

Eero Rauvola

TEOLLISUUSKOHTTEEN ILMANVAIHDON SUUNNITTELU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
2020

TEOLLISUUSKOHTEEN ILMANVAIHDON SUUNNITTELU

Rauvola, Eero
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
Kesäkuu 2020
Sivumäärä: 36
Liitteitä: 3

Asiasanat: Ilmanvaihto, lämmöntalteenotto, suodatus

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella ilmanvaihto Poriin rakennettavan hitsaushalliin. Opinnäytetyössä toimittiin IV-alan asiantuntijan apuna ja keskusteltiin tilaajan kanssa mahdollisista vaihtoehdoista tarpeen täyttävään ilmanvaihtoon.

Työn kohteena oli Porissa sijaitseva IS Kiinteistöt Oy:n teollisuushallin laajennus. Laajennus rakennetaan vastamaan tilaajan lisääntyntä tilantarvetta hitsaustöitä varten.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella teollisuushalliin tarpeenmukainen ilmanvaihto. Työ suoritettiin vaiheittain. Ensin tutustuttiin tilaajan olemassa olevien hallien ilmanvaihtoteknisiin ratkaisuihin. Tehtyjen havaintojen pohjalta laadittiin perusteet uuden hallin ilmanvaihdon haluttuihin ominaisuuksiin. Havaintojen ja asetettujen teknisten tavoitteiden pohjalta suunniteltiin uuden teollisuushallin ilmanvaihto täyttämään asiakkaan tarpeet.

Työn lopputuloksena saatiin tilaajalle tarpeenmukainen ja energiatehokas ilmanvaihto teollisuuskohteeseen.

INDUSTRIAL BUILDINGS VENTILATION PLANNING

Rauvola, Eero

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction and Civil Engineering

June 2020

Number of pages: 36

Appendices: 3

Keywords: Ventilation, heat-recovery, filtration

The purpose of this thesis was to plan a ventilation system to an industrial building. During the thesis I worked as an assistant of HVAC-specialist. Possible implementation solutions were discussed with the client in order to fulfil the requirements for ventilation.

The subject of the work was the expansion of IS Kiinteistöt Oy industrial hall located in Pori. Expansion was built in-order to help with the increased need of working space for welding works.

The aim of this thesis was to plan the necessary ventilation for industrial hall. The work was carried out in stages. First, the ventilation technical solutions of the client's existing buildings were introduced. Based on the observations made, the basis for the desired properties of the ventilation for the new industrial building were decided. Based on the findings and pre-set criteria, the ventilation of the new industrial building was designed to meet the client's needs.

The result of this thesis was an energy-efficient industrial ventilation that met the client's needs.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEOLLISUUSKOHTEEN ILMANVAIHDON TAVOITTEET	7
2.1	Ilmanvaihdon kuormitustekijät	7
2.1.1	Epäpuhtaudet	7
2.1.2	Lämpöolot	7
2.2	Yleisilmanvaihto	7
2.3	Prosessikohtainen ilmanvaihto.....	9
2.3.1	Hitsausprosessit	9
2.3.2	Työstö- ja koneistusprosessit.....	9
3	TEOLLISUUSKOHTEEN ILMANJAON TOTEUTUSTAVAT	10
3.1	Tulo- ja poistoilman jakotapojen valinta	10
3.2	Ilmanjaon toteutustavat.....	10
3.2.1	Sekoitusperiaate.....	10
3.2.2	Kerrostumaperiaate.....	11
3.2.3	Mäntäperiaate	12
3.2.4	Vyöhykeperiaate.....	12
4	NYKYISEN TEOLLISUUSHALLIN JÄRJESTELMÄN TARKASTELU	13
4.1	Kohteen esittely	13
4.2	Tuloilmajärjestelmä	13
4.3	Poistoilmajärjestelmä.....	15
4.4	Kierto- ja kohdepoistojärjestelmät.....	16
4.5	Lämmöntalteenotto	18
4.6	Tulo- ja poistoilman suodatus.....	18
4.6.1	Perusilmanvaihdon ilmanvaihtokoneen suodatusjärjestelmä.....	18
4.6.2	Poistoilman sähköinen lisäsuodatin.....	19
5	SUUNNITTELUN LÄHTÖTILANNE	21
5.1	Kohteen tiedot.....	21
5.2	Suunnittelu käyttötarpeiden perusteella.....	22
5.3	Hitsaustyön asettamat vaatimukset ilmanvaihdolle.....	22
5.4	Mahdolliset ilmanvaihtolaitteiston toteutustavat	23
5.4.1	Nestekiertoinen poistoilman lämmöntalteenotto	23
5.4.2	Tulo- ja poistoilmanvaihto levylämmönsiirtimellä	24
5.4.3	Tulo- ja poistoilmanvaihto roottorilämmönsiirtimellä.....	25
6	UUSI JÄRJESTELMÄ.....	27

6.1	Tulo- ja poistoilmakoneet	27
6.1.1	Ilmanvaihdon suodatus	28
6.1.2	Kennopesujärjestelmä.....	29
6.1.3	Lämmitys ja jäähdytys.....	31
6.2	Kanavisto	31
6.3	Päätelaitteet ja ilmanjako	32
6.4	Oviverhopuhallus	35
6.5	Kannakkeet ja tukirakenteet.....	37
6.6	Ilmanvaihdon toimintaselostus	38
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	39
	LÄHTEET	40
	LIITTEET	
	1. TM7655-E IS Works Oy hitsaushalli tekniset tiedot	
	2. Ilmanvaihtolaitteet 1.krs taukotilat	
	3. Ilmanvaihtolaitteet 2.krs	

1 JOHDANTO

Ilmanvaihdon energiatehokas toteutus teollisuuskohteisiin on haastavaa. Epäpuhtaudet, jotka vapautuvat tuotantotilassa tehtävästä työstä ovat usein huomattavan suuria. Toimiva ilmanvaihto vaatii usein huomattavasti normaalitilanteesta suurempia ilmamääriä. Työskentelyn takaamiseksi riittävä ja tarpeenmukainen ilmanvaihto on välttämätöntä.

Epäpuhtauksien lisäksi tuotantoprosessit vapauttavat usein myös huomattavan määrän lämpöä. Lämmöntalteenotto onnistuneella ilmanvaihtojärjestelmällä mahdollistaa huomattavat kustannussäästöt rakennuksen vuotuisissa ylläpitokustannuksissa.

Ennalta tarkkaan määritetyn käyttötarpeen ja kokemusten perusteella pyritään rakentamaan toimiva ja energiatehokas ratkaisu nykypäiväisellä ja kustannustehokkaalla toteutuksella. Tämän mahdollistaen tuotannon toimivuuden haastavissa olosuhteissa.

2 TEOLLISUUSKOHTTEEN ILMANVAIHDON TAVOITTEET

2.1 Ilmanvaihdon kuormitustekijät

Useat eri lähteet kuormittavat teollisuuskohteen ilmanvaihtoa, tuntemalla kuormitustekijöiden aiheuttamat vaatimukset ilmanvaihdolle pystytään ilmanvaihto suunnittelemaan niin että saadaan minimoitua kuormitustekijöiden aiheuttamat riskit.

2.1.1 Epäpuhtaudet

Teollisuustilojen epäpuhtaudet ja niiden lähteet ovat normaaliolosuhteista poikkeavia. Useat eri kemikaalit ja hiukkasmaiset päästöt ovat yleisiä teollisuuskohteissa. Kemikaalit ja hiukkaspäästöt ovat usein terveydelle haitallisia. Hyvä tietoisuus vapautuvista epäpuhtauksista auttaa ilmanvaihdon suunnittelussa. (Sandberg 2014, 539)

2.1.2 Lämpöolot

Kun ympärillä olevan ilman lämpötila, kosteus tai virtaus poikkeaa normaaliolosuhteista työntekijöiden viihtyvyys, laskee ja fyysinen kuormitus kasvaa. (Sandberg 2014, 541). Lämpöoloihin on mahdollista vaikuttaa oikeinmitoitettulla ilmastointijärjestelmällä.

2.2 Yleisilmanvaihto

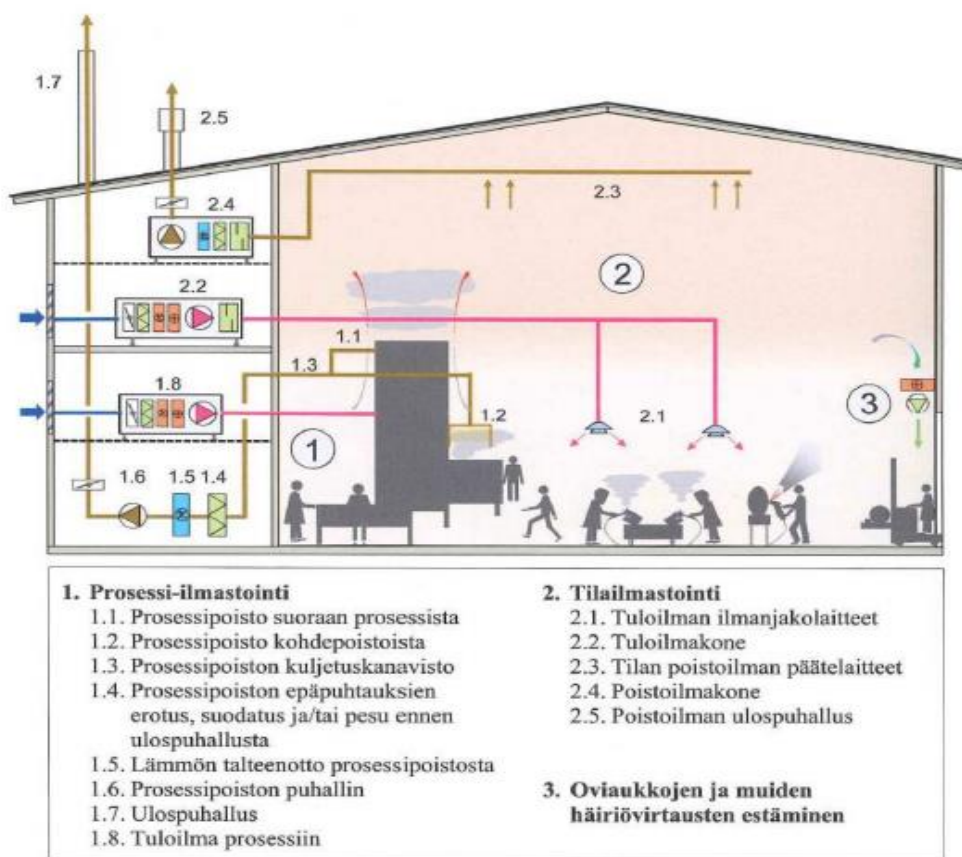
Yleisilmanvaihdolla tarkoitetaan järjestelmiä, jotka palvelevat koko tilaa. järjestelmiä voi olla useampi kuin yksi palvelemissa samaa tilaa. Järjestelmät jakautuvat hallittuihin ilmastointijärjestelmiin, joissa sisäilman tila on hallittua ja ilmanvaihtojärjestelmiin, jossa kaikki olosuhteet eivät ole hallinnassa. (Tähti 2002, 11)

Perusilmanvaihto voidaan teollisuuskohteessa toteuttaa monella eri tavalla. Valittu ilmanvaihdon toteutustapa vaikuttaa huomattavasti teollisuuskohteen ilmanvaihdon taloudellisuuteen ja tehokkuuteen. Energiatehokkuuden kannalta ilmanvaihto, joka

mahdollistaa lämmöntalteenoton poistoilmasta on kustannustehokas ratkaisu. Lämmöntalteenoton toteutus likaisesta poistoilmasta aiheuttaa teollisuuskohteessa haasteita.

Riittävä ilmanvaihto on edellytyksenä, jos halutaan varmistaa hyvä työskentely-ympäristö teollisuuskohteessa. Suurimmat haasteet teollisuuskohteen yleisilmanvaihdon toteutuksessa ovat epäpuhtauksien aiheuttamat kuormat järjestelmälle. (Sandberg 2014, 539)

Kuvassa 1 on esitetty teollisuuden ilmanvaihtojärjestelmät. Tässä työssä keskitytään yleisilmanvaihdon energiatehokkaan kokonaisratkaisun etsimiseen.



Kuva 1. Teollisuuden ilmastointilaitoksen osat ja järjestelmät (Sandberg 2014, 536)

2.3 Prosessikohtainen ilmanvaihto

Teollisuuskohteen ilmanvaihtoa suunniteltaessa on tärkeää huomioida mitä prosesseja tuotantotilassa on. Suurimpia teollisuustöiden aiheuttamia kuormia ilmanvaihdolle ovat epäpuhtaus- ja lämpökuormat. (Sandberg 2014, 540) Tuotantotilan käyttötarkoituksen kartoittaminen ennen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelutyön aloittamista on tärkeää, tämän avulla varmistetaan, että ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluperusteet ovat tarpeenmukaiset.

Monista prosesseista pitää ilma poistaa niin että prosessi pidetään alipaineisena ympäristöön nähden. Prosessin epäpuhtaudet ja lämpö eivät täten pääse tunkeutumaan tuotantotilaan. (Sandberg 2014, 536)

2.3.1 Hitsausprosessit

Hitsausprosessit asettavat ilmanvaihdon toteutukselle vaatimuksia. Yleisilmanvaihdon kautta tuotantotilaan puhallettava tuloilma ei saa häiritä hitsausprosessia. Hitsausprosesseissa käytetään usein suojakaasuja. Väärin toteutetulla ilmanvaihdolla puhallusnopeudet kohteessa nousevat liian suuriksi ja häiritsevät prosessia. Hitsausprosessin ilmanvaihdossa muuntojoustavuus nousee tärkeään asemaan. Työpisteen paikka määräytyy usein työstettävän kappaleen mukaan.

2.3.2 Työstö- ja koneistusprosessit

Työstö- ja koneistusprosessit eivät vapauta sisäilmaan epäpuhtauksia samoissa määrin mitä hitsausprosessit. Näiden prosessien lämpökuormat voivat kuitenkin nousta suuriksi, tämä pitää ottaa huomioon ilmavaihtoa suunniteltaessa.

3 TEOLLISUUSKOHTTEEN ILMANJAON TOTEUTUSTAVAT

3.1 Tulo- ja poistoilman jakotapojen valinta

Ilmanvaihdon toteutuksen lähtökohtana on ylläpitää halutut olosuhteet tilassa. Riittävän ilmanvaihdon lisäksi tähän pystytään vaikuttamaan ilmanjakotapojen valinnalla. Jakotapa valitaan kohdekohtaisesti palvelemaan kyseisen tilan käyttötarpeita.

Kohteen ilmanvaihdon jakotapaa valittaessa pitää ottaa huomioon seuraavia tekijöitä:

- Kohteen koko, pinta-ala ja tilavuus
- Työpisteiden sijainti
- Tuotantotilassa tehtävät prosessit
- Epäpuhtauksia tuottavien lähteiden sijainti
- Prosessilaitteiden sijoittelu
- Tilan muuntojoustavuus
- Ilmanvaihtokanaviston tilantarve
- Päätelaitteiden sijoitusmahdollisuudet
- Ilmanvaihtuvuuden kokonaistarve

(Tähti 2002, 18)

3.2 Ilmanjaon toteutustavat

Ilmanjaon toteutukseen on neljä perusperiaatetta. Lähtötietojen perusteella valitaan käyttöön parhaiten soveltuva ilmanjakotapa.

3.2.1 Sekoitusperiaate

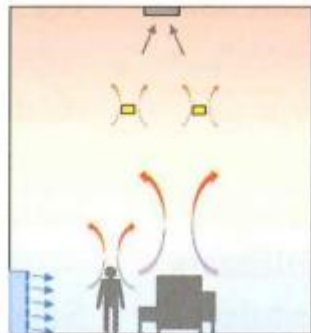
Suurella nopeudella puhaltavien tuloilmalaitteiden avulla sekoitetaan tilan sisäilmaa ja luodaan tasaiset olosuhteet koko tilaan (Kuva 2). Sekoitusperiaatteella halutaan luoda tasaiset olosuhteet koko tilaan. Sekoitusperiaatetta käytettäessä ilmastoidulle alueelle ei muodostu katvealueita. Epäpuhtauksien ja lämpötilojen poistotehokuudet ovat kuitenkin heikkoja. (Tähti 2002, 45)



Kuva 2. Sekoitusperiaate (Sandberg 2014, 256)

3.2.2 Kerrostumaperiaate

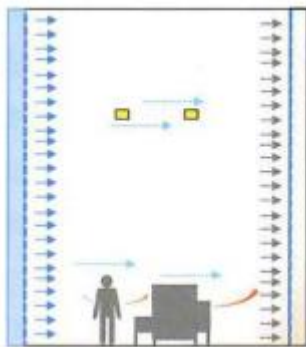
Kerrostumaperiaatteessa ilma tuodaan oleskeluvyöhykkeelle piennopeuslaitteilla. Prosessi- ja henkilökuormista muodostuvien epäpuhtauksien ja lämpökuormien annetaan vapaasti nousta pois vyöhykkeeltä (kuva 3). Kerrostumaperiaatteella voidaan savuttaa alhaiset epäpuhtaustasot ilmastoidun vyöhykkeen alueella. Tämä vaihtoehto on kuitenkin herkkä ulkoisille häiriötekijöille. (Tähti 2002, 42)



Kuva 3. Kerrostumaperiaate (Sandberg 2014, 256)

3.2.3 Mäntäperiaate

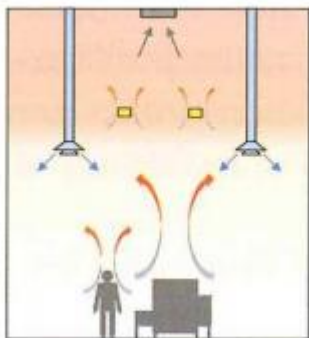
Mäntäperiaatteessa koko tilan läpi virtaa tasainen ilmavirta. Mäntäperiaate soveltuu hyvin kohteisiin, joissa esiintyy erityisiä puhtausvaatimuksia (kuva 4). Mäntäperiaatteella voidaan saavuttaa korkea lämpötila- ja epäpuhtauksien poistotehokkuus. Järjestelmä vaatii suuren tuloilmavirtamäärän, myös päätelaitteiden vaatima tilantarve on suuri.



Kuva 4. Mäntäperiaate (Sandberg 2014, 256)

3.2.4 Vyöhykeperiaate

Vyöhykeperiaatteessa tila jaetaan hallittuun- ja hallitsemattomaan vyöhykkeeseen (Kuva 5). Hallitun vyöhykkeen sisäilman tavoitetasot täyttävät asetetut kriteerit. Hallitsemattoman vyöhykkeen ilmanlaatua ei yritetä hallita. Hallitsematon vyöhyke sijaitsee usein isojen rakennuksien yläosassa, johon lämpimät prosesseista muodostuvat epäpuhtaudet pääsevät vapaasti kulkeutumaan (Tähti 2002, 44)



Kuva 5. Vyöhykeperiaate (Sandberg 2014, 256)

4 NYKYISEN TEOLLISUUSHALLIN JÄRJESTELMÄN TARKASTELU

4.1 Kohteen esittely

Työssä tarkasteltiin tilaajan jo käytössä olevaa tuotantohallia. Tuotantohalli on valmistunut vuonna 2013. Hallin alkuperäinen käyttötarkoitus oli suunniteltu ohutlevytöihin. Vuonna 2017 tuotantohallin käyttötarkoitus muutettiin konepajan hitsaustyöskentelyyn. Muutoksen myötä tehtiin työskentelytilan ilmanvaihtoon muutoksia, jotta se soveltuisi paremmin uuteen käyttötarkoitukseen. Kohteen ilmanvaihdon toimivuuden tarkastelua pystytään hyödyntämään uuden teollisuushallin ilmanvaihdon suunnittelussa.

4.2 Tuloilmajärjestelmä

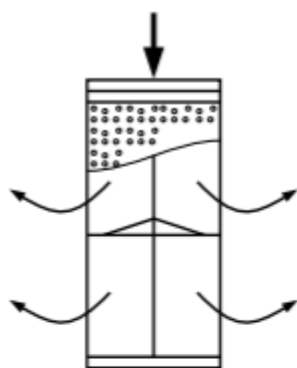
Kohteen tuloilmajärjestelmä on koneellinen. Tuloilma tuodaan tilaan rakennuksen seinustoilta. Ilmanjaon periaate kohteessa on kerrostumaperiaate. Kohteessa käytössä olevat tuloilman päätelaitteet (kuva 6) mahdollistavat hyvän muuntojoustavuuden.



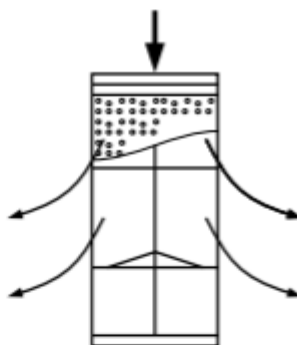
Kuva 6. WOZA päätelaite (Fläktgroup Oy www-sivu 2019)

Käytössä olevien päätelaitteiden avulla käyttäjä pystyy säätämään tuloilman puhallussuuntaa laitekohtaisesti. Puhallussuuntaa säädetään eri asentoihin seuraavien perusteiden mukaan (kuva 7):

- Isoterminen tuloilma
- Jäähdyttävä tuloilma
- Lämmittävä tuloilma

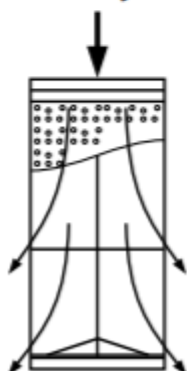


Säädettävä sisävaippa yläasennossa



Säädettävä sisävaippa keskiasennossa

Lämmitys



Kuva 7. WOZA päätelaitteen säätö (Fläktgroup Oy. www-sivu 2019)

Käytössä oleva WOZA päätelaitetyyppi mahdollistaa myös tarvittavan säädön, jos tuuloilman puhallus häiritsee kohteessa työskentelyä.

4.3 Poistoilmajärjestelmä

Kohteessa on koneellinen poistoilmajärjestelmä. Kohteen yleisilmanvaihdon poisto on toteutettu hallitilan katosta imukartioin. Poistettava ilma nousee kerrostumaperiaatteen mukaisesti rakennuksen yläosaan. Kesäaikana yllilämmönpoistoon on mahdollista käyttää hallitilan katossa sijaitsevia savunpoistohuippuimureita (Kuva 8).



Kuva 8. Koja SAFEK huippuimuri (Koja Oy. [www-sivu](http://www.koja.fi) 2019)

4.4 Kierto- ja kohdepoistojärjestelmät

Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän lisäksi kohteessa on sisäilmaa kierrättävä Teca Oy:n Nederman Air Purification Tower. Laitteiston avulla pyritään suodattamaan tuotantotilan ilmaa kierrättämällä sitä oman suodatuslaitteiston läpi (kuva 9). Sykloniyksikkö kierrättää työstöprosessien ilmaa suodatuskennojen läpi, joita puhdistetaan paineilman avulla. Laitteistolla pystytään avustamaan työskentelytilan perusilmanvaihtoa.



Kuva 9. Nederman kierrätysilman sykloniyksikkö (Rauvola, 2019)

4.5 Lämmöntalteenotto

Kohteen poistoilmasta otetaan lämpöenergiaa talteen roottorilämmönsiirtimellä. Kohteen ilmanvaihtokoneen kiertoilmapellistö mahdollistaa kiertoilman käytön. Kiertoilmaa ei kuitenkaan pidä käyttää silloin kun kohteessa tehtävät työt kuormittavat sisäilman puhtautta.

4.6 Tulo- ja poistoilman suodatus

Perusilmanvaihdon tulo- ja poistoilman suodatus teollisuuskohteissa on haasteellista. Prosesseista vapautuvat epäpuhtaudet kuormittavat poistoilman suodattimia mikä johtaa ilmanvaihdon suodatusjärjestelmän kasvaviin huoltokustannuksiin. Lämmöntalteenoton toimivuuden takaamiseksi ilman suodatus on välttämätöntä.

4.6.1 Perusilmanvaihdon ilmanvaihtokoneen suodatusjärjestelmä

Perusilmanvaihtoa palvelevan ilmanvaihtokoneen suodatusjärjestelmä on toteutettu synteettisillä pussisuodattimilla. Poistoilma suodatetaan G4 luokan synteettisillä suodattimilla ennen lämmöntalteenottoa. Raitisilma suodatetaan M6 luokan suodattimilla ennen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottoa.

Karkeasuodattimet, joihin kuuluu (G-luokka, G1- G4) ovat kuituvalmisteisia. Valmistusmateriaalit ovat kasvi-, lasi- ja polymeerikuituja. Karkeasuodattimien erotusaste on lähellä nollaa, kun hiukkaskoko on 1 µm tai pienempi. Kuitenkin melkein 100% kun hiukkaskoko on 5 µm tai suurempi. (Sandberg 2014, 212)

Perusuodattimiin kuuluu luokat M5 & M6. 2012 vuonna otettiin käyttöön uusi suodatinstandardi SFS-EN 779:2012 jonka myötä entinen F-luokitus jaettiin kahteen osaan ja käyttöön otettiin uusi M-luokka aiempien F-luokan suodattimien tilalle. M-luokan suodatinmateriaali käytetään pääosin vastaavia tai hieman kehittyneempiä materiaaleja mitä karkeasuodattimissa. M-luokan suodattimien erotusaste on selkeästi parempi mitä G-luokan, mutta ei lähelläkään F-luokan suodatustasoa. (Sandberg 2014, 213)

4.6.2 Poistoilman sähköinen lisäsuodatin

Tuotantohallin poistoilman lisäsuodatukseen ennen ilmanvaihtokoneen poistosuodattimia käytetään sähköistä Hymy ilmanpuhdistinta (kuva 10). Suodattimen käyttötarkoitus on suunniteltu vaatimaan teollisuuskäyttöön. Riittävä poistoilman suodatus mahdollistaa lämmöntalteenoton poistoilmasta roottorilämmönsiirtimellä.

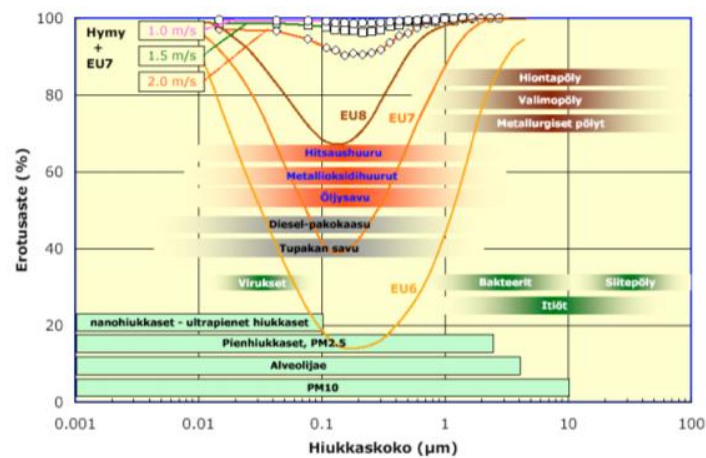
Suodattimen toiminta perustuu ilmanpuhdistimen suurjännitekennoon varausosassa, johon pöly-, käry-, kaasu-, sumu- ym. pienhiukkaset varataan sähköisesti, jolloin pienhiukkaset ilman mukana kulkiessaan kiinnittyvät sähköisen suodatinkennon keräyslevylle.

Yhdistetty suodatusaste ilmanvaihtokoneen pussisuodattimien kanssa on tehokas. Tämä mahdollistaa lämmöntalteenoton poistoilmasta ja pienentää suodatinvaihdoista johtuvia huoltokustannuksia merkittävästi (kuva 11).



Kuva 10. Hymy sähkösuodatinyksikkö kanavistossa (Rauvola, 2019)

Diagrammi Hymy ilmanpuhdistimen ja ilman virtaussuunnassa Hymyn jälkeen sijaitsevan EU7-pussisuodattimen yhteisvaikutus hiukasmaisten epäpuhtauksien erottelukyvystä. Lisäksi diagrammissa on esitetty EU6, EU7 ja EU8 suodattimien hiukasmaisten epäpuhtauksien erottelukyky.



Kuva 11 Hymy ilmanpuhdistimien suodatusdiagrammi (PSL Oy, www-sivu 2019)

5 SUUNNITTELUN LÄHTÖTILANNE

5.1 Kohteen tiedot

Kohde on Poriin rakennettava teollisuuskiinteistö. Kiinteistön pääasiallinen käyttötarkoitus on metallien hitsaustyöt. Hitsaustyöpisteet sijoitetaan hallin molempiin sivuihin kuitenkin niin että työkohtainen muuntojoustavuus on säilytettävissä. Teollisuushalliin tulee myös työntekijävuorolle suunnatut taukotilat.

Hallin tuotantotilan pohja pinta-ala on 1871 m². Hallin sosiaalityötilojen pohja pinta-ala on 86 m². Tuotantotilan harjakorkeus on 15,21 m. Sosiaalityötilojen ala-kattokorkeus on 2,51m. Molempien tilojen lämmitys toteutetaan ilmanvaihdolla, mahdollisten huippu-tilanteiden vuoksi asennetaan halliin myös lisälämmittimiä. Kohteessa ei ole erillistä jäähdystystä, sisäilman lämpötila on jäähdystyskaudella riippuvainen ulkoilman lämpötilasta.

5.2 Suunnittelu käyttötarpeiden perusteella

Tarkastelemalla vuonna 2013 käyttöönotetun tuotantohallin ilmanvaihtoa pystyimme luomaan tarkat suunnittelukriteerit uutta teollisuushallia varten. Pääkriteereinä suunnittelutyössä olivat:

- Muuntojoustavuus
- Taloudellisuus
- Huoltotoimenpiteiden minimointi
- Käyttäjästävällisyys

5.3 Hitsaustyön asettamat vaatimukset ilmanvaihdolle

Hitsaustyössä ilman muodostuu epäpuhtauksia hitsaussavun ja huurun muodossa. Huurut koostuvat pienistä mikroskooppisista hiukkaspohjaisista aineista eli partikkeleista. Huuru on yleisesti haitallisempaa mitä savu, ja on myös määrällisesti suurempaa. Syntyvien päästöjen määrä on riippuvainen työstettävän aineen jaloudesta. Mitä jalompaa ainetta työstetään, sitä enemmän vaarallisia epäpuhtauksia ilmaan vapautuu. Huurun koostumus ja muodostuminen vaihtelee hitsausparametrien ja menetelmien muuttuessa. Hitsaushalleista poistettava ilma sisältää tapauskohtaisesti noin 1...5 mg/m³ huuruja. Jos hitsaushallin poistoilmaa käytetään lämmöntalteenotossa, on huolehdittava tarkkaan suodatauksesta ja lämmönsiirtimen puhdistuksesta. (Sandberg 2014, 574)

Hitsaustyössä muodostuvat huurut ovat kevyempää kuin ympäröivä ilma ja siitä joutuessaan nousevat ylöspäin. Kerrostavalla ilmanvaihdolla on mahdollista toteuttaa hitsaushalliin toimiva ilmanvaihto. Pitää kuitenkin huomioida, että työskentelyalueella käytetään tarvittaessa henkilökohtaisia lisävarusteita. Lisävarusteisiin kuuluu hengityssuojaimet ja paikallispoistot. (Sandberg 2014, 574)

Riittävän ilmanvaihdon takaaminen työpisteeseen aiheuttaa myös haasteita hitsausprosessille. Liiallinen tuloilman lämpötilaero tai puhallusnopeus voi heikentää

hitsausprosessin lopputulosta. Muuntojoustavuus ja käyttäjän mahdollisuus vaikuttaa ilman puhallusuuntaan on merkittävä tekijä suunnittelussa.

5.4 Mahdolliset ilmanvaihtolaitteiston toteutustavat

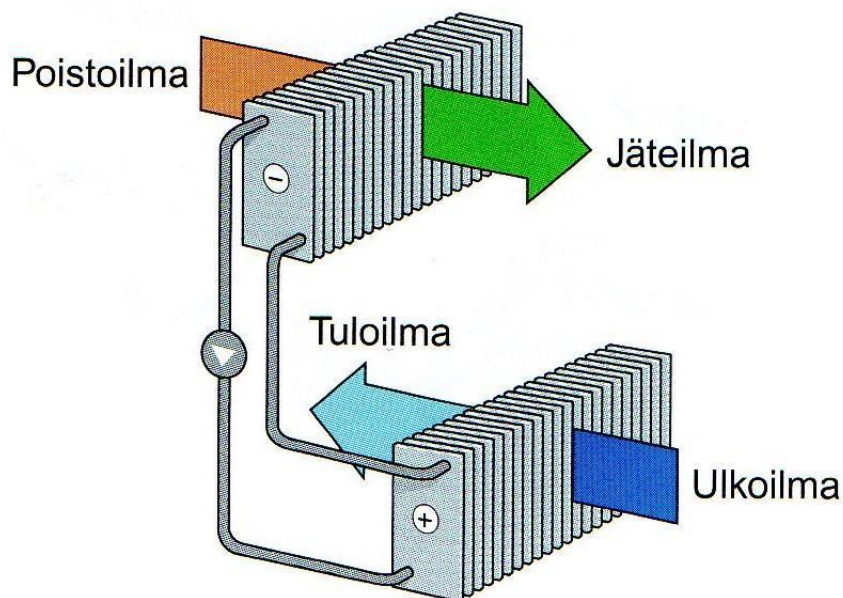
Työssä tarkasteltiin mahdollisia perusilmanvaihdon toteutustapoja. Tärkeimpinä valintakriteereinä olivat taloudellisuus, käytettävyys ja laadukkuus. Tarkoituksena oli löytää toimivin järjestelmä vaativiin olosuhteisiin mikä mahdollistaisi lämmöntalteenoton likaisesta prosessi-ilmasta tuoden säästöä teollisuuskiinteistön ylläpitokustannuksiin.

5.4.1 Nestekiertoinen poistoilman lämmöntalteenotto

Nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa poistoilmasta talteen otettava lämpö siirretään väliaineen avulla tuloilmaan. Molempiin tulo- ja poistoilmavirtoihin sijoitettujen lämmöntalteenottopattereiden välillä kiertää veden ja jäätyminenestoaineen seos, joka siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan.

Nestekiertoisella lämmöntalteenottojärjestelmällä on ominaisuuksia, joka erottaa sen muista vaihtoehtoisista lämmöntalteenottojärjestelmistä. Tulo- ja poistoilma eivät pääse sekoittumaan koska kanavistot ovat toisistaan eroteltuina. Kanavien eroteltavuus helpottaa lämmöntalteenoton jälkiasennusta ilmanvaihdon saneerauskohteisiin. Mittavia purku- ja muutostöitä ei tarvita.

Nestekiertoisen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on tarkastelluista lämmöntalteenoton vaihtoehtoista heikoin. Lämmöntalteenottopatterin sijoituksen kannalta ilman suodatus on välttämätöntä tehokkuuden ylläpitämiseksi mikä näkyy kasvavissa investointi- ja huoltokustannuksissa.



Kuva 13. Nestekiertoinen lämmöntalteenotto (Sandberg 2014, 184)

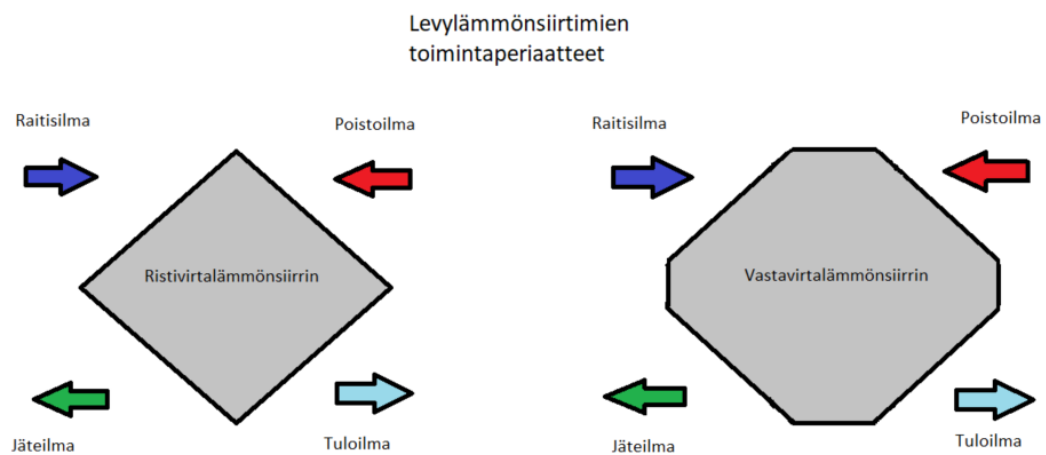
5.4.2 Tulo- ja poistoilmanvaihto levylämmönsiirtimellä

Levylämmönsiirrin on määrällisesti suurin ilmanvaihdon lämmöntalteenotto Suomessa. Levylämmönsiirrin on yleisin pientalojen ilmanvaihtokoneiden yhteydessä. Suositun levylämmönsiirtimestä tekee sen kustannustehokkuus, rakenne ja hygieenisuus. Levylämmönsiirtimissä on kohtuullisen hyvä lämmöntalteenoton lämpötilasuhte (Sandberg 2014, 181). Levylämmönsiirtimet jakautuvat kahteen pääkategoriaan, ristivirta- ja vastavirtalämmönsiirtimiin.

Ristivirtalämmönsiirtimissä ilma kulkee levyjen välissä ristikkäin. Joka toisessa kanavassa kylmä ulkoilma, joka toisessa lämmin poistoilma. Lämpö siirtyy levyjen läpi toiseen ilmavirtaan. Ohuesta materiaalista valmistetut levyt omaavat hyvät lämmönjohtolliset ominaisuudet, taaten tehokkaan lämmönsiirtymisen. Yleisin levylämmönsiirtimien valmistusmateriaali on alumiini, paksuus on tyypillisesti 0,1...0,2mm. Levyjen väliset etäisyydet vaihtelevat lämmönsiirtimen ilmavirran ja koon mukaan (Sandberg 2014, 181).

Vastavirtalämmönsiirtimen geometriaa on muutettu niin että ilmavirrat kulkevat enemmän toisiaan vastakkaisiin suuntiin. Tämä parantaa lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhdetta huomattavasti. Kasvavan lämpötilasuhteen vuoksi vastavirtasiirrin huurtuu huomattavasti helpommin ääritilanteissa. Huurteenpoisto laskee lämmönsiirtimen vuotuista lämpötilahyötysuhdetta (Kuva 14).

Levylämmönsiirtimen käyttö järjestelmässä edellyttää huolellisen poistoilman suodatuksen mahdollisella sähköisellä lisäsuodatuslaitteistolla. Tämä nostaisi huomattavasti järjestelmän hankintakustannuksia. Tai vaihtoehtoisesti normaalilla suodatusmallilla toteutettuna lisäisi suodattimien vaihtoväliä huomattavasti.



Kuva 14. Lämmönsiirtimien toimintaperiaatteet (Rauvola, 2019)

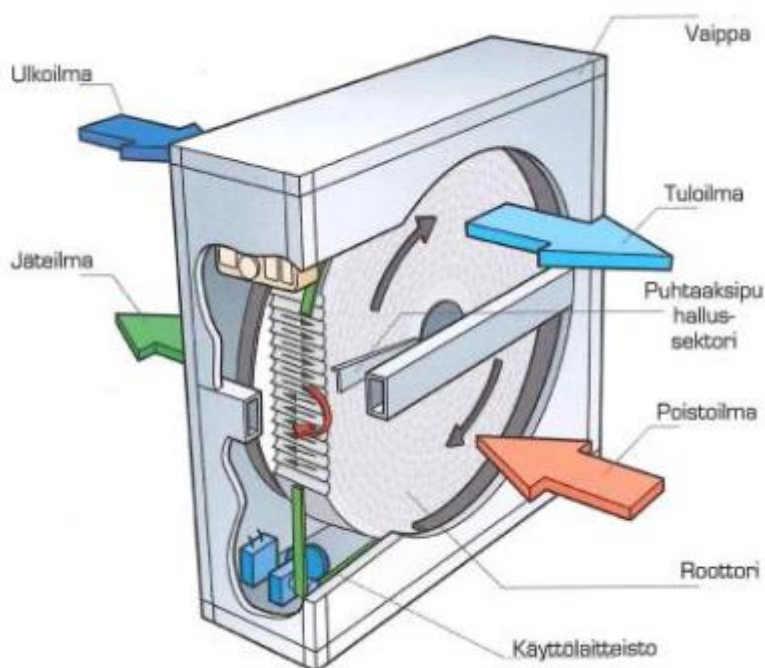
5.4.3 Tulo- ja poistoilmanvaihto roottorilämmönsiirtimellä

Pyörivä lämmönsiirrin on valmistettu kiekkomallisesta roottorista ja sen käyttölaitteistosta. Roottorikotelo on jaettu kahteen lohkoon, joista toisessa lohkossa kulkee poistoilma ja toisessa tuloilma. Pyöriessään roottori siirtää talteen otettavan lämmön poistoilmasta tuloilmaan. Roottorin valmistusmateriaali on usein ohut keraaminen- tai alumiinilevy. Roottori on täynnä pieniä kolmionmuotoisia kennorakenteita, joiden läpi ilma pääsee virtaamaan (Kuva 15). Roottorin toiminta perustuu puhtaaseen vastavirtausperiaatteeseen ilman väliainetta, tästä johtuen roottorilämmöntalteenotolla on erittäin korkea lämpötilahyötysuhde. Virtaussuunnan vaihtelusta johtumisen vuoksi

roottori pysyy hyvin puhtaana, otsapinnalle muodostuva epäpuhtaus puhaltuu seuraavan puolen kierroksen aikana pois (Sandberg 2014, 178).

Pyörivän suurimpiin etuihin kuuluu sen vaatima pieni tilantarve, kennon koon usein ollessa n. 200mm ja koko lämmönsiirtimen konelohkon vaatima tilantarve 400mm. Verrattaessa levylämmönsiirtimiin ilmanvaihtokoneen pituutta on mahdollista pienentää huomattavasti.

Pyörivää lämmönsiirintä käytettäessä haastavat ilman epäpuhtaudet nostavat vaatimustasoa ilman suodatukselle, lämmönsiirtimen hyötysuhde laskee nopeasti, jos se pääsee likaantumaan. Kun taas liian kovaa suodatusastetta käytettäessä suodattimet tukkeavat nopeasti.



Kuva 15. Roottorilämmönsiirrin (Fläktgroup Oy. www-sivu 2019)

6 UUSI JÄRJESTELMÄ

6.1 Tulo- ja poistoilmakoneet

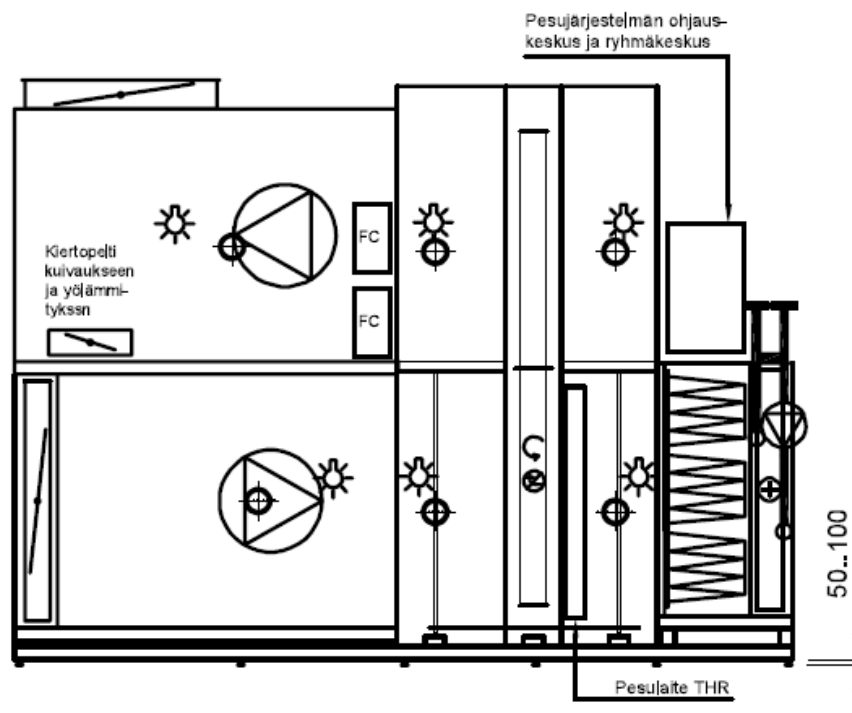
Vanhan hallin käyttökokemusten perusteella valittiin uuteen tuotantotilaan ilmanvaihtokoneeksi koteloitu pyörivällä lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtokone. Kyseinen ilmanvaihtokonetyyppi täyttäisi parhaiten tilaajan asettamat vaateet kiinteistön ilmanvaihdolle. Ilmanvaihtokoneen toimittajan valintakriteerinä kohteessa olivat hinta, laatu ja soveltuvuus. Ilmanvaihtokoneen toimittajaksi valikoitui Mastervent Oy.

Tuotantohallin ilmanvaihtoa palvelemaan valittiin Mastervent KRS-THR-15-H-P150 kennopesurilla varustettu ilmanvaihtokone (Kuva 16). Koneen soveltuvuus kohteeseen oli hyvä verrattaessa muiden toimittajien ratkaisuihin. Merkittävin valintaan johdettava kriteeri oli koneen integroitu kennopesujärjestelmä, joka tehokkaasti laskisi poistoilman suodatuksesta johtuvia käyttökustannuksia.

Ilmanvaihtokone toimitettiin kohteeseen valmiiksi käyttökuntoon kasattuna ja testattuna. Toimitusmuoto vähensi kohteessa tehtäviä asennustöiden määrää. Ilmanvaihtokoneen toimitus kasattuna on harvoissa kohteissa mahdollista rajallisten haalausaukojen ja nostoapuvälineiden puutteellisuuden vuoksi.

Ilmanvaihtokoneen ilmamäärä mitoitettiin käyttökokemusten perusteella huomattavasti suuremmaksi (15.00 m³/s) mitä ohjearvoissa. Mitoitus takaisi ilmanvaihdon riittävyyden huipputilanteissa, kun hallin käyttökuormitus olisi suuri. Kuitenkin mahdollistaen pienempien ilmamäärien käytön tilanteissa, joissa hallin käyttökuormitus ei olisi huipussaan.

Kone sijoitettiin tuotantotilassa sijaitsevan sosiaalitalan katolle, joka asetti vaatimuksia toimitettavalle konekoolle, lämmöntalteenottomuodon vaihtaminen levylämmönsiirtimeen olisi kasvattanut konekokoa huomattavasti. Koneen huoltotason pohja pinta-alan kasvattaminen olisi vähentänyt työskentelytilaa tuotantotilassa.



Kuva 16. Mastervent KRS-THR-15-H-P150 ilmanvaihtokone (TM7655-E IS Works Oy hitsaushalli tekniset tiedot)

6.1.1 Ilmanvaihdon suodatus

Aiempien käyttökokemusten perusteella tiedettiin suodatuksen olevan suurin ilmanvaihdon käyttövarmuuteen vaikuttava tekijä. 2013 vuoden hallilajennuksen ilmanvaihtojärjestelmään oli jouduttu tekemään muutoksia, jotta käyttöturvemuutoksesta johtuva ilmanvaihdon kuormitus pystyttiin hoitamaan ja ilmanvaihto ei rajoittanut hitsaustyöskentelyä laajennuksessa.

Tiedettiin että poistoilman suodatus pelkillä synteettisestä materiaalista valmistetuilla pussisuodattimilla ei takaisi järjestelmän käyttövarmuutta.

Vuoden 2013 hallilajennuksen ilmavaihdon saneeraustöissä lisättiin järjestelmään erillinen kanavoitava sähkösuodatin, joka mahdollisti yleisilmanvaihdon toimivuuden hallissa. Vuoden 2019 laajennukseen ei haluttu käyttää samaa ratkaisua sen tuoman lisääntyneiden kustannuksien ja tilantarpeen vuoksi.

Uuden ilmanvaihtokoneen suodatusvaihtoehdoksi valittiin tulopuolelle F7 luokituksen pussisuodattimet. Tulopuolen suodattimet ovat sijoitettu ilmanvaihtokoneen toisipuolelle lämmönsiirtimen jälkeiselle osalle. Tämä mahdollistaa lämmöntalteenottoratkaisusta johtuvien poistoilmasta siirtyvien epäpuhtauksien suodattamisen ennen ilmanvaihtokanavistoa.

Ilmanvaihtokoneeseen ei tullut poisto- ja jäteilmapuolelle suodatusta. Suodattimien poistaminen pienentää huomattavasti vuosittaisia ilmanvaihtokoneen huoltokustannuksia. Poistoilman suodattamatta jättäminen asettaa lisävaatimuksia ilmanvaihtokoneen ominaisuuksille. Lämmöntalteenotto likaantuu nopeasti, jos epäpuhdasta prosessi-ilmaa virtaa sen lävitse. Tästä johtuen ilmanvaihtokone varusteltiin automaattisella kennopesujärjestelmällä, järjestelmä käyttää vettä lämmöntalteenottokennon puhdistamiseen määritetyn pesuohjelman mukaisesti.

6.1.2 Kennopesujärjestelmä

Halliin toimitettava ilmanvaihtokone varusteltiin kennopesujärjestelmällä. Korkeapainepesulaite THR on automaattisesti toimiva puhdistuslaite, joka käyttää kuumaa vettä roottorin puhdistamiseen. Tällä laitteella voidaan roottori pitää toimintakunnossa mm. maalamoissa, hitsaamoissa ym. prosesseissa. Puhdistusmenetelmässä kiinni tarttunut lika irtoaa ja murskautuu kiekon sisäänmenoreunassa ja siirtyy korkeapainesuihkun mukana roottorisolien väli vastaanottokouruun. (Mastervent Oy, KRS-KHR-kojeet esite, 3)

Kennopesulaitteen pesuohjelman taajuus on käyttäjän itse määriteltävissä. Kohteen käytön ja käyttökokemusten perusteella pesuohjelman taajuutta pystytään muokkaamaan vastaamaan paremmin käyttökuormitusta. Taulukoissa 1 ja 2 on esiteltyä yksittäisen pesuohjelman kustannus ja sen tuomat mahdolliset säästöt verrattaessa suodatusjärjestelmään.

Taulukko 1. Yksittäisen pesun kustannus (Mastervent Oy, KRS-THR lämmönkulutus ja käyttökustannukset 2019)

Kohde		IS WORKS HITSAUSHALLI 2019 PORI TM7655-C Pos.A: Roottorissa normali (N) poimu	
Kojetyyppi	KRS-THR-	15	(anna kojekoko 3 - 3,5 - 6 - 7,5 - 10 - 12- 15 - 20)
Ilmavirta m ³ /s (nim.)		15,00	Syötetty ilmavirta
Käyntiaika		45	h/viikko
Poistoilman lämpötila		21	°C
Sisäänpuhalluslämpötila		18	°C
Ilmastovyöhyke		2	1, 2, 3 tai 4
1. PESUJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖKUSTANNUS JA SÄÄSTÖ			
Veden paine suuttimessa: hitsaamo 70 bar, maalaamo tms. 150 bar			
Veden lämpötila: hitsaamo 55°C, maalaamo tms. 80°C			
Veden paine suuttimessa bar	150	Veden alkulämpötila °C	5
Veden hinta €/m ³	2,4	Veden loppulämpötila °C	55
Sähkön hinta €/MWh	100	Suihkun leveys 15-20 mm	20
Lämmön hinta €/MWh	60	Roottorin halkaisija mm	3700
Pesurin moott.teho kW	7	Roott.pyör.nop.r/min	1,5
Puhaltimien tehonotto kW *)	31,5	Kuivauspuhalluksen kesto h	3
*) n. 2,1 kW/m ³ /s, täysi ilmavirta, tulo ja poisto yhteensä			
Pesun jälkeen kuivaus 3 h tulopuhaltimella 50% nopeudella			
		Paineilmaa (7bar), l/min	102
		Vesivirta l/s	0,186
		Pesujakson kesto min	66
		Veden kulutus l	737
		Paineilman kulutus Nm ³	6,7
		Vesipesun hinta	5,96 €
		Kuivauspuhalluksen hinta	1,42 €
		Yhden pesukerran hinta	7,38 €

Taulukko 2. Kennopesujärjestelmän tuoma kustannussäästö (Rauvola 2019)

Kennopesujärjestelmän tuoma kustannussäästö suodatusjärjestelmään verrattaessa						
Suodatintyyppi	lkm	€/kpl	€/kok	vaihtoväli 1 vko, €/v	vaihtoväli 2vko, €/v	vaihtoväli 3vko, €/v
Suodatin G4/M5 592x592-535/6	15	39,42 €	591,30 €	30 747,60 €	15 373,80 €	10 249,20 €
Pesuojelma, kerran viikossa	52	7,38 €	383,76 €	383,76 €	383,76 €	383,76 €
Pesuojelma, kerran kahdessa viikossa	26	7,38 €	191,88 €	191,88 €	191,88 €	191,88 €
Säästöt pesuojelmalla, kerran viikossa				30 363,84 €	14 990,04 €	9 865,44 €
Säästöt pesuojelmalla, kerran kahdessa viikossa				30 555,72 €	15 181,92 €	10 057,32 €

6.1.3 Lämmitys ja jäähdytys

Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottomuotona toimii roottorilämmönsiirrin. Lämmönsiirrin on valmistettu korroosionkestävästä erikoisalumiinista mikä takaa roottorin kestävyuden olosuhteiden ja pesutoiminnon vaikutuksen alaisena.

Lämmönsiirtimen halkaisija on 3700mm, poimukorkeus 15 ja poimutyypinä on N-poimu. Roottorin kokonaishyötysuhde on 71%. Roottori on suunniteltu pestäväksi, joka mahdollistaa ympärivuorokautisen lämmöntalteenoton poistoilmasta.

Ilmanvaihtokone on varusteltu kierrätysilmapellistöllä, joka mahdollistaa kiertoilma-toiminnon tilanteissa, joissa tuotantotilassa ei ole epäpuhtauskuormitusta. Kuitenkin taaten hallitilan ilman lämmityksen koneeseen sijoitetulla vesikiertoisella lämmityspatterilla.

Ilmanvaihtokoneessa tai tuotantotilassa ei ole erillistä jäähdytystä, tuotantotilan jäähdytys huipputilanteissa on riippuvainen ulkoilman lämpötilasta. Tuotantotilan nosto-oviaukkoja pystytään hyödyntämään tilanteissa, joissa tarvitaan lisäilmavirtaa.

6.2 Kanavisto

Kanavisto suunnitellaan mahdollisimman symmetriseksi mahdollistaen helpon tasapainotuksen ja pienen paineentarpeen. Kanavistot sijoitetaan prosessien ja rakennuksen sallimien tilojen mukaan. Virtausteknisesti ja myös toteutuskustannuksiltaan pyöreän kanavajärjestelmän käyttö on edullisempaa kuin suorakaidekanavien. (Esko Tähti, 64)

Tuotantotilan kanavisto suunniteltiin ja toteutettiin käyttäen pääosin pyöreää tehdasvalmisteista kanavistoa. Poisto- ja tuloilman runkkanavisto suunniteltiin asennettavaksi hallin yläkattoon ristikkovälejä hyödyntäen, tämä toteutusmalli oli välttämätön mahdollistaen hallinosturin käytön koko tuotantotilassa.

Koneen tulo-, poisto- ja raitisilmakammiona käytettiin tilaajaan omavalmisteisia ääni- ja lämpöeristettyjä suorakaidekanavia. Kammiot varusteltiin käyntiovin taaten kanaviston huollettavuuden. Kammiot suunniteltiin Magic CAD suunnitteluohjelmalla, ennen valmistusta suoritettiin detalji mittaukset työkohteessa.

Poistoilmakanaviston päätelaitteet sijoitettiin tuotantotilan keskiosan katonrajaan. Tuuloilman päätelaitteet kanavoitiin hallin seinäpintoja pitkin työskentelyalueelle. Pystykanavointien toteutus hallin seinäpintoja pitkin mahdollisti hallinosturin käytön.

Runkokanavisto suunniteltiin ottaen huomioon mahdollisen hallilaajennuksen, pohjoispäädyn runkokanavat mitoitettiin mahdollisen laajennuksen mukaan. Helpottaen ilmanvaihdon muutostöitä, mikäli laajennus toteutuisi. Ilmanvaihdon huolettavuuden takaamiseksi suunniteltiin kanavistoon riittävä määrä puhdistusluukkuja. Erityisesti epäpuhdasta poistoilmaa kuljettavat kanavistot on huolettava riittävän usein ilmanvaihdon toimivuuden varmistamiseksi.

Runkokanavien suurista halkaisijoista johtuen jouduttiin hallin eteläpäättyyn tekemään erikoismuuntokappaleita kanavan ja ristikkorakenteen risteyskohtiin. Muuntokappaleet nostavat kanaviston kitkapainehäviötä mutta ovat edukkaita, vaihtoehdoisen tavan ollessa runkokanaviston määrällinen lisääminen.

Konetasolta lähtevien runkokanavistojen pystynousut suunniteltiin eteläpäädyn ensimmäiseen ristikkoväliin, suunnittelu ensimmäiseen ristikko väliin oli välttämätöntä, jotta saatiin taattua hallinosturin mahdollisimman laaja käyttöalue.

6.3 Päätelaitteet ja ilmanjako

Kanaviston tasapainottaminen edellyttää oikean kanavistomitoituksen ohella myös säätöpeltien ja päätelaitteiden käyttöä. Säätöpellit ja päätelaitteet nopeuttavat ja helpottavat järjestelmän säätöä. (Esko Tähti, 64)

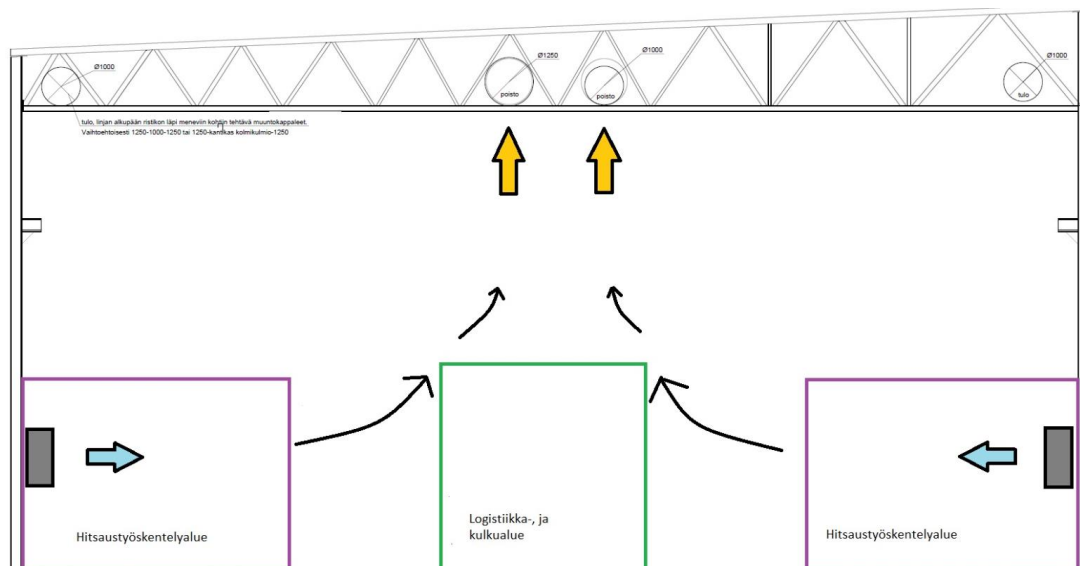
Hallitilan päätelaitevalinnat perustuivat käyttökokemuksiin. Hallin ilmanjakotapa suunniteltiin syrjäyttäväksi. Tuloilma suunniteltiin puhallettavaksi työskentelyalueelle, lämpimän poistoilman ja epäpuhtauksien noustessa katonrajaan poistoilman päätelaitteille (Kuva 17)

Poistoilman päätelaitteiksi valittiin Fläktgroup Oy valmistamat BDKU imukartiot. Hallitilan keskiosan poistoilman runkokanavistojen yläpuolelle katonrajaan asennettiin imukartiot. Katonrajaan nouseva lämmin poistoilma imettiin imukartioiden kautta poistoilman runkokanavistoon. Imukartioiden yhteyteen asennettiin Fläktgroup Oy toimittamat IRIS säätöpellit, Säätöpeltien avulla päätelaitekohtainen ilmavirta pystytettiin tasapainoittamaan. Poistoilman päätelaitteita tuli hallitilaan 10. Yksittäisen päätelaitteen ilmavirta oli 1500 l/s, kokonaisilmamäärän ollessa 15000 l/s.

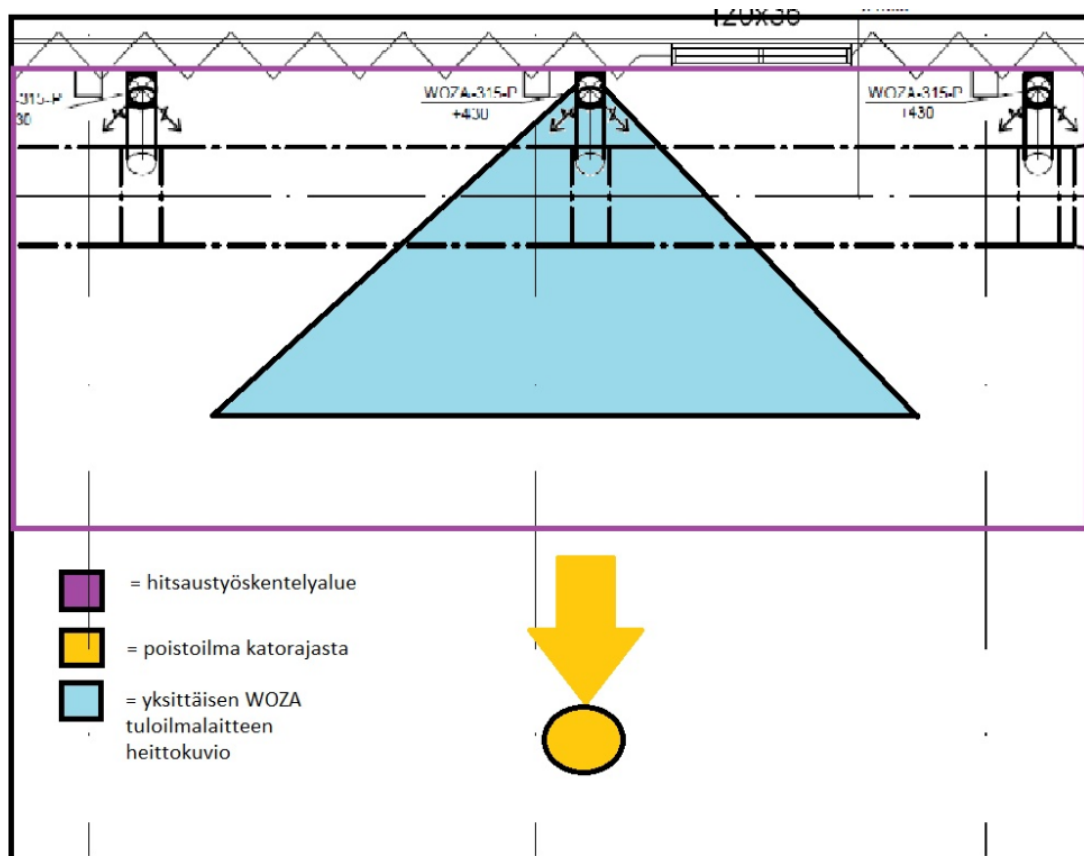
Tuloilman päätelaitteeksi valittiin Fläktgroup Oy valmistamat WOZA päätelaitteet. Päätelaitteen yhteyteen asennettiin IRIS säätöpellit kanaviston ilmamäärien tasapainotusta varten. Päätelaitteet kanavoitiin hallin seiniä pitkin työskentelyalueelle (Kuva 18). Päätelaitteiden säätölangat asennettiin seinille päätelaitteiden välittömään läheisyyteen, tämä mahdollistaa puhalluskuvion säätämisen ongelmatilanteissa. Tuloilman päätelaitteita tuli hallitilaan 30. Yksittäisen päätelaitteen ilmavirta oli 430 l/s, kokonaisilmamäärän ollessa 12900 l/s.

Koneen ilmanotto toteutettiin hallin seinäpinnasta omavalmisteisella lumisuojasäleiköllä. Labyrinttirakenteinen lumisuojasäleikkö on ulkomitoiltaan huomattavasti raitisilmakammiota suurempi täten pienentäen raitisilman otsapintanopeutta.

Koneen jäteilma poistettiin katolle sijoitetulla omavalmisteisella IPU jäteilmalaitteella. Jäteilman runkokanavointi nostettiin koneen päältä vesikatolle.



Kuva 17. Hitsaushallin ilmanjakotapa ja runkokanavien sijoitus ristikkorakenteissa (Rauvola, 2019)



Kuva 18. Yksittäisen tuloilman puhalluskuvio tuotantotilassa (Rauvola, 2019)

6.4 Oviverhopuhallus

Oviverhopuhalluksella pyritään estämään ulkoilman pääsy nosto-ovista sisätiloihin ja lisäämään hallin käyttömukavuutta.

Tuontatohallitilan nosto-oville toteutettiin oviverhopuhallus yleisilmanvaihdolla. Nosto-ovien molemmille puolille kanavointiin omavalmisteiset OPU puhallusputket (Kuva 19). Puhallusputket kytkettiin yleisilmanvaihdon runkokanavistoon. Oviverhopuhalluksen toteutus yleisilmanvaihtoon kytkettynä on kustannustehokasta koska ylimääräisiä laitehankintoja ei tarvitse tehdä.

Oviverhopuhallus on hallitilassa riippumaton nosto-ovien käyttötilanteesta ja on käytössä aina yleisilmanvaihdon toiminta-aikana



Kuva 19. Hitsaushallin nosto-oven oviverhopuhallus (Rauvola, 2019)

6.5 Kannakkeet ja tukirakenteet

Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa on tärkeää huomioida kannakoinnin mahdollisuus ja riittävyys. Rakennuksen materiaalivalinnat ja pintamuodot määräävät usein käytettävien kannakkeiden ankkurointitavan.

Ilmanvaihtokanaviston asennustöissä käytettiin kahta eri kannatustapaa. Pystysuorat tulokanavistot kannakointiin hallin seinäpinnasta kuilukannakkein (kuva 20). Runkokanavistot kannakointiin myös samalla menetelmällä kattoristikoiden lävistyskohdissa. Kuilukannakkeiden lisäksi käytettiin myös trapetsikannakkeita, Kannakkeet kiinnitettiin hallin katon profiilipeltiin.



Kuva 20. Yksittäinen kuilukannakesarja (Rauvola, 2019)

6.6 Ilmanvaihdon toimintaselostus

Tarpeenmukaisen ja toimivan ilmanvaihdon saavuttamisen edellytyksenä on automaation optimisointi. Suunnittelijan, käyttäjän ja laitetoimittajan yhteistyöllä pystytään luomaan perusteet ja toimintasuunnitelma koneen halutulle toiminnalle.

Suunnitellessa käyttöohjelmaa pitää ottaa useita koneen käyttöön vaikuttavia asioita huomioon. Hallin käyttökuormitus vaihtelee huomattavasti ja sitoutuu työntekijöiden työaikoihin. Kuormitus voi vaihdella päivä- tai viikkokohtaisesti. Energiatehokkaan ilmanvaihdon kannalta on tärkeää, että järjestelmä suunnitellaan toimivaan joustavasti ja sopeutumaan eri kuormitustilanteisiin.

Tuotantotilan ilmanvaihtokoneen käynti sidottiin valojen ohjaukseen, kun hallitilan valot kytketään päälle, lähtee myös ilmanvaihtokone käyntiin. Valot sammutettaessa aktivoituu koneen jälkipuhallus, joka kestää 30 minuuttia. Jälkipuhalluksen jälkeen palautuu kone normaalin aikaohjelman mukaiselle käytölle. Jälkipuhalluksen tavoitteena on puhdistaa tuotantotilan ilma ennen ilmanvaihtokoneen käyttötehon muuttamista.

Kun ilmanvaihtokoneen käyttöajat sidotaan valojen ohjaukseen, pystytään välttämään ajanjaksoja, joissa ilmanvaihtokone kävisi ilman varsinaista tarvetta ilmanvaihdolle. Päivittäisen ja toimivan aikaohjelman laatiminen ilman valoihin liitettyä ohjausta olisi haastavaa vaihtelevien työaikojen vuoksi.

Kylmän ajanjakson käyttöaikojen ulkopuolisen lämmityksen takaamiseksi koneen automaatio varusteltiin myös yölämmitystoiminolla. Kun ulkoilma kylmenee yli -5 asteeseen kytkeytyy yölämmitystoiminto päälle. Koneen poisto- ja tulopuhallin käyvät 30% teholla ja kierrättävät hallitilan ilmaa lämmityspatterin kautta, täten lämmittään tuotantotilan ilmaa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella toimiva ilmanvaihto teollisuuskohteeseen. Tarkoituksena oli hyödyntää tilaajan aiempia käyttökokemuksia jo käytössä olevien kiinteistöjen ilmanvaihdosta.

Kohteeseen haluttiin valita huoltokustannuksiltaan edullinen ja pitkäikäinen ilmanvaihtojärjestelmä. Tinkimättä ilmanvaihdon laadusta kohteessa. Eri toteutustapoja tutkimalla pystyttiin valitsemaan parhaiten käyttötarkoitukseen sopiva järjestelmä, joka myös täyttäisi käyttäjän asettamat vaatimukset huollettavuudelle ja toimivuudelle haastavissa teollisuusolosuhteissa.

Suunnittelutyössä laadittiin tilaajan kanssa havainnesuunnitelma kohteesta, jota käytettiin perustana varsinaisessa suunnittelutyössä. Laittevalinnat kohteeseen tehtiin yhteistyössä käyttäjän ja asiantuntijoiden kanssa. Tarkastelun jälkeen ilmanvaihtokone päätettiin varustaa kennopesutoiminnolla. Tämän ratkaisun ollessa hankintakustannuksiltaan vaihtoehtoisia laitteita suurempi, tiedettiin sen alentavan huomattavasti huoltokustannuksia.

Suunnitelmien pohjana käytettiin kohteen rakennesuunnitelmia. Suurista ilmamääristä johtuen myös kanaviston vaatima tila hallitilan katossa oli huomattava. Runkokanavien mitoituksessa otettiin huomioon hallin vesikaton teräsrakenteen ja hallinosturin asettamat tilarajoitteet. Tarkastelemalla rakennesuunnitelmia tarkasti varmistettiin, että toteutusvaiheessa ei törmätty ongelmiin.

Työn aikana saatiin toteutettua laadukkaat ilmanvaihtosuunnitelmat tilaajalle, joiden pohjalta myös teollisuuskohteen ilmanvaihto toteutettiin. Suunnitelmien toimivuutta on mahdollista seurata valmistuneessa teollisuuskohteessa.

LÄHTEET

Sandberg, E 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2, Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Fläktgroup Oy www-sivu, Viitattu 23.12.2019 <https://www.flaktgroup.com/fi/>

Koja Oy www-sivu, Viitattu 23.12.2019 <https://www.koja.fi/>


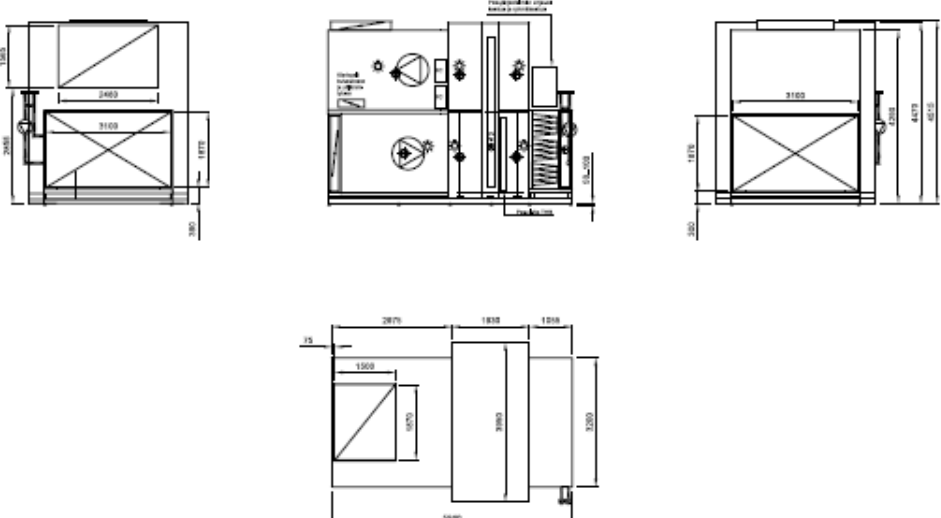
Talotekniikkateollisuus ry www-sivu viitattu 23.12.2019 <https://www.talotekniikkainfo.fi/>

PSL Oy www-sivu, Viitattu 27.12.2019 <https://www.psloy.fi/>

Tähti, E 2002. Teollisuusilmastoinnin opas. Helsinki: Suomen talotekniikan kehityskeskus Oy.

Mastervent Oy www-sivu, Viitattu 2.3.2020 <https://www.mastervent.fi/>

TM7655-E IS Works Oy hitsaushalli tekniset tiedot
(Mastervent Oy)

	Mastervent oy Ilmanvaihtokojeet	Päiväys Tarjous no Käsittelijä:	09-03-2019 TM7655-E Jussi Tani - info@taniplan.fi - Taniplan Oy - Puhelin:09 4583120 - mastervent.fi - GSM:0500 426631		
	<i>Rel. 4.01 04-12-2018-</i> Kohde: Kojeen tunnus Asiakas Osoite Ystävälliseen huomioon	IS Works Oy uusi hitsaushalli KRS-THR-15 N-poimu roottorissa Ilmastointi Salminen Oy Nyrhentie 7 28760 Pori Ilpo Salminen			
Ilmanvaihtokoje KRS-THR-15-N-P150-3700					
Tuulilmävirta	m ³ /s	15,00	Ulkoinen painehäviö, tuulo	Pa	400
Poistoilmävirta	m ³ /s	15,00	Ulkoinen painehäviö, poisto	Pa	500
Ominais sähkönkulutus SFP	kW/(m ³ /s)	2.29 (lik.suod. 2.41)	otsapintanopeus (lammonsirrin)	m/s	2,75
					
Ekosuunnitteludirektiiviin 2009/125/EY liittyvät suoritusarvot					
Direktiivin mukainen määritelmä iv-kojeelle			NRVU:BVU		
Lämmöntalteenoton ERP-hyötysuhde η _{t_nrvu}			71.0 %		
Lämmöntalteenoton hyötysuhdevaatimus 2016/2018			67.0 % / 73.0 %		
SFPint			624 W/(m ³ /s)		
Max SFPint 2016			860 W/(m ³ /s)		

Kojemoduli				
Pala no	1	Pituus	355 mm	Paino 309 kg

Sulkupeltiosa

Sulkupelti vastakkain kääntyvin sälein, tiiviysluokka 4
Sulkupelti FeZn, eristetyt säleet. Ilmavirta 15.00 m ³ /s Painehäviö : 11 Pa

Kojemoduli				
Pala no	2	Pituus	2365 mm	Paino 1203 kg

Tulopuhallin

PUHALLIN Class 1 (DIN 24186) NPA1120-		VAKIOMOOTTORI (IEC)						
$\Delta p_{ref}=1771 \text{ Pa}$ $K=1283$ $Q=K \cdot \sqrt{\Delta p}$ [m ³ /h, Pa]		Tyyppi / Teho	IE1 225M 22 kW					
Halkaisija	1120	Jännite	400/3/50 V/ph/Hz					
Ilmavirta	15.00 m ³ /s	Napaluku	8					
Käytettävissä oleva paine-ero	400 Pa	Moottorin akselin halkaisija	Ø 80 mm					
Iv-kojeen sisäinen painehäviö	383 Pa	Eristysluokka	F					
Puhaltimen staattinen paine-ero	783 Pa	Suojaus	IP 55					
Pyörimisnopeus	789 rpm	Nimellisvirta	45.00 A					
Akselitehon tarve	16.82 kW	Maksimi pyörimisnopeus	1200 rpm					
Sähköverkosta otettu teho	19.28 kW	Puhaltimen nopeus prosentteina	68 %					
Äänen tehotaso	91.1 dB(A)	Toimintapisteen taajuus	54 Hz					
Staattinen hyötysuhde	89.9 %	Maksimitaajuus	58 Hz					
Kokonaishyötysuhde	79.0 %							
η eodesign	60.9 %							
Äänen tehotaso oktaavikaistoittain								
F [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Tulo [dB]	86	92	89	89	84	83	79	76

Tarkastusovi

Valaisin kaapeloituna

Tarkastusikkunalla

Taajuusmuuttajalla FC-102P22KT4

Ilmavirtamittari (paikallisinäyttö)

AM-MODBUS-WB -kortti Bluetooth (par. ilmaisella Android/iOS-puhelinosovelluksella)

Moottorin EMC-turvakytkin kaapeloituna puhallinmoottorille

Kojemoduli				
Pala no	3	Pituus	750 mm	Paino 144 kg

Väliosa

Pituus 650 mm.

Kojemoduli				
Pala no	4	Pituus	1360 mm	Paino 442 kg

Sulkupeltiosa

Sulkupelti vastakkain kääntyvin sälein, tiiviysluokka 4
Sulkupelti FeZn, eristetyt säleät. Ilmavirta 15.00 m ³ /s Painehäviö : 11 Pa

Kojemoduli				
Pala no	5	Pituus	2365 mm	Paino 1204 kg

Poistopuhallin

PUHALLIN Class 1 (DIN 24188) NPA1120-				VAKIOMOOTTORI (IEC)				
$\Delta p_{pref}=1771 \text{ Pa}$	$K=1283$	$Q=K \cdot \sqrt{\Delta p}$ [m ³ /h, Pa]		Tyyppi / Teho		IE1 225M 22 kW		
Halkaisija	1120			Jännite		400/3/50 V/ph/Hz		
Ilmavirta	15.00 m ³ /s			Napaluku		8		
Käytettävissä oleva paine-ero	500 Pa			Moottorin akselin halkaisija		Ø 60 mm		
Iv-kojeen sisäinen painehäviö	163 Pa			Eristysluokka		F		
Puhaltimen staattinen paine-ero	663 Pa			Suojaus		IP 55		
Pyörimisnopeus	756 rpm			Nimellisvirta		45.00 A		
Akselitehon tarve	14.76 kW			Maksimi pyörimisnopeus		1200 rpm		
Sähköverkosta otettu teho	16.92 kW			Puhaltimen nopeus prosentteina		63 %		
Äänen tehotaso	90.4 dB(A)			Toimintapisteen taajuus		51 Hz		
Staattinen hyötysuhde	67.4 %			Maksimitaajuus		57 Hz		
Kokonaishyötysuhde	77.9 %							
η ecodesign	58.8 %							
Äänen tehotaso oktaavikaistoittain								
F [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Tulo [dB]	85	91	88	88	83	82	78	75

Tarkastusovi

Liitäntä päällä (puhallus ylöspäin)

Tiivis FeZn sulkupelti paineaukossa

Valaisin kaapeloituna

Tarkastusikkunalla

Taajuusmuuttajalla FC-102P22KT4

Ilmavirtamittari (paikallisinäyttö)

AM-MODBUS-WB -kortti Bluetooth (par. ilmaisella Android/iOS-puhelinsovelluksella)

Moottorin EMC-turvakytkin kaapeloituna puhallinmoottorille

Kojemoduli				
Pala no	6	Pituus	750 mm	Paino 103 kg

Väliosa

Pituus 650 mm.

Kojemoduli					
Pala no	7	Pituus	430 mm	Paino	1461 kg

Roottorilämmönsiirrin

Pyörivä lämmönsiirrin

Ulkoilmavirta	15.00	m³/s	Poistoilmavirta	15.00	m³/s
Ulkoilman lämpötila	-26	°C	Poistoilman lämpötila	20	°C
Ulkoilman suhteellinen kosteus	80	%	Poistoilman suhteellinen kosteus	15	%
Lähtevän ilman lämpötila	6.9	°C	Lähtevän ilman lämpötila	-12.9	°C
Lähtevän ilman suhteellinen kosteus	16.8	%	Lähtevän ilman suhteellinen kosteus	99.0	%
Painehäviö (ρ = 1,2 kg/m ³)	104	Pa	Painehäviö (ρ = 1,2 kg/m ³)	124	Pa
Painehäviö mitoitusolosuhteissa	124	Pa	Painehäviö mitoitusolosuhteissa	124	Pa
Lämpötekninen suorituskyky					
Lämpötilahyötysuhde	71.0	%	Varahihnalla		
Kosteushyötysuhde	40.0	%	Nopeudensäätimellä		
Kokonaishyötysuhde	68.0	%	Tarkastusikkuna		
η _{t_nrvu}	71.0	%			
Lämmöntalteenoton teho					
Kokonaisteho	631.8	kW			
Tuntuva teho	597.7	kW			
Latentti teho	34.1	kW			
Kosteuden siirto	49	kg/h			
AK2 - N - S - 3700 - D					

Roottorin kokoonpano tehtaalla sisältyy toimitukseen

Pyörimisnopeus 12 rpm

Kojemoduli					
Pala no	8	Pituus	750 mm	Paino	144 kg

Väliosa

Pituus 650 mm.

Kojemoduli					
Pala no	9	Pituus	750 mm	Paino	103 kg

Väliosa

Pituus 650 mm.

Kojemoduli					
Pala no	10	Pituus	1055 mm	Paino	526 kg

Pussisuodatin

Pussisuodatin, suodatinluokka F7 N° 15 592 x 592 x 535 mm

Energialuokka C

Pitkä moduli

Alkupainehäviö Pa 127

Loppupainehäviö Pa 255

Kehys

Painemittausyhteet

1 vaihtosuodatinsarja

Lämmityspatteri

ILMAN OLOSUhteET		NESTE	
Ilmavirta	15 m ³ /s	Vesi	
Tuleva lämpötila	2 °C	Tuleva lämpötila	50 °C
Lähtevä lämpötila	20 °C	Lähtevä lämpötila	30 °C
Teho	327.2 kW	Virtaus	3.96 l/s
Painehäviö	57 Pa	Painehäviö	8.4 kPa
Ilman virtausnopeus	2.75 m/s	Sisäinen tilavuus	99.6 dm ³

Cu-Al-FeZn P40AC 3R-45T-3025A-3.0pa 33C 2 1/2"-1

Putkityyppi / Lamellityyppi: Kupari 16.45 x 0.40 mm/0.11 mm alumiini Lamelliväli: mm 3.00

Kehys: sinkitty kehys 1,5 mm

Lisävarusteet

- Pesujärjestelmä, viemäröinti, ryhmäkeskus, kaapelointi ja putkiryhmä DN65
- OUMAN säätölaitteet (Ouflex)
- Koekäyttö työmaalla
- Rahti työmaalle
- Painepesuri 150 bar max.80°C

ÄÄNITASO IV-KOJEEN LIITÄNTÄAUKOISSA**Iv-kojeen äänitasot Lw**

Oktaavikaista (Hz)	Tot. dB	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lw Ulkoilma	99.1	91	98	83	82	78	75	73	68
Lw Tuloilma	86.6	79	84	79	76	66	61	53	48
Lw Poistoilma	94.3	87	93	79	78	73	69	67	58
Lw Jäteilma	95.2	85	91	88	88	83	82	78	75
Lw Vaipan läpi	80	73.5	78.5	67.5	59.5	51.5	52.5	48.5	43.5

Iv-kojeen äänitasot LwA

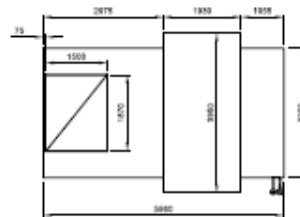
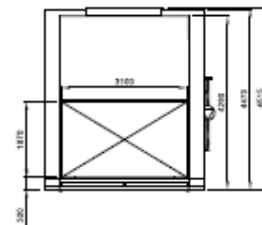
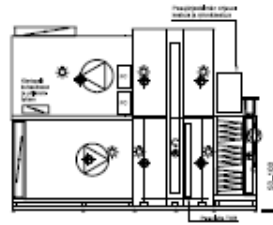
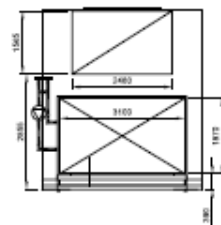
Oktaavikaista (Hz)	Tot. dB(A)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LwA Ulkoilma	86	64.8	81.9	74.4	78.8	78	76.2	74.2	66.9
LwA Tuloilma	76.3	52.8	67.9	70.4	72.8	66	62.2	54.2	46.9
LwA Poistoilma	81.1	60.8	76.9	70.4	74.8	73	70.2	68.2	56.9
LwA Jäteilma	89.7	58.8	74.9	79.4	84.8	83	83.2	79.2	73.9
LwA Vaipan läpi	65.5	47.3	62.4	58.9	56.3	51.5	53.7	49.7	42.4

Rel. 4.01 04-12-2018-

Kohde: IS Works Oy uusi hitsaushalli
Kojeen tunnus: KRS-THR-15 H-poimu roottorissa
Asiakas: Ilmastointi Salminen Oy
Osoite: Nyrhentie 7 28760 Pori
Ystävälliseen huomioon: Ilpo Salminen

Ilmanvaihtokoje KRS-THR-15-H-P150-3700

Tuloilmavirta	m ³ /s	15,00	Ulkoinen painehäviö, tujo	Pa	400
Poistoilmavirta	m ³ /s	15,00	Ulkoinen painehäviö, poisto	Pa	500
Ominais sähkökulutus SFP	kW/(m ³ /s)	2.17 (liik.suod. 2.29)	otsapintanopeus (lammonsirrin)	m/s	2,75



Ekosuunnitteludirektiiviin 2009/125/EY liittyvät suoritusarvot

Direktiivin mukainen määritelmä iv-kojeelle	NRVU,BVU
Lämmöntalteenoton ERP-hyötysuhde η _{t_nrvu}	63,0 %
Lämmöntalteenoton hyötysuhdevaatimus 2016/2018	67,0 % / 73,0 %

Kojemoduli					
Pala no	1	Pituus	355	mm Paino	309 kg

Sulkupeltiosa

Sulkupelti vastakkain kääntyvin sälein, tiiviysluokka 4
Sulkupelti FeZn, eristetyt säleet. Ilmavirta 15.00 m ³ /s Painehäviö : 11 Pa

Kojemoduli					
Pala no	2	Pituus	2365	mm Paino	1203 kg

Tulopuhallin

PUHALLIN Class 1 (DIN 24166) NPA1120-		VAKIOMOOTTORI (IEC)						
$\Delta p_{pref}=1771$ Pa $K=1283$ $Q=K \cdot \sqrt{\Delta p}$ [m ³ /h, Pa]		Tyyppi / Teho		IE1 225M 22 kW				
Halkaisija	1120	Jännite		400/3/50 V/ph/Hz				
Ilmavirta	15.00 m ³ /s	Napaluku		8				
Käytettävissä oleva paine-ero	400 Pa	Moottorin akselin halkaisija		Ø 60 mm				
Iv-kojeen sisäinen painehäviö	337 Pa	Eristysluokka		F				
Puhaltimen staattinen paine-ero	737 Pa	Suojaus		IP 55				
Pyörimisnopeus	776 rpm	Nimellisvirta		45.00 A				
Akselitehon tarve	18.02 kW	Maksimi pyörimisnopeus		1200 rpm				
Sähköverkosta otettu teho	18.36 kW	Puhaltimen nopeus prosentteina		65 %				
Äänen tehotaso	90.8 dB(A)	Toimintapisteen taajuus		53 Hz				
Staattinen hyötysuhde	69.0 %	Maksimitaajuus		58 Hz				
Kokonaishyötysuhde	78.7 %							
η ecodesign	60.2 %							
Äänen tehotaso oktaavikaistoittain								
F [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Tulo [dB]	86	92	89	89	84	83	79	76

Tarkastusovi

Valaisin kaapeloituna

Tarkastusikkunalla

Taajuusmuuttajalla FC-102P22KT4

Ilmavirtamittari (paikallinäyttö)

AM-MODBUS-WB -kortti Bluetooth (par. ilmaisella Android/iOS-puhelinsovelluksella)

Moottorin EMC-turvakytkin kaapeloituna puhallinmoottorille

Kojemoduli					
Pala no	3	Pituus	750	mm Paino	144 kg

Väliosa

Pituus 650 mm.

Kojemoduli				
Pala no	7	Pituus	430 mm	Paino 1278 kg

Roottorilämmönsiirrin

Pyörivä lämmönsiirrin

Ulkoilmavirta	15.00	m ³ /s	Poistoilmavirta	15.00	m ³ /s
Ulkoilman lämpötila	-26	°C	Poistoilman lämpötila	20	°C
Ulkoilman suhteellinen kosteus	80	%	Poistoilman suhteellinen kosteus	15	%
Lähtevän ilman lämpötila	3.1	°C	Lähtevän ilman lämpötila	-9.1	°C
Lähtevän ilman suhteellinen kosteus	11.4	%	Lähtevän ilman suhteellinen kosteus	99.0	%
Painehäviö (ρ = 1,2 kg/m ³)	66	Pa	Painehäviö (ρ = 1,2 kg/m ³)	78	Pa
Painehäviö mitoitusolosuhteissa	78	Pa	Painehäviö mitoitusolosuhteissa	78	Pa
Lämpötekkinen suorituskyky					
Lämpötilahyötysuhde	63.0	%			
Kosteushyötysuhde	14.0	%	Varahihnalla		
Kokonaishyötysuhde	58.0	%	Nopeudensäätimellä		
η _{t_nrvu}	63.0	%	Tarkastusikkuna		
Lämmöntalteenoton teho					
Kokonaisteho	540	kW			
Tuntuva teho	528.6	kW			
Latentti teho	11.4	kW			
Kosteuden siirto	17	kg/h			
AK2 - H - S - 3700 - D					

Roottorin kokoonpano tehtaalla sisältyy toimitukseen

Pyörimisnopeus 12 rpm

Kojemoduli				
Pala no	8	Pituus	750 mm	Paino 144 kg

Väliosa

Pituus 650 mm.

Kojemoduli				
Pala no	9	Pituus	750 mm	Paino 103 kg

Väliosa

Pituus 650 mm.

Kojemoduli				
Pala no	10	Pituus	1055 mm	Paino 526 kg

Pussisuodatin

Pussisuodatin, suodatinluokka F7 N° 15 592 x 592 x 535 mm

Energialuokka C
Pitkä moduli
Alkupainehäviö Pa 127
Loppupainehäviö Pa 255
Kehys
Painemittausyhteet
1 vaihtosuodatinsarja

Lämmityspatteri

ILMAN OLOSUHTEET		NESTE	
Ilmavirta	15 m ³ /s	Vesi	
Tuleva lämpötila	-2 °C	Tuleva lämpötila	50 °C
Lähtevä lämpötila	20 °C	Lähtevä lämpötila	30 °C
Teho	399.9 kW	Virtaus	4.84 l/s
Painehäviö	57 Pa	Painehäviö	11 kPa
Ilman virtausnopeus	2.75 m/s	Sisäinen tilavuus	99.6 dm ³

Cu-Al-FeZn P40AC 3R-45T-3025A-3.0pa 33C 2 1/2"-1

Putkityyppi / Lamellityyppi: Kupari 16.45 x 0.40 mm/0.11 mm alumiini Lamelliväli: mm 3.00

Kehys: sinkitty kehys 1,5 mm

Lisävarusteet

- Pesujärjestelmä, viemäröinti, ryhmäkeskus, kaapelointi ja putkiryhmä DN65
- OUMAN säätölaitteet (Ouflex)
- Koekäyttö työmaalla
- Rahti työmaalle
- Painepesuri 150 bar max.80°C

ÄÄNITASO IV-KOJEEN LIITÄNTÄAUKOISSA

Iv-kojeen äänitasot Lw

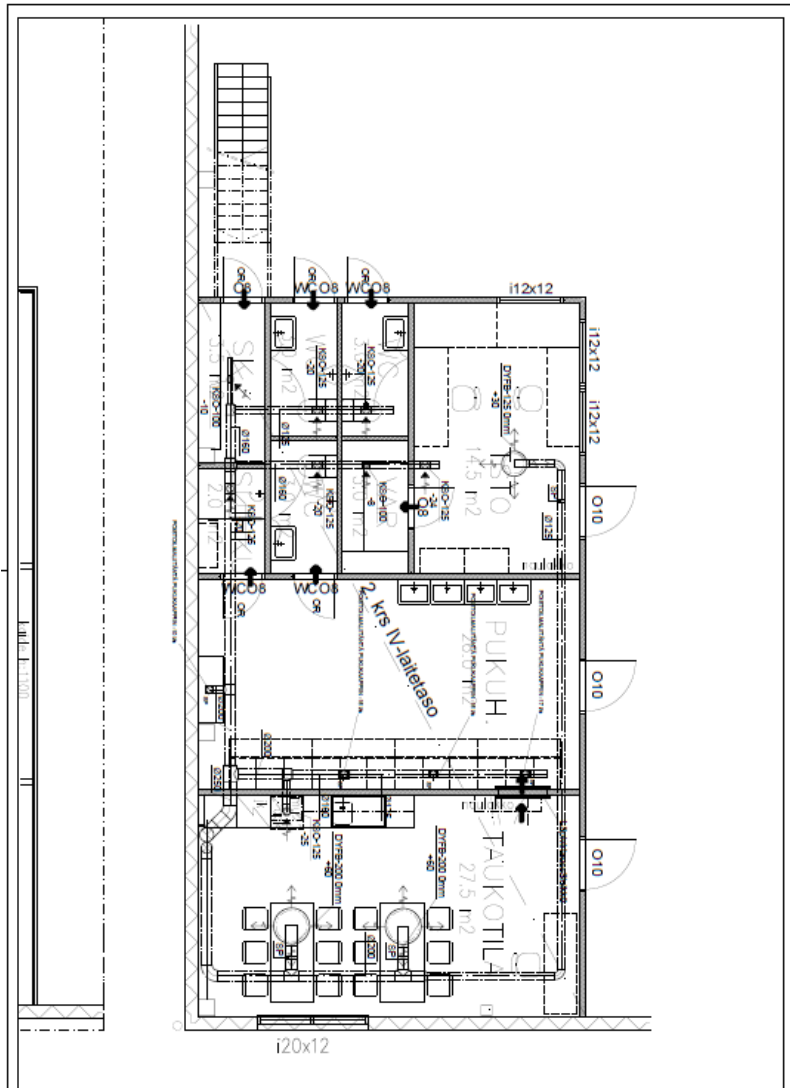
Oktaavikaista (Hz)	Tot. dB	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lw Ulkoilma	99	91	98	83	81	78	75	73	68
Lw Tuloilma	86.6	79	84	79	76	66	61	53	48
Lw Poistoilma	94.3	87	93	79	78	73	69	66	58
Lw Jäteilma	96.2	87	92	90	88	83	81	78	76
Lw Vaipan läpi	80.7	74.5	79	68.5	59.5	51.5	52.1	48.5	44

Iv-kojeen äänitasot LwA

Oktaavikaista (Hz)	Tot. dB(A)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LwA Ulkoilma	85.8	64.8	81.9	74.4	77.8	78	76.2	74.2	66.9
LwA Tuloilma	76.3	52.8	67.9	70.4	72.8	66	62.2	54.2	46.9
LwA Poistoilma	81.1	60.8	76.9	70.4	74.8	73	70.2	67.2	56.9
LwA Jäteilma	89.8	60.8	75.9	81.4	84.8	83	82.2	79.2	74.9
LwA Vaipan läpi	65.9	48.3	62.9	59.9	56.3	51.5	53.3	49.7	42.9

Ilmanvaihtolaitteet 1.krs taukotilat

(Rauvola, 2019)



LAAJENNUS		LAAJENNUS	
35	33	11	
IS KINTEISTÖT, LAAJENNUS 2019		LAAJENNUS	
NIRVINNE 7		LUMIVAIHTO	
2850 PORI		LUMIVAIHTOLAITTEET 1.KRS	
LAAJENNUS		LUMIVAIHTO	
LAAJENNUS 2019		LUMIVAIHTOLAITTEET 1.KRS	
LAAJENNUS		LUMIVAIHTO	
LAAJENNUS 2019		LUMIVAIHTOLAITTEET 1.KRS	
LAAJENNUS		LUMIVAIHTO	
LAAJENNUS 2019		LUMIVAIHTOLAITTEET 1.KRS	

Ilmanvaihtolaitteet 2.krs

(Rauvola, 2019)

