

# Energiätehokkuus IV-moottoreissa



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Sähkö- ja Automaatiotekniikka

Syksy 2021

Harri Tuomola

## TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsitteli ilmastonin moottoreiden päivittämistä energiatehokkuus näkökulmasta ja työn tilaajana toimi Forssan kaupungin tilapalveluyksikkö. Työn tarkoituksena oli tarkastella energiasäästöjä ja takaisinmaksuaikoja laitteistojen investoinneista energiatehokkaampien moottoreiden ja älykkäämpien moottoriohjauksien avulla.

Työn tavoitteena oli valita ja mitoittaa mahdollisimman energiatehokas ratkaisu IV-koneen moottoreiksi. Opinnäytetyössä tarkasteltiin vaihtoehtoja ilmastonin moottoreiksi, energiatehokkuutta, moottorin valintaa ja vanhojen järjestelmien koneiden mitoitusvaihtoehtoja ilmanvaihtokoneiden saneerauksissa.

Moottoreihin asennettiin etäluettava energianmittaus sekä tulo- että menopuolen puhaltimiin, ja työssä vertailtiin energian kulutusta vanhalla ja päivitetyllä moottorikäytöllä. Näiden verrokkijakson mittauksista arvioitiin investoinnin hyötyjä ja takaisinmaksuaikoja.

Työn valmistuttua tilaajan on mahdollista käyttää tämän työn tuloksia muiden ilmastointilaitteiden saneerauksissa. Aihe on tärkeä, koska potentiaalisia energiansäästö kohteita kartoitetaan koko ajan kuntasektorilla. Työn luvuissa 5 ja 6 avataan tarkemmin, minkälaisiin moottorivalintoihin ja tuloksiin projektissa päästiin energiatehokkuusnäkökulmasta.

ABSTRACT

This thesis deals with upgrading an air conditioning blower from an energy efficiency point of view and the work was commissioned by the city of Forssa. The purpose of this work was to look at energy savings and payback periods as to investments in equipment, using more energy efficient motors and smarter motor controls.

The aim of the work was to select and dimension the most energy efficient solution for the engines of an IV-machine. In this thesis project were alternatives to air conditioning motors, energy efficiency, motor selection and sizing options for old system machines in ventilation machine renovations.

The motors were fitted with remotely readable energy metering for the inlet and outlet fans, and the energy consumption with the old and upgraded motor drives was compared. From these measurements of the reference period, the benefits of investment and payback period were assessed.

Once the project was complete, the customer will be able to use the results of this work to renovate other air conditioners. The topic is important because potential energy saving targets are constantly being identified in the municipal sector. Chapters five and six of the thesis examine in closer detail the kind of engine choices and results the project achieved from an energy efficiency point of view.

Keywords energy efficiency, frequency converter, motor, sensor, sizing

Pages 30 pages and appendices 2 pages

## Sisälllys

1	Johdanto .....	1
2	Moottorit ilmastointikoneissa .....	2
	2.1.1 Oikosulkumoottori .....	2
	2.1.2 EC-moottorit.....	3
	2.1.3 PM-moottorit .....	5
	2.2 Moottoreiden elinkaarikustannukset .....	6
	2.3 Energiatehokkuusluokat .....	7
	2.4 EMC-suojaus.....	8
	2.5 SFP-luku.....	9
	2.6 Loisteho moottorikäytöissä .....	10
	2.7 Ilmastoinnin moottoreita ohjaavat anturit.....	10
3	Ilmastoinnin moottoreiden nopeudensäätö .....	11
	3.1 Taajuusmuuttajaohjatut moottorit.....	11
	3.1.1 EC-moottoreiden nopeudensäätö .....	12
	3.1.2 PM-moottorin nopeudensäätö .....	13
	3.1.3 Oikosulkumoottorin nopeudensäätö.....	13
4	Ilmastoinnin moottorin mitoitus .....	14
	4.1 Ilmanvaihtokoneiden toimintapiste.....	14
	4.2 Toimintapisteen määrittäminen .....	15
	4.2.1 Ilmavirran- ja paineenkorotuksella määrittäminen .....	16
	4.2.2 Kilpitiedot .....	17
	4.2.3 Dokumentaatio .....	18
	4.2.4 Puhaltimen sähköteho .....	18
	4.2.5 Kokemusperäinen taulukkomitoitus.....	19
5	Projektin eteneminen.....	21
	5.1 Energianmittaus ja takaisinmaksuaika.....	22
	5.2 Moottorin valinta .....	24
	5.3 Moottorin nopeuden säätö.....	25
	5.4 Projektin toteutus .....	25
6	Yhteenveto .....	28
	Lähteet.....	31

## **Kuvat, taulukot ja kaavat**

Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne

Kuva 2. EC-Moottorin rakenne

Kuva 3. Moottoreiden elinkaarikustannukset, Motiva

Kuva 4. IE-luokat (Kuva muokattu lähteestä <https://www.zener.fi/sahkomoottoreiden-energiatehokkuusvaatimukset>, 26.1.2021)

Kuva 5. EC-moottorin kytkennät, Ziehl-Abegg

Kuva 6. Mitoituspiste

Kuva 7. Hihnavetoinen käyttö

Kuva 8. Taulukkomitoitus vuosi, teho

Kuva 9. Taulukkomitoitus vuosi, paineenkorotus

Kuva 10. Ilmamäärien määrittäminen nopeuden ja kanavakokojen avulla

Kuva 11. Paine-eron mittaus

Kuva 12. Alkuperäinen moottori

Kuva 13. IV-koneen rakenne

Kuva 14. Energiankulutuksen mittaus

Kuva 15. Moottorin mitoitus

Kuva 16. CO<sup>2</sup> anturi

Kuva 17. Päivitetty moottori

Taulukko 1. Investoinnin takaisinmaksuaika

Kaava 1. SFP-luvun määrittäminen

Kaava 2. Sähköteholla mitoitus

Kaava 3. Takaisinmaksuaikojen määrittäminen

## **Liitteet**

Liite 1. Uusi Moottori

Liite 2. CO<sup>2</sup> anturi

## 1 Johdanto

Energiatehokkuusnäkökulmien rooli kuntasektorilla kasvaa, ja on entistä tärkeämpi asia investointeja suunniteltaessa. Potentiaalisia säästökohteita on etsittävä ja moottorikäytöt muodostavat ison osan kiinteistön sähkön kulutuksesta. Monissa kiinteistöissä on ikääntyneitä koneita ja eivätkä ne vastaa nykypäivän vaatimuksia energiatehokkuudesta. Kaupungin näkökulmasta energiatehokkuus ja investointien takaisinmaksuaika ovat tärkeitä tekijöitä hankintoja suunniteltaessa.

Forssan Kaupunki on sitoutunut kunta-alan energiatehokkuussopimukseen kaudelle 2017-2025. Sopimukseen sisältyy kunnan energiankulutuksen aktiivinen seuranta, ja myöskin ympäristö asiat ovat osa sopimuksen sisältöä. Sopimustoiminta antaa hyvät valmiudet ja tuen ilmastotyöhön ja energiansäästötoimenpiteille, sopimuksessa seurataan aktiivisesti kunnan energiankulutusta. Seuranta ja tulosten arviointi ovat hyviä kannustimia energiansäästötoimenpiteitä mietittäessä ja säästöjä tavoiteltaessa.

Tähän opinnäytetyöhön aihe pohjautui kirjoittajan omaan työhön käyttöteknikkona, ja työn tilaajana toimi Forssan kaupunki. Työ käsitteli ilmastoinnin moottorien älykkäämpää ohjaamista energiatehokkuuden näkökulmasta. Projektin kohteena oli Forssassa sijaitsevan koulukiinteistön liikuntasalin ilmastoinnin moottorit. Työtä ohjasi sähkö- ja automaatiotekniikan lehtori Timo Väisänen Hämeen ammattikorkeakoulusta.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdyttiin, mitä asioita pitää ottaa huomioon valittaessa mahdollisimman energiatehokasta moottoria. Teoriaosuudessa käsiteltiin lisäksi EMC-suojauksia, antureita, automaationohjauksia sekä puhaltimien valintaan vaikuttavan mitoituspisteen määrittelyä.

Opinnäytetyön toiminnallisessa osuudessa sähkön kulutusta mitattiin molemmista meno- ja paluupuolen moottoreista. Ensimmäisessä vaiheessa energiankulutusta mitattiin vanhoilla koneilla ja ohjauksilla. Lopputulemassa moottorit päivitettiin energiatehokkaisiin moottoreihin ja lisättiin hiilidioksidianturi poistokanavaan ohjaamaan moottorin nopeuksia.

Projektin lähtötilanteessa ilmastoinnin moottoreita ohjattiin Honeywellin automaatiojärjestelmällä. Moottorin ohjaukset oli toteutettu automaation kello-ohjelmoinnilla ja päivittäisillä suorilla käyntiajoilla. Moottoreina lähtötilanteessa toimivat ABB:n 3-vaiheiset M2AA 132S-oikosulkumoottori, joissa on kaksi nopeutta 1460 r/min ja 985 r/min nimellistehoilla 4.5 Kw ja 1.5 Kw. Alkuperäiset koneet olivat hihnakäyttöisiä ja häviöiden pienentämiseksi ne päivitettiin suoravetoisiksi.

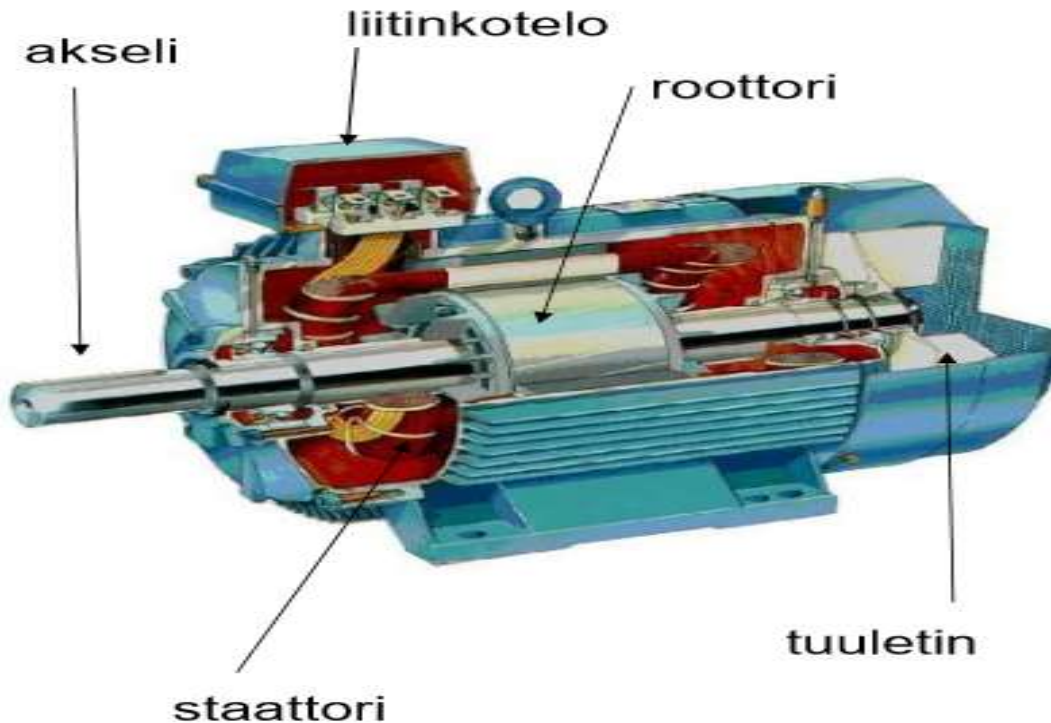
## **2 Moottorit ilmastointikoneissa**

Sähkömoottori on sähkön avulla liike-energiaa tuottava laite. Koneiden toimintaperiaate liittyy sähkön tuottamaan magneettisiin voimiin, joita voi ohjata suoralla käytöllä tai säätämällä taajuusmuuttajien avulla. Sähkömoottori rakenteessa on roottori, joka pyörii akselinsa mukaan ja kiinteä staattori. Moottorin liike-energia aikaansaamiseksi magneettikenttä voidaan luoda, joko staattoriin tai roottoriin ja näiden vastavoimana voi olla sähkömagneetti tai kestopagneetti. Seuraavissa kappaleissa käsitellään EC- ja PM-moottoreita sekä perinteistä oikosulkumoottoria, ja miten näillä on mahdollista parantaa IV-koneiden energiatehokkuutta. (Motiva, 2020)

### **2.1.1 Oikosulkumoottori**

Induktio- eli oikosulkumoottori (kuva 1) on tänä päivänä vielä yleisimmin käytössä oleva moottorityyppi. Oikosulkumoottoria voidaan käyttää suoraan verkosta tai vaihtoehtoisesti taajuusmuuttajalla ohjattuna. Oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta voidaan säätää suoraan taajuusmuuttajan tehonsyötön taajuutta säätämällä. Taajuusmuuttajaa tarvitaan nopeuden säätämiseen, koska valtakunnan verkon taajuus on vakio 50 Hz. Moottorin staattorissa on uritus, johon käämitys on jaettu ja se tuottaa sinimuotoisen magnetomotorisen kentän eli voiman. Staattoriin muodostuu pyörivä magneettikenttä, joka luo roottorin oikosuljettuun häkkikäämitykseen sähkövirran. Roottoriin muodostuva magneettikenttä pyrkii vastustamaan staattorin pyörivää kenttää, jolloin syntyy vääntömomentti, eli akselille tuotettava voima. (ST 21.33)

Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne



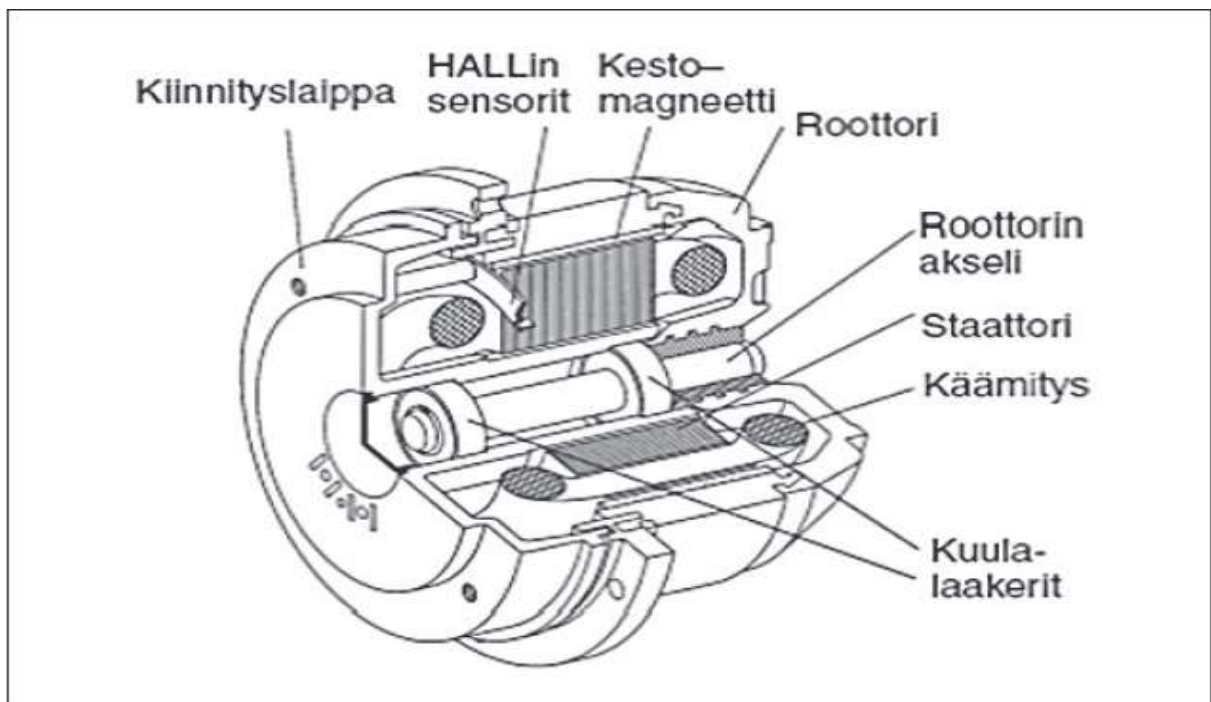
Oikosulkumoottoreiden nopeuteen voidaan vaikuttaa kahdella eri tavalla, joko taajuusmuuttajilla tai napaluvuilla. Suomen sähköverkko toimii 230 voltin ja 50Hz taajuudella, ja se tuottaa 2-napaiselle oikosulkumoottorille nopeuden 3000 Rpm. Moottorin napoja lisäämällä voidaan moottorin kierroslukua hidastaa, esimerkiksi 1500/rpm (4-napainen) tai 750/rpm (8-napainen). Todellisuudessa pyörimisnopeus ei ole näin suoraviivaisesti laskettavissa, vaan todelliseen nopeuteen vaikuttaa jättämä.

### 2.1.2 EC-moottorit

HVAC-alalla EC-moottorikäytöt mielletään moottoreina, jossa on hyvä hyötysuhde ja jotka ovat rakenteeltaan yksinkertaisia. EC-moottoreiden (kuva 2) toiminta perustuu kommutaatioon, mikä toimii elektronisella ohjauksella, vanhan tekniikan hiiliharjojen sijaan. Moottorin roottorin käämit on valmistettu kestopäällykkeellä ja kommutaatio virtapiirillä.

Kommutointi tarkoittaa sitä, että roottoriin johdettu virta saa aikaan magneettikentän, minkä ansiosta virran suunta muuttuu roottorin asennon mukaan. Jotta tämä toiminto olisi oikein ajastettu, on moottorissa Hall-antureita, jotka tunnistavat roottorin sen hetkisen asennon. EC-moottoreissa tällä toiminnolla säästytään esim. oikosulkumoottoreiden jälkikäyttöhäviöiltä. (ST 21.33)

Kuva 2. EC-moottorin rakenne



EC-tekniikalla toimivat moottorikäytöt ovat hyviä vaihtoehtoja muuttuvailmamääräisiin järjestelmiin. Jos kohteessa on vanhoja hihnavetoisia ilmastointeja, ovat EC-moottorit vartenotettava vaihtoehto investoinnille. Sähköiset muutokset ovat pienempiä EC-moottoreiden asennuksessa ja usein vanhat kaapeloinnit ovat riittäviä, koska EC-moottorit ei aiheuta taajuusmuuttajakäytöissä ilmeneviä taajuushäiriöitä. (ST 21.33)

EC-moottoreiden investointikustannukset ovat suunnilleen samaa luokaa, jos verrataan taajuusmuuttajaohjattuun moottoriin ja huomioon otetaan myös asennuskustannukset. EC-moottorit ovat tehoiltaan usein alle 7 Kw ja näissä teholuokissa EC-moottori on huomattavasti energiatehokkaampi vaihtoehto kuin taajuusmuuttajaohjattu oikosulkumoottori.

### 2.1.3 PM-moottorit

Kestomagneettimoottori (PM) muistuttaa perinteistä oikosulkumoottoria rakenteeltaan, mutta kestomagneetti on moottorin roottorissa, mikä aikaansaa magnetoitumisen. PM-moottoreissa on parempi tehokerroin kuin oikosulkumoottoreissa.

Kestomagneettimoottoreissa magneetit on asennettu kahdella eri tavalla roottoriin; on pintamagneettimoottoreita ja joiden roottoriin on upotetut magneetit. Pintamagneetit on liimattu roottoriin ja niissä on lisäksi lasikuidusta valmistettu panta kiinnipysymisen varmistamiseksi. Upotetut magneetit sen sijaan on sijoitettu roottorin laminointiin. Erona näillä on induktanssin muodostuminen moottoriin. Pintamagneettimoottorin magnetoituminen on symmetristä. Toisin sanoen magneettikentän ominaisuudet ovat samanlaiset, tarkastellaan niitä mistä suunnasta tahansa. Upotetuin magneetein varustetun moottorin magnetoituminen riippuu tarkastelusuunnasta. Normaalisti pitkittäisakselin päästä tarkasteltuna induktanssi on pienempi kuin poikittaisesta suunnasta tarkasteltuna. Näiden induktanssieron takia syntyy reduktanssimomentti, jota on mahdollista hyödyntää moottorin säädöissä. (ST 21.33)

Kestomagneettimoottorin hyötysuhde on yleensä parempi kuin perinteisillä oikosulkumoottoreilla, koska moottorin roottorissa tapahtuvat häviöt ovat pieniä.

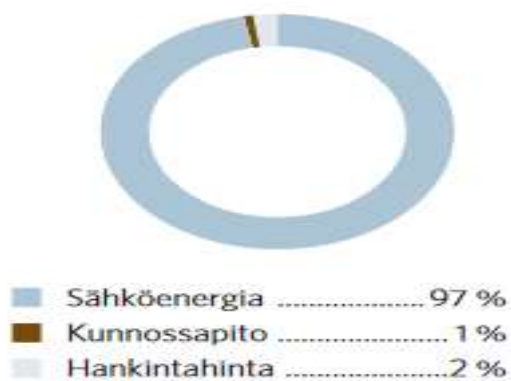
Kestomagneettimoottorin ominaisuudet pääsevät oikeuksiinsa varsinkin pienillä nopeuksilla käytettäessä, koska kestomagneettimoottoreiden ominaisuudet eivät huonone pienillä nopeuksilla suhteessa yhtä paljon kuin oikosulkumoottoreiden. Kestomagneettimoottoreita voidaan käyttää ainoastaan taajuusmuuttaja ohjattuna, joten ne soveltuvat erittäin hyvin IV-koneiden moottoreiksi, koska antureiden säätöarvoilla ohjattavat taajuusmuuttajat pitävät koneen nopeutta alhaalla huonetilojen olleessa tyhjillään esim. CO2 anturi.

Kestomagneettimoottoreita löytyy aina 350 kw nimellistehoon asti ja taajuusmuuttajan valinnassa on otettava huomioon, että se soveltuu kestomagneettimoottorin ohjauksiin. (ST 21.33)

## 2.2 Moottoreiden elinkaarikustannukset

Moottorien investointeja suunniteltaessa on otettava huomioon moottorikäyttöjen elinkaarikustannukset (kuva 3), koska käytännössä moottorin hankintahinta on vain 2 % hankinnan kokonaiskustannuksista. Moottoreiden oikea mitoitus- ja energiatehokkuusnäkökulma on hyvä ottaa huomioon.

Kuva 3. Moottoreiden elinkaaren kustannusjakauma



Uusittujen moottoreiden hankintoja suunniteltaessa valittavan usein huomio kohdistuu rakenteeseen, teho- tai kuormavaatimukseen. Energiatehokkuusnäkökulmat jäävät helposti taka-alalle tai tyydytään minimi vaatimukseen, näissä kannattaa perehtyä nykypäivä energiatehokkaisiin moottori vaihtoehtoihin.

Vanhoja moottoreita päivitettäessä on hyvä ottaa huomioon asennukseen liittyvät ja mekaaniset vaatimukset sekä niistä mahdollisesti aiheutuvat lisäkustannukset. Ennen varsinaista investointisuunnitelmia kannattaa perehtyä tarjolla oleviin vaihtoehtoihin. Jos moottorin ohjaukseen lisätään taajuusmuuttajaohjaukset, on tärkeää selvittää etukäteen myös mahdolliset sähköverkkoon liittyvät kaapeloinnin, koneen ja maadoitusten rajoitteet. (Motiva, n.d.)

Tässä projektissa energiankulutus ja sen mittaaminen perustuivat suoraan moottorin energiatehokkuuteen ja sitä kautta saavutettaviin taloudellisiin hyötyihin.

Energiakulutusmittauksiin oli löydettävä liikuntasalin käyttöä ajatellen mahdollisimman hyvät verrokkijaksot, koska lopputulemassa hiilidioksidianturin arvot ohjasivat suoraan moottoreiden nopeutta. (Motiva, n.d.a.)

## 2.3 Energitehokkuusluokat

Määräyksiä, jotka koskevat moottorien energiatehokkuutta, päivitetään jatkuvasti ja energiatehokkuutta koskevia standardeja kiristetään. Ekosuunnitteludirektiivi on lainsäädäntöön laadittu kehys, joka määrittelee vaatimuksia moottoreiden energiatehokkuuteen kaikilla sektoreilla Euroopan unionin sisällä. Lainsäädännön tavoitteena on edistää energiatehokkuutta vaatimuksien avulla, niin että moottoreiden tuottajat sitoutuvat kehittämään energiatehokkaampia moottoreita ja myös ottamaan ympäristöasiat huomioon. Sähkön käyttöjärjestelmät, taajuusmuuttajat ja moottorit on määritelty energiatehokkuuden mukaan. Uusiin IE2 luokan moottoreihin on tammikuusta 2015 lähtien vaadittu taajuusmuuttajaohjaukset. Moottoreiden vähimmäisvaatimukseksi heinäkuusta 2021 alkaen on luokka IE3 ja isompien 75-200 KW moottoreiden luokituksiksi on määritelty IE4 heinäkuusta 2023 alkaen. IEC 61800-9-2 standardi määrittelee taajuusmuuttajien energiatehokkuutta ja heinäkuusta 2021 niiden on oltava vähintään energiatehokkuusluokan IE3 mukaisia. (Danfoss, n.d.a)

Kuvasta 4. puuttuu IE5 luokan kuvaaja; tämä on uusin energiatehokkuusluokka. Nämä moottorit ovat korkean hyötysuhteen EC-moottoreita, ja ne toteuttavat Standardin IEC 60034-30-2 määritellyt raja-arvot.

Kuva 4. IE-luokat



On myös moottoreita, joita ei sovelleta energiatehokkuus standardeihin, ja tähän ns. luokittelemattomiin moottoreihin kuuluvat:

- Korkeassa lämpötilassa olevat moottorit, yli 60 astetta.
- Kylmässä alle -30 asteen lämpötilaan asennetut moottorit
- Korkealla yli 4000 m merenpinnasta olevat moottorit
- Erikoismoottorit, jotka on suunniteltu upotetussa nesteessä toimimaan.
- Moottorit, joissa useita käämityksiä tai muunneltavissa olevia käämityksiä nopeuden säätöön.
- TENV-moottorit, eli tuulettumattomat moottorit
- Moottorit, joissa on integroitu jarrumeکانismi

Näitä yllä mainittuja moottorityyppejä ei luokitella mihinkään luokkaan, vaan ne ovat kaikki IE1 määräyksellä varustettuja moottoreita. Vaikka nämä moottorit laskennallisesti saavuttaisivatkin parhaan energiatehokkuusluokan, niiden luokitus IE1 säilyy, sillä niiden energiatehokkuutta ei voida todentaa standardin mukaisilla mittauksilla. (Zener, 23.1.2021)

## 2.4 EMC-suojaus

Moottorikäyttöjen tehonsäätöjärjestelmiin liittyy huomioon otettavia asioita EMC-suojauksen osalta. EMC (Electro Magnetic Compatibility), tarkoittaa määrittelyä sähköisille järjestelmille, joilla laitteet voivat toimia toisten laitteiden kanssa aiheuttamatta häiriötä. Ohjattujen käyttöjen osalta laitteiden tulee täyttää EU alueella määriteltyjen yhteensopivuusmääräysten asiat. Säädetyt moottorikäyttöjä suunniteltaessa on otettava huomioon, että kaapelit ja turvakytkimet ovat EMC-yhteensopivia. EMC-yhteensopivuutta määritellään EMI (Electro Magnetic Interface) standardissa EN50081, jossa määritellään olosuhteet ja rajat. EMI standardi pohjautuu häiriöiden osalta laitteiden ja järjestelmien ominaisuuksiin: (Hietalahti, 2012, s. 110)

- Synnyttää häiriötä
- Siirtää tai kytkeä häiriötä
- Häiriintyä häiriöstä

Teknisesti tarvitaan kaikki nämä kolme osa-aluetta, jotta EMI-häiriö toteutuu. Jos näistä saadaan yksikin osa-alue poistettua huolellisella suunnittelulla ja laitevalmistajien asennustapoja noudattaen, niin häiriöongelmaa ei ole. Standardista löytyy perusteet, kuinka häiriöt mitataan, ja kuinka tuloksia arvioidaan. Taajuusmuuttajakäytöissä ongelmaa ratkaistaan erilaisilla suodatinratkaisuilla, ja niiden etu- ja moottorilähdön puolelle voidaan asentaa suotimet. Suodattimien tavoite on saada jännite mahdollisimman sinimuotoiseksi ja pystyä näin rajoittamaan häiriöiden siirtymistä. (Hietalahti, 2012, s. 111)

## 2.5 SFP-luku

Ominais sähköteho (SFP-luku) on lukuarvo, jolla määritellään ilmanvaihdon energiatehokkuutta sen kuluttaman energian suhteen, eli kuinka paljon sähköä kiinteistön ilmanvaihto kuluttaa. SFP-luvun tarkoitus on tarjota helppokäyttöinen työkalu ilmastonin mitoitukseen energiatehokkuusnäkökulmasta. Ilmastonin SFP-lukua laskettaessa koko rakennukselle, siihen otetaan huomioon kaikki kiinteistön ilmanvaihdon laitteet, jotka ovat mukana kiinteistön ilmavaihtojärjestelmässä. Tähän laskentaan ei oteta huomioon esim. lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutusta. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 ohjeistus antaa ohjeet SFP-luvun määrittelyyn, sen mukaan SFP-luvun on oltava alle  $2.5 \text{ KW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Nykypäivänä koneiden energiatehokkuus on parantunut huomattavasti, joten normaaleissa järjestelmissä on syytä tavoitella  $1,5\text{-}2 \text{ KW}/(\text{m}^3/\text{s})$  ominais sähkötehoa. (Filtech, 2009, s.8)

Tässä työssä on tarkasteltu vain yhden ilmastointikoneen meno- ja tulopuolen koneiden energiatehokkuutta, joten SFP-lukua ei ole määritetty koko kiinteistölle. Yhden ilmanvaihtokoneen, joka sisältää tulo- ja poistopuolenkoneen SFP-luku on koneiden yhteenlaskettu verkosta ottama teho jaettuna koneista suuremmalla ilmanvirtauksella. Koneiden verkosta ottamaan tehoon lasketaan mahdollisten taajuusmuuttajien ja tehonsäätölaitteiden ottama sähköteho. Kaavassa 1. määritellään laskenta yksittäisen ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luvun määrittelyyn.

Kaava 1.

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto}}{q_{max}}$$

SFP = Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho  
P tulo= Tuloilmakoneen ottama sähköteho  
P poisto= Poistokoneen ottama sähköteho  
Q max= Koneiden ilmavirroista suurempi, m<sup>3</sup>/s

## 2.6 Loisteho moottorikäytöissä

Kiinteistön energiatehokkuustoimenpiteissä loisteho on yksi huomioon otettava ilmiö. Paikallinen siirtoverkon haltija laskuttaa 5Kvar loistehon jälkeen ylimenevältä osalta n.5e Kvar. Tässä projektissa ei tarkemmin käydä loistehon ominaisuuksia läpi, vaan tarkastellaan lähinnä mahdollisia saavutettavia säästöjä. Sähköverkossa kulkee pätötehoa ja loistehoa. Pätöteho on ns. hyötöyn menevää energiaa, jolla moottorit ja muut sähkölaitteet saadaan toimimaan. Loisteho on värähtelevää energiaa verkon ja laitteiden välillä, ja sen haittapuolena on häviöiden lisääntyminen ja johtojen kuormitus.

## 2.7 Ilmastoinnin moottoreita ohjaavat anturit

Kokonaisuutena ilmanvaihtokoneiden turha käyttäminen lisää energiankulutusta ja lämmitykseen kuluva energiaa. Ohjattavalla moottorikäytöllä saavutetaan energiatehokkuutta ja mahdollisuutta parantaa sisäilmanlaatua. Ilmanvaihdon tarve ja voimakkuus vaihtelevat monissa kiinteistöissä, joissa henkilömäärät tiloissa muuttuvat. Tämän tyyppisiä tiloja voivat olla esim. luokkatilat, neuvottelutilat ja koulujen liikuntasalit. Näitä tiloja on paljon ja ne tarjoavatkin ilmastoinnin älykkäämmän ohjaamisen avulla ison säästöpotentiaalin energiankulutuksessa. Jokaisessa kohteessa tulisi tarkastella tapauskohtaisesti, minkälaisia antureita ja ohjauksia tiloihin kannattaa suunnitella. Yleisesti ilmastoinnin moottoreiden nopeuksia voidaan ohjata esim. läsnäolotunnistimilla,

aikaohjelmilla nopeus säädettyinä, hiilidioksiiniin perustuvalla ohjauksella ja lämpötilaan perustuvilla ohjauksilla tai näiden yhdistelmillä. (Löfman, 2018, s.25)

### **3 Ilmastoinnin moottoreiden nopeudensäätö**

Taajuusmuuttajaa kutsutaan tehoelektroniikka komponentiksi. Ennen taajuusmuuttajia oikosulkumoottoreiden nopeutta säädettiin moottorin napaparien lukumäärää muuttamalla tai erilaisten vaihteiden ja jarrujen avulla. Taajuusmuuttajien suurimpana etuna on tehokas ja tarkka nopeudensäätö, jolloin monesta prosessista saavutetaan huomattavia energiansäästöjä. Koneiden ja prosessien mekaaniseen kulutukseen taajuusmuuttajaohjaukset tuovat kustannus- säästöjä, koska koneita voidaan ajaa optimoidusti ja käynnistyksessä aiheutuvat isot käynnistysvirrat ovat hallittavissa. (gradia, n.d.)

#### **3.1 Taajuusmuuttajaohjatut moottorit**

Taajuusmuuttaja ohjaa moottorin nopeutta säätämällä sähkönsyötön taajuutta ja jännitettä, taajuusmuuttajaa voidaan myös käyttää käynnistyksen ja pysäytyksen ramppauksiin.

Taajuusmuuttajien käytölle on useita hyviä syitä energiansäästö näkökulmasta:

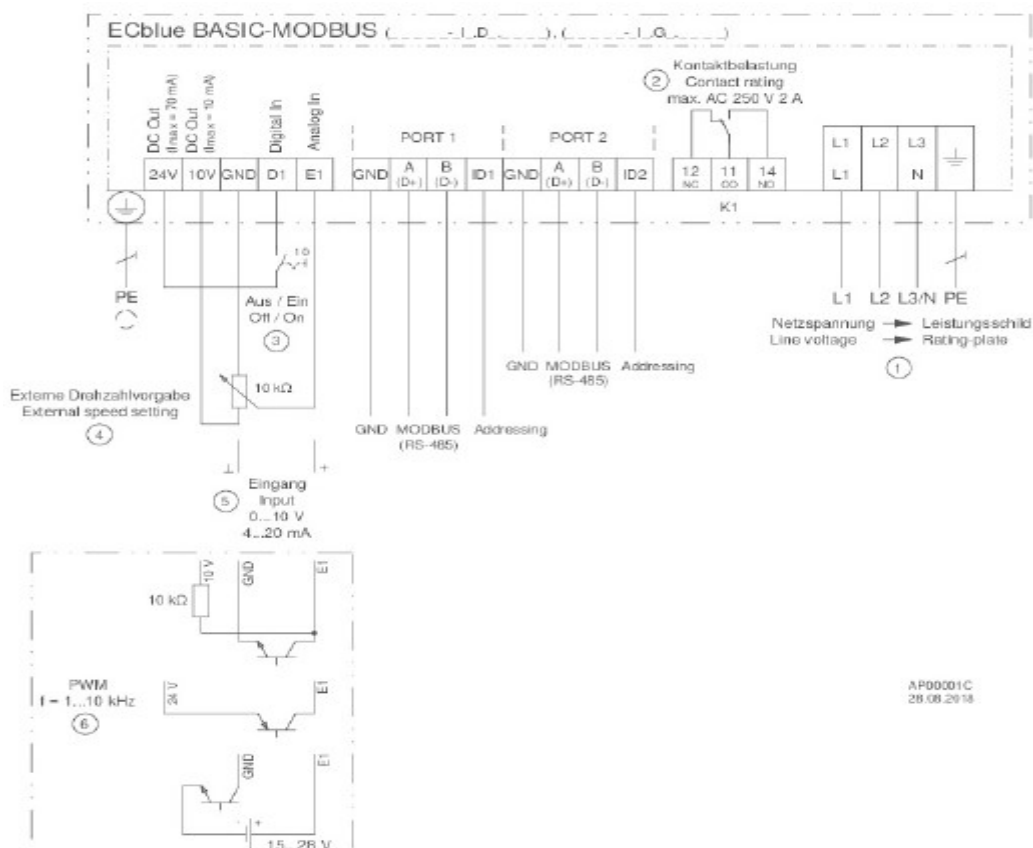
- Tehokkuus ja energiansäästö
- Moottorikäytön mitoitus vaatimuksien mukaisesti
- Hybridisovelluksissa tehon muuttaminen
- Momentin säätö prosessin tarpeen mukaan
- Matalampi melutaso
- Mekaanisista rasituksista aiheutuvat huoltokustannukset, käyttöikä pitenee
- Mahdollistaa kulutuksen säätämiseen sähkönhinnan vaihtelun mukaan

Nykypäivänä taajuusmuuttajissa on diagnoosi- ja verkko-ominaisuuksia, ja näillä voidaan vaikuttaa energiatehokkuuteen ja saavuttaa älykkäitä moottorinohjauksia. Yleisimmin taajuusmuuttajia käytetään puhaltimissa, pumpeissa ja kompressoreissa, näissä onkin n.75 % maailman taajuusmuuttajista. (Danfoss, n.d.)

Yleisesti voidaan laskea, että taajuusmuuttajien hyötysuhde on korkea 97- 98 % luokkaa. Hukkaenergia muodostaa lämpöä, mikä on otettava huomioon taajuusmuuttajien asennusta suunniteltaessa. Taajuusmuuttajissa on oma ohjain, johon voidaan parametroida ohjatun moottorikäytön asetusarvoja. Taajuusmuuttajien ohjainyksiköistä voidaan tarkastella moottoreiden arvoja esim. virtoja, tehoa, energian kulutusta, nopeutta ja häiriötietoja. Taajuusmuuttajien parametointi voidaan tehdä käsin ohjainyksiköltä, laitetoimittajien PC-ohjelmilla tai suoraan kiinteistön automaatiojärjestelmällä. (Hietalahti, 2013, s. 90)

### 3.1.1 EC-moottoreiden nopeudensäätö

Kuva 5. Ziehl-Abegg



EC-moottoreiden nopeudensäätö (kuva 5) on mahdollista toteuttaa monella eri tavalla, ja se riippuu siitä, miten valmistaja on ohjauksen rakentanut. EC-moottorit eivät tarvitse toimiakseen taajuusmuuttajaa. Yleisimmin ohjauksena käytetään jänniteviestiä, joka on

yleensä 0- 10 V nopeudensäädöllä. Ohjaus toimii jännitealueella lineaarisesti siten, että 0 V moottori on pysähdyksissä ja 10 V moottori käy täydellä nimellisteholla. Moottoria voi myös ohjata PWM- signaalilla (Pulse-Width Modulation), jossa pulssin leveyttä ja taajuutta säädetään. Moottorin ohjaus voidaan myös toteuttaa väyläpohjaisena, tämä ominaisuus vaatii myös kiinteistön automaatiolta ominaisuuksia. Yleisimmin EC-moottoreiden väyläprotokollana käytetään Modbus-tiedonsiirtoa. (Koivula, 2017, s. 17)

### **3.1.2 PM-moottorin nopeudensäätö**

PM-moottoreissa on perinteisen induktiomootorin runko ja samanlainen käämitys, mutta toiminta perustuu roottorin magnetoitumiseen kestopagneettien avulla. PM- moottorit tarvitsevat aina nopeuden säätöön taajuusmuuttajaa. PM-moottoreiden taajuusmuuttajaa valittaessa on otettava huomioon, että se soveltuu kestopagneettimoottoreiden ohjaukseen. Kappaleessa 2.4 käsitellyt asiat EMC-suojauksista on otettava huomioon PM-moottoreiden asennuksissa. Taajuusmuuttajalta tuleva ohjausjännite ja virta ei ole aina puhtaan sinimuotoista, ja tämä saattaa aiheuttaa ylimääräisiä häviöitä esim. melua ja mekaanista värähtelyä. Myös lämpötilat ja laakereiden lämpötilat voivat nousta häviöiden jakautumisesta tapahtuvan muutoksen seurauksena. Mitoituksessa on tärkeää ottaa huomioon, että taajuusmuuttaja on mitoitettu oikein moottorin suhteen. Mitoitukseen ja kuormituksen määrittelyyn valmistajilta löytyy valmiita mitoitusyökaluja esim. ABB DriveSize-mitoitusohjelma. (Auser, n.d)

### **3.1.3 Oikosulkumoottorin nopeudensäätö**

Oikosulkumoottoreiden nopeudensäätöön soveltuvat samat määrittelyt kuin PM-moottoreiden ohjauksiin. Oikosulkumoottoreita pystyy käyttämään ilman taajuusmuuttajaohjausta, mutta aikaisemmin kappaleessa 2.3 käsitellyt standardit määrittelevät näille IE- luokituksien mukaisia rajoituksia.

## 4 Ilmastoinnin moottorin mitoitus

Vanhemmissa ilmanvaihtojärjestelmissä esiintyy usein lisääntyviä huoltotarpeita, varsinkin hihnavetoisissa koneissa. Jos koneen rakenne ja kanavat ovat vielä kunnossa, voidaan koko järjestelmän saneerausta siirtää 10- 15 vuodella pelkällä puhaltimen päivityksellä. Ilmavirran riittävyys ja mahdolliset rakenteelliset muutokset alkuperäisen mitoituksen perusteella valittuihin moottorikäyttöihin on selvitettävä. Tilojen käyttötarkoitukset ja -määräykset ovat muuttuneet vuosien varrella, joten näitä asioita on tärkeä tarkastella uusia laitteita hankittaessa. Jos koneita valittaessa päädytään nostamaan ilmamääriä, niin on myös selvitettävä mahdollisia komponentteja, jotka rajoittavat ilmamäärien lisäämistä.

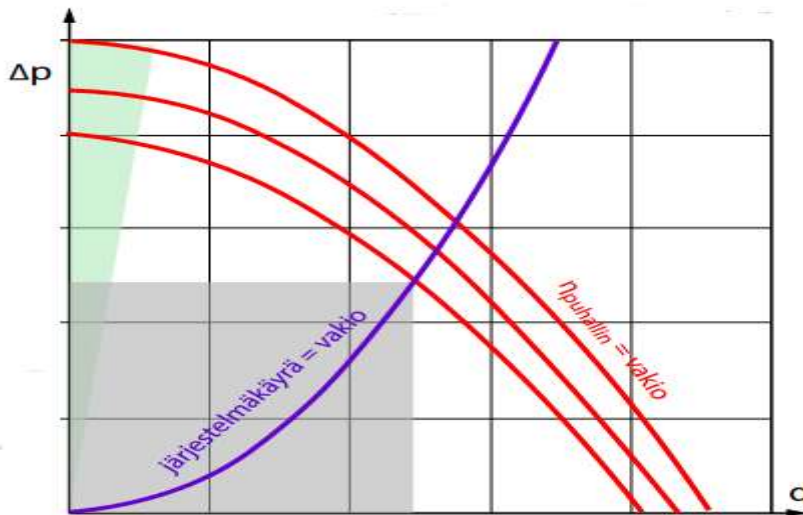
Nykyään on tärkeää pyrkiä ilmastoinnin saneerauksissa mahdollisimman hyvään energiatehokkuuteen, kuitenkin niin, että sisäilman laatu säilyy hyvänä. Jos päivitettävä kone mitoitetaan yli mitoituspisteen, niin on hyvä kartoittaa myös vapaajäähdytyksen näkökulmasta asioita. Mitoituspisteeseen mitoitettua virtausta ja sen ylimitoitettu osaa voidaan käyttää jäähdytyksessä hyväksi n. 89 % ajasta Etelä-Suomen leveyspiirillä. Usein on tilanne, jossa kiinteistön jäähdytykseen voitaisiin käyttää ulkoilmaa. Tämä ei ole kuitenkaan ongelmatonta, sillä jos mitoituksen ylimääräisellä osalla lisätään ulkoilmanvirtausta tilaan, jossa lämpökuormaa on vain vähän (esim. led-valaisimet, vähän päätelaitteita tai ikkunat pohjoiseen), toimenpide voi lisätä vedon tunnetta. Edellä mainittu seikka on hyvä ottaa huomioon kokonaisvaltaisissa ilmavaihdon saneerausprojekteissa – tämän opinnäytetyön projektissa asiaa ei ole otettu tarkastelun kohteeksi. (Fläktwoods, 2015-a)

### 4.1 Ilmanvaihtokoneiden toimintapiste

Ilmanvaihtojärjestelmien määrääviä tekijöitä ovat paineenkorotus (Pa) ja Ilmanvirtaus ( $m^3/s$ ). Kaikki ilmastoinninkoneiden puhaltimet saavuttavat tietyllä pyörimisnopeudella mitoituspisteen, kuvassa 6 on esitetty diagrammi tästä periaatteesta. X-akseli näyttää tässä diagrammissa virtausta, y-akseli paineenkorotusta ja violetti käyrä näyttää tietyn järjestelmän virtauksen ja paineenkorotuksen suhdetta. Punaiset tehokäyrät esittävät jonkun moottorikäytön nopeuksia kolmella eri nopeudella, ja moottorin tehomittausta kuvaa harmaa suorakulmio. Ilmanvaihtokoneissa ilmavirran kasvattamisessa on otettava

huomioon, että paineenkorotuksessa ilmavirran tarve kasvaa toiseen potenssiin ja tehontarve kolmanteen potenssiin. Tämä heikentää suunniteltavan laitteiston energiatehokkuutta, mutta on kuitenkin huomioitava asia esim. kesällä ns. vapaajäähdyttäminen lyhytaikaisilla jaksoilla. (Fläktwoods, 2015-b).

Kuva 6. Mitoituspiste



## 4.2 Toimintapisteen määrittäminen

Tässä työssä ilmavaihtokoneiden päivitystä ohjaavat näkökulmat energiansäästöä ja huollontarpeesta investoinnin takaisinmaksuaikoja laskettaessa. Uusien koneiden mitoitukseen käytetään vanhoja ilmavirran arvoja ja paineenkorotuksen mittausta, koska tilojen käyttötarkoitus ja rakenne eivät ole muuttuneet vuosien varrella. Seuraavissa luvuissa käydään läpi erilaisia tapoja mitoituspisteen määrittelyyn riippuen siitä, minkälaisia lähtötietoja ja dokumentteja vanhasta laitteistosta on saatavilla. (Fläktwoods, 2015-c).

Alla uuden moottorin suunnittelun työvaiheet:

- Olemassa olevien puhaltimien toimintapiste
- Uuden puhaltimen valinta/Ohjaavien antureiden määrittäminen
- Kanavan koon varmistus uudelle puhaltimelle
- Haalaus
- Koneiden asennus/sähkötyöt
- Nopeussäädettävien koneiden säädöt ja asetukset

#### 4.2.1 Ilmavirran- ja paineenkorotuksella määrittäminen

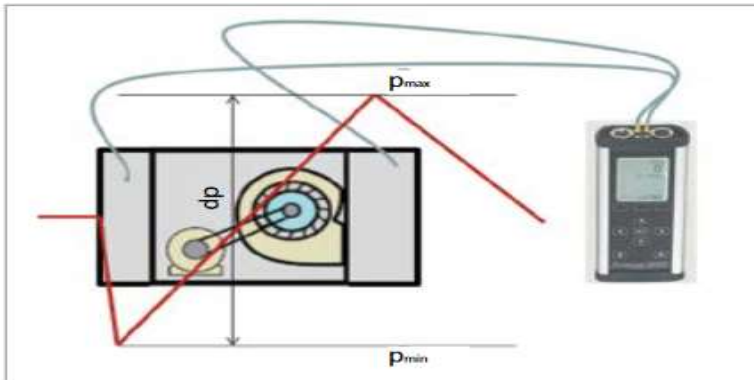
Ilmavirran- ja paineenkorotuksella määrittely on paras ja tarkin tapa selvittää vanhan puhaltimen toimintapiste. Osassa ilmastoinkoneita on valmiina mittauspisteet valmiina paineelle ja virtauksille. Mittausten jälkeen on syytä arvioida mittausten oikeellisuus ja riittävyys. Jos virtauksen arvoja ei löydy vanhasta koneesta, voidaan ilmavirrat laskea mitatun virtauksen ja kanavakoon pinta-alan tulona. Kuvasta 10 voidaan suoraan lukea ilmamäärät, kun on saatu selville virtauksen nopeus ja kanavakoko. (Fläktwoods, 2015-g).

Kuva 10. Ilmamäärien määrittäminen nopeuden ja kanavakokojen avulla

Taulukko ilmamäärän arviointiin nopeuden ja kanavakoon perusteella												
$v$ [m/s] $\varnothing$ [m]	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
0,160	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
0,200	0,08	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,17	0,19	0,20	0,22	0,24	0,25
0,250	0,12	0,15	0,17	0,20	0,22	0,25	0,27	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39
0,315	0,19	0,23	0,27	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,58	0,62
0,400	0,31	0,38	0,44	0,50	0,57	0,63	0,69	0,75	0,82	0,88	0,94	1,01
0,500	0,49	0,59	0,69	0,79	0,88	0,98	1,08	1,18	1,28	1,37	1,47	1,57
0,630	0,78	0,94	1,09	1,25	1,40	1,56	1,71	1,87	2,03	2,18	2,34	2,49
0,800	1,26	1,51	1,76	2,01	2,26	2,51	2,76	3,02	3,27	3,52	3,77	4,02
1,000	1,96	2,36	2,75	3,14	3,53	3,93	4,32	4,71	5,11	5,50	5,89	6,28
1,200	2,83	3,39	3,96	4,52	5,09	5,65	6,22	6,79	7,35	7,92	8,48	9,05

Paine-eron mittaukseen tarvitaan oikeanlainen mittari, jotta saadaan mahdollisimman tarkat tulokset. Virtauksen suunnan mukaan ennen moottoreita vallitsee suurin alipaine ja puhaltimen jälkeen kanavassa ylipaine. Ilmanvaihtojärjestelmän paine-ero määritellään näiden kahden pisteen kokonaiseron perusteella, kuvassa 11 havainnollistetaan mittausta ( $P_{max}-P_{min}$ )

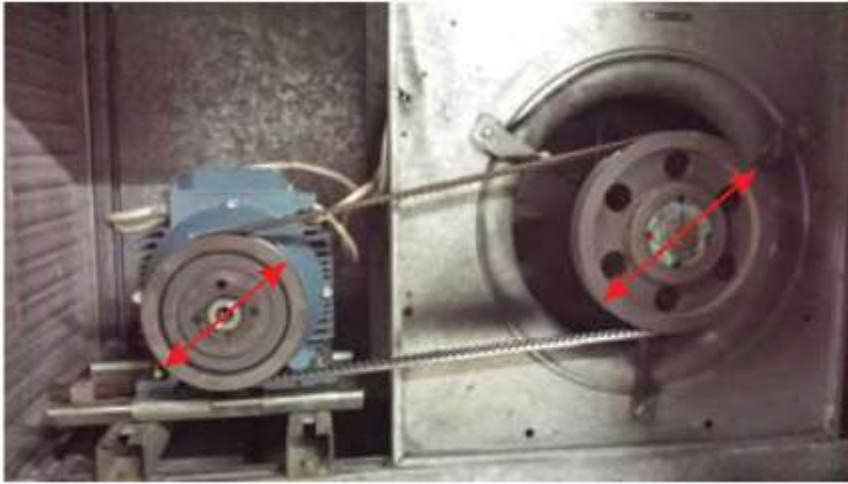
Kuva 11. Paine-eron mittaus



#### 4.2.2 Kilpitiedot

Useimmissä vanhoissa ilmastointijärjestelmissä ilmanvaihtokoneisiin on kiinnitettyä konekilvet, joista saa parhaimmillaan selville akselitehon, paineen korotuksen ja ilmavirrat. Ongelmana yleisesti on, että tarvittavia tietoja puuttuu ja mitoitusta joudutaan tekemään muilla menetelmillä. Vanhoja saneerattavia puhaltimia pyöritetään useimmiten hihnavetoisina. Ennen taajuusmuuttajien markkinoille tuloa, tämä oli ainut keino, jolla moottorit saatiin pyörimään halutulla nopeudella ja virtaukset saatiin mitoituksien mukaiseksi. Vanhan järjestelmän pyörimisnopeus saadaan selvitettyä, kun tiedetään koneen kilpitiedoissa mainittu pyörimisnopeus, ja hihnavetoisen koneen hihnapyörien halkaisijat. Mitoituspiste saadaan selvitettyä, kun tiedossa on vanhan koneen (kuva 7) kilpitiedot, pyörimisnopeus ja ilmavirta, näillä tiedoilla saadaan määriteltyä uuden päivitettävän puhaltimen toimintapiste. (Fläktwoods, 2015-d).

Kuva 7. Hihnavetoinen käyttö



$$1500 \text{ r/min} \times \frac{225 \text{ mm}}{280 \text{ mm}} = 1205 \text{ r/min}$$

#### 4.2.3 Dokumentaatio

Uuden moottorin määritys olisi parasta – ja helpointa – toteuttaa vanhojen laadukkaiden dokumenttien avulla, mikäli niitä on saatavilla. Vanhoista dokumenteista kannattaa selvittää, vastaavatko ilmavirrat esim. muuttuneiden rakentamismääräysten vaatimuksia.

#### 4.2.4 Puhaltimen sähköteho

Jos mitoituspistettä halutaan selvittää vanhan moottorin verkosta ottaman tehon avulla, on vaihevirtojen mittaaminen huomattavasti parempi vaihtoehto verrattuna suoraan kilpitietoihin perustuvaan määritykseen. Alla olevista kaavoista voidaan havaita moottorin mitoitukseen vaikuttavat riippuvuussuhteet, jotka koskevat moottorin sähköverkosta ottamaa tehoa, ilmanvirtausta ja paineenkorotusta. Kun moottoreiden tehonkulutus on saatu selville, voidaan soveltaa kokemuseräistä mitoitusta. (Fläktwoods, 2015-e).

Kaava 2.

$$P_{\text{moottori}} = \frac{\Delta p \times Q}{\eta}$$

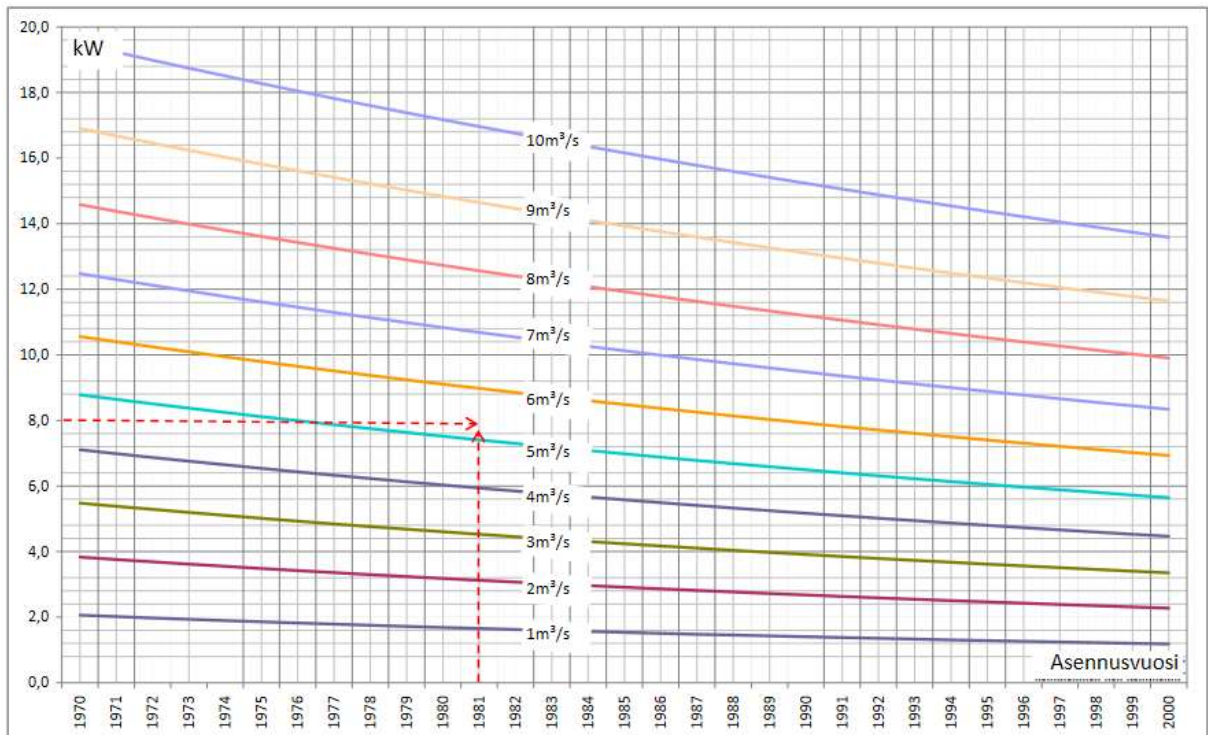
$$\frac{P_{\text{moottori}} \times \eta}{\Delta p} = Q$$

$P_{\text{moottori}}$  = mitattu sähköteho  
 $\Delta p$  = järjestelmän kokonaispainehäviö  
 $Q$  = ilmavirta  
 $\eta$  = puhaltimen, välityksien, moottorin ja käyttöjen kokonaishyötysuhde.

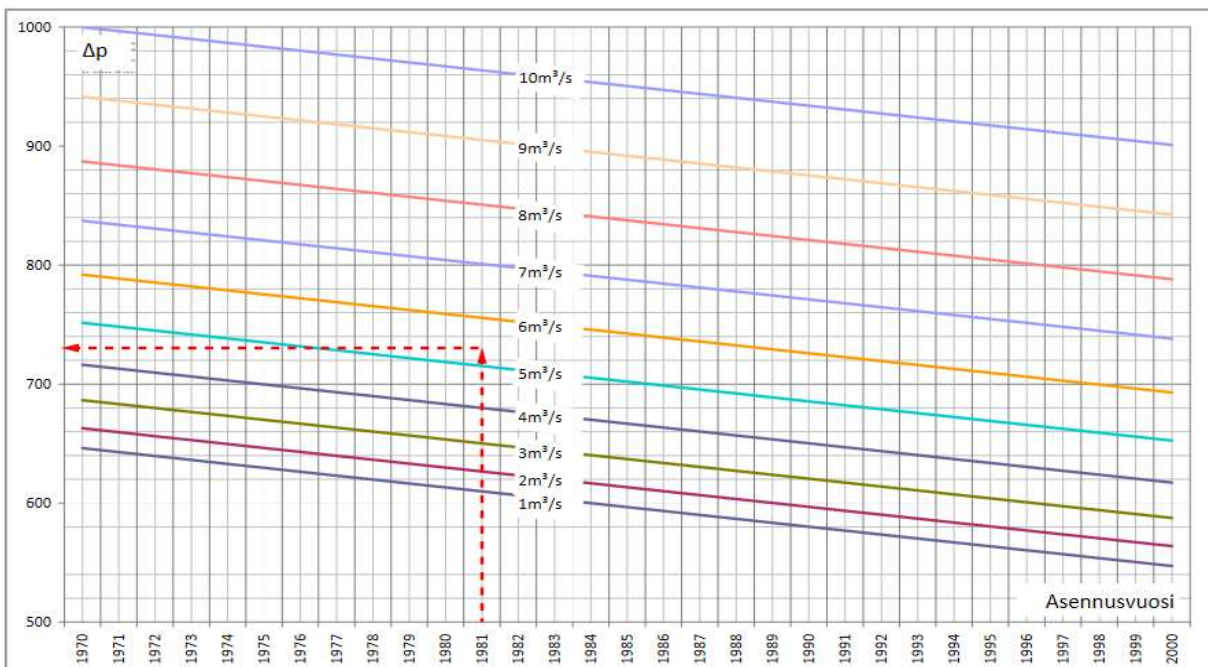
#### 4.2.5 Kokemusperäinen taulukkomitoitus

Jos saneerattavasta ilmastointilaitteistosta ei ole saatavilla mitään dokumentteja, ja paineenkorotuksen mittaaminen on jostain syystä hankalaa, voidaan turvautua kokemusperäisen mitoituksen. Tätä menetelmää suositellaan käytettäväksi ainoastaan normaalissa ilmanvaihtojärjestelmässä, jos ei esiinny poikkeavia painehäviöitä. Kuvissa 8 ja 9 olevien taulukoiden mukaan voi mitoitusta tarkastella asennusvuoden, paineenkorotuksen ja ilmavirran suhteella. Kun tiedetään järjestelmän asennusvuosi, voidaan määrittely suorittaa mitatun sähkötehon tai ilmavirran avulla. Kuvassa 1 määritellään toimintapiste asennusvuoden ja tehon perusteella, kuvassa 2 määrittely tehdään asennusvuoden ja paineenkorotuksen perusteella. (Fläktwoods, 2015-f).

Kuva 8. Taulukkomitoitus vuosi, teho



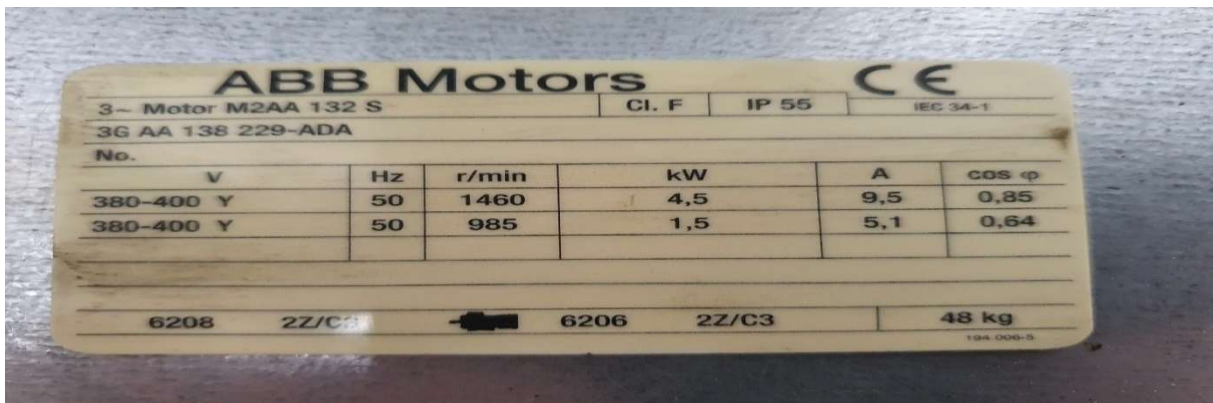
Kuva 9. (Taulukkomitoitus vuosi, paineenkorotus)



## 5 Projektin eteneminen

Projektin tavoitteena oli selvittää IV-koneiden päivityksen avulla saavutettavaa energiansäästöä ja arvioida investointien kannattavuutta. Lähtötilanteessa kohdekiinteistössä liikuntasalin tulo- ja menopuolen moottoreina on ABB M2AA 132S, joita ohjataan suoralla kontaktorikäytöllä automaatiojärjestelmän kello-ohjelmien mukaan. Päivitettävät moottorit ovat kaksikämmimoottoreita, joissa molemmilla käämityksillä on oma suoritearvonsa ja koneiden kilvissä on merkitty molempien käämitysten nopeudet (Kuva 12). Koneita käytetään käytännössä aamusta iltaan nopealla ohjauksella, koska kohde on liikuntasali ja sen iltakäyttö loppu klo 22:00. Ainoastaan koneiden käynnistys tehdään hitaammalla nopeudella.

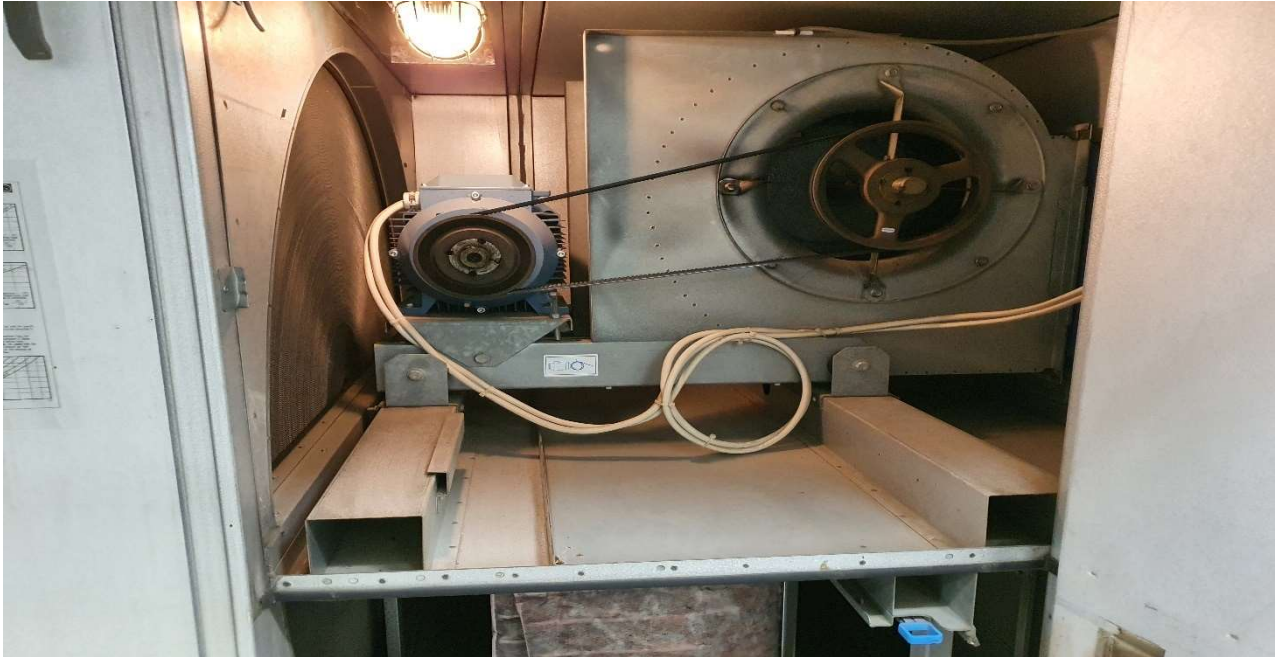
Kuva 12. Alkuperäinen moottori



Idea tämän projektin toteuttamiseen lähti kirjoittajan omasta työstä ja siinä esiin nousseesta työn tilaajan (Forssan kaupunki) tarpeesta löytää kohtuullisilla investointien takaisinmaksuajoilla toteutettavissa olevia energiasäästötoimenpiteitä. Tämän projektin ansiosta havaittiin suuri energiasäästöjen potentiaali työn tilaajan kiinteistöjen ilmastointien moottorihjauksia parantamalla. Tämä projekti muodosti hyödyllisen tietoperustan työn tilaajan tulevaisuudessa toteuttamille saman tyyppisille IV-järjestelmien päivityksille.

Projekti tuottaa dokumentteja, joiden avulla voidaan arvioida muiden kohteiden energiatehokkuustoimenpiteiden hyötysuhdetta. Forssan kaupungin kiinteistöissä on useita kohteita, joissa on samantyyppinen ilmastointijärjestelmä (kuva 13).

Kuva 13. IV-koneen rakenne



### 5.1 Energianmittaus ja takaisinmaksuaika

Energiankulutuksen seurantaan varten kohteeseen asennettiin etäluettavat mittarit (kuva 14), joista saadaan tuntikohtaista tietoa kulutuksesta. Mittaukseen otettiin meno- ja tulopuolen moottorit puoli ja täysinopeuden tehonkulutus. Lopputulemassa esitellään taulukkona energiansäästötulokset vanhan ja uuden moottorin vertailuna. Lisäksi mittaukseen otettiin moottoreiden loistehon kulutus.

Kuva 14. Energiankulutuksen mittaus



Moottorien päivitykselle määriteltiin arvio hankinnan takaisinmaksuajalle, hankinnan takaisinmaksuaikaa laskettiin suoraan sähköenergian säästöillä vuositason kaavan 3. mukaan. Takaisinmaksuaikaa tarkasteltiin nettotuotto periaatteella, jossa laskettiin nettotuotoksi kaikki energiasäästöt vuositason, ja kuluiksi kaikki investointiin kulunut pääoma. Kustannukset jaettiin nettotuotoilla ja tästä saatiin investoinnin arvioitu takaisinmaksuaika vuositason.

Kaava 3.

$$n=H/s$$

$n$ = Investoinnin takaisinmaksuaika vuosina

$H$ = Investoinnista aiheutuneet kulut kokonaisuudessaan

$s$ = saavutettu säästö energiankulutuksessa vuositason

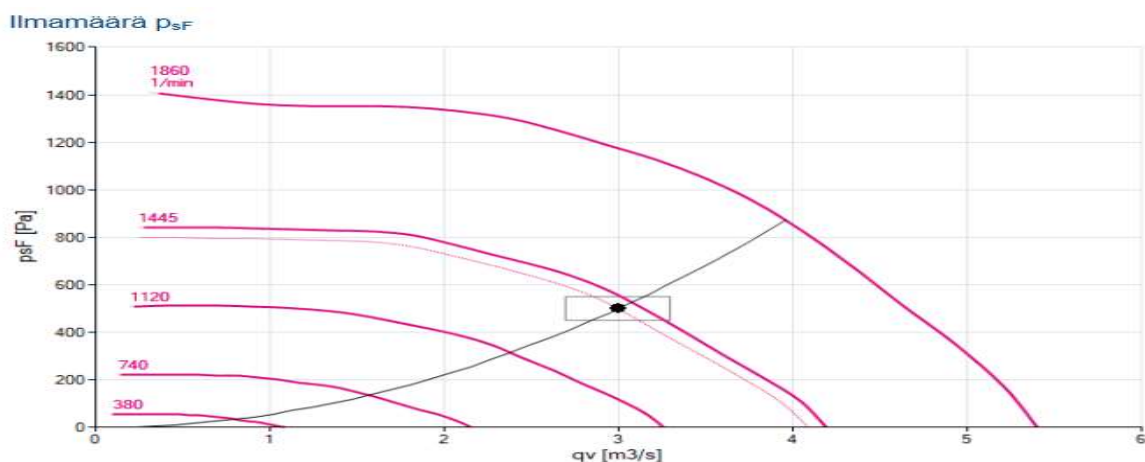
## 5.2 Moottorin valinta

Puhaltimiksi kohteeseen valittiin EC- moottori GR56I-ZID.GQ.CR, liitteestä 1 löytyy tarkemmat moottorin suoritearvot. EC- moottorin valintaan vaikutti energiatehokkuuden näkökulmat, energiatehokkuusluokka on IE5 ja SFP arvo on alle 2. EC- moottoreissa EMC-suojaus ei ole niin suuressa roolissa, ja asennuksellisesti voidaan käyttää vanhaa kaapelointia. Nopeuden ohjaus on integroitu EC- moottoreihin ja näissä ei tarvita erillisiä taajuusmuuttajia, ja tällä tavalla saavutetaan parempi huoltovarmuus. IV- konehuoneiden tilat ovat yleensä pieniä, ja tämäkin tukee haalausten näkökulmasta valintaa. Investoinnilla ei ole merkittävää eroa, jos verrataan esim. PM-moottoriin, joka tarvitsee ohjaukseen erillisen taajuusmuuttajan.

Tässä projektissa toimintapisteen mitoitukseen käytettiin paineenkorotus ja ilmavirran määrittelyä. Paineen korotus mitattiin vanhoista koneista ja määritelty ilmavirta saatiin koneen kylkeen dokumentoiduista virtaustiedoista.

Kuvassa 15 esitetään moottorin toimintapistettä kyseisen puhaltimen käyrästä, kuvassa harmaa kuva moottorin kierrosnopeutta ja punaiset käyrät ovat moottorin suoritearvoja eri nopeuksilla. Kuvasta havaitaan, että valitun moottorin max. nopeus on 1860 1/min ja mitoituspisteessä moottorin nopeus on 1406 1/min. Moottori on ylimitoitettu tulevaisuuden muutoksien varalle ja mahdollisen vapaajähdytyksen lisätehon toteuttamiseen.

Kuva 15. Moottorin mitoitus Pa,qv



### 5.3 Moottorin nopeuden säätö

Moottoreiden nopeutta tässä projektissa ohjataan kiinteistön Honeywell automaatiojärjestelmän 0-10V analogiohjauksella. Analogiviestin ja moottorin nopeuden suhde säädetään asennusvaiheessa mitoituksen mukaiseksi. Automaation analogiasäätöön kytketään CO<sub>2</sub> anturi, jonka arvoilla koneen nopeutta ohjataan. CO<sub>2</sub> anturi (kuva 16) asennetaan IV-kanavan poistokanavaan, mistä saadaan paras mahdollinen tieto käyttöasteen nousuun. Liitteessä 2 esitetään anturin kytkentä ja ohjaukset.

Kuva 16. CO<sub>2</sub> anturi



### 5.4 Projektin toteutus

Projektissa toteutettiin koneparin TK3/PK3 moottoreiden päivitys uudempaan EC-moottori tekniikkaan. Saneerattava moottori toimi aikaisemmin automaation kello-ohjattuna täydellä teholla ohjelmoidut ajat. Ensimmäisessä vaiheessa purettiin vanhat moottorit pois, ja suunniteltiin uusien moottoreiden asennustapoja. Uusien EC-moottorien (kuva 17) asennuksessa jouduttiin IV-kammioon tekemään uusi väliseinä, jotta saatiin uudet moottorit asennettua.

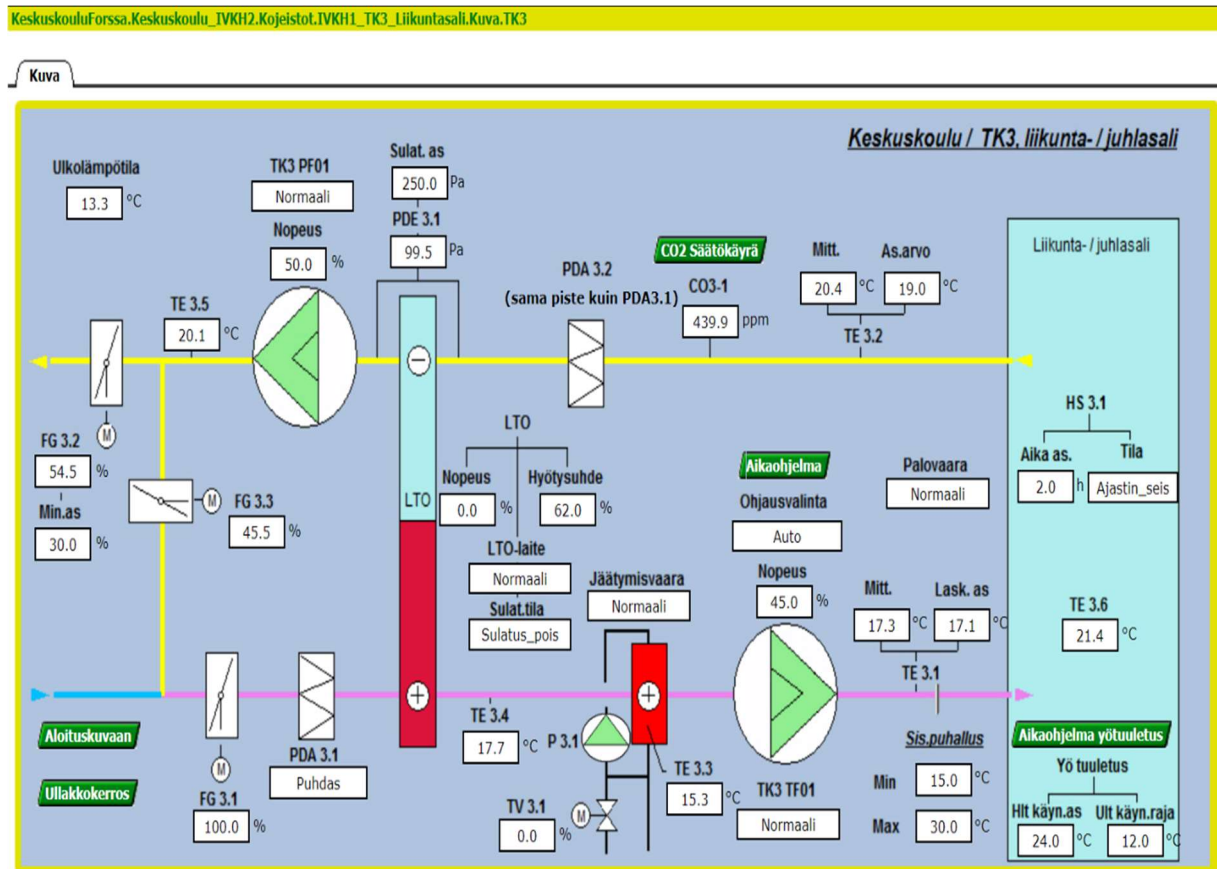
Kuva 17. Päivitetty moottori



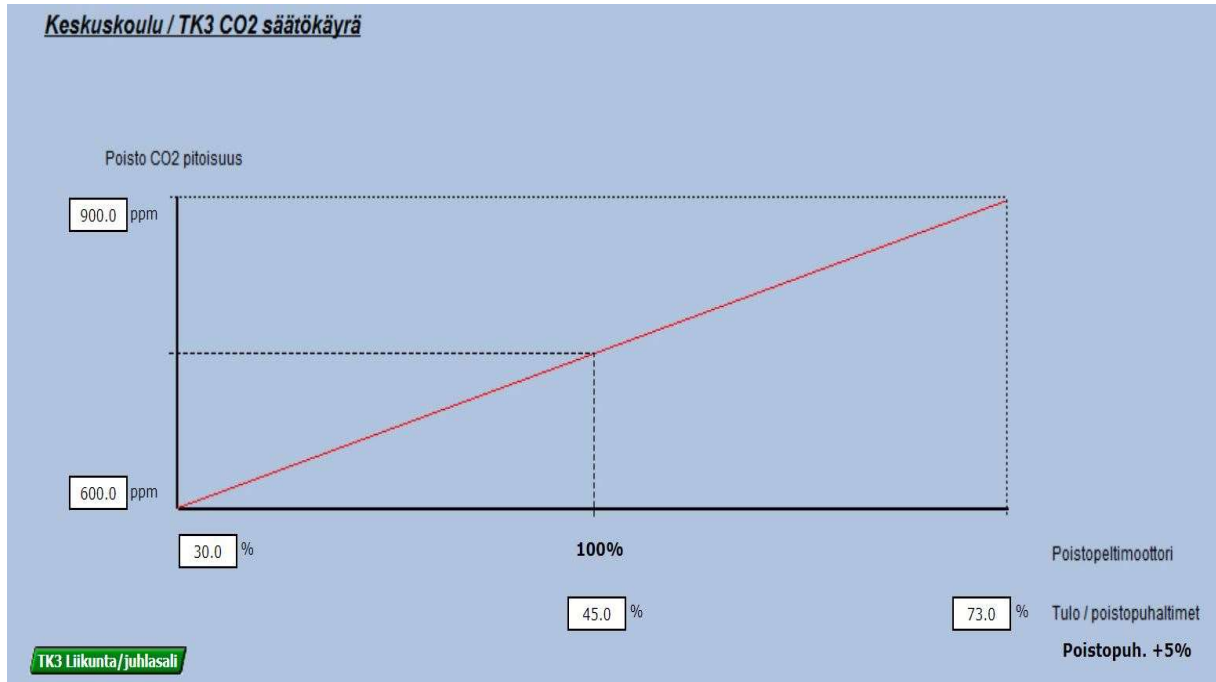
Sähköasennuksissa moottoreiden sähkösyöttöön käytettiin vanhan koneen kaapelointia, analogiohjaukseen ja tilatiedoille automaatiokeskuksen ja moottorin välille kaapeloitiin NOMAK 4\*2\*0,5+0.5. Kiinteistön automaatiojärjestelmä ohjaa moottoria 0-10 v jänniteviestillä, koneesta automaatioon päin kytkettiin vika ja käyntitieto. Moottoreihin kytkettiin asennusvaiheessa bluetooth-vastaanottimet, ja koneen asetukset määriteltiin mobiilisovelluksella Zaset mobile. Sovelluksella määriteltiin nopeudensäädön ohjaustapa, käyntitiedon asetukset ja vikälähdöt.

Moottoreiden säädöissä käytettiin alkuperäisistä moottoreista mitattuja paineenkorotusarvoja. Mittauksiin käytettiin paine-ero mittaria, ja vanhan koneen hitaan nopeudet arvot asettuivat siten, että tulopuolen koneen teho oli 45 % moottorin täydestä tehosta ja poistopuoli asettui 50 % tehoon. Kuvasta 17. esitetään asetetut arvot, kuvassa näkyy myös jälkilämmityspatteri, joka on liitetty kaukolämpöön eikä siten vaikuta koneiden energiankulutukseen. Järjestelmässä on myös kiekko tyyppinen lämmön talteenotto järjestelmä, näihin kuitenkin tässä työssä ei keskitytty, vaan tarkasteltiin suoraan sähkökulutuksesta saatavia säästöjä moottoreiden osalta.

Kuva 17. Automaatiografiikka



Kuvassa 18. esitetään hiilidioksidin ohjaukaskäyrä moottorin nopeuteen, kuvasta nähdään hiilidioksidin ohjaukaskäyrän arvot, ohjaukaskäyrä ohjaa käytännössä 750 ppm asti raitisilmapeltiä FG3.2 auki ja samalla sulkee suhteessa kiertoilmapeltiä FG 3.3 kiinni, ja sen jälkeen kasvattaa moottorin nopeutta aina 900 ppm asti. Hiilidioksidi arvon saavuttaessa 900ppm käyvät moottorit asetettua maksimi nopeutta, joka on tulopuhaltimella 73 % ja poistupuolella 78 %. Moottorin valinta ja mitoitus onnistui tässä projektissa hyvin, moottorin tiedoista liitteestä 1. havaitaan että laskettu mitoitusteho oli 76 % ja moottorin nopeus 1406 1/min.

Kuva 18. CO<sup>2</sup> säätökäyrä

Vanhoissa moottoreissa oli myös yö tuuletus, jota käytetään kesäaikana sisätilojen jäähdyttämiseen. Automaatiossa annetaan aikaohjelma, koska yö tuuletus on mahdollista ja asetettu aikaohjelma on 22:00-06:00. Yö tuuletus käynnistyy, jos sisätila anturin arvo on yli 24 astetta ja ulkolämpötila on yli 12 astetta ja alle 22 astetta. Vanhoissa koneissa yö tuuletusta ohjattiin moottoreiden täydellä teholla ja uusiin moottoreihin asetettiin nopeus CO<sup>2</sup> 900ppm asetusarvoon, joten tästäkin saadaan moottoreille energiansäästöjä. Tästä on laskettu arvio keskimääräisen hellepäivien lukumäärällä vuodessa.

## 6 Yhteenveto

Moottoreiden investoinneista on vaikeaa tehdä täysin vertailukelpoista hankintapohjaa, koska valintaan vaikuttaa monta eri tekijää. Ilmavaihtojärjestelmän tarvittavan moottorin koko ja tilojen käyttöaste vaikuttavat oleellisesti hankinnan takaisinmaksu-aikaan. Sähkön hinnan kehitys ja tilojen ilmastoinnin tehokkuuden tarve vaikuttavat myös omalta osaltaan tähän. Tarkastelut täytyy tehdä kohdekohtaisesti ja käyttää työssä mitattua tietoa pohjatietona. tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin liikuntasalin ilmanvaihdon energiatehokkuutta moottorikäyttöjen suhteen, tilojen käyttöaste ja vanhan

verrokkimoottorin käyttöajat ovat olleet arkisin 7:00-21:00 ja viikonloppuisin 7:00-18:00, koska tiloja käyttävät iltaisin ja viikonloppuisin myös harrasteseurat.

Investoinnin takaisinmaksuajan (taulukko 1) määrittelyssä käytettiin 42 viikon käyttöastetta vuodessa. Vertailussa nettosäästöjä energiankulutuksen mittauksessa käytettiin 2 viikon vertailu ajanjaksoa. Yö tuuletuksien kohdalla energiasäästöjen arviointi on hankalaa, koska ne riippuvat suoraan kesän lämpötiloista. Kesä 2021 oli todella lämmin mikä näkyi mittauksista. Kulutusta yö tuuletuksissa oli monena yönä, mutta tätä osaa ei kuitenkaan saatu huomioitua lopputulemassa. Uusien moottoreiden mittausjaksolle ei osunut verrokkilämpötiloja, joten laskelmaan on lisätty arvio yö ja loma-aikojen energiasäästöistä. Projektissa mitattiin myös kappaleessa 2.6 käsiteltyä loistehoa, ja vanhoissa koneissa mittausten mukaan loistehoa kului 2.5Kvar/h ja uudet EC-moottorit eivät tuota loistehoa verkkoon ollenkaan. Tämä ei ole kuitenkaan verkkoyhtiölle näkyvä ja laskutukseen menevä loisteho, koska kiinteistössä on loistehoa kompensoiva paristo. Loistehon huomioon ottaminen kuitenkin isoissa moottoreiden päivityksissä on myös säästöjen näkökulmasta huomioon otettava asia. Sähkön hintana näissä laskemissa käytettiin 0.11 senttiä/Kwh.

Taulukko 1. Investoinnin takaisinmaksuaika

IV-moottoreiden takaisinmaksulaskelmat			
IV- moottoreiden hankintakustannukset	4000e		
Asennustyöt	2000e		
	Kwh/ 2 viikkoa	Kwh/ 42 viikkoa	
TK3 Tulopuhallin/Uusi	138	2898	
TK3 Poistopuhallin/uusi	177,2	3721,2	
Yhteensä	315,2	6619,2	
TK3 tulopuhallin/vanha	477,4	10025,4	
PK3 poistopuhallin/vanha	528,2	11092,2	
Yhteensä	1005,6	21117,6	
Loma-aikojen tuuletuksia 4h/päivä, säästö/Kwh			1120
Yö-tuuletuksien kulutus 20d/vuosi/Kwh			250
Säästöt/Kwh	690,4	15868,4	
Säästöt/euro a`0.11 senttiä	75,9	1745,5	

Investoinnin takaisinmaksuaika saadaan suoraan kaavan 3. mukaan, joka tässä projektissa on suoraan moottoreiden nettosäästöistä n 3.4 vuotta.

Muita saavutettavia etuja EC moottoreissa on:

- Parempi toimintavarmuus ja huollon säästöt (vanhoissa koneissa hihnat ja laakerit)
- Ilman virtauksen tehostusmahdollisuus
- Koneiden haalaus ja nopea asennus
- Huomattavasti vähemmän äänisaastetta
- ilmanlaatu, ei tuota hihnapölyä.

Projekti oli todella mielenkiintoinen, koska minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta ilmastoinnista ja sen ohjaamisesta/mitoituksesta. Tämä työ avasi hyvin näkökulmaa, kuinka suuri potentiaali ilmanvaihtojärjestelmissä on energiasäästönäkökulmista. Työn tuloksilla on hyvä arvioida kaupunki sektorilla tulevien saneerauksien taloudellista hyötyjä ja takaisinmaksuaikoja. Työssä sain myös tärkeää tietoa päivitettävien koneiden valinnasta, koska monessa kohteessa on vanhoja koneita, ja dokumentaatio on monesti puutteellista. Oikean kokoisen ja tehoisen moottorin valinta on tärkeä osa-alue saneerauksissa, jotta saavutetaan maksimaalinen hyötysuhde investoinneille. Tämän projektin aikana oppi myös, miten voisi ilmanvaihtojärjestelmiä kehittää eteenpäin. Sisäilma asiat ovat nykypäivänä tärkeä asia, ja esim. paine-ero antureiden lisääminen kiinteistöihin ja näiden avulla EC-moottoreiden ohjaus ilmanpaineiden säätämiseen on mielenkiintoinen asia.

## Lähteet

Auser. (n.d). PM-moottoreiden nopeudensäätö. Haettu 23.5.2021 osoitteesta.

[https://www.auser.fi/wp-content/uploads/Taajuusmuuttajakayton\\_vaatimukset.pdf](https://www.auser.fi/wp-content/uploads/Taajuusmuuttajakayton_vaatimukset.pdf)

Filtech. (2009). SFP-luvun määrittely. Haettu 15.5.2021 osoitteesta.

[https://filtech.fi/data/sfpopas3\\_060709.pdf](https://filtech.fi/data/sfpopas3_060709.pdf)

Danfoss. (n.d.). Taajuusmuuttajan käyttökohteet. haettu 8.4.2021 osoitteesta.

<https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>

Danfoss. (n.d.a). Energiatohokkuusluokat. haettu 8.4.2021 osoitteesta

<https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/knowledge-center/energy-efficiency-directive/>

Fläktwoods. (2015-a). Ilmastoinnin moottoreiden mitoitus. haettu 20.4.2021 osoitteesta.

<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=70072eb6-48a7-4534-a1e1-9db6709cb22b>

Fläktwoods. (2015-b). IV-koneiden moottorikäyttö. haettu 15.5.2021 osoitteesta.

<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=70072eb6-48a7-4534-a1e1-9db6709cb22b>

Fläktwoods. (2015-c). Toimintapisteen määrittely. haettu 15.5.2021 osoitteesta.

<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=70072eb6-48a7-4534-a1e1-9db6709cb22b>

Fläktwoods. (2015-d). Kilpitedoilla määrittäminen. haettu 27.5.2021 osoitteesta.

<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=70072eb6-48a7-4534-a1e1-9db6709cb22b>

Fläktwoods. (2015-e).Sähköteholla mitoitus. haettu 27.5.2021 osoitteesta.

<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=70072eb6-48a7-4534-a1e1-9db6709cb22b>

Fläktwoods. (2015-f).ilmavirralla mitoitus. haettu 27.5.2021 osoitteesta.

<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=70072eb6-48a7-4534-a1e1-9db6709cb22b>

Gradia.(n.d). Taajuusmuuttaja yleistä. haettu 5.4.2021 osoitteesta.

<https://blogit.gradia.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>

Hietalahti, L. (2013). Teollisuuden sähkökäytöt. Tammertekniikka

Hietalahti, L (2012) Säädetty sähkömoottorikäytöt. Tammertekniikka

Koivula, T. (2017). Elektronisesti ohjattujen moottorien huomioiminen suunnittelussa

[opinnäytetyö, Tampereen Ammattikorkeakoulu].

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127108/Koivula\\_Tommi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127108/Koivula_Tommi.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Motiva. (2020). Moottorit. Haettu 3.4.2021 osoitteesta.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit)

Motiva. (2020). Moottorit. Haettu 3.4.2021 osoitteesta.

[https://www.motiva.fi/files/5342/Energiatehokkaat\\_sahkomoottorit.pdf](https://www.motiva.fi/files/5342/Energiatehokkaat_sahkomoottorit.pdf)

ST 21.33. (2012). Oikosulkumoottorit. Haettu osoitteesta

<https://severi.sahkoinfo.fi/item/4583?search=Moottorit>

Zener. (23.1.2021). Energiatehokkuusluokat. Haettu 10.4.2021 osoitteesta

<https://www.zener.fi/sahkomoottoreiden-energiatehokkuusvaatimukset/>

## Liite 1: Uusi Moottori

## puhallin tiedot

15.4.2021

versio FANselect V 1.01 (210406), AMCA V 1.03 February, 2019 / 1.21.04.06 | 769 | (käyttäjä pontysr)



Tyyppi	GR56I-ZID.GQ.CR
artikkelinumero	116909/A01   Portfolio STD-WW
Viite	Forssa TF/PF3.1

## Tekniset tiedot

Moottori	ECblue
Efficiency class	IE5
päävirta	3~ 400V 50Hz
(t)	°C
Hyötysuhde $\eta_{statA}$	%
Hyötysuhde $N_{actual}$   $N_{target}$	75,8
ErP-hyväksyntä	2015   EC säädin sisäänrakennettu
grille   influence	78,8   62
	Ei

## puhallin tiedot

SFP-luokka   SFP-arvo ( $P_{SFP}$ )	-   $Ws/m^3$	2   737
ilmamäärä ( $q_V$ )	$m^3/s$	3.00
air velocity	m/s	7.16
Paine, stat. ( $p_{sF}$ )   tot. ( $p_F$ )	Pa	500   523
Sähkönsyöttö ( $P_{sys}$ )	W	2211
järjestelän hyötysuhde, stat. ( $\eta_{sF,sys}$ )   tot. ( $\eta_{F,sys}$ )	%	67.9   71.0
puhallin nopeus (n)   max. ( $n_{max}$ )	1/min	1406   1860
Puhallinnopeus, asetusarvo ( $\%n_{max}$ )	%	76
Taajuus ( $f_{BP}$ )   ( $f_{max}$ )	Hz	50   60
jännite ( $U_{DF}$ )	V	400
Virta ( $I_{DF}$ )	A	3.42
Ääni, imupuoli ( $L_{w(A),5}$ )   ( $L_{w,5}$ )	dB	73   81
Ääni, painepuoli ( $L_{w(A),6}$ )   ( $L_{w,6}$ )	dB	81   86
Mitat (l x k x p)	mm	730 x 730 x 610
Tuotteen paino	kg	67
K-arvo	-	355
paine-ero nippa	Pa	926
Asennustila (l x k x p)	mm	1690 x 880 x 1100
Kotelo/siipi	-	1.6

Liite 2. CO<sup>2</sup> anturi

Ominaisuus	Arvo
Lähdöt	0...10 V / 2...10 V / 0...5 V, < 2 mA
Kaapeliläpivienti	M16
Tiedonsiirto, M-mallit	Modbus RTU
Käyttöolosuhteet	
Lämpötila	0...50 °C
Kosteus	0...85 %rH (ei kondensoituva)
Varastointilämpötila	-20...70 °C
Liittimet	1,5 mm <sup>2</sup> , kallistetut ruuviliittimet
Kotelointi	IP54, kaapeliläpivienti alaspäin
Mitat (l x k x s)	105 x 104 x 155 mm

## Kytcentä

**CAUTION** **Varoitus:** Laitteen kytkentä ja käyttöönotto on tarkoitettu vain ammattilaisille. Laite kytketään aina jännitteettömänä.

