

Matias Ruusunen

# Uuden puhallintekniikan energiataloudelliset hyödyt saneerauskohteessa

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Matias Ruusunen Uuden puhallintekniikan energiataloudelliset hyödyt saneerauskohteessa 31 sivua + 2 liitettä 3.4.2012
Tutkinto	insinööri
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tuotantopainotteinen
Ohjaaja(t)	LVI-insinööri Harri Nyysölä lehtori Sakari Sainio
<p>Insinöörityön tavoitteena oli selvittää Insinööritoimisto Olof Granlundin Malmin konttorin A-siiven ilmanvaihtokoneen puhaltimien uusimisen energiansäästöpotentiaali ja tehtyjen toimenpiteiden koroton takaisinmaksuaika. Kohteen puhaltimien energiatehokkuus määriteltiin mittausten avulla. Lisäksi ilmanvaihtokoneeseen asennettiin hiilidioksidianturi, jolla puhaltimien kierroslukua voidaan ohjata anturin mittaustuloksen perusteella.</p> <p>Insinöörityössä tarkasteltiin uusimisen ohella hiilidioksidianturipohjaista puhaltimien kierrosluvun säätöä ja sen mahdollista energiansäästöpotentiaalia. Toimistokäytössä, vanhaan ilmanvaihtojärjestelmään asennettuna, hiilidioksidiohjaus ei toiminut pelkällä poistoilmakammioon asennetulla anturilla. Hyvän ilmanlaadun takaamiseksi samalla energiaa säästävien tulisi kiinteistön automaatiojärjestelmä uusia tai hiilidioksidianturille tulisi asettaa tapauskohtaiset ohjausrajat. Nämä toimenpiteet olisivat aikaa vieviä, eikä niitä otettu tässä insinöörityössä huomioon.</p> <p>Ilmanvaihtokoneen vuotuiseksi sähköenergian kulutukseksi laskettiin 38,8 MWh, kaukolämpöenergian kulutukseksi 12,47 MWh ja vuotuisiksi energiakustannuksiksi 4 060 €. Uusilla puhaltimilla sähköenergian kulutukseksi arvioitiin 26,8 MWh ja säästöjen olevan 1 085 € sähköenergiakustannuksissa. Korottomaksi takaisinmaksuajaksi puhaltimien uusimiselle yhteen ilmanvaihtokoneeseen tuli 19,4 vuotta. Taajuusmuuttajien asentaminen vanhoille puhaltimille sekä niille lisättävä käyntiaikojen mukainen ilmamäärä osoittautui ainoaksi kannattavaksi toimenpiteeksi. Korottomaksi takaisinmaksuajaksi tälle toimenpiteelle tuli 5,5 vuotta.</p> <p>Vaikka säästöjä ei saavutettu toteutetuilla toimenpiteillä, voidaan todeta, että uusi puhallintekniikka on energiatehokkaampaa kuin kiinteistön olemassa oleva puhallinkanta. Uuteen ilmanvaihtojärjestelmään tulisivin aina valita nykyaikaiset puhaltimet.</p>	
Avainsanat	puhallin, ilmanvaihto, EC-moottori, saneeraus, energiatehokas

Author(s) Title Number of Pages Date	Matias Ruusunen The energy economical benefits of new fan technique in renovation 31 pages + 2 appendices April 3, 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructor(s)	Harri Nyysölä, Bachelor of Engineering Sakari Sainio, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to determine the energy saving potential and interest free repayment period of the replacement of one of the fans of an air supply unit in an office building located in Helsinki. The energy efficiency of the fans was defined on the basis of the measurements taken during the final year project. The air supply unit was also retrofitted with a carbon dioxide sensor to control the speed of rotation of the fan according to the measurements of the sensor.</p> <p>The Bachelor's thesis also studied the profitability of carbon dioxide based fan control to improve the energy efficiency of new fans. It was established that retrofitting an old air supply unit with a carbon dioxide sensor was profitable. However, then the quality of the air at the office did not meet the requirements and therefore carbon dioxide control was not recommended.</p> <p>According to the calculations, the air supply unit consumed 38.8 MWh per annum. The annual energy costs were € 4 060. By replacing the fans, annual savings of 12 MWh in energy consumption and € 1 080 in energy costs were estimated to be possible. An interest free repayment period of replacing the fans was over nineteen years.</p> <p>The test results showed that the only profitable operation also meeting the requirements is to equip the old fans with frequency converters. An interest free repayment period of this would be five and a half years.</p>	
Keywords	fan, ventilation, energy efficiency, EC motor

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Puhaltimien energiatehokkuus	2
2.1	Erilaisten puhallintekniikoiden erot	2
2.2	Taajuusmuuttaja ja EC-moottori	4
2.2.1	Taajuusmuuttaja	4
2.2.2	EC-moottori	4
2.3	Energiansäästömahdollisuudet puhaltimissa	6
2.4	Puhallinlait	6
3	Energiatehokas ilmanvaihtojärjestelmän ohjaus	7
3.1	Käyttöajat eri tehoilla	7
3.2	Energiankulutus	10
3.3	Muut saavutettavat hyödyt	11
4	Koekohteen puhaltimien mittaus	11
4.1	Mittaussuunnitelma	11
4.2	Puhaltimien tekniset tiedot	13
4.3	Mittausten suoritus	15
4.4	Mittaustulokset ja niiden analysointi	17
4.5	Kohteen puhaltimien energiankulutus	26
5	Elinkaarikustannustarkastelut	27
5.1	Elinkaarikustannuslaskenta mittaustulosten perusteella	27
5.2	Päätelmät	29
6	Yhteenveto	30
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Swegon-puhaltimien mitoitusajo	
	Liite 2. Moottorityyppien hyötysuhdevertailu	

## 1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on tutkia vanhan ilmanvaihtokoneen puhallinosien uusimisen energiatehokkuutta ja taloudellista kannattavuutta. Työssä käsitellään erilaisia puhallintekniikoita ja se tehdään Insinööritoimisto Olof Granlund Oy:n ja Swegon Oy:n toimeksiannosta. Lisäksi mittausten avulla pyritään määrittämään Granlundin Malmilla sijaitsevan toimistorakennuksen ilmanvaihtokoneiden energiatehokkuutta. Määriteltyjen energiatehokkuuksien perusteella lasketaan puhaltimien ja puhallinohjausten energiansäästöpotentiaali sekä puhaltimien uusimisen takaisinmaksuaika.

Granlundin toimistorakennuksen KOY Helsingin Malminkaari 21:n nykyistä energiatehokkuutta parannetaan koko ajan – puhaltimien energiatehokkuuden parantaminen on siis osa tätä projektia. Rakennuksen energialuokka on suunniteltu nostettavaksi C-luokasta B-luokkaan. Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkaalla säädöllä ja laitepäivityksillä on tähän suoraa vaikutusta.

Rakennuksen nykyiset, vuonna 1991 rakennetut kaksikierronopeuksiset radiaalipuhaltimet ilman taajuusmuuttajaa eivät suoriutuisi tulevaisuudessa korottuvista ilmamääristä, eikä niiden energiatehokas ohjaus olisi mahdollista. Määrittämällä puhallin, sähkömoottori ja niiden ohjaus optimaaliseksi jo suunnitteluvaiheessa voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä.

Ilmanvaihtokoneiden sähköenergiankulutus toimistorakennuksissa on noin 18 % ja lämmitysenergiankulutus noin 28 % rakennuksen kokonaissähköenergiankulutuksesta [10].

Tästä työstä saatavien tutkimustulosten perusteella voidaan tarjota rakennuttajille energiatehokkaampaa talotekniikkaa – laajemmalla mittakaavalla toteutettuna säästöt ovat merkittäviä jopa koko Suomen mittakaavassa.

## 2 Puhaltimien energiatehokkuus

Käytetyn puhaltimen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa eniten puhaltimen valintavaiheessa. Lähivuosisikymmeninä merkittävästi kehittyneestä puhallintekniikasta on tarjolla useita eri vaihtoehtoja. Suurin osa Suomen ilmanvaihtokonekannasta on nykymittapuulla vanhentunutta tekniikkaa.

### 2.1 Erialaisten puhallintekniikoiden erot

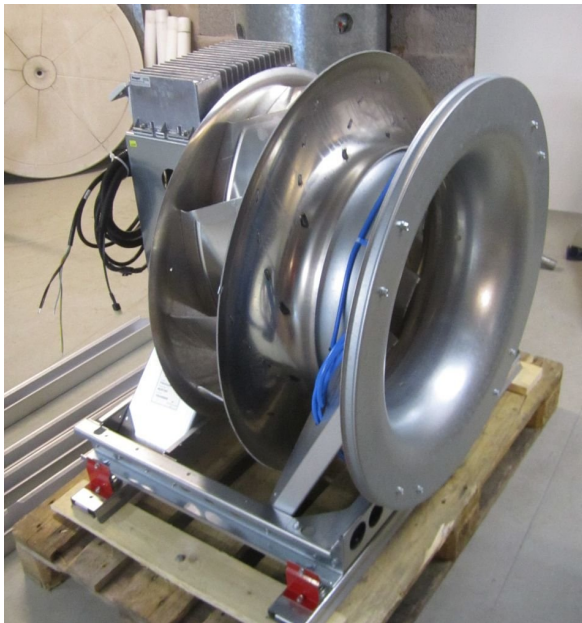
Ilmanvaihtokoneissa yleisimmin käytetyt puhallintyytit voidaan jakaa kahteen ryhmään: aksiaalipuhaltimiin ja radiaalipuhaltimiin. Aksiaalipuhaltimessa ilmavirta kulkee siipipyörän akselin suuntaisesti puhaltimen läpi. Radiaalipuhaltimessa ilmavirran kulkusuunta puhaltimen sisään on akselinsuuntainen, mutta ulospuhallus tapahtuu kohtisuorasti akselia vasten. Aksiaali- ja radiaalipuhallimet ovat kuvassa 1.



Kuva 1. Aksiaali- ja radiaalipuhallin [11].

Kuvassa 2 on kammiopuhallin, joka on radiaalipuhallin ilman spiraalinmuotoista kuorta. Kaikkia kolmea puhallintyyppiä käytetään ilmanvaihtokoneissa. Radiaalipuhallimia käytettiin pääasiassa 1990-luvun loppuun saakka, ja 2000-luvun alussa kammiopuhallimista tuli yleisimmin käytetty puhallintyyppi.

Kammiopuhallin on nykykäsityksen mukaan paras vaihtoehto moneen tilanteeseen, koska sillä on pienempi ulospuhallushäviö kuin radiaalipuhaltimella. Lisäksi kammiopuhallin on hygieenisempi suoravetoisuutensa ansiosta (hihnasta irtoaa pölyä), ja se mahtuu pienempään tilaan. Aksiaalipuhaltimet ovat harvemmin käytössä ilmavaihtokoneissa, sillä niiden pääasiallinen käyttökohde on muissa sovelluksissa, esimerkiksi savunpoistojärjestelmissä. Näin on ensisijaisesti siksi, että aksiaalipuhaltimella on vaikea saavuttaa samanaikaisesti korkea ilmavirta ja suuri paineenkorotus. [5.]



Kuva 2. Kammiopuhallin.

Eroja puhallintekniikoiden välille syntyy myös vetotavasta ja moottorityypistä. Kaavulla varustettuja radiaalipuhaltimia käytetään yleensä hihnavedon avulla, josta aiheutuu moottorin tehosta ja pyörimisnopeudesta riippuen 4–12 %:n tehohäviö [8]. Hihnasta irtoaa pölyä, minkä vuoksi se pitää vaihtaa tietyin aikaväleihin. Hihna itsessään on myös huoltokohde, jonka vuoksi radiaalipuhallin on jäämässä puhallinkäytössä vähitellen takka-alalle. Suoraan moottorin akseliin kytketty kammiopuhallin ei kärsi hinnan aiheuttamia tehohäviöitä, ja se tärisee vähemmän ollen täten hiljaisempi käyntiääneltään. Kammiopuhallin luo kammioon ylipaineen, joten ilmanvaihtokoneeseen ei tarvita kaavullisen mallin tapaan tyhjää suorakaiteenmuotoista kammio-osaa tasaamaan ilmavirtaa.

## 2.2 Taajuusmuuttaja ja EC-moottori

Moottoreiden kohdalla tekniikoita on kaksi: AC-moottori ja EC-moottori. Lyhenne AC tulee sanoista alternating current eli vaihtovirta. EC on lyhenne sanoista electronically commutated eli elektronisesti kommutoitu [3]. Melkein koko nykypuhallinkanta on toteutettu AC-moottoreilla ja jos niissä on pyörimisnopeuden säätömahdollisuus, se on toteutettu taajuusmuuttajan avulla. Lähivuosina markkinoilla yleistyneet EC-moottorit eivät tarvitse taajuusmuuttajaa ja kuluttavat vähemmän sähköenergiaa kuin perinteiset AC-moottorit [3].

### 2.2.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on keksintönä jo keski-ikäinen, ensimmäiset mallit saapuivat markkinoille 70-luvulla. Nämä mallit olivat tyristorisäätimiä, mutta se on säätimenä melko rajoitettu. Tyristoria voidaan kytkeä melko hitaasti, eikä se sammu ilman ulkoista apujärjestelmää. Taajuusmuuttaja on kehittynyt paljon elinkaarensa aikana, muun muassa tehoelektronikan komponenttien tehostumisen myötä. [4.]

Taajuusmuuttaja on nykyisin eniten käytössä oleva tekniikka sähkömoottorin pyörimisnopeuden säätöön. Vaihtovirtamoottorin nopeutta säädettäessä täytyy muuttaa sekä jännitettä että taajuutta, kun tasavirtamoottorille riittää pelkkä jännitteen muutos. Vaihtovirtamoottorin virta sisältää moottorin magneetoinnin ja vääntömomentin tuottavat komponentit. Vääntömomentin säätöön tarvitaan niin sanottua vektorisäätöä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että taajuusmuuttajan prosessorijärjestelmään luodaan moottorista matemaattinen malli. Mallin tehtävänä on ratkaista, riittävällä nopeudella, mikä osuus sähkövirrasta on vääntömomenttia tuottavaa virtaa ja mikä magnetointivirtaa. [4.]

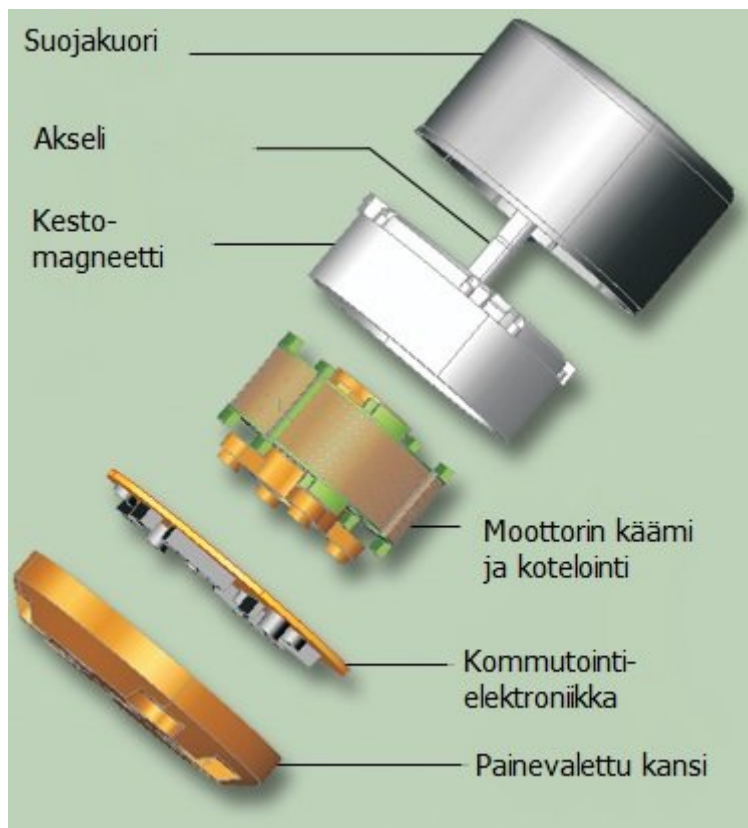
### 2.2.2 EC-moottori

Elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori on nykyisistä käytössä olevista sähkömoottoreista energiatehokkain. EC-moottorissa (kuva 3) hiiliharjat on korvattu sisäänrakennetulla säätimellä, joka ohjaa virtaa käämeihin elektronisesti. Hall-sensori kertoo moottorin asennon suhteessa staattoriin viestimelle, joka ohjaa virtaa oikeaan käämiin oike-



aan aikaan. Perinteiseen tasavirtamoottoriin verrattuna jättämähäviötä ei esiinny, mistä johtuen EC-moottorin hyötysuhde on korkeampi. [3.]

Valvonnan alakeskuksesta lähtevä 0–10 V -jänniteviesti säätää moottorin pyörimisnopeutta. Korkeampi jänniteviesti tarkoittaa korkeampaa virtaa käämeihin, mikä johtaa pyörimisnopeuden kasvuun. Säädettyvyys EC-moottorissa on hyvä säätöalueen ollessa 10–100 % pyörimisnopeudesta. Jäähdytystä tarvitaan vähemmän verrattuna AC-moottoriin, koska hyötysuhde on parempi. Tasavirtamoottoreille tyypillinen vääntömomentti pysyy lähestulkoon samana koko säätöalueella, joten hyötysuhde pysyy korkeana kaikilla pyörimisnopeuksilla.



Kuva 3. EC-moottorin osat [7].

EC-moottorin suurin etu verrattuna AC-moottoriin on sen alhainen energiankulutus. Tästä johtuen se on myös ympäristöystävällisempi ja edullisempi käyttää – osatehoilla ajettaessa moottorin energiansäästö voi olla 50 %. Taajuusmuuttajan jäädessä pois, säästyvät myös taajuusmuuttajahäviöt sekä sen hankinta- ja asennuskustannukset. Moottorin tasaisen käynnin myötä äänentuotto on pienempää kuin perinteisissä moot-

toissa, eikä kanavistoon välttämättä tarvita niin paljon äänenvaimennusta. Tämän takia voidaan säästää painehäviöissä ja äänenvaimentimen hankintakustannuksissa.

### 2.3 Energiansäästömahdollisuudet puhaltimissa

Puhaltimien energiankulutus koostuu puhallinta tarkasteltaessa pelkästä sähkönottohosta. Tämä sähkönkulutus voidaan jakaa osiin riippuen puhallintyyppistä. Mahdollisia häviöitä voi tulla hihnakäytöstä (4–12 %) [8], taajuusmuuttajakäytöstä (3–5 %) ja sähkömoottorin sisäisistä häviöistä (35–55 %). Näistä vaikeinta on arvioida moottorin oma hyötysuhde. Kuitenkin EC-moottorilla on selvästi AC-moottoria parempi hyötysuhde (liite 2).

Energiaa on mahdollista säästää enemmän laskemalla ilmavirran määrää silloin, kun täyttä tehoa ei tarvita.

### 2.4 Puhallinlait

Tässä työssä ei tarvita kaikkia puhallinlakeja, jonka vuoksi keskitytään vain olennaisiin. Nämä puhallinlait kuvaavat pyörimisnopeuden muutoksen vaikutusta puhaltimen tilavuusvirtaan, kokonaispaineeseen, sähkönottohostoon ja äänen tehotasoon.

Esitetyt puhallinlait pätevät, jos kanavistossa ei tapahdu muutosta ja jos kaasun koonpuristuvuutta ei tarvitse ottaa huomioon. Käytetyt puhallinlait koostuvat seuraavista kaavoista.

$$q_v = (n/n_0) * q_{v0} \quad (1)$$

$$p_{tF} = (n/n_0)^2 * p_{tF0} \quad (2)$$

$$P = (n/n_0)^3 * P_0 \quad (3)$$

$$L_W = L_{W0} + 50 * \log(n/n_0) \quad (4)$$

$n$  on puhaltimen uusi pyörimisnopeus (r/min)

$n_0$  on puhaltimen tunnettu pyörimisnopeus (r/min)

$q_v$  on puhaltimen uusi tilavuusvirta ( $m^3/s$ )

$q_{v0}$  on puhaltimen tunnettu tilavuusvirta ( $m^3/s$ )

$p_{tF}$  on puhaltimen uusi kokonaispaine (Pa)

$p_{tF0}$  on puhaltimen tunnettu kokonaispaine (Pa)

$P$  on puhaltimen uusi teho (W)

$P_0$  on puhaltimen tunnettu teho (W)

$L_W$  on uusi äänen tehotaso (dB)

$L_{W0}$  on tunnettu äänen tehotaso (dB)

[2]

Puhaltimen tilavuusvirta on suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen, painetuotto muuttuu pyörimisnopeuden suhteen toiseen potenssiin ja teho muuttuu pyörimisnopeuden suhteen kolmanteen potenssiin. Äänen tehotaso laskee logaritmisella asteikolla: käytännössä tämä tarkoittaa, että suurella pyörimisnopeuden laskulla saavutetaan suhteessa suurempi äänitasojen lasku. Laskennassa voidaan pyörimisnopeuden tilalla käyttää myös tilavuusvirtaa, koska se on suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen.

Puhallinlakeja tutkimalla on helppo todeta säädön vaikutus puhaltimen energiankulutukseen. Teho on suoraan verrannollinen sähköenergian kulutukseen, jolloin pyörimisnopeuden puolittuessa sähkötehotarve tippuu kahdeksasosaan alkuperäisestä. Optimaalisesti ohjelmoidulla pyörimisnopeudensäädöllä päästään siis puhaltimen kokonaisenergiankulutuksen kannalta huomattaviin sähköenergian säästöihin.

### 3 Energiatehokas ilmanvaihtojärjestelmän ohjaus

#### 3.1 Käyttöajat eri tehoilla

Käytännössä puhaltimen pyörimisnopeutta voidaan ohjata kolmella eri tavalla. Eniten energiaa kuluttava vaihtoehto on määrittää automaatiojärjestelmään puhaltimelle käynnistys- ja sammumisaika. Tällöin puhallin käy täydellä teholla, kuten koekohteessa, arkipäivisin klo 7:00–18:00, ja muina aikoina kone ei käy lainkaan. Ilmanvaihdon käyttö perustuu ensimmäisten ja viimeisten käyttäjien kulkemiseen, vaikka todellisuudessa

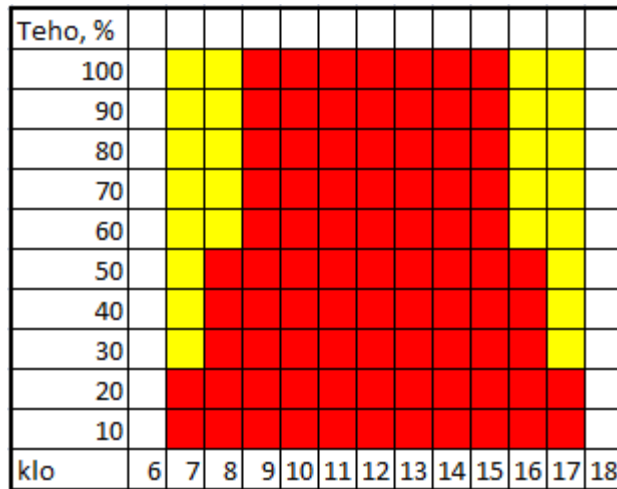
työntekijöiden liikkuminen toimistorakennuksessa tapahtuu päivän mittaan vaihteittain. Sähköenergian kulutus on tällöin kuvan 4 mukainen.

Teho, %																	
100																	
90																	
80																	
70																	
60																	
50																	
40																	
30																	
20																	
10																	
klo	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				

Kuva 4. Sähköenergian kulutus ilman säätöä.

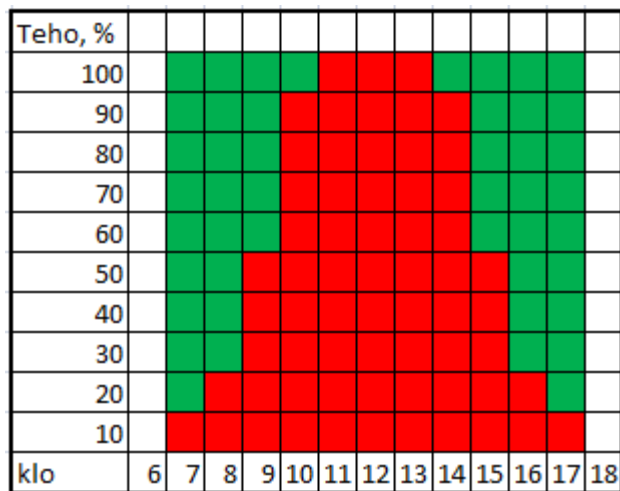
Älykkäämpi järjestelmä saadaan aikaiseksi ohjelmoimalla käyntiaikoihin porrastuksia hetkille, jolloin täyttä ilmavirtaa ei tarvita. Koekohteeseen tällainen voisi olla esimerkiksi 60 %:n teho aikaväleillä 7:00–8:00 ja 17:00–18:00 sekä 80 %:n teho aikaväleillä 8:00–9:00 ja 16:00–17:00. Täydellä teholla konetta käytettäisiin 9:00–16:00.

Puhallinlakien mukaan suoritettulla laskutoimituksella saadaan sähköenergian kulutuksessa 23 %:n säästö. Lämmitysenergiassa saavutetaan 11 %:n säästö, joka saadaan laskemalla keskimääräinen ilmavirta päivän aikana, johon täyden tehon ilmamäärää verrataan. Tätä tilannetta havainnoidaan kuvassa 5, jossa on kuvattu keltaisella säästetyn energian osuus pinta-alana.



Kuva 5. Sähköenergian kulutus aikaohjauksella.

Edellisestä ohjausta voidaan tehostaa lisää tekemällä siitä portaattomasti CO<sub>2</sub>- eli hiilidioksidianturin mukaan säätyvä. Tällöin puhaltimelle asetetaan minimi- ja maksimikierrosluvut, joiden välissä kierrosluku säätyy portaattomasti CO<sub>2</sub>-anturin lähettämän 0–10 V -viestin mukaisesti. Kuvassa 6 on esitetty suuntaa antavasti mahdollinen lopputulos CO<sub>2</sub>-ohjauksen tuomista säästöistä. Säästetyн energian osuus on esitetty vihreällä.

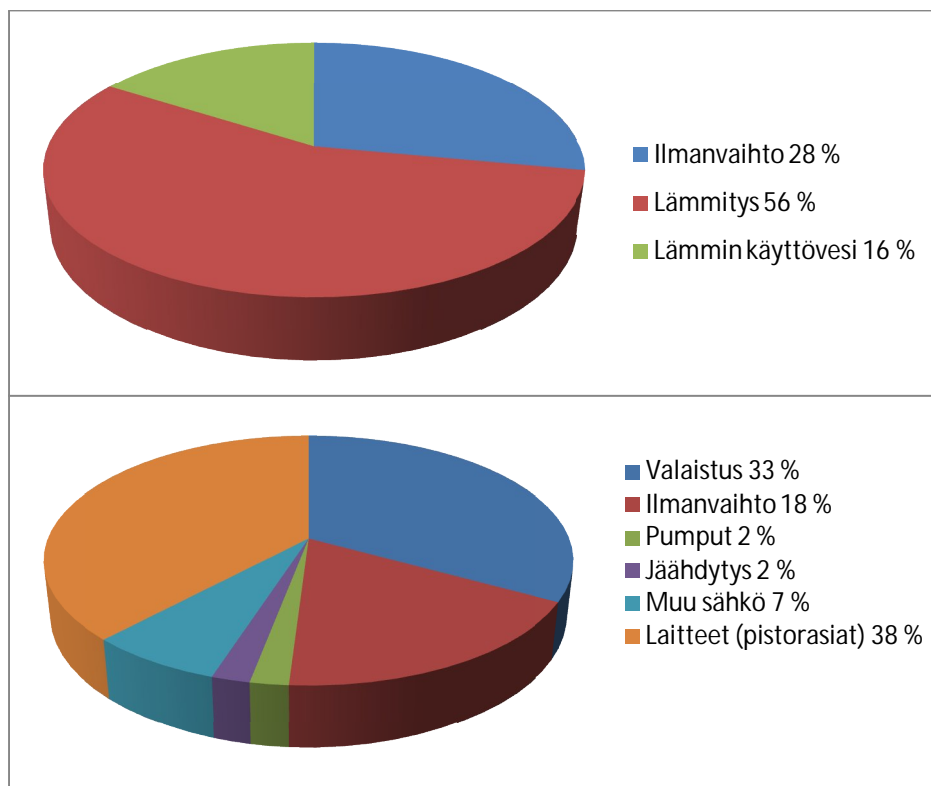


Kuva 6. Sähköenergian kulutus CO<sub>2</sub>-ohjauksella.

Puhaltimen ohjauksella voidaan saavuttaa laskennallisesti usean kymmenen prosentin säästö sähköenergian kulutuksessa ja hieman pienempi mutta edelleen merkittävä säästö lämmitysenergiassa.

### 3.2 Energiankulutus

Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus jakaantuu kahteen pääosaan: puhaltimien sähköenergiankulutukseen ja tuloilman lämmitysenergiankulutukseen. Lisäksi tuloilmaa voidaan jäähdyttää tapauskohtaisesti, mutta siitä aiheutuu lisää energiankulutusta. Pienempinä energiankulutuskohteina ovat lämmöntalteenoton pyörytykseen tarvittavan moottorin sähkönottoteho ja säätölaitteiden oma sähkönkulutus. Näiden vaikutus järjestelmän kokonaisenergiankulutukseen on kuitenkin marginaalinen, ja niiden pysyessä lähes vakiona tilanteesta riippumatta voidaan nämä sähkönkulutuksen osa-alueet jättää huomioimatta tässä tarkastelussa.



Kuva 7. Toimistorakennuksen lämmitys- ja sähköenergiankulutuksien jakaumat [10].

Kuvan 7 ylemmässä lohkokaaviossa on toimistorakennuksen kaukolämpöenergiankulutusjakauma ja alemmassa lohkokaaviossa toimistorakennuksen sähköenergiankulutusjakauma. Lohkokaavioista voidaan nähdä, että ilmanvaihdon osuus on merkittävä sekä rakennuksen kaukolämpöenergian- että sähköenergiankulutuksessa. Ilmanvaihtojärjestelmien energiansäästöillä voidaan siis saada merkittäviä säästöjä koko rakennuksen energiankulutukseen.

### 3.3 Muut saavutettavat hyödyt

Ilmanvaihtokoneen käydessä osateholla säästetään suodattimien vaihdon kustannuksissa, koska suodatettava ilmamäärä on pienempi ja täten suodattimen vaihtoväli kasvaa.

## 4 Koekohteen puhaltimien mittaus

Koekohtena mittauksille toimi Insinööritoimisto Olof Granlundin Helsingin Malmilla sijaitseva toimistokiinteistö. Kohteen puhaltimien energiankulutusta, ilmamääriä, paineenkorotusta ja äänenpainetasoja pyrittiin määrittämään mittausten avulla. Ennen mittausten aloittamista laadittiin mittaussuunnitelma (luku 4.1), josta selviävät muun muassa mittauslaitteet ja -menetelmät.

Kiinteistöä palvelee seitsemän ilmanvaihtokonetta ja mittaukset suoritetaan kaikille vaihdettavissa oleville puhaltimille. Neljä huippuimurilla varustettua poistopuhallinta jätetään huomioimatta. Tämä siksi, että ilmavirrat ja niiden sähköteho ja tätä kautta myös energiankulutus on vähäistä. Nykyisin myös huippuimureita valmistetaan EC-moottorilla varustettuna.

### 4.1 Mittaussuunnitelma

Mittauksen tarkoituksena on arvioida KOy Malminkaari 21 ilmanvaihtokoneiden puhaltimien toimintaa (ilmamäärät, paineenkorotus ja energiankulutus) normaalissa käyttötilanteessa. Kaikki puhaltimet toimivat nykytilanteessa täydellä teholla käynnissä ollessaan.

Mitattavat tulo/poistokoneet:

- 01TK/PK koillissiiven toimistot
- 02TK/PK keskiosan toimistot
- 04TK/PK lounaissiiven toimistot

Mitattavat tulokoneet:

- 03TK saunaosasto
- 05TK koillissiiven paikoitustila

- 06TK keskiosan paikoitustila
- 07TK lounaissiiven paikoitustila.

Kaikista kymmenestä puhaltimesta mitataan kertamittauksin kanaviston staattinen paine puhaltimen jälkeen sekä paine-erot erikseen puhaltimen ja koko koneen yli, unohtamatta puhaltimien sähkönottotehoja. Tarkasteltavaan ilmanvaihtokoneeseen, johon vaihdetaan saneerausosa (kammiopuhallin EC-moottorilla), liitetään ensin dataloggeri (noin viikon ajaksi) mittaamaan sen nykyistä sähkönottotehoa. Äänenpainetasot mitataan konehuoneesta, koneen vaipan ulkopuolelta ja referenssihuoneesta (kolmannen kerroksen toimisto, lähinnä konehuonetta).

Ilmavirta- ja paineenkorotusmittaukset tehdään Alnorin mikromanometrillä ja pitotputkella (kanavan reunoilta ja keskeltä) kanavistoon tehdyistä mittausrei'istä. Sähkönottotehojen dataloggerimittaukset mitataan Hioki 3196 -tehoanalysaattorilla.

Puhaltimien ilmamäärän ja paineenkorotuksen mittaus aloitetaan kiinnittämällä mikromanometrin letkut pitot-putken yhteisiin [1]. Tämän jälkeen pitot-putki työnnetään sille tarkoitettuun reikään halutusta kanavan osasta, ja mitataan viidestä eri kohdasta kanaavaa dynaamisen ja staattisen paineen ero. Saaduista viidestä tuloksesta lasketaan keskiarvo. Samoista mittapisteistä otetaan ylös myös ilman virtausnopeudet.

Sähkönottotehojen mittauksessa on mukana henkilö sähköosastolta. Puhaltimien sähkönottotehoa mitataan dataloggerilla noin viikon ajan. Dataloggerin mittausväliksi asetetaan standardin mukainen mittausväli, kymmenen minuutin keskiarvo. Kaikki sähkömittaukset on tehtävä erikseen, koska puhaltimet ovat kolmivaiheisia ja käytetyssä mittalaitteessa on mittayhteet maksimissaan kolmelle vaiheelle.

Kaikki mittaustulokset kirjataan mittauspöytäkirjaan, jota täytetään reaaliajassa mittausten edetessä. Saatuja mittaustuloksia verrataan puhaltimien suunnittelu- ja nimelisarvoihin (toteutuneen puhaltimen arvo). Mittaustulosten avulla selvitetään, löytyykö puhaltimien vaihdolle laskennallista kannattavuutta.

Tulo/poistoilmakoneeseen 02TK/PK vaihdetaan mittausten valmistuttua uudet saneerauspuhaltimet ja edellä mainitut mittaukset suoritetaan tälle koneelle uudelleen. Tar-



kasteltavien ilmanvaihtokoneiden kohdalla mitataan staattinen paine ennen puhaltimen vaihtoa myös tuloilmakammion jälkeen. Näin saadaan tietoa siitä, paljonko painetta häviää nykyisen tuloilmakammion epäedullisen muodon takia. Nykyinen kammio tullaan mahdollisesti vaihtamaan puhaltimen vaihdon yhteydellä ilmanvirtausteknisesti edullisemmän malliseksi. Tästä johtuen on oleellista laskea kammion muutoksesta saatava hyöty. Hyöty kompensoidaan laskelmissa, jotta uusi puhallin ei saisi vertailukelvotonta hyötyä.

#### 4.2 Puhaltimien tekniset tiedot

Taulukossa 1 on esitetty kohteen puhaltimien nimellisarvot sekä puhaltimien arvokilpiin leimatut moottorin suoritusarvot. Suunnitteluarvot on saatu kiinteistön LVI-laitteiden käyttö- ja hoitosuunnitelma -kansioista [6]. Mitattuja arvoja verrataan taulukon 2 suunnittelu- ja kilpiarvoihin.

Taulukko 1. Puhaltimien nimellis- ja kilpiarvot.

Kohde	Puhallin	Moottori	
		Teho (kW)	Pyörimisnopeus (r/min)
01 TK	HFOK-5-AF-3-2RD-3	11,0/1,5	1500/750
01 PK	HFOK-4-AF-3-1LG-3	5,5/0,85	1500/750
02 TK	HFOK-5-AF-3-1RD-3	8,0/1,1	1500/750
02 PK	HFOK-4-AF-3-1LG-3	5,5/0,85	1440/725
03 TK	HFOK-0,5-AF-3-2RD-1	0,75	1500
03 PK	FEK-35-3K	0,18	
04 TK	HFOK-4-AF-3-2LG-3	5,5/0,85	1500/750
04 PK	HFOK-3-AF-3-1RD-3	5,5/0,85	1500/750
05TK	HFOK-2-AF-3-2RD-3	3,0/0,4	1500/750
05PK	FEK-50-3/6	1,1/0,15	
06TK	HFOK-2-AF-3-2RD-3	3,0/0,4	1500/750
06PK	FEK-50-3/6	1,1/0,15	
07TK	HFOK-2-AF-3-2RD-3	3,0/0,4	1500/750
07PK	FEK-50-3/6	1,1/0,15	

Taulukko 2. Puhaltimien suunnittelu- ja kilpiarvot

Kohde	Puhallin		
	Ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)	Kokonaispaine (Pa)	Pyörimisnopeus (r/min)
01 TK	4,2/2,1	785	800
01 PK	3,6/1,8	590	850
02 TK	4,3/2,15	745	780
02 PK	3,5/1,75	655	900
03 TK	0,4	510	1800
03 PK	0,4	230	850
04 TK	2,9/1,45	880	1150
04 PK	2,7/1,35	660	1000
05TK	2,1/1,05	585	1050
05PK	2,2/1,1	250	945/465
06TK	2,0/1,0	530	1000
06PK	2,1/1,05	250	945/465
07TK	2,0/1,0	550	1050
07PK	2,1/1,05	250	945/465

Kuvasta 8 voidaan nähdä uuden ja vanhan tulopuhaltimen fyysiset erot. Kammiopuhallin mahtuu huomattavasti pienempään tilaan kuin radiaalipuhallin. Tulo- ja poistoilmakammioiden painetilat vaihtuivat puhaltimien vaihdon yhteydessä. Kammiot olivat radiaalipuhaltimien kanssa alipaineiset, ja kammiopuhaltimilla ne ovat ylipaineisia. Tästä johtuen tulo- ja poistoilmakammiot tuli tiivistää vuotojen estämiseksi.

Turvallisuussyistä kammioiden huoltoluukkuihin asennettiin myös saranat ja turvahaka, koska puhaltimien käydessä luukun avaaminen on edelleen mahdollista. Turvahaka näkyy kuvassa 9.



Kuva 8. Uusi ja vanha tulopuhallin.

#### 4.3 Mittausten suoritus

Mittausten suoritus ei mennyt täysin suunnitelman mukaisesti. Mittaussuunnitelmasta poikettiin seuraavissa tapauksissa:

- Äänitekniisiä mittauksia ei lopulta suoritettu kiireisen aikataulun vuoksi.
- Muille ilmanvaihtokoneille ei suoritettu sähkönottotehomittauksia.
- Tuloilmakammioon ei tehty asennuksen yhteydessä muutoksia, joten painehäviöiden kompensointia ei ole tarpeen tehdä.

Muilta osin mittaukset suoritettiin suunnitelman mukaisesti.

Kuvassa 9 Alnorin mikromanometri mittaa paine-eroa puhaltimen imupuolelta kahdesta eri mittapisteestä. Paine-eron ja valmistajan luovuttaman puhallinkäyrän mukaan saadaan määritettyä puhaltimen ilmamäärä. Ilmamäärät tarkistettiin erikseen myös kanava-vaarojen mittapisteistä pitot-putkella, jotta saatiin varmuus oikeasta ilmamäärästä kummallekin puhaltimelle.



Kuva 9. Paine-eron mittausta Alnorin mikromanometrillä.

Kuvassa 10 mitataan ilmanvaihtokoneen TK/PK 02 tulopuolen puhaltimen sähkönotto-  
tehoa valvonta-alakeskuksesta Hioki 3196 -tehoanalysaattorilla. Sähkönottotehon mit-  
taus suoritetaan laittamalla kuvassa 10 näkyvät keltaiset pihdit vaihejohtimien ympäril-  
le. Näin tiedetään johtimissa kulkeva sähkövirta. Sulakkeista mitataan jännite, ja näistä  
tiedoista Hioki 3196 laskee suoraan sähkönottotehon sekä tallentaa tehon keskiarvon  
kymmenen minuutin välein. Laite toimii samalla siis dataloggerina, ja tulokset purettiin  
MS Excel -tiedostona tietokoneelle.

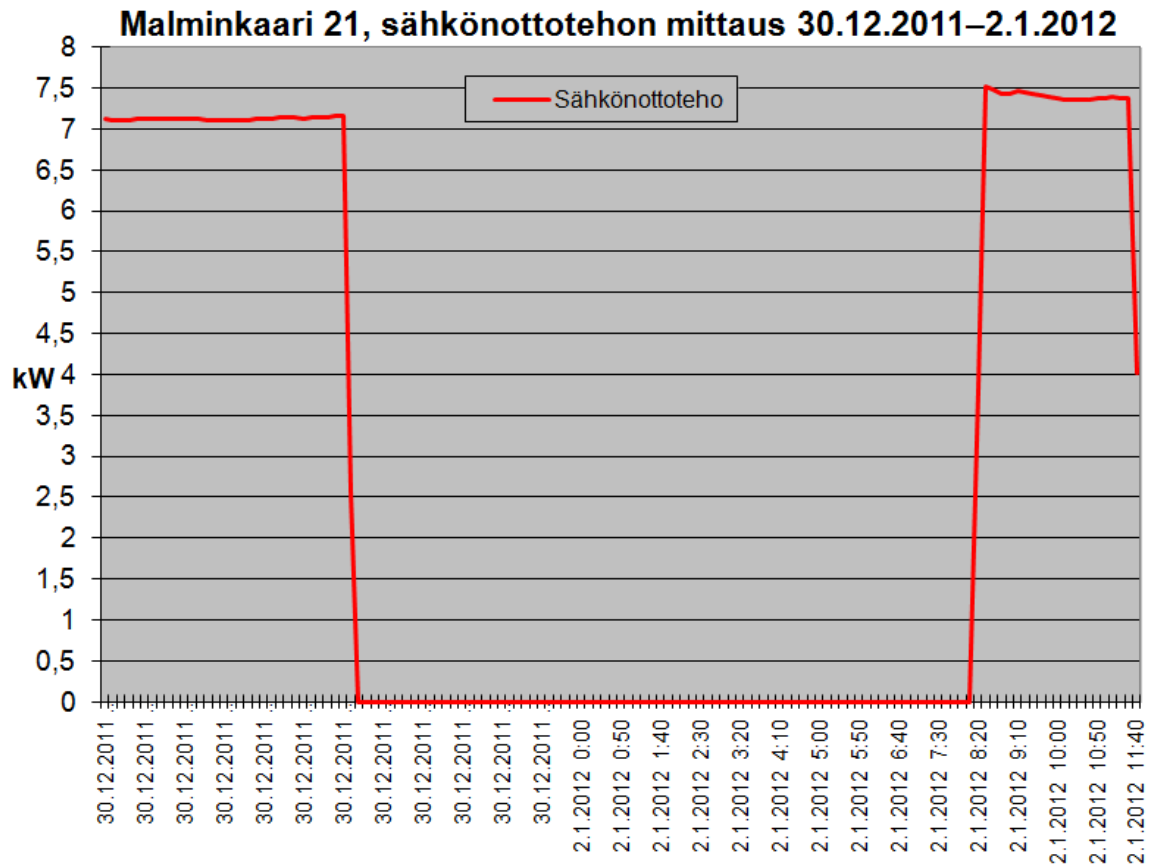


Kuva 10. Sähkönottotehon mittausta Hioki 3196 -tehoanalysaattorilla.

#### 4.4 Mittaustulokset ja niiden analysointi

Mittaustulokset on esitetty MS Excelillä tulostettuina kuvaajina. Kuvaajissa vaakakselilla on nähtävissä päivämäärä ja pystyakselilla mitattu arvo. Punaisella tulostetut ovat sähkönottotehoja kilowatteina (kW), sinisellä hiilidioksidin määrä miljoonasosina (ppm) ja keltaisella hiilidioksidianturin viesti voltteina (V).





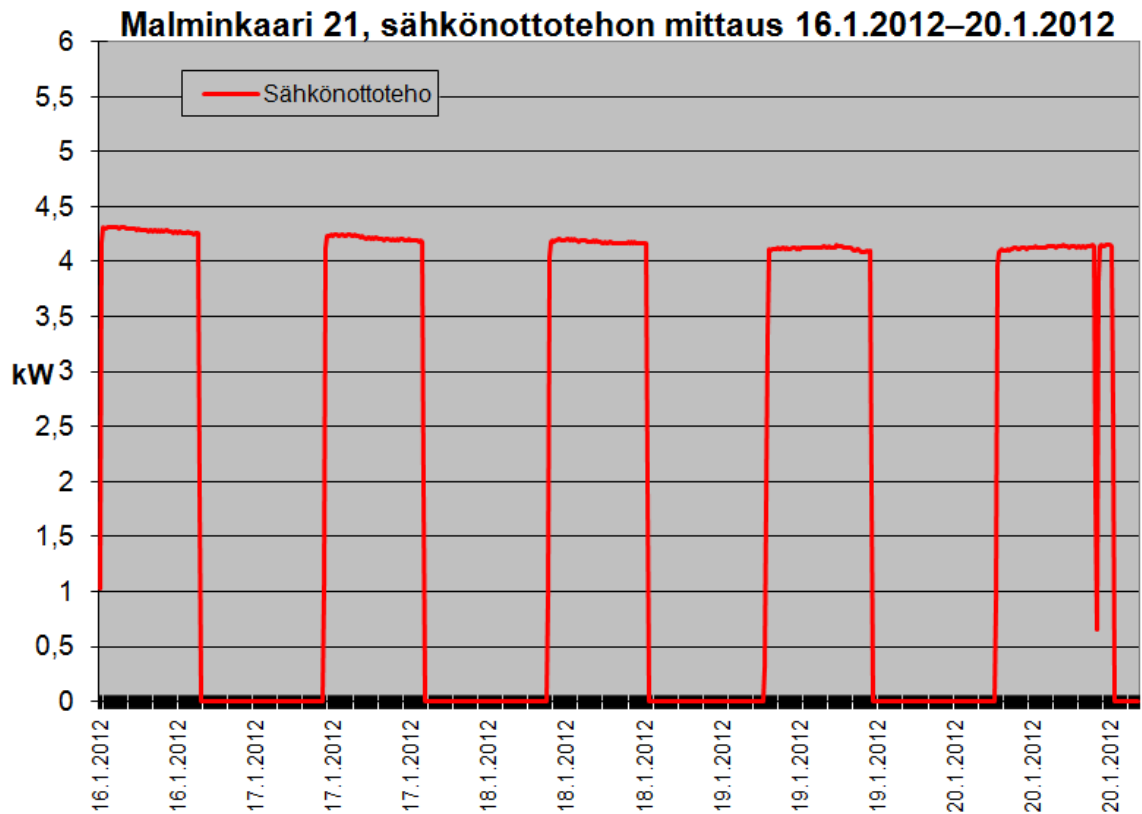
Kuva 12. Vanhan tulopuhaltimen sähkönottoteho.

Kuvassa 12 on vanhan tulopuhaltimen sähkönottoteho vajaan kahden vuorokauden otannalla. Puhaltimen O2 TK -konekortissa suunniteltu tehontarve täydellä teholla oli 4,9 kW, kun mittausjakson keskimääräinen kulutus oli 7,01 kW.

Tulopuhaltimen kohdalla sähkönottoteho ylitti suunnitteluarvon lähes puolitoistakertaisesti. Konekorttiin merkitty nimellisteho puhallinmoottorille oli 8,0 kW, joten tulopuolella ei ylitetty nimellistehoa, kuten poistopuhaltimen kohdalla tuli ilmi. Molemmat puhaltimet kuluttivat kuitenkin sähköenergiaa oletettua enemmän.



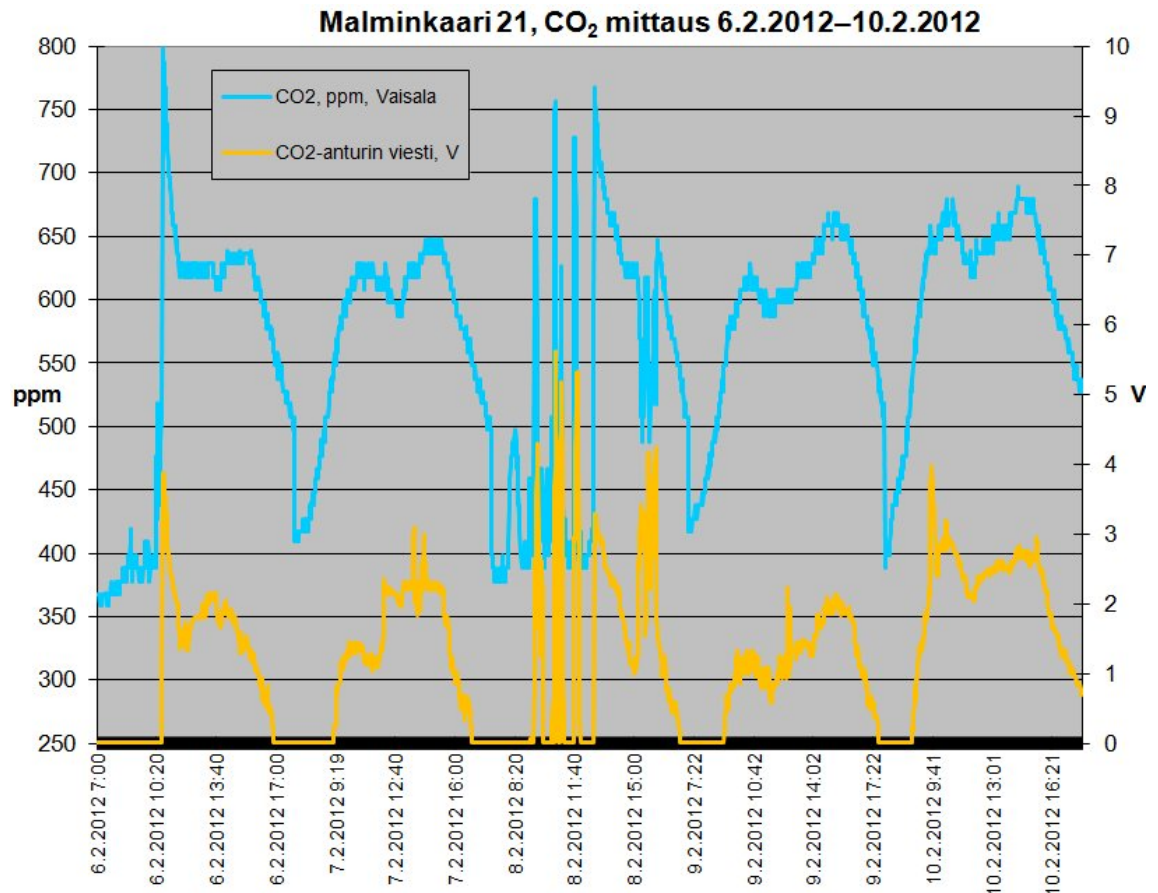




Kuva 14. Uuden poistopuhaltimen sähkönottoteho.

Kuvassa 14 on esitetty uuden poistoilmapuhaltimen sähkönottoteho viiden vuorokauden mittaiselta ajanjaksolta. Keskimääräiseksi sähkönottotehoksi puhaltimen käynnissäoloajalta saatiin 4,16 kW, kun Swegonin mitoitusajon mukaan kulutukseksi oli arvioitu 3,25 kW (liite 1). Toisin kuin tulopuhaltimen kohdalla, poistopuhallin kulutti selvästi enemmän kuin mitoitusajo antoi odottaa.

Verrattaessa uuden puhaltimen sähköenergiankulutusta vanhaan puhaltimeen saadaan erotukseksi 2,36 kW uuden puhaltimen hyväksi. Sähköenergiesäästöä tuli enemmän kuin tulopuhaltimessa, vaikka mitoitusajon arvot ylittyivätkin kohtuullisen paljon.



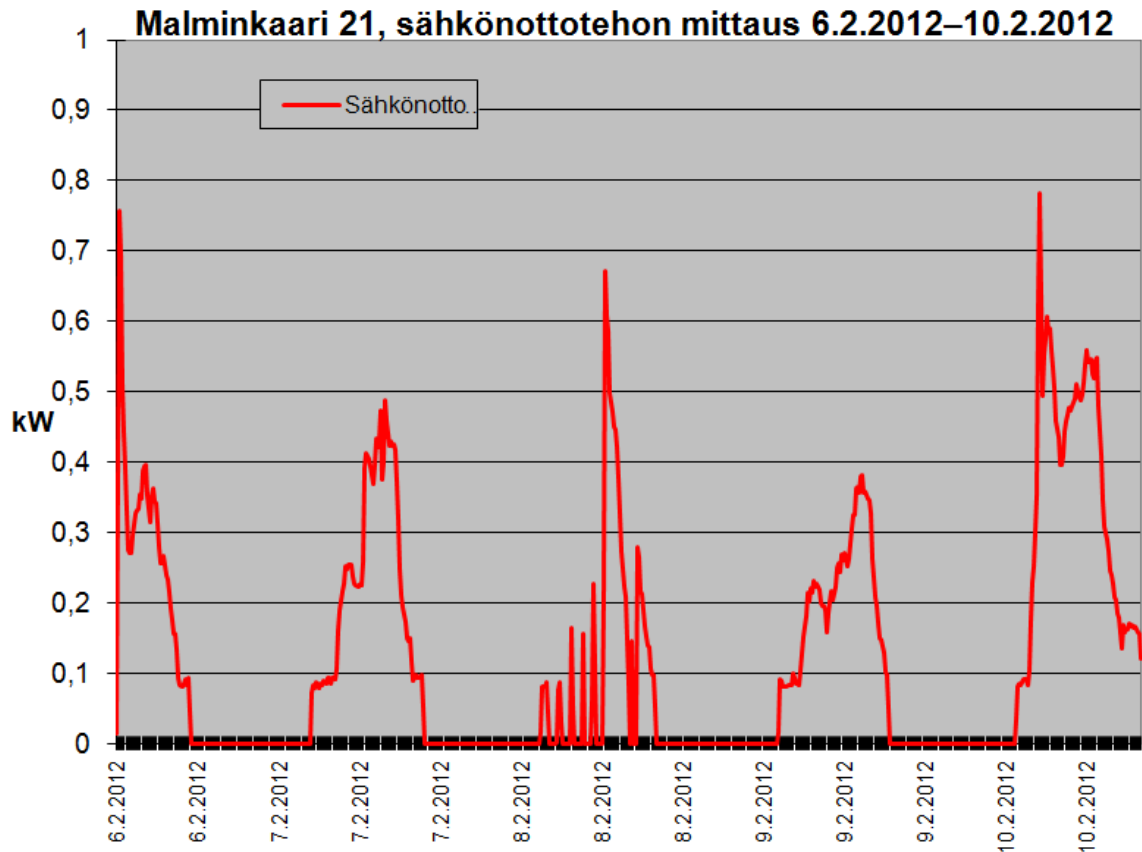
Kuva 15. Poistoilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus ja CO<sub>2</sub>-anturin viesti ilman minimi-ilmamäärää.

Kuvassa 15 keltaisella viivalla näkyvä kuvaaja ilmaisee CO<sub>2</sub>-anturin ohjausviestin suuruuden voltteina. CO<sub>2</sub>-anturin viestiä ilmaisevassa kuvaajassa on näkyvissä vain käyntiajan aikainen data. Anturin viestin kuvaaja on yhdenmuotoinen kuvan 16 sähkönotto-  
tehon kuvaajan kanssa, koska puhallinmoottorin kierrosluku säätyy suoraan 0–10 V -viestin mukaan portaattomasti hiilidioksidipitoisuuksien 500...800 ppm välillä.

Kuvassa 15 sinisellä kuvattu dataloggeriin liitetty erillinen Vaisalan CO<sub>2</sub>-anturi on kuvassa vertailua varten. Kuvaajasta voidaankin lukea, että puhallinta ohjaavan anturin ja vertailuanturin mittaustuloksissa on jatkuvasti eroa. Suuruudeltaan tämä ero oli keskimäärin 70 ppm siten, että Vaisalan anturi näyttää 70 ppm suurempaa hiilidioksidiarvoa. Suuremmat piikit kuvaajassa ovat selitettävissä antureiden erilaisella rekisteröinti-  
nopeudella.

6.2–10.2.2012 suoritetun mittausjakson aikana puhalltimelle oli aseteltu minimirajaksi puhallinmoottorin pienin mahdollinen pyörimisnopeus ja maksimiarvoksi vanhan puhall-

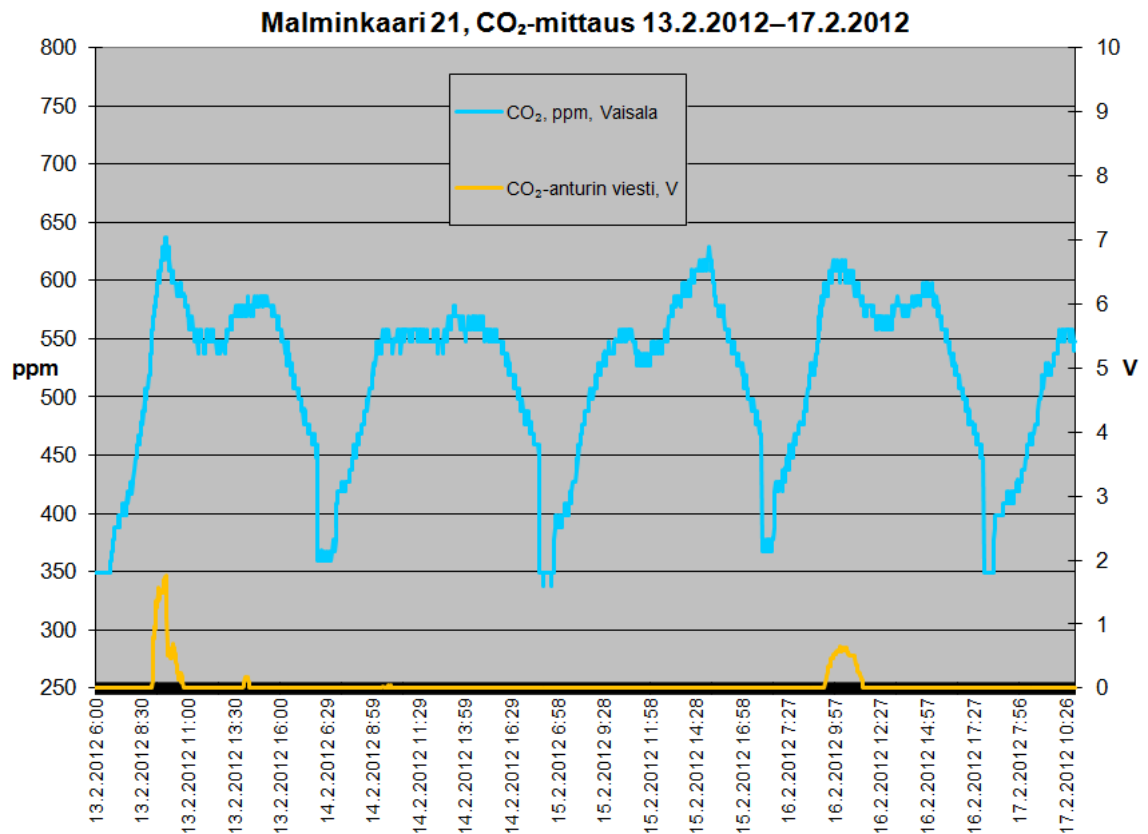
timen täyttä ilmavirtaa vastaava pyörimisnopeus. Todellisina ilmamäärinä nämä olivat minimissään  $0,27 \text{ l/s/m}^2$  ja maksimissaan  $1,7 \text{ l/s/m}^2$ . Tällä yhdistelmällä sähköenergian keskimääräinen kulutus oli  $238 \text{ W}$  puhaltimen käydessä koko mittausjakson ajan alle yhden kilowatin teholla. Tästä voidaan päätellä, että ilmanvaihtokoneen palvelualueella ilmanvaihto ei ole ollut tarpeeksi tehokasta. Asiasta saatiin palautetta myös tilojen käyttäjiltä, koska ilmanlaatu oli ollut huono.



Kuva 16. Tulopuhaltimen sähkönottoteho  $\text{CO}_2$ -ohjattuna, kaikilla pyörimisnopeuksilla.

Tarkasteltavan ilmanvaihtokoneen palvelualue on laaja, palvelun erilaisella käyttöasteella olevia toimisto-, aula- ja neuvottelutiloja. Tilojen käyttöaste vaihtelee jatkuvasti, minkä vuoksi ilmanvaihtokoneen poistoilmakammioon asennettu keskimääräistä  $\text{CO}_2$ -arvoa mittaava anturi ei pysty erottelemaan tilakohtaisesti ilmanlaadun eroja vaan laskee kaikkien tilojen hiilidioksidimäärän keskiarvoa. Tästä johtuen tiloissa, joissa on paljon ihmisiä lattianeliötä kohden, ilmanlaatu on huono pienen kokonaisilmamäärän takia. Samanaikaisesti ilmaa poistetaan tyhjillään olevista tiloista, joissa ei ole ihmisiä hengittämässä eli tuottamassa hiilidioksidia ilmaan.

Toimiakseen järjestelmä vaatisi vyöhykepeltejä ja hiilidioksidimittauksen huonekohtaisesti. Tällaista järjestelmää ei ollut mahdollista toteuttaa kiinteistön nykyisellä, vanhentuneella automaatiojärjestelmällä. Se olisi ollut suuruusluokaltaan aivan eri tasoa nyt toteutettuun muutostyöhön verrattuna. Myös nykyisillä päätelaitteilla ilmaantuisi ongelmia heittopituuksien kanssa, jos ilmavirtaa laskettaisiin suunnitelluista arvoista huomattavasti.

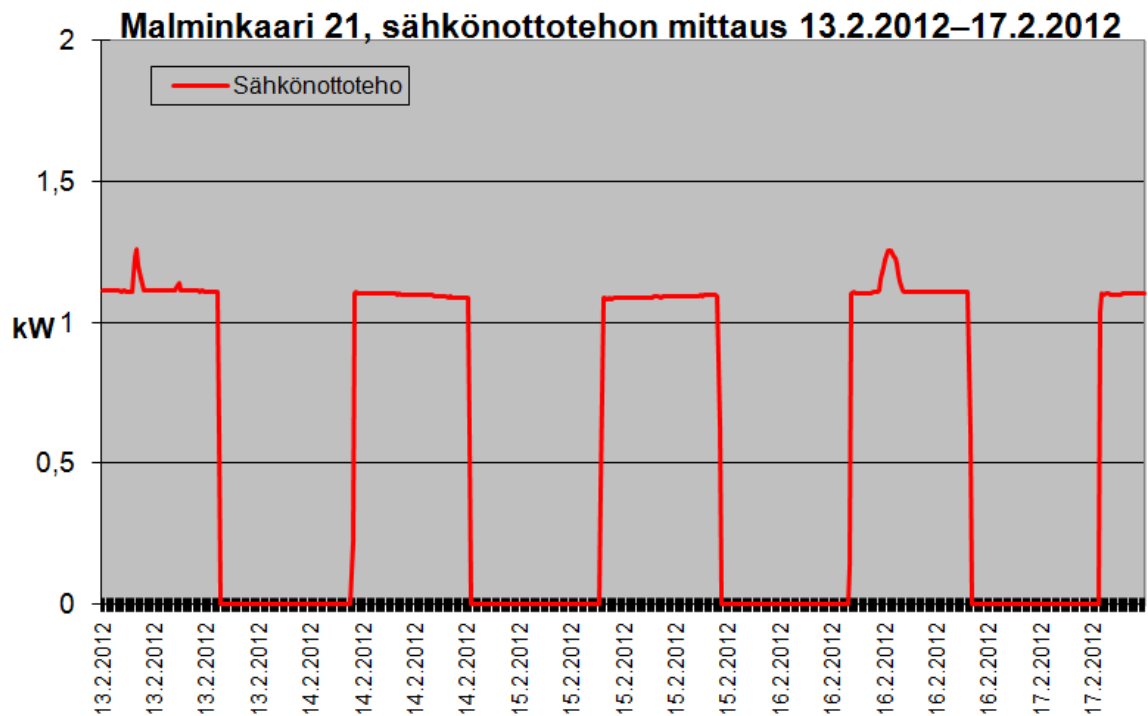


Kuva 17. Poistoilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus ja CO<sub>2</sub>-anturin viesti minimi-ilmavirran ollessa 1,0 l/s/m<sup>2</sup>.

Viimeisellä mittausjaksolla otettiin huomioon se, ettei ilmamäärää voida laskea mahdollisimman alas. Tulopuhaltimen minimi-ilmamääräksi asetettiin siis 1,0 l/s lattianeliötä kohden. Täydellä ilmavirralla ilmamäärä lattianeliötä kohden on 1,7 l/s. Kuvasta 17 voidaan todeta, että tällä ilmamäärällä poistoilman hiilidioksidimäärä ylitti 500 ppm:n rajan viiden vuorokauden mittausjakson aikana vain kolmesti puhallinta ohjaavan anturin mukaan.

Lähes koko mittausjakson ajan puhallin kävi sille asetetulla minimi-ilmamäärällä, joka on 1,0 l/s lattianeliötä kohden. Kuvassa 18 on esitetty sähkönottoteho kuvaajana kyseiseltä mittausjaksolta. Keskimääräinen sähkönottoteho käyttöaikana oli 1,09 kW. Kuvaa-

jassa on nähtävissä kolme piikkiä, jolloin ohjaava CO<sub>2</sub>-anturi on havainnut yli 500 ppm:n pitoisuuksia poistoilmasta.



Kuva 18. Tulopuhaltimen sähkönottoteho CO<sub>2</sub>-ohjattuna, minimi-ilmamäärä 1 l/s/m<sup>2</sup>.

Toinen mittaus vain vahvistaa käsitystä siitä, ettei CO<sub>2</sub>-säädöllä, ainoastaan poistoilmakammioon asennetun anturin avulla, saavuteta mitään käytännön hyötyä. Puhallin kävi käytännössä koko ajan yhdellä pyörimisnopeudella, eikä hiilidioksidimittaus vaikuttanut puhaltimen toimintaan kuin marginaalisesti. Mitään käytännön eroa ilmanlaadussa ei olisi huomattavissa, vaikka CO<sub>2</sub>-anturi poistettaisiin käytöstä ja puhallin asetettaisiin käymään vakioilmavirralla (1,0 l/s/m<sup>2</sup>).

Käyttäjäkyselyn mukaan ilmanlaatu ei vastannut haluttua tasoa tällä minimi-ilmamääräasetuksella. Palvelualueen toimistohuoneissa on paljon sähkölaitteita, ja niistä aiheutuu lämpökuormaa. Tämän vuoksi toimistohuoneissa mitattiin yli 24 °C:n lämpötiloja talvipakkasella. Tuloilman lämpötilaa laskettiin testimielessä asetusarvostaan kahdella asteella, mutta lämpötilaan ei tullut muutosta.

#### 4.5 Kohteen puhaltimien energiankulutus

Mittaustuloksista laskettiin käyntiaikojen ajalta sähkönottotehon keskipöytäkulutukset vertailua varten.

Taulukko 3. Mittauksien sähkönottotehojen keskiarvot.

Mittauskohde	Sähkönottoteho			
Vanha poistopuhallin	6,527	kW	6527	W
Vanha tulopuhallin	7,018	kW	7018	W
Uusi tulopuhallin	5,180	kW	5180	W
Uusi poistopuhallin	4,160	kW	4160	W
Tulopuhaltimen erotus	1,838	kW	1838	W
Poistopuhaltimen erotus	2,367	kW	2367	W
CO <sub>2</sub> -ohjattuna	0,238	kW	238	W
CO <sub>2</sub> -ohjattuna, min. 1,0 l/s/m <sup>2</sup>	1,093	kW	1093	W
CO <sub>2</sub> poisto interpoloitu	0,191	kW	191	W
CO <sub>2</sub> poisto interpoloitu, 1,0 l/s/m <sup>2</sup>	0,878	kW	878	W

Taulukossa 3 on esitetty neljässä ensimmäisessä sarakkeessa tulo- ja poistopuhaltimien sähkönottotehot täydellä ilmamäärällä sekä kahdessa seuraavassa uuden ja vanhan puhaltimen tehojen erotukset. CO<sub>2</sub>-ohjattuna tarkasteltiin ainoastaan tulopuhallinta, koska sen ilmamäärän ollessa suurempi, on myös sähkönottoteho suurempi. Aiempien mittaustuloksien perusteella voitiin interpoloida poistopuhaltimelle todellista vastaavat suoritusarvot. Interpoloinnissa verrattiin uuden tuloilmapuhaltimen sähköenergiankulutuksen suhdetta CO<sub>2</sub>-ohjatun tulopuhaltimen energiankulutukseen ja tätä suhdetta hyväksikäyttäen laskettiin arvot uudelle poistoilmapuhaltimelle.

Puhaltimien käyntiaika on arkipäivisin aikavälillä 7:00–18:00 eli 11 tuntia päivässä, viisi päivää viikossa ja 52 viikkoa vuodessa. Vuoden yhteenlasketuiksi käyttötunneiksi saadaan täten 2 868 tuntia.

## 5 Elinkaarikustannustarkastelut

Laskennassa sähköenergian hintana käytetään 90 €/MWh (alv 0 %), joka on nykytasolla keskimääräinen sähköenergian hinta sisältäen sähkön siirron osuuden. Kaukolämpöenergialle käytetään hintaa 45 €/MWh (alv 0 %). Lämmöntalteenoton hyötysuhteena käytetään laskennassa 70 %:a.

### 5.1 Elinkaarikustannuslaskenta mittaustulosten perusteella

Puhaltimien mitatuilla sähköenergiankulutuksilla lasketaan vuosittaiset kulutukset ja niiden kustannukset.

Taulukko 4. Puhaltimien vuotuiset sähköenergiankulutukset ja -hinnat.

Vuotuinen käyttöaika	2868	h		
Sähköenergian hinta	90	€/MWh		
Sähköenergian hinta	0,09	€/kWh	Käyttökustannukset	
Vanha poistopuhallin	18719	kWh/a	1685	€/a
Vanha tulopuhallin	20128	kWh/a	1812	€/a
Uusi tulopuhallin	14858	kWh/a	1337	€/a
Uusi poistopuhallin	11932	kWh/a	1074	€/a
Tulopuhaltimen erotus	5270	kWh/a	474,3	€/a
Poistopuhaltimen erotus	6788	kWh/a	610,9	€/a
CO <sub>2</sub> -ohjattuna	682	kWh/a	61,39	€/a
CO <sub>2</sub> -ohjattuna, minimi 1,0 l/s/m <sup>2</sup>	3134	kWh/a	282	€/a
CO <sub>2</sub> poisto interpoloitu	548	kWh/a	49,3	€/a
CO <sub>2</sub> poisto interpoloitu, 1,0 l/s/m <sup>2</sup>	2517	kWh/a	226,5	€/a

Taulukossa 4 ovat laskettuina vuotuiset sähköenergiankulutukset täydellä ilmavirralla sekä uusilla että vanhoilla puhaltimilla ja CO<sub>2</sub>-ohjatun tulopuhaltimen vuotuinen kulutus testatuilla ilmamäärillä. Poistopuhaltimen arvot ovat interpoloituja arvoja aiempien mittaustulosten perusteella.

Uusilla puhaltimilla saavutettaisiin täyttä ilmavirtaa käytettäessä yhteensä 1 082 €:n vuosisäästö sähkönkulutuksessa. Jos puhaltimet jätettäisiin tilanteeseen, jossa minimiilmamääräksi on asetettu 1,0 l/s lattianeliötä kohden, saavutettaisiin yhteenlaskettuna 2 979 €:n vuotuiset säästöt sähköenergiankulutuksessa.

Taulukko 5. Eri toimenpiteiden korottomat takaisinmaksuajat.

Toimenpide	Kustannus	Säästö €/a	TMA/a
EC-puhaltimet	21000	1085	19,4
EC-puhaltimet, CO <sub>2</sub> -ohjattuna	21000	3587	5,9
EC-puhaltimet, CO <sub>2</sub> -ohj., 1,0 l/s/m <sup>2</sup>	21000	3318	6,3
Taajuusmuuttajat, vanhat puhaltimet	7000	1282	5,5

Taulukossa 5 on laskettuna koroton takaisinmaksuaika testatuille toimenpiteille. Kaukolämpöenergian vuosikulutukset on laskettu Motiva Oy:n Motiwatti-ohjelmalla. Tuloilman laskennallinen lämmityspatterin vuotuinen kaukolämpöenergiankulutus oli 12,47 MWh koneen käydessä täydellä ilmavirralla. Tämän tiedon perusteella voitiin laskea kaukolämpöenergian vuosikulutukset eri ilmavirroille. Kustannushinnat sisältävät puhaltimien hankinnan, asennustyön sekä suunnittelun kustannukset yhteenlaskettuina. Hinnat ovat ohjehintoja ilman alennuksia, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia.

Taulukossa 5 on laskettu vertailun vuoksi takaisinmaksuaika tilanteelle, jossa vanhat puhaltimet jätettäisiin toimintaan ja niille asennettaisiin taajuusmuuttajat. Taajuusmuuttajilla puhaltimien käyntiajoiksi asetettiin laskennassa seuraavaa:

- ma–pe klo 07:00–08:30 ilmavirta 60 %
- ma–pe klo 08:30–09:30 ilmavirta 80 %
- ma–pe klo 09:30–15:00 ilmavirta 100 %
- ma–pe klo 15:00–16:00 ilmavirta 80 %
- ma–pe klo 16:00–18:00 ilmavirta 60 %.

Puhallinlakeja (luku 2.4) hyväksikäyttäen voitiin laskea sähkönottotehomittausten perusteella puhaltimien sähkönottotehot eri ilmavirroille.



## 5.2 Päätelmät

Takaisinmaksuaikalaskelmien perusteella voidaan todeta, että pelkällä vanhojen AC-moottorilla varustettujen puhaltimien vaihto uusiin EC-moottorilla varustettuihin ei kannata, koska takaisinmaksuaika toimenpiteelle on lähes 20 vuotta. Jos mukaan otetaan CO<sub>2</sub>-ohjaus, takaisinmaksuaika laskee noin kuuteen vuoteen. Tämä takaisinmaksuaika on jo kannattava, mutta itse toimenpide ei. Käyttäjätutkimuksen perusteella ilmanlaatu ilmanvaihtokoneen palvelualueella ei täytä vaatimuksia testatuilla ilmamäärillä. Myös lämpötila nousi liian korkeaksi, koska tuloilmaa käytetään jäähdytyspalkkiverkoston ohessa jäähdytykseen. Kuvassa 5, sivulla 9 esitetty ilmanvaihdon porrastettu käyttöön-otto toimiston henkilökunnan työpaikalle tulon ja poistumisen perusteella olisi tässä tapauksessa mielekkäin toteutusmalli, jossa minimi-ilmavirtaa 1,0 l/s lattianeliölle ei kuitenkaan aliteta.

Uudiskohteissa saavutetaan merkittävää energiansäästöä, kun sisäilman olosuhteista on laajempaa tietoa (huonekohtainen CO<sub>2</sub> ja lämpötila) ja kun ilmanjaon pääte-elimet soveltuvat muuttuvaan ilmavirtaan. Tällöin saavutetaan mahdollisuudet energiataloudellisempaan ilmanvaihtojärjestelmän käyttöön. Hyvänä esimerkkinä toimivat isot kauppakeskukset tai myymälät, joissa ilmavirran mitoitus perustuu kesäaikaiseen ruuhkahuippuun, vaikka keskimääräinen ilmanvaihdon tarve on huomattavasti pienempi.

CO<sub>2</sub>-ohjaukseen olisi mahdollista saada parempi toimivuus käyttökohteessa, jos anturin rajoja muutettaisiin pienemmiksi nykyisestä arvostaan 500–800 ppm [9]. Testatulla asetusarvolla, palvelualueen poistoilman hiilidioksidimäärän keskiarvoa laskevana, CO<sub>2</sub>-anturi ei antanut tarpeeksi suurta ohjausviestiä puhaltimille, minkä vuoksi ilmanlaatu laski alle vaaditun tason.

Ainoaksi kannattavaksi toimenpiteeksi muodostui taajuusmuuttajien asentaminen vanhoille puhaltimille. Tämän toimenpiteen takaisinmaksuajaksi arvioitiin 5,5 vuotta. Uudiskohteisiin toimitettu, EC-moottorilla varustettu puhallin ei aiheuta hankintaan lisäkustannuksia – se on aina energiataloudellisempi vaihtoehto kuin taajuusmuuttajalla varustettu radiaalipuhallin.

## 6 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä määriteltiin kohteen yhden ilmanvaihtokoneen puhaltimien uusimisen energiansäästöpotentiaali ja koroton takaisinmaksuaika työn aikana tehtyjen mittausten perusteella. Vanhojen puhaltimien vaihtaminen uusiin, energiatehokkaampiin malleihin ei kannata, jos automaatiojärjestelmään ei tehdä muutoksia. Puhaltimen vaihtoa tulee harkita vasta, jos vanha puhallin tulee elinkaarensa päähän mutta ilmanvaihtokoneella olisi vielä elinkaarta jäljellä. Kannattavimmaksi toimenpiteeksi muodostui taajuusmuuttajaohjauksen lisääminen vanhoihin puhaltimiin.

Työssä tarkasteltiin myös vanhan ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuden parantamista hiilidioksidiohjauksen avulla. Hiilidioksidiohjaus ei sovellu, ainakaan tehdasasetuksilla, toimistoa palvelevan ilmanvaihtokoneen ohjaukseen. Hiilidioksidianturille pitäisi tapauskohtaisesti määritellä ylä- ja alarajat, jotta lopputuloksesta tulisi sekä energiatehokas että käyttäjäystävällinen.

Ilmanvaihtokoneen O2 TK/PK yhteenlaskettu vuotuinen sähköenergiankulutus on 38 MWh, kaukolämpöenergian kulutus on 12,5 MWh ja vuotuiset energiakustannukset ovat noin 4 000 €. Käyntiaikaohjattuna ja taajuusmuuttajakäytöllä, vanhojen puhaltimien sähköenergiankulutukseksi arvioitiin 25,6 kWh, kaukolämpöenergian kulutukseksi 10,5 MWh ja säästöiksi vajaan 1 300 € vuodessa. Koroton takaisinmaksuaika taajuusmuuttajien lisäämiselle ja käyttöaikaohjaukselle on 5,5 vuotta.

Taajuusmuuttajien lisäämisellä ja puhaltimien aikaohjauksella saavutettaisiin 16 %:n vuotuiset kaukolämpöenergiesäästöt sekä 30 %:n vuotuiset säästöt sähköenergiakustannuksissa. Koko rakennuksen vuotuinen sähköenergiankulutus laskisi 5,4 %, vuotuinen kaukolämpöenergiankulutus laskisi sen sijaan 4,5 %. Saavutettavat hyödyt eivät ole huomattavia, mutta silti kannattavia, kun tarkastellaan yhdessä useita eri taloteknisiä säästötoimenpiteitä.

Insinööriyölle asetettujen tavoitteiden ja odotuksien ei voida katsoa käyneen toteen. EC-puhaltimien sähköenergiankulutus oli odotuksia korkeampi, eikä hiilidioksidisäätö sopinut testatun kohteen ilmanvaihtojärjestelmään. Insinööriyöstä saatiin kuitenkin arvokasta tietoa suunnittelutyöhön.

## Lähteet

- 1 Tekninen käsikirja, ilmankäsittelykoneet. Fläkt Woods Oy.
- 2 Puhallintekninen käsikirja. 2010. Fläkt Woods Oy.
- 3 Lyhyesti EC-tekniikasta. 2007. Verkkodokumentti. Systemair.  
<<http://www1.systemair.com/fi/Suomi/Systemairintuotteet/Ajankohtaista/EC/>>. Luettu 28.11.2011.
- 4 Taajuusmuuttaja. 2010. Verkkodokumentti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.  
<[http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical\\_engineering/articles/inverter/Sivut/Default.aspx](http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/articles/inverter/Sivut/Default.aspx)>. Luettu 25.11.2011.
- 5 Sainio, Erkki. 2009. Kone- ja energiatekniikka. Puhaltimet. Opetusmoniste. Metropolia 2009.
- 6 LVIS-käyttö- ja hoitosuunnitelma. 1990. KOy Malminkaari, Soidintie 2, Helsinki.
- 7 What is an EC Motor? 2011. Verkkodokumentti. EC Motors LTD. <<http://www.ec-motors.org.uk/ec-motors-explained.html>>. Luettu 30.11.2011.
- 8 Ilmastointikoneen SFP-luku ja sen laskenta. 2006. Verkkodokumentti. Recair Oy.  
<[http://www.recair.fi/pdf/sfp-luku\\_recair-netissa.pdf](http://www.recair.fi/pdf/sfp-luku_recair-netissa.pdf)>. Luettu 18.1.2012
- 9 Sivonen, Jani. 2012. Suunnittelupäällikkö, Rakennusautomaatio-osasto, Insinööri-toimisto Olof Granlund Oy, Helsinki. Sähköpostiviestintä 23.2.2012.
- 10 Sormunen, Piia. 2010. Talotekniikka ja energiatehokkuus. Verkkodokumentti.  
<[http://arkkitehtuuri.tkk.fi/oppituolit/ro/opintojaksot/Talotekniikka%20ja%20energia\\_TENTTI.pdf](http://arkkitehtuuri.tkk.fi/oppituolit/ro/opintojaksot/Talotekniikka%20ja%20energia_TENTTI.pdf)>. Luettu 23.2.2012.
- 11 Ventur Compact. 2009. Verkkodokumentti. Ventur Oy.  
<<http://www.ventur.fi/fi/products/product/273>>. Luettu 24.2.2012.

## Swegon-puhaltimien mitoitusajo



ProUnit  
2012-01-10

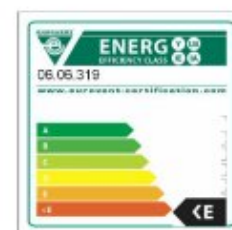
Versio: 19 / 2011.12.09  
Malminkaari 21 OG.pru

**Tekniset tiedot, yhteenveto**

Kohde

**Vaihtopuhallin**

		SD-D unit	
Koneen tunnus	GOLD SD		
Swegonin valmistama			
Konekoko, tuloilma	40		
Konekoko, poistoilma	35		
Tuloilmavirta	4.300	m <sup>3</sup> /s	
Kokonaispainehäviö			
Ulkoilmakanava		Pa	
Tuloilmakanava	550	Pa	
Poistoilmavirta	3.500	m <sup>3</sup> /s	
Kokonaispainehäviö			
Poistoilmakanava	450	Pa	
Jäteilmakanava		Pa	
Mitoitusulkolämpötila, kesä	25.0	°C	
Alin mitoitusulkolämpötila	-26.0	°C	
Tuloilman lämpötila, kesä	26.0	°C	
Tuloilman lämpötila, talvi	-25.0	°C	
Nimellinen puhallinsähköteho, SFPv (puhtaat suodattimet)	1.77	kW/(m <sup>3</sup> /s)	



Tietokonepohjaisella IQnomic ohjaus- ja säätöjärjestelmällä

Maalatur seinämät joissa 50 mm palonkestävä eriste

Tuloilma, sähköliitettä 3-vaihe, 5-johdin, 400 V-10/+15%, 50Hz, 16A

Poistoilma, sähköliitettä 3-vaihe, 5-johdin, 400 V-10/+15%, 50Hz, 10A

**Toimintaosat ilmansuunnassa**

	Nopeus m/s	Lämp. talvi °C	Lämp. kesä °C	Teho kW	Paine Pa
<b>Tuloilma</b>					
Kanavaliitännäpäätty, tuloilma					9
Suodatinluokka F7					144
Suorakäyttöinen GOLD Wing+ puh. 2.24		-26.0 / -25.0		(Sähkö) 5.01	721
Kanavaliitännäpäätty, tuloilma					18
<b>Poistoilma</b>					
Kanavaliitännäpäätty, tuloilma					6
Suodatinluokka F7					119
Suorakäyttöinen GOLD Wing+ puh. 1.82		22.0 / 22.8		(Sähkö) 3.25	587
Kanavaliitännäpäätty, tuloilma					12

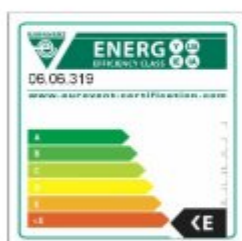
Äänentehotaso ISO 5136 (kanava) ja ISO 3741 (ympäristö) mukaan:

Osien äänenvaimennus on laskettu kanavan yhteyteen.

Taajuuskaista	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Kaikki	
Tulokanavaan		85	80	82	84	81	80	78	78	dB	87 dB(A)
Ulkoilmakanavaan		84	82	84	73	66	64	61	65	dB	78 dB(A)
Poistokanavaan		81	79	81	70	63	61	58	62	dB	75 dB(A)
Jäteilmakanavaan		82	77	79	81	78	77	75	75	dB	84 dB(A)
Ympäristöön sis. poistoilman		76	68	61	65	50	49	46	49	dB	64 dB(A)

## Tekninen määrittely

Kohde	Vaihtopuhallin	
Ilmakehän paine	101325	Pa
Ilman tiheys	1.200	kg/m <sup>3</sup>
Äänen tehotaso kanavaan mitattuna ISO 5136:n mukaisesti Osien äänenvaimennus on laskettu kanavan yhteyteen. Äänen tehotaso ympäristöön mitattuna ISO 3741:n mukaan Osat ovat ilman ilmavirtasuunnan mukaisessa järjestyksessä		
<b>SD-D unit</b>		
GOLD SD		
Swegonin valmistama		
Konekoko, tuloilma	40	
Konekoko, poistoilma	35	
Tuloilmavirta	4.300	m <sup>3</sup> /s
Kokonaispainehäviö		
Ulkoilmakanava		Pa
Tuloilmakanava	550	Pa
Poistoilmavirta	3.500	m <sup>3</sup> /s
Kokonaispainehäviö		
Poistoilmakanava	450	Pa
Jäteilmakanava		Pa
Mitoitusulkolämpötila, kesä	25.0	°C
Alin mitoitusulkolämpötila	-26.0	°C
Tuloilman lämpötila, kesä	26.0	°C
Tuloilman lämpötila, talvi	-25.0	°C
Nimellinen puhallinsähköteho, SFPv (puhtaat suodattimet)	1.77	kW/(m <sup>3</sup> /s)



Tietokonepohjaisella IQnomic ohjaus- ja säätöjärjestelmällä

Maalatut seinämät joissa 50 mm palonkestävä eriste

Tuloilma, sähköliitäntä 3-vaihe, 5-johdin, 400 V-10/+15%, 50Hz, 16A

Poistoilma, sähköliitäntä 3-vaihe, 5-johdin, 400 V-10/+15%, 50Hz, 10A



ProUnit  
2012-01-10

Versio: 19 / 2011.12.09  
Malminkaari 21 OG.pru

1	<b>Suodatin</b>													
		Suodatinluokka F7 3x(592x592x520-10), 3x(592x287x520-10)												
		Suosittelava mitoituspainehäviö										144	Pa	
		Alkupainehäviö										94	Pa	
		Loppupainehäviö										194	Pa	
1	<b>Puhallinosa</b>													
		Puhallin, mallia GOLD Wing+ Suorakäyttö kierroslukuohjatulla EC moottorilla Vakioliitântä, sisäinen Tärinäneristys teräsousilla												
		Tuloilmavirta										4.300	m <sup>3</sup> /s	
		Kok.painehäviö, kanava										550.0	Pa	
		Kokonaispaineenkorotus								(Puhdas suod.: 671 Pa)		721	Pa	
		Puhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu										1.0	°C	
		Kierrosnopeus	(Min 200,			Maks.1380				Puhdas suod. 1211 r/m)		1237	kierr./min.	
		Sähköteho moottorille/reille								(Puhdas suod.: 4.64 kW)		5.01	kW	
		Nimellisteho										6.50	kW	
		Puhaltimien/moottorien lukumäärä ilmavirrassa										1		
		Kokonaishyötysuhde										62.0	%	
		Äänen tehotaso												
		<b>Taajuuskaista</b>	<b>Hz</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1k</b>	<b>2k</b>	<b>4k</b>	<b>8k</b>	<b>Kaikki</b>		
		Tulokanavaan		85	80	82	84	81	80	78	78	dB	87	dB(A)
		Ulkoilmakanavaan		84	82	84	73	66	64	61	65	dB	78	dB(A)
		Ympäristöön		74	66	59	63	48	47	44	47	dB	62	dB(A)
		Ympäristöön sis. poistoilman		76	68	61	65	50	49	46	49	dB	64	dB(A)
1	<b>Kanavaliitântäpäätty, tuloilma</b>													
		Kokonaispainehäviö										18	Pa	
		<b>Poistoilma</b>												
1	<b>Kanavaliitântäpäätty, tuloilma</b>													
		Kokonaispainehäviö										6	Pa	
1	<b>Ilmankäsittelyjärjestelmä GOLD SD, GOLD35DSD</b>													
1	<b>Suodatin</b>													
		Suodatinluokka F7 3x(592x592x520-10), 3x(592x287x520-10)												
		Suosittelava mitoituspainehäviö										119	Pa	
		Alkupainehäviö										72	Pa	
		Loppupainehäviö										166	Pa	
1	<b>Puhallinosa</b>													
		Puhallin, mallia GOLD Wing+ Suorakäyttö kierroslukuohjatulla EC moottorilla Vakioliitântä, sisäinen Tärinäneristys teräsousilla												
		Poistoilmavirta										3.500	m <sup>3</sup> /s	
		Kok.painehäviö, kanava										450.0	Pa	
		Kokonaispaineenkorotus								(Puhdas suod.: 540 Pa)		587	Pa	
		Puhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu										0.8	°C	



## Moottorityyppien hyötysuhdevertailu



### Moottorityyppien vertailu

CentriflowPlus, koko 040.  
Testitilanne: Imu kammioista,  
puhallus kammioon

PM	PM-moottori
EC	EC-moottori
Integral	Danfoss IE2-moottori

