



Joonas Suortti

# Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

4.5.2022

## Tiivistelmä

Tekijä(t): Joonas Suortti  
Otsikko: Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen  
Sivumäärä: 36 sivua  
Aika: 4.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka  
Ohjaaja(t): Lehtori Eero Kupila

---

Opinnäytetyössä perehdytään Snellmanin Kokkikartano Oy:lle yhdessä Assemblin Oy:n ja Astlon Oy:n kanssa asennettuihin EC-puhallinmoottoreiden tekniikkaan, asennukseen ja niiden tuomiin etuihin verrattuna oikosulkumoottoreihin ilmanvaihtokoneissa. Työssä tarkasteltiin myös lisättyjä LTO-huippuimureita.

Opinnäytetyön aluksi käytiin läpi EC-moottorin tekniikkaa ja vertailtiin sen ominaisuuksia ja hyötyjä perinteiseen oikosulkumoottoriin, josta siirrytään ilmanvaihdon tilanteeseen ennen muutosprojektin alkua ja asennukseen sekä käyttöönoton jälkeiseen aikaan ja saavutettuihin hyötyihin.

Ilmanvaihtokoneiden käyntiaikoja sekä tehoja säädettiin siten, että tuotantoajan ulkopuolella koneet pyörivät pienemmällä teholla silloin kun tarvetta tehokkaalle ilmanvaihdolle ei ole, kun taas aiemmin osa koneista kävi ympäri vuorokauden täydellä teholla. Ilmanvaihtokoneen puhallinmoottoreista tehtiin energiankulutusmittaukset, joita hyödynnettiin tässä työssä.

Lopputuloksena päästiin energiatehokkaampaan, paremmin tarvetta palvelemaan ja hiljaisempaan ilmanvaihtoon ja saatiin lisäsäästöjä lämmöntalteenotosta.

Avainsanat: energiatehokkuus, EC-moottori, ilmanvaihto, lämmöntalteenotto

## Abstract

Author(s): Joonas Suortti  
Title: Improving the Energy Efficiency of Ventilation  
Number of Pages: 36 pages  
Date: 4 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Specialisation option: Electrical Power Engineering  
Instructor(s): Kupila Eero, Senior Lecturer

---

The purpose of this thesis study was to get acquainted with newly installed EC fan motors at Snellmanin Kokkikartano Oy, together with Assemblin Oy and Astlon Oy. The aim for this study was to find out the advantages of EC motors, compared to regular induction motors in ventilation systems. Also, installations and the technology behind EC motors and new heat recovery systems are introduced in this thesis.

At the beginning of the thesis, the technology of the EC motor is reviewed, and its features and benefits are compared to a regular induction motor. Then, the condition of the old ventilation system is reviewed before the start of the project. After that, the installations are introduced and finally, the results and benefits of the project are explained.

Running times and the power of the ventilation were adjusted so that outside of the production time, the power was set to a smaller value because there is no need for powerful ventilation. Previously the ventilation was running with full power around the clock.

The result is more energy-efficient, better serving, and quieter ventilation. Also additional savings from heat recovery were achieved.

Keywords: energy efficiency, EC motor, ventilation, heat recovery

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	EC-moottorin teoriaa	2
2.1	Rakenne	2
2.2	Ominaisuudet	3
2.2.1	Vakiomomentti	3
2.2.2	Nopeuden säätö	4
2.2.3	Älykäs rakenne	4
2.2.4	Ohjaus	4
3	Energiatehokkuuden parantaminen	6
3.1	Ilmanvaihdon osuus kiinteistön energiankulutuksesta	6
3.2	Ilmanvaihtokoneiden kunto ja huolto	7
3.3	Ilmanvaihdon säätö	8
4	Projektin toteutus	9
4.1	Ilmanvaihtokoneiden tilanne ennen projektin alkua	9
4.2	Tulevat puhaltimet	13
4.3	Asennukset	14
4.3.1	Puhallinmoottorit	14
4.4	Energian mittaus	18
4.5	Puhallinmoottorien vaihdon vaikutus	20
4.6	LTO-yksikön lisäyksen vaikutus	23
5	Tulokset	25
5.1	Mittaustulokset sähköenergiankulutuksessa säädetyllä käytöllä	25
5.1.1	Virrankulutus	25
5.1.2	Pätöteho	29
5.2	Säästöt puhallinmoottorin sähköenergiassa	32
5.3	Säästöt lämpöenergiassa	34
6	Yhteenveto	36
	Lähteet	37

## **Lyhenteet**

EC            Electronically commutated, Elektronisesti kommutoitu.

LTO           Lämmöntalteenotto.

# 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä perehdytään Snellmanin Kokkikartano Oy:n aloittamaan energiansäästöprojektiin ja käydään läpi ilmanvaihdon osalta toteutuneeseen hankkeeseen, jossa vaihdettiin viiteen tulo- ja poistoilmakoneeseen EC-puhallinmoottorit (Electronically commutated) sekä lisättiin LTO-yksiköt (Lämmöntalteenotto).

Ilmanvaihtokoneiden puhallinmoottorit alkoivat olla jo sen ikäisiä, että uusiminen oli ajankohtaista, joten hetki oli otollinen päivittää vanhat oikosulkumoottorit tämän päivän tasalle EC-puhallinmoottoreilla ja lisätä samalla LTO-yksiköt, jotta energiansäästötavoite saavutettaisiin.

Muutoksen tavoitteena oli saada noin 50 %:n säästö ilmanvaihdon kokonaisenergiankulutuksessa, eli sähkö- ja lämpöenergiasta.

Projektin alussa kilpailutettiin hankkeen suunnittelu- ja asennustyöt. Kilpailutuksen voitti Assemblin Oy, joka on erikoistunut mm. energiatehokkuuden parantamiseen. Ilmanvaihdon ohjausmuutoksista vastaamaan valittiin Astlon Oy, joka hoitaa Kokkikartanon kiinteistöautomaatiota, joten aloitushetken tekniikka ja koneet olivat heille tuttuja.

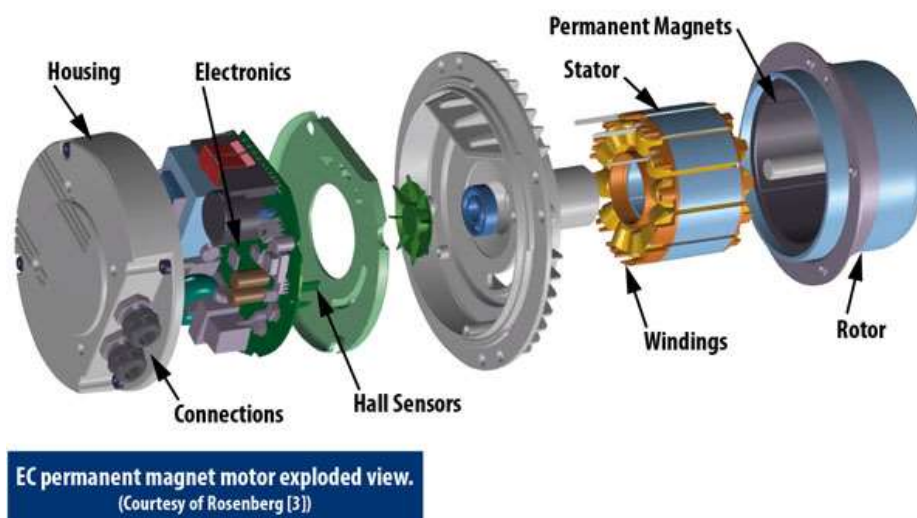
Työssä mittaukset ja laskelmat on tehty yhden ilmanvaihtokoneen perusteella, mutta ovat sovellettavissa kaikkiin muihin kiinteistön ilmanvaihtokoneisiin, kohteena oleva yksikkö valittiin suurimman koon vuoksi.

## 2 EC-moottorin teoriaa

Tässä luvussa selvitetään EC-moottorin rakennetta, ominaisuuksia ja ohjausta.

### 2.1 Rakenne

EC (Electronically Commutated), eli elektronisesti kommutoitu moottori on hiiliharjaton tasavirtamoottori, joka voidaan toteuttaa kahdella erilaisella rakenteella. Pienemmissä moottoreissa rakenne on samantyyppinen oikosulkumoottorin kanssa, eli roottori on staattorin sisällä, suuritehoisissa moottoreissa roottori on rakennettu staattorin ympärille, jotta saavutetaan suurempi vääntömomentti johdettua suuremmasta halkaisijasta, johon saadaan enemmän magneetteja. [1.] Ulkoisella roottorilla varustettu moottori esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. EC-moottorin rakennekuva, jossa roottori on staattorin ympärillä [4].

Roottorin sisäpinnassa on kestopagneetit ja roottoriin on kiinnitetty laakeroitu akseli, joka kulkee sitä pyörittävän staattorin läpi.

Ohjauselektronikka on rakennettu yleensä suoraan moottorin sisälle, mutta on mahdollista asentaa myös ulkoinen ohjausyksikkö, tämän on oltava kuitenkin mahdollisimman lähellä moottoria.

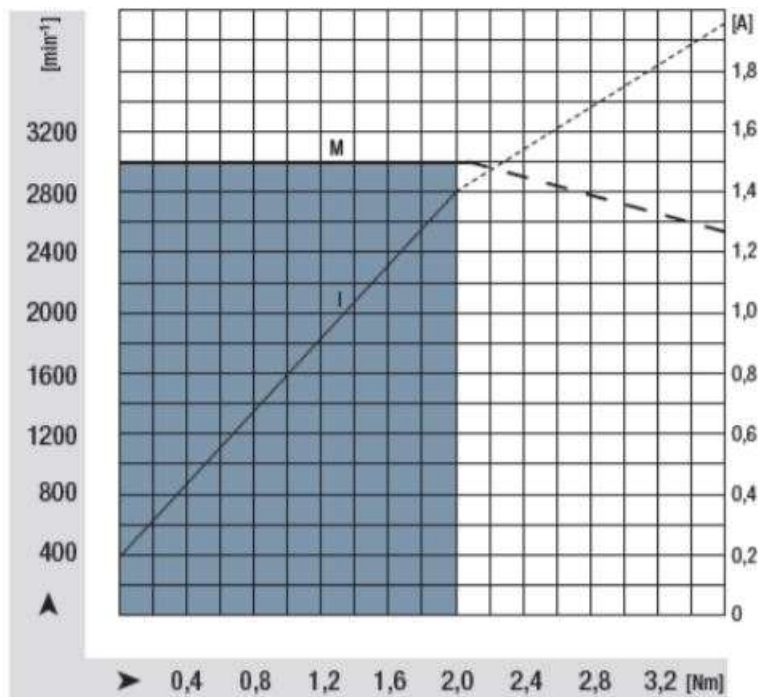
## 2.2 Ominaisuudet

Tässä osiossa selvitetään EC-moottorin hyvät ja huonot ominaisuudet. EC-moottorin hyötysuhde voi olla huomattavasti parempi kuin IE4 luokitus, tutkittavassa kokoluokassa jopa 90 %. Lisäksi EC moottori on perinteistä moottoria hiljaisempi. [8.]

Moottoriin integroitu ohjauselektroniikka mahdollistaa monia eri ominaisuuksia, kuten eri säätötapoja ja sisäänrakennetun suojalaitteiston. Elektroniikka tunnistaa ylikuormituksen ja suojaa moottoria. Nämä ominaisuudet nostavat hintaa perinteiseen moottoriin nähden.

### 2.2.1 Vakiomomentti

EC-moottorin momentti on vakio, kun sen pyörimisnopeus on nimellistä nopeutta pienempi. Tämä tarkoittaa, että kuormaa voidaan pyörittää vakiomomentilla millä tahansa kierrosnopeudella nimellinopeuden alapuolella, momenttikäyrä esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Erään EC-moottorin kuormitettavuus esitetynä säädetyssä käytössä. [8].



### 2.2.2 Nopeuden säätö

EC-moottorin kierrosnopeutta voidaan säätää lähestulkoon koko nopeusalueella 0–100 % nimellisnopeudesta. Ohjauksen voi toteuttaa jänniteohjeella 0–10 V, PWM-signaalilla tai väyläohjauksella. [5.]

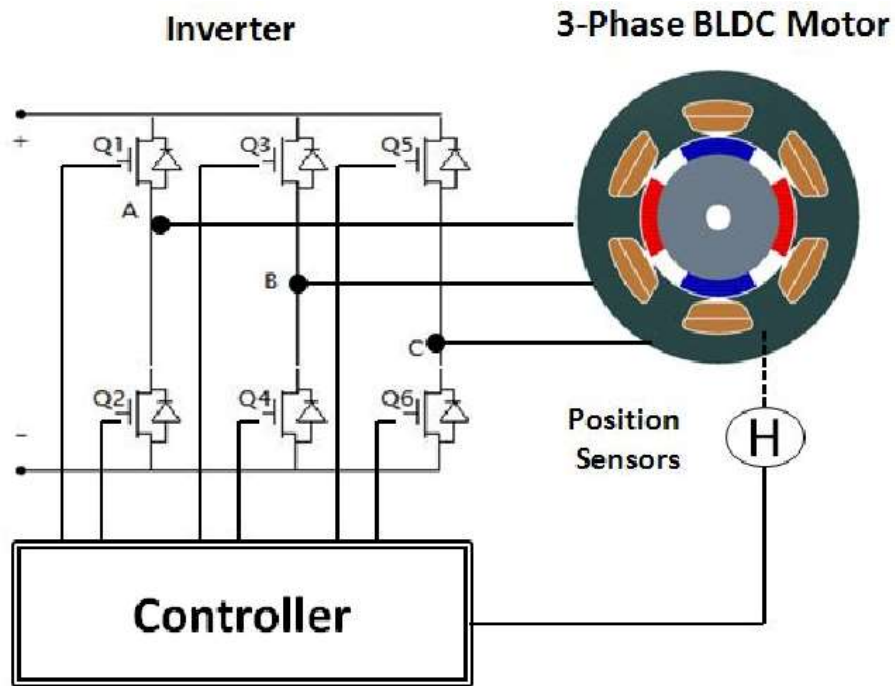
### 2.2.3 Älykäs rakenne

EC-moottorin rakenteeseen kuuluu yleensä monia antureita, jotka ovat yhdistettynä elektroniikkaan ja mahdollistavat monia toimintoja. Suurimpana tekijänä ovat Hall-anturit, jotka antavat elektroniikalle tiedon roottorin asennosta ja näin elektroniikka osaa antaa staattorille oikeanlaisen magneettikentän edistääkseen roottorin pyörimistä. [9.]

Lisäksi moottorissa on suojaukseen liittyviä antureita, kuten staattorin ja ulkolämpötilan lämpötila-anturit.

### 2.2.4 Ohjaus

Ohjauselektroniikka on yksi tärkein osa EC-moottoria sen toiminnan kannalta. Moottorin ohjaus on toteutettu six-step- menetelmällä, Kuvassa 3 esitettyinä ohjauskaavio.



Kuva 3. Six-Step-ohjaimen kaavio [2].

Six-step-ohjain syöttää vain kahta käämiä kerrallaan samaan aikaan.

### 3 Energiatohokkuuden parantaminen

Osiassa käydään läpi yleisellä tasolla ilmanvaihdon energiatohokkuuden parantamiseen soveltuvia keinoja.

#### 3.1 Ilmanvaihdon osuus kiinteistön energiankulutuksesta

Suomessa rakennusten koko elinkaaren päästöistä 80 % syntyy käytönaikaisista päästöistä ja vain noin 20 % rakentamisesta ja materiaaleista. Ilmanvaihtoon kuuluu lämpöenergian kokonaiskulutuksesta 20–50 % ja sähkönkulutuksesta 30–50 %. [6.]

Näihin lukemiin on saatavilla helpotusta, sillä energiakatselmusten mukaan noin 60 % potentiaalisista säästöistä on toteutettavissa ilman investointeja säätämällä ilmanvaihdon käyntiaikoja, sekä lämpötiloja.

Esimerkiksi tuotantolaitosten ilmanvaihdon ohjaus tulee suunnitella siten, että ilmavirrat ovat säädettävissä tila- tai vyöhykekohtaisesti ottaen huomioon tilan kuormitus ja sisäilman laatu, säästöä ei tule tavoitella sisäilman kustannuksella. [7.]

### 3.2 Ilmanvaihtokoneiden kunto ja huolto

Ilmanvaihtokoneita tulee huoltaa siinä missä muitakin laitteita, esimerkiksi tukkeutuneet suodattimet läpäisevät ilmaa huomattavasti vähemmän, jolloin puhallinmoottorien täytyy käydä suunniteltua suuremmalla teholla. Moottorien ja puhallinsiipiä laakerit kuluvat ja saattavat ruostua kosteudesta ajan saatossa, tästä syntyy mahdollisesti suurikin pyörintävastus, joka taas aiheuttaa lisää energiankulutusta.

Tuloilmasuodattimet on hyvä vaihtaa vähintään puolen vuoden välein, jos tuloilmakoneissa on suuret ilmamäärät. Keväällä ja kesällä katu- ja siitepöly tukkii suodattimet tehokkaasti, syksyllä lehdet ja talvella lumi saattaa täyttää suodattimet, jos olosuhteet ovat otolliset.

Ilmanvaihtokoneista on hyvä myös tarkastaa, keräävätkö ne vettä ja ovatko vedenpoistot avoinna, eivätkä tukkeutuneet epäpuhtauksista.

### 3.3 Ilmanvaihdon säätö

Ilmavirrat tulisi tasapainottaa siten, että paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä olisi mahdollisimman pieni. Liian suuresta alipaineesta rakennuksen sisällä johtuen ulkoilma pyrkii kulkeutumaan kaikista mahdollisista vuotokohdista rakenteiden läpi sisälle ja saattaa aiheuttaa kosteus- ja mikrobivaurioita, sekä heikentää sisäilman laatua. Jos taas rakennuksen ilmanvaihto on suuresti ylipaineinen, niin lämmin ja kostea sisäilma tiivistyy viileisiin rakenteisiin matkalla ulos ja aiheuttaa myös mikrobivaurioita. [6.]

Yksinkertaisimmillaan ilmanvaihdon tehostus voi perustua lisäaikapainikkeisiin, tehostuskytkimiin tai läsnäolotunnistimiin. Tarpeenmukainen ohjaus ja energiatehokkuus voivat perustua myös ilmanvaihdon ohjaamiseen esimerkiksi huonelämpötilan tai epäpuhtauspitoisuuksien mittausten perusteella.

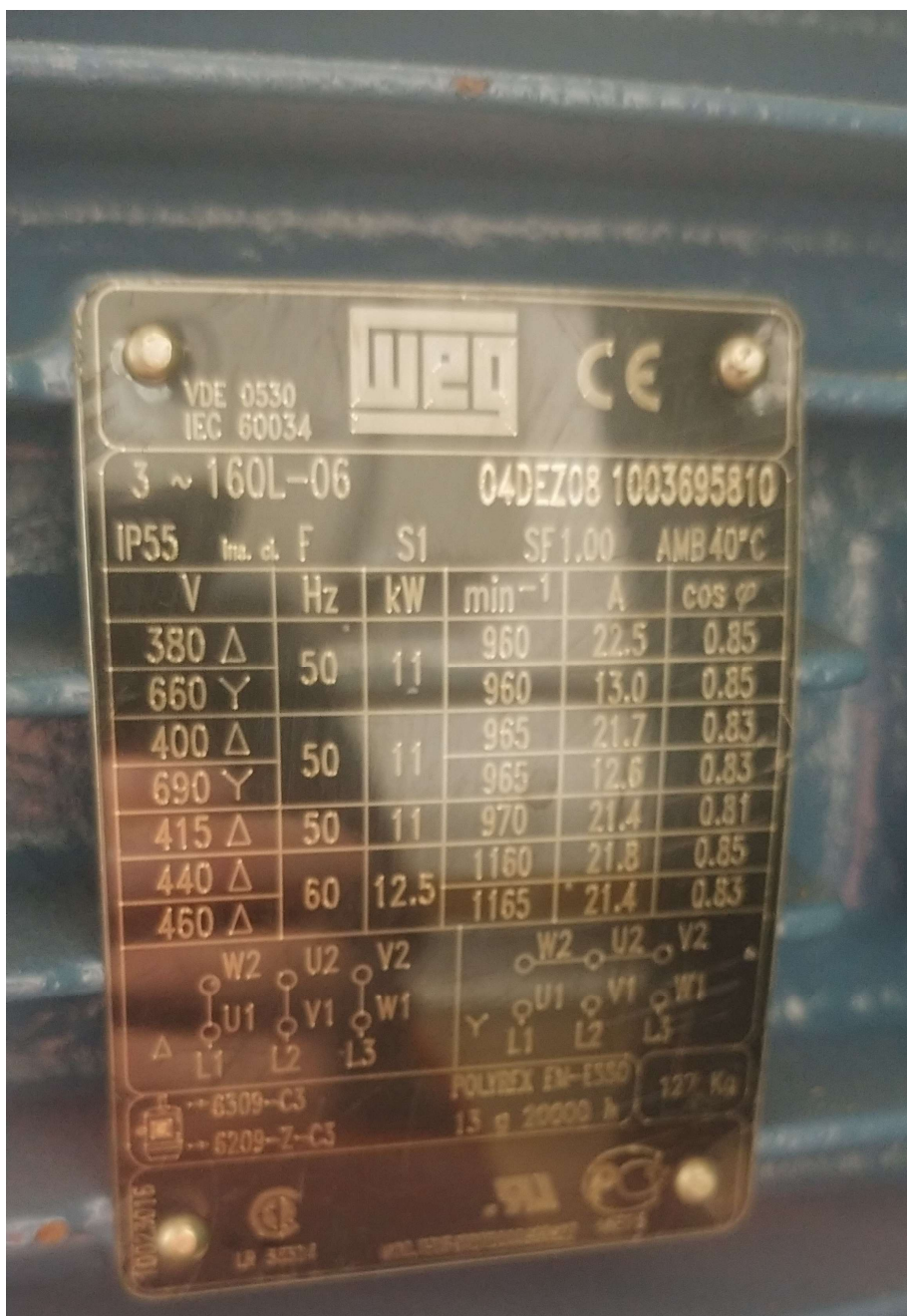
## 4 Projektin toteutus

Tämän osion aiheena on perehtyä muutosprojektin toteutuksen kulkuun, haasteisiin ja havaintoihin.

### 4.1 Ilmanvaihtokoneiden tilanne ennen projektin alkua

Ilmanvaihtokoneiden puhaltimet oli toteutettu hihna- ja suoravetoisilla oikosulkumoottoreilla ja niihin liitetyistä puhallinsiivistä, moottorit olivat joko jatkuvakäyntisiä vakionopeudella 100 %, tai tarvittaessa tehostettavia varustettuina taajuusmuuttajilla, jolloin moottorit kävivät normaalisti puolella nopeudella ja tehostuspainikkeella maksimipyörimisnopeudella.

Mittausten kohteena olevan tuloilmankoneen puhallinmoottori oli 11 kW:n tehoinen oikosulkumoottori, joka omasi 85 %:n hyötysuhteen. Kuvassa 4 on moottorin tyyppikilpi ja kuvassa 5 on suoravetoinen moottori ja puhallinsiipi.



Kuva 4. Vanhan puhallinmoottorin tyypikilpi.

Moottorin hyötysuhde on ilmoitettu nimellisnopeudella, jos nopeutta lasketaan tai nostetaan, niin hyötysuhde huononee huomattavasti.



Kuva 5. Puhallinmoottori ja siipi.

Raskas terässiipi ja iso roottorin massa vaatii käynnistyksessä paljon virtaa, tästä johtuu piikki, joka saatiin luettua energiamittariin, joka näkyy kuvassa 12.

Tuloilmakoneen ilmamäärä on  $6\text{m}^3/\text{s}$  ja poistokoneina toimii kaksi huippuimuria, molemmat  $2\text{m}^3/\text{s}$  ilmamäärillä, jotta koneiden palvelema tila pysyisi hieman yli-paineisena. Huippuimurit puhalsivat lämpimän sisäilman suoraan taivaalle, eikä lämpöenergiaa otettu talteen lainkaan.

Tuloilman jäähdytys on toteutettu kylmäkoneikon jäähdyttämällä jäähdytysliuos-verkoston kierrolla jäähdytyskennon läpi, tähän ei projektissa tehty muutoksia. Ilman lämmitys tapahtuu kiinteistön lämpöliuosverkoston avulla, jota lämmitetään kaukolämmöllä sekä kiinteistön LTO-piirin avulla.



Energiamittari asennettiin kohteeksi valitun puhallinmoottorin sähkönsyöttöön ennen projektin alkua, jotta saataisiin luotettavaa tietoa ajalta ennen uusia puhaltimia, sekä uusien puhaltimien asennuksen jälkeen.

## 4.2 Tulevat puhaltimet

Vanhan puhaltimen tilalle tähän kyseiseen ilmanvaihtokoneeseen asennetaan uusi EC-puhallin, jonka tiedot näkyvät kuvassa 6.

### puhallin tiedot

<b>SFP-luokka</b>   SFP-arvo ( $P_{SFP}$ )	-   $Ws/m^3$	<b>3</b>   1131
ilmamäärä ( $q_v$ )	$m^3/s$	6.40
Paine, <b>stat.</b> ( $p_{sF}$ )   tot. ( $p_F$ )	Pa	<b>750</b>   818
Sähkönsyöttö ( $P_{sys}$ )	W	7237
järjestelän hyötysuhde, <b>stat.</b> ( $\eta_{sF,sys}$ )   tot. ( $\eta_{F,sys}$ )	%	<b>66.3</b>   72.3
puhallin nopeus ( <b>n</b> )   max. ( $n_{max}$ )	1/min	<b>1590</b>   1860
Puhallinnopeus, asetusarvo ( $\%n_{max}$ )	%	86
Taajuus ( <b>f<sub>BP</sub></b> )   ( $f_{max}$ )	Hz	<b>50</b>   60
jännite ( $U_{DP}$ )	V	400
Virta ( $I_{DP}$ )	A	10.98
Ääni, imupuoli ( <b>L<sub>w(A),s</sub></b> )   ( $L_{w,s}$ )	dB	<b>85</b>   91
Ääni, painepuoli ( <b>L<sub>w(A),e</sub></b> )   ( $L_{w,e}$ )	dB	<b>91</b>   96

Kuva 6. EC-puhallinmoottorin tekniset tiedot.

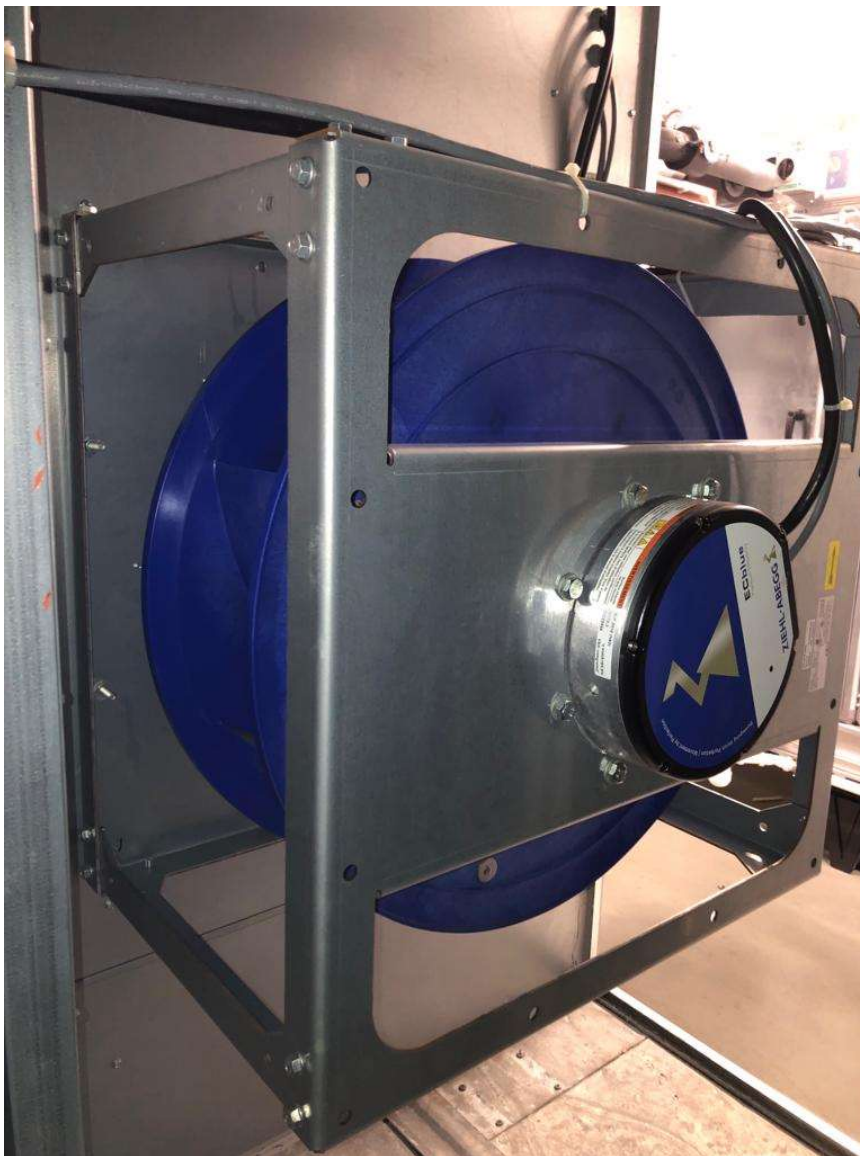
Puhaltimen tiedot saatiin laitetoimittajalta sähköisesti.

## 4.3 Asennukset

Projekti aloitettiin ohjauskaapeleiden (NOMAK 4x2x0,5+0,5) vetämisellä uusille ilmanvaihtokoneiden paine-erolähettimille ja puhallinmoottoreille, sekä LTO-yksiköille valvonta-alakeskuksilta, jotka on yhdistetty tietokoneeseen, jolla voidaan ohjata kiinteistöautomaatiota. Osaan ilmanvaihtokoneista uusittiin myös turvakytkimet niiden vanhan iän takia.

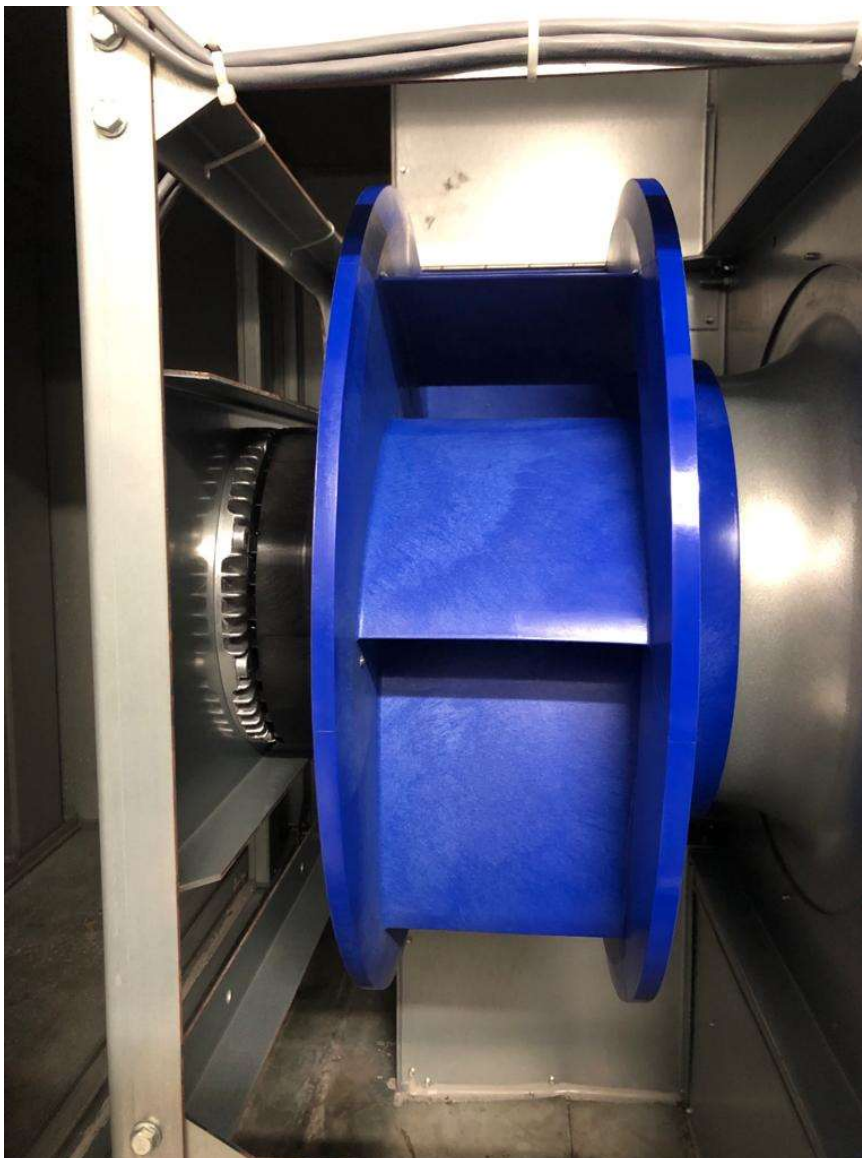
### 4.3.1 Puhallinmoottorit

Kun uudet ohjaus- ja syöttökaapelit oli asennettu, niin vanhat puhallinsiivet ja moottorit purettiin pois koneista, jonka jälkeen uudet Ziehl-Abeggin valmistamat ECBlue-puhallinmoottorit sovitettiin ja kytkettiin paikalleen, kuten kuvissa 7 ja 8 näkyy kyseisen ilmanvaihtokoneen osalta. Ilmanvaihtokoneeseen piti rakentaa yksi väliseinä lisää, johon uusi puhallin saatiin kiinnitettyä.



Kuva 7. EC-puhallinmoottori asennettuna vanhan puhaltimen tilalle.

Uudessa puhallinmoottorissa on huomattavasti kevyempi komposiittisiipi, joka ei vaadi läheskään yhtä suurta käynnistysmomenttia moottorin käynnistyessä.



Kuva 8. EC-puhaltimen komposiittipuhallinsiipi on kevyt ja kestävä.

LTO-yksiköiden asennuksessa poistettiin vanhat huippuimurit ja tilalle tuli Koja Oy:n valmistamat HiLTO-huippuimurit, joissa on integroituna LTO-kennot. Kuvassa 9 näkyy, miten LTO-kenno on yhdistetty huippuimuriin ja liuosputket tuotu kennolle.



Kuva 9. Kuvassa HiLTO-yksiköitä keräämässä hukkalämpöä talteen (Tom Allen Senera Oy).

Kiinteistöön rakennettiin nykyisen LTO-liuosverkon rinnalle uusi verkosto, johon HiLTO-yksiköt liitettiin. Tällä järjestelyllä voidaan minimoida lämpöhävikkiä, kun tuloilmaa voidaan lämmittää suoraan kyseisen tilan poistoilman lämpöenergialla, ilman eikä lämpöliuosta tarvitse tuoda toiselta puolelta kiinteistöä.

## 4.4 Energian mittaus

Luettava energiamittari asennettiin ilmanvaihtokoneen puhallinmoottorin syöttöön ohjauskeskuksen sisälle. Kuvassa 10 on energiamittari, joka on asennettu puhaltimen sähkösyöttöön.



Kuva 10. Energiamittari asennettuna ilmanvaihtokoneen ohjauskeskukseen.

Energiamittarin LAN-gateway-lisäosalla saatiin luettua mittausarvot suoraan Excel-taulukkoon ja luotua sitä kautta kuvaajat kulutuksen muutoksille. Kuvassa 11 on esitettyä malli mittausarvoista.

Date	Time	V1N	V2N	V3N	V12	V23	V31	VSYS	A1	A2	A3	AN
12.2.2019	11:23:53	224.113	224.151	225.245	387.794	389.155	389.576	388.850	10.225	10.023	10.530	0.032
12.2.2019	12:23:53	224.652	224.858	225.642	388.929	390.226	390.220	389.799	10.259	10.152	10.524	0.032
12.2.2019	13:23:53	224.858	225.260	225.722	389.482	390.617	390.466	390.197	10.287	10.198	10.488	0.032
12.2.2019	14:23:53	225.026	225.363	226.321	389.699	391.248	391.124	390.699	10.237	10.164	10.541	0.031
12.2.2019	15:23:53	225.897	226.432	227.088	391.571	392.801	392.387	392.261	10.340	10.319	10.558	0.031
12.2.2019	16:23:53	226.388	226.673	227.037	392.341	392.815	392.788	392.655	10.452	10.326	10.495	0.033
12.2.2019	17:23:53	224.940	225.164	226.165	389.329	391.004	390.972	390.444	10.185	10.095	10.543	0.034
12.2.2019	18:23:53	225.125	225.409	226.599	389.639	391.487	391.678	390.943	10.282	10.159	10.705	0.033
12.2.2019	19:23:53	224.747	224.710	225.881	388.802	390.199	390.697	389.907	10.307	10.064	10.594	0.034
12.2.2019	20:23:53	225.617	225.853	226.387	390.822	391.623	391.614	391.361	10.324	10.197	10.439	0.033
12.2.2019	21:23:53	226.566	226.365	226.792	392.179	392.079	393.031	392.438	10.567	10.160	10.465	0.034
12.2.2019	22:23:53	227.116	227.402	227.726	393.445	394.069	394.143	393.893	10.496	10.320	10.551	0.034
12.2.2019	23:23:53	228.029	228.201	229.094	394.778	396.069	396.150	395.672	10.583	10.442	10.827	0.034
13.2.2019	0:23:53	227.968	228.110	229.019	394.695	395.904	396.002	395.541	10.487	10.333	10.705	0.035
13.2.2019	1:23:53	227.560	227.907	228.921	393.977	395.603	395.792	395.132	10.476	10.316	10.815	0.034
13.2.2019	2:23:53	229.074	229.350	230.212	396.636	398.049	398.040	397.583	10.626	10.481	10.883	0.034
13.2.2019	3:23:53	228.760	228.880	229.855	395.978	397.311	397.464	396.925	10.650	10.472	10.897	0.035
13.2.2019	4:23:53	228.860	229.131	229.940	396.340	397.519	397.648	397.178	10.684	10.496	10.872	0.034
13.2.2019	5:23:53	228.163	228.296	229.363	394.950	396.348	396.558	395.960	10.519	10.340	10.793	0.035
13.2.2019	6:23:53	224.765	225.099	226.079	389.232	390.813	390.700	390.256	10.235	10.160	10.563	0.033
13.2.2019	7:23:53	224.509	224.586	226.034	388.390	390.187	390.757	389.786	10.207	9.991	10.622	0.033

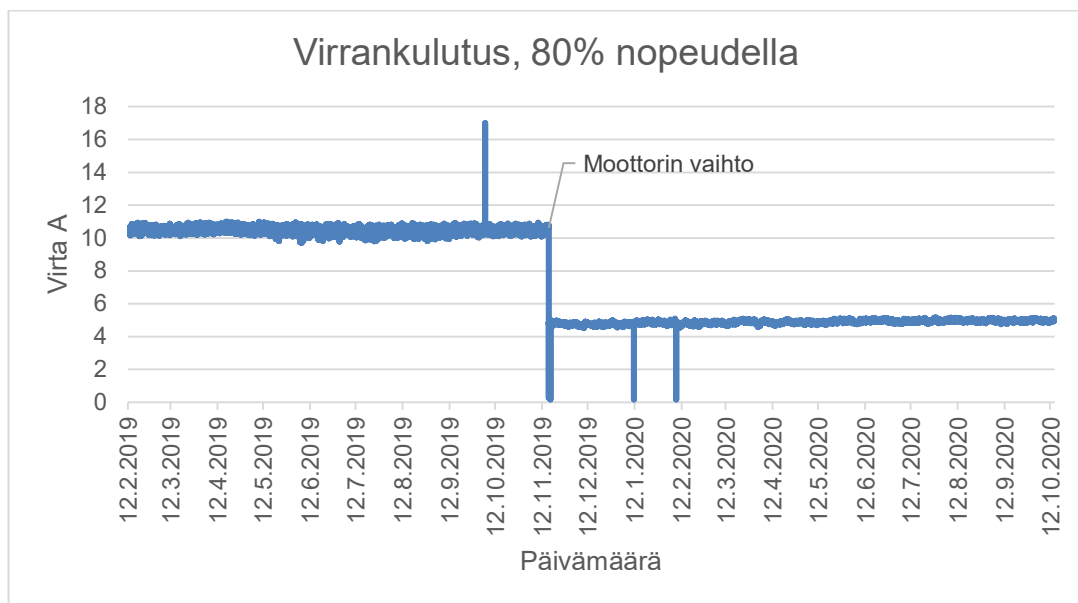
Kuva 11. Malliesimerkki energiamittarin mittausarvojen näkymästä tuotuna Excel-taulukkoon.

Energiamittari näyttää kattavasti erilaisia suureita kulutuksen suhteen, yllä olevassa kuvassa näkyy vain pieni osa kokonaisuudesta.



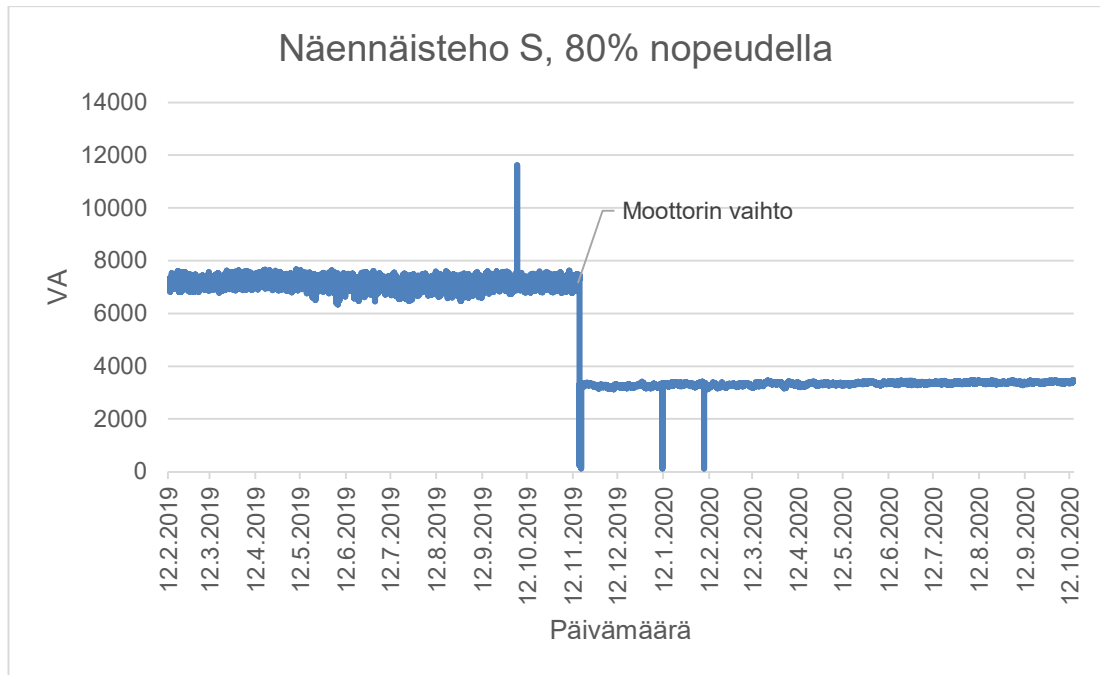
## 4.5 Puhallinmoottorien vaihdon vaikutus

Puhallinmoottorien vaihdon jälkeen energiamittarin data luettiin, ja muutos näytti hyvältä näennäistehon ja virrankulutuksen osalta, kaaviot ovat esitettyinä kuvissa 12 ja 13.



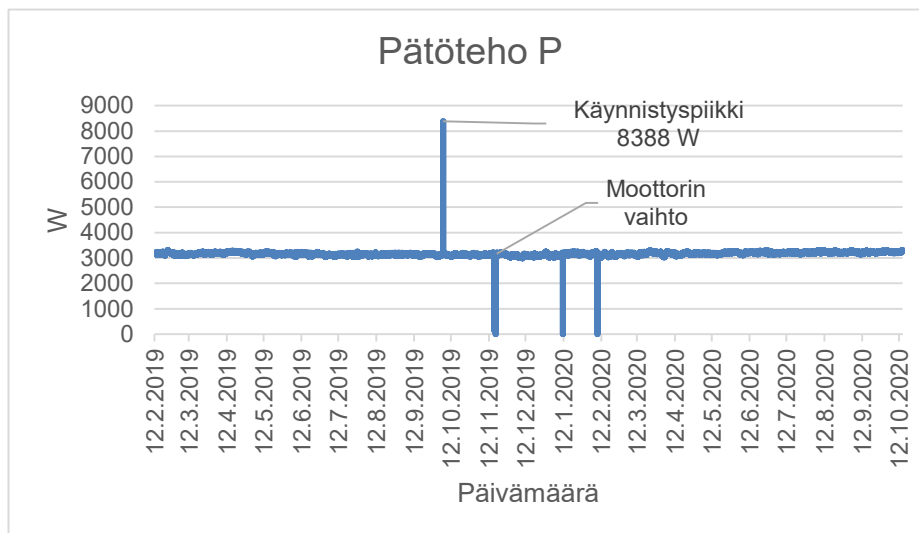
Kuva 12. Virrankulutus esitettyinä ajalta ennen puhaltimien vaihtoa (17.11.2019) ja sen jälkeen.

Virrankulutus tippui puoleen aikaisemmasta, kun uusi puhallin asennettiin ja sitä ajettiin 80 %:n nopeudella nimellisestä, tällä nopeudella ilmamäärä on sama kuin vanhalla puhaltimella täydellä teholla.



Kuva 13. Näennäistehon käyrä kulkee samassa suhteessa virrankulutuksen kanssa.

Näennäistehon käyrä seuraa virrankulutuksen käyrää, mutta pätöteho ei enää seuraa näitä kahta, nähtävissä kuvassa 14.

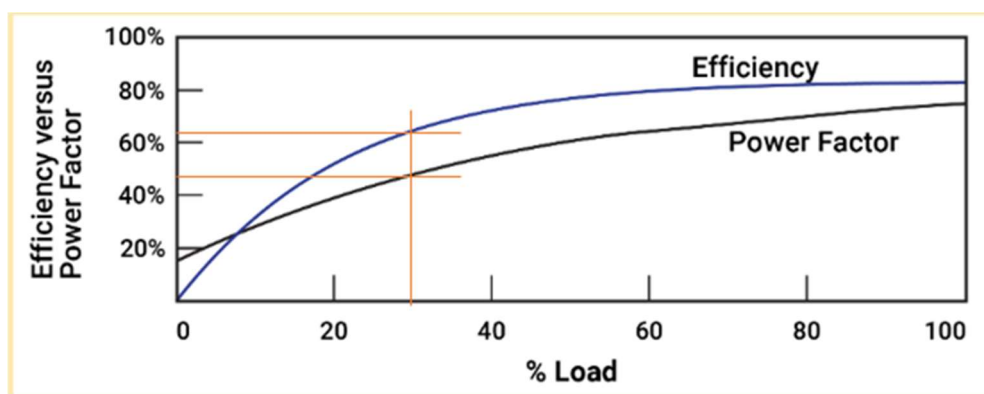


Kuva 14. Pätötehossa suoranaista muutosta ei ole havaittavissa, kun EC-puhallinta ajetaan vakionopeudella.

Mittaukset on suoritettu yhden ilmanvaihtokoneen puhallinmoottorista etäluettavaalla energiamittarilla, joka on säädetty lähettämään mittausarvot yhden tunnin välein ja arvot on tuotu Excel-taulukkoon. Kuvaajassa näkyvät piikit johtuvat käynnistyksestä ja sammutuksista, 8388 W:n suuruinen piikki tulee oikosulkumoottorin käynnistyksestä, EC-puhaltimista ei näkyvää piikkiä tule.

EC-puhallinmoottorin energiansäästö alkaa näkymään vasta oikean ohjaustavan avulla, esimerkiksi aikaohjauksella toteutettu koneen tehon pienentäminen tuotantolaitoksen aktiivisen käyttöajan ulkopuolella iltaisin ja öisin. EC-moottorin hyötysuhdekäyrä on verrattain tasainen suhteessa oikosulkumoottorin käyrään, joten se on joustavampi ja energiatehokkaampi eri pyörimisnopeuksilla, kun taas oikosulkumoottorin hyötysuhde heikkenee huomattavasti suunnitellun toimintapisteen ulkopuolella. Pelkkä puhaltimien vaihto ei suoritettun mittauksen mukaan tuo juurikaan säästöjä, jos konetta ajetaan jatkuvasti vakionopeudella. Tulokset-osiossa käydään läpi käyntiaikojen säätämisestä saadut säästöt.

Syy siihen, että virrankulutus ja näennäisteho on pudonnut, mutta pätöteho ei, johtuu siitä, että oikosulkumoottoria käytettiin pienellä kuormalla, noin 30 % nimellisestä. Tämä johtaa tehokerroimen ja hyötysuhteen laskuun, kuten kuvassa 15 on esitetty.



Kuva 15. Tehokerroimen ja hyötysuhteen kuvaaja.

Oikosulkumoottorin tehokerroin oli mitattuna noin 0,45, joka asettuu myös kuvaajassa oikeaan kohtaan.

## 4.6 LTO-yksikön lisäyksen vaikutus

Lämmöntalteenotolla tarkoitetaan järjestelmää, jossa poistoilmasta siirretään lämpöenergiaa tuloilmaan lämmönsiirtimen avulla, jotta tuloilmaa ei tarvitse lämmittää niin paljoa esimerkiksi kaukolämmön avulla. Järjestelmä voi olla joko neste- tai ilmakiertoinen, riippuen välittäjäaineesta, ja sillä saadaan katettua 50–90 % vuotuisesta tuloilman energiantarpeesta [13]

Kohteeseen lisättiin kaksi nestekiertoista lamellipatteriyksikköä, joiden ilmoitettu lämpötilahyötysuhde on säädetyillä ilmavirroilla 41,6 % ja tasailmavirroin 49,6 %. Tässä tapauksessa hyötysuhde lasketaan säädetyin ilmavirran mukaan. Kuvassa 16 esitetty LTO-patterin teknisiä tietoja.

Patterin riviluku					6
Patterin reittiluku					17
Lamellijako					2 mm
Lamellipaksuus					0.18 mm
Putkien ja lamellien materiaali					Cu/Al
Putkiyhteet					L50/54.0
Ilmapuolen painehäviö					78 Pa
Ilman lämpötila ennen LTO:a					-26.0 °C
Ilman lämpötila LTO:n jälkeen huurtumistilanteessa					-12.3 °C
Lämmitysteho					98.9 kW
Nestetyyppi					Etyleeniglykoli (Pitoisuus 30)
Nesteen painehäviö					77.6 kPa
Nestevirta					2.55 l/s
Nesteen nopeus					1.24 m/s
Nestetilavuus					52.2 l
Lämpötilahyötysuhde, EN308					41.6 %
Lämpötilahyötysuhde, EN308 tasailmavirroin					49.6 %
Teho ilman rajoitusta:					
Ulkoilman lämpötila	-26.0	-17.3	-8.7	0.0	8.7 °C
Lämpötila ulos	-6.8	-1.4	3.7	8.7	13.9 °C
Tuloilman lämpötilahyötysuhde	41	42	42	42	43 %
Teho	139.3	115.5	89.7	63.6	38.6 kW
Huurtumisen esto alkaa ulkolämpötilassa					-11.7 °C
Huurtumissuojatermostaatin asetusarvo nesteelle					-2.4 °C

Kuva 16. LTO-patterin tekniset tiedot (Koja Oy, 2019).

LTO-yksikköön kuuluu myös integroituna poistopuhallin, jonka tiedot esitettyinä kuvassa 17. Poistopuhaltimien kuluttamaa sähköenergiaa ei ole tarkasteltu tässä työssä.

<b>HILTO</b>		<b>HILTO-EC-36-1-3</b>	
<b>Puhallin</b>		GR63C	
Kokonaispaineenkorotus (St)		295	Pa
Hyötysuhde (St)		63	%
Hyötysuhde (Kok)		68	%
Kierrosluku		836	1/min
Kierrosluku, max.		1200	1/min
Äänen tehotaso, A-painotettu		71	dB(A)
k-kerroin / referenssipaine-ero	$q_v \left( \frac{m^3}{s} \right) = k \times \sqrt{\Delta p (Pa)}$	0.105833 / 394	Pa
Säätö, mitoituspiste / max.		70 / 100	%
Verkosta ottama teho		0.97	kW
<b>Moottori</b>			
Teho (nimellinen)		2.90	kW
Pyörimisnopeus (nimellinen)		1200	1/min
Virta (nimellinen)		4.80 - 3.80	A
Jännite		3 ~ 380 - 480	V
Taajuus (nimellinen)		50	Hz

Kuva 17. LTO-yksikön poistopuhaltimen tekniset tiedot. (Koja Oy, 2019).

Todellista energiansäästöä ei valitettavasti pystytty todentamaan mittauksilla tässä tapauksessa LTO-yksiköiden osalta, sillä niiden käyttöönotto viivästyi projektia hoitaneen henkilön jäädessä pois ja uutta henkilöä ei saatu ajoissa jatkaamaan projektia, joten säästöt jouduttiin arvioimaan laskemalla saatavilla olevista tiedoista. Laskelmat löytyvät tulokset-osiosta.

## 5 Tulokset

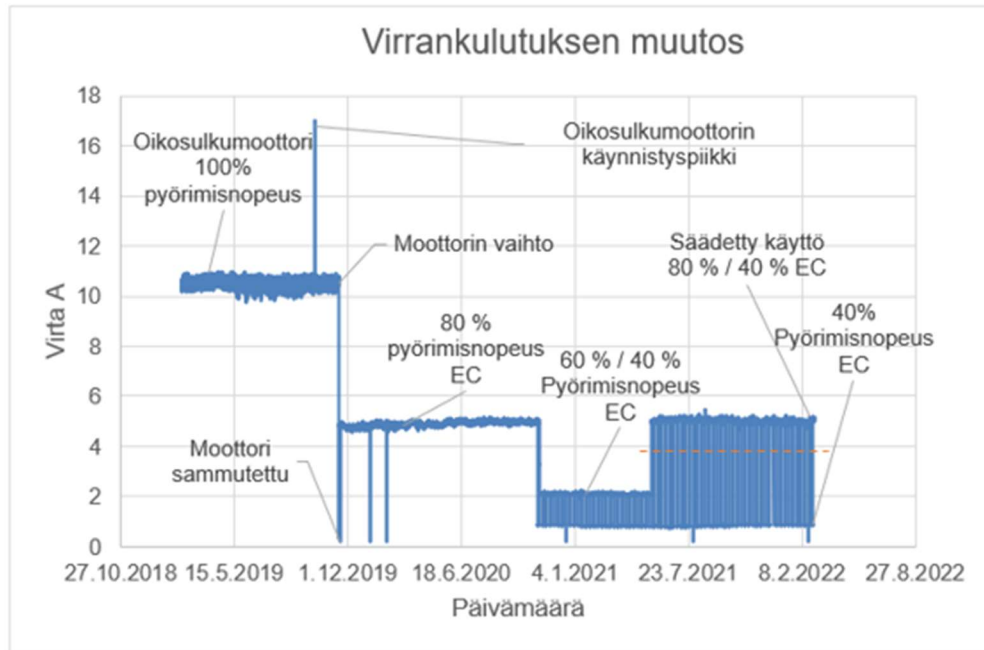
Tuloksissa tarkastellaan energiankulutuksen mittaustuloksia ja saavutettuja säästöjä, sekä käydään hankkeen kannattavuus läpi.

### 5.1 Mittaustulokset sähköenergiankulutuksessa säädetyllä käytöllä

Puhallinmoottorin sähköenergiankulutuksessa on nyt havaittavissa selviä säästöjä. Alun perin puhallinkäytössä oli oikosulkumoottori, joka pyöri jatkuvasti 100 %:n pyörimisnopeudella, muutoksen jälkeen EC-puhallinta pyöritettiin 80 %:n nopeudella, koska se vastaa ilmanvaihtokoneen oikeaa ilmamäärää. Marraskuussa 2020 aloitettiin kokeilu, jossa puhallinta pyöritetään arkisin 60 %:n nopeudella ja viikonloppuisin 40 %:n nopeudella, tällä käytöllä sähköenergiankulutus putosi huomattavasti, mutta toukokuussa 2021 alettiin havaita liikaa kosteutta tiloissa, joten arkipäivien nopeus nostettiin takaisin 80 %:iin, mutta viikonloppujen nopeus jätettiin vielä 40 %:iin. Näillä arvoilla ilmanlaatu on pysynyt hyvänä nyt lähes vuoden, joten säädöt päätettiin jättää näihin arvoihin.

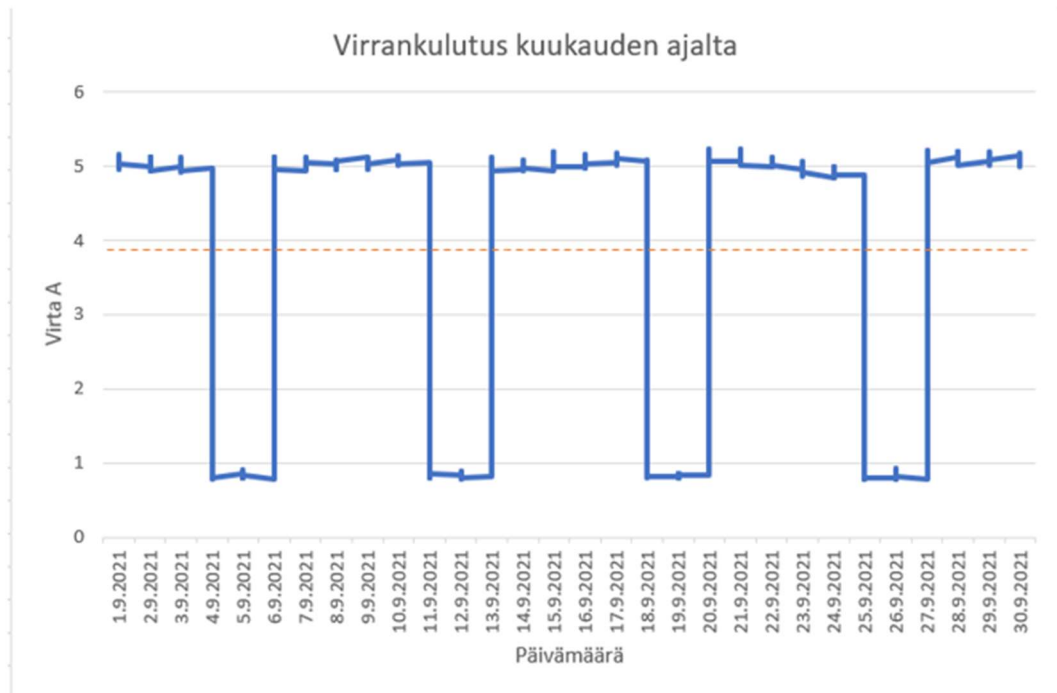
#### 5.1.1 Virrankulutus

kuvissa 18, 19 ja 20 on nähtävissä virrankulutus eri ajonopeuksilla pidemmältä ja lyhyemmältä aikaväliltä, pitkässä aikavälissä näkyy myös aika ennen EC-puhalltimien vaihtoa, jolloin virta oli korkea suhteessa nykyiseen. Virran keskiarvo merkitty punaisella katkoviivalla lopullisen säädön jälkeen.



Kuva 18. Virranmuutoksen kuvaaja, jossa näkyy alkutilanteen ja säädetyn käytön arvot.

Kuukausitasoinen kuvaaja on erotettu pitkäaikaisen kuvaajan ”säädetty käyttö 80 % / 40 %” kohdasta, jotta siitä hahmottaisi paremmin, kuinka virrankulutus vaihtelee kuukauden aikana, kuva 19. Kuukausikuvaajasta on myös erotettu yksittäinen viikko omaksi kuvaajaksi nähtävissä kuvassa 20.



Kuva 19. Virrankulutuksen kuvaaja kuukauden ajalta.

Puhaltimen pyörimisnopeus lasketaan viikonloppuisin puoleen siitä, mitä se on arkipäivinä. Virta laskee yli kuusinkertaisesti, vaikka pyörimisnopeus vain puolitetaan, tämä on selitetty kuvan 22 alla.

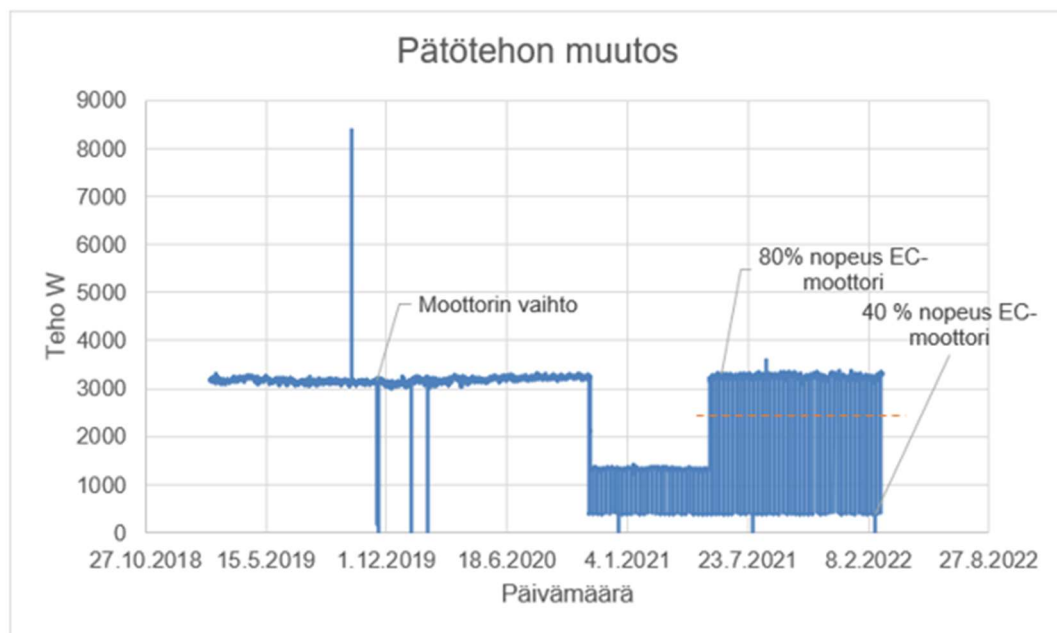




Kuva 20. Virrankulutus viikon ajalta, kulutus on hyvinkin maltillinen 40 %:n nopeudella.

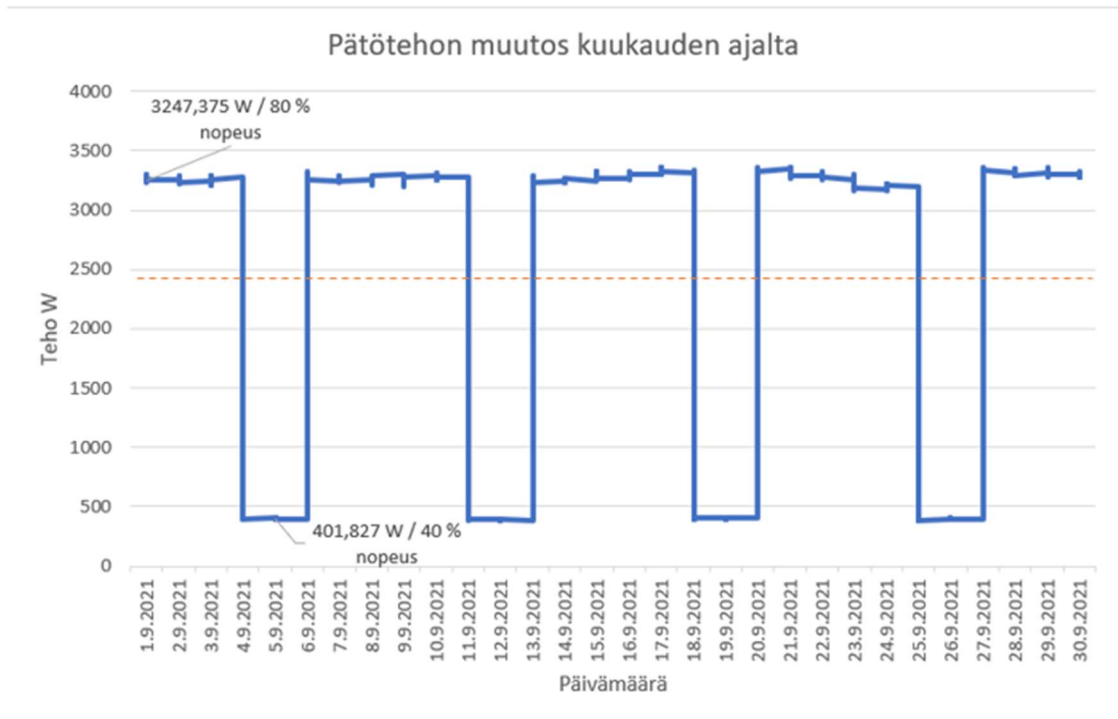
### 5.1.2 Pätöteho

Pätöteho ei laskenut pelkällä puhallinmoottorin vaihdolla, mutta tämä ei ole suuri yllätys, sillä saman ilmamäärän liikuttaminen vaatii yhtä paljon työtä tekevää tehoa, oli moottori sitten mikä tahansa. Hyödyt saadaan alennetusta pyörimisnopeudesta viikonloppujen ajalta, johon ei aikaisemmin ollut mahdollisuutta. Kuvassa 21 esitetty pätötehon muutos.



Kuva 21. Pätötehon kuvaaja muistuttaa virran ja näennäistehon kuvaajia, mutta ei seuraa näitä täysin.

Pätötehon keskiarvon sijoittuminen piirretty punaisella katkoviivalla, kuukausikuvaajasta on nähtävissä pätötehon väheneminen viikonloppujen ajalta kuvassa 22.



Kuva 22. Kuukausikuvaaja seuraa virran kuvaajaa.

Puhaltimen vaatima tehon määrä putoaa kahdeksasosaan, vaikka nopeus laskee vain puoleen, tämä johtuu ilmanvastuksesta, joka on verrallinen nopeuden neliöön kappaleen pinta-alan ja muodon kertoimella. [15.]

Tästä syystä, jos nopeutta nostetaan yli nimellisnopeuden, tapahtuu moottorissa sakkkaus, koska nopeampi pyörimisnopeus tarkoittaa, että tarvitaan enemmän vääntömomenttia puhallinsiiven pyörittämiseksi ja moottorin vääntömomentti putoaa sen mentyä nimellisen nopeusalueen yli.

Vääntömomentti saadaan laskettua kaavalla 1.

$$M = \frac{9950 \times P}{n} \quad (1)$$

M on vääntömomentti

P on pätöteho

n on moottorin kierrosluku minuutissa

Kuten kuvassa 23 on nähtävissä, niin nopeuden pudotus puoleen pudottaa tehon kahdeksasosaan, mutta ilmamäärä putoaa vain kaksi kolmasosaa.

<b>n (rpm)</b>	<b>P(kW)</b>	<b>Ilmamäärä (m<sup>3</sup>/s)</b>
80%	3,25	6,2
40%	0,4	4,0

Kuva 23. Ilmamäärät käytössä olevilla pyörimisnopeuksilla.

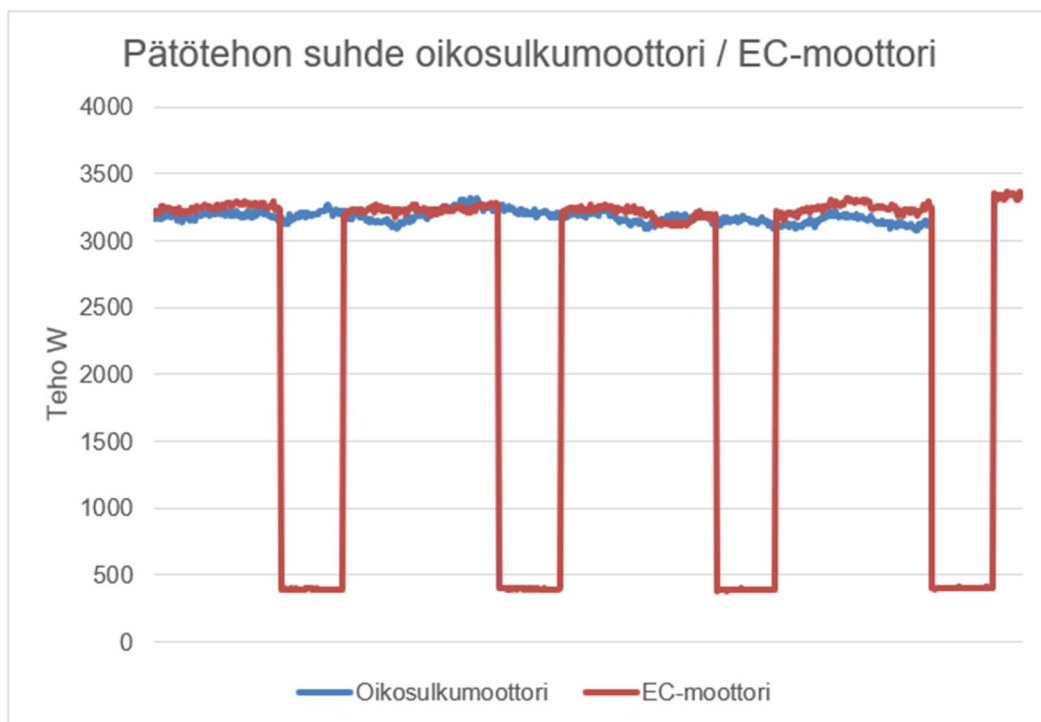
## 5.2 Säästöt puhallinmoottorin sähköenergiassa

Säästöt puhallinmoottorin sähköenergian kulutuksessa on laskettu mitattujen arvojen, sekä sähköenergian keskimääräisen hinnan perusteella, eli 0,07 € / kWh. Sähkön siirtohintaa ei ole otettu huomioon laskelmissa.

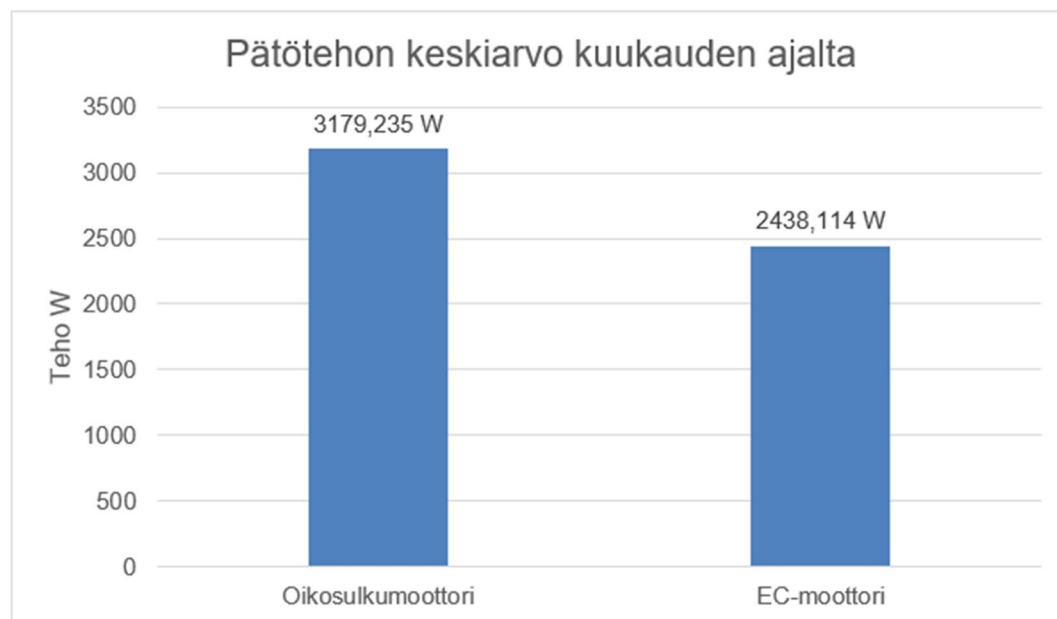
Energiamittarin taulukosta valittiin kohta, jossa näkyy kulutettu sähköenergia kilowattitunteina ja laskettiin kulutus kuukauden ajanjaksolta. Tämä tehtiin ajalta ennen puhallinmoottorin vaihtoa, ja sen jälkeen.

Oikosulkumoottorin mitattu sähkönkulutus kuukaudessa oli 2124,12 kWh ja EC-moottorin 1627,93 kWh näistä saadaan helpolla kertolaskulla, kWh × € = kokonaishinta.

Oikosulkumoottorilla sähkön kuukausihinnaksi tulee 148,69 € ja EC-moottorilla 113,96 €, joka on 23,4 % pienempi, eli säästöä tulee melkein neljännes. Säästöistä on esitetty kaksi kuvaajaa kuvissa 24 ja 25.



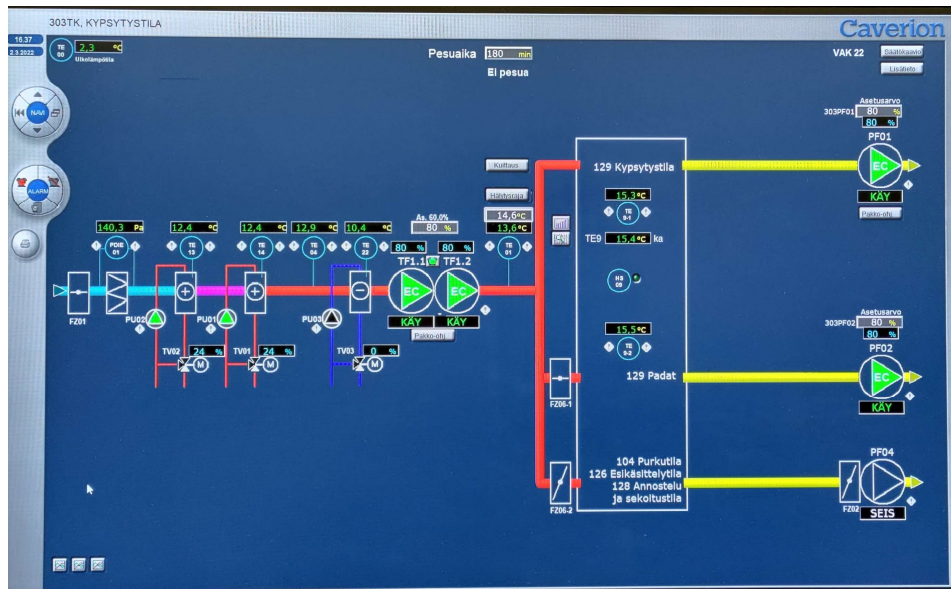
Kuva 24. Pätötehon muutos eri moottorityyppien ja ohjaustapojen välillä.



Kuva 25. Pätötehon keskiarvo laskettuna kuukauden aikajaksolta.

### 5.3 Säästöt lämpöenergiassa

Tulokset jouduttiin laskemaan saatavilla olevista tiedoista, joten ne eivät ole täysin paikkaansa pitäviä LTO:n osalta. Tiedot kerättiin kuvassa 26 näkyvästä Caverion Oy:n kiinteistöautomaatio-ohjelmasta, sekä Ilmatieteenlaitoksen ja Fortumin verkkosivuilta.



Kuva 26. Näkymä kiinteistöautomaatio-ohjelmasta, jolla voidaan seurata ja säätää mm. ilmanvaihtoa.

Tulokset laskettiin helmikuun 2022 keskilämpötilan ja energian hinnan perusteella, helmikuun keskilämpötila oli  $-2,2\text{ °C}$  [11] Helsinki-Vantaan lentokentällä, joka on kohdetta lähin mittausasema ja kaukolämpöenergian hinta  $81,0\text{ € / MWh}$  (Fortum 2/2022).

Tuloilmakoneen käyttämä energia tulevan ilman lämmitykseen kuukaudessa lasketaan kaavalla 2.

$$Q = \frac{\rho \times C_p \times V \times (T_2 - T_1) \times t}{3600000} \quad (2)$$

Q on Ilman lämmittämiseen kuluva energia

$\rho$  on ilman tiheys 1,2754 kg/m<sup>3</sup>

$C_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti 1 010 J/(K·kg)

V on ilmavirta 6 m<sup>3</sup>/s

T<sub>2</sub> on Lämmitetyn ilman lämpötila 13,6 °C

T<sub>1</sub> on Lämmitettävän ilman lämpötila -2,2 °C

t on Aika 30 vuorokautta

3600000 on yksikkömuunnoskerroin (J->kWh)

Tulokseksi saadaan 87 924,239 kWh = 87,924 MWh, ja tämä kerrottuna kaukolämpöenergian hinnalla tekee kuukaudessa 7 121,85 € lämmityskustannuksia. Tämä huomioon ottaen säästöt lämpöenergian hinnassa lämmön talteenotolla ovat tervetulleita.

Jos ilmoitettu LTO-yksikön lämpötilahyötysuhde 41,6 % toteutuu, niin säästöä tulisi lasketun kuun perusteella jopa 2962,68 €, tässä ei toki ole otettu huomioon lämpöhäviöitä LTO-yksiköltä lämmityskennolle. Kylmempinä kuukausina tämä summa olisi tietenkin suurempi ja lämpiminä kuukausina, jolloin tuloilmaa ei tarvitse lämmittää se olisi pienempi.



## 6 Yhteenveto

Työn tavoite oli parantaa ilmanvaihdon energiatehokkuutta uusimalla puhallinmoottorit uudempaan EC-tekniikkaan ja lisäämällä LTO-yksiköt poistopuhaltimiin, sekä saada lisää tietoa EC-moottorin tekniikasta, ohjaustavoista ja toiminnasta.

Työn kulku oli jouhevaa kaikkien osapuolien osalta ja suuremmilta ongelmilta vältyttiin, pois lukien LTO-yksiköiden käyttöönottoon liittyvä viivästys.

Mittauksista saatiin hyvää tietoa, miten EC-moottori kuluttaa energiaa eri kierrosnopeuksilla ja miten se eroaa perinteisestä oikosulkumoottorista rakenteeltaan ja ohjaustavoiltaan. Kävi myös ilmi, että pelkkä moottorin vaihto sinällään ei tuo hirveästi säästöjä, joten aikaohjelmat näyttelevät suurta roolia säästöjen osalta.

LTO-yksiköt nostavat energiatehokkuutta huomattavasti lämpöenergian osalta ja niitä tulisi aina suunnitella uusiin kohteisiin mahdollisuuksien mukaan tämän perusteella, myös vanhoihin järjestelmiin olisi kannattavaa lisätä yksiköt.

Lopputuloksena tässä projektissa saavutettiin sähköenergian osalta lähes neljänosan säästöt ja lämpöenergian osalta melkein puolet aikaisemmasta. Laskettu takaisinmaksuaika asennetuille laitteille on noin kolme vuotta.

## Lähteet

- 1 Ebm-papst. 2011. Drive technology for AC and DC. <[https://www.ebmpapst.ua/media/download/katalogen/2012\\_1/-\\_Drive\\_technology\\_EN\\_11.pdf](https://www.ebmpapst.ua/media/download/katalogen/2012_1/-_Drive_technology_EN_11.pdf)> Luettu 13.1.2021
- 2 hassan hadeed, Achim Gottscheber 2017. Six-step controller. Verkkoaineisto. <<https://www.semanticscholar.org/paper/Six-Step-Control-vs-Direct-Torque-Control-for-BLDC-Hadeed-Gottscheber/bff923c74851f5dd9c76001f9db282b21314e823/figure/0>> Luettu 13.1.2021
- 3 Air handling units SILVER M multi 2014. Swegon. Verkkoaineisto <[http://www.swegon.ee/Global/PDFs/Air%20handling%20units/SILVER%20M/\\_multi/EBM%20Papst%20RadiPac\\_2014-06.pdf](http://www.swegon.ee/Global/PDFs/Air%20handling%20units/SILVER%20M/_multi/EBM%20Papst%20RadiPac_2014-06.pdf)> Luettu 3.2.2022.
- 4 What is an Electronically Commutated EC Motor? Continentalfan 11.9.2019. Verkkoaineisto. <<https://continentalfan.com/what-is-an-electronically-commutated-ec-motor/>> Luettu 4.5.2022.
- 5 EC motors and speed control. Ebm papst. Verkkoaineisto. <[https://ebmpapst.com.au/media/content/publications\\_downloads/product\\_flyer/news\\_articles\\_-pdfs/EC\\_motors\\_and\\_speed\\_control.pdf](https://ebmpapst.com.au/media/content/publications_downloads/product_flyer/news_articles_-pdfs/EC_motors_and_speed_control.pdf)> Luettu 19.2.2021
- 6 Marianna Tuomainen 2019. Ilmanvaihdon vaikutus energian käyttöön. Finvac. Verkkoaineisto. <[https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/12\\_Tuomainen\\_Ilmanvaihdon\\_vaikutus\\_energiankayttoon\\_v2\\_2019\\_10\\_08.pdf](https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/12_Tuomainen_Ilmanvaihdon_vaikutus_energiankayttoon_v2_2019_10_08.pdf)> Luettu 12.3.2022.
- 7 Sisäilmasto ja ilmanvaihto opas. Talotekniikkainfo. Verkkoaineisto. <<https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>> Luettu 14.3.2022.
- 8 EC medium pressure axial fans. Ebm papst. Verkkoaineisto. <[https://vac.ebmpapst.com/content/dam/ebm-papst/corporate/downloads/brochures/products/en/Brochure\\_EC\\_medium\\_pressure\\_axial\\_fans\\_EN.pdf](https://vac.ebmpapst.com/content/dam/ebm-papst/corporate/downloads/brochures/products/en/Brochure_EC_medium_pressure_axial_fans_EN.pdf)> Luettu 20.9.2021.
- 9 EC air curtains. Airtechnics. Verkkoaineisto. <<https://www.airtechnics.com/technology/ec-air-curtains>> Luettu 10.2.2022.
- 10 Mitä erikoista EC-puhaltimissa? Ebm papst. Verkkoaineisto. <[https://www.ebmpapst.fi/fi/dat/media\\_manager/news/8/news-files/Tietoisku\\_\\_Mita\\_erikoista\\_EC-puhaltimissa.pdf](https://www.ebmpapst.fi/fi/dat/media_manager/news/8/news-files/Tietoisku__Mita_erikoista_EC-puhaltimissa.pdf)> Luettu 25.4.2021.

- 11 Helmikuun säätilastot. Ilmatieteenlaitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/helmikuu>> Luettu 2.3.2022.
- 12 Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa. Motiva. Verkkoaineisto <[https://www.motiva.fi/files/18470/Energiatehokas\\_ilmanvaihto\\_teollisuudessa.pdf](https://www.motiva.fi/files/18470/Energiatehokas_ilmanvaihto_teollisuudessa.pdf)> Luettu 12.3.2022.
- 13 Lämmöntalteenotto. Retermia. Verkkoaineisto <<https://www.retermia.fi/fi/teknologia/lammontalteenotto/>> Luettu 3.3.2022.
- 14 Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa 2020. Finvac. Verkkoaineisto <[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-ilmanvaihdon-mitoitukseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa\\_2019b-D9B578DC\\_66D4\\_44BC\\_B1AE\\_DCAB875D5907-144726.pdf/9f1ca28e-57de-3fa4-5388-a00f4d973afb/Opas-ilmanvaihdon-mitoitukseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa\\_2019b-D9B578DC\\_66D4\\_44BC\\_B1AE\\_DCAB875D5907-144726.pdf?t=1603260098252](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-ilmanvaihdon-mitoitukseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa_2019b-D9B578DC_66D4_44BC_B1AE_DCAB875D5907-144726.pdf/9f1ca28e-57de-3fa4-5388-a00f4d973afb/Opas-ilmanvaihdon-mitoitukseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa_2019b-D9B578DC_66D4_44BC_B1AE_DCAB875D5907-144726.pdf?t=1603260098252)> Luettu 2.3.2022
- 15 Ilmanvastus. Peda. Verkkoaineisto <<https://peda.net/muonio/my/aineet/fysiikka/fy8/liike2/ilmanvastus>> Luettu 2

