

Tuija Verho

IVC-räkkien käyttö pieneläinpuhdistiloissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
7.5.2012

Tekijä Otsikko	Tuija Verho IVC-räkkien käyttö pieneläinpuhdastiloissa
Sivumäärä Aika	34 sivua + 4 liitettä 7.5.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	LVI-suunnittelija Harry Stenvall lehtori Hanna Sulamäki
<p>Insinööriyön aiheena oli tarkastella IVC-räkkien (Individually Ventilated Caging), eli yksilöllisesti ilmastoitujen eläinhäkkien, käyttöä pieneläinpuhdastiloissa ja vertailla IVC-räkkituloja perinteisiin avohäkkituloihin. Tavoitteena oli luoda lukijalle yleiskuva järjestelmästä ja sen käytöstä teoreettisten ja käytännön kokemuksiin perustuvien tietojen perusteella.</p> <p>Työssä on esitelty pieneläinpuhdastiloja ja niiden suunnitteluvaatimuksia sekä erilaisia IVC-räkkijärjestelmiä ja niiden toimintaperiaatteita. Työssä on vertailtu IVC-räkki- ja avohäkkituloja keskenään eläinten ja työntekijöiden olosuhteiden sekä energiataloudellisten seikkojen kannalta.</p> <p>Työ toteutettiin kirjallisuudesta, haastatteluista sekä suunnittelu- ja käyttökohteista kerätyn aineiston avulla. Laskelmissa käytettiin todellisen suunnittelukohteen lähtötietoja.</p> <p>Käyttämällä IVC-räkkejä voidaan parantaa niin eläinten kuin työntekijöidenkin olosuhteita. IVC-räkkituloissa huoneilmassa on vähemmän eläinpölyä ja muita epäpuhtauksia kuin avohäkkituloissa, eivätkä epäpuhtaudet siirry häkistä toiseen.</p> <p>IVC-räkkien keskitetyn ilmanvaihdon ansiosta voidaan tilaan tuotavan tuloilman määrää pienentää, mikä parantaa energiataloutta. IVC-räkkitalan lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutus on lähes 40 % pienempi kuin vastaavan kokoisen avohäkkitalan. Sähköenergian kulutuksen säästö on pienempi, eli noin 20 %, mikä johtuu IVC-räkkipuhaltimien kuluttamasta sähköstä.</p>	
Avainsanat	IVC, IVC-räkki, eläintila, puhdastila

Author Title	Tuija Verho Use of IVC-racks in small animal cleanrooms
Number of Pages Date	34 pages + 4 appendices 7 May 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructors	Harry Stenvall, HVAC Designer Hanna Sulamäki, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to study the use of IVC-racks (Individually Ventilated Caging) in small animal cleanrooms and to compare IVC-rack facilities to more traditional, open top cage facilities.</p> <p>The compared items were the living conditions of the animals, the working conditions of the personnel and the energy consumption of the facilities. The comparisons and calculations were based on information from literature, interviews and examples from existing facilities.</p> <p>The studies show the use of IVC-racks enhancing the animals' living conditions and personnel's working conditions. The IVC-rack facilities have fewer impurities in the air compared to facilities with open top cages. The transfer of impurities between cages is also prevented.</p> <p>The results of the calculations show that due to the centralized air-condition of the IVC-racks, the incoming air flow can be reduced which improves energy efficiency. The energy consumption of heating and cooling is almost 40% less in IVC-rack facilities compared to similar size open top cage facilities.</p>	
Keywords	IVC, IVC-rack, animal room, cleanroom

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Puhdastilat	2
2.1	Yleistä puhdastiloista	2
2.2	Puhdastilan suunnitteluperiaatteita	3
2.3	Pieneläinpuhdastilat	7
3	IVC-räkit	9
3.1	Häkit	10
3.2	Telineet	12
3.3	Puhallinyksikkö	13
4	Uusi biologisen tutkimusmateriaalin ylläpitoyksikkö	15
4.1	Yleisilmanvaihto	15
4.2	Puhdastilat	16
5	Käyttökokemuksia IVC-räkkijärjestelmästä	20
5.1	Esimerkkikäyttökohteen esittely	20
5.2	Työskentelyolosuhteet esimerkkikäyttökohteessa	21
5.3	Eläinten hyvinvointi esimerkkikäyttökohteessa	22
5.4	Tutkimuksia IVC-räkkien käytöstä	22
6	IVC-räkki- ja avohäkkitulojen vertailulaskelmia	24
6.1	Tarvittava ilmanvaihto	24
6.2	Lämmitys- ja kostutustehontarve	25
6.3	Jäähdytys- ja jälkilämmitystehontarve	26
6.4	Vuosittainen lämmitysenergiantarve ja kostutustarve	27
6.5	Vuosittainen jäähdytys- ja jälkilämmitysenergiantarve	29
6.6	Sähkönottoteho ja sähköenergiankulutus	29
6.7	Laskelmien yhteenveto	30
7	Loppusanat	32
	Lähteet	33

Liitteet

Liite 1. Ilmanvaihdon yleiskaaviot

Liite 2. Mallihuone, barriereläintila

Liite 3. Ilmakäsittelyprosessit i,x-diagrammissa

Liite 4. Lämmitysenergian- ja kostutustarpeen laskenta

1 Johdanto

LVI-suunnittelija saattaa uransa aikana päästä kohtaamaan paljon erilaisia ja erikoisia-kin suunnittelukohteita. Yksi tällainen erikoissuunnittelun ala on erilaiset puhdastilat. Työskentelen Insinööritoimisto Asplan Oy:ssä, ja yritys sai tehtäväkseen suunnitella Helsingin yliopiston uuden biologisen tutkimusmateriaalin ylläpitoyksikön LVI-järjestelmät. Tässä työssä kyseiseen kohteeseen tullaan jatkossa viittaamaan yksinkertaisemmalla nimellä ”uusi ylläpitoyksikkö”.

Pieneläinpuhdastilojen olosuhdevaatimukset ovat korkeat, joten tilojen suunnittelukin on vaatimustasoltaan haastavaa. Uudessa ylläpitoyksikössä tullaan käyttämään pääasiassa IVC-räkkejä (Individually Ventilated Cage) eläinten säilytykseen perinteisten avohäkkien sijaan, mikä osaltaan lisää suunnittelussa huomioitavia asioita ja monimutkaisee järjestelmää.

Tässä työssä tullaan esittelemään pieneläinpuhdastiloja ja niiden suunnitteluvaatimuksia sekä erilaisia IVC-räkkijärjestelmiä ja niiden toimintaperiaatteita. Työssä tullaan myös vertailemaan IVC-räkki- ja avohäkkituloja keskenään eläinten ja työntekijöiden olosuhteiden sekä energiataloudellisten seikkojen kannalta.

Työn tarkoituksena on antaa lukijalle kuva IVC-räkkien käytöstä pieneläinpuhdastiloissa kirjallisuudesta, haastatteluista ja todellisista suunnittelu- ja käyttökohteista kerätyn aineiston avulla.

2 Puhdastilat

2.1 Yleistä puhdastiloista

Puhdastilalla tarkoitetaan kontrolloitua tilaa, jossa valittuja olosuhteita ylläpidetään työskentelyn tai tuotteen puhtauden varmistamiseksi. ISO 14644-1 -standardissa määritellään puhdastila seuraavasti:

2.1.1 puhdastila

huone, jossa ilman hiukkaspitoisuutta valvotaan, ja joka on rakennettu siten, ja jota käytetään sellaisella tavalla, että hiukkasten pääsy, kerääntyminen ja säilyminen huoneen sisällä on minimoitu. Lisäksi muita asiaankuuluvia suureita kuten lämpötilaa, kosteutta ja painetta valvotaan tarpeen mukaan. [1, s. 6.]

Puhdastiloja käytetään monilla eri aloilla, jotka voidaan karkeasti jakaa kahteen pääryhmään sen mukaan, torjutaanko elollisia vai elottomia epäpuhtauksia. Teknisillä aloilla, kuten elektroniikka-, puolijohde-, mikromekaniikka- ja optiikkateollisuudessa, halutaan välttää pölyn ja muiden epäpuhtauksien pääsy prosessiin, sillä jo mikroskooppisen pienet hiukkaset voivat vaikuttaa tuotteeseen ja tuotantoon. Haitallisia mikroorganismeja ja muita orgaanisia materiaaleja halutaan torjua lääketieteen aloilla kuten bio- ja geeniteknologia, lääketieteellisyys, terveydenhuolto ja kirurgia sekä elintarviketeollisuudessa. [2.]

Puhdastiloille on luotu erilaisia standardeja, joissa määritellään muun muassa puhdastilojen luokituksia ja käsitteitä sekä annetaan ohjeita puhdastilojen suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöön. Euroopassa tällä hetkellä yleisimmin käytetty puhdastilastandardi on ISO-14644, johon kuuluu kahdeksan osaa yleisotsikolla *Puhdastilat ja puhtaat alueet*. Standardin ensimmäinen osa, ISO-14644-1: *Ilman puhtausluokitus*, luokittelee puhdastilat hiukkaspitoisuuden (C_n , hiukkasia/m³) ja hiukkaskoon (D , µm) mukaan luokkiin ISO 1 – ISO 9, puhtaimmasta epäpuhtaimpaan. [2.]

Puhtaimpiin ISO-luokkiin pyritään tiloissa, joissa valmistetaan esimerkiksi nanometri- luokan mikropiirejä. Puolijohdeteollisuudessa pyritään yleensä luokkaan ISO 4, kun taas vaativien operaatioiden leikkaussalien puhtausluokitus on yleensä ISO 5. Tavanomaisten elektroniikkakomponenttien sekä hydrauliiikka- ja pneumatiikkalaitteistojen kokoonpanot tapahtuvat yleensä ISO 8 -luokan tiloissa. Taulukosta 1 näemme luokitus-

ten hiukkaspitoisuusrajojen muuttuvan logaritmisesti, jolloin esimerkiksi luokkien ISO 1 ja ISO 3 hiukkaspitoisuusrajojen ero on satakertainen. [1, s. 8; 2; 3.]

Taulukko 1. Puhdastilojen ja puhdasvyöhykkeiden valitut ilman hiukkaspitoisuuden mukaiset puhtausluokat [1, s. 8]

ISO-luokitus	Suurimmat hiukkaspitoisuusrajat (hiukkasia/m ³ ilmaa) hiukkasille, jotka ovat yhtä suuria tai suurempia kuin alla esitetyt tarkasteltavat koot					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO luokka 1	10	2				
ISO luokka 2	100	24	10	4		
ISO luokka 3	1 000	237	102	35	8	
ISO luokka 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO luokka 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO luokka 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO luokka 7				352 000	83 200	2 930
ISO luokka 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO luokka 9				35 200 000	8 320 000	293 000

Yhdysvalloissa on vielä käytössä puhdastilastandardi Federal Standard 209 (FS 209), joka ilmoittaa sallittujen hiukkasten määrän kuutiojalassa ilmaa. FS 209 -luokituksen puhtain luokka Class 1 vastaa ISO-luokkaa 3. Euroopassa on käytössä myös World Health Organizationin (WHO) perustama Guide to Good Manufacturing Practices (GMP-ohjeisto), joka antaa ohjeistukset lääketeollisuuteen sekä solu- ja kudosteknologiaan. Muita standardeja ovat mm. ISO 14698, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers) ja ANSI (American National Standard Institute). [2; 3.]

2.2 Puhdastilan suunnitteluperiaatteita

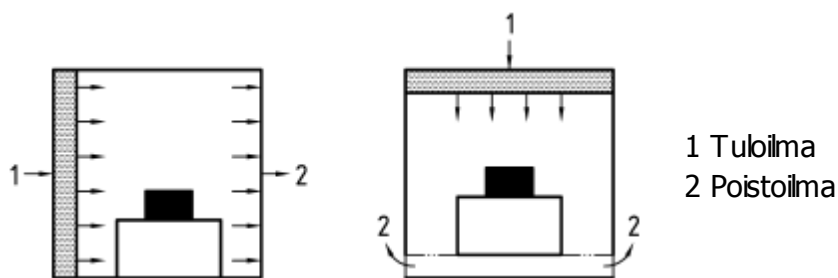
Puhdastilan suunnittelua aloitettaessa on tärkeää selvittää mahdollisimman tarkasti tilan käyttötarkoitus ja sen asettamat vaatimukset. Puhdastilasuunnittelussa tärkeimpiä asioita ovat ilman suodatus ja puhtauden ylläpito tiiviyden ja painesuhteiden avulla. Puhtauden ylläpitoon kuuluu myös tilaan ihmisten ja esineiden mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien torjuminen esimerkiksi sulkuhuoneiden ja ilmasuihkujen avulla, sekä tilassa käytettävien materiaalien tarkka valinta. [2.]

ISO standardi 14644-1 luokittelee puhdastilat ilman partikkelien koon ja esiintymistiheyden mukaan. Puhdastilaan tuotavan ilman tulee täyttää asetetut vaatimukset, ja ne

voidaan saavuttaa erilaisia tuloilman suodattimia käyttämällä. Tällaisia ovat esimerkiksi HEPA-suodattimet (High Efficiency Particulate Air filter) ja ULPA-suodattimet (Ultra-low Penetration Air filter). Myös poistoilman tavallista tarkempaa suodatusta saatetaan tarvita, jos tiloissa käsitellään haitallisia aineita, joita esiintyy esimerkiksi joissain lääketieteellisissä toiminnoissa ja erilaisissa tuotantoprosesseissa. [2.]

Puhdastilassa tapahtuva toiminta asettaa usein tarkkojakin vaatimuksia tilojen lämpötilalle ja ilman kosteuspitoisuudelle ja näitä voidaan hallita ilmanvaihdon avulla. Olosuhteiden hallintaan liittyy olennaisesti tilojen riittävä anturointi ja tarkka automatiikka, jolla ilmanvaihtoa tarpeen mukaan säädetään haluttujen olosuhteiden saavuttamiseksi.

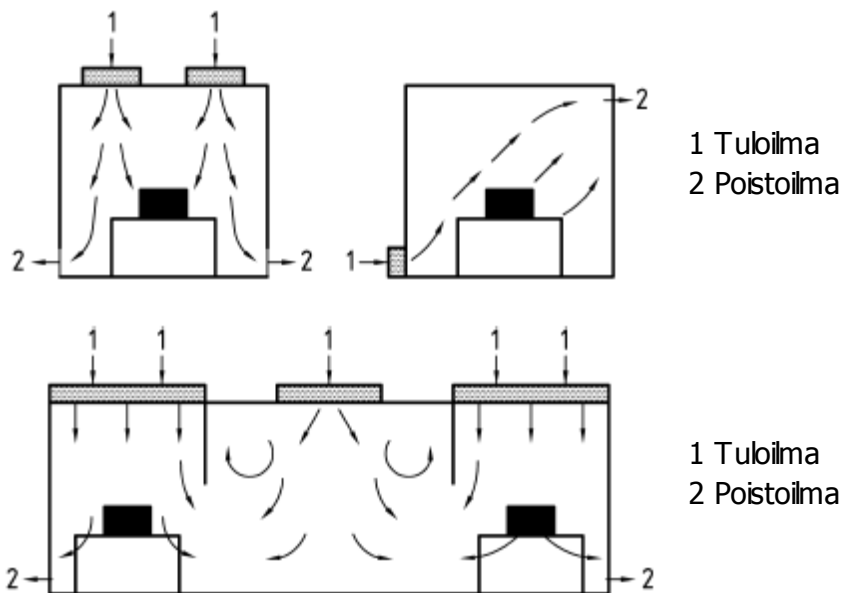
Puhdastilan ilma vaihdetaan tilan toiminnasta ja puhtausluokasta riippuen 10–600 kertaa tunnissa. Ilmanvaihtokerroin vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluun merkittävästi. Korkeimmat puhdastilaluokat (ISO 1–5) vaativat yleensä yksisuuntaisen eli laminaarisen ilmavaihdon toteutuakseen. Yleensä laminaarinen ilmanjako toteutetaan katosta ja ilma poistetaan tilan alaosasta. Laminaarinen ilmanjako voidaan toteuttaa myös vaakasuuntaisesti, kuten on esitetty kuvassa 1. Kuvassa esitetään myös pystysuuntainen ilmanvaihto. [2; 3.]



Kuva 1. Esimerkkejä yksisuuntaisesta ilmanjakotavasta [4, s. 28].

Niin pysty- kuin vaakasuorassakin toteutuksessa tulisi tulo- ja poistoilma-aukkojen sijoittaa tilassa lähes vastakkaisilla puolilla toisiinsa nähden, jotta ilman virtaussuunta tilassa pysyy niin suorana kuin mahdollista. Luonnollisesti tuloilma-aukon lähellä on puhtaimmat olosuhteet, sillä lähempänä poistoilma-aukkoa on ilmavirtaan kulkeutunut jo hiukkasia. Epäpuhtauslähteet, eli useimmiten henkilöt, tulisikin sijoittaa prosessoinnista ilmavirtauksen alapuolelle. [4, s. 26–28.]

Turbulenttisia, eli pyörteisiä, sekä sekoittavia virtauksia käytetään yleensä luokissa ISO 6 – ISO 9. Kuvassa 2 esitetään edellä mainitut ilmanjakotavat, ylempänä pyörteinen ilmavirta ja alempana sekoittava ilmavirta. [2; 4, s. 26.]



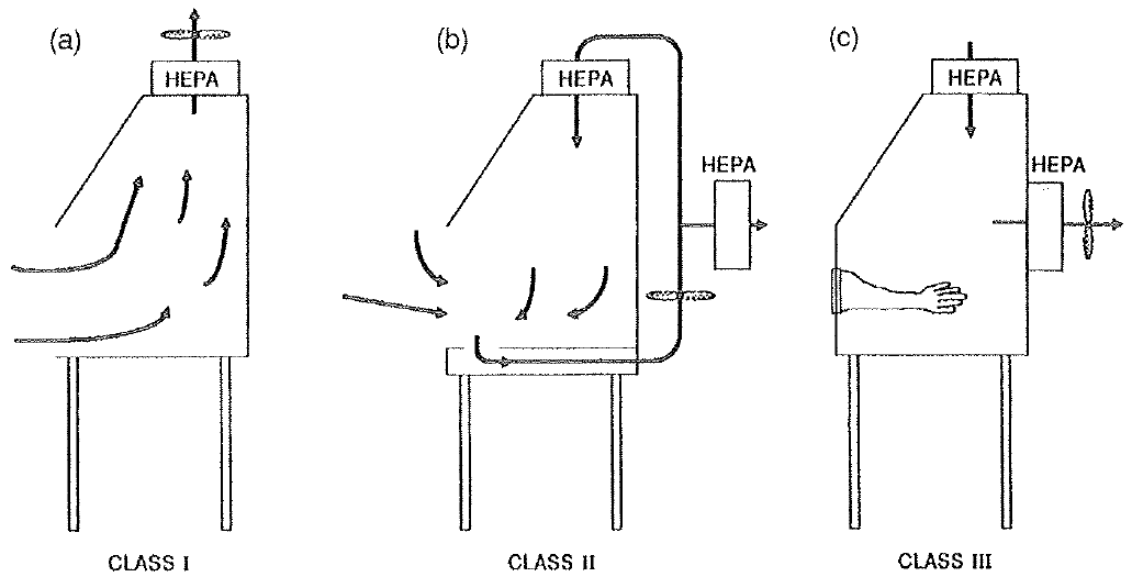
Kuva 2. Esimerkkejä pyörteisestä ja sekoittavasta ilmanvaihtotavasta [4, s. 28].

Pyörteisessä ja sekoittavassa ilmanvaihdossa ei poistoilma-aukkojen sijoitus ole niin kriittistä kuin laminaarisessa, mutta ilmanvaihdon katvealueita tulee kuitenkin välttää, kuten kaikessa ilmanvaihdon suunnittelussa [4, s. 26].

Puhdastilat suunnitellaan yleensä ylipaineisiksi ympäröiviin tiloihin nähden puhtaimman tilan ollen korkeimmassa painetasossa. Näin ilmavirta kulkee aina puhtaammasta tilasta likaisempaan. Tilojen välinen paine-ero on tavallisesti 15–30 pascalia, mutta suunnittelussa pyritään nykyään pienempään, 10–20 pascalin paine-eroon. Tilojen väliset paine-erot luodaan tulo- ja poistoilmavirtojen suhteiden avulla. Paine-eroja ylläpidetään tulo- ja poistoilmakanavien ilmamääräsäätöpelleillä, joita säädetään huone- ja kanavapaineiden perusteella. [3; 5.]

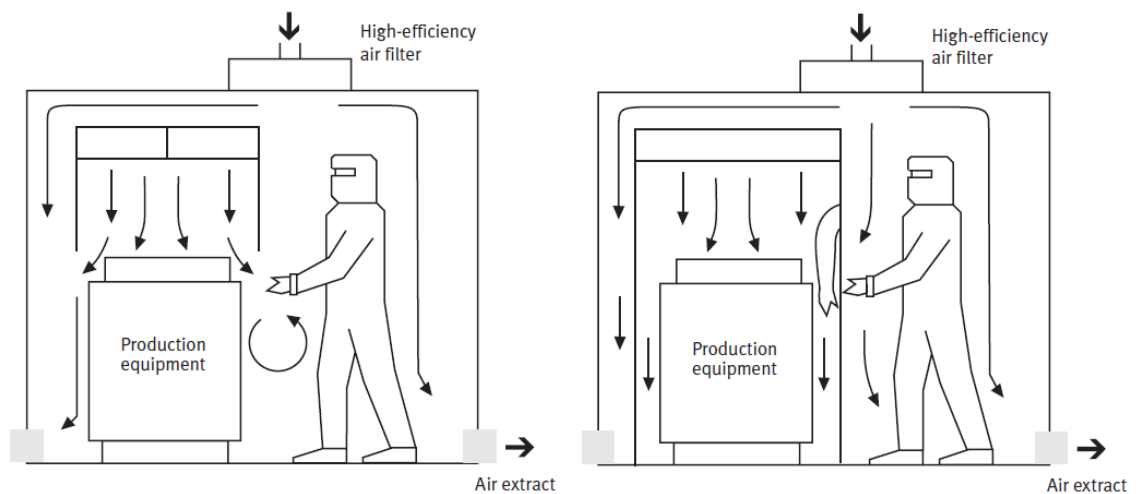
Puhdastilojen rakentaminen ja ylläpito ovat korkeiden vaatimuksien vuoksi haastavaa ja kallista. Tämän vuoksi tuleekin puhdastilantarve määritellä tarkasti ja varoa ylittämistä. Toimintoja kannattaa keskittää ja puhdasalueita rajata tarpeen mukaan. Tässä voidaan käyttää apuna esimerkiksi erilaisia vetokaappeja, kohdepoistoja ja verhouksia.

Kuvassa 3 on esitetty eriaستهisia vetokaappeja, joilla prosessin tuottamien epäpuhtauksien pääsy huoneilmaan estetään. [2.]



Kuva 3. Erilaisia vetokaappiratkaisuja [2].

Joissain tapauksissa tulee itse prosessia suojella ympäröiviltä epäpuhtauksilta, jolloin puhdas tuloilma tuodaan mahdollisimman lähelle prosessia. Kuvassa 4 on esitetty eräänlaisia käänteisiä vetokaappiratkaisuja eli laminaarivirtauskaappeja, joilla prosessia voi eristää huoneilasta. [2.]



Kuva 4. Erilaisia ratkaisuja prosessin eristykseen [2].

2.3 Pieneläinpuhdastilat

Pieneläinpuhdastiloilla tarkoitetaan tässä tiloja, joissa tapahtuu koe-eläinten, yleensä jyräjoiden, tutkimus, tuotanto ja kasvatusta. Nämä ovat erillisiä, omalla ilmanvaihdolla toimivia tiloja, joihin pääsy on rajoitettu. Tiloissa käytettävien puhdistatekniikoiden ja käytäntöjen tarkoituksena on suojella niin eläimiä ja tutkimuksia kuin myös työntekijöitä mahdollisten taudinaiheuttajien leviämiseltä.

Helsingin yliopiston biologisen tutkimusmateriaalin uuteen ylläpitoyksikköön tullaan rakentamaan erilaisia pieneläinpuhdastilatyyppejä. Tyyppejä ovat konventionaaliset eli niin sanotut avoimet tilat, barriertilat ja BSL2-luokan eläintilat. Tilojen suurin ero on niiden puhtausluokitus, joka myös rajoittaa niiden käyttäjäkuntaa. Barriertiloissa, kuten konventionaalisissa tiloissakin, tapahtuu eläinten tutkimusta, tuotantoa ja kasvatusta. Barriertilojen puhtaus on kuitenkin valvotumpaa, tilat ovat ylipaineisia ympäröiviin tiloihin nähden, eikä tiloihin päästetä henkilökuntaan kuulumattomia tutkijoita tai vierailijoita. BSL2-luokan (biosafety level 2) tiloissa käsitellään eläimiä, jotka mahdollisesti kantavat ihmisille tai muille eläimille haitallisia patogeenejä eli mikrobeja. Yleensä ulkopuolelta eli muista laitoksista tulevat eläimet tuodaan BSL2-tiloihin. Tiloja kutsutaan myös infektiotiloiksi, ja ne ovat alipaineisia ympäröiviin tiloihin nähden. Eläimiä ei saa siirtää likaisemmista tiloista puhtaampiin, mutta toisin päin se on sallittua. Eläinten käsittely suoritetaan yleensä laminaarivirtauksella varustetuissa työskentelypisteissä joko eläintiloissa tai erillisissä tutkimustiloissa. [6; 7; 8.]

Eläintiloissa eläimiä pidetään joko avohäkeissä tai IVC-räkeissä. Avohäkkien ja IVC-räkkien ympäristöolosuhteet suhteessa eläintilan yleisilmastoon poikkeavat toisistaan, minkä vuoksi yhdessä tilassa ei tulisi pitää molempia järjestelmiä [9].

Koe-eläintoimintaa säätelevät erilaiset lait, säädökset ja ohjeet. Suomalaisia lainsäädäntöjä ovat muun muassa laki koe-eläintoiminnasta, eläinsuojelulainsäädäntö ja geenitekniikan lainsäädäntö. Käytössä ovat myös Euroopan unionin koe-eläintoiminnan direktiivi ja EU-komission suositukset koe-eläinten ylläpidolle ja hoidolle. [10.]

Eläinten ympäristöolosuhdevaatimukset on kerrottu Eurooppalaisen yleissopimuksen Liite A:ssa. Liitteessä määritellään eri eläinlajien vaatimukset suojan pinta-alasta ja ilmastosta ruokinta- ja virikeohjeisiin. Euroopan unioni otti suositukset suoraan sellai-

senaan omaksi suositukseksi vuonna 2007. [11; 12.] Taulukkoon 2 on kerätty yleis-sopimuksen Liite A:ssa kerrottuja jyräjöiden ympäristöolosuhdevaatimuksia ilmanlaadun kannalta.

Taulukko 2 Jyräjöiden ympäristöolosuhdevaatimuksia [12].

Ympäristötekijä	
Ilmanvaihto	15–20 kertaa tunnissa
Lämpötila	20–24 °C
Suhteellinen kosteus	45–65 %

Eläinten ympäristöolosuhteita usein seurataan ja ne pyritään pitämään vakaina eläinten hyvinvoinnin vuoksi. Uudessa ylläpitoyksikössä eläintilojen olosuhteita tullaan seuraamaan monella eri tavalla. Huoneisiin tulee paikan päällä luettavat lämpötila- ja kosteusmittarit sekä anturit, jotka lähettävät mittaustietonsa rakennuksen kiinteistöautomaatiojärjestelmälle. IVC-räkkien puhallinyksikköjen tietoja voidaan seurata tietokoneilla ja räkkeihin sijoitetaan myös mittaushäkkejä, joista voidaan seurata häkin sisäistä ilmavirtaa, kosteutta ja lämpötilaa. Mittaushäkeissä ei kuitenkaan ole eläimiä, joten niiden antamat mittaustulokset eivät vastaa asuttujen häkkien olosuhteita, vaan antavat vain viitteitä niistä. [7.]

3 IVC-räkit

Individually Ventilated Cage (IVC) tarkoittaa yksilöllisesti ilmastoitua eläinhäkkiä. IVC-räkit kutsutaan telinettä, jossa yksilöllisesti ilmastoidut häkit ovat. Häkit ovat tiiviitä muovilaatikoita, joissa on kansi pikalukituksella sekä tulo- ja poistoilmayhteet yksilöllistä ilmanvaihtoa varten. Joissain tapauksissa IVC-räkkejä kutsutaan yksinkertaisesti kuutioiksi ja IVC-räkkituloja kuutiohuoneiksi [6]. Hiiri ja rotta ovat yleisimmin käytetyt koe-eläimet, joten IVC-järjestelmät on suunniteltu enimmäkseen näitä lajeja varten.

Ensimmäiset koe-eläinten häkit olivat teräshäkkejä, jotka olivat kestäviä ja halpoja. 1960-luvulla siirryttiin käyttämään rutiläkannellisia muovilaatikoita, joiden ongelma aiempienkin avohäkkien tapaan oli epäpuhtauksien leviäminen tiloihin ja muihin eläimiin. Ongelmaa yritettiin ratkaista 1970-luvulla kehittämällä häkkeihin suodattimellinen muovikansi jolla estettiin epäpuhtauksien leviäminen. Vaikka työskentelytilojen ilmanlaatu parani, oli häkkien ongelmana kuitenkin heikentynyt ilmanlaatu, sillä suodatinkannellisissa häkeissä kosteus-, ammoniakki- ja hiilidioksiditasot olivat rutiläkannellisia häkkejä korkeammat. [13.]

Vuonna 1978 Thoren Caging Systems kehitti ensimmäisen IVC-järjestelmän parantamaan eläinten olosuhteita, minkä jälkeen muutkin yritykset alkoivat kehittää vastaavia tuotteita, ja 1990-luvun alussa IVC-järjestelmät olivat jo laajassa käytössä. Koe-eläinten ylläpitoa ohjeistavien suositusten tiukentuessa on valmistajien pitänyt kehittää tuotteitaan entistä tehokkaammiksi – energiataloutta unohtamatta. [13.]

IVC-räkki voidaan varustaa omilla puhaltimillaan, jotka ottavat ilmaa huonetilasta ja puhaltavat sen HEPA-suodatettuna IVC-räkille, sekä imevät ilmaa IVC-räkistä ja puhaltavat sen HEPA-suodatettuna takaisin huonetilaan. IVC-räkki voidaan myös liittää suoraan rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään ilman omaa puhallinta, joko tulo- ja poistoilman osalta tai ainoastaan poistoilman osalta.

Markkinoilla on useita IVC-järjestelmien valmistajia, joiden tuotteista ja toteutustavoista löytyy eroja. Kuvassa 6 on esitetty joitain erilaisia IVC-räkkejä. IVC-räkin pääkomponentit ovat kuitenkin yleensä samat: häkit, teline ja puhallin- sekä säätöyksikkö.



Kuva 6. Esimerkkejä IVC-räkeistä [14; 15].

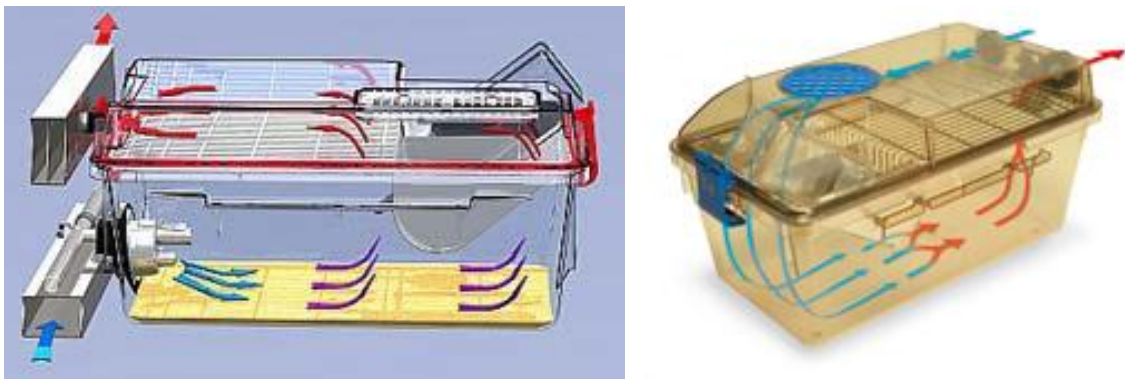
3.1 Häkit

IVC-räkeissä käytetyt häkit valmistetaan läpinäkyvästä, kestävästä muovista, kuten polysulfonista (PSU), polyeetteri-imidistä (PEI) tai polyfeenisulfonista (PPSU). Nämä muovit kestävät korkeita lämpötiloja ja autoklaavausta, joka on välttämätöntä häkkien puhdistettavuuden ja uudelleenkäytettävyyden kannalta. Joillakin valmistajilla on tarjota myös kertakäyttöisiä häkkeitä IVC-räkkeihin. Nämä valmistetaan polyeteenitereftalaa-tista (PET), joka on kierrätettävä muovi. Käyttäjän tilat ja tarpeet yleensä määrittelevät sen, valitaanko uudelleenkäytettävät vai kierrätettävät häkit. Hyvä näkyvyys häkkien sisälle on tärkeää päivittäisten eläinten tarkastusten kannalta. [7; 15; 16.] Kuvassa 7 on esitetty kaksi markkinoilla olevista monista IVC-häkkimalleista.



Kuva 7. Esimerkkejä IVC-häkeistä [15; 17].

Häkkien tulo- ja poistoilmavirtojen sijainnit vaihtelevat valmistajittain. Yhteet voivat sijaita häkin takaosassa tai sivuilla, ylä- tai alareunassa. Yhteiden sijainnilla vaikutetaan häkin sisäiseen ilmavirtakenttään ja ilman liikkumisnopeuteen. Kannen muotoilu vaikuttaa myös ilman liikkeeseen häkissä. Kuvassa 8 on kahden valmistajan esitykset ilmavirtauksista IVC-häkissä. Hollannissa tehdyn tutkimuksen mukaan hiirille suotuisampi tapa tuoda ilmaa on häkin yläosasta kuin suoraan eläinten oleskeluvyöhykkeelle. Alajakoista tapaa suosivat valmistajat perustelevat tapaansa paremman kosteudenpoiston perusteella ja yläjakoista tapaa suosivat vetoavat eläinten viihtyvyyteen. [15; 17; 18.]



Kuva 8. Esimerkkejä ilmanjakotavoista IVC-häkissä [15; 17.]

Häkin kansi on joko umpinainen tai siinä on suodattimella varustettu ilma-aukko, jonka ansiosta häkissä vaihtuu ilma, vaikka häkki irrotettaisiin telineestä tai puhaltimet pysähtyisivät virtakatkon tai muun vian vuoksi. Ilma-aukko voi olla myös häkin kyljessä tai etuosassa. Kannessa voi olla paikka ulkoiselle juomapullolle, jotta pullon voi vaihtaa kantta avaamatta ja eläimiä häiritsemättä. [15; 17.]

Häkkejä on tarjolla useita eri kokoja ja malleja. Häkin koko valitaan eläinten koon ja määrän mukaan. Pienimmät häkit ovat pohjapinta-alaltaan noin 420 cm^2 ja tilavuudeltaan noin 5 dm^3 , ja niitä voidaan käyttää neljän aikuisen hiiren asumukseksi. Kuvan 7 vasemmassa laidassa on tällainen häkki. Suurimmat häkit on tarkoitettu isommille hiiriryhmille ja rotille. Niiden pohjapinta-ala on jopa 1500 cm^2 ja tilavuus noin 25 dm^3 . Näin suuressa häkissä voidaan pitää jopa kolmea rottaa, kuten kuvan 7 oikeanpuoleisessa häkissä. Häkkien varustelu vaihtelee eläinten ja tutkimuksen tarpeiden mukaan. Kaikissa häkeissä on teline ruokaa varten, juomapullo tai vesiyhde, kuiviketta ja virikkeitä. Häkkien kokoihin ja varusteluihin antavat ohjeita muun muassa EU-komission antamat suositukset. [15; 17; 12.]

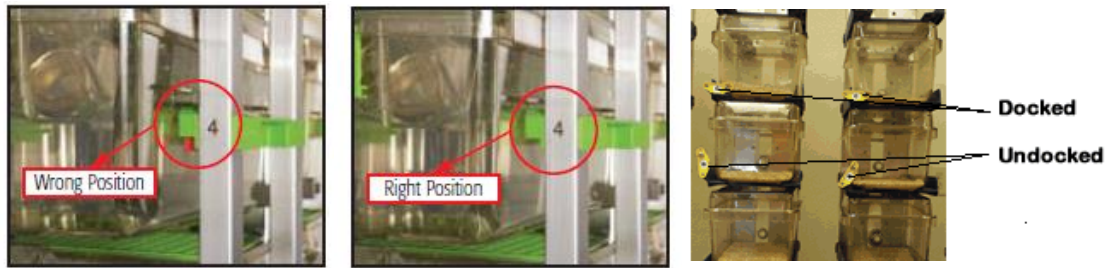
3.2 Telineet

Räkki, eli teline jossa häkkejä pidetään, on yleensä tehty teräksestä. Telineitä on useita eri malleja ja kokoja, kuten yksi- ja kaksipuolisia ja jopa pyöreitä, kuten nähdään kuvassa 6 olevista esimerkeistä. Telineet voivat olla kiinteästi seinälle asennettuja tai pyörillä varustettuja liikuteltavia yksiköitä. Kuvassa 9 on esimerkki yksipuoleisesta räkistä ilman häkkejä ja puhallinyksikköä. Kuvassa oikealla on esimerkki kaksipuoleisesta räkistä, jossa rakin molemmin puolin on häkkejä, jolloin tila saadaan paremmin hyödynnettyä.



Kuva 9. Esimerkkejä IVC-räkeistä [15; 19].

Telineessä on yleensä päätulo- ja poistoilmakanavat, jotka on yhdistetty joustavilla tai kiinteillä liitoksilla joko omaan puhallinyksikköön tai säätöpellin kautta rakennuksen ilmanvaihtoon. Pääkanavat ovat joko vaaka- tai pystysuorassa ja niistä kohtisuoraan lähtevät jakoputket häkeille. Telineissä on yleensä kiskot, joiden avulla häkit asetetaan telineeseen. Häkki lukittuu paikalleen, jolloin ilma- ja vesiyhteet telineeseen yhdistyvät kunnolla. Telineissä käytetään usein visuaalisena apuna vipua tai värillistä merkkiä osoittamaan sitä, että häkki on telineessä paikallaan (kuva 10).

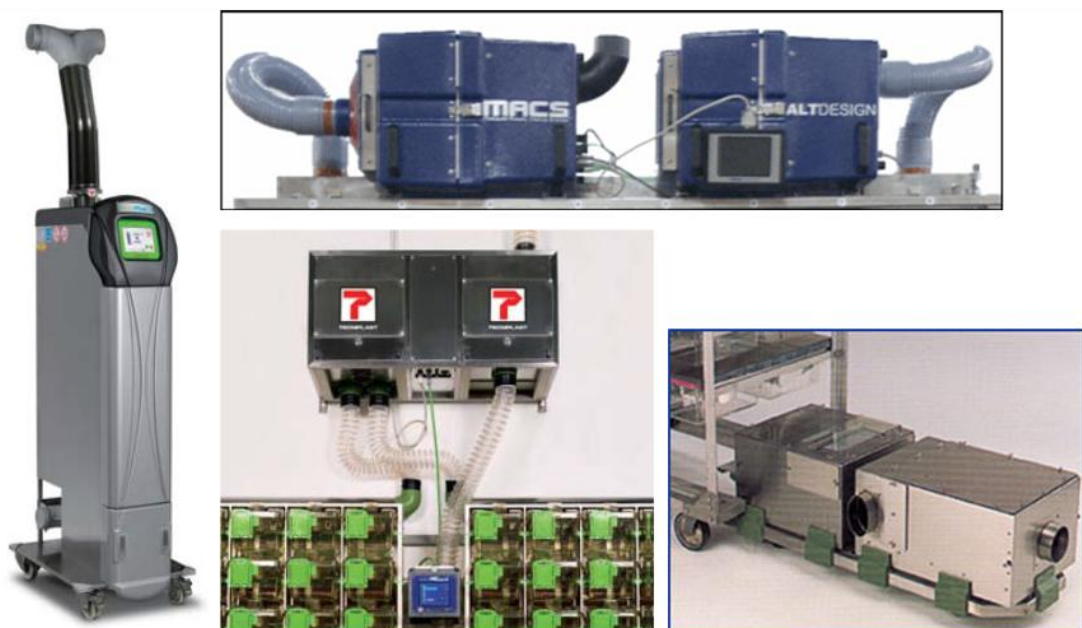


Kuva 10. Esimerkkejä lukituksen varmistuksesta [14; 15].

Telineitä voidaan yleensä yhdistää niin, että yksi puhallinyksikkö palvelee useampaa telineettä. Telineet voidaan yhdistää joko kiinteästi tai joustavin liitoksiin. Usean rakin yhdistäminen peräkkäin voi kuitenkin vaikeuttaa yhdenvertaisen ilmanvaihdon toteuttamista, sillä joissain räkeissä puhallinta lähinnä olevissa häkeissä ilmanvaihto saattaa olla suurempi kuin kaukaisimmissa häkeissä. [14; 15.]

3.3 Puhallinyksikkö

Puhallinyksiköt ovat IVC-räkkien toiminnan ydin. Tuloilmapuhallin imee ilmaa huonetilasta ja ajaa ilman esi- ja HEPA-suodattimien läpi rakin päätuloilmakanavaan, josta ilma jaetaan häkeille. Rakin pääpoistoilmakanavaan kytketty poistoilmapuhallin vastaavasti imee häkeistä ilmaa ja ajaa sen esi- ja HEPA-suodattimien läpi joko takaisin huonetilaan tai vaihtoehtoisesti suoraan rakennuksen poistoilmajärjestelmään. [14; 15.]



Kuva 11. Erilaisia puhallinyksiköjä [14; 15; 20].

Puhaltimet pitävät häkit joko yli- tai alipaineisena huonetilaan nähden. Osa IVC-räkeistä ja -häkeistä on valmistettu erityisesti jompaakumpaa tilannetta varten, mutta markkinoilla on myös molempia vaihtoehtoja tukevia malleja. Näissä malleissa käyttäjä voi itse vaihtaa paineistusta puhallinyksikön ohjauspaneelista. Vaikka puhaltimet olisivat erilliset, ne ovat yhteydessä toisiinsa ohjausyksikön kautta. Tällöin esimerkiksi tuuloilmapuhaltimen sammussa sammuu myös poistoilmapuhallin, jottei positiivisen paineen häkkeihin muodostuisi alipainetta. [14; 15.]

Ohjaus- ja seurantapaneelien sijoitukselle on olemassa useita vaihtoehtoja valmistajasta riippuen, kuten nähdään myös kuvasta 11. Paneelit voivat sijaita räkin tai puhallinyksikön yhteydessä tai seinällä, ja voivat olla jopa kauko-ohjattavia. Paneeleista on säädettävissä ilmanvaihtokerroin tai ilmavirta, ja niistä voi olla mahdollista valita häkkinen yli- tai alipaineisuus. Kehittyneimmissä versioissa voi seurata reaaliaikaisesti myös painetasoja, ilman lämpötilaa ja kosteutta sekä suodattimien tilaa. Seurantalaitteisto voidaan ohjelmoida antamaan tarvittaessa hälytyksiä mahdollisista laitteiston ongelmista, ilmanlaadun kriittisestä muuttumisesta ja suodattimien tilasta. Hälytykset voidaan ohjata langattomasti tai kaapeleilla järjestelmän omaan valvontakeskukseen tai kiinteistöautomaation valvontakeskukseen. [14; 15; 17.]

Puhaltimien ilmamäärä, painetuotto ja niiden myötä sähkönottoteho vaihtelevat valmistajasta sekä IVC-räkin koosta ja vaaditusta ilmanvaihtokertoimesta riippuen. Luvussa 5 esiteltävässä esimerkkikohteessa on käytetty Tecniplastin IVC-räkkejä, joiden valmistaja ilmoittaa yhden puhallinyksikön ilmamäärätuotoksi 20–200 m³/h, painetuotoksi noin 8–12 pascalia ja sähkön ottotehoksi alle 100 W puhallinyksikköä kohti. [21.]

4 Uusi biologisen tutkimusmateriaalin ylläpitoyksikkö

Helsingin yliopiston uudessa biologisen tutkimusmateriaalin ylläpitoyksikössä rakennuksen koko talotekniikka uusitaan ja sinne rakennetaan myös höyry- ja paineilmaverkostot sekä kaasuverkostot hapelle ja hiilidioksidille. Rakennus kuuluu kaukolämmityksen piiriin, ja ilmastoinnin jäähdytys hoidetaan vedenjäähdytysyksiköillä ja katolle sijoitettavilla nestejäähdyttimillä. [8.]

Rakennuksen ala on noin 6000 br-m². Ilmatiiviiden puhdastilojen – eli laboratorioden, tutkimuseläin-, barrier- ja BSL2-tilojen sekä käytävien, pesula- ja etutilojen – osuus bruttopinta-alasta on noin kolmannes. Kuudesosa rakennuksen bruttopinta-alasta on toimisto-, sosiaali- ja yleistiloja ja noin puolet on teknisiä tiloja ja asennustiloja. Teknisten tilojen suuren osuuden selittävät erikoisjärjestelmät sekä rakennuksen vaativat ilmanvaihtoratkaisut, joita varten on varattu suuret konehuonetilat ja noin 1000 m² puhdastilojen yläpuolista lämmitettyä asennustilaa. [8.]

4.1 Yleisilmanvaihto

Puhdastilojen vaatima kokonaisilmamäärä on noin 17 m³/s. Ilmanvaihtokoneilla tuloilma suodatetaan, lämmitetään, jäähdytetään, kostutetaan ja jälkilämmitetään tarpeen mukaan. Kostutus toteutetaan höyryllä, joka tuotetaan rakennuksen omassa höyrykeskuksessa. Tulo- ja poistoilmakoneet varustetaan vesi-glykoli-lämmöntalteenotto-laitteilla. Puhdastilojen ilmanvaihtokoneissa on tuloilmalle F5- ja F9-hienosuodattimet ja poistoilmalle F9-hienosuodatin.

Puhdastilojen ilmanvaihdon toimivuus halutaan taata niin tutkimusten kuin eläintenkin turvaamiseksi, minkä vuoksi on päädytty asentamaan rinnan kaksi ilmanvaihtokonetta kutakin puhdastilojen palvelualueetta kohden. Tuloilma suodatetaan ilmanvaihtokoneiden jälkeen vielä HEPA14-suodattimilla, joiden erotusaste on vähintään 99,995 %. Barrier- ja tutkimuseläintiloissa HEPA14-suodattimet ovat tilakohtaiset ja tutkimustiloissa ilmanvaihtokonekohtaiset. Liitteessä 1 on esitetty osia uuden ylläpitoyksikön ilmanvaihdon yleiskaaviosta. Kaavioista nähdään koneparien ja tuloilmakanavistoon rinnan asen-

nettujen suodattimien asennusperiaate. Tupla-asennusten ansiosta voidaan koneet huoltaa ja suodattimet vaihtaa keskeyttämättä ilmanvaihtoa.

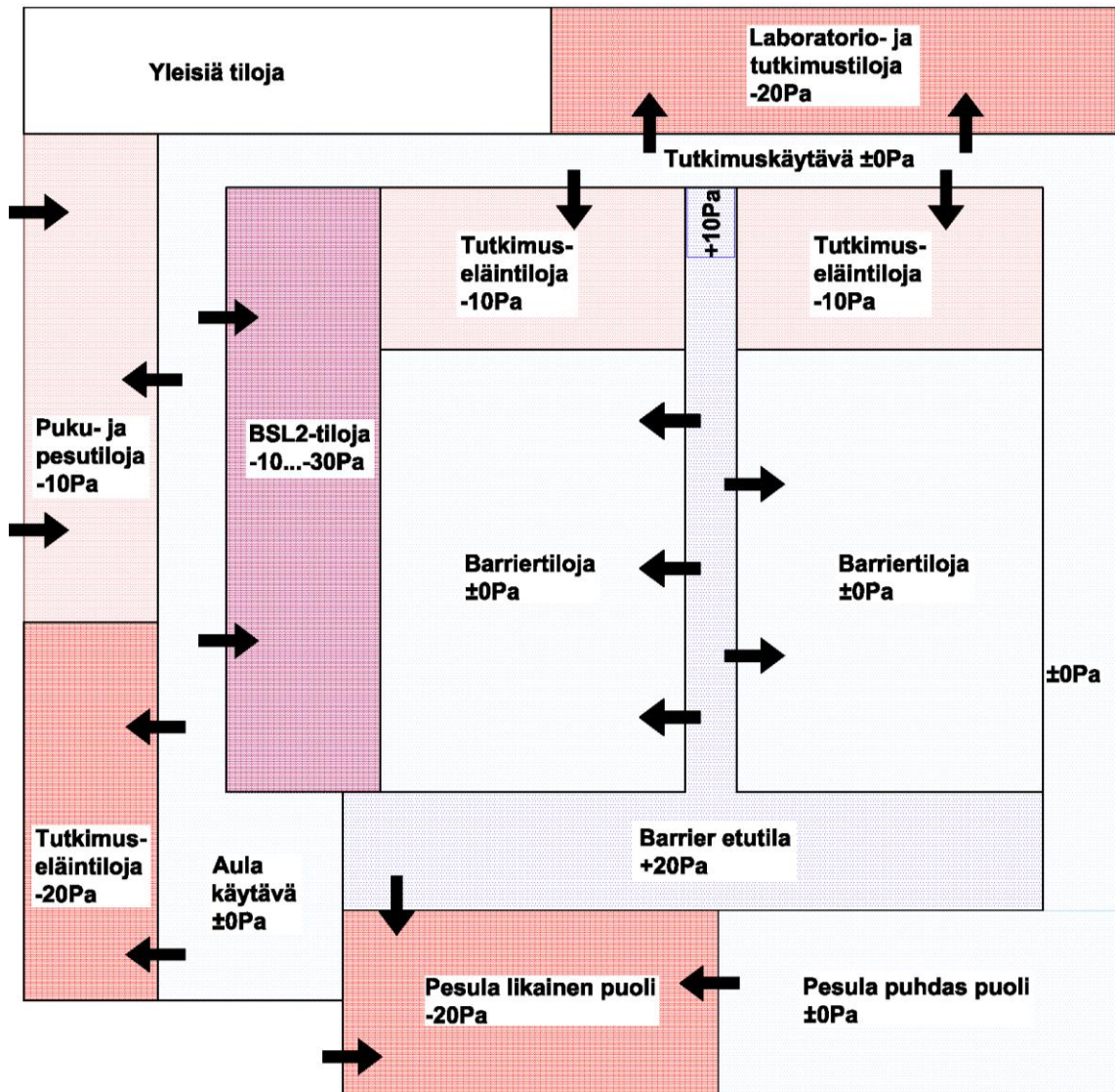
Barriereläintilojen ilmanvaihto toteutetaan esikäsitteilykoneiden avulla, jotka on esitetty liitteen 1 kaaviossa 2. Esikäsitteilykoneissa tapahtuu lämmöntalteenotto ja tuloilman lämmitys noin 13 °C:seen. Esikäsitteilykoneilta ilma jaetaan viidelle ilmanvaihtokoneparille, joilla ilma jäähdytetään, kostutetaan ja jälkilämmitetään tarvittaessa. Puhdastilojen ulkopuolisissa tiloissa, kuten toimisto- ja sosiaalityloissa, käytetään tavanomaisia ilmanvaihtoratkaisuja. [8.]

4.2 Puhdastilat

Rakennuksen puhdastila-alue jakautuu karkeasti seuraavasti: laboratoriotilat, BSL2-luokan tilat, barrieritilat ja -etutila, tutkimuseläintilat ja -käytävä sekä pesula. Eläintiloja on kuvailtu luvussa 2.3, ja eläintilojen yhteydessä olevat tutkimus- ja aputilat kuuluvat niiden kanssa samaan puhtausluokkaan. Laboratoriotiloissa tapahtuu tutkimustöitä ja toimenpiteitä, joita varten tiloissa on laminaarivirtauskaappeja ja laboratoriotyöskentelyssä tarvittavia laitteita ja järjestelmiä, kuten happi-, hiilidioksidi- ja paineilmajärjestelmät. Pesulassa on kaksi puolta: likainen ja puhdas. Käytetyt häkit tuodaan pesulan likaiselle puolelle, jossa ne tyhjennetään ja ajetaan tunnelipesukoneen läpi puhtaalle puolelle. Puhtaalla puolella häkkeihin laitetaan uuden kuivikkeet ja häkit viedään odotamaan uudelleenkäyttöä. [8.]

Puhdastilat ovat joko yli- tai alipaineessa viereiseen tilaan. Korkeimmassa paineessa, eli puhtain tila, on barrierin etutila, johon saavutaan kahden pukutilan ja ilmasuihkuilla varustetun sulkutilan kautta. Etutilasta on käynti barriereläintiloihin ja sulun kautta tutkimuskäytävälle. Tutkimuskäytävältä on edelleen yhteys likaisempiin tiloihin, kuten laboratorioihin, tutkimuseläin- ja BSL2-tiloihin, sekä pukuhuoneisiin. Alipaineisimpia eli likaisimpia ovat BSL2-tilat ja pesulan likainen puoli. Tilojen väliltä löytyy sulkuhuoneita, läpiantokaappeja ja autoklaaveja, joissa epäpuhtauksien siirtymistä estetään tilojen välisillä painesuhteilla. [8.]

Kuvassa 12 on esitetty suunnitelma uuden ylläpitoyksikön puhdastilojen paineistusperiaatteista. Paineitaso ± 0 on valittu tutkimuseläinkäytävälle ja sen mukaan on määritelty käytävän yhteydessä olevien tilojen painetaso. [8.]



Kuva 12. Uuden ylläpitoyksikön puhdastilojen paineistusperiaatekaavio [8].

Puhdastilojen ilmanvaihtokertoimet vaihtelevat välillä 5–25 kertaa tunnissa tilan käyttötarkoituksen mukaan. Pienimmät kertoimet löytyvät toimistokäytössä olevista tiloista ja suurimmat laminaarivirtaus- ja vetokaapeilla varustetuista laboratorioista. Tarkimmin valvottuja ovat eläintilojen ympäristöolosuhteet, joiden vaatimuksia ohjaavat muun muassa EU-komission antamat suositukset (ks. luku 2.3). Uudessa ylläpitoyksikössä tullaan käyttämään taulukon 3 mukaisia arvoja eri eläintiloille.

Taulukko 3. Uuden ylläpitoyksikön eläintilojen ympäristöolosuhdevaatimuksia [8].

Tilatyyppe	Käytettävä häkkijärjestelmä	Ilmanvaihto, kertaa tunnissa	Lämpötila, °C	Suhteellinen kosteus, %
Konventionaaliset tutkimuseläinhuoneet	Avohäkki	vähintään 15–20	21 (kaniinit 15–21, muut eläimet 20–24)	55 ± 10
Konventionaaliset tutkimuseläinhuoneet	IVC-räkki	vähintään 5–10	21 ± 1...2	55 ± 10
BSL2-luokan eläinhuone	IVC-räkki	5–15	21 ± 1	55 ± 10
Barrier-eläinhuoneet	IVC-räkki	vähintään 5–10	21 ± 1...2	55 ± 10

Tilojen ilmanvaihtokertoimista tulee huomioida se, että vaikka itse IVC-räkkitulojen ilmanvaihtokerroin on vain 5–10 kertaa tunnissa, on itse IVC-räkkien ilmanvaihtokerroin luokkaa 75 kertaa tunnissa, jolloin EU-komission ympäristöolosuhdevaateissa määritelty ilmanvaihto täyttyy selkeästi. [8.]

Tilojen vaatimukset ovat korkeat verrattuna tavanomaisten rakennusten olosuhteisiin eläinten hyvinvoinnin ja tutkimusten laadun varmistamiseksi. Olosuhteiden seuraamiseksi huoneisiin asennetaan paikanpäällä luettavat lämpötila- ja kosteusmittarit sekä kiinteistöautomaatiojärjestelmään kytkettävät anturit. IVC-räkkien puhallinyksikköjen tietoja voidaan seurata tietokoneilla ja räkkeihin sijoitetaan myös mittaushäkkejä. [8.]

IVC-järjestelmät

Suurin osa uuden ylläpitoyksikön eläintiloista on IVC-räkkituloja, avohäkkituloja on vain muutama. IVC-räkit ovat yksi- tai kaksipuoleisia ja puhallinyksikköön kytketään yleensä kaksi räkkiä. Yksipuoleisesta räkistä sekä käytettävästä puhallinyksiköstä on esimerkki kuvassa 6 vasemmalla ja kaksipuoleisesta räkistä kuvassa 9 oikealla. Häkkien ilmanvaihtokerroin on 75 kertaa tunnissa ja yhden puhallinyksikön ilmavirraksi on varattu 70 l/s. Häkit pidetään alipaineisina ympäröivään huonetilaan nähden. Puhallinyksikkö imee ilman huonetilasta, HEPA-suodattaa sen vielä kerran ja puhaltaa IVC-räkeille. IVC-räkin poistopuhaltimesta ilma johdetaan jälleen HEPA-suodatettuna huoneen poistoilmakanavaan. Tämä parantaa huoneen ilmanlaatua entisestään, sillä kerran räkissä käynyt ilma ei enää palaa huoneeseen, minkä ansiosta räkeille tuotava tuloilma on raikkaampaa. [5; 8.]

Liitteessä 2 on mallihuonekuva uuden ylläpitoyksikön barriereläintilasta, jossa on kahdeksan IVC-puhallinyksikköä. Tulo- ja poistoilmakanavat tulevat puhdistilan yläpuolelta asennustilasta katon läpi tilaan. Tuloilma on HEPA14-suodatettua, ja se jaetaan katossa suutinkanavien avulla tilaan. IVC-räkit kytetään poistoilmakanavaan mikrokytkimellä varustetun säätöpellin ja irrotettavan liitännän avulla. Poistoilmakanavan päästä tapahtuu huoneen yleispoisto. Kanavan päässä oleva yleispoisto toimii myös eräänlaisena varoventtiilinä vikatilanteissa; jos poistoilmakoneella tai kanavistossa tapahtuu jokin häiriö eikä ilma enää kulje kanavassa, puhaltuu IVC-räkkien poistoilma yleispoiston kautta huoneeseen. Näin ilmanvaihto jatkuu häkeissä, eikä niihin kohdistu niin suuria painesuhdetta. Huoneen tulo- ja poistoilmavirta säätyy tarpeen mukaan riippuen poistoilmakanavaan kytkettyjen IVC-räkkien määrästä ja huoneolosuhteista niin, että alipaineisuus viereiseen barrierikäytävään kuitenkin säilyy. [5; 8.]

5 Käyttökokemuksia IVC-räkkijärjestelmästä

IVC-räkkijärjestelmien kehittämisen pohjana on alusta asti ollut niin työntekijöiden kuin eläinten olosuhteiden parantaminen. Vierailin Helsingin yliopiston Ruskeasuon biologisen tutkimusmateriaalin ylläpitoyksikössä haastattelemassa tutkimusteknikko Leena Liesirovaa ja tutustumassa eläintiloihin saadakseni lisätietoa eläintilatyöskentelystä.

5.1 Esimerkkikäyttökohteen esittely

Ruskeasuon ylläpitoyksikkö on rakennettu vuonna 1996, ja rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa on myös Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) turvalaboratorion tiloja. Ylläpitoyksikössä on tutkimuseläin- ja tuotantotiloja, yksi barriertila sekä BSL2-tason työskentelyyn tarkoitettuja tutkimuseläintiloja. Yksikön eläintilat ovat alun perin olleet ainoastaan avohäkkituloja, mutta kaksi vuotta sitten Ruskeasuolla alettiin siirtyä IVC-räkkien käyttöön. Yksikön koe-eläimet ovat pääosin hiiriä ja rottia, joista tällä hetkellä valtaosa pidetään IVC-räkkituloissa. Muut jyrsijät – kuten marsut, kanit ja hamsterit – sekä pieni osa hiiristä ja rotista pidetään yhä avohäkkituloissa. [7.]

Siirtyminen avohäkeistä IVC-räkkeihin on toteutettu yksinkertaisesti: avohäkkihyllykköjen tilalla on nyt neljä IVC-räkkiä, joita palvelee yksi puhallinyksikkö. Yhdessä yksipuolisessa räkissä on seitsemänkymmentä paikkaa noin 10 litran häkeille ja häkkien ilmanvaihtuvuus on 75 kertaa tunnissa, jolloin yhden puhallinyksikön ilmavirta on noin 55 l/s. BSL2-tiloissa rakit ovat alipaineisia huonetilaan nähden, muissa tiloissa ylipaineisia. Rakit ja puhallinyksikkö on varustettu pyörillä ja kytketty toisiinsa letkuliitoksien, mikä mahdollistaa niiden liikuttelun tarvittaessa. Tiloissa ylläpidetään huonelämpötilaa $21\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ja suhteellista kosteutta $55\% \pm 10\%$. Olosuhteita seurataan perinteisin huoneanturein sekä puhallinyksikön seurantayksikön avulla. Puhallinyksikköä ei ole yhdistetty rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään eikä ilmanvaihtojärjestelmään ole tehty muutoksia IVC-räkkeihin siirtymisen myötä, vaikka tilojen ilmanvaihtokerroin onkin nyt tarpeettoman korkea IVC-räkkituloihin. IVC-räkeissä tilankäyttö on tehokkaampaa kuin avohäkeissä, joten IVC-räkkijärjestelmään siirtymällä voitiin eläinten määrä yhdessä eläinhuoneessa kaksinkertaistaa eläinten tai työntekijöiden olosuhteita heikentämättä. [7.]

5.2 Työskentelyolosuhteet esimerkkikäyttökohteessa

Avohäkkituloissa ongelma on ilmassa esiintyvät epäpuhtaudet eli eläimistä ja häkkien pohjamateriaalista lähtevä pöly. Vaarana on, että joku henkilökunnasta allergisoituu eläinpölylle. Avohäkkituloissa ilman pölyisyyden havaitsee hengityssuojaimen läpikin tilan hyvästä ilmanvaihdosta huolimatta. Avohäkkituloissa ilman tulisi vaihtua noin 15–20 kertaa tunnissa, mikä tarkoittaa 250–330 l/s ilmanvaihtoa huoneessa, jonka pinta-ala on 20 neliometriä ja korkeus 3 metriä. Vaikka suurella ilmanvaihtokertoimella toimiva ilmanvaihto poistaa tilasta tehokkaasti epäpuhtauksia, se saattaa myös nostattaa pölyä ilmaan ja näin heikentää ilmanlaatua. [7.]

IVC-räkkituloissa ilmassa on selvästi vähemmän eläinpölyä ja roskaa, mutta eläinten haju kuitenkin siirtyy ilmaan myös IVC-räkkituloissa. Liesirova uskoo IVC-räkkien käytön vähentävän työntekijöiden altistumista eläinpölylle. Myös työntekijät kertovat IVC-räkkituloissa työskentelyn mielekkäämmäksi kuin avohäkkituloissa paremman ilmanlaadun vuoksi. [7.]

Ylläpitoyksikön avohäkki- ja IVC-räkkitulojen käytännön työskentelyssä on joitain eroja. IVC-räkit ovat avohäkkihylyjä korkeampia, jolloin niiden alimmat häkit ovat liian matalalla ja ylimmät liian korkealla kätevään käsittelyyn. Erilaisilla räkkien pakkaustiheyksillä voidaan kuitenkin muokata räkkien käytettävyyttä työntekijöille sopivaksi. IVC-räkin häkkien tiiviimmät kannet vaativat enemmän käsityötä avautuakseen lukituksensa vuoksi ja häkkien kunnollinen asettuminen takaisin räkkiin tulee aina tarkastaa, jotta tulo- ja poistoilmayhteet häkin takaosassa yhdistyvät kunnolla. IVC-räkkijärjestelmää valitessa pitäisikin olla mahdollisimman paljon yhteistyössä tilojen käyttäjän kanssa ja mahdollisesti päästää heidät tutustumaan eri valmistajien tarjoamiin ratkaisuihin ennen lopullista toimittajan valintaa. [7.]

Eläinhoitajien tulisi nähdä jokainen eläin ainakin kerran päivässä. Näkyvyys muovisiin IVC-häkkeihin on heikompi kuin avohäkkeihin, joka vaikeuttaa eläinten ja rehun tarkastusta. Liikuteltavat räkit kuitenkin hieman helpottavat tätä ongelmaa. Koska IVC-räkkituloita ovat alun perin olleet avohäkkituloja, niiden layout IVC-räkkien käyttöön ei ole paras mahdollinen ja esimerkiksi barriertila on työntekijöiden mielestä liian ahdas. [7.]

5.3 Eläinten hyvinvointi esimerkkikäyttökohteessa

IVC-häkeissä kasvatetuissa hiirissä on Ruskeasuon ylläpitoyksikössä muutamilla yksilöillä havaittu epileptisiä kohtauksia. Kohtausten arvellaan johtuvan paine-erosta, joka saattaa kasvaa varsinkin jos kantta ei avata pitkään aikaan. Asiasta tehdään parhailaan tutkimusta. Muita terveydellisiä eroja ei ole Ruskeasuolla havaittu avohäkeissä ja IVC-häkeissä kasvatettujen eläinten välillä. [7.]

Avohäkeissä kasvaminen on joillekin hiirille jonkin verran stressaavaa, sillä ne ovat samassa tilassa muiden hiirien ja ympärillä työskentelevien ihmisten kanssa altistuen hälylle ja liikenteelle. IVC-häkeissä kasvavat yksilöt taas yleensä käyttäytyvät aremmin ja ovat ujompia käsittelyssä, sillä ne ovat tottuneet suljetun IVC-häkin suomaan omaan rauhaansa. Nämä asiat tulee huomioida silloin, kun eläimillä tehdään käyttäytymistutkimuksia. [7.]

5.4 Tutkimuksia IVC-räkkien käytöstä

IVC-räkkien käytöstä on tehty useita tutkimuksia niin eläinten kuin työntekijöiden olosuhteiden kannalta. Vertailuja on tehty avohäkki- ja IVC-räkkijärjestelmien välillä ja eri valmistajien IVC-räkkejä on verrattu myös toisiinsa.

Kemppinen on opinnäytetyössään tutkinut häkkien fysikaalisia olosuhde-eroja tilanteessa, jossa IVC-räkit ja avohäkit on pidetty samassa tilassa. Tutkittuja parametrejä olivat valoisuus, lämpötila, suhteellinen kosteus ja äänitaso häkeissä. Valoisuus- ja äänitasomittausten aikana häkeissä ei pidetty eläimiä, lämpötila- ja kosteusmittausten aikana jokaisessa häkissä pidettiin kolmea aikuista rottaa. IVC-häkeistä mitattiin 10–60 luksia alhaisemmat valoisuuslukemat kuin avohäkeissä. Tämä johtuu IVC-räkin tiiviimmästä sijoittelusta ja muovikannesta. Jotta äänipainetason mittaustulos vastaisi rottien aistimuksia, laskettiin sille R-taajuuspainotus, kuten ihmisten kuuloaistimuksia vastaa A-taajuuspainotus. R-taajuuspainotettu äänitaso oli IVC-häkeissä noin 7 dB(R) korkeampi kuin avohäkeissä. Vaikka ero on suuri, jää äänitaso alle 25 dB(R), eikä sitä pidetä rotille haitallisena. Tutkimuksissa havaittiin lämpötilojen olevan IVC-häkeissä 1–4 °C korkeammat kuin avohäkeissä, joiden lämpötila pysyi suurin piirtein samana kuin huonelämpötila. Samankaltainen tulos mitattiin kosteudessa, joka IVC-häkeissä oli noin

6 % korkeampi kuin avohäkkien ja huoneilman. Ero johtuu eläinten tuottamasta lämmöstä ja kosteudesta, jota IVC-räkki ei pysty täysin poistamaan. IVC-räkin olosuhteet ovat riippuvaiset huoneilman olosuhteista, jonka vuoksi avohäkkejä ja IVC-räkkejä ei tulisi pitää samassa tilassa, jos pyritään samanlaisiin olosuhteisiin molemmissa häkeissä. [9.]

Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa on vertailtu kahden eri valmistajan IVC-räkkejä, joita käytettiin nimityksiä IVC1 ja IVC2. Tutkimuksessa käytettiin hiiriä, ja mitattuja parametrejä olivat häkin painetaso positiivisella ja negatiivisella paineella sekä häkkien ammoniakkipitoisuus. Testissä havaittiin IVC1-räkin säilyttävän negatiivisen painetason (testin alussa $-1,3 \pm 0,5$ Pa, lopussa $0,8 \pm 0,4$ Pa) melko tasaisesti kaikissa häkeissä kymmenen päivän testijakson aikana, kun taas IVC2-räkissä oli painetason (testin alussa $-11,6 \pm 5,5$ Pa, testin lopussa $-3,5 \pm 5,9$ Pa) vaihtelu suurempaa, joidenkin häkkien painetaso oli jopa positiivinen. IVC2-räkin poistoilmapuolella ollut virhe, joka aiheutti positiivisen paineen, on sittemmin korjattu valmistajan toimesta.

Neljätoista päivää pitkän positiivisen painetason testissä IVC1-räkin painevaihtelut olivat samankaltaiset kuin negatiivisella, nyt vain positiivista painetasoa. IVC2-räkissä painenvaihtelut olivat taas suuret, noin 5 pascalin luokkaa, mutta negatiivista painetasoa ei löytynyt. Ammoniakkipitoisuudet olivat molemmissa IVC-räkeissä negatiivisella ja positiivisella paineella keskimääräisesti alle 10 ppm, jonka katsotaan olevan vielä hyvä arvo. [22.]

Tutkimuksessa simuloitiin myös virtakatkoa, eli puhaltimet pysäytettiin tunniksi. Pysäytyksen aikana häkkien hiilidioksidipitoisuuksia mitattiin huoneen CO₂-pitoisuuden ollessa 684 ppm. Tunnin virtakatkon aikana IVC1-räkin ilman CO₂-pitoisuus muuttui arvosta 1 571 ppm arvoon 7 313 ppm, ja IVC2-räkissä arvosta 1 100 ppm arvoon 3 542 ppm. IVC2-räkin matalammat pitoisuudet selittää häkkien suodattimella varustettu kansi, joka on nimenomaan suunniteltu virtakatkojen ja muiden häiriöiden varalle takaamaan ilmanvaihtuvuus häkissä. Suodattimen vuoksi häkit eivät ole yhtä tiiviitä kuin IVC1-räkissä. CO₂-pitoisuuden arvo 3 542 ppm vastaakin aikaisemmissa tutkimuksissa mitattua suodatinkansilla varustettujen ilmastoimattomien häkkien CO₂-pitoisuutta. [22.]

6 IVC-räkki- ja avohäkkitulojen vertailulaskelmia

Energiankulutuksen seuraamisen ja vähentämisen ollessa yhä useammalle taholle tärkeää pohditaan myös eläintilojen kohdalla mahdollisuuksia energiankulutuksen vähentämiseksi ja toiminnan tehostamiseksi. Avohäkkitulojen ongelmana ovat suuret ilmanvaihtokertoimet, sillä tulo- ja poistoilman käsittely vaatii paljon energiaa. Eläintilojen tarkkojen olosuhdevaatimusten vuoksi ilma pitää suodattaa tarkasti ja tarvittaessa lämmittää ja kostuttaa tai jäähdyttää ja jälkilämmittää.

IVC-räkkijärjestelmään siirtymisellä haetaan ratkaisua suureen ilmanvaihdon tarpeeseen ja energiakulutukseen, sillä IVC-räkit takaavat häkkien riittävän ilmanvaihdon ilman avohäkkitulojen vaatimaa suurta ilmanvaihtokerrointa. IVC-järjestelmän etu on myös se, että tilassa voi pitää jopa kaksinkertaista määrää eläimiä avohäkkituloon verrattuna. IVC-järjestelmän energiankulutusta laskettaessa tulee laskea mukaan IVC-räkkien puhaltimien vaatima sähköenergia.

Tässä laskentaesimerkissä on tarkoitus verrata avohäkkitulojen ja IVC-räkkitulojen vaatiman ilmanvaihdon tehon- ja energiantarvetta keskenään lämmityksen, jäähdytyksen, kostutuksen ja sähkökulutuksen kannalta. Mallihuoneena on käytetty liitteessä 2 esitettyä barriereläintilaa, jonka pinta-ala on 78,5 m², korkeus 2,7 m ja tilavuus 212 m³. Apuna laskennoissa on kostean ilman i,x-diagrammi (liite 3, kuva 1).

6.1 Tarvittava ilmanvaihto

Avohäkkitulojen ilmanvaihtokerroin on yleensä 15–20 kertaa tunnissa; tässä laskennassa käytetään avohäkkituloille arvoa 18 kertaa tunnissa. Tilan vaatima tuloilmamäärä saadaan kaavasta

$$q_{vi} = V \times n, \tag{1}$$

jossa q_{vi} on tuloilmavirta huoneeseen [m³/h], V on huoneen tilavuus [m³] ja n on ilmanvaihtokerroin [1/h]. Mallihuoneen tuloilmavirraksi avohäkkituloissa tulee näin

$$q_{viAVO} = 212 \text{ m}^3 \times 18 \text{ 1/h} = 3816 \text{ m}^3/\text{h} = 1060 \text{ dm}^3/\text{s}.$$

IVC-räkkityllassa on kahdeksan puhallinyksikköä, joiden kaikkein poistoilmavirraksi on varattu 70 dm³/s. Lisäksi huoneessa on yleispoistoa 100 dm³/s, jolloin huoneen ilmanvaihdon kokonaismääräksi tulee 660 dm³/s. IVC-räkkitylan ilmanvaihtokerroin on tällöin kaavan 1 avulla ratkaistuna

$$n = q_{vIVC} / V = 660 \text{ dm}^3/\text{s} / 212 \text{ m}^3 = 2376 \text{ m}^3/\text{h} / 212 \text{ m}^3 = 11,2 \text{ 1/h},$$

joka vastaa tavanomaista IVC-räkkityloissa käytettyä ilmanvaihtokerrointa.

6.2 Lämmitys- ja kostutustehontarve

Tehontarpeen laskennassa ulkolämpötilana käytetään Helsingin mitoitusulkolämpötilaa -26 °C [23]. Ulkoilma esilämmitetään LTO-patterilla, jonka lämpötilahyötysuhde on 50 %. Tämän jälkeen ilman lämpötila nostetaan lämmityspatterilla noin 13 °C:seen, jolloin ilman suhteellinen kosteus on alle 5 %. Lämmityksen jälkeen ilma kostutetaan noin 100-asteisella kylläisellä höyryllä, jolloin myös ilman lämpötila nousee vastaamaan sisäilman vaatimuksia [24, s. 20].

Patterilämmityksen jälkeisen tilapisteen (13 °C, 5 % RH) määrittämiseksi on ensin määritelty höyrykostutusprosessin suunta ($\Delta i/\Delta x = 3\,500 \text{ kJ/kg}$) i,x -diagrammiin. Tämän jälkeen piirretään prosessiviivan kanssa yhdensuuntainen suora sisäilman tilapistestä kohti lämmityksen prosessiviivaa, jolloin viivojen leikkauskohta löytyy. [24, s. 20.] Lämmitys- ja kostutusprosessit on kuvattu i,x -diagrammiin liitteen 3 kuvassa 2.

Lämmityksen tehontarve Φ_{Li} lasketaan kaavalla 2 [23].

$$\Phi_{Li} = \rho_i \times q_{vi} \times c_{pi} \times \Delta t \times (1-\mu) \quad (2)$$

Φ_{Li} on ilman lämmityksen tehontarve, kW

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

q_{vi} on ilman tilavuusvirta, m³/s

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti 1,0 kJ/kgK

Δt on ilman lämpötilaero, K

μ on lämmöntalteenottolaitteen hyötysuhde

Avohäkkitalan lämmityksen tehontarpeeksi saadaan kaavan 2 avulla

$$\Phi_{Li} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,06 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times (13 - (-26)) \text{ K} \times (1 - 0,50) = 24,8 \text{ kW}.$$

IVC-räkkitalalle saadaan vastaavalla kaavalla ilman lämmitystehontarpeeksi 15,4 kW.

Höyrykostutuksen tehontarpeen laskemiseksi katsotaan i,x -diagrammista ilman absoluuttinen kosteus [kg/kg] kostutuksen alussa ja lopussa. Alkupisteessä (13 °C, 5 %) absoluuttinen kosteus on 0,0004 kg/kg ja loppupisteessä (21 °C, 55 %) 0,0084 kg/kg. Tarvittava höyrykostutusteho eli höyryn massavirta lasketaan kaavalla 3.

$$q_{mh} = \rho_i \times q_{vi} \times (x_B - x_A) \quad (3)$$

q_{mh} on höyryn massavirta, kg/s

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

q_{vi} on kostutettavan ilman tilavuusvirta, m³/s

x_B on ilman absoluuttinen kosteus kostutuksen lopussa, kg/kg

x_A on ilman absoluuttinen kosteus kostutuksen alussa, kg/kg

Kaavalla 3 saadaan avohäkkitalan kostutustehontarpeeksi

$$q_{mh} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,06 \text{ m}^3/\text{s} \times (0,0084 - 0,0004) \text{ kg/kg} = 0,0102 \text{ kg/s} = 36,7 \text{ kg/h}.$$

IVC-räkkitalassa kostutustehontarve on vastaavasti 22,8 kg/h.

6.3 Jäähdytys- ja jälkilämmitystehontarve

Jäähdytystehon mitoittava ulkolämpötila on 27 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Jäähdytystehontarpeen laskennassa on myös apuna i,x -diagrammi (liite 3, kuva 1). Diagrammista nähdään ulkoilman entalpian olevan 56 kJ/kg. Niin sanotussa määrässä jäähdytyksessä prosessin suunta on ulkoilman tilapisteestä kohti jäähdytyspatterin pintalämpötilan (10 °C) pistettä kyllästyskäyrällä [24, s. 19]. Ilma jäähdytetään noin 13 °C:seen, jolloin sen suhteellinen kosteus on noin 90 % ja ominaisentalpia 35 kJ/kg. Jälkilämmityksellä ilma kuivataan ja lämmitetään vastaamaan sisäilman vaatimuksia 21 °C ja 55 % RH. Jäähdytys- ja jälkilämmitysprosessit on kuvattu liitteen 3 kuvassa 3.

Jäähdytyksen tehontarve Φ_{ji} lasketaan kaavalla 4.

$$\Phi_{ji} = \rho_i \times q_{vi} \times \Delta h \quad (4)$$

Φ_{ji} on ilman jäähdytyksen tehontarve, kW

ρ_i on ilman tiheys, $1,2 \text{ kg/m}^3$

q_{vi} on ilman tilavuusvirta, m^3/s

Δh on ilman entalpiaero, kJ/kg

Kaavan 4 avulla avohäkitilan jäähdytystehontarpeeksi saadaan

$$\Phi_{ji} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,06 \text{ m}^3/\text{s} \times (56 - 35) \text{ kJ/kg} = 26,7 \text{ kW}.$$

Jälkilämmityksen tehontarpeeksi avohäkitiloissa saadaan kaavan 2 avulla

$$\Phi_{li} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,06 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times (21 - 13) \text{ K} = 10,2 \text{ kW}.$$

IVC-räkitilalle saadaan samoilla kaavoilla jäähdytystehontarpeeksi $16,6 \text{ kW}$ ja jälkilämmitystehontarpeeksi $6,3 \text{ kW}$.

6.4 Vuosittainen lämmitysenergiatarve ja kustutustarve

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia Q_{IV} lasketaan kaavalla 5 [23].

$$Q_{li} = \Sigma (H_{iv} \times (T_s - T_u) \times \Delta t) \quad (5)$$

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö H_{iv} lasketaan kaavalla 6 [23].

$$H_{iv} = \rho_i \times c_{pi} \times q_{vi} \times (1 - \mu) \quad (6)$$

Q_{li} on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh

H_{iv} on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

ρ_i on ilman tiheys, $1,2 \text{ kg/m}^3$

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, $1 \text{ kJ}/(\text{kgK})$

q_{vi} on ilmavirta, m^3/s

μ on lämmöntalteenoton keskimääräinen hyötysuhde

T_s on sisäilman lämpötila, °C

T_u on ulkoilman lämpötila, °C

Δt on ajanjakson pituus, h

Kuukausittaiset lämmitysenergiatarpeet lasketaan käyttämällä sisälämpötilana 13 °C, johon ilma lämmitetään ennen höyrykostutusta. Ulkolämpötilana käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 liitteen 1 antamia Helsingin keskimääräisiä kuukausittaisia ulkolämpötiloja. Kuukausina, joina keskimääräinen ulkolämpötila on yli 13 °C (kesä–elokuu), ei lämmitystä tarvita ja lämpötilaerona on käytetty 0 °C negatiivisten arvojen välttämiseksi. [23]

Kaavojen 5 ja 6 avulla saadaan ilmanvaihdon lämmitysenergiatarpeeksi avohäkkitalille 52,1 MWh ja IVC-räkkitalille 32,4 MWh. Kuukausittainen laskenta on esitetty liitteen 4 taulukoissa 1 ja 2.

Höyrykostutustarpeen laskemiseksi käytetään absoluuttisen kosteuden kuukausikeskiarvoja [25, s. 18], joilla lasketaan keskimääräinen kostutustehontarve lämmityskauden kuukausille (syys–toukokuu) käyttäen kaavaa 3. Vuosittainen kostutustarve saadaan kertomalla kuukausittainen kostutustehontarve kuukauden tunneilla ja laskemalla kuukausittaiset tarpeet yhteen.

Avohäkkitalan kostutustarpeeksi saadaan noin 134 000 kg/vuosi ja IVC-räkkitalan kostutustarpeeksi noin 83 500 kg/vuosi. Kuukausittainen laskenta on esitetty liitteen 4 taulukoissa 3 ja 4.

Kostutusta valittaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota kostutuksessa käytettävän höyryn tuotantotapaan. Höyryn tuotantovaihtoehtoja ovat suoralla sähkölämmityksellä toimiva kattila tai öljy-/maakaasukattila. Vaihtoehtona höyrykostutukselle ovat ultraäänikostutus tai korkeapainesumutus, jotka ovat energiakulutukseltaan pieniä suoralla sähkölämmityksellä toimivaan höyrykostutukseen verrattuna. [5]

6.5 Vuosittainen jäähdytys- ja jälkilämmitysenergiantarve

Käytännössä ilmanvaihdon jäähdytystä tarvitaan, kun ulkoilman lämpötila on yli 19 °C. Laskennassa käytetään jäähdytyksen keskimääräisenä käyttöaikana 500 tuntia [5].

Jäähdytysenergiantarve lasketaan kertomalla jäähdytyksen tehontarve [kW] jäähdytysajanjakson pituudella [h]. Näin avohäkitilan vuosittaiseksi jäähdytysenergiantarpeeksi saadaan

$$Q_{ji} = 26,7 \text{ kW} \times 500 \text{ h} = 13350 \text{ kWh} = 13,4 \text{ MWh.}$$

Jälkilämmitysenergiantarve lasketaan samalla periaatteella, jolloin avohäkitilan jälkilämmitysenergiantarpeeksi saadaan

$$Q_{li} = 10,2 \text{ kW} \times 500 \text{ h} = 5100 \text{ kWh} = 5,1 \text{ MWh.}$$

Edellä kuvatuilla laskentatavoilla saadaan IVC-räkitilan vuosittaiseksi jäähdytysenergiantarpeeksi 8,3 MWh ja jälkilämmitysenergiantarpeeksi 3,2 MWh.

6.6 Sähkönottoteho ja sähköenergiankulutus

Ilmanvaihtokoneiden sähkönottotehon arvioimiseksi käytettiin ilmanvaihtokoneiden mitoitusohjelmaa. Mallikoneeksi valittiin uuden ylläpitoyksikön tutkimustilojen kone, jotta laskenta ottaisi huomioon tarvittavien pattereiden, suodattimien ja muiden komponenttien painehäviöt. Koneet mitoitettiin erikseen avohäkitilan ja IVC-räkitilan vaatimilla ilmamäärillä. Ulkopuolisena paineena käytettiin 400 pascalia, eli koneet mitoitettiin tuottamaan kanavistoon vähintään 400 pascalin paine. Ohjelma antoi avohäkitilan ilmanvaihtokoneen verkosta otettavaksi kokonaissähkötehoksi 3,95 kW ja IVC-räkitilan ilmanvaihtokoneen kokonaissähkötehoksi 2,41 kW.

IVC-räkitilassa on kahdeksan kappaletta puhallinyksikköjä joiden sähkönottotehona pidetään 100 W puhallinyksikköä kohden, jolloin IVC-puhallinyksikköjen yhteenlaskettu sähkönottoteho on 0,8 kW.

Ilmanvaihtokoneiden ja puhallinyksiköiden katsotaan käyvän jatkuvasti. Vuosittainen sähköenergiankulutus voidaan siis laskea kertomalla sähkönottoteho vuoden tunneilla.

Avohäkitilan ilmanvaihdon vuosittaiseksi sähköenergiankulutukseksi saadaan näin

$$Q = 3,95 \text{ kW} \times 8760 \text{ h} = 34602 \text{ kWh} = 34,6 \text{ MWh.}$$

IVC-räkitilan sähköenergiankulutukseen lasketaan sekä ilmanvaihtokoneiden että IVC-räkipuhaltimien sähkönottoteho, jolloin IVC-räkitilan ilmanvaihdon vuosittaiseksi sähköenergiankulutukseksi saadaan

$$Q = (2,41 + 0,8) \text{ kW} \times 8760 \text{ h} = 28120 \text{ kWh} = 28,1 \text{ MWh.}$$

6.7 Laskelmien yhteenveto

Ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytystehontarpeet, -energiatarpeet sekä kustutustarpeet ovat suoraan verrannollisia käsiteltävään ilmamäärään. Kaikissa edellä mainituissa suureissa on näin IVC-räkitilan säästö verrattuna avohäkitilaan lähes 40 prosenttia. IVC-räkipuhaltimien sähkönkulutuksen vuoksi säästö yhteenlasketussa sähkönottotehossa ja sähköenergiankulutuksessa jää kuitenkin noin 19 prosenttiin. Taulukkoon 4 on kerätty tässä luvussa 6 tehtyjen laskelmien tulokset. Viimeisessä sarakkeessa on ilmoitettu IVC-räkitilojen säästö verrattuna avohäkitilaan yksikköinä sekä prosenttilukuna.

Taulukko 4. Laskelmien yhteenveto.

	Avohäkitila	IVC-räkitila	Säästö	
Tuloilmavirta, l/s	1060	660	400	38 %
Lämmitystehontarve, kW	24,8	15,4	9,4	38 %
Kostutustehontarve, kg/h	36,7	22,8	13,9	38 %
Jäähdytystehontarve, kW	26,7	16,6	10,1	38 %
Jälkilämmitystehontarve, kW	10,2	6,3	3,9	38 %
				38 %
Lämmitysenergiatarve, MWh/a	52,1	32,4	19,7	38 %
Kostutustarve, kg/a	134000	83500	50500	38 %
Jäähdytysenergiatarve, MWh/a	13,4	8,3	5,1	38 %
Jälkilämmitysenergiatarve, MWh/a	5,1	3,2	1,9	38 %
IV-koneen kokonaisteho verkosta, kW	3,95	2,41	1,54	39 %
IVC-räkipuhaltimien sähkönottoteho, kW		0,8	-0,8	
IV-koneen sähköenergiankulutus, MWh/a	34,6	21,1	13,5	39 %
IVC-räkipuhaltimien sähköenergiankulutus, MWh/a		7,0	-7	
Sähköenergiankulutus yhteensä, MWh/a	34,6	28,1	6,5	19 %

Koska IVC-räkkitylilan mitoittava ilmamäärä ja ilmanvaihdon lämmityksen ja jäähdytyksen tehontarpeet ovat avohäkkitylilaa pienemmät, ovat myös ilmanvaihtokoneiden investointikustannukset pienemmät.

Tehdyissä laskelmissa on verrattu tiloja ainoastaan pinta-alan perusteella. IVC-räkkitylilassa voidaan kuitenkin pitää jopa kaksinkertaista määrää eläimiä avohäkkitylilaan verrattuna, eli saman eläinmäärän ylläpitoon tarvitaan pinta-alaltaan kaksinkertainen avohäkkitylila IVC-räkkitylilaan verrattuna. Näin tilantarpeen ja häkkien määrällä suhteutettuna IVC-räkkitylilan säästöksi saadaan tuloilman osalta jopa lähes 70 prosenttia, joka tarkoittaa vielä merkittävämpiä säästöjä tuloilmankäsittelyn energiankulutuksessa.

7 Loppusanat

Erilaisten tekniikan alojen kehittyessä tulee myös LVI-suunnittelussa huomioida korkeat laatuvaatimukset ja erikoisjärjestelmien tarpeet nykyisiä, tiukentuneita energiankultustavoitteita unohtamatta.

Vaikka IVC-räkkijärjestelmä on avohäkkijärjestelmää kalliimpi investointi, maksaa se itseään käyttöaikana takaisin tehokkaamman tilankäytön ja pienemmän energiankulutuksen muodossa luoden niin eläimille, tutkimuksille kuin työntekijöillekin avohäkkituloja paremmat olosuhteet. Toisaalta takaisinmaksuaikaa kuitenkin pidentää IVC-räkkien suuremmat huoltokustannukset.

Työn tarkoituksena oli antaa lukijalle kuva IVC-räkkien käytöstä pieneläinpuhdistiloissa ja uskon, että työ toimii hyvänä tutustumismateriaalina IVC-räkkien käytöstä kiinnostuneelle.

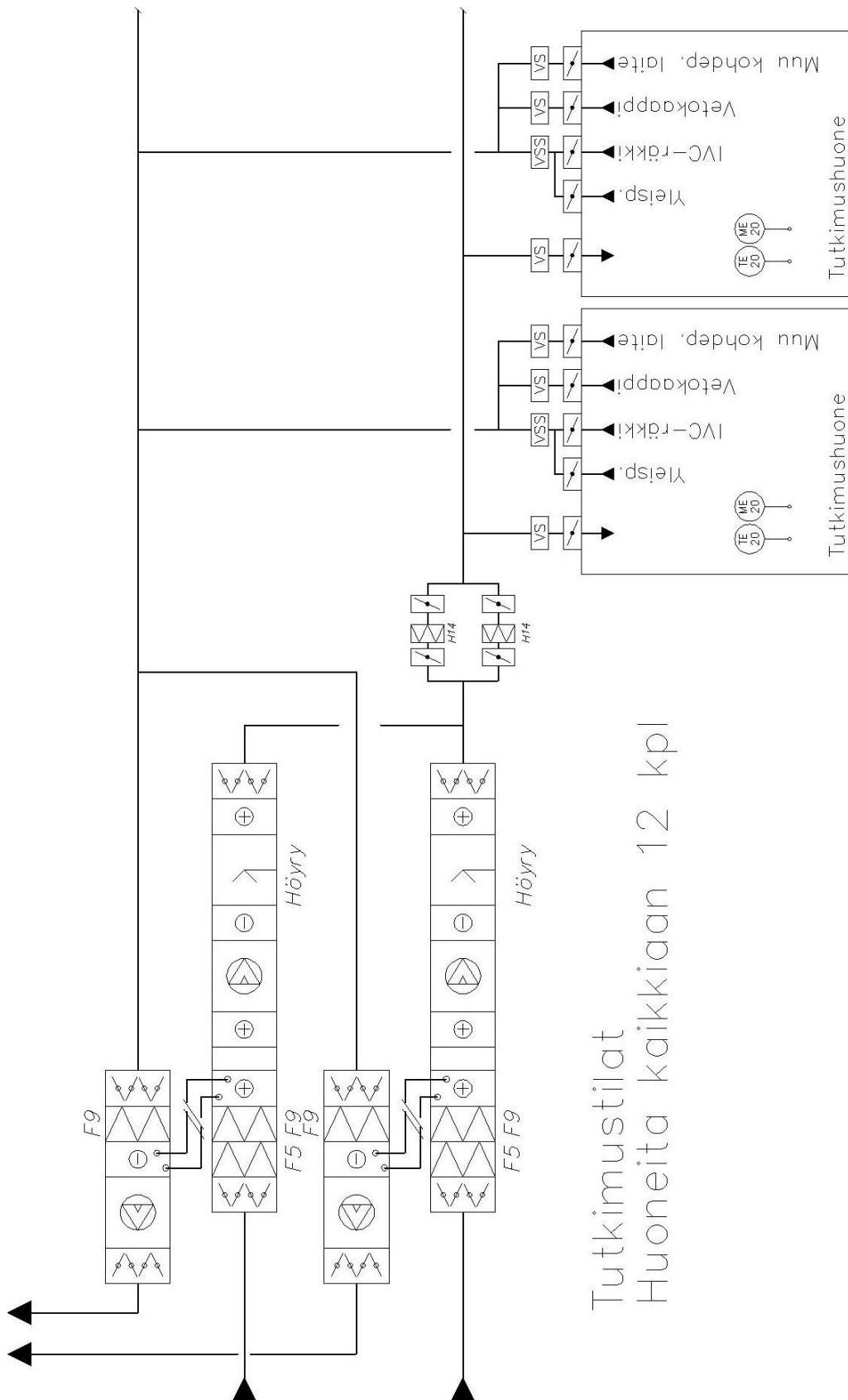
Työn teko oli aiheen ansiosta mielenkiintoinen ja haastavaa. Haastavuutta toi aiheen vähäinen tunnettuus LVI-suunnittelussa ja lähdemateriaalin hankinnan vaikeus, sillä IVC-räkkivalmistajat ovat tällä hetkellä ulkomaisia ja jaossa oleva tuotetieto melko rajallista. Oman vaikeutensa lähdemateriaalin hankintaan toi aiheen liittyminen koe-eläintoimintaan, josta ei kovin avoimesti jaeta tarkkoja tietoja yleisillä foorumeilla. Lähdemateriaaleista saankin kiittää työpaikkaohjaajaani Harry Stenvallia ja Helsingin yliopistoa. Erityiskiitos Leena Liesirovalle, jonka kanssa pääsin tutustumaan todelliseen käyttökohteeseen ja joka kärsivällisesti jakoi jakaa tietouttaan ja selvittää minulle työn aikana heränneitä kysymyksiä.

Lähteet

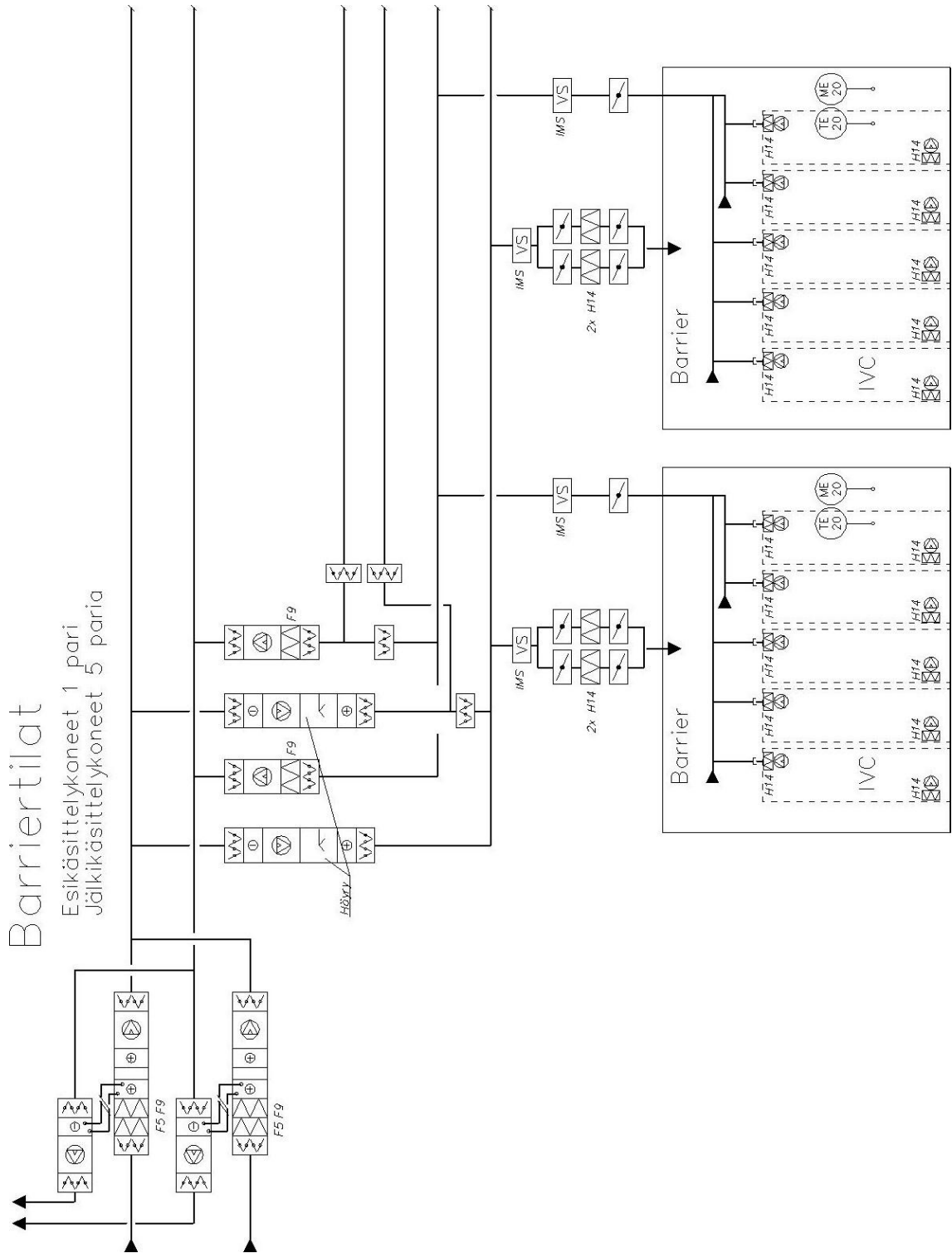
- 1 SFS-EN ISO 14644-1. Puhdastilat ja puhtaat alueet. 2000. Puhtausluokitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 2 Innannen, Seppo. 2012. Teollisuusilmastointi. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 3 Puhdastilat. 2008. Verkkodokumentti. CRT Oy. <<http://www.puhdastilat.com/puhdastilat>>. Luettu 26.3.2012.
- 4 SFS-EN ISO 14644-4. Puhdastilat ja puhtaat alueet. 2001. Suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys. Suomenkielinen käännös 2011. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 Stenvall, Harry. 2012. LVI-insinööri, Asplan Oy, Helsinki. Keskustelut keväällä 2012.
- 6 Eläinten ympäristöolosuhteet. 2009. Verkkodokumentti. Koe-eläinkeskus, Itä-Suomen yliopisto. <<http://www.uku.fi/vkek2/tilatjatoiminta/ymparisto.shtml>> Päivitetty 6.7.2009. Luettu 26.3.2012.
- 7 Liesirova, Leena. 2012. Tutkimusteknikko, Helsingin yliopisto, Ruskeasuon biologisen tutkimusmateriaalin ylläpitoyksikkö, Helsinki. Keskustelu 26.1.2012. Sähköpostikirjeenvaihto ja puhelinkeskustelut 22.3.2012 -5.4.2012.
- 8 Helsingin yliopiston uuden biologisen tutkimusmateriaalin ylläpitoyksikön LVI-suunnittelu ja lähtötiedot. 2011. Sisäinen tiedosto. Helsingin yliopisto.
- 9 Kemppinen, N., Meller, A., Björk, E., Kohila, T. & Nevalainen, T. 2008. Exposure in the Shoebox: Comparison of Physical Environment of IVCs and Open Rat Cages. Verkkodokumentti. Scandinavian Journal of Laboratory Animal Science. Vol. 35, s. 97–103. <http://biomedicum.ut.ee/sjlas/35_2_97-103.pdf> Luettu 23.3.2012.
- 10 Koe-eläintoiminnan säädökset. 2012. Verkkodokumentti. Etelä-Suomen aluehallintovirasto, Eläinlääketieteellinen tutkimuskeskus.
<<http://www.laaninhallitus.fi/lh/etela/hankkeet/ellapro/home.nsf/pages/7ED31FCD31726BEEC225756A00451085?opendocument>> Luettu 23.3.2012.
- 11 EU:n suositukset koe-eläinten ylläpidolle. 2012. Verkkodokumentti. Etelä-Suomen aluehallintovirasto, Eläinlääketieteellinen tutkimuskeskus.
<<http://www.laaninhallitus.fi/lh/etela/hankkeet/ellapro/home.nsf/pages/D1F5847ECA9F23E7C22573E9002B8994>>. Luettu 23.3.2012.
- 12 EU-komission suositus, annettu 18 päivänä kesäkuuta 2007, kokeellisiin ja muihin tieteellisiin tarkoituksiin käytettävien eläinten säilytystä ja hoitoa koskevista ohjeista (2007/526/EY). Verkkodokumentti. Euroopan unionin virallinen lehti. <eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/oj/2007/l_197/l_19720070730fi00010089.pdf>. Luettu 23.3.2012.

- 13 Sidelsky, Michael. 2010. IVCs and Housing Guidelines: Where Did They Come From? Verkkodokumentti. ALN Magazine. <<http://www.alnmag.com/print/5253>> Luettu 23.3.2012.
- 14 IVC-systems. 2011. Verkkodokumentti. Alternative Design Manufacturing & Supply Inc., tuote-esitteet. <<http://www.altdesign.com/mac.html>>. Luettu 23.3.2012.
- 15 Products. 2009. Verkkodokumentti. Tecniplast, tuote-esitteet. <<http://www.tecniplast.it/products.php?categoryid=24&familyid=3>>. Luettu 23.3.2012.
- 16 Faith, Robert E. 2005. Disposable Caging -- Yes or No? Verkkodokumentti. ALN Magazine. < <http://www.alnmag.com/print/3896>> Luettu 23.3.2012.
- 17 IVC - Individually Ventilated Caging. 2008. Verkkodokumentti. Allentown Inc., tuote-esitteet. <<http://www.allentowninc.com/en/products/ivc/default.aspx>>. Luettu 23.3.2012.
- 18 Baumans, V., Schlingmann, F., Vonck, M., van Lith, H. 2002. Individually ventilated cages: beneficial for mice and men? Contemporary Topics in Laboratory Animal Science. 41/2002, s. 13-19.
- 19 Ventilated Racks & Cages. 2012. Verkkodokumentti. Lab Products Inc., tuote-esitteet. <<http://www.labproductsinc.com/section.cfm/ventilated-racks>>. Luettu 23.3.2012.
- 20 IVC-racks. 2010. Verkkodokumentti. Thoren Caging Inc., tuote-esitteet. <<http://www.thoren.com/ventilated.htm>>. Luettu 23.3.2012.
- 21 Asplund, Sören. 2012. Account Manager / Service Engineer, Scanbur A/S, Karlslunde. Sähköpostikirjeenvaihto 5.4.2012.
- 22 Höglund, A.U. & Renström, A. 2000. Evaluation of individually ventilated cage systems for laboratory rodents: cage environment and animal health aspects. Laboratory Animals 35/2001, s. 51- 57.
- 23 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 24 Ilmatekniikan suunnitteluopas, osa 1. 1978. Turku: Valmet Oy ja Oy Mercantile AB.
- 25 Ilmatekniikan suunnitteluopas, osa 2. 1978. Turku: Valmet Oy ja Oy Mercantile AB.

Ilmanvaihdon yleiskaaviot



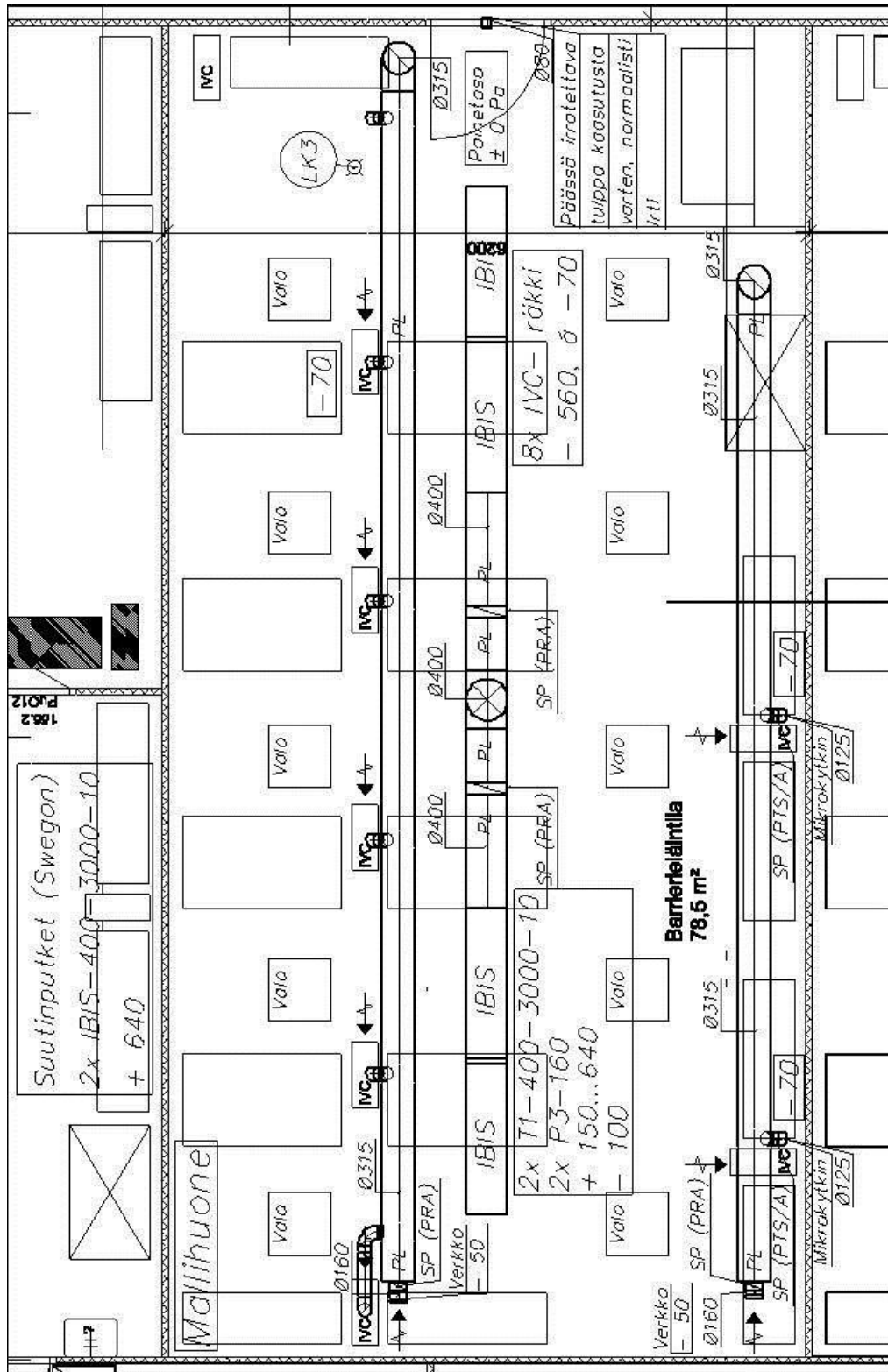
Kaavio 1. Ilmanvaihdon yleiskaavio, tutkimustilat [8].



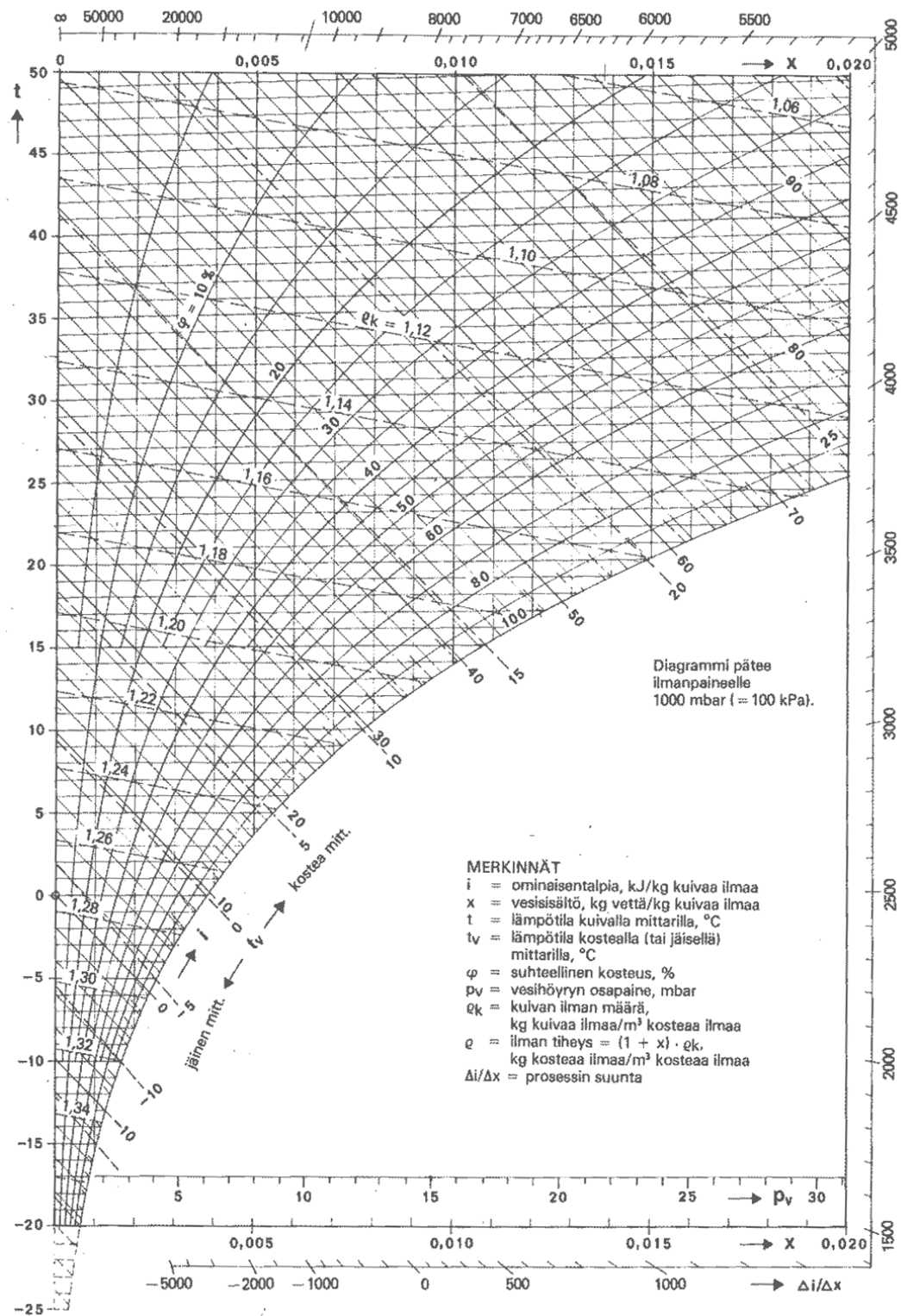
Kaavio 2. Ilmanvaihdon yleiskaavio, barrier- ja tutkimuseläintilat, esikäsitteily [8].

Mallihuone, barriereläintila

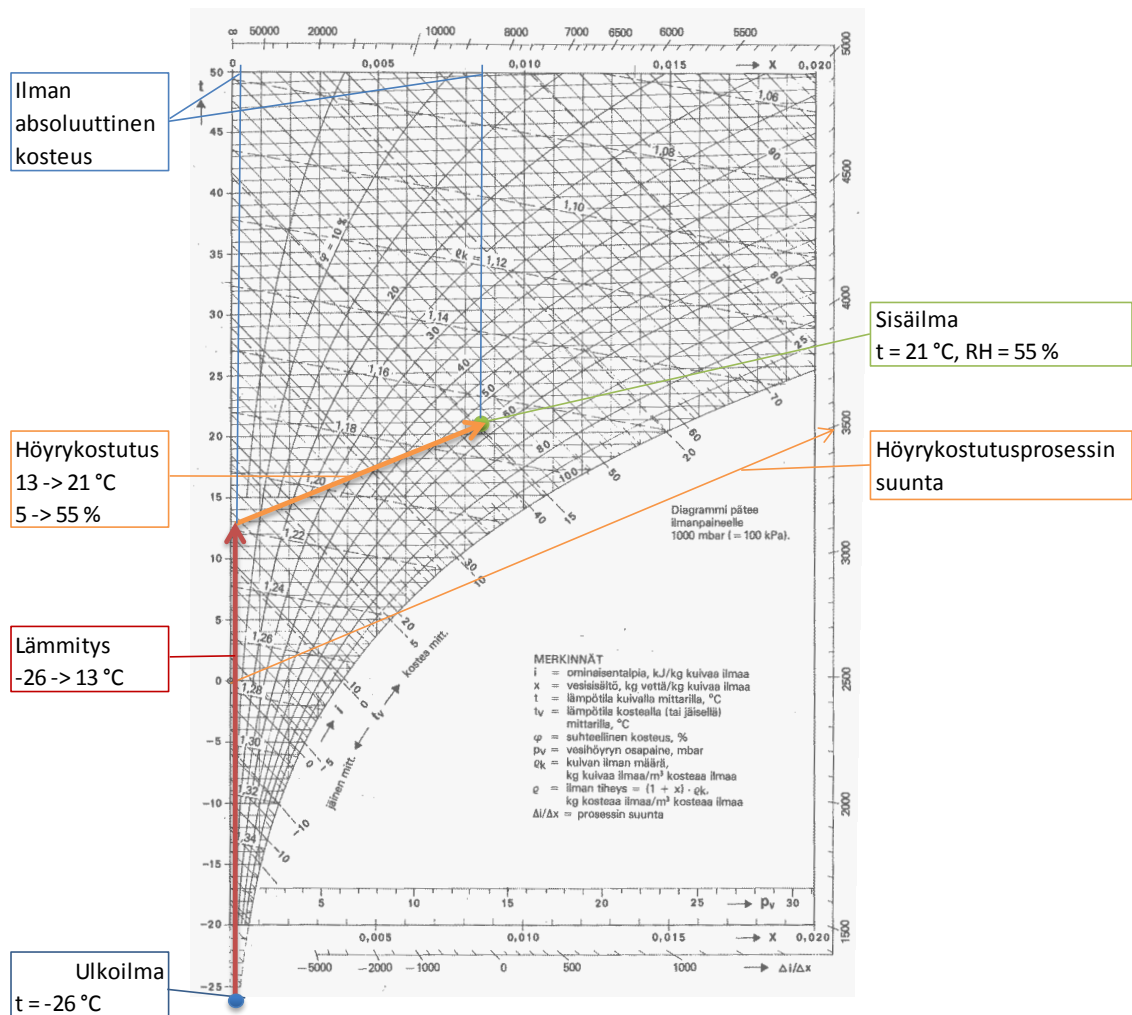
Helsingin yliopiston uusi biologisen tutkimusmateriaalin ylläpitoyksikkö [8]



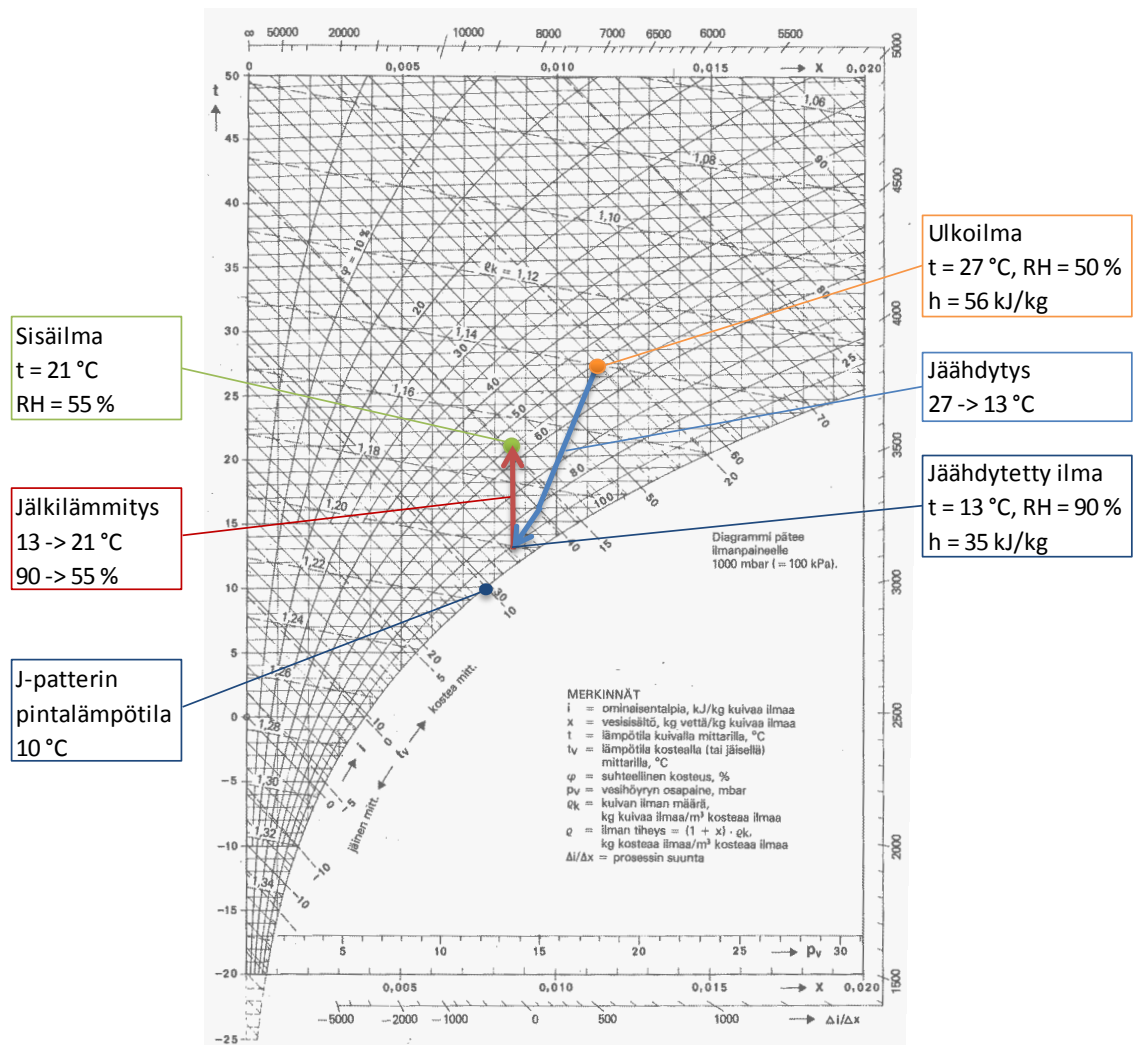
Ilmakäsittelyprosessit i,x-diagrammissa



Kuva 1. Kosteaa ilman i,x-diagrammi



Kuva 2. Lämmitys ja höyrykostutus i,x-diagrammissa



Kuva 3. Jäähdytys ja jälkilämmitys i,x-diagrammissa

Lämmitysenergian- ja kustutustarpeen laskenta

Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty avohäkki- ja IVC-räkkitulojen lämmitysenergiatarpeen laskennat kuukausittain. Taulukoissa esiintyvien määreiden selitteet:

- d päiviä kuukaudessa
- Δt tunteja kuukaudessa, h
- T_u kuukauden keskimääräinen ulkolämpötila, °C
- T_1 lämmitetyn ilman lämpötila, 13 °C
- Q_{iv} lämmitysenergiatarve, kWh
= $H_{iv} \times (T_1 - T_u) \times \Delta t$

Kuukauden keskimääräiset ulkolämpötilat on kerätty SRMK D5:n liitteestä 1. Kesä-, heinä- ja elokuussa ei tuloilmaa lämmitetä, jonka vuoksi lämpötilaeroksi on laskentoihin kirjattu 0 °C.

Taulukko 1. Avohäkkitalan ilmanvaihdon lämmitysenergiatarpeenlaskenta.

	d	Δt [h]	T_u [°C]	$T_1 - T_u$	Q_{iv} [kWh]
Tammi	31	744	-8,53	21,53	10188
Helmi	28	672	-9,75	22,75	9723
Maalis	31	744	-1,68	14,68	6946
Huhti	30	720	1,8	11,2	5129
Touko	31	744	10,8	2,2	1041
Kesä	30	720	16	0	0
Heinä	31	744	14,7	0	0
Elo	31	744	16	0	0
Syys	30	720	9,69	3,31	1516
Loka	31	744	3,95	9,05	4282
Marras	30	720	1,42	11,58	5303
Joulu	31	744	-3,85	16,85	7973
Koko vuoden lämmitysenergiatarve yhteensä, kWh					52101

Avohäkkitalan ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö

$$H_{iv} = \rho_i \times c_{pi} \times q_{vi} \times (1 - \mu) = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times 1,06 \text{ m}^3/\text{s} \times (1 - 0,50)$$

$$= 0,636 \text{ W/K}$$

Taulukko 2. IVC-räkkitylilan ilmanvaihdon lmmitysennergiantarpeenlaskenta.

	d	Δt [h]	T_u [°C]	$T_1 - T_u$	Q_{iv} [kWh]
Tammi	31	744	-8,53	21,53	6343
Helmi	28	672	-9,75	22,75	6054
Maalis	31	744	-1,68	14,68	4325
Huhti	30	720	1,8	11,2	3193
Touko	31	744	10,8	2,2	648
Kesä	30	720	16	0	0
Heinä	31	744	14,7	0	0
Elo	31	744	16	0	0
Syys	30	720	9,69	3,31	944
Loka	31	744	3,95	9,05	2666
Marras	30	720	1,42	11,58	3302
Joulu	31	744	-3,85	16,85	4964
Koko vuoden lmmitysennergiantarve yhteensä, kWh					32440

IVC-räkkitylilan ilmanvaihdon ominaislmpöhäviö

$$H_{iv} = \rho_i \times c_{pi} \times q_{vi} \times (1 - \mu) = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times 0,66 \text{ m}^3/\text{s} \times (1 - 0,50) \\ = 0,396 \text{ W/K}$$

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty avohäkki- ja IVC-räkkitylojen kostutustarpeen laskennat kuukausittain. Taulukoissa esiintyvien määreiden selitteet:

- d päiviä kuukaudessa
- Δt tunteja kuukaudessa, h
- x_u kuukauden keskimääräinen ulkoilman absoluuttinen kosteus, kg/kg
- x_s kostutetun tuloilman absoluuttinen kosteus, 0,0084 kg/kg
- q_{mh} tuloilman kostutustehontarve, kg/h
 $= \rho_i \times q_{vi} \times (x_s - x_u) \times 3600 \text{ s/h}$
- m_h tuloilman kostutustarve, kg
 $= q_{mh} \times \Delta t$

Kuukauden keskimääräiset ulkoilman absoluuttiset kosteudet on kerätty Ilmatekniikan suunnitteluoppaan osasta 2. Lmmityskauden ulkopuolella, eli kesä-, heinä- ja elokuussa ei tuloilmaa lmmitetä ja ulkoilma on muutenkin kosteaa, joten kostutusta ei ole siltä ajalta laskettu.

Taulukko 3. Avohäkitilan ilmanvaihdon kustutustarpeenlaskenta.

	d	Δt [h]	x_u [kg/kg]	$x_s - x_u$	qmh [kg/h]	mh [kg]
Tammi	31	744	0,00294	0,00546	25,0	18601,8
Helmi	28	672	0,00270	0,00570	26,1	17540,2
Maalis	31	744	0,00289	0,00551	25,2	18772,2
Huhti	30	720	0,00350	0,00490	22,4	16155,4
Touko	31	744	0,00468	0,00372	17,0	12673,8
Kesä	30	720	0,00644	0,00196	0	0
Heinä	31	744	0,00857	-0,00017	0	0
Elo	31	744	0,00829	0,00011	0	0
Syys	30	720	0,00639	0,00201	9,2	6627,0
Loka	31	744	0,00484	0,00356	16,3	12128,7
Marras	30	720	0,00399	0,00441	20,2	14539,9
Joulu	31	744	0,00338	0,00502	23,0	17102,8
Koko vuoden kustutustarve yhteensä, kg						134142

Taulukko 4. IVC-räkitilan ilmanvaihdon kustutustarpeenlaskenta.

	d	Δt [h]	x_u [kg/kg]	$x_s - x_u$	qmh [kg/h]	mh [kg]
Tammi	31	744	0,00294	0,00546	15,6	11582,3
Helmi	28	672	0,00270	0,00570	16,3	10921,2
Maalis	31	744	0,00289	0,00551	15,7	11688,3
Huhti	30	720	0,00350	0,00490	14,0	10059,0
Touko	31	744	0,00468	0,00372	10,6	7891,2
Kesä	30	720	0,00644	0,00196	0	0
Heinä	31	744	0,00857	-0,00017	0	0
Elo	31	744	0,00829	0,00011	0	0
Syys	30	720	0,00639	0,00201	5,7	4126,3
Loka	31	744	0,00484	0,00356	10,2	7551,8
Marras	30	720	0,00399	0,00441	12,6	9053,1
Joulu	31	744	0,00338	0,00502	14,3	10648,9
Koko vuoden kustutustarve yhteensä, kg						83522