

Moottoriajoneuvosuojaan ilmanvaihdon toteutus

Kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä ja suuntapainepuhalinjärjestelmä

Saku Pynnönen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019

Talotekniikka
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikka
LVI-talotekniikka

PYNNÖNEN, SAKU:

Moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon toteutus
Kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä ja suuntapainepuhallinjärjestelmä

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2019

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon suunnitteluperusteita sekä ilmanvaihtojärjestelmien toteutuksesta ja käytöstä koituvia kustannuksia. Moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon voi toteuttaa erilaisilla tavoilla, joista tässä työssä käsiteltiin kanavoitua ilmanvaihtojärjestelmää sekä suuntapainepuhallinjärjestelmää. Molempien järjestelmien tarkoituksena on tuoda tilaan tarvittava ilmamäärä hengitystä varten, sekä poistaa ajoneuvojen tuottamat epäpuhtaudet. Työn referenssi kohteena käytettiin kohdetta, johon on toteutettu ilmanvaihto suuntapainepuhallinjärjestelmällä.

Toteutuskustannukset arvioitiin kohteeseen tehdyn kustannusvertailuin sekä ilmanvaihtokonevalmistajan hinta-arvioiden perusteella. Käyttökustannukset arvioitiin käyttäen konevalmistajan mitoitusohjelmia.

Toteutuskustannusvertailussa suuntapainepuhallinjärjestelmä on selvästi kanavoitua ilmanvaihtojärjestelmää edullisempi. Kohteeseen tehty kustannusvertailu ei kuitenkaan vastaa täysin todellisia kustannuksia, vaan laskelmissa käytettiin kustannusvertailun aikaisen tilanteen arvioita. Kustannusvertailua voi kuitenkin pitää suuntaa-antavana vertailtaessa kahden eri järjestelmän toteutuskustannuksia. Ilmanvaihtokoneiden käytöstä koituvat kustannukset arvioitiin käyttämällä konevalmistajan mitoitusohjelmaa, ja suuntapainepuhaltimien käytöstä koituvat kustannukset laskettiin puhaltimien tehojen ja käyntiaikojen perusteella. Käyttökustannuksiin vaikuttavat ilmanvaihdon käyntiajat, jotka määräytyvät kohteen käyttöasteen mukaan.

Jotta kahden eri järjestelmän käyttökustannuksia voitiin verrata toisiinsa, täytyi ilmanvaihdon käyntiajat arvioida, ja laskea käyttökustannukset molemmille järjestelmille käyttäen samoja käyntiaikoja. Tämän vuoksi työn käyttökustannukset eivät vastaa todellisuutta, vaan ovat teoreettisia. Käyttökustannuksiltaan kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä oli suuntapainepuhallinjärjestelmää edullisempi.

Asiasanat: moottoriajoneuvosuoja, suuntapainepuhallinjärjestelmä, ilmanvaihto, kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Building Services Engineering

PYNNÖNEN, SAKU:
Implementation of Ventilation in A Car Park
Ducted Ventilation System And Jet Fan System

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 2 pages
May 2019

The purpose of the thesis was to study the design criteria for the ventilation of car parks, and the costs incurred in the implementation and use of ventilation systems. The ventilation of a car park can be implemented in various ways. This thesis deals with a ducted ventilation system and a jet fan system. Both systems are designed to provide the necessary amount of air for breathing, as well as to remove vehicle-generated impurities. The ventilation of the example building of the thesis has been implemented with a jet fan system.

The implementation costs were estimated on the basis of cost comparisons made to the building and on the basis of the machine manufacturer's price estimates. Operating costs were estimated by using design programs of the manufacturer.

In the implementation cost comparison, the jet fan system is clearly more cost efficient than the ducted ventilation system. The cost comparison made to the building is an estimate made at the time and does not fully correspond with the actual costs. However, the cost comparison can be considered as an example when comparing the implementation costs of two different systems. The cost of using air handling units was assessed by using the machine manufacturer's design program, and the cost of using the jet fans was calculated on the basis of fan power and running times. Operating costs are influenced by ventilation run times, which are determined by the use of the car park.

In order to compare the operating costs of the two different systems, it was necessary to estimate the run times of the ventilation and calculate the operating costs for both systems using the same run times. Therefore, the cost of using the ventilation system does not correspond with reality but is theoretical. Operating the ducted ventilation system was more cost efficient than the jet fan system.

Key words: car park, jet fan system, ventilation, ducted ventilation system

SISÄLLYS

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 5 |
| 2 | MOOTTORIAJONEUVOSUOJAN ILMANVAIHTO | 6 |
| 2.1 | Asetukset moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon toteutuksesta..... | 6 |
| 2.2 | Neliöpohjainen ilmamäärien mitoitus | 7 |
| 2.3 | Epäpuhtauskuormaan perustuva ilmamäärien mitoitus | 7 |
| 2.4 | Autokannan käyttövoiman muutoksen vaikutus ilmanvaihtoon..... | 8 |
| 3 | KANAVOITU ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ | 11 |
| 3.1 | Savunpoisto | 12 |
| 3.2 | Ilmanvaihdon ohjaus | 13 |
| 4 | SUUNTAPAINEPUHALLINJÄRJESTELMÄ | 14 |
| 4.1 | Suuntapainepuhaltimet | 15 |
| 4.2 | Suuntapainepuhaltimien ohjaus | 15 |
| 4.3 | Savunpoistotilanne | 16 |
| 4.4 | CFD-simulointi | 16 |
| 5 | TAYS MOOTTORIAJONEUVOSUOJAN ILMANVAIHTO | 19 |
| 5.1 | Suunnittelun lähtötiedot | 20 |
| 5.2 | Savunpoisto | 20 |
| 6 | JÄRJESTELMIEN KÄYTTÖKUSTANNUKSET | 21 |
| 6.1 | Suuntapainepuhallinjärjestelmä..... | 21 |
| 6.2 | Kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä | 23 |
| 6.3 | Yhteenveto..... | 24 |
| 7 | JÄRJESTELMIEN TOTEUTUSKUSTANNUKSET | 25 |
| 7.1 | Toteutuskustannukset..... | 25 |
| 7.2 | Yhteenveto..... | 27 |
| 8 | POHDINTA | 29 |
| | LÄHTEET | 30 |
| | LIITTEET..... | 32 |
| | Liite 1. Ilmanvaihdon periaatekaavio | 32 |
| | Liite 2. Suuntapainepuhaltimen tekniset tiedot..... | 33 |

ERITYISSANASTO

| | |
|----------|---|
| CFD | Computational Fluid Dynamics on virtausmekaniikan osa-alue, jossa ratkaistaan ja analysoidaan fluidien käyttäytymistä |
| ppm | Parts per million, ilmaisee kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostain |
| HTP | Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet, ovat arvioita hengitysilman pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle taikka lisääntymisterveydelle |
| SFP-luku | Specific Fan Power on ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, joka ilmaisee kuinka paljon ilmastointikoneen puhallin kuluttaa energiaa, kun puhallin toimii mitoitettulla ilmamäärällä |
| Pa | Pascal on yksikkö, joka kuvastaa painetta, jonka yhden newtonin voima aiheuttaa neliömetrin pinta-alalle |
| TAYS | Tampereen yliopistollinen sairaala on Pirkanmaan sairaanhoitopiiriin kuuluva yliopistollinen sairaala |

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tutkittu tapoja toteuttaa moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihto. Ilmanvaihto tilassa voidaan toteuttaa erilaisilla tavoilla, joista tässä työssä käsitellään kanavoitua ilmanvaihtojärjestelmää ja suuntapainepuhallinjärjestelmää. Kanavoidussa ilmanvaihtojärjestelmässä ilmanjako tilassa toteutetaan kanavistolla ja päätelaitteilla. Mitoitusilmamäärät kasvavat moottoriajoneuvosuojissa helposti suuriksi, josta johtuen myös ilmanvaihtokanavien dimensiot ovat suuria, josta voi aiheutua tilankäytöllisiä ongelmia. Suuntapainepuhallinjärjestelmässä ilmanjako tilassa toteutetaan suuntapainepuhaltimien tuottamalla voimakkaalla ilmasuihkulla, ja suuntapainepuhaltimet ovat itsessään vähän tilaa vieviä. Työssä tutkitaan näiden kahden eri järjestelmän toteutus- ja käyttökustannuksia, toimintaperiaatteita sekä pohditaan järjestelmien tilantarpeen vaikutusta rakennuskustannuksiin.

Työssä perehdytään moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdolle asetettuihin vaatimuksiin, ja ilmanvaihdon mitoitusperiaatteisiin. Työssä pohditaan myös, että miten Suomessa yleistyvät sähkö- ja hybridautot voivat vaikuttaa moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon toteutukseen.

Opinnäytetyö on tehty Granlund Tampere Oy:lle. Työn referenssikohteena käytetään Tampereen yliopistollisen sairaalan moottoriajoneuvosuoja. Kohteen ilmanvaihto on toteutettu suuntapainepuhallinjärjestelmällä, mutta kohteeseen on myös ollut suunnitteilla kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä. Referenssikohteen toteutuneiden ja suunniteltujen ratkaisujen avulla työssä pyritään määrittämään järjestelmien käytöstä ja rakentamisesta koituvia kustannuksia.

2 MOOTTORIAJONEUVOSUOJAN ILMANVAIHTO

Ilmanvaihdon tehtävä yleisesti on tuoda puhdasta ilmaa rakennukseen hengitystä varten, ja poistaa rakennuksessa syntyvät epäpuhtaudet. Näitä epäpuhtauksia ovat muun muassa hengityksen seurauksena keuhkoissa syntyvä hiilidioksidi ja kosteus. (Sisäilmayhdistys ry n.d.).

Moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon suunnittelu eroaa tavanomaisesta asuinrakennuksen ilmanvaihdon suunnittelusta siten, että moottoriajoneuvosuojan sisäilman epäpuhtauskuormat ovat suurempia ajoneuvojen tuottamien pakokaasupäästöjen vuoksi.

Moottoriajoneuvosuojissa tarvittavan ilmanvaihdon tarpeen määrittää sisäilman hiilimonoksidipitoisuus sekä muut ajoneuvojen tuottamat epäpuhtaudet. Hiilimonoksidia käytetään yleensä mitoittavana tekijänä, koska se on epäpuhtauksista merkittävin määränsä puolesta, ja sen on voitu olettaa korreloivan riittävällä tarkkuudella myös muiden epäpuhtauksien määrään. Ilmanvaihdon mitoituksessa tulee myös huomioida sisäilman kosteuden hallinta, sillä liian korkea sisäilman kosteus voi aiheuttaa sisään ajavien ajoneuvojen tuulilasien huurtumista. (Ympäristöministeriö 2018).

2.1 Asetukset moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon toteutuksesta

Moottoriajoneuvosuojien ilmanvaihto tulee toteuttaa siten, etteivät ajoneuvojen aiheuttamat epäpuhtaudet aiheuta terveydellistä haittaa suojan käyttäjille. Jos moottoriajoneuvosuoja on rakennettu osaksi muuta rakennusta, tulee moottoriajoneuvosuojan olla alipaineinen muuhun rakennukseen nähden. Moottoriajoneuvosuojan tuloilmana voidaan käyttää rakennuksen muista osista tuotua siirtoilmaa. (Ympäristöministeriö 2018).

Moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon ilmavirrat on mitoitettava siten, että hiilimonoksidin keskiarvopitoisuus ei ylitä arvoa 35 mg/m^3 (30 ppm) kriittisimmäksi arvioituna käyttötuntina. Jos moottoriajoneuvosuojassa on alueita, joissa työskennellään jatkuvasti, on arvo vastaavasti 7 mg/m^3 (6 ppm). (Ympäristöministeriön asetus 1009/2017).

2.2 Neliöpohjainen ilmamäärien mitoitus

Moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihto voidaan mitoittaa neliöpohjaisilla vähimmäisarvoilla, kun epäpuhtauskuormitusta ei tunneta. Neliöpohjaiset vähimmäisilmamäärät, joilla epäpuhtauskuormat saadaan poistettua tilasta, on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Vähimmäisilmamäärät

| Ajojen lukumäärä | Ilmamäärä |
|------------------|---|
| 1 | 0,9 (dm ³ /s)/m ² |
| 2-4 | 2,7 (dm ³ /s)/m ² |
| n ≥ 4 | n x 0,9 (dm ³ /s)/m ² |

Taulukossa 1. esitetyllä ajojen lukumäärällä tarkoitetaan ajojen määrää autopaikkaa kohden vuorokauden vilkkaimman 8 tunnin aikana. (Ympäristöministeriö 2018).

2.3 Epäpuhtauskuorman perustuva ilmamäärien mitoitus

Kun moottoriajoneuvosuojan epäpuhtauskuormat voidaan arvioida, voidaan vähimmäisilmavirta mitoittaa epäpuhtauskuormien mukaan. Tällä menetelmällä mitoitetut ilmavirrat tulee esittää ja hyväksyttää paikallisella rakennusviranomaisella. Epäpuhtauskuorman perustuvalla mitoituksella suunnitellun moottoriajoneuvosuojan tulee täyttää seuraavat kriteerit moottoriajoneuvosuoja ilmanvaihdon mitoituksen oppaan mukaan:

- Moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon mitoitus on raportoitu perusteellisesti, ja raportissa esitetään, että miten poikkeustilanteisiin on varauduttu
- Moottoriajoneuvosuojan tasoihin asennetaan vähintään 3 kappaletta hiilidioksidipitoisuutta mittaavaa anturia, kuitenkin vähintään 1 anturi / 500 m²
- Ilmanvaihtoa tulee toimia hallitusti kaikissa käyttötilanteissa, sekä sitä tulee pysyvä ohjaamaan kunkin ilmanvaihtokoneen palvelualueen korkeimman mittausarvon perusteella
- Jos moottoriajoneuvosuoja ei ole nimettyjä paikkoja, tulee moottoriajoneuvosuoja olla nykyaikainen liikenneohjausjärjestelmä. Liikenneohjausjärjestelmä helpottaa vapaan parkkipaikan löytymistä, ja sillä voidaan estää moottoriajoneuvosuojaan ajo ruuhkatilanteissa.

- Jos hiilimonoksidin pitoisuus nousee yli hälytysarvon (70 ppm), tulee sisäänajo moottoriajoneuvosuojaan pystyä estämään
- Jos hiilimonoksidin pitoisuus nousee yli HTP15-arvon 87 mg/m³ (75 ppm), tulee oleskelu moottoriajoneuvosuojaassa pystyä estämään

Epäpuhtauskuormiin perustuvalla mitoitusmenetelmällä voidaan päästä huomattavasti pienempiin ilmajäätöihin kuin neliöpohjaisella menetelmällä. (Ympäristöministeriö 2018).

Granlund Oy on tehnyt selvityksen autopaikeutushallien ilmanvaihdon mitoituksesta epäpuhtauskuormituksen perusteella kohteeseen pääkaupunkiseudulla. Selvityksen yhteenvedossa todetaan, että parhaimmillaan tarvittava ilmamäärä voi olla 30–40% ohjeellisesta neliöpohjaisella mitoituksella saadusta ilmamäärästä. Tarvittavan ilmamäärän vähäisempi määrä perustuu moottoriajoneuvosuojan sisälämpötilaan, ja sitä kautta lämpötilan vaikutukseen ajoneuvon kylmäkäynnistyksessä syntyviin päästöihin.

2.4 Autokannan käyttövoiman muutoksen vaikutus ilmanvaihtoon

Moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon mitoitus perustuu yleisesti ajoneuvon pakokaasupäästöihin, ja niiden poistamiseen tilasta. Autokannan muuttuessa pois fossiilisia polttoaineita käyttävistä henkilöautoista sähköisiin tai hybridautoihin, muuttuvat myös haitallisten pakokaasujen määrä moottoriajoneuvosuojaissa.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficomien tilastojen mukaan vuosien 2008-2018 aikana bensiiniautojen lukumäärä suomessa on pysynyt suuruusluokaltaan samana, kun taas dieselautojen määrä on lähes tuplaantunut. Merkittävämpänä muutoksena on sähköautojen sekä hybridautojen, eli sähköllä ja fossiilisella polttoaineella toimivien autojen lukumäärän kasvu. Suomessa tieliikennekäytössä olevien henkilöautojen lukumäärät käyttövoiman mukaan on taulukoituna taulukossa 2. (Traficom n.d).

TAULUKKO 2. Henkilöautojen määrä käyttövoimittain

| Liikennekäytössä olevat henkilöautot käyttövoimittain | | | | |
|--|-----------|---------|-------|----------------|
| Vuosi | Bensiini | Diesel | Sähkö | Bensiini/sähkö |
| 2008 | 2 029 546 | 419 836 | 7 | 3 |
| 2009 | 1 991 556 | 457 541 | 13 | 6 |
| 2010 | 1 979 667 | 505 627 | 23 | 17 |
| 2011 | 1 977 205 | 553 318 | 56 | 20 |
| 2012 | 1 966 197 | 590 349 | 109 | 152 |
| 2013 | 1 951 873 | 619 554 | 169 | 263 |
| 2014 | 1 940 374 | 650 414 | 360 | 492 |
| 2015 | 1 927 389 | 678 780 | 614 | 937 |
| 2016 | 1 914 741 | 705 842 | 844 | 2 264 |
| 2017 | 1 922 859 | 731 893 | 1 449 | 5 214 |
| 2018 | 1 920 510 | 750 603 | 2 404 | 12 061 |

Traficomien tilastojen mukaan ensirekisteröityjen henkilöautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt grammoina kilometriä kohden on bensiiniautoilla 118,5 g/km, dieselautoilla 130,4 g/km, sähköautoilla 0,0 g/km ja bensiinillä ja sähköllä toimivalla hybridiautoilla 48,6 g/km. (Traficom. 2019.)

Tilastoista voidaan päätellä, että vähäpäästöisempien ajoneuvojen määrä Suomessa tulee kasvamaan tulevaisuudessa merkittävästi. Tätä päätelmää tukee myös valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuodelle 2030, jossa linjataan, että liikenteen päästöjä tulisi vähennetään vuoteen 2030 mennessä noin 50 prosenttia vuoden 2005 tasoon verrattuna. (Valtioneuvosto 2016.)

Sähköautojen yleistyminen vaikuttaa myös moottoriajoneuvosuojien paloturvallisuuteen. Turvallisuus- ja kemikaaliviraston Tukesin rahoittaman tutkimuksen mukaan litiumionakkujen, eli li-akkujen määrä Suomessa kasvaa nimenomaan sähköisen liikenteen lisääntyessä. Li-akuilla on perinteisiin lyijyakkuihin verrattuna moninkertainen energiatiheys, ja ne on siitä syystä kasvava käyttökohde ajoneuvojen käyttövoima-akkuina. Korkea energiatiheys, ja akun muut ominaisuudet lisäävä myös niihin liittyviä paloriskejä.

Li-akkuihin liittyviä riskejä tulipalojen lisäksi ovat sähköiskut ja kemikaaliset riskit, mutta näistä merkittävin on tulipaloriski. Tulipaloriski perustuu thermal runaway- ilmiöön, eli lämpökarkaamiseen. Lämpökarkaamisella viitataan akun kemikaalien hajoamiseen, syttymiseen ja voimakkaaseen paloon lämpötilan noustessa.

Li-akkujen syttyminen voi johtua useasta eri syystä, joista moottoriajoneuvuojaympäristössä merkittävimmät ovat:

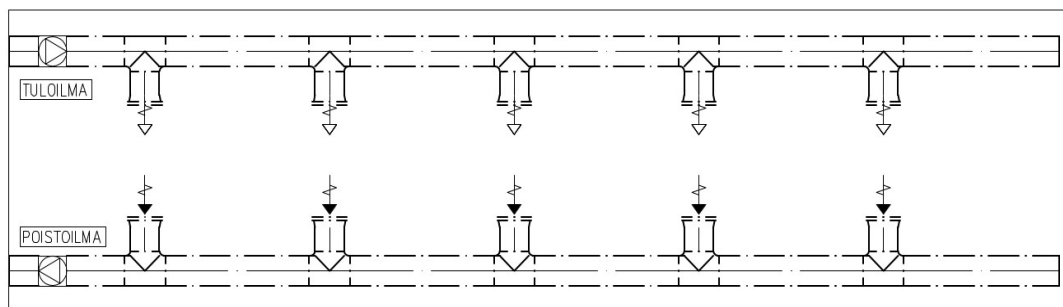
- Akun kolhiminen, tärinä tai akun läpäisy vieraalla esineellä
- Tulipalo, tai muusta syystä johtuva korkea lämpökuorma
- Akun lataaminen pakkasella
- Akun varauksen purkaminen kokonaan

Myös hyvin suuri määrä varastoituja li-akkuja voisi saattaa kohteen kemikaaliluvan piiriin niiden sisältämien vaarallisten aineiden määrän perusteella, mutta Suomessa tästä ei ole käytäntöä. (Gaia Consulting 2017).

Tulevaisuudessa moottoriajoneuvosuojien suunnittelussa tulee siis kiinnittää huomiota asioihin, joihin vielä ei ole välttämättä tarvinnut. Pienemmät pakokaasupäästöt vaikuttavat tarvittavaan normaalin ilmanvaihdon määrään, kun sähköautojen akustojen paloturvallisuusriskit voivat aiheuttaa haasteita rakennuksen paloturvallisuusmääräysten täyttämässä.

3 KANAVOITU ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ

Moottoriajoneuvosuojissa käytetään yleisesti aina sekoitusperiaatteella toimivaa ilmanvaihtoa, jotta riittävä ilman vaihtuvuus toteutuu joka kohdassa tilaa. Ilmanvaihto voidaan toteuttaa joko kanavoinneilla ja hajottimilla, jotka suunnitellaan niin, että ilman vaihtuvuus joka osassa tilaa toteutuu. (Sandberg 2014. 532). Kuvassa 1 on esitetty kanavoidun ilmanvaihdon periaatekaavio, ja kuvassa 2 on esitetty osa tuloilmakanavistoa ja tuloilmahajottajia.

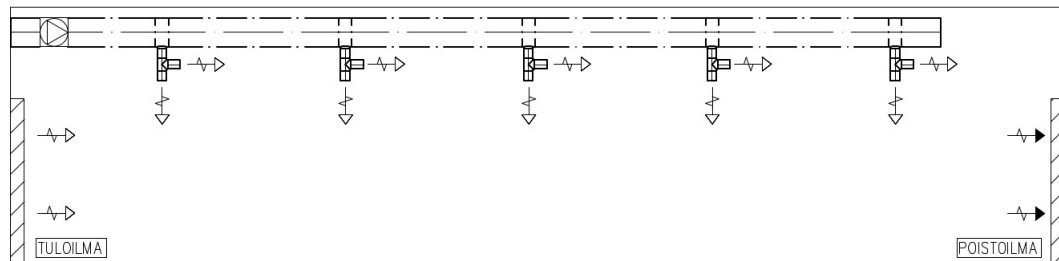


KUVA 1. Kanavoidun ilmanvaihdon periaatekaavio



KUVA 2. Tuloilmakanava ja tuloilmahajottajat

Toinen yleisesti käytetty tapa toteuttaa ilmanvaihto moottoriajoneuvosuojassa on suutinkanavajärjestelmä, jossa ilman sekoittamiseen ja siirtämiseen on erillinen suutinkanavisto, jonka kautta ilmaa puhalletaan tilaan. Suutinkanaviston kautta tilaan puhallettu ilmavirta on suhteellisen pieni, ja pääilmavirta tilaan johdetaan tilan toisesta päästä tuloilmasäleköiden kautta, ja poistetaan toisesta päästä esimerkiksi imukartioita käyttäen. Tämä järjestelmä on tunnettu tuotenimellä Dirivent. (Sandberg 2014, 532–533). Kuvassa 3 on esitetty suutinkanavajärjestelmän periaatekaavio.



KUVA 3. Suutinkanavajärjestelmän periaatekaavio

3.1 Savunpoisto

Savunpoisto rakennuksessa voidaan toteuttaa painovoimaisena sekä koneellisena. Painovoimainen savunpoisto toteutetaan savunpoistoluukuilla tai ikkunoilla. Koneellisessa savunpoistossa palossa syntyvät kaasut poistetaan tilasta savunpoistopuhaltimien ja kanaviston avulla. Koneellista savunpoistoa käytetään yleensä tiloissa, joissa luonnollinen savunpoisto ei ole mahdollista, tai savunpoisto tarvitsee lisäkanavointia. Tällaisia kohteita ovat yleensä monikerroksiset rakennukset ja maanalaiset tilat. (Sandberg 2014. 377).

Kun moottoriajoneuvosuojan savunpoisto toteutetaan koneellisella savunpoistojärjestelmällä, voidaan yleisilmanvaihdon puhaltimia ja kanavistoa käyttää myös savunpoiston tarkoitukseen. Tällainen järjestelmän toimivuus sekä tekniset ratkaisut tulee suunnitella siten, että järjestelmä täyttää normaalille ilmanvaihdolle ja savunpoistolle asetetut vaatimukset. (FläktGroup 2012b).

Savunpoistojärjestelmä ja ilmanvaihtojärjestelmä voidaan myös rakentaa erikseen rinnakkaisina järjestelminä. Korvausilman saanti palotilanteessa tulee turvata, ja tähän tarkoitukseen tilaan voidaan tarvita erillisiä korvausilmapuhaltimia. Sandberg 2104. 533).

3.2 Ilmanvaihdon ohjaus

Moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihtoa voidaan ohjata tarpeenmukaisesti ilmanlaatua pi-laavien pakokaasupäästöjen mukaan. Näitä päästöjä ovat:

- Typenoksidit (NO_x)
- Hiukkaset (PM)
- Hiilimonoksidi (CO)
- Hiilivedyt (HC)

(Sandberg 2014. 531).

Ilmanvaihdon ohjaus perustuu kuitenkin yleensä hiilimonoksidipitoisuuteen, koska sen pitoisuus ilmassa oletetaan olevan suurin. Anturit asennetaan paikkoihin, joissa ilman hiilimonoksidipitoisuus arvioidaan olevan korkeimmillaan, yleensä ajoreittien ja ajoluiskien läheisyyteen. Anturien ja ilmanvaihtojärjestelmän toimivuus tulee varmistaa toimintako-keilla, viritys- ja säätötoimenpiteillä sekä koekäytöllä erilaisissa käyttötilanteissa. Käyt-tötilanteessa anturien mittatarkkuuden tulee olla $\pm 2\%$ hiilimonoksidin mitoitavasta pi-toisuudesta 35 mg/m^3 (30 ppm). Antureiden kalibrointi tulee suorittaa vähintään kerran vuodessa, ja kalibrointitodistus liitetään rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeeseen. (Ym-päristöministeriö 2018).

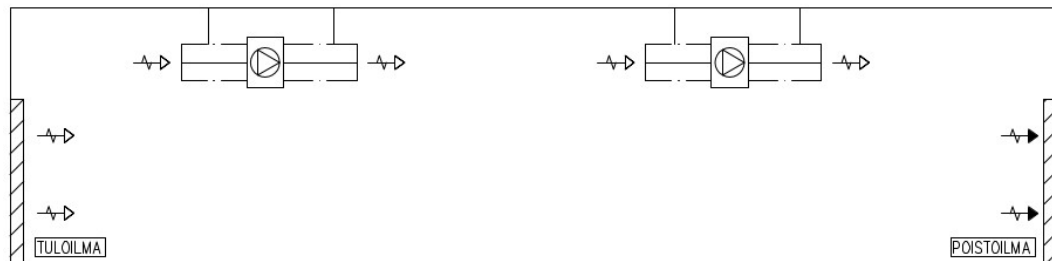
Kuvassa 4 on esitetty Proidualin valmistamat anturit hiilimonoksidi ja hiilidioksidipitoi-suuksien mittaamiseen.



KUVA 4. Hiilidioksidi- ja hiilimonoksidianturi

4 SUUNTAPAINEPUHALLINJÄRJESTELMÄ

Suuntapainepuhallinjärjestelmän pääperiaate on, että tuloilma-aukon kautta tuloilmapuhaltimella johdetaan rakennukseen puhdasta ilmaa, joka johdetaan rakennuksessa suuntapainepuhaltimien avulla koko rakennuksen läpi poistoilma-aukolle, josta poistoilmapuhallin johtaa epäpuhtaan ilman ulkoilmaan. Kuvassa 5 on esitetty suuntapainepuhallinjärjestelmän periaatekaavio.



KUVA 5. Suuntapainepuhallinjärjestelmän periaatekaavio

Optimaalitulanteessa tulo- ja poistoilma-aukot sijaitsevat rakennuksen vastakkaisilla seinillä, tila on symmetrisen muotoinen ja tilassa on vähän virtausta häiritseviä osia kuten palkkeja ja pilareita. Tällöin ilmavirtauksen ohjaus rakennuksen läpi suuntapainepuhaltimilla olisi yksinkertaista. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, joten suuntapainejärjestelmän suunnittelu tulee toteuttaa huolellisesti. Suuntapainepuhallinjärjestelmän suunnittelussa käytetään yleisesti CFD-mallinnusta, jonka avulla tarvittava suuntapainepuhaltimien lukumäärä ja sijainti voidaan määrittää.

Suuntapainepuhaltimia voidaan käyttää moottoriajoneuvosuojan normaalin ilmanvaihtotilanteen sekä savunpoistotilanteen toteutukseen, käyttäen samoja suuntapainepuhaltimia. (Sandberg 2014. 533).

4.1 Suuntapainepuhaltimet

Suuntapainepuhaltimet ovat aksiaalipuhaltimia, joiden siiven poikkileikkaus on symmetrinen, joka mahdollistaa ilmavirran puhalluksen molempiin suuntiin hyvällä hyötysuhteella. Suuntapainepuhallin asennetaan tilan kattoon, ja sen tuottama voimakas ilma-suihku liikuttaa ilmamassan haluttuun suuntaan.

Suuntapainepuhaltimilla korvataan kanavisto, jolla ilma on perinteisesti johdettu haluttuihin pisteisiin moottoriajoneuvosuojassa. (Sandberg 2014. 151, 162–163). Suuntapainepuhallin asennettuna kuvassa 6.



KUVA 6. Suuntapainepuhallin asennettuna

4.2 Suuntapainepuhaltimien ohjaus

Kuten kanavoitua ilmanvaihtojärjestelmää, myös suuntapainepuhallinjärjestelmää voidaan ohjata ilmanlaatua pilaavien epäpuhtauksien perusteella. Anturit sijoitetaan tilaan niin, että alueet, jossa suurimmat epäpuhtauspitoisuudet esiintyvät, tunnistetaan. Säätojärjestelmä ohjaa oikeat puhaltimet poistamaan epäpuhtaan ilman haluttuun poistopisteeseen.

Suuntapainepuhallinjärjestelmä voi perustua myös pinta-alapohjaiseen ilmamäärien mitoitukseen, jolloin puhaltimet käyvät jatkuvasti, toteuttaen halutun ilmanvaihdon tilassa. (FläktGroup 2012a).

4.3 Savunpoistotilanne

Suuntapainepuhallinjärjestelmää voidaan käyttää tilan savunpoiston tarkoitukseen. Suuntapainepuhallinjärjestelmällä estetään savun virtaus suojattavalle alueelle, kuten moottoriajoneuvosuojaan tai sen osaan. Suuntapainepuhaltimet ohjaavat savun savunpoistoaukoille, josta erilliset savunpoistopuhaltimet ohjaavat savun ulkoilmaan.

Suuntapainepuhallinlaitteistolla voidaan luoda tilaan savuttomia vyöhykkeitä, helpottaen palokunnan pääsyä palon alkulähteelle. Suuntapainepuhaltimilla voidaan myös pitää poistumisreitit savuttomina, jolloin poistuminen tilasta on turvallista. (RIL 232-2012. 23).

Suuntapainepuhallukseen perustuvassa savunpoistossa on tärkeää järjestää suuntapaineputhalmien aikaansaaman savuvirtauksen vastaava savunpoisto- ja korvausilmavirta. (RIL 232-2012. 148.)

Savunpoiston suuntapainepuhallinlaitteisto koostuu seuraavista osista:

- Suuntapaineputhalmimet
- Savun leviämistä rajoittavat rakenteet
- Savunpoistopuhaltimet
- Savunpoisto- ja korvausilmakanavoinnit
- Korvausilma-aukot tai puhaltimet

(RIL 232-2012. 23).

4.4 CFD-simulointi

Numeerista virtauslaskentaa, eli CFD- mallinnusta käytetään yleisesti, kun yksinkertaiset laskentamenetelmät kuten taulukkolaskenta eivät riitä kuvaamaan tarkasteltavan tilan ilmapvirtauksia ja olosuhteita riittävän yksityiskohtaisesti. CFD-mallinnuksella voidaan tarkastella kaikkia tilan ilmapvirtauksiin vaikuttavia fysikaalisia tekijöitä samanaikaisesti,

ja tämän vuoksi sen avulla voidaan ymmärtää tilan virtausilmiöiden keskinäistä vaikutusta toisiinsa. Huonevirtauskenttä koostuu monista virtausilmiöistä, esimerkiksi tilan lämpötilakerrostuma vaikuttaa ilmasuihkujen käyttäytymiseen, ja ilmasuihkut vaikuttavat puolestaan lämpötilakerrostumiin. (Sandberg 2014. 402).

Moottoriajoneuvosuojassa huonevirtauskenttään fysikaalisten ilmiöiden lisäksi vaikuttavat muun muassa suuntapainepuhaltimien ilmasuihkun reitillä olevat rakenteet, kuten palakit, muut esteet sekä tilan muoto.

CFD-mallinnusohjelma laskee mallinnukseen tarvittavien massan, liikemäärän ja energian säilymisen differentiaaliyhtälöitä. Mallinnusohjelma ratkoo näitä algebrallisia yhtälöitä niin monta kertaa, että saavutetaan haluttu tarkkuustaso.

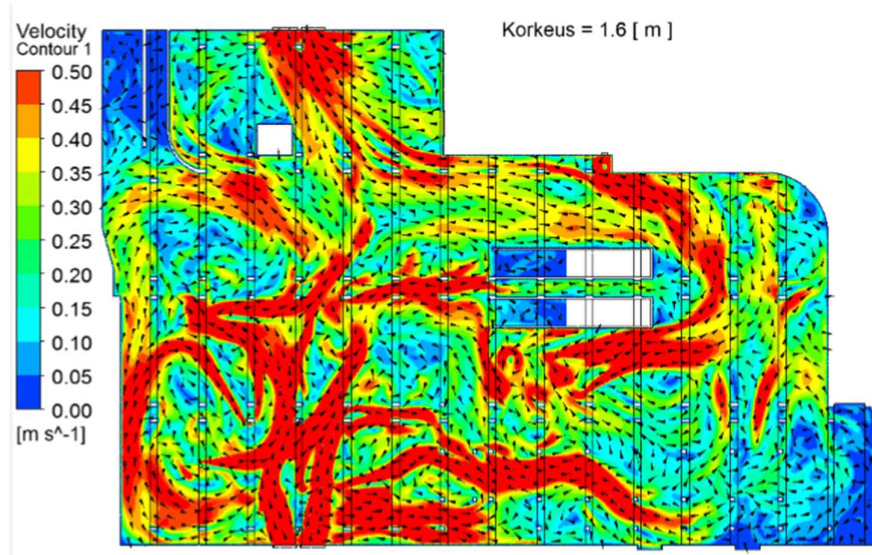
CFD-mallinnusohjelma mahdollistaa visualisointitasojen luomisen, jotka leikkaavat mallin kiinnostavia kohtia, jossa minkä tahansa määritetyn muuttujan, kuten ilman nopeuden, paineen ja nopeuden vektorit voidaan näyttää. Malliin voidaan vapaasti lisätä hiukkaslähteitä, jotka vapauttavat malliin hiukkasia joiden liikettä voidaan simuloinnin avulla seurata. Näin ilman liikettä mallissa pystytään seuraamaan, ja tämän avulla tarvittavien suuntapainepuhaltimien sijainti ja lukumäärä määrittämään.

CFD-mallinnuksen vaiheet yleisesti moottoriajoneuvosuojan suuntapainepuhallinjärjestelmän suunnittelussa ovat:

- Mallinnettavan tilan geometria määritellään
- Mallinnus toteutetaan aluksi pelkästään pääpuhaltimilla, jotta tunnistetaan suurimmat ilmavirtausreitit tuloilmapisteiltä poistoilmapisteisiin
- Malliin sijoitetaan suuntapainepuhaltimia niin, että ilma vaihtuvuus varmistuu koko tilassa
- Hankkeelle tuotetaan yksityiskohtainen raportti tuloksista, jossa esitetään esimerkiksi tilan ilmavirtausten nopeudet ja suunnat

(FläktGroup Oy n.d.).

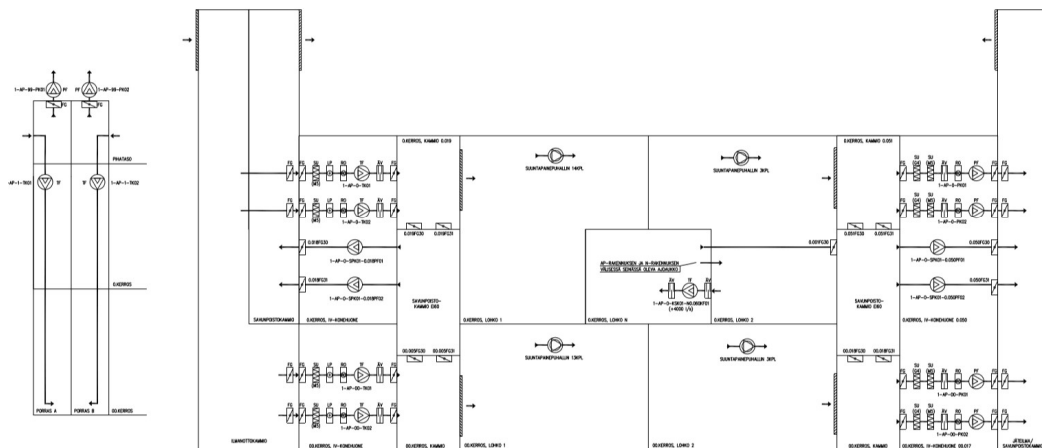
Kuvassa 7 on esitetty opinnäytetyön esimerkkikohteen, Tampereen yliopistollisen sairaalan raporttiin liitetty kuva, joka havainnollistaa ilman nopeutta ja suuntaa tilassa 1.6 metrin korkeudessa. Tällaisia kuvia voidaan luoda useista erilaisista tilanteista ja eri kohdista tilaa.



KUVA 7. Tilan ilmvirtauksien nopeus ja suunta

5 TAYS MOOTTORIAJONEUVOSUOJAN ILMANVAIHTO

Opinnäytetyössä tarkasteltava kohde on Tampereen yliopistollisen sairaalan moottoriajoneuvosuoja, joka koostuu kahdesta kerroksesta. Kohteen ilmanvaihto on toteutettu tulo- ja poistoilmakoneilla, ja ilman siirto tilassa suuntapainepuhallinjärjestelmällä. Suuntapainepuhallimia kohteessa on yhteensä 33 kappaletta, joista 17 kappaletta sijaitsee moottoriajoneuvosuojan 0. kerroksessa ja 16 kappaletta 00. kerroksessa. Tulo- ja poistoilmanvaihtokoneita rakennuksessa on yhteensä neljä kappaletta, kaksi molemmissa kerroksissa. Kuvassa 8 ja liitteessä 1 on esitetty kohteen ilmanvaihdon periaatekaavio.



KUVA 8. Ilmanvaihdon periaatekaavio

Suuntapainepuhallinjärjestelmässä perusilmanvaihto voi olla päällä jatkuvasti, tai ilmanvaihdolle voi antaa käyntiluvan kellolla, jolloin ilmanvaihto käynnistyy. Kerrosta palvelevat suuntapainepuhallitimet eivät käynnisty aikaohjauksesta vaan tarpeenmukaisesti hiilimonoksidi-, hiilidioksidi ja typpimonoksidimittausten perusteella. Raja-arvon 1 ylityessä kerroksen ilmanvaihtoon osallistuvat suuntapainepuhallitimet käynnistyvät puolella teholla. Raja-arvolla 2 suuntapainepuhallitimet käyvät edelleen puolella teholla, mutta tulo- ja poistoilmanvaihtokoneet siirtyvät käymään maksimiasetusarvolla. Taulukossa 3 on esitetty mitattujen pitoisuuksien raja- ja hälytysarvot.

TAULUKKO 3. Pitoisuuksien raja-arvot

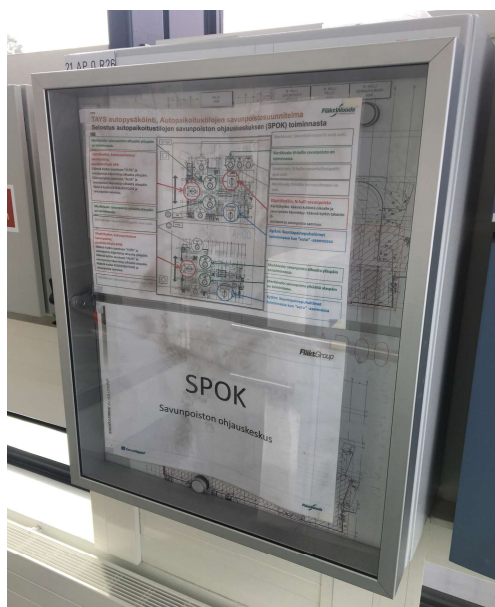
| | Raja-arvo 1, ppm | Raja-arvo 2, ppm | Hälytys, ppm |
|-----------------|------------------|------------------|--------------|
| CO | 25 | 45 | 70 |
| CO ₂ | 500 | 800 | 1200 |
| NO ₂ | 3 | 5 | 6 |

5.1 Suunnittelun lähtötiedot

Mitoitusilmamäärä rakennuksen 00. kerroksessa on $2,0 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$, ja 00. kerroksessa $3,6 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Pysäköintihalli on suunniteltu puolilämpimäksi tilaksi, jossa lämpötila pidetään vähintään $+5 \text{ °C}$ asteessa. Ilmanvaihtokoneita ei ole varustettu lämmön talteenotolla.

5.2 Savunpoisto

Rakennus on varustettu koneellisella savunpoistojärjestelmällä. Erilliset savunpoistopuhaltimet on sijoitettu rakennuksen ilmanvaihtokonehuoneisiin, ja ne toimivat joko savunpoisto- tai korvausilmapuhaltimina. Savunpoistotilanteessa moottoriajoneuvosuojassa oleva savu ohjataan suuntapainepuhaltimilla lähimmän poistoilma-aukon luokse. Savunpoisto käynnistetään savunpoiston ohjauskeskuksesta, jolloin tulo- ja poistoilmanvaihtokoneet sekä ilmanvaihdon suuntapainepuhaltimet pysähtyvät. Kuvassa 9 on esitetty savunpoiston ohjauskeskus.



KUVA 9. Savunpoiston ohjauskeskus

6 JÄRJESTELMIEN KÄYTTÖKUSTANNUKSET

Normaalissa ilmanvaihdon tilanteessa ilmanvaihtojärjestelmien käyttökustannukset koostuvat tulo- ja poistoilmakoneiden puhaltimien käyttämästä sähköenergiasta, sekä suuntapainepuhaltimien käyttämästä sähköenergiasta. Savunpoistotilanteessa näiden laitteiden sijaan käyvät savunpoisto- ja korvausilmapuhaltimet sekä savunpoiston suuntapainepuhaltimet. Tässä työssä on tutkittu järjestelmien sähköenergian kulutusta normaalin ilmanvaihdon tilanteessa. Järjestelmän todellisia käyttökustannuksia on vaikea arvioida, koska kohteen ilmanvaihto toimii tarpeenmukaisesti. Käyttökustannuksia tutkittaessa on oletettu, että rakennuksen ilmanvaihto toimii vuoden ympäri samalla teholla. Sähköenergian hintana on käytetty 0,08 €/kWh. (From J.)

Käyttökustannuksiin ei ole huomioitu ilman lämmittämisestä koituvia kuluja, koska vertailtavien järjestelmien ilmamäärät ovat samat, josta johtuen myös lämmittämisen kulut ovat samoja. Käyttökustannuksia tarkastellaan vain puhaltimien tarvitseman sähköenergian perusteella.

6.1 Suuntapainepuhallinjärjestelmä

Suuntapainepuhaltimien sähköenergian tarve on laskettu kertomalla puhaltimen teho käyttötunneilla. Rakennuksen suuntapainepuhaltimet ovat FläktGroupin valmistamia, malliltaan joko Standard JT315 tai Standard JT400. Suuntapainepuhaltimien tekniset tiedot on esitetty liitteessä 2. Normaalissa ilmanvaihtotilanteessa ilmanvaihtoon osallistuvat suuntapainepuhaltimet käyvät puolella teholla, kun taulukossa 3 esitetty raja-arvo 1 ylittyy. Sähköenergian tarvetta laskettaessa oletetaan, että raja-arvo 1 on ylittynyt rakennuksen molemmissa kerroksissa. Suuntapainepuhaltimien malli, teho ja vuotuinen sähköenergian tarve on taulukoituna taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Ilmanvaihdon suuntapainepuhaltimien sähköenergian tarve

| Suuntapainepuhallin | Malli | Teho | Käyttöaika | Sähköenergian |
|--------------------------|-------|----------------------------|-------------|---------------------|
| | | ilmanvaihtotilanteessa, kW | vuodessa, h | tarve vuodessa, kWh |
| 00. kerros | | | | |
| 1-AP-0-SPK01-00.001KF100 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-00.001KF108 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-00.001KF113 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-00.001KF111 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-00.001KF110 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-00.001KF109 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-00.001KF115 | JT31 | 0.09 | 8760 | 788 |
| 1-AP-0-SPK01-00.001KF114 | JT31 | 0.09 | 8760 | 788 |
| 1-AP-0-SPK01-00.001KF103 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-00.001KF104 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 0. kerros | | | | |
| 1-AP-0-SPK01-0.001KF107 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-0.001KF108 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-0.001KF109 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-0.001KF110 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-0.001KF113 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-0.001KF112 | JT40 | 0.17 | 8760 | 1489 |
| 1-AP-0-SPK01-0.001KF114 | JT31 | 0.09 | 8760 | 788 |
| Yhteensä | | | | 23 214 kWh |

Kertomalla suuntapainepuhaltimien sähköenergian tarve vuodessa sähköenergian hinnalla, saadaan järjestelmän vuotuiseksi käyttökustannukseksi suuntapainepuhaltimien osalta 1 900 €.

Tulo- ja poistoilmanvaihtokoneina on käytetty FläktGroup Oy:n valmistamia eQL-moduulirakenteisia ilmanvaihtokoneita, ja puhaltimien paineenkorotukseksi on arvioitu 100 Pa. Ilmanvaihtokoneiden puhaltimien sähköenergian tarve on arvioitu käyttämällä konevalmistajan mitoitusohjelmaa. Taulukossa 5 on esitetty ilmanvaihtokoneiden vuotuinen sähköenergian tarve.

TAULUKKO 5. Ilmanvaihtokoneiden sähköenergian tarve

| Ilmanvaihtokone eQL-62 | Ilmavirta | | Puhaltimien käyttöaste, % | Paineen nosto, Pa | | Käyttötunnit vuodessa, h | Sähköenergian tarve vuodessa, kWh |
|---------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|--------|-----------------------------|--------------------------------------|
| | Tuloilmavirta, m3/s | Poistoilmavirta, m3/s | | Tulo | Poisto | | |
| 00. kerros | | | | | | | |
| 1-AP-00-TK01 | 10 | 10 | 50 | 100 | 100 | 8760 | 13 818 |
| 1-AP-00-TK02 | 10 | 10 | 50 | 100 | 100 | 8760 | 13 818 |
| 1-AP-00-PK01 | 10 | 10 | 50 | 100 | 100 | 8760 | 14 801 |
| 1-AP-00-PK02 | 10 | 10 | 50 | 100 | 100 | 8760 | 14 801 |
| Ilmanvaihtokone eQL-82 | | | | | | | |
| 0. kerros | | | | | | | |
| 1-AP-0-TK01 | 17 | 17 | 50 | 100 | 100 | 8760 | 25 488 |
| 1-AP-0-TK02 | 17 | 17 | 50 | 100 | 100 | 8760 | 25 488 |
| 1-AP-0-PK01 | 17 | 17 | 50 | 100 | 100 | 8760 | 27 489 |
| 1-AP-0-PK02 | 17 | 17 | 50 | 100 | 100 | 8760 | 27 489 |
| Yhteensä | | | | | | | 163 192 kWh |

Kertomalla ilmanvaihtokoneiden puhaltimien sähköenergian tarve vuodessa sähköenergian hinnalla, saadaan vuotuiseksi käyttökustannukseksi 13 100 €.

6.2 Kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä

Kanavoidun ilmanvaihtojärjestelmän käyttökustannukset koostuvat tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutuksesta. Kanavoidussa järjestelmässä ilmanvaihtokoneiden puhaltimien paineenkorotus on suurempi kuin suuntapainepuhallinjärjestelmässä, koska kanavistosta aiheutuu painehäviöitä. Puhaltimien paineenkorotukseksi on arvioitu 300 Pa.

Tulo- ja poistoilmanvaihtokoneina on käytetty FläktGroupin valmistamia eQL-moduulirakenteisia ilmanvaihtokoneita. Kanavoidussa järjestelmässä olisi tullut käyttää suurempaa konekokoja kuin suuntapainepuhallinjärjestelmässä, jotta ilmanvaihtokoneet olisivat täyttäneet vaaditun SFP-tason. Taulukossa 6 on esitetty ilmanvaihtokoneiden vuotuinen sähköenergian tarve.

TAULUKKO 6. Ilmanvaihtokoneiden sähköenergian tarve

| Ilmanvaihtokone | Ilmavirta | | Puhaltimien käyttöaste, % | Paineen nosto, Pa | | Käyttötunnit vuodessa, h | Sähköenergian tarve vuodessa, kWh |
|-----------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|--------|-----------------------------|--------------------------------------|
| | Tuloilmavirta, m3/s | Poistoilmavirta, m3/s | | Tulo | Poisto | | |
| 00. kerros | | | | | | | |
| 1-AP-00-TK01 | 10 | 10 | 50 | 300 | 300 | 8760 | 14 395 |
| 1-AP-00-TK02 | 10 | 10 | 50 | 300 | 300 | 8760 | 14 395 |
| 1-AP-00-PK01 | 10 | 10 | 50 | 300 | 300 | 8760 | 16 386 |
| 1-AP-00-PK02 | 10 | 10 | 50 | 300 | 300 | 8760 | 16 386 |
| Ilmanvaihtokone | | | | | | | |
| eQL-84 | | | | | | | |
| 0. kerros | | | | | | | |
| 1-AP-0-TK01 | 17 | 17 | 50 | 300 | 300 | 8760 | 25 232 |
| 1-AP-0-TK02 | 17 | 17 | 50 | 300 | 300 | 8760 | 25 232 |
| 1-AP-0-PK01 | 17 | 17 | 50 | 300 | 300 | 8760 | 28 469 |
| 1-AP-0-PK02 | 17 | 17 | 50 | 300 | 300 | 8760 | 28 469 |
| Yhteensä | | | | | | | 168 964 kWh |

Kertomalla ilmanvaihtokoneiden puhaltimien sähköenergian tarve vuodessa sähköenergian hinnalla, saadaan vuotuiseksi käyttökustannukseksi 13 500 €.

6.3 Yhteenveto

Käyttökustannuksiltaan kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä on edullisempi ratkaisu. Suun-
tapaine puhallinjärjestelmän vuotuiset käyttökustannukset sähköenergian osalta ovat ver-
tailun mukaan ovat 15 000 €, kun taas kanavoidun ilmanvaihtojärjestelmän käyttökustan-
nukset ovat 13 500 €.

Käyttökustannusvertailu on kuitenkin teoreettinen, koska kustannuksia vertailtaessa on
tehty olettamuksia ilmanvaihdon käyntiajoista sekä ilmanvaihtokoneiden puhaltimien
paineenkorotuksista jotka vaikuttavat sähköenergian käyttöön. Todellisuudessa suunta-
paine puhaltimet käyvät epäpuhtausmittausten perusteella, joten aikoina, kun moottoriajo-
neuvosuojan käyttöaste on alhainen, voivat puhaltimet olla pois päältä. Sama pätee il-
manvaihtokoneiden ohjaukseen.

Eri tyyppisissä rakennuksissa käyttökustannukset määräytyvät tarvittavan ilmamäärän,
tarvittavan paineenkorotuksen ja rakennuksen käyttöaikojen ja käyttöasteen mukaan.
Tässä vertailussa oletettiin, että ilmanvaihto käy tietyllä teholla vuoden jokaisena päi-
vinä. Eri tyyppisissä rakennuksissa rakennusten aukioloajat vaikuttavat myös ilmanvaih-
don käyttökustannuksiin, kun moottoriajoneuvosuojaan ajo voi olla estetty tiettyinä päi-
vinä tai kellonaikoina.

7 JÄRJESTELMIEN TOTEUTUSKUSTANNUKSET

Tässä kappaleessa vertaillaan kanavoidun ilmanvaihtojärjestelmän ja suuntapainepuhallinjärjestelmän arvioituja toteutuskustannuksia Tampereen yliopistollisen sairaalan moottorijoneuvosuojassa. Kohteeseen on ollut suunnitteilla kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä, joka päätettiin korvata suuntapainepuhallinjärjestelmällä.

Järjestelmän toteutukseen tarvittavien laitteiden ja kanavistojen lisäksi kustannuksia syntyy järjestelmien tarvitseman tilan vuoksi. Yhtenä suuntapainepuhallinjärjestelmän etuna pidetään sen vähäistä tilantarvetta. Kanavoidun ilmanvaihdon runkokanavistojen dimensiot nousevat nopeasti suuriksi, kun tilan ilmanvaihtoon tarvitaan suuria ilmamääriä. Suuntapainepuhallinjärjestelmällä toteutettu ilmanvaihto ei yleensä tarvitse kanavointia tilassa lainkaan, ja suuntapainepuhaltimet ovat itsessään vähän tilaa vieviä.

7.1 Toteutuskustannukset

Ilmanvaihdon kustannusarvio perustuu 18.12.2014 tehtyyn kustannusvertailulaskelmaan, joka sisältää savunpoistoon tarvittavat kanavoinnit, laitteet sekä rakenteet. Kanavoidussa ilmanvaihtojärjestelmässä normaali ilmanvaihto sekä savunpoisto on toteutettu käyttäen samaa kanavistoa sekä päätelaitteita. Suuntapainepuhallinjärjestelmässä normaali ilmanvaihto toteutetaan käyttäen ilmanvaihtoon tarkoitettuja suuntapainepuhaltimia, jotka ovat sisällytetty kustannusarvioon. Esitetyt kustannukset ovat arvioita päiväyksen aikaisesta tilanteesta, eivätkä ne vastaa täydellisesti toteutuneita kustannuksia. Kustannusvertailua voidaan kuitenkin käyttää suuntaa antavana vertaillessa kahden eri järjestelmän toteutuskustannuksia. Arvioidut kustannukset on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Ilmanvaihtojärjestelmien kustannukset

| | |
|---|----------------|
| Kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä | €, alv 0% |
| Kanavisto | 480 000 |
| Savuseinät | 140 000 |
| Savunpoiston pääpuhaltimet | 10 000 |
| Yhteensä | 630 000 |
| Suuntapaine puhallinjärjestelmä | |
| | €, alv 0% |
| Simulointi ja mitoitus | 18 600 |
| Laitetoimittajan kustannusarvio | 325 000 |
| Ulospuhallushajottimet ja säleiköt | 6 000 |
| Yhteensä | 349 600 |
| | €, alv 0% |
| Erotus | 280 400 |

Laskelmassa esitetty laitettoimittajan kustannusarvio sisältää:

- Suuntapaine puhaltimet
- Savunpoiston pääpuhaltimet
- Ohjausautomaatiojärjestelmä
- Ohjausautomaation johdotukset
- Sähkön syöttökaapelit
- Laitteiden asennuksen ja käyttöönoton

Kustannusvertailuun ei ole sisällytetty ilmanvaihtokoneita, joilla normaalin ilmanvaihdon ilmavirta tilaan toteutetaan. Ilmanvaihtokoneiden budjettihinnat on esitetty taulukossa 8. Hinnat perustuvat FläktGroup Oy:n budjettihinta-arvioon. (Nyström J.)

TAULUKKO 8. Ilmanvaihtokoneiden hinnat

| Kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä | Konekoko | €, alv 0% |
|----------------------------------|----------|-----------|
| 1-AP-00-TK01 | eQL-64 | 61 200 € |
| 1-AP-00-TK02 | eQL-64 | 61 200 € |
| | | |
| 1-AP-0-TK01 | eQL-84 | 91 550 € |
| 1-AP-0-TK02 | eQL-84 | 91 550 € |
| | | |
| Yhteensä | | 305 500 € |
| | | |
| Suuntapainepuhallinjärjestelmä | Konekoko | €, alv 0% |
| 1-AP-00-TK01 | eQL-62 | 45 600 € |
| 1-AP-00-TK02 | eQL-62 | 45 600 € |
| | | |
| 1-AP-0-TK01 | eQL-82 | 79 800 € |
| 1-AP-0-TK02 | eQL-82 | 79 800 € |
| | | |
| Yhteensä | | 250 800 € |

7.2 Yhteenveto

Kustannusarvioiden mukaan suuntapainepuhallinjärjestelmän toteutus kohteeseen olisi 335 000 € edullisempi. Kustannusarvio sisältää molempien järjestelmien savunpoistoon sekä normaaliin ilmanvaihtoon tarkoitetut laitteet, kanavisto sekä ilmanvaihtokoneet. Savunpoiston kustannusarvio on sisältänyt järjestelmän muutokseen kanavoidusta järjestelmästä suuntapainepuhallinjärjestelmään liittyviä kustannuksia, mutta niitä ei huomioida tässä tarkastelussa. Kokonaiskustannusarviota voidaan pitää suuntaa-antavana kohteen ilmanvaihtojärjestelmien kustannuksista.

Eri tyyppisissä kohteissa toteutuksen kustannukset määräytyvät aina kohteen mukaan. Kanavoidussa ilmanvaihtojärjestelmässä tulo- ja poistoilma johdetaan kanavistolla haluttuihin pisteisiin, jotta tilan ilmanvaihto jokaisessa osassa tilaa voidaan varmistaa. Tällöin kustannukset koostuvat kanaviston kokonaispituudesta ja kohteen asettamista rajoituksista kanaviston koon kanssa, esimerkiksi voidaan joutua käyttämään suorakaidekanavaa pyöreään kanavan sijaan, jotta kanavisto saadaan toteutettua tilaan. Suorakaidekanava on pyöreään kanavaan verrattuna kalliimpaa, esimerkiksi halkaisijaltaan 800mm pyöreää ilmanvaihtokanavaa vastaa 800x600mm suorakaidekanava. Ilmastointitukun mukaan 800mm pyöreä ilmanvaihtokanava maksaa 55 €/m, kun 800x600mm suorakaidekanava maksaa 149 €/m. (Ilmastointitukku 2017.)

Suuntapainepuhallinjärjestelmässä tilan muoto ja esteet vaikuttavat tarvittuun suuntapainepuhallinmäärään, ja täten järjestelmän kustannuksiin. Yksinkertaisen muotoisessa tilassa tarvittava määrä suuntapainepuhallimia voi olla reilusti pienempi, kuin monimuotoisissa tiloissa. Suuntapainepuhallinjärjestelmällä vapaana oleva kattopinta-ala on suurempi, joka mahdollistaa muun tekniikan sijoittelun rakennukseen helpommin, ja parhaimmassa tapauksessa tarvittu kerroskorkeus voi olla kanavoitua järjestelmää matalampi. Tällaisessa tapauksessa kohteen rakennuskustannukset voivat olla huomattavasti pienempiä. Kohteen 00. kerroksen pinta-ala pysäköintihallin osuudelta on noin 9 100 m² ja 0. kerroksen 9 450 m². Kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä olisi vienyt kattopinta-alasta noin 1021 m² 0. kerroksen osalta ja 1107 m² 00. kerroksen osalta. Suuntapainepuhallinjärjestelmällä vie kattopinta-alasta vain 18 m² 0. kerroksessa ja 17 m² 00. kerroksessa

Rahallista arvoa tilan säästölle on vaikea määrittää, mutta voidaan olettaa, että vähemmän tilaa vievä suuntapainepuhallinjärjestelmä tulee rakennuskustannukseltaan halvemmaksi. Vähemmän tilaa vievä ilmanvaihtojärjestelmä mahdollistaa muun tekniikan, kuten sähkölaitteiden ja muiden LVI-järjestelmien helpomman sijoittelun tilaan. Kohteessa olisi täytynyt myös tehdä palkkien alituksia ilmanvaihtokanavilla, joka olisi vaikuttanut ajoneuvojen sallittuun korkeuteen tilassa.

Ilmanvaihtokoneiden ilmamäärä suuntapainepuhallinjärjestelmässä sekä kanavoidussa ilmanvaihtojärjestelmissä voi olla sama, mutta tarvittava paineenkorotus on yleensä kanavoidussa ilmanvaihdossa suurempi. Tästä johtuen tarvittava konekoko voi olla suurempi, josta syntyy lisäkustannuksia.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoitus oli perehtyä moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihtoon, sen suunnitteluperusteisiin sekä toteutustapoihin, ja tuottaa työn tilaajalle tietoa ilmanvaihtojärjestelmien käyttö- ja toteutuskustannuksista.

Työssä pohdittiin myös ajoneuvojen käyttövoiman muuttumisen vaikutusta moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihtoon. Tulevaisuudessa kasvava sähkö- ja hybridautojen määrä vaikuttaa moottoriajoneuvosuojissa esiintyviin pakokaasupäästöihin, ja tätä kautta tarvittuun ilmanvaihdon määrään normaalissa ilmanvaihtotilanteessa, kun pakokaasupäästöt ovat hyvin pieniä tai niitä ei ole laisinkaan. Tällaisessa tilanteessa normaalin ilmanvaihdon ilmamäärät voisivat olla nykyisiä huomattavasti pienempiä, jos ilmamäärien mitoitus perustuisi esimerkiksi henkilömäärään. Tämä vaatisi kuitenkin sen, että tilaan ei tulisi missään tapauksessa päästä ajoneuvoja, jotka tuottavat haitallisia epäpuhtauksia ilmaan.

Toteutuskustannuksiltaan kohteeseen toteutettu suuntapainepuhallinjärjestelmä oli huomattavasti edullisempi, ja käyttökustannuksiltaan kanavoitu ilmanvaihtojärjestelmä oli edullisempi. Käyttökustannuksia vertailtaessa tehtiin olettamuksia ilmanvaihdon käyntiajoista ja ominaisuuksista, jonka vuoksi vertailua voidaan pitää vain teoreettisena. Todelliset käyttökustannukset voitaisiin arvioida kohteesta, josta saataisiin toteutunutta dataa ilmanvaihdon käyntiajoista, sekä tiedettäisiin kanavoidun ilmanvaihdon todelliset painehäviöt. Käyttökustannuksiin ei sisällytetty ilman lämmittämisestä aiheutuvia kuluja, koska ne ovat samat molemmilla ilmanvaihtojärjestelmillä, ja työn tarkoituksena oli tarkastella ilmanvaihtojärjestelmien käyttökustannuksien eroa teoreettisella tasolla.

Suuntapainepuhallinjärjestelmällä toteutetulla ilmanvaihdolla on ominaisuuksia, joiden takia sitä voidaan pitää järkevänä vaihtoehtona moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon toteutuksessa. Suuntapainepuhallinjärjestelmän tilan tarve moottoriajoneuvosuojassa on kanavoituun ilmanvaihtoon verrattuna hyvin pieni, joka mahdollistaa tilan tehokkaamman käytön jo valmiiksi ahtaissa tiloissa. Toisaalta tilan monimuotoisuus voi aiheuttaa tarpeen suurelle määrälle suuntapainepuhaltimia, jolloin järjestelmän käyttökustannukset kasvavat. Käyttökustannusten ero on kuitenkin vähäinen verrattuna järjestelmien toteutuskustannusten eroon, jolloin järjestelmää valittaessa kannattaa päätöksenteko perustaa toteutuskustannuksien määrään.

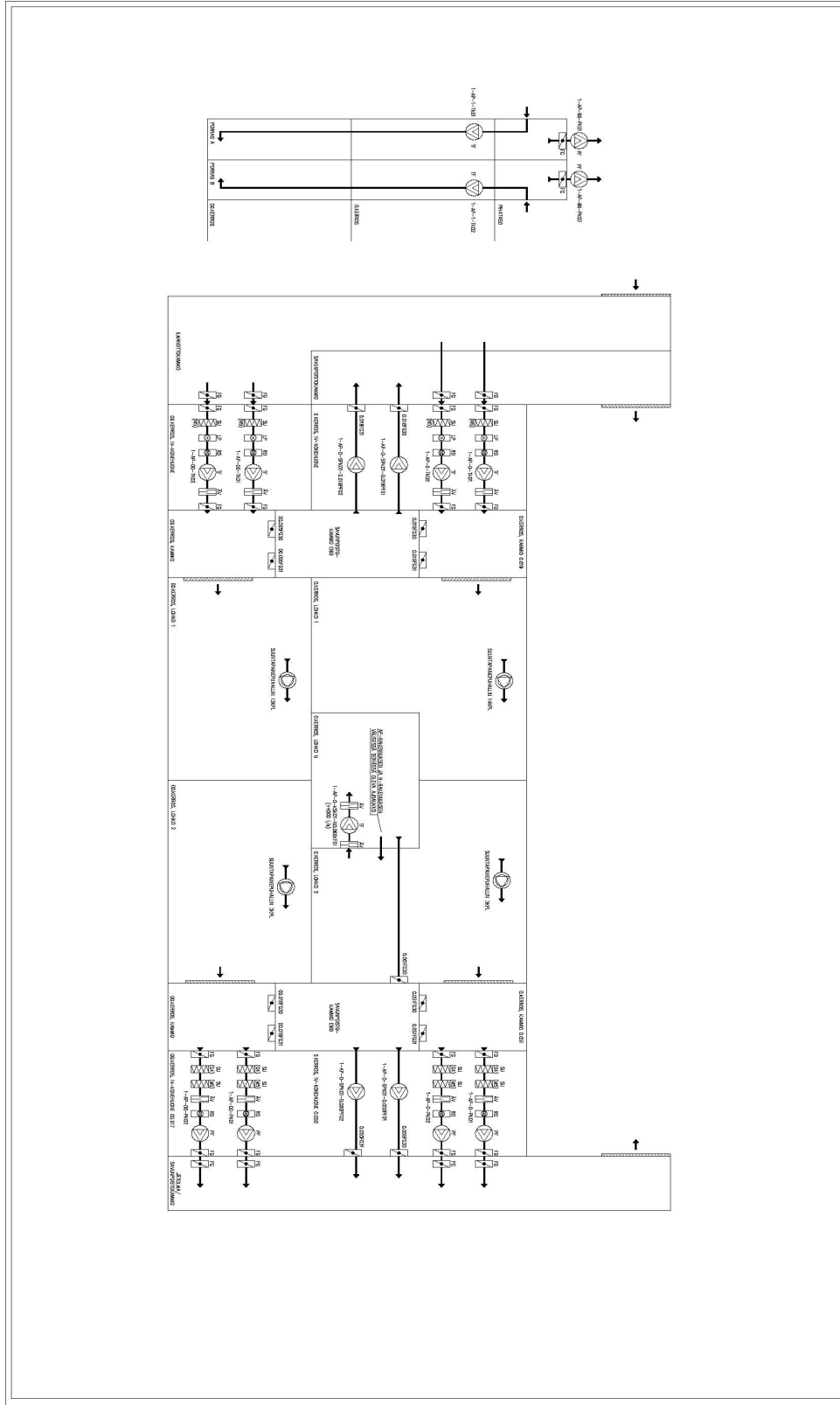
LÄHTEET

- FläktGroup Oy. N.d. Car park ventilation. Luettu 22.1.2019. <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=cd279d20-76f0-426e-b052-7ed007d701e7>
- FläktGroup Oy. 2012a. Autopaikoitustilojen suuntapainepuhaltimet. Luettu 22.1.2019. <http://oldfi.flaktwoods.fi/86712458-6636-4f25-80c2-3fc5395922a6>
- FläktGroup Oy. 2012b. Palotorjuntakäsikirja. Luettu 19.3.2019. <http://oldfi.flaktwoods.fi/ba5d0dc8-b70c-4c0f-83c1-c4a4a9631926>
- From J. Energia-asiantuntija. Sähköenergian hinta. Sähköpostiviesti. Jussi.from@granlund.fi. Luettu 26.3.2019.
- Gaia Consulting. 2017. Selvitys Li-akkujen turvallisuustekijöistä. Luettu 7.3.2019. <https://tukes.fi/documents/5470659/6372809/Selvitys%20litiumioniakkujen%20turvallisuustekij%C3%B6ist%C3%A4/4eaac0e7-a824-42f8-b560-072f84d3e7ad>
- Ilmastointitukku. 2017. Hinnasto. Luettu 31.3.2019. <https://www.ilmastointitukku.fi/images/pdf/Hinnasto2017-2.pdf>
- Nyström J. Myyntipäällikkö. Hinta-arvio ilmanvaihtokoneille. Sähköpostiviesti. Juuso.nystrom@flaktgroup.com. Luettu 26.3.2019.
- RIL 232-2012. 2012. Rakennusten savunpoisto. Suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Sandberg E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointiteknikka osa 2. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Sisäilmayhdistys ry. N.d. Ilmanvaihdon perusteet. Luettu 25.2.2019. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>
- Traficom. n.d. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot ajoneuvoluokittain ja käyttövoimittain 2007-2018. Luettu 21.2.2019. <http://www.traficom.fi/fi/ajoneuvokannan-tilastot>
- Traficom. 2019. Ensirekisteröityjen henkilöautojen CO₂-päästöt käyttövoimittain 2018. Luettu 21.2.2019 <https://www.traficom.fi/fi/ensirekisteroityjen-ajoneuvojen-paastotilastot>
- Valtioneuvosto 2016. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Luettu 4.3.2019 <http://tem.fi/documents/1410877/2148188/Kansallinen+energia+ja+ilmastostrategia+vuoteen+2030+24+11+2016+lopull.pdf/a07ba219-f4ef-47f7-ba39-70c9261d2a63>
- Ympäristöministeriö. 2018. Moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon mitoitusopas. Luettu 28.2.2019. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta.
27.12.2017/1009.

LIITTEET

Liite 1. Ilmanvaihdon periaatekaavio



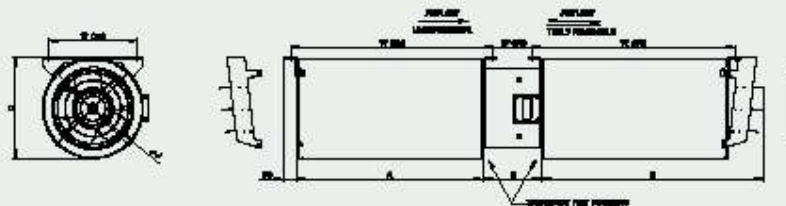
Liite 2. Suuntapainepuhaltimen tekniset tiedot



Jet Thrust Systems



Dimensions and Drawings - 'STANDARD' Car Park Fan



| Fan Dia (A) | Configuration | A | A' | B | B' | C | D | E | Total Length | Temp Rating | Inlet | Outlet | Weight Kg | |
|-------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------------|--|------------|------------|-----------|----|
| 315 | UNI-DIRECTIONAL | | | | | | | | 2195 | 200°C/2HRS 300°C/2HRS OR 400°C/2HRS | BM & GUARD | DEFLECTOR | 86 | |
| | TRULY REVERSIBLE | 855 | 840 | 265 | 175 | 365 | 420 | 1017 | 2295 | | DEFLECTOR | DEFLECTOR | 87 | |
| | TRULY REVERSIBLE | | | | | | | | 2091 | | BM & GUARD | BM & GUARD | 84 | |
| 355 | UNI-DIRECTIONAL | | | | | | | | 2193 | | | BM & GUARD | DEFLECTOR | 90 |
| | TRULY REVERSIBLE | 855 | 840 | 265 | 175 | 405 | 460 | 1015 | 2295 | | DEFLECTOR | DEFLECTOR | 91 | |
| | TRULY REVERSIBLE | | | | | | | | 2091 | | BM & GUARD | BM & GUARD | 88 | |
| 400 | UNI-DIRECTIONAL | | | | | | | | 2292 | | BM & GUARD | DEFLECTOR | 111 | |
| | TRULY REVERSIBLE | 905 | 890 | 265 | 175 | 450 | 504 | 1064 | 2393 | DEFLECTOR | DEFLECTOR | 112 | | |
| | TRULY REVERSIBLE | | | | | | | | 2191 | BM & GUARD | BM & GUARD | 109 | | |

All dimensions in mm

| Dia | Product Type | Thrust N | Volume m ³ /c | Sound Power LW | Sound Pressure LpA @ 3m | Rpm | Nominal Power kW | Full Load Current (A) | Starting Current (A) |
|-----|--------------|----------|--------------------------|----------------|-------------------------|-----------|------------------|-----------------------|----------------------|
| 315 | Standard | 22/5.7 | 1.2/0.61 | 80/62 | 62/44 | 2900/1470 | 0.7/0.09 | 1.85/0.58 | 13/2.94 |
| 355 | Standard | 38/9.8 | 1.9/0.97 | 84/66 | 66/48 | 2850/1400 | 1.05/0.14 | 2.4/0.8 | 13/2.94 |
| 400 | Standard | 57/14.4 | 2.43/1.22 | 87/68 | 68/50 | 2920/1470 | 1.35/0.17 | 3.5/1.12 | 18.2/4.58 |

Sound Power Level, LW = dB re 10⁻¹²W
 Sound pressure level, LpA = dB re 2 x 10⁻⁵PA, provided for comparative purposes at a distance of 3m, based on hemispherical propagation in free field conditions.
 Please note data for 200°C without accessories