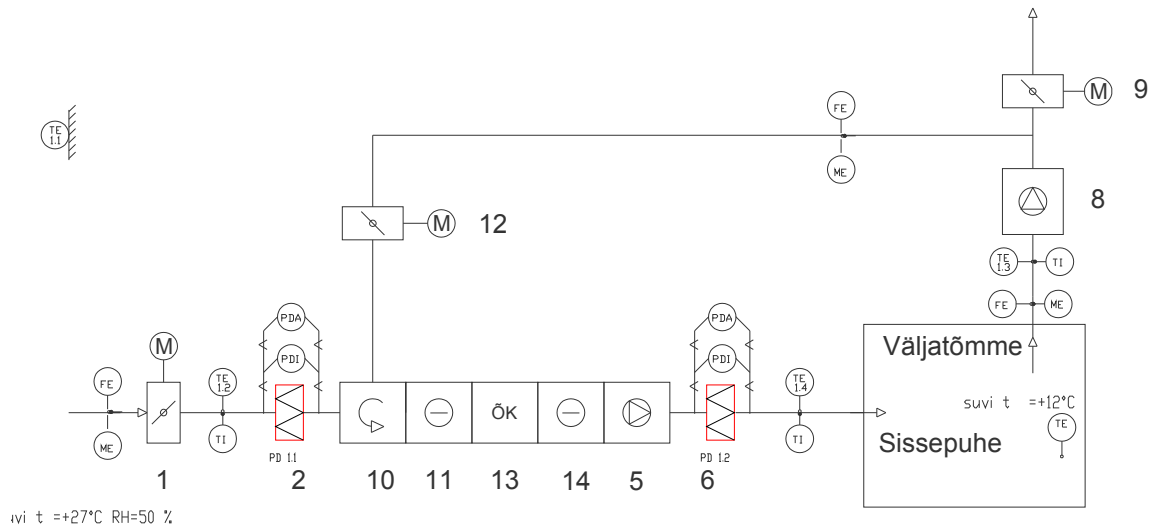
Suvel töötamise ajal on otstarbekas kõigepealt ruumiõhku osaliselt retsirkuleerida, välisõhku võetakse vastavalt nii palju, kui inimestele vajalik. Segatud õhk jahutatakse alla ja edasi soojendatakse. Suvine õhutöötlemise protsessi skeem töötamise ajal on toodud joonisel 3.



Joonis 3. Suvine õhutöötlemise protsessi skeem töötamise ajal

1- välisõhuklapp (KL 1), 2-eelfiltrid (filtrid G3+F7), 3-kalorifeer, 5-sissepuhke ventilaator, 6-lõppfilter (filter F9), 8-väljatõmbe ventilaator, 9-väljaviskel ajamiga klapp (KL 3), 10-segamissektsioon, 11- I astme jahutuspatareid, 12-suvine retsirkulatsiooni klapp (KL 4)

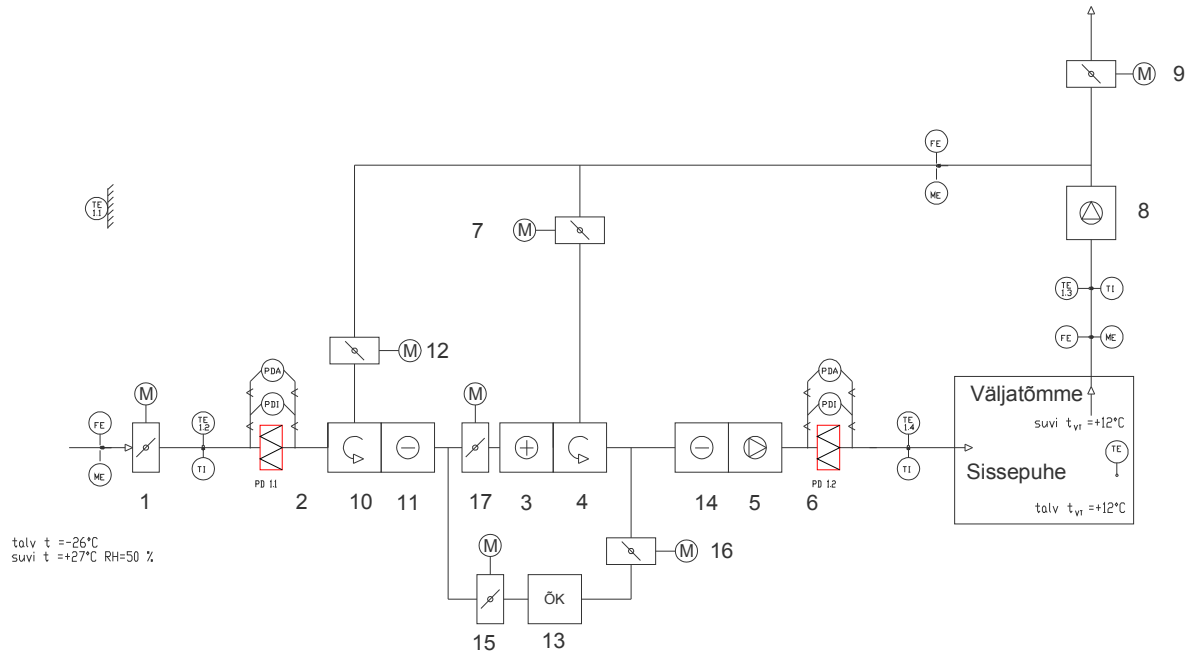
Põrandate pesemise ja kuivamise režiimis toimub kõigepealt õhu retsirkulatsioon, edasi jahutatakse segatud õhk alla I astme jahutuspatareis ning õhk suunatakse rootorkuivatisse, millest väljumisel suundub õhk II astme jahutuspatareisse. Samas rootorkuivati valik on problemaatiline, kuna standardsete kuivatite valiku variantides ei leidu suure kuivatusvõimsusega ja suhteliselt väikese õhukogusega seadmeid. Suvine õhutöötlemise protsessi skeem põrandate pesemise ja kuivamise ajal on toodud joonisel 4.



Joonis 4. Suvine õhu töötlemise protsess põrandate pesemise ja kuivamise ajal

1- välisõhuklapp (KL 1), 2-eelfiltrid (filtrid G3+F7), 5- sissepuhke ventilaator, 6-lõppfilter (filter F9), 8-väljatõmbe ventilaator, 9-väljaviskel ajamiga klapp (KL 3), 10-segamissektsioon, 11- I astme jahutuspatarei, 12-suvine retsirkulatsiooni klapp (KL 4), 13-rootorkuivati, 14- II astme jahutuspatarei

Konstrueerides joonistel 1-3 joonestatud õhutöötlemise protsesside skeemid ühtseks tervikuks süsteemiks, saame alandatud temperatuuriga toidukäitlemise ruumide õhutöötlemise protsessi, mis on kujutatud skeemina joonisel 5.



Joonis 5. Alandatud temperatuuriga toidukäitlemise ruumi õhutöötlemisprotsessi skeem

1- välisõhuklapp (KL 1), 2- eelfiltrid (filtrid G3+F7), 3-kalorifeer, 4-segamissektsioon, 5- sissepuhke ventilaator, 6-lõppfilter (filter F9), 7-talvine retsirkulatsiooni klapp (KL 2), 8- väljatõmbe ventilaator, 9-väljaviskel ajamiga klapp (KL 3), 10- segamissektsioon, 11- I astme jahutuspatari, 12-suvine retsirkulatsiooni klapp (KL 4), 13- rootorkuivati, 14-II astme jahutuspatari, 15- elektrijamiga klapp (KL 5), 16- elektrijamiga klapp (KL 6), 17- elektrijamiga klapp (KL 7)

4.2.1 Süsteemi tööpõhimõte

1. Juhtimine: seadet juhitakse ajalise programmiga, kalorifeeri pumbad töötavad pidevalt

2. Blokeeringud

2.1 Seade ei või töötada järgmistel tingimustel:

- külmakaitseandur on häires
- kalorifeeri pump ei tööta
- seadme on peatanud tulekahjuhäire või muu alarm

2.2 Väljatõmbeventilaator (8) on blokeeritud õhuklapiga KL3 (9)

2.3 Õhuklapid KL2, KL4 ja KL3 on omavahel blokeeritud

3. Seadme seismisel on ajamiga õhuklapid KL1, KL2, KL3, KL4, KL5 ja KL6 suletud, õhuklapp KL7 avatud. Käivitamisel peavad õhuklapid KL1 ja KL3 avanema enne ventilaatorite sisse lülitamist.

4. Töötamine

4.1 Talvistes tingimustes ja üleminekuperioodil töötamise, põrandate pesemise ja kuivamise ajal - õhuklappide KL1, KL2 ja KL3 asendit juhitakse vastavalt väljatõmbeõhu niiskusandurite ME ja õhuvooluandurite FE järgi. Õhuklapid KL4, KL5 ja KL6 on suletud, õhuklapp KL7 on avatud. Sissepuhkeõhu temperatuuri TE1.4 reguleerimine toimub väljatõmbeõhu temperatuuri TE1.3 järgi.

4.2 Suvistes tingimustes töötamise ajal

- õhuklappide KL1, KL3 ja KL4 asendit juhitakse vastavalt väljatõmbeõhu niiskusandurite ME ja õhuvooluandurite FE järgi. Õhuklapid KL2, KL5 ja KL6 on suletud, õhuklapp KL7 on avatud. Sissepuhkeõhu temperatuuri TE 1.4 reguleerimine toimub väljatõmbeõhu temperatuuri TE 1.3 järgi.

4.3 Suvistes tingimustes põrandate pesemise ja kuivamise ajal

- õhuklappide KL1, KL3, KL5 ja KL6 asendit juhitakse vastavalt väljatõmbeõhu niiskusandurite ME ja õhuvooluandurite FE järgi. Õhuklapid KL2, KL4 ja KL7 on suletud. Sissepuhkeõhu temperatuuri TE 1.4 reguleerimine toimub väljatõmbeõhu temperatuuri TE 1.3 järgi.

5. Kaitse. Seadme peatavad järgmised häiresignaaliid:

- seiskub pump kalorifeeri segamissõlmes
- külmumisoht: külmumiskaitse andurid (lahendatakse kütte projektiga) ei luba kalorifeerist tagastaval soojuskandjatemperatuuril langeda alla ette antud väärtuse. Langemisel alla väärtuse seistakse ventilaator (8), suletakse õhuklapid KL1–KL6,

-tuleoht

-puudub üldluba töötamiseks

6. Häiresignalisatsioon

Kriitilised häired - külmakaitsetermostaadid

- pump ei tööta

Veateated -

Teenindussignaaliid - filtri mustumine PD 1.1 järgi

- filtri mustumine PD 1.2 järgi

5. Kokkuvõte ja järeldused

5.1 Kokkuvõte käesolevast tööst

Seoses Euroopa Liiduga ühinemisega renoveeritakse olemasolevaid ja ehitatakse uusi toiduainetööstusi, mille sisekliima loomiseks on kasutatud erinevaid lahendusi. Mõnedes lihatööstuse ventilatsiooni projektides on projekteerijad eiranud Head Ehitustava, sest ei ole koostatud projektlahendusi, millega oleks tagatud tootmisruumides vajalik niiskuserežiim. Kui ei ole kasutatud sissepuhkeõhu kuivatamist antakse madala temperatuuriga (+ 6 °C... + 12 °C) tootmisruumidesse kevad-suvi-sügise perioodil peaaegu 100 %-lise niiskusega õhku, kuna soe välisõhk jahutatakse sissepuhkeseadmes kastepunktini või alla selle. Sel kombel luuakse ventilatsiooni seadmetes, torustikes ja tootmisruumides soodne keskkond mikroorganismide paljunemiseks ning nende levimiseks seadmetele ja sealt omakorda toodangusse. Kui sellele lisanduvad veel valed õhuvahetuse korraldamise lahendused ning ehitus-tehnoloogilised vead, näiteks külmasillad ja puudulikult isoleeritud külmad torud jms, on tootjal hügieenilise tootmiskeskonna loomine seotud põhjendamatult suurte kulutustega.

Käesoleva töö eesmärgiks oli analüüsida sisekliima kujundamiseks kasutatavaid õhu töötlemise meetodeid alandatud temperatuuriga toidukäitlemise ruumides. Selleks oli vaja teada selliste ruumide sisekliimale esitatavaid nõudeid. Selgus, et seadustes on kindlaks määratud vaid ruumide nõutavad temperatuurid. Siseõhu sobiliku suhtelise niiskuse kohta aga ei ole esitatud andmeid ka vastavat tootmist käsitlevates standardites ja juhistes. Samas kui piimatööstuse projekteerimiseks on rahvusvahelise ekspertide komisjoni poolt koostatud põhjalikud juhised, siis liha- ja kalatööstuse kohta ei õnnestunud midagi sarnast leida ei Eesti ega ka teiste riikide vastavat tootmist käsitlevatest andmebaasidest.

Erinevate kirjandusallikate, nagu ventilatsioonialase, toiduhügieeni-ja veterinaariaalase kirjanduse analüüsi tulemusena sai leitud töö käigus õhu suhtelise niiskuse lubatavad piirid. Suhtelise niiskuse ülemine piir on määratud nii toodangut ohustavate mikroorganismide arenemistingimuste kui ka niiske õhu käitumise alusel materjalide ja konstruktsioonide piirpindadel. Õhu suhtelise niiskuse alumise piiri väärtused on leitud tootmise tehnoloogiast tulenevate nõuete alusel, arvestades et tooraine pind ei hakkaks kuivama ja seega ei halveneks toodangu kvaliteet.

Ventilatsiooniseadmete dimensioneerimisel ning energiakulutuste arvutamisel on otsustava tähtsusega teada tegelikke niiskuseraldusi ruumist. Alahinnatud niiskuseraldustega arvestamine viib aladimensioneeritud seadmete valikuni, kuid samas seadmete üledimensioneerimine suurendab seadmete maksumust ning eksploatatsiooni kulusid. Seega sobiliku ventilatsioonisüsteemi valimiseks on vaja teada käsitlevates tootmisruumides toimuvaid protsesse ning niiskuseraldusi mõjutavaid tegureid.

Õhuvahetuse määramisel peab arvestama piisavalt suure õhuvahetusega, mis suudaks siduda nii adiabaatses kui ka mitteisotermises aurustumisprotsessis aurustuvat niiskust. Tuleb eristada suvel ja talvel toimuvaid protsesse ning arvestada tuleb kolme eri režiimiga, milledeks on töötamis-, pesemis- ja kuivamisrežiim.

5.2 Järeldused

Käesolevast tööst selgusid järgmised edaspidiseks tööks vajaminevad lähteandmed:

- + 12 °C tootmisruumis peab õhu suhteline niiskus jääma piiridesse 65...87 %. Kui leitud tingimusest mitte lähtuda ning võttes aluseks madalama õhu suhtelise niiskuse kui 65 %, hakkab kannatama toodangu kvaliteet. Lähtudes kõrgemast õhu suhtelisest niiskusest kui seda on 87 %, võib ruum muutuda ebasobivaks.
- Minimaalne õhuvahetus tootmisruumis peab olema 8-kordne õhuvahetus, mis vastab õhuvahetusele ligikaudu 8 l/s m² kohta.
- Suvel ei ole ilma kuivatussüsteemita võimalik saavutada vajalikku siseõhu kvaliteeti.
- Eksploatatsioonikulude hoidmiseks mõistlikes piirides on otstarbekas kasutada õhu osalist retsirkulatsiooni. Värsket välisõhku võtta vaid niipalju kui on inimestele vajalik ja väljatõmbe kompenseerimiseks ning ülerõhu tekitamiseks. Ainult välisõhu töötlemine nii suvel kui ka talvel osutub liialt kulukaks.
- Arvutustest selgus, et nii põrandate pesemise kui ka kuivamise ajal peaks autonoomne jahutus kindlasti töötama. Autonoomse jahutuse töötamisel toimub põranda kuivamine mitteisotermises protsessis, sest eelnevalt on põranda pind sooja veega üles soojendatud ja ruumi temperatuur on madalam põranda temperatuurist. Sellega lüheneb märgatavalt põrandate kuivamise aeg, mis aga on tähtis bakteriaalse saastatuse vähenemise seisukohast.

Kokkuvõtteks võib järeldada, et käesolevas töös toodud sisekliima parameetrite kujundamise põhimõtteid on võimalik rakendada alandatud temperatuuriga toidukäitlemise ruumide sisekliima kujundamisel ning analüüsi tulemusena saadud sisekliima parameetrite alusel leitud ideaalilähedast õhutöötlemissüsteemi on võimalik kasutada vajaliku sisekeskkonna saavutamiseks. Kuid samas peab arvestama, et leitud süsteem on keeruline ja kulukas, kuna talvel ja suvel on erinev õhu töötlemise viis. Lisaks on töös esitatud süsteemi puhul suvel vaja õhku töödelda erinevalt nii töötamise kui ka põrandate pesemise ja kuivamise ajal. Kahjuks ei mahtunud antud töö raamidesse käsitletud näidisruumile võimalikult lihtsama eesmärgipärase ventilatsiooni lahenduse leidmine. Sellest hoolimata võib käesoleva töö põhjal täie kindlusega väita, et sõltumata tootmise mahust ja režiimist ei ole võimalik alandatud temperatuuriga ruumides ilma kuivatusseadmeteta tagada hügieenilist sisekliimat.

5.3 Soovitused edaspidiseks tööks samas valdkonnas

Toidutöötlemise ettevõtetes on tehnoloogiliste nõuete tõttu erinevate sisetemperatuuridega tootmisruume. Näiteks ainuüksi lihatööstuses on ruume, kus vajalik temperatuur on +2 °C, +6 °C, +12 °C jne. Koostöös tehnoloogidega oleks vaja leida tehnilised lahendused, milledega tagatakse vajalikud sisekliima parameetrid kõikides tootmisruumides.

Nii intervjuudest lihatööstuste tehnoloogidega kui ka kohapealse vaatluse tulemusena selgus, et tootmisruumides olid töötamise ajal pidevalt põrandad märjad, mis aga tekitab kõrgendatud bakteriaalse saastuse ohtu. Kuna alandatud temperatuuriga tootmisruumis toimuvaid sisekliimat mõjutavaid protsesse ei ole eelnevalt sügavuti uuritud, tuleks edaspidi pöörata ka tähelepanu tootmise ajal põranda kuivana hoidmise võimalustele. Näiteks uurida põrandakütte kasutamist tootmisruumis ning analüüsida selle eelised või puudusi ning leida selle probleemi otstarbekas lahendus.

Toiduainetööstuste planeerimisel ja ehitamisel on seniajani olnud valdavaks, et ehitist pole vaadeldud ühtse tervikuna ning sellega tekitatakse tootmise korraldajale probleeme, millised on eksploatatsiooni käigus kulukad või vahest lausa võimatu kõrvaldada. Vajalik oleks koostada üldised juhised toidukäitlemisettevõtete projekteerimiseks ning ühe lahutamatu osa nendest juhistest moodustaks hügieenilise sisekliima tagamise põhimõtted ja soovitused.

Summary

This research analyses the problem how to achieve the right indoor climate in lowered temperature rooms of the meat industry and it is necessary to find out which air handling units we have to use to achieve the right indoor climate.

It was difficult to find out the main parameters of the indoor climate because there are not guidelines for engineers about which aspects to consider in the design process. Due to the fact that both in Estonia and in other European Union member states the legislation stipulates required working room temperatures but required relative air humidity and the air exchange of the room are not known. Permitted limits of the relative humidity were found on analyses of ventilation, food hygiene and veterinary literature.

It is necessary to know the right humidity releases and evaporation processes of the lowered temperature room because when you choose over dimensioned units then the air handling system will cost too much but when you choose hypo-dimensioned units then you do not achieve the right indoor climate.

To achieve the right air exchange of the lowered temperature room in meat industry, we have to count on enough large air exchange, because the air exchange of the room has to relate the released humidity. It is necessary to define the processes which are in winter and in summer. We have to calculate on three different regimes which are working, floor washing and drying regimes. It is found out that the right necessary air exchange of the room is eight times per hour. This kind of air exchange provides the demanded indoor climate parameters in the working, floor washing and drying regimes.

It can be said the air handling system which is found in this research for lowered temperature rooms of meat industry can be used. In conclusion there are some suggestions for forwards.

Kasutatud kirjandus

1. TTÜ Toiduaineteinstituudi prof. Toomas Paalme ettekanne EKVÜ seminaril 27. veebruar 2003 „*Ventilatsioon toiduainetetööstuses*“
2. Insener Ants Viilupi ettekanne EKVÜ seminaril 27. veebruar 2003 „*Ventilatsioon toidukäitlemise ruumides*“
3. TKNE-5/1995, *Tööruumide mikrokliima tervisekaitsenormid ja –eeskirjad*, Sotsiaalministri 28. detsembri 1995.a. määrus nr. 66, 1995
4. EVS 839:2003, *Sisekliima*, Eesti standardikeskuse 18.07.2003 käskkiri nr. 107, 2003
5. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EÜ) nr. 852/2004, *Toiduainete hügieen*, 29. aprill 2004.
6. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EÜ) nr. 853/2004, *Loomset päritolu toiduhügieeni erireeglid*, 29. aprill 2004
7. Ronald H. Schmidt, Gary E. Rodrick, *Food Safety Handbook*, Jahn Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey 2003, 443-452 lk.
8. HACCP kohta on materjali <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/hret2-a3.html>
9. E. Peebsen, *Veterinaar-sanitaarne mikrobioloogia*, Eesti Riiklik kirjastus, Tallinn 1962, 182-191, 200-210 lk.
10. Toidu ohutuse kohta on materjali <http://www.kliinik.ee/index.php?20,4,1,23>,
11. M. Chaplin Water Structure and Behavior <http://www.lsbu.ac.uk/water/explan4.html>
12. *Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxic Handbook*, U.S. Food & Drug Administration Center for Food Safety & Applied Nutrition <http://www.cfsan.fda.gov/~mow/factors.html>
13. *IDF Guidelines for Hygienic Design and Maintenance of Dairy Buildings and Services*, 1997
14. Vee aktiivsus (lingid) <http://www.wateractivity.org/theory.html> ja <http://www.decagon.com/appnotes/foodsafety.pdf#search=%22The%20Relation%20of%20Microbial%20Spoilage%20To%20Water%20Activity%20of%20Foods.%20The%20%22>
15. V. N. Bogoslovski, I. A. šepelev, V.M. Elterma. *Santehnilised seadmed. Osa II. Ventilatsioon ja õhu konditsioneerimine*. Moskva, 1978, 41 lk (vene keeles)
16. Codex Alimentarius (link) ftp://ftp.fao.org/codex/Publications/Booklets/Hygiene/FoodHygiene_2003e.pdf
17. *Värske liha hügieeninõuete eeskiri*, Põllumajandusministri 21. oktoobri 1999.a. määrus nr.

18. ASHRAE. *ASHRAE Handbook, Refrigeration Systems and Applications*, American Society of Heating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta 1986
19. I. Mikk. *Soojustehnika käsiraamat*. Tallinn, 1977
20. T. Masso. *Ehituskonstruktori käsiraamat. Osa 2*. Tallinn 2002, 18 lk.
21. T. A. Kõiv. *Õhu konditsioneerimine I. Õhutöötlemisprotsessid*. TTÜ 2006
22. J.S. Dickson, G.R. Siragusa, J. E. Wray JR. *Predicting the Growth of Salmonella Typhimurium on Beef by Using the temperature Function Integration Technique*, American Society for Microbiology (ASM) Applied and Environmental Microbiology, Nov. 1992, 3484 lk (inglise keeles)
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=183132&blobtype=pdf>
23. E. Coli generatsiooniaeg (link) <http://www.ebc.ee/loengud/maia/molmikro/Molmikro-loengumaterjalid.doc>
24. EVS 845-1:2004, *Hoone Ventilatsiooni projekteerimine*, Eesti standardikeskuse 31.05.2004 käskkiri nr. 41, 2004, lisa C

LISAD