

Saana Jarvansalo

Hevostallin riittävä ilmanvaihto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari, LVI (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Opinnäytetyö

13.12.2018

Tekijä Otsikko	Saana Jarvensalo Hevostallin riittävä ilmanvaihto
Sivumäärä Aika	34 sivua + 4 liitettä 13.12.2018
Tutkinto	rakennusmestari, LVI (AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennusalan työnjohto
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	lehtori Jyrki Viranko
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia selvitys siitä, minkälainen on hevostallin riittävä ilmanvaihto ja miten sen voi toteuttaa. Hevostallien ilmanvaihdon toteuttamisesta on vähän dokumentoitua tietoa, eikä siitä puhuta paljon, vaikka se on oleellinen osa toimivaa hevostallia. Suomessa suurimman osan hevosista omistavat harrastajat, joten pieniä ja keskisuuria talleja on paljon. Niiden rakentaminen on sekin usein osa harrastustoimintaa, joten ajaututaan helposti tilanteeseen, ettei riittävästä ilmanvaihdosta ja sen toteuttamisesta ole saatavilla selkeää ja kattavaa informaatiota. Opinnäytetyönä laaditun selvityksen on tarkoitus olla ratkaisuna tähän.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittellä, miten ilmanvaihto toimii ja mitkä ovat sen toimintaperiaatteet, jotta asiaa päästiin käsittelemään hevostallin näkökulmasta. Tärkeää oli päästä määrittelemään, mikä on riittävä ilmanvaihto hevostallien kohdalla, sillä määräykset sen suhteen ovat erilaiset kuin asuinrakennusten kohdalla. Määrittelyn lisäksi oli tärkeää havainnollistaa, millaisilla ratkaisuilla riittävä ilmanvaihto voidaan toteuttaa ja mitä materiaalien sekä asennusten osalta tulee erityisesti ottaa huomioon. Pyrkimyksenä oli laatia selvitys, joka on myös LVI-alaan perehtymättömän henkilön ymmärrettävissä ja hyödynnettävissä.</p> <p>Tämän selvityksen laatimisessa käytettiin hyväksi kirjallisuuslähteitä ja tehtiin yhteistyötä valmistallivalmistajan kanssa. Kirjallisten lähteiden avulla pyrittiin selvittämään ilmanvaihdon toimintaperiaatteet sekä hevostallien rakentamista ja ilmanvaihtoa koskevat säädökset, määräykset ja asetukset. Yhteistyökumppanin avulla voitiin teoriaa havainnollistaa käytännön esimerkkien avulla esimerkkikohteessa.</p> <p>Opinnäytetyön lopuksi kootaan yhteen merkittävimmät tekijät, jotka määrittelevät ilmanvaihdon riittävyden. Lisäksi tuodaan esille asiat, joihin kannattaa kiinnittää huomiota ilmanvaihdon toteuttamisessa. Lopuksi pohditaan myös sitä, miten voi varmistua olemassa olevan tallin ilmanvaihdon riittävydestä.</p>	
Avainsanat	ilmanvaihto, hevostalli, riittävä ilmanvaihto

Author Title	Saana Jarvansalo A Decent Ventilation of Horse Stable
Number of Pages Date	34 pages + 4 appendices 13 December 2018
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Jyrki Viranko, Senior Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to compile a report that would show what a decent ventilation of horse stable would be and how it could be done. There are not many documents of this subject even though it is important for the wellbeing horses. Most Finnish horse owners are hobbyists and building horse stables is part of their hobby. Therefore, they do not have enough knowledge of ventilation to make it work properly.</p> <p>This project used multiple written sources to find information. Furthermore, a stable manufacturer was consulted. One of the horse stables of the manufacturer was used as an example of properly working ventilation.</p> <p>The thesis discussed how ventilation works in general, and why. Theory of ventilation was presented to show how ventilation in a stable works and whether there are any differences compared to the ventilation of other spaces. The project also defines the term decent means in the context of horse stables.</p> <p>The thesis offers information to hobbyists who are not professionals in the field of HVAC engineering and who cannot get enough information about ventilation.</p> <p>In the end of this project there is shown how many things can influence working of ventilation. There are also thoughts how to find if stables ventilation is not working properly or be decent.</p>	
Keywords	ventilation, horse stable, a decent ventilation

Sisällys

Termit ja lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilmanvaihdon perusperiaatteet	2
2.1	Ilmanvaihtojärjestelmät	3
2.1.1	Painovoimainen ilmanvaihto	3
2.1.2	Koneellinen poistoilmanvaihto	7
2.1.3	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	8
3	Ilmanvaihto hevostallissa	11
3.1	Säädökset, asetukset ja määräykset	12
3.2	Materiaalit ja asennus	13
4	Ilmanvaihdon riittävyys	14
4.1	Ilmanvaihdon mitoittaminen laskemalla	15
4.2	Esimerkkikohta	18
4.2.1	Huippuimuri ja poistoilma	20
4.2.2	Korvausilma	26
4.2.3	Esimerkkikohteen heikkoudet ja vahvuudet	29
5	Yhteenveto	29
	Lähteet	32

Liitteet

Liite 1. Kosteudenpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta

Liite 2. Hiilidioksidinpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta

Liite 3. Lämmönpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta

Liite 4. Ammoniakinpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta

Termit ja lyhenteet

dB, desibeli	dimensioton yksikkö, joka vertailee tehosuureiden suhteita logaritmisella asteikolla. Akustiikassa desibeliä käytetään äänenvoimakkuuden yksikkönä.
ilmanvaihtohormi	kanava tai reitti, jota pitkin rakennuksesta poistuva eli ulosvirtaava ilma kulkee.
korvausilma	ulkoa sisälle virtaava ilma, jolla korvataan rakennuksesta poistettu tai poistunut ilma.
Pa, pascal	paineen yksikkö.
poistoilma	ilma, joka poistuu tai poistetaan huoneesta tai rakennuksesta.
ppm , parts per million	prosentin ja promillen tapainen suhteellinen suhdeyksikkö, kuinka paljon jokin on jostakin miljoonasosina.
siirtoilma	ilma, jota johdetaan tilasta toiseen.
suhteellinen kosteus	todellisen vesihöyrynpaineen ja kyllästyshöyrynpaineen välinen suhde tietyssä lämpötilassa.
tuloilma	ilma, jota tuodaan huonetilaan.
V, voltti	jännitteen yksikkö.
W, watti	tehon ja säteilyvirran yksikkö.

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on selvitys siitä, minkälainen on hevostallin riittävä ilmanvaihto ja miten se on mahdollista toteuttaa sekä teoriassa että käytännössä. Useinkaan hevostallin ilmanvaihtoon ei kiinnitetä tarpeeksi huomiota, mikä johtaa sisäilmanlaadun heikkenemiseen. Se puolestaan voi johtaa hevosten vastustuskyvyn alenemiseen, joka lisää erilaisten ilmaitse tarttuvien virustautien, kuten EHV1:n eli herpesviruksen, leviämistä. Muun muassa tästä syystä tässä opinnäytetyössä on esitetty mahdollisimman maanläheisesti ilmanvaihdon toiminta ja tarkoitus, sen toteuttaminen talliympäristössä sekä siihen liittyvät säädökset, määräykset ja asetukset. [1]

Ensimmäiseksi ilmanvaihtoa käsitellään yleisellä tasolla ja selostetaan sen toimintaperiaatteita erilaisten ilmanvaihtojärjestelmien kautta. Näin havainnollistetaan, mihin toimiva ilmanvaihto perustuu ja mikä on sen perimmäinen tarkoitus. Samalla annetaan yleiskuva ilmanvaihdon toteuttamisen eri vaihtoehdoista sekä esimerkkejä siitä, minkälaisiin olosuhteisiin tietyt ilmanvaihtojärjestelmät soveltuvat parhaiten.

Sen jälkeen työssä keskitytään erityisesti siihen, mitä tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan ilmanvaihtoa talliympäristöön. Käydään läpi säädökset, määräykset sekä asetukset, jotka sääntelevät nimenomaan hevostallien ilmanvaihtoa. Oleellisena osana kiinnitetään huomiota myös siihen, minkälaisia materiaaleja talliympäristössä voidaan käyttää ja minkä takia. Opinnäytetyössä käsitellään myös asennustapaan vaikuttavat tekijät ja siihen liittyvät mahdolliset erityisvaatimukset.

Hevostallin ilmanvaihdon teoriaa käydään työn loppupuolella läpi esimerkkikohteen avulla. Sen avulla nähdään esimerkiksi se, millaisia ilmamääriä, mitkäkin laitteet ja kanavaosat käytännössä voivat käsitellä. Esimerkkikohteen avulla käydään läpi myös vaihtoehtoisia ratkaisuja, joita on mahdollista soveltaa muihinkin kohteisiin. Yhteenvedona opinnäytetyössä kootaan yhteen ilmanvaihdon riittävyyteen vaikuttavat tekijät sekä ilmanvaihdon mitoittaminen. Yhteenvedon yhteydessä myös pohditaan, miten olemassa olevassa tallissa on kannattavinta lähteä tunnistamaan ilmanvaihdon ongelmia ja minkälaista ensiapua huonoon ilmanvaihtoon voi toteuttaa. Opinnäytetyöstä yhteenvetoineen voivat hyötyä kaikki hevosharrastajat riippumatta heidän taloteknisestä tietämyksestään.

Opinnäytetyö toteutetaan yhteistyössä Hirnu Oy:n kanssa. Yrityksen valmistama Duo36-valmistalli ja sen toinen versio Duo36 hevonen ja poni -valmistalli toimivat esimerkkikohteina, joiden avulla teoria tuodaan käytäntöön. Hirnu Oy on pohjois-pohjanmaalainen yritys, joka valmistaa suomalaisista materiaaleista valmistrakennuksia, kuten koiraloita, kotikanaloita, eläinsuojia, saunoja, mökkejä ja hevostalleja. [2]

2 Ilmanvaihdon peruseriaatteet

Ihmiset ja eläimet sekä koneet ja laitteet tuottavat sisäilmaan erilaisia epäpuhtauksia ja kosteutta. Rakennuksen rakenteiden kannalta on tärkeää, että kosteus saadaan poistettua tarpeeksi tehokkaasti. Ihmisten kannalta on oleellista, että uloshengityksessä tuotettu hiilidioksidi, CO₂, poistetaan ja tilalle tuodaan puhdasta hengitysilmaa. Ilmanvaihdon tarkoituksena on rakennuksen sisäilman poistoa ja korvaamista ulkoilmalla. Sen tärkein tehtävä on poistaa epäpuhtauksia sisäilmasta sekä tuoda tilalle puhdasta hengitysilmaa. Kokonaisilmanvaihdon tarpeesta kuitenkin vain murto-osa on ihmisen hapentarpeen saavuttamiseksi tarpeellista. Suurin osa kokonaisilmanvaihdon tarpeesta koostuu rakennus- ja sisustusmateriaaleista syntyvien epäpuhtauksien sekä vesihöyryn poistamisesta. [3]

Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroihin, jotka saavat aikaan sen, että ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Rakennuksen sisällä on siis oltava alipaine, jotta ilmanvirtaus suunta pysyy tarkoituksen mukaisena. Vaadittava paine-ero voidaan saavuttaa joko luonnollisesti tai koneellisesti. Aina tarvittavaa paine-eroa ei pystytä saavuttamaan luonnollisesti, minkä seurauksena on kehitetty vaihtoehtoisia koneellisia tapoja saavuttaa vaadittu se sekä sitä kautta toimiva ilmanvaihto. [3; 4, s. 90–92.]

Oleellinen tekijä toimivassa ilmanvaihdossa on riittävä ja hallittu korvausilman saanti riippumatta käytetystä ilmanvaihtojärjestelmästä. Pitääkseen sisäilman laadun vaaditulla tasolla on ilmanvaihdon toimittava jatkuvasti. Ilmanvaihdon toimintaan ja rakennuksen kosteudensiirtoon vaikuttaa myös rakennuksen vaipan eli seinien, ala- ja yläpohjan sekä katon tiiviys. Ilman on päästävä kulkemaan ulkoa sisälle päin, sillä kylmässä ilmastossa sisäilman kosteus tiivistyy helposti, jos se pääsee seinän sisälle. [3]

Rakennusaikana rakennuksen vaippaan saattaa jäädä rakoja, joista aiheutuu hallitsemattomia ilmavuotoja. Selkeimmin tällaisten rakojen vaikutus näkyy vedon tunteena, kun kylmää ulkoilmaa virtaa rakennuksen sisälle. Mitä enemmän rakennuksessa on hallitsematonta ilmavirtaa aiheuttavia rakoja, sitä vaikeampi sen ilmanvaihtoa on hallita koneellisesti. Esimerkiksi liian suuren poistoilmanvaihdon vaikutuksesta hallitsemattomat ilmavirrat kasvavat. [3; 4, s. 90–92.]

2.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihdon toteuttamiseen on olemassa erilaisia järjestelmiä. Järjestelmästä riippumatta perimmäinen toimintaperiaate säilyy samanlaisena. Rakennustekniikka kokonaisuudessaan on kehittynyt, joten ennen hyväksi todetut ratkaisut eivät välttämättä toimi nykyrakentamisessa. Ilmanvaihdon toimivuuden kannalta on tärkeää osata valita oikea ilmanvaihtojärjestelmä. Oikean järjestelmän valitsemiseen vaikuttaa rakennuksen rakennusajankohta. [5]

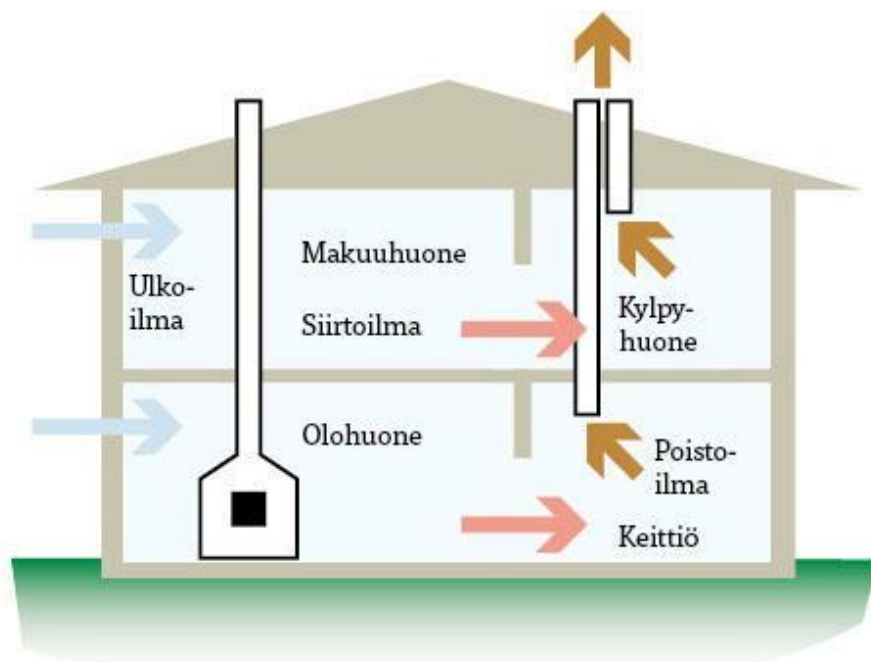
2.1.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Perinteisin ilmanvaihtojärjestelmä on painovoimainen ilmanvaihto. Sen toiminta perustuu moniin eri tekijöihin, jotka yhdessä vaikuttavat siihen, saadaanko aikaan riittävän hyvin toimiva ilmanvaihto. Näistä merkittävin tekijä on sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero, jonka tuuli aiheuttaa. Paine-eron seurauksena ilma pyrkii siirtymään suuremmasta paineesta pienempään paineeseen. Muodostuvaan paine-eroon voidaan vaikuttaa myös kuvassa 1 keittiössä ja kylpyhuoneessa näkyvien ilmanvaihtohormien pituuden avulla. Pidemmällä hormilla saadaan muodostettua suurempi paine-ero. [6; 7; 9, s. 8–14.]

Toinen merkittävä painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan edellytyksistä perustuu sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon eli hormivaikutukseen, jonka syntyy perustuu ilman tiheyden muutokseen eri lämpötiloissa. Tiheyseroista johtuen lämmin ilma nousee ylöspäin, sillä sen tiheys on pienempi kuin kylmän ilman. Näin ollen painovoimainen ilmanvaihto toimii sitä paremmin, mitä suurempi lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä on. [6; 7; 9, s. 8–14.]

Toiminnan varmistamiseksi on korvausilmaventtiilejä oltava riittävä määrä, jotta voidaan varmistaa riittävä ja hallittu korvausilman saanti. Lisäksi korvausilman reitin tulee olla mahdollisimman suora ja väljä, jotta ilmanvirtaus toimii luonnollisesti. Vanhoissa taloissa painovoimainen ilmanvaihto edellyttää asukkaalta omaa aktiivisuutta, sillä korvausilmaventtiilejä joudutaan mahdollisesti säätämään tuuliolosuhteiden muuttuessa. Entisaikaan ikkunoiden avaaminen on myös katsottu osaksi painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa, vaikka nykyään säädökset edellyttävätkin, että sen on toimittava ilman ikkunoiden avaamisen tehostavaa vaikutusta. [7; 8; 9, s. 8–14.]

Käytännössä painovoimainen ilmanvaihto toimii siten, että kuvassa 1 sinisillä nuolilla esitetty korvausilma saadaan oleskelutiloihin sijoitettujen korvausilmaventtiilien kautta. Oleskelutiloista korvausilma jatkaa matkaansa kuvaan 1 punaisilla nuolilla merkittynä siirtoilmana kohti ilmanvaihtohormia, jonka kautta se poistuu kuvassa 1 ruskeilla nuolilla kuvattuna poistoilmana.



Kuva 1. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate [6].

Myös kuvassa 1 näkyvä uuni toimii painovoimaista ilmanvaihtoa tehostavana tekijänä. Lämmitettyään uunin hormi toimii samalla tavalla painovoimaisena poistohormina kuin

sitä varten varsinaisesti rakennetut ilmanvaihtohormit. Palaessaan uuni tehostaa ilmanvaihtoa, sillä palamiseen tarvitaan ilmaa, jota uuni vetää puoleensa muista huoneista saaden samalla korvausilmaa virtaamaan sisälle rakennukseen. [9, s. 14.]

Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan ongelmana saattaa olla sen toimimattomuus. Sen toimimiseen vaikuttaa oleellisesti tuuli, joka luo paine-eron sisä- ja ulkoilman välille. Näin ollen painovoimainen ilmanvaihto lakkaa toimimasta, mikäli lakkaa tuulemasta. Talvisin sisä- ja ulkolämpötilojen erot ovat suuret, joten silloin ilmanvaihto toimii hyvin. Korvausilman ollessa lämmittämätöntä ulkoilmaa saatetaan talvella kokea vetoa, minkä seurauksena aletaan korvausilman tuloreittejä mahdollisesti tukkia. Sen seurauksena ilmanvaihto ei enää ole riittävä ja alipaine kasvaa, jolloin vedon tunnekin lisääntyy. Mikäli päädytään tukkimaan myös kaikki poistoilma-aukot vedon tunteen helpottamiseksi, sisäilman kosteus pääsee tiivistymään seinärakenteisiin aiheuttaen kosteusongelmia pidemmällä aikavälillä. [9, s. 17.]

Kesäisin sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero pienenee, kun ulkolämpötila nousee, jolloin ilmanvaihdon toiminta heikentyy, kun sekä paine- että tiheyserot pienenevät. Kun lämpötilat lähestyvät toisiaan, myös niiden paine ja tiheys lähestyvät toisiaan, sillä molemmat ominaisuudet riippuvat ilman lämpötilasta. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä pienempi on sen tiheys. Samoin käy ilman paineelle. Kun ulko- ja sisäilman tiheys ja paine ovat lähes samat, ilma ei pyri virtaamaan kumpaankaan suuntaan. Tilanne on ongelmallisinta, kun ilman lämpötila ulkona on 10–18 °C. Tällöin voi olla, erityisesti vanhemmissa rakennuksissa, tarpeellista avustaa ilmanvaihtoa avaamalla ikkuna. Nykyaikaisempi luonnollinen ratkaisu ilmanvaihdon avustamiseen on esimerkiksi kuvan 2 esittämä tuulihattu, jonka tarkoituksena on tehostaa tuulen aiheuttamaan paine-eroa ja auttaa poistoilmanvirtausta sekä estää korvausilman meneminen rakennukseen ilmavaihtohormin kautta korvausilmaventtiilien sijaan. [7; 10.]



Kuva 2. Piipun tuulihattu [10].

2.1.1.1 Mekaanisesti avustettu painovoimainen ilmanvaihto

Mekaanisesti avustetulla painovoimaisella ilmanvaihdolla eli hybridi-ilmanvaihdolla tarkoitetaan painovoimaista ilmanvaihtoa, jota avustetaan puhaltimella. Tällöin ilmanvaihto toimii pääosin painovoimaisena, mutta puhallin voidaan käynnistää, mikäli ilmanvaihto ei epäpuhtauksien ja ilmanvaihtumisen kannalta tunnu riittävältä. Mikäli puhaltimia käytetään painovoimaisen ilmanvaihdon apuna, ne yleensä sijoitetaan WC-tiloihin, märkätiloihin ja keittiöön. Puhaltimen tulee olla sellainen, ettei se estä ilman vapaata kulkua ollessaan pois päältä. Sijainnin vuoksi sen tulee myös olla hiljainen, jotta se ei aiheuta ylimääräistä meluhaittaa asuintiloihin. [7; 10.]

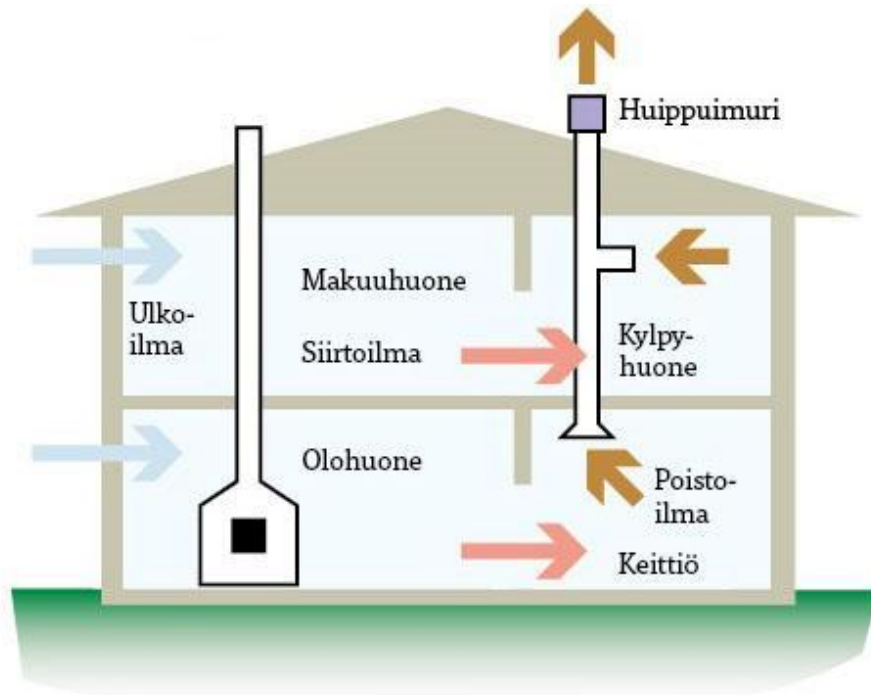
Hybridi-ilmanvaihdossa voidaan myös käyttää keskitettyä kattopuhallinta, joka sijoitetaan vesikaton yläpuolella. Tällöin puhallin tehostaa kaikkien poistohormien ilmanvaihtoa kokoojahormin välityksellä riippumatta siitä, onko sille erityistä tarvetta. Tällainen ratkaisu on periaatteeltaan melko lähellä tavallista koneellista poistoilmanvaihtoa sillä erotuksella, että se on päällä vain tarvittaessa. Hybridi-ilmanvaihto auttaa ratkaisemaan ongelmia, joita toisinaan esiintyy painovoimaisen ilmanvaihdon ollessa ainut ilmanvaihtojärjestelmä rakennuksessa. [7]

2.1.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Kun rakennuksen ilmanvaihtoa tehostetaan koneellisesti, voidaan puhua koneellisesta poistoilmanvaihdosta. Kyseisessä ilmanvaihtojärjestelmässä poistoilma poistuu pystysuuntaisia poistoilmakanavien kautta katolle, jonne poistoilmakone on yleensä sijoitettu. Vaihtoehtoisesti poistoilmakone voidaan sijoittaa myös ullakolle. [5; 6.]

Poistoilmakoneen toimintaa säädetään yleensä kellokytkimellä, jotta ilmanvaihto käy mahdollisimman vähäisellä teholla sellaisina aikoina, kun rakennuksessa ei ole kuormitusta. Vastavuoroisesti poistoilmakoneen toimintaa voidaan tehostaa sellaisina aikoina, jolloin ilmaan syntyy enemmän epäpuhtauksia, asuinrakennuksissa esimerkiksi ruoanlaiton aikaan. Poistoilmakoneen toiminnan säätelymahdollisuus perustuu myös siihen, ettei poistoilmasta yleensä kerätä lämpöä talteen. Näin ollen on energiankulutuksen kannalta tärkeää, ettei ilmaa poisteta tarpeettomasti. Tästä johtuen poistoilmakonetta ohjataan kellokytkimen lisäksi yleensä myös termostaatilla, joka saa aikaan sen, että ulkolämpötilan olleessa alempi kuin 15 °C, joka on mitoitusulkolämpötila, voidaan poistoilmakonetta käyttää osanopeudella. Tällöin ilmanvaihdon taso tosin heikkenee, mutta ratkaisulla pyritään energiansäästöön. Ulkoilman kylmetessä myös sisä- ja ulkolämpötilan välinen ero kasvaa, jolloin ilmanvaihto tehostuu myös luontaisesti. [11; 12.]

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa korvausilmaventtiilit sijoitetaan samalla tavalla oleskeluhuoneisiin, kuten olohuoneeseen ja makuuhuoneisiin, kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Poistoilmahormeja voi olla yksi tai useampia. Kerrostaloissa keittiöille ja märkätiloille voidaan laittaa omat poistoilmahormit, mutta pienrakennuksissa tämä ei ole välttämätöntä, ja yksi hormi voi kattaa keittiön sekä märkätilan, kuten kuvassa 3 on ruskeilla nuolilla esitetty. Kuten kuvassa 1, myös kuvassa 3 korvausilma on esitetty sinisillä nuolilla, siirtoilma punaisilla nuolilla ja poistoilma ruskeilla nuolilla. Kuvan 3 nuolia tarkastelemalla huomataan, että ilman siirtymisperiaate on hyvin samankaltainen kuin perinteisessä painovoimaisessa ilmanvaihdossa. [11; 12.]



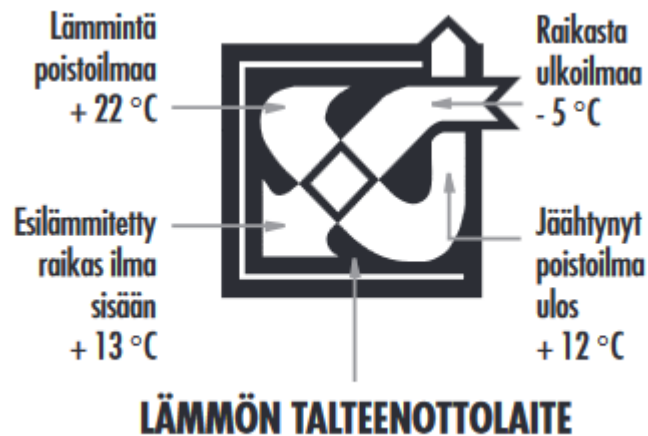
Kuva 3. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate [6].

Suurin ero kuvien 1 ja 3 välillä on kuvassa 3 vaaleanvioletilla esitetty huippuimuri, joka toimii poistoilmapuhaltimena. Sen tarkoituksena on tehostaa poistoilmanvaihtoa, jotta ilmanvaihto pysyisi riittävänä sääolosuhteista riippumatta. Huippuimuri asennetaan yleensä liesituulettimen yhteyteen. [14, s. 58–61.]

2.1.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Kun sekä tulo- että poistoilmaa liikutetaan rakennuksen sisällä koneellisesti, puhutaan koneellisesta tulo- ja poistoilmanvaihdosta tai lyhyemmin vain koneellisesta ilmavaihdosta. Asuinkerrostaloissa se voidaan toteuttaa joko keskitettynä tai huoneistokohtaisena. Mikäli kyseessä on huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihto, on jokaisella huoneistolla oma ilmanvaihtokone, jonka kautta sekä tulo- että poistoilma kulkevat. Ilmanvaihtokone voidaan varustaa lämmöntalteenotolla, jolloin poistoilman lämpö kerätään talteen ja sillä lämmitetään ulkoa tuleva raitisilma, kuten kuvassa 4 on esitetty. Näin ilmanvaihdosta saadaan energiatehokkaampi. Raitisilman lämmittämiseen voidaan käyttää myös sähkövastusta. Poistoilman lämmittämisen tarkoitus ei ole toimia pääsääntöisenä lämmitysmuotona vaan vähentää vedon tunnetta. Ilmanvaihtokone

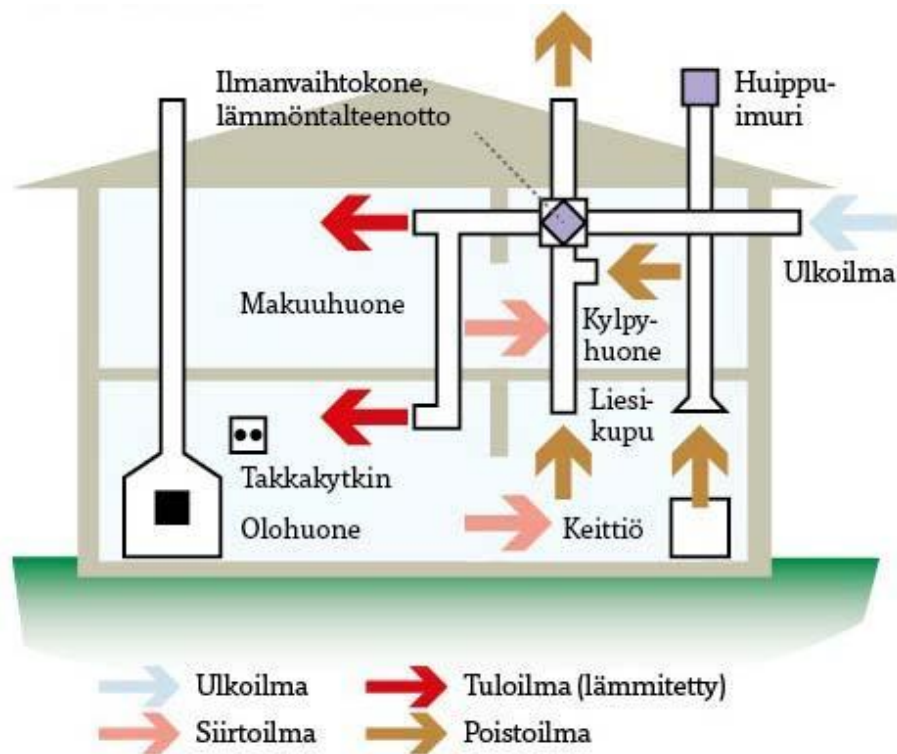
sijoitetaan yleensä WC-tilaan, kylpyhuoneeseen tai vaatehuoneeseen, jotta meluhaitta olisi mahdollisimman vähäinen. [5; 6; 11; 12]



Kuva 4. Lämmöntalteenottolaitteen toimintaperiaate [13].

Keskitettyssä tulo- ja poistoilmanvaihdossa jokaiseen porrashuoneeseen sijoitetaan porrashuonekohtainen ilmanvaihtokone, jonka kautta kaikkien kyseisen portaan asuntojen ilma kulkee. Keskitettyssä ilmanvaihdossa ilmanvaihtokone varustetaan yleensä jälkilämmityspatterilla, jotta tuloilmasta saadaan tarvittaessa lämpimämpää kuin raitisilma, joka tulee ulkoa. Jälkilämmityspatterille tuodaan yleensä oma lämmityspiiri kaukolämmitysverkosta. Ilmanvaihtokoneen paikka on yleensä vesikatolla sille varatussa konehuoneessa. Ulkokäyttöön tarkoitetun ilmanvaihtokoneen voi sijoittaa myös suoraan vesikatolle. [12]

Pientaloissa on yleensä yksi ilmanvaihtokone, joka vastaa koko rakennuksen ilmanvaihdosta. Se varustetaan myös yleensä lämmöntalteenotolla, jotta raitisilma saadaan lämmitettyä poistoilman avulla ja tuloilman jälkilämmittämisen tarve vähenee tai poistuu kokonaan. Ilmanvaihtokoneen lisäksi keittiöön asennetaan liesituuletin, joka toimii siellä poistoilmapuhaltimena. Näin ruuanlaitosta syntyvä likainen poistoilma eli jäteilma ei päädy ilmanvaihtokoneelle, vaan se johdetaan suoraan ulos rakennuksesta. Tämä pitää muut poistoilmakanavat sekä lämmöntalteenottoyksikön puhtaana pidempään. Liesikupu voidaan vaihtoehtoisesti liittää myös ilmanvaihtokoneeseen. Näin toimitaan esimerkiksi kerros- ja rivitaloissa sekä pienissä loma-asunnoissa. Tällöin on syytä ottaa huomioon, että rasvahiukkaset saattavat liata ilmanvaihtokoneen suodattimet nopeammin kuin ne likaantuisivat ilman liesikupua. [6]



Kuva 5. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toimintaperiaate [6].

Kuvassa 5 on esitetty malli, joka esittää yhden version pientalon koneellisesta tulo- ja poistoilman vaihdosta. Siitä voidaan huomata, että vaaleansinisellä merkitty ulkoilma tuodaan ilmanvaihtokoneen ja lämmöntalteenoton kautta oleskeluhuoneisiin. Sieltä se siirtyy siirtoilmana muihin huoneisiin, ennen kuin poistuu kuvassa 5 ruskeilla nuolilla merkittynä poistoilmana ilmanvaihtokoneen ja lämmöntalteenoton kautta takaisin ulos. Kuten muissakin ilmanvaihtojärjestelmissä myös koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa tuloilma tuodaan oleskeluhuoneisiin ja poistoventtiilit on yleisesti sijoitettu keittiöön ja mätkätiloihin. Venttiilien sijainnin osalta periaate on siis samanlainen kaikissa ilmanvaihtojärjestelmissä. [6; 12.]

3 Ilmanvaihto hevostallissa

Määritelmän mukaan hevostalli on rakennus, joka on tarkoitettu hevosten pitoon. Suomessa tallit ovat perinteisesti sisätalleja, joissa karsinat sijaitsevat sisätiloissa käytävien varrella. Karsinoiden lisäksi tallissa on yleensä varustehuone, jossa hevosten varusteita, kuten suitsia ja satuloita, säilytetään. Sen lisäksi tallissa voi olla vesikarsina, joka on hevosen pesuun tarkoitettu paikka, jonne voi tulla vain kylmä vesi tai kylmä vesi ja lämmin vesi. Varusteiden kuivattamiseen voidaan myös varata oma tilansa, jota kutsutaan usein kuivatushuoneeksi tai loimihuoneeksi. Yhdistävä tekijä kaikissa hevostalleissa on se, että ne ovat sisätiloja, joissa pidetään hevosia karsinoissa. [15]

Keskimäärin yksi kilpahevonen painaa 500 kg ja työhevonen 800 kg. Yksi hevonen tuottaa ilmaan kosteutta 200–220 grammaa tunnissa. Pääsääntöisesti hevoset viettävät tallissa yönsä, jonka voidaan sanoa kestävän keskimäärin 12–14 tuntia. Tänä aikana hevonen tuottaa ilmaan noin 2,4–3,8 kilogrammaa kosteutta. Kosteuden lisäksi hevonen tuottaa ilmaan hiilidioksidia sekä muita epäpuhtauksia, kuten ammoniakkia ja eläinpölyä. Pölyä talliin syntyy muistakin lähteistä kuin pelkästään hevosesta. Sitä syntyy muun muassa hevosten heinistä sekä karsinan kuivikkeista. Liian suurina pitoisuuksina hiilidioksidi ja ammoniakki ovat sekä ihmisten että hevosten terveydelle haitallisia. Myös liiallinen kosteus voi aiheuttaa haittaa hevosille ja tallin rakenteille. Näistä syistä maa- ja metsätalousministeriö on julkaissut asetuksen hevostalourakennusten rakennusteknisistä ja toiminallisista vaatimuksista. Vaikka asetuksen vaatimukset koskevat maa- ja metsätalousministeriön tukemaa uudisrakentamista, siihen verrattavaa laajentamista sekä laajoja peruskorjaushankkeita, niitä voidaan soveltaa myös muiden hevostalourakennusten, kuten yksityistallien sekä harrastetallien rakentamisessa ja korjaamisessa. Muilta osin hevostallien suunnittelua, rakentamista sekä paloturvallisuutta koskevat samat säädökset, määräykset sekä asetukset kuin muuta suunnittelua, rakentamista ja paloturvallisuutta. [15; 16; 17.]

Perinteisesti helpoimpana tapana toteuttaa hevostallin ilmanvaihto pidetään painovoimaista ilmanvaihtoa, sillä se on verrattain edullinen ja näennäisen yksinkertainen vaihtoehto. Erityisesti kotitalleissa sekä pienissä alle 10 hevosen talleissa on päädytty painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Hevostallissa painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmaksi muodostuu asuinolosuhteita helpommin sen riittämättömyys. Hevostallissa kosteutta ja muita epäpuhtauksia syntyy enemmän kuin

asuinrakennuksissa. Sen seurauksena on todennäköistä, että hevoset ja rakenteet kärsivät liiallisesta kosteudesta. Lisäksi hevostallissa korvausilmaventtiilien sijainnin tulee olla tarkkaan harkittu. Kuten aikaisemmin on mainittu, painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta riippuu olosuhteista, joten näin ollen sillä ei aina voida saavuttaa riittävää ilmanvaihtuvuutta. [18]

Isomissa hevostalleissa sekä ratsastuskouluissa panostetaan todennäköisemmin myös ilmanvaihtoon. Näin ollen niissä on pienempiä talleja useammin joko koneellinen poistoilmanvaihto tai koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Tämä johtuu siitä, että suuremmalla hevosmäärällä epäpuhtauksien poistaminen vaatii suurempia ilmavirtoja, joiden saavuttaminen painovoimaisen ilmanvaihdon avulla ei aina ole mahdollista. Tällaisissa tilanteissa on siis kokonaisuutta tarkasteltaessa kannattavampaa käyttää koneellista ilmanvaihtoa. [18]

3.1 Säädökset, asetukset ja määräykset

Johtuen asuinrakennusten ja hevostallien käyttötapaeroista on ollut tarpeellista laatia oma asetus koskemaan hevostallien ilmanvaihtoa. Maa- ja metsätalousministeriö on laatinut asetuksen, jossa määritellään taulukon 1 osoittamalla tavalla hevostallin suunnittelussa käytettävä minimi ja maksimi ilmanvaihto. Taulukon 1 mukaan hevosen paino vaikuttaa siihen, mikä ilmanvaihdon tulee olla.

Taulukko 1. Ilmanvaihdon suunnittelussa käytettävät ilmanvaihtomäärät eripainoisille hevosille, kun hiilidioksidin määrän tulee olla ≤ 3500 ppm [14].

Hevosen paino	Minimi ilmanvaihto [m ³ /h]	Maksimi ilmanvaihto [m ³ /h]
< 400 kg	40	230–320
400–500 kg	45	250–340
> 500 kg	50	270–380

Epäpuhtauksille on myös asetettu raja-arvoja, jotka kertovat, mikä määrä on hevoselle haitallinen. Sisäilman ammoniakkipitoisuuden tulisi eläinsuojelusäädösten mukaan olla kotieläinsuojassa alle 10 ppm. Hevonen on muihin kotieläimiin verrattuna pitkäikäinen ja sen suorituskyvyn edellytys on hengityselimistön terveys. Näin ollen tallissa olisi

suositeltavaa pyrkiä siihen, ettei sisäilmassa ole lainkaan ammoniakkin hajua. Se tarkoittaa, että pitoisuus on alle 5 ppm, sillä ammoniakkin hajukynnys on alle 5 ppm. [18; 19.]

Hiilidioksidipitoisuuden pitäisi pääsääntöisesti pysyä alle 3 500 ppm:n. Tämä arvo saa kuitenkin satunnaisesti ylittyä. Ulkoilman normaali hiilidioksidipitoisuus on 300–400 ppm. Näin ollen raittiin sisäilman rajana voidaan pitää 500 ppm:ää. Mikäli sisäilman hiilidioksidipitoisuus on usein 1 000 ppm tai enemmän voidaan ilmanvaihtoa pitää huonona tai riittämättömänä. [15; 16; 17.]

Myös orgaaniselle pölylle on sekä hiilimonoksidille on asetettu omat raja-arvonsa. Orgaanista pölyä tulisi talli-ilmassa olla alle 10 mg/m³, ja hiilimonoksidipitoisuuden tulisi olla alle 5 ppm. Hevostallissa ei myöskään saa olla jatkuvaa hevosia häiritsevää tai niille haitallista melua. Liian suurena jatkuvana meluna pidetään 65 desibelin rajaa. Talli-ilman lämpötilan vaihteluvälin tulisi olla 2–20 °C. Ihannelämpötilana voidaan kuitenkin pitää 6–10 °C, sillä liian suuri sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero rasittaa hevosen keuhkoja tarpeettomasti. Liian korkea sisälämpötila myös edistää ammoniakkin haihtumista ilmaan, mikä lisää ilmanvaihdon tarvetta. [15; 18; 19; 20.]

3.2 Materiaalit ja asennus

Materiaalien osalta on syytä ottaa huomioon, että talliympäristössä sisälämpötila laskee alhaisemmiksi kuin asuinrakennuksissa. Tämä tulee ottaa huomioon erityisesti kanavien eristystä tehtäessä. Kanavamateriaalina voidaan kuitenkin käyttää samoja materiaaleja kuin muissakin rakennuksissa. Kierresaumakanava ja suorakaidekanava toimivat talliympäristössä hyvin, kunhan ne eristetään tarpeen mukaan. Kanavareittien suunnittelussa on syytä ottaa huomioon, että hevoset eivät pääse vahingoittamaan itseään kanaviin, aiheuttamaan vauriota kanaville tai nyppimään pois mahdollisia eristeitä. [18]

Asennuksissa on otettava huomioon, että hevoset tuntevat ihmistä herkemmin vetoa, joten korvausilmaventtiilit on syytä asentaa siten, että korvausilma ehtii lämmetä, ennen kuin se tavoittaa hevoset. Näin ollen painovoimaisessa ilmanvaihdossa korvausilma voidaan ottaa esimerkiksi katon tuuletusraon kautta, mikäli tallissa ei ole välikattoa. Ylhäältä tullessaan ilmalla on aikaa saavuttaa tallin sisälämpötila, ennen

kuin se saavuttaa hevoset. Sisäilmaa viileämpänä ja painavampana se kuitenkin automaattisesti painuu alaspäin ja takaa ilman kiertävyyden tallissa, vaikka poistoilmaventtiilit olisivat katossa. [21; 22; 23.]

Poistoilmaventtiilit on syytä sijoittaa kattoon, sillä lämmin ilma nousee ylöspäin, mikä tekee ilman poistumisesta luontaista. Niiden on oltava korvausilmaventtiilien yläpuolella, jotta ilmanvirtaussuunta säilyy. Poistoilmaventtiilien sijainnissa kannattaa ottaa huomioon myös paikat, joissa syntyy eniten kosteutta, kuten vesikarsina ja kuivatushuone. Tarvittaessa niiden läheisyyteen voi sijoittaa ylimääräisiä poistoventtiilejä, jotta kosteus pääsee poistumaan tehokkaasti. [21; 22; 23.]

Mikäli käytössä on koneellinen ilmanvaihto ja näin ollen ilmanvaihtokone, on syytä ottaa huomioon tallin lämpötila. Monet ilmanvaihtokoneet on tarkoitettu asennettaviksi sisätiloihin. Talliin tulee siis valita joko eristetty tai muuten ulkotiloihin tarkoitettu ilmanvaihtokone. Koneellisen ilmanvaihdon ollessa kyseessä on hyvä huomioida, että ilmavaihtokoneen ja poistopuhaltimen on tarkoitus olla aina päällä. Eristettykin huippuimuri saattaa jäätyä, mikäli se laitetaan pois päältä talvella. Päällä ollessaan se kuitenkin pysyy sulana ja toimii ympäri vuoden. Jos ilmanvaihtokoneessa on lämmöntalteenottokiekko, se saattaa talliloissa likaantua normaalia nopeammin ja on siksi syytä puhdistaa useammin. Se kannattaa sijoittaa paikkaan, joka takaa sille riittävän helpon huollettavuuden, jotta puhdistus on helppo tehdä. [21; 22; 23.]

4 Ilmanvaihdon riittävyys

Ilmanvaihdon riittävyys voidaan määritellä monen eri osatekijän kautta. Sitä määriteltäessä voidaan ottaa huomioon joko ilmankosteus, hiilidioksidipitoisuus, ammoniakkipitoisuus tai lämmönpoistuminen. Ihanteellista on mitoittaa ilmanvaihto vastaamaan sitä muuttujaa, joka vaatii suurimpia ilmamääriä, mikäli nämä määrät eivät ylitä maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa mainittuja maksimiarvoja.

4.1 Ilmanvaihdon mitoittaminen laskemalla

Kaavan 1 perusteella voidaan laskea, kuinka suuri ilmavirta tarvitaan kosteudenpoiston perusteella. Yhden hevosen kosteudentuotto on 0,22 kg/h. Näin ollen yksi hevonen tuottaa 2,4 kg kosteutta 12 tunnin aikana, silloin voidaan laskea kahden hevosen tuottavan 4,8 kg kosteutta 12 tunnin aikana. Sanotaan, että mitoitusolosuhteissa sisäilman ihanteellinen suhteellinen kosteus hevostallissa on 50–80 %. Oletetaan, että mitoitusolosuhteissa sisäilman lämpötila on 20 °C ja suhteellinen kosteus 60 % ja ulkoilman lämpötila 15 °C ja suhteellinen kosteus sen keskimääräinen suhteellinen kosteus Etelä-Suomessa eli 80 % prosenttia, saadaan liitteen 1 mukaisella laskulla ilmavirran suuruudeksi 486,86 m³/h. Jos ulkoilman suhteellinen kosteus on huomattavasti keskimääräistä alhaisempi, myös ilmanvaihdon tarve kosteudenpoiston perusteella vähenee. [18; 20; 24.]

$$q_v = \frac{F}{\rho(x_s - x_u)} \quad (1)$$

F on kosteudentuotto [kg/h]

ρ on ilman tiheys [kg/m³]

x_s on sisäilman kosteus [kg/m³]

x_u on ulkoilman kosteus [kg/m³]

Liitteen 1 mukaan lasketut mitoitusarvot täyttävät maa- ja metsätalousministeriön asetuksen antamat minimi-ilmanvaihdon arvot. Taulukkoa 1 tarkastelemalla huomaamme, että mitoitusolosuhteen arvoilla jäädään alle maksimi-ilmanvaihdon arvojen. Maksimi-ilmanvaihto kahdelle yli 500 kg painavalle hevoselle olisi 760 m³/h. Voidaan siis huomata, että mitoitusolosuhteissa kosteudenpoistoon ei riitä minimi-ilmanvaihdon mukainen ilmavirta, joka olisi 100 m³/h.

Laskettaessa ilmavirran mitoitus kaavalla 2 nähdään, kuinka paljon sen tulisi olla hiilidioksidin poiston perusteella. Hevosen hengityksen minuuttitulavuus on 60 dm³/min eli 3 600 dm³/h. Uloshengitysilmaasta 4 % on hiilidioksidia. Liitteessä 2 on laskettu, että tämä tarkoittaa 0,144 m³ hiilidioksidintuottoa tunnissa. Kun mitoitetaan ilmanvaihtoa

hiilidioksidinpoiston perusteella, käytetään ulkoilman hiilidioksidipitoisuutena mitoitusolosuhteissa arvoa 400 ppm ja sisäilman tavoitehiilidioksidipitoisuutena arvoa 800 ppm. Näin ollen kaavalla 2 laskettuna saadaan liitteen 2 mukaisella laskennalla mitoitusilmavirraksi 198,58 m³/h yhtä hevosta kohden. Kahden hevosen tallissa se tekisi siis 397,17 m³/h. [15; 16; 17; 18; 25.]

$$q_v = \frac{K}{(c_{tavoite} - c_0)} \quad (2)$$

K on hiilidioksidintuotto [m³/h]

$c_{tavoite}$ on tavoitepitoisuus [kg/m³]

c_0 on ulkoilmanpitoisuus [kg/m³]

Liitteessä 2 laskettuja mitoitusilmavirtoja tarkasteltaessa huomataan niiden ylittävän huomattavasti minimi-ilmanvaihdon vaatimuksen. Siitä voidaan päätellä, että minimi-ilmanvaihdon vaatimuksen mukaan toteutettu ilmanvaihto ei mitoitusolosuhteissa takaa ihanteellista hiilidioksidipitoisuutta talliin.

Kaavalla 3 voidaan laskea ilmavirran mitoitus lämmönpoiston perusteella. Mitoitus tilanteessa ulkoilmanlämpötila on 15 °C ja sisäilman lämpötila on 20 °C. Yhden kilpahevosen lämmöntuotto on 0,65 lämmöntuottoyksikköä eli 650 W lämpöä. Työhevosen lämmöntuotto on suurempi kuin kilpahevosen, sillä se on 0,96 lämmöntuottoyksikköä eli 960 W. [15; 18.]

$$q_v = \frac{Q_s}{\rho \cdot c_p (t_s - t_u)} \quad (3)$$

Q_s on eläimen lämmönluovutus [w]

ρ on ilman tiheys [kg/m³]

c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/K*kg]

t_s on ylin tavoitelämpötila [K]

t_u on ulkolämpötila mitoitustilanteessa [K]

Kuten liitteessä 3 on laskettu, kun yhden hevosen lämmönluovutus on 650 W, saadaan kahden hevosen lämmönluovutuksen määräksi 1 300 W. Ylimmän tavoitelämpötilan ollessa 20 °C ja ulkolämpötilan 15 °C, saadaan mitoitusilmavirraksi kahden hevosen tallissa 215,77 m³/h. Liitteessä 3 on myös laskettu mitoitusilmavirta kahden hevosen talliin, mikäli yhden hevosen lämmönluovutus on 960 W. Silloin mitoitusilmavirraksi saatiin 318,67 m³/h.

Laskettuja arvoja verrattaessa maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa annettuun minimi-ilmanvaihtoon taulukossa 1 huomataan, että sen mukaan kahden 500 kg tai enemmän painavan hevosen minimi-ilmanvaihto on 100 m³/h. Näin ollen voidaan todeta, että mitoitusolosuhteissa laskettu mitoitusilmavirta täyttää molemmissa tapauksissa asetuksessa annetun minimin. Minimii-ilmanvaihto ei kuitenkaan mitoitusolosuhteissa takaa ilmanvaihdon riittävyttä lämmönpoiston suhteen, kuten laskelmat osoittavat. [15]

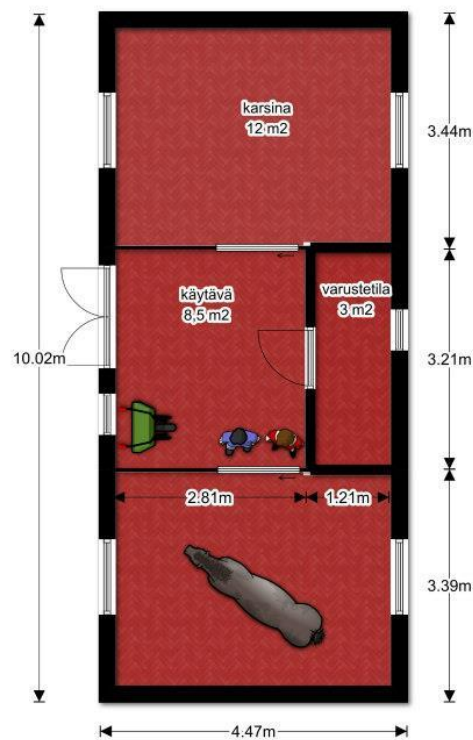
Mikäli mitoitusta halutaan laskea muiden kaasujen poiston perusteella, ne ovat analogisia kaavan 2 kanssa. Mitoitusilmavirta voidaan siis laskea myös ammoniakkin poiston perusteella käyttäen kaavaa 2. Kuten liitteessä 4 on laskettu, kun yhden hevosen ammoniakintuotto on 0,04175 dm³/h, mitoitusilmavirraksi saadaan 4,6 m³/h, mikäli tavoitepitoisuus on 5 ppm. Kahden hevosen tallissa se siis tarkoittaisi 9,2 m³/h mitoitusilmavirtaa. Kuitenkin on otettava huomioon, että 5 ppm on ammoniakkipitoisuuden maksimiarvo, jolloin talli-ilman tavoitepitoisuutena tulisi olla alle 5 ppm. Kuten liitteessä 4 on esitetty, mitoitusilmavirta kasvaa 23,08 m³/h hevosta kohden, mikäli tavoitepitoisuutena pidetään 1 ppm. Näin ollen kahden hevosen tallissa ilmanvaihdon tulisi tässä tilanteessa olla 46,15 m³/h. [16; 17; 26; 27.]

Laskettujen arvojen perusteella voidaan todeta, etteivät ne täytä maa- ja metsätalousministeriön asettamia minimi-ilmanvaihdon arvoja. Voidaan siis olettaa, että minimi-ilmanvaihdon noudattaminen riittää liian ammoniakkin poistamiseen talli-ilmasta. On kuitenkin otettava huomioon se, että laskuissa on käytetty keskimääräisiä arvoja, jotka voivat vaihdella hevoskohtaisesti riippuen hevosen iästä, sukupuolesta ja kunnosta. Myös karsinoissa käytettävä kuivike vaikuttaa siihen, kuinka paljon ammoniakkia haihtuu talli-ilmaan, sillä jotkut kuivikkeet ovat imukykyisempiä kuin toiset. [15; 26; 27.]

4.2 Esimerkkikohte

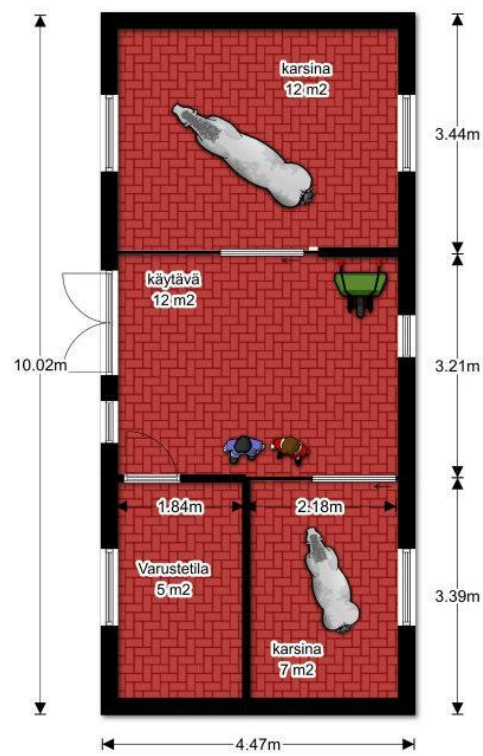
Esimerkkikohteen ilmanvaihdon tarkastelussa käytetään raja-arvoina maa- ja metsätalousministeriön asettaman asetuksen eli taulukon 1 mukaisia arvoja. Aiemmin esitetyt laskennalliset arvot on tarkoitettu käytettäväksi suunnitteluvaiheessa, sillä ne eivät ole yksiselitteisiä suhteessa Maa- ja metsätalousministeriön asettamassa asetuksessa annettuihin arvoihin. Näin ollen on havainnollistavampaa käyttää yksiselitteisempiä arvoja esimerkkikohteen tarkastelussa, vaikka tarkastelu on teoreettinen, sillä käytännön mittauksia ei ole suoritettu.

Pääasiallisena esimerkkikohteena toimii Hirnu Oy:n valmistalli Duo36. Se on kahdelle hevoselle tarkoitettu talli, joka on varustettu kahdella 12 m²:n karsinalla, 3 m²:n varustetilalla ja 8,5 m²:n käytävällä, joka toimii myös hoitotilana hevosille, kuten kuvassa 6 on esitetty. Tallin ilmanvaihto on toteutettu koneellisena poistoilmanvaihtona. Molempiin karsinoihin on sijoitettu kaksi Ø 120 mm:n korvausilmaventtiiliä sekä yksi Ø 125 mm:n poistoilmaventtiili. Varustetilaa palvelevat omat korvausilma- sekä poistotentit. Varustehuoneen korvausilmaventtiilien koot ovat Ø 100 mm ja poistoilmaventtiili Ø 125 mm. Myös hoitotilan ulko-oven viereen on sijoitettu kaksi Ø 120 mm:n korvausilmaventtiiliä. Poistoilmakanavat kulkevat välikatolla huippuimurille, joka on sijoitettu katolle. Välitila välipohjan ja katon välissä on tuuletettu erillisillä Ø 120 mm:n korvausilmaventtiileillä, jotka on sijoitettu tallin molempiin päätyihin. Karsinoiden ikkunat ovat avattavia, mutta niiden avaaminen ei ole välttämätöntä ilmanvaihdon toiminnan kannalta.



Kuva 6. Duo36-valmistallin pohjapiirustus.

Duo36-valmistallista on myös Duo36 hevonen ja poni -versio, jossa toinen hevoskokoinen karsina on korvattu ponikokoisella 7 m²:n karsinalla kuvan 7 mukaan. Näin ollen hoitotilana käytettävä käytävä on 8,5 m²:n sijaan 12 m² ja varustetila on 3 m²:n sijaan 5 m². Duo36 hevonen ja poni -tallin ilmanvaihto toimii samalla periaatteella kuin Duo36-perusmallin ilmanvaihto, mutta varustetilan sijainnista muutoksesta johtuen myös korvausilmaventtiilien sijainti on erilainen verrattuna Duo36-talliin. Niiden määrä kuitenkin on vastaava toisen mallin kanssa.



Kuva 7. Duo36 hevonen ja poni -valmistallin pohjapiirustus.

4.2.1 Huippuimuri ja poistoilma

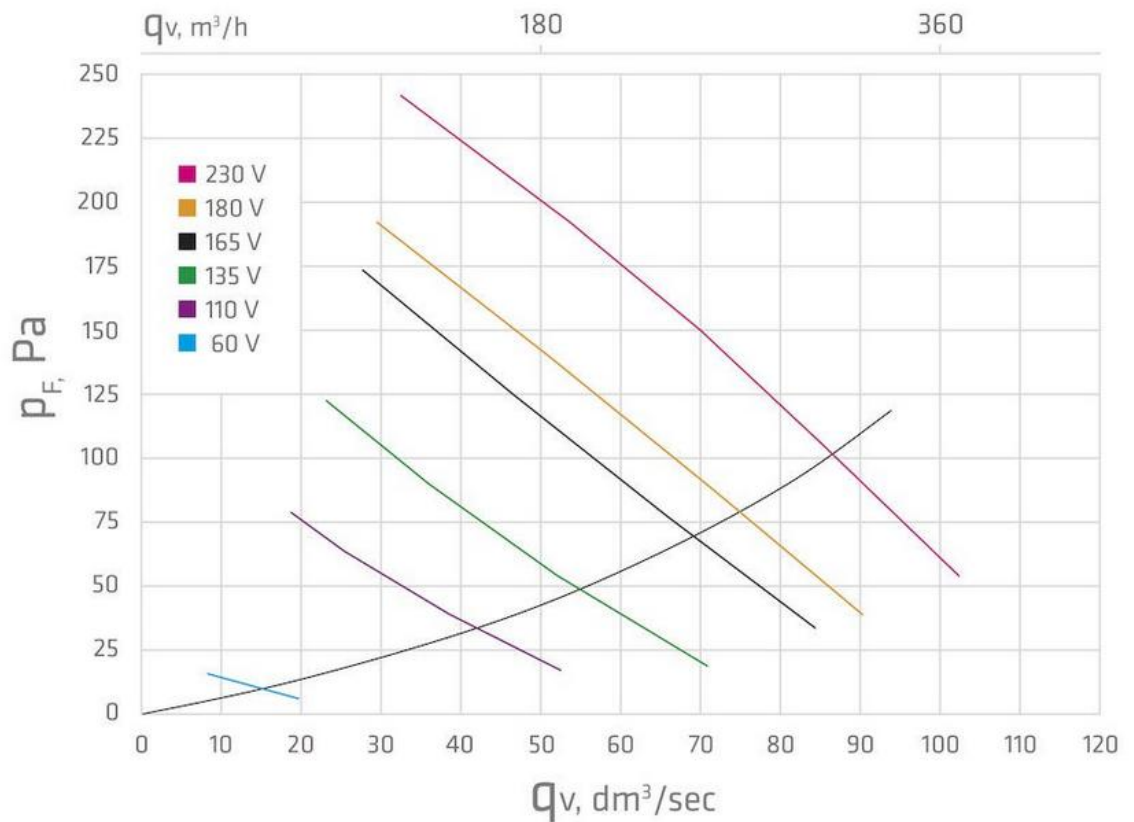
Huippuimurina eli poistopuhaltimena molemmissa Duo36-tallin versioissa käytetään kuvassa 8 esitettyä Vilpe 120P/125/700 -huippuimuria, jonka kanavakoko on Ø 125 mm.



Kuva 8. Vilpe E120P/125/700 -huippuimuri [26].

Kyseisen huippuimurin toiminta-aluetta säädetään jännitteen avulla, ja kuvasta 9 nähdään kunkin jännitteen tarjoama toiminta-alue. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen mukaan minimi-ilmanvaihdon tulisi olla kahden 500 kg tai enemmän painavan hevosen tallissa $100 \text{ m}^3/\text{h}$ eli $28 \text{ dm}^3/\text{s}$. Kuvasta 9 voidaan todeta, että voidakseen poistaa ilmaa $28 \text{ dm}^3/\text{s}$, täytyy kyseisen huippuimurin toimia 110 voltin jännitteellä. Olettaen, että painehäviö on hieman yli 50 Pa, saadaan huippuimurin ilmavirraksi $30 \text{ dm}^3/\text{s}$. Tällä jännitteellä huippuimuri täyttää minimi-ilmanvaihdon tarpeen eikä ylitä maksimi-ilmanvaihdon raja-arvoja, vaikka painehäviö olisi alhaisempi kuin 50 Pa. Mikäli painehäviö olisi 20 Pa, olisi ilmavirtaus $53 \text{ dm}^3/\text{s}$ eli $190 \text{ m}^3/\text{h}$, mikä jää alle maksimi-ilmanvaihdon arvojen. Huippuimurin etuna on se, että ilmanvaihdon tuntuessa riittämättömältä voi huippuimurin ilmavirtausta kasvattaa lisäämällä jännitettä, sillä 135 V:n jännitteelläkään maksimi-ilmavirta ei ylity, vaan jää arvoon $252 \text{ m}^3/\text{h}$, vaikka painehäviö olisi 20 Pa. Kyseessä olevan huippuimurin kanssa ei voi edes maksimijännitteellä saavuttaa tilannetta, jossa maksimi-ilmanvaihdon raja-arvo ylittyisi. Näin ollen sen jännitettä on suhteellisen turvallista kasvattaa, mikäli pienemmät jännitteet tuntuvat riittämättömiltä. Koneellisen poistoilmanvaihdon kanssa on kuitenkin

muistettava, että se on suunniteltu toimimaan huippumurin kanssa, ja näin ollen huippumurin tarkoituksena on olla toiminnassa koko ajan myös talvella. [15; 26.]



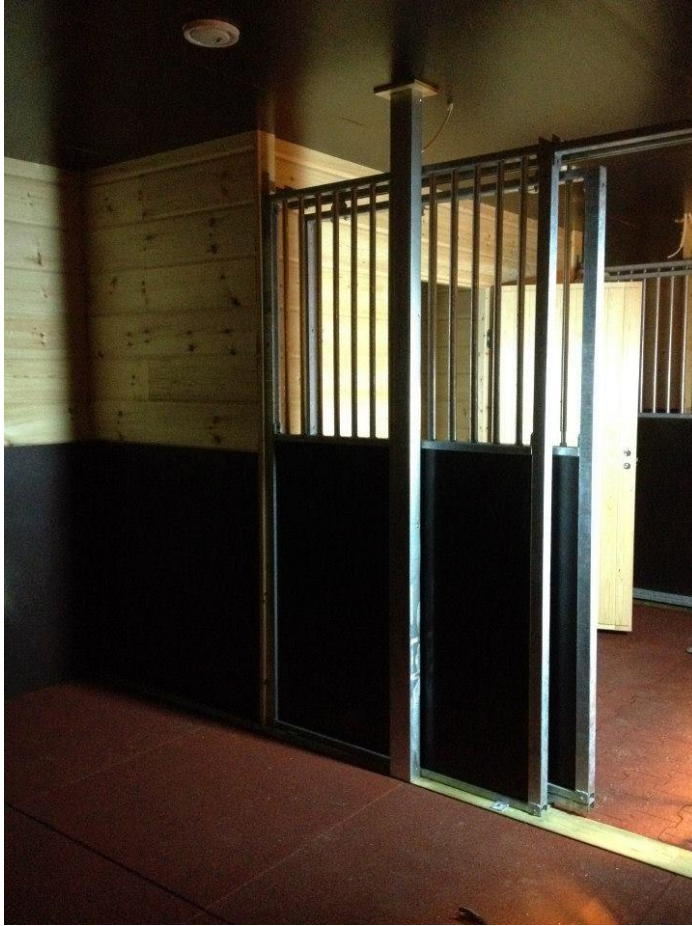
Kuva 9. Vilpe E120P/125/700:n toimintakäyrät eri jännitteillä [26].

Koneen jännitettä kasvatettaessa on muistettava ottaa huomioon melulle asetetut desibelivaatimukset, jotka eivät saisi ylittyä. Taulukosta 2 voidaan huomata, että huippumurin toimiessa 110 V:n jännitteellä äänenvoimakkuus on 67,2, eli 2,2 delibeliä enemmän kuin määritelty raja-arvo, joka on 65 desibeliä. Tulee kuitenkin huomioida se, ettei huippumuri ole samassa tilassa hevosten kanssa ja todellinen meluhaitta tulee mitata tilasta, jossa hevoset oleskelevat eli niiden karsinoista. Äänieristeillä on lisäksi mahdollista vähentää melun kuuluvuutta, mikäli se ei muuten pysy sallituissa arvoissa. [20; 28.]

Taulukko 2. Vilpe E120P/125/700 -huippuimurin spesifikaatio [26].

E120		60 V	110 V	135 V	165 V	180 V	230 V
q V1	dm ³ /s	8.5	38.8	52.0	65.7	71.6	85.2
p tF	Pa	16	38	53	75	85	104
PE	W	9	27.0	37.7	51.0	57.3	82.7
ηtE	-	0.015	0.054	0.073	0.097	0.106	0.107
n	1/min	643	1237	1552	1901	2044	2355
L W63	dB	47.6	54.9	57.4	60.8	61.9	65.4
L W125	dB	53.9	67.2	71.2	73.1	73.4	76.0
L W250	dB	52.0	64.4	70.3	72.9	73.2	75.0
L W500	dB	38.6	52.8	57.6	61.5	62.8	67.2
L W1000	dB	32.6	52.4	56.3	60.9	62.2	66.9
L W2000	dB	15.3	45.3	53.6	58.3	59.6	62.3
L W4000	dB	*	28.2	37.1	46.5	49.4	55.7
L W8000	dB	*	*	21.1	31.8	34.7	40.5
L W	dB	56.7	69.4	74.1	76.5	76.9	79.4
L WA	dB (A)	44.8	59.0	64.0	67.4	68.3	71.7

Poistoilmaventtiileinä Duo36-tallissa on käytetty kuvissa 10 ja 11 näkyviä Ø 125 mm:n kattoon asennettavia koneelliseen ilmanvaihtoon tarkoitettuja poistoilmaventtiilejä. Tällaisia ovat esimerkiksi Fläkt Woodsin KSO-poistoilmaventtiilit. Poistoilmaventtiilit on sijoitettu molempien karsinoiden kattoon sekä varustetilaan. Näin ollen tallin puolella on yhteensä kaksi poistoilmaventtiiliä, joista molempien tulee poistaa ilmaa 14 dm³/s. KSO-125-poistoventtiilien toiminta-alue on 12–45 dm³/s, joten ne soveltuvat hyvin esimerkkikohteeseen. Ne toimivat pysyttäessä minimi-ilmanvaihdossa, mutta riittävät vielä ilmanvaihdon tehostamiseenkin, mikäli sille tulee tarve. Niiden sijainti karsinoissa on optimaalinen, sillä tallin epäpuhtauksista ja kosteudesta suurin osa tulee hevosista ja niiden ulosteista. Kun poistoilmaventtiilit ovat suoraan karsinoiden yläpuolella, muun muassa ammoniakkin haju poistuu nopeammin talli-ilmasta. [29]



Kuva 10. Duo36 -valmistallin karsinasta näkymä hoitotilaan sekä varustetilan ovelle.

Varustetila voidaan luokitella omaksi tilakseen, koska sinne tulee erillinen korvausilma, eikä talli-ilma siirry siirtoilmana sinne. Näin ollen siellä voidaan seurata ympäristöministeriön asetusta, Suomen säädöskokoelma 1009/2017, jossa määritellään asuintilojen ilmanvaihtoon liittyvät raja-arvot. Sen mukaan oleskelutilojen ulkoilman ilmavirran on oltava vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$, joten varustetilan poistoilmaventtiiliin tulee poistaa ilmaa $8 \text{ dm}^3/\text{s}$, jotta alipaine tilassa säilyy. Varustetilan poistoventtiili on samanlainen kuin tallin puolella olevat poistoventtiilit, joten se on lievästi ylimitoitettu. Se ei kuitenkaan ole varsinainen ongelma, sillä ilmavirtaa voidaan säätää venttiilin asentoa muuttamalla. Toisinaan varusteet myös tuovat mukanaan kosteutta varustetilaan, joten on käytännöllistä, että poistoventtiiliin ilmavirtaa voidaan kasvattaa tarvittaessa. [30]



Kuva 11. Duo27 -hevostallin hoitotilasta näkymä karsinaan. Duo27 -talli vastaa Duo36-tallia muilta ominaisuuksiltaan, mutta varustetila puuttuu.

Poistoilmaventtiilien asemoimisessa on tärkeää ottaa huomioon myös se, ettei hevonen yllä siihen. Toisinaan hevoset tarvitsevat enemmän virikkeitä kuin talliympäristössä on tarjota, ja ne saattavat tutkia ympäristöä turvallaan ja hampaillaan. Mikäli poistoilmaventtiilit olisi sijoitettu niiden ulottuville, venttiilit saattaisivat kärsiä mekaanisia vaurioita. Ilman luonnollinen kierto on myös oleellinen osa poistoilmaventtiilien sijainnin kannalta. Lämpimän ilman tiheys on pienempi kuin kylmän ilman, joten se on kevyempää. Näin ollen lämmin ilma nousee ylöspäin ja erityisesti lämmönpoiston kannalta on luontevaa, että poistoilmaventtiilit on sijoitettu kattoon. [21; 23.]

4.2.2 Korvausilma

Kuvista 11 ja 12 nähdään, että tallin korvausilmaventtiilit on sijoitettu karsinoiden yläosaan, jotta ilma ehtisi lämmetä, ennen kuin se saavuttaa hevoset. Korvausilmaventtiilien sijoittaminen seinän yläosaan pitää ne myös paremmin puhtaina, sillä hevosilla ei ole mahdollisuutta päästä niihin käsiksi eivätkä karsinan kuivikkeet pääse tukkimaan niitä. Lisäksi ulkopuolella korvausilmaventtiilien toiselle puolelle on laitettu ulkosäleiköt, jotka muun muassa rajoittavat sateen ja tuulen pääsemistä sisätiloihin (kuva 14). Välikaton erillisten korvausilmaventtiilien sijainti näkyy myös kuvasta 14, sillä niiden ulkosäleiköt näkyvät seinässä katon rajassa. Ne on tarkoituksenmukaisesti sijoitettu rakennuksen molempiin pätyihin, jotta välikatto pääsee tuulettumaan.



Kuva 12. Duo27 -hevostallin hoitotilasta näkymä toiseen karsinaan. Kuvasta käy ilmi korvausilmaventtiilien sijainti, joka on vastaava kuin Duo36-valmistallissa.

Korvausilmaventtiileinä on käytetty perinteisiä lautasmallisia korvausilmaventtiilejä. Tällaisia ovat esimerkiksi Fläkt Woodsin valmistamat RK-ilmanvaihtoventtiilit, jotka on tarkoitettu käytettäväksi painovoimaisen ilmanvaihdon venttiileinä. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ne toimivat hyvin korvausilmaventtiileinä, sillä tuloilmaa ei ohjata koneellisesti. Kokona korvausilmaventtiileillä on karsinoissa ja hoitotilassa käytetty \varnothing 120 mm. Mikäli varustetilaa ei lasketa, on Duo36 -tallissa tallin puolella yhteensä kuusi korvausilmaventtiiliä. Näin ollen jokaisen venttiilin pitäisi tuoda talliin korvausilmaa $3,8 \text{ dm}^3/\text{s}$. Painehäviön ollessa 10 Pa ja korvausilmaventtiilin ollessa 5 mm auki RK-100-venttiilin ilmavirtaus on $5,5 \text{ dm}^3/\text{s}$. Mikäli painehäviö on suurempi, myös ilmavirtaus kasvaa. Voidaan siis huomata, että korvausilmaventtiilit ovat mitoitukseltaan reilut, mikäli poistoilman määrä pysyy minimi-ilmanvaihdon raja-arvoissa. On kuitenkin otettava huomioon, että poistoilmanvaihdon kasvattamiselle on jätetty suunnittelussa varaa, joten sama on tehtävä myös korvausilman kanssa. [30]



Kuva 13. Duo36 hevonen ja poni -valmistallin hoitotilasta näkymä varustetilaan. Kuvasta käy ilmi korvausilmaventtiilien sijainti.

Varustetilaan on asennettu kaksi Ø 100 mm:n korvausilmaventtiiliä, kuten kuvasta 13 nähdään. Ne on sijoitettu käytännöllisesti tilan alareunaan, jotta satulatelineille ja muille varustepidikkeille jää riittävästi seinätilaa. Varustehuoneessa vedon tunteestakaan ei ole haittaa, sillä siellä pääsääntöisesti säilytetään varusteita eikä oleskella pitkiä aikoja yhtäjaksoisesti. Ympäristöministeriön asetuksen, Suomen säädöskokoelma 1009/2017, mukaan oleskelutiloissa ulkoilmanvirtauksen tulisi olla vähintään 6 dm³/s. Molempien korvausilmaventtiilien ilmavirran tulisi siis olla vähintään 3 dm³/s. Varustetilassakin minimivaatimuksen mukaan tarkasteltaessa huomataan, että venttiilit ovat ylimitoitettuja. Kuten aiemmin mainittu, poistoilman kohdalla on syytä ottaa huomioon, että varusteiden mukana tulevan kosteuden takia on kaukonäköistä jättää ilmanvaihtoon tehostamisen varaa myös korvausilmapuolelle. [31]



Kuva 14. Duo36-valmistallin päät, josta nähdään ulkosäleikköjen ulkonäkö sekä välipohjan tuuletusventtiilien sijainti.

Kuvasta 14 voidaan vielä nähdä, että korvausilmaventtiilit on järkevää sijoittaa siten, että ne jäävät katon räystäään alle. Tällöin ne ovat enemmän suojassa sateelta kuin seinän alaosaan asennettuna.

4.2.3 Esimerkkikohteen heikkoudet ja vahvuudet

Duo36-valmistallin molempien versioiden ilmanvaihdon vahvuutena voidaan pitää sitä, että se täyttää maa- ja metsätalousministeriön asetuksen minimi-ilmanvaihdon vaatimuksen laskennallisesti ilman ongelmia. Laskennallisesti tarkasteltuna ilmanvaihdossa on myös tehostamisen varaa, mikä on Suomen vaihtelevissa sää- ja kosteusoloissa usein tarpeellista, kun käytössä on lämmittämätön rakennus.

Ilmanvaihdon suunnittelun vahvuutena on myös sen yksinkertaisuus, koska näin myös huolto pysyy yksinkertaisena ja kohtuullisen vaivattomana. Koneellisen poistoilmanvaihdon toteuttaminen ei vaadi myöskään yhtä suuria investointeja kuin täysin koneellisen ilmanvaihdon toteuttaminen, mutta sen avulla on todennäköisempää saavuttaa riittävä ilmanvaihto kuin pelkällä painovoimaisella ilmavaihdolla. Esimerkkikohteessa nähdään hyvin, kuinka kohtuullisilla investoinneilla voidaan saada aikaan toimiva ja mukautettavissa oleva ilmanvaihtokokonaisuus.

Heikkoutena voidaan nähdä se, että koneellinen poistoilmanvaihto ei kerää talteen lämpöenergiaa poistoilmasta. Se on merkittävää erityisesti talvisin, mikäli hevoset ovat päivisin ulkona, eivätkä tallissa tuottamassa lämpöä, sillä sisäilmanlämpötila tallissa mahdollisesti laskee. Duo36-valmistalleissa ei kuitenkaan ole vesi- eikä viemärijärjestelmiä, joten niiden mahdollinen jäätyminen ei aiheuta ongelmia. Tämä heikkous on myös yleisesti koneellisen poistoilmanvaihdon heikkous, eikä näin ollen vain tämän kohteen.

5 Yhteenveto

Hevostallin riittävän ilmanvaihdon määrittelemisen ei aina ole yksinkertaista, sillä se riippuu monista eri tekijöistä, jotka voivat vaihdella, eivätkä aina riipu toisistaan. Olosuhteiden tulisi olla muuttumattomat, jotta laskennallisesti pystyttäisiin määrittelemään mitoitusilmavirta, jolla ilmanvaihto toimii aina riittävällä teholla. Mitoitusolosuhteita käyttämällä saadaan suuntaa antavia ilmavirtoja, jotka toimivat tietyissä tilanteissa, mutta eivät kaikissa, koska niiden laskemisessa on otettu huomioon vain mitoitusolosuhteet. Mikäli haluttaisiin päästä mahdollisimman tarkkaan lopputulokseen, olisi otettava huomioon kaikki mahdolliset muuttujat ja niiden kaikki mahdolliset yhdistelmät. Voidaan todeta, ettei se ole realistinen tapa lähestyä

ilmanvaihdon riittävyden määritelmää. Tämän takia maa- ja metsätalousministeriö on laatinut asetuksen, joka antaa minimi- ja maksimi-ilmanvaihdolle tietyt raja-arvot, joiden noudattaminen on yksiselitteisempää kuin kaikkien laskennallisesti saavutettavissa olevien arvojen noudattaminen.

Esimerkkikohteen avulla huomattiin, että minimi-ilmanvaihdon arvot on mahdollista saavuttaa kohtuullisen yksinkertaisella toteutuksella ja pienillä investoinneilla. Samalla huomattiin myös, että esimerkkikohteen ilmanvaihdon toteutustapa jätti tilaa ilmanvaihdon tehostamiselle, mikä osaltaan tuo kannattavuutta investointiin. Kun ilmanvaihdon tehostamiseen on varaa, se voidaan tarvittaessa toteuttaa ilman lisäkustannuksia. Ilmanvaihdon riittävyttä olisi saatu havainnollistettua paremmin, mikäli esimerkkikohteessa olisi toteutettu mittauksia. Tähän ei kuitenkaan ollut mahdollisuutta, joten riittävyden toteaminen jäi teoreettiselle pohjalle. Mikäli mittauksia olisi tehty, olisi nähty, pysyvätkö epäpuhtaudet sallituissa arvoissa.

Materiaalien osalta talliympäristö ei tuo paljon haasteita, sillä käytettäviksi sopivat samat materiaalit kuin asuinrakentamisessa. Asennusten osalta on tiettyjä asioita, jotka tulee ottaa huomioon, kuten monesti mainittu korvausilmaventtiilien sijainti. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ja koneellisessa ilmanvaihdossa korvausilmaventtiilien sijaintia on syytä miettiä tarkkaan, sillä ilman tiheyserot vaikuttavat voimakkaasti sen käyttäytymiseen, kun painetta ei luoda koneellisesti. Hevostallissa asiaa hankaloittaa myös se, että korvausilmaventtiilejä sijoittaessa pitää ottaa huomioon muitakin tekijöitä kuin ilman ihanteellinen virtaus. Esimerkiksi karsinoissa korvausilmaventtiilejä ei voi sijoittaa niiden alaosaan, sillä silloin kuivike voi tukkia ne riippumatta siitä, mitä kuiviketta karsinassa käytetään. Karsinoiden yläreunaan sijoitettaessa taas on olemassa se mahdollisuus, että olosuhteiden muuttuessa syntyy tilanteita, joissa korvausilma vajoaa suoraan hevosen jalkoihin, eikä näin ollen ehdi lämmitä tarpeeksi. Lämpimällä ilmalla taas on syytä huomioida korvausilmaventtiilien sijainti suhteessa poistoilmaventtiileihin, jotta korvausilma ei virtaa suoraan poistoon, jolloin epäpuhtauksien poistuminen heikentyy. Mikäli korvausilmaa tuotaisiin ainostaan tallin käytävälle ja poistoventtiilit sijaitsisivat karsinoiden kauimmaisella seinällä, korvausilma ehtisi varmimmin lämmitä ennen kontaktia hevoseen. On kuitenkin vaarana, että tällaisella ratkaisulla ei saada ilmaa kiertämään tarpeeksi, sillä karsinoiden seinien ja ovien tulee turvallisuussyistä olla alaosasta umpinaisia, joten niihin ei voida sijoittaa säleikköjä, joiden läpi ilma pääsisi siirtymään karsinoihin. Voidaan siis todeta, että tässä opinnäytetyössä esitettyjen

asioiden perusteella ei ole mahdollista määrittää ihanteellista paikkaa korvausilmaventtiileille, vaan asiaa on tutkittava enemmän tulevissa hankkeissa.

Muiden asennuksien osalta ei ole yhtä suuria haasteita, sillä hevostallin tilat eivät ole käyttötarkoitukseltaan ja sisustukseltaan niin moninaisia kuin asuinrakennukset. Näin ollen esimerkiksi kanavan siirtäminen rakennuksen laidasta toiseen ei aiheuta samanlaisia muutostöitä kuin se voisi asunnossa aiheuttaa. Hevostallien seinärakenteetkaan eivät useinkaan vastaa asuinrakennusten seinärakenteita, joten esimerkiksi uusien venttiilien asentaminen on suhteellisen yksinkertaista.

Olemassa olevan tallin ilmanvaihdon riittävydestä voi varmistua mittaamalla epäpuhtauksien määrää talli-ilmassa. Arvoja, joita kannattaa tarkkailla, ovat hiilidioksidipitoisuus, kosteus ja ammoniakkipitoisuus. Mittaukset voi tehdä esimerkiksi aamulla, kun hevoset ovat olleet yön sisällä. Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetussa tallissa kannattaa varmistaa, että korvausilmaa tulee riittävästi eikä korvausilmaventtiilejä ole tukittu tarpeettomasti. Ilmanvaihdon riittämättömyys voidaan toisinaan havaita aistinvaraisesti, jolloin ongelmaan on syytä tarttua välittömästi. Painovoimaista ilmanvaihtoa on mutkattomin lähteä tehostamaan joko lisäämällä mekaanisia avustimia, kuten piipunhattuja, tai lisäämällä koneellinen poistoilmanvaihto.

Lähteet

- 1 Huuskonen, Viivi. Herpesvirustartunta on luultua yleisempi, mutta kaikki tartunnan saaneet eivät sairastu. Hevosten omistaja 6/2015, s. 12-15.
- 2 Hirnu Oy. 2018. Verkkoaineisto. Hirnu Oy. <<https://www.hirnu.fi/>>. Luettu 25.8.2018.
- 3 Ilmanvaihdon perusteet. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>>. Luettu 28.9.2018.
- 4 Haahtela, Tari; Nordman Henrik; Talikka, Mirja. 1993. Sisäilma ja terveys. Helsinki: Allergialiitto.
- 5 Ilmanvaihtojärjestelmät vertailussa. Verkkoaineisto. Eco Ideal. <<https://ecoideal.fi/ilmanvaihtojarjestelmat-vertailussa/>>. Luettu 29.9.2018.
- 6 Ilmanvaihtojärjestelmät. Verkkoaineisto. Hengitysliitto. <<https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat>>. Luettu 29.9.2018.
- 7 Safa. Luonnonmukainen ilmanvaihto. Verkkoaineisto. Arkkitehtitoimisto Bruno Erat Oy Ab. <https://www.luomura.com/@Bin/213022/Erat_Luonnonmukainen+ilmanvaihto_+ +kotisivuversiono+ 11+958.pdf>. Luettu 1.10.2018.
- 8 Huusko, Maria. Painovoimainen ilmanvaihto sai uuden suunnitteluohjeen – sen pitää toimia ilman ikkunoiden avaamista. Rakennuslehti 8.5.2018. <<https://www.rakennuslehti.fi/2018/05/painovoimainen-ilmanvaihto-sai-uuden-suunnitteluohjeen-sen-pitaa-toimia-ilman-ikkunoiden-avaamista/>>. Luettu 2.10.2018.
- 9 Ketola, Jari. 2014. Painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö ja huolto. Tampere: Pirkanmaan rakennuskulttuuriyhdistys ry.
- 10 Luonnollinen ilmanvaihto. Verkkoaineisto. Luonnonmukaisen rakentamisen keskus, LUOMURA ry. <https://www.luomura.com/teemasivuja/new_page-150125/>. Luettu 2.10.2018.
- 11 Ilmanvaihto, erilaiset järjestelmät ja niiden ylläpito. Verkkoaineisto. Tasapainotalo. <<http://tasapainotalo.fi/ilmanvaihto/>>. Luettu 2.10.2018.
- 12 Matilainen, Veijo. Asuinrakennusten ilmanvaihto. Verkkoaineisto. Optiplan Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050306.pdf>>. Luettu 10.10.2018.

- 13 Vallox 75/95 Käyttö ja huolto-opas. 2006. Verkkoaineisto. Vallox.
<http://www.taloon.info/pdf/KAHU75_95.pdf>. Luettu 10.10.2018.
- 14 Suuri suomalainen Tee itse -käsikirja, Eristys ja ilmanvaihto. 2007. Nørhaven: Bonnier Publications A/S.
- 15 Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista hevostalouksrakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista. 2015. Verkkoaineisto. Finlex.
<<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150588?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=588%2F2015>>. Luettu 12.10.2018.
- 16 Talli-ilman epäpuhtauksista. Verkkoaineisto. Suomen Hevostietokeskus ry.
<<http://www.hevostietokeskus.fi/index.php?id=749&kieli=3>>. Luettu 12.10.2018.
- 17 Talli-ilmanvaihdon tehtävät ja periaate. 2016. Verkkoaineisto. Suomen Hevostietokeskus ry.
<<http://www.hevostietokeskus.fi/index.php?id=1037&kieli=3>>. Luettu 12.10.2018.
- 18 Heimonen; Heikkinen; Kovanen; Laamanen; Ojanen; Piippo; Kivinen; Jauhiainen; Lehtinen; Alasuutari; Louhelainen; Mäittälä. 2009. Maatalouden kotieläinrakennusten toimiva ilmanvaihto. Espoo: VTT.
- 19 Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto C2.2. 2009. Verkkoaineisto. Maa- ja metsätalousministeriö.
<<https://mmm.fi/documents/1410837/1853806/L10-rmoC22-01.pdf/8f0e7d9d-8c62-4c72-a1ef-fa9dd78bf4d0/L10-rmoC22-01.pdf.pdf>>. Luettu 13.10.2018.
- 20 Hevonen –eläinsuojelulainsäädäntöä koottuna. 2017. Verkkoaineisto. Evira.
<<https://www.evira.fi/globalassets/tietoa- evirasta/julkaisut/esitteet/elaimet/hevonen-elainsuojelulainsaadantaa-koottuna.pdf>>. Luettu 13.10.2018.
- 21 Horse Stable Ventilation. 2016. Verkkoaineisto. PennState Extension.
<<https://extension.psu.edu/horse-stable-ventilation>>. Luettu 29.9.2018.
- 22 A Guide To Ventilation For Your Horse Stable. 2018. Verkkoaineisto. Hydor.
<<https://www.hydor.co.uk/agriculture/news-events/blog/143-a-guide-to-ventilation-for-your-horse-stable>>. Luettu 29.9.2018.
- 23 How to Achieve Effective Stable Ventilation. Verkkoaineisto. Prime Stables LTD.
<<https://www.primestables.co.uk/equestrian-buildings/how-to-achieve-effective-stable-ventilation/>>. Luettu 30.9.2018.
- 24 Säsuureiden keskimääräiset arvot kuukausittain vyöhykkeillä I+II (Vantaa). Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos.
<https://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=ea179863-8219-4945-b62b-8ce0bea041da&groupId=30106>. Luettu 13.10.2018.

- 25 Hevosen hengityselimistö. Verkkoaineisto. Suomen Hevostietokeskus ry. <<http://www.hevostietokeskus.fi/index.php?id=685&kieli=3>>. Luettu 18.10.2018.
- 26 Hajujen aiheuttajat talliympäristössä. Verkkoaineisto. Algol Chemicals. <<https://www.algolneutra.com/fi/artikkelit/artikkeli/hajujen-aiheuttajat-talliymparistossa/>>. Luettu 25.10.2018
- 27 Reilin, Johanna. 13.5.2013. Virtsakiteet ja -kivet. Verkkoaineisto. Eläin ystäväs lääkäri. <<http://elainystavasilaakari.fi/2015/05/virtsakiteet-ja-kivet/>>. Luettu 25.10.2018.
- 28 E120P/125/700 huippuimuri. Verkkoaineisto. Vilpe. <<http://www.vilpe.com/fi/tuotteet/huippuimurit/p-sarjan-huippuimurit/e120p-125-er-700-huippuimuri.html>>. Luettu 13.10.2018.
- 29 KSO, KSOS ja KSOV Poistoilmaventtiilit. Verkkoaineisto. FläktWoods. <<http://m.flaktwoods.fi/44728edc-d034-4c5f-aedd-3fbc3698250e>>. Luettu 14.10.2018.
- 30 RK, RKT ja RKPK ilmanvaihtotenttiilit. Verkkoaineisto. FläktWoods. <<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=68687b58-4418-4172-8368-75d37e04aaa1>>. Luettu 14.10.2018.
- 31 Suomen säädöskokoelma 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7BAAD7DB92-F571-4766-A3F1-BFF63383191B%7D/133875>>. Luettu 13.10.2018.

Kosteudenpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta

Kosteudenpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta, saadaan yhtälöllä

$$q_v = \frac{F}{\rho(x_s - x_u)}$$

, jossa F on kosteudentuotto [kg/h]

ρ on ilman tiheys [kg/m³]

x_s on sisäilman kosteus [kg/m³]

x_u on ulkoilman kosteus [kg/m³]

Yhden hevosen kosteudentuotto on 0,22 kg/h, joten kahden hevosen kohdalla se on 0,44 kg/h. Ilman tiheys 20 °C:n lämpötilassa on 1,205 kg/m³. Sisäilman suhteellinen kosteus on 60 %, jolloin 20 °C:n lämpötilassa absoluuttinen kosteus on 0,01 kg/m³. Ulkoilman suhteellinen kosteus on 80 %, jolloin 15 °C lämpötilassa absoluuttinen kosteus on 0,01075 kg/m³.

Kun luvut sijoitetaan yhtälöön seuraavalla tavalla

$$q_v = \frac{0,44 \frac{kg}{h}}{1,205 \frac{kg}{m^3} * (0,01075 \frac{kg}{m^3} - 0,01 \frac{kg}{m^3})}$$

, saadaan tulokseksi q_v on 486,86 m³/h.

Hiilidioksidinpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta

Hiilidioksidinpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta saadaan yhtälöllä

$$q_v = \frac{K}{(c_{tavoite} - c_0)}$$

, jossa K on hiilidioksidintuotto [m^3/h]

$C_{tavoite}$ on tavoitepitoisuus [kg/m^3]

C_0 on ulkoilmanpitoisuus [kg/m^3]

Yhden hevosen hengityksen minuttitilavuus on $60 \text{ dm}^3/\text{min}$. Siitä saadaan tulokseksi $3600 \text{ dm}^3/\text{h}$ eli $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$. Hiilidioksidia uloshengityksestä on 4 %, joten kerrottaessa $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ 0,04:llä saadaan hiilidioksidin tuotoksi $0,144 \text{ m}^3/\text{h}$. Kahden hevosen kohdalla määrä on siis $0,288 \text{ m}^3/\text{h}$. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on 400 ppm eli $725 \text{ mg}/\text{kg}$ ja sisäilman tavoitepitoisuutena voidaan pitää 800 ppm eli $1\,450 \text{ mg}/\text{kg}$. Ilman tiheys 20 C° :n lämpötilassa on $1,205 \text{ kg}/\text{m}^3$, joten kertomalla $725 \text{ mg}/\text{kg}$ $1,205 \text{ kg}/\text{m}^3$:lla saadaan ulkoilman hiilidioksidipitoisuudeksi $873,63 \text{ mg}/\text{m}^3$. Samalla periaatteella, kun $1\,450 \text{ mg}/\text{kg}$ kerrotaan $1,205 \text{ kg}/\text{m}^3$:lla saadaan sisäilman hiilidioksidipitoisuudeksi $1\,747,25 \text{ mg}/\text{m}^3$. Kun molemmat luvut muunnetaan muotoon kg/m^3 , saadaan kaavaan sijoitettaviksi luvut $0,001747425 \text{ kg}/\text{m}^3$ ja $0,00087363 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Kun luvut sijoitetaan yhtälöön seuraavalla tavalla

$$q_v = \frac{0,144 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{(0,001747425 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0,00087363 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}$$

, saadaan tulokseksi q_v on $164,80 \text{ kg}/\text{h}$. Kerrottuna kahdeksi tulokseksi tulee $330 \text{ kg}/\text{h}$. Saatu tulos voidaan muuttaa muotoon m^3/h kertomalla mainitulla ilman tiheydellä, jolloin q_v on $198,58 \text{ m}^3/\text{h}$. Kahdella kerrottuna tulokseksi tulee $397,17 \text{ m}^3/\text{h}$.

Lämmönpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta

Lämmönpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta saadaan yhtälöllä

$$q_v = \frac{Q_s}{\rho \cdot c_p(t_s - t_u)}$$

, jossa Q_s on eläimen lämmönluovutus [W]

ρ on ilman tiheys [kg/m^3]

c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti [$\text{kJ}/\text{K}\cdot\text{kg}$]

t_s on ylin tavoitelämpötila [K]

t_u on ulkolämpötila mitoitusilanteessa [K]

Yhden kilpahevosen lämmöntuotto on 650 W, joten kahden hevosen lämmöntuotoksi saadaan 1300 W. Mitoitusilanteessa ulkolämpötila on 15 °C eli 288,15 K ja ylin tavoitelämpötila on 20 °C eli 293,15 K. Työhevosen lämmöntuotto on 960 W, joten kahden työhevosen lämmöntuotoksi saadaan 1920 W. Ilman tiheys 20 °C:n lämpötilassa on 1,205 kg/m^3 ja ominaislämpökapasiteetti 1 $\text{kJ}/\text{K}\cdot\text{kg}$.

Kun luvut sijoitetaan yhtälöön seuraavalla tavalla

$$q_v = \frac{650\text{W}}{1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1 \frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}} (293,15\text{K} - 288,15\text{K})}$$

, saadaan tulokseksi q_v on 107,88 m^3/h . Kerrottuna kahdella tulokseksi tulee 215,77 m^3/h .

Kun luvut sijoitetaan yhtälöön seuraavalla tavalla

$$q_v = \frac{960w}{1,205 \frac{kg}{m^3} \cdot 1 \frac{kJ}{K \cdot kg} (293,15K - 288,15K)}$$

, saadaan tulokseksi q_v on 159,34 m³/h. Kerrottuna kahdella tulokseksi tulee 318,67 m³/h.

Ammoniakinpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta

Ammoniakinpoiston mukaan laskettu mitoitusilmavirta saadaan yhtälöllä

$$q_v = \frac{K}{(c_{\text{tavoite}} - c_0)}$$

, jossa K on ammoniakintuotto [m^3/h]

c_{tavoite} on tavoitepitoisuus [kg/m^3]

c_0 on ulkoilmanpitoisuus [kg/m^3]

Hevonen tuottaa ulostetta keskimäärin 40 litraa vuorokaudessa eli 1,67 dm^3/h , josta 2,5% on urea-ainetta ja sisältää ammoniakkia. Laskutoimituksella 1,67 dm^3/h kertaa 0,025 saadaan ammoniakintuotoksi 0,04175 dm^3/h , joka muutettuna muotoon m^3/h on 0,00004175 m^3/h . Ammoniakin tavoitepitoisuus on alle 5 ppm eli 9,06 mg/kg . Kun se muutetaan muotoon mg/m^3 kertomalla 9 mg/kg ilman tiheydellä, joka 20 °C:n lämpötilassa on 1,205 kg/m^3 , saadaan tavoitepitoisuudeksi 10,92 mg/m^3 eli 0,0001092 kg/m^3 . Ulkoilmassa ei ammoniakkia ole, joten pitoisuus on käytännössä 0 kg/m^3 .

Kun luvut sijoitetaan yhtälöön seuraavalla tavalla

$$q_v = \frac{0,00004175 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{(0,00001092 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}$$

, saadaan tulokseksi q_v on 3,8 kg/h . Kerrottuna kahdella tulokseksi tulee 7,6 kg/h . Saatu tulos voidaan muuttaa muotoon m^3/h kertomalla mainitulla ilman tiheydellä, jolloin q_v on 4,6 m^3/h . Kahdella kerrottuna tulokseksi tulee 9,2 m^3/h .

Edellä esitetty mitoitusilmavirta kuvaa tilannetta, jossa ammoniakinpitoisuus on 5 ppm, joka on sen sallittu maksimipitoisuus. Jos pyrittäisiin pitoisuuteen 1 ppm eli 1,81 mg/kg ,

laskutoimitus antaisi tulokseksi q_v on 19,15 kg/h, joka on 23,08 m³/h. Kahdella kerrottuna tulokseksi tulee 46,15 m³/h. Alla on esitetty, miten tämän laskeminen on tapahtunut.

Ensin 1,81 mg/kg muutetaan muotoon m³/h kertomalla se ilman tiheydellä lämpötilassa 20 °C eli 1,205 kg/m³:lla, jolloin saadaan tavoitepitoisuudeksi 2,18 mg/m³ eli 0,00000218 kg/m³.

Sen jälkeen saatu tavoitepitoisuus sijoitetaan yhtälöön aikaisemman tavoitepitoisuuden tilalle, kuten alla

$$q_v = \frac{0,00004175 \frac{m^3}{h}}{(0,00000218 \frac{kg}{m^3} - 0 \frac{kg}{m^3})}$$

Näin tulokseksi saadaan edellä mainittu q_v on 19,15 kg/h, joka kerrotaan mainitulla ilman tiheydellä, jotta tulokseksi saadaan 23,08 m³/h.