

Juho Pietiläinen

# Ilmanvaihtokoneiden suodattimien vaihtovälin optimoiminen sähkönkulutuksen perusteella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

4.4.2015

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Juho Pietiläinen Ilmanvaihtokoneiden suodattimien vaihtovälin optimoiminen sähkönkulutuksen perusteella.</p> <p>34 sivua 4.4.2015</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>insinööri (AMK)</p>
<p>Tutkinto-ohjelma</p>	<p>talotekniikka</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	<p>LVI, tuotantopainotteinen</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>toimitusjohtaja Lauri Jääskeläinen lehtori Hanna Sulamäki</p>
<p>Tämä insinöörityö tehtiin vakuutusyhtiö LähiTapiola Oy:lle. Tavoitteena oli tehdä kirjallisuusselvitys, jonka avulla pystytään optimoimaan ilmanvaihtokoneiden suodattimien vaihtoväliä suodatinkustannusten sekä koneiden puhaltimien sähkönkulutuksen perusteella. Tutkittavana kohteena oli Espoon Tapiolan kaupunginosassa sijaitseva Sito-talo, joka oli 2014 Suomen suurin puutalo.</p> <p>LähiTapiola Oy oli pyrkinyt selvittämään sille kuuluvissa kiinteistöissä, kuten Sito-talossa, optimaalista vaihtoväliä suodattimille energiankulutuksen ja sisäilman laadun perusteella. Tästä opinnäytetyöstä oli tarkoitus tulla elinkaarilaskentaohje suodattimien vaihtovälille, jolla pystytään selvittämään ajankohtaa, milloin likaantuva suodatin on edullisempaa vaihtaa uuteen energiankulutuksen (sähkönkulutuksen) perusteella. Tarkkaa tutkimusanalyysia ei pystytty tekemään kiinteistöissä jo tehtyjen mittausten eriaikaisuuden tähden, mutta mitaustuloksia onnistuttiin hyödyntämään tässä kirjallisuusselvityksessä.</p> <p>Mittaustuloksia tarkastelemalla selvisi ilmanvaihtokoneiden suodattimien likaantumisen vaikutuksia ilmanvaihtojärjestelmässä. Suodatintoimittajalta sai käsityksen siitä miten laskea ilmansuodatuksesta aiheutuvat energiankulutuskustannukset mitaustulosten perusteella ja samoin miten määritellä sekä laskea suodatinkustannukset suodatintietojen perusteella.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>ilmansuodatus, suodatinkustannukset, sähkönkulutus</p>

Author Title	Juho Pietiläinen The ventilation units filters change interval optimization based on the consumption of electricity
Number of Pages Date	34 pages 4 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Service Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructors	Lauri Jääskeläinen, Project Manager Hanna Sulamäki, Senior Lecturer
<p>The aim of this final year project was to create an instruction on how to count lifecycle costs for the filters of a ventilation unit. Further purposes were to investigate the change in electricity consumption of the ventilation unit fan during the time its filters get dirty and to find out the acquisition costs of the filters. With this information, a useful formula for calculating the most cost-effective timeline to change filters could be determined.</p> <p>A series of measurements were taken using the building automation system in an office building in Espoo during 2012 and 2014 to find out the changes that occur in ventilation units when their filters get dirty. The most important measurements were the increase of the air pressure drop in the filters and in the electricity consumption of the fan.</p> <p>The filter supplier provided the necessary cost data for the filters. The supplier also provided a guide on how to form the calculation formula that was mentioned previously.</p> <p>Because the measurements were not taken simultaneously for this project, it is not possible to estimate the optimal period to change filters in a reliable way. In order to take advantage of the formula, accurate measurement results are necessary. More research into this matter will make it possible to save energy and money.</p>	
Keywords	air filtration, filter costs, electricity consumption

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilmansuodatus	2
2.1	Ilmanvaihto ja ilmansuodatus IV-koneissa	2
2.2	Suodatinmateriaalit ja -tyypit	6
2.3	Ilmansuodatuksen vaatimukset	7
2.4	Suodatusluokat	7
2.5	Suodattimen mitoittaminen	9
2.5.1	Suodattimen pinta-alan laskeminen	9
2.5.2	Esimerkkilaskenta suodattimen pinta-alalle	9
2.6	Suodatintoimittajan valinta	10
2.7	Suodatinhuollot	11
2.8	Haltonin F8- ja M5-luokan suodattimet	11
2.9	Suodatinkustannukset	13
2.10	Suodattimen likaantumisen vaikutukset energiankulutukseen	14
3	Mittaukset ja suodatinkustannuslaskelmat	15
3.1	Tutkittava kohde	15
3.2	Sito-talon LVI-tekniikka	16
3.3	Tutkittavat Ilmanvaihtokoneet ja suodattimet	16
3.4	IV-koneiden suodatinkustannukset	18
3.5	Mittaukset Sito-talossa	19
3.6	963-trendiseuranta	19
3.7	Azuwatt-seuranta	20
3.8	Suodattimien likaantumisen vaikutus painehäviöön	21
3.9	Painehäviön muutoksen vaikutus puhaltimen ilmamäärään ja taajuuteen	22
3.9.1	Ilmamäärä	22
3.9.2	Taajuuden muutos	23
3.10	Puhaltimen sähkönkulutuksen kasvu suodattimen likaantuessa	23
3.11	Puhaltimen sähkönkulutuksen kasvu ja kustannukset	25
4	Vaihtovälin optimointi	27

5 Yhteenveto

33

Lähteet

34

## Lyhenteet

alv	arvonlisävero
IV	ilmanvaihto
LCC	life cycle cost (suom. = elinkaarikustannus)
LVI	lämpö, vesi ja ilma
TK	tuloilmakone
PK	poistoilmakone

## 1 Johdanto

Ilmanvaihtokoneiden suodattimien tarkoitus on pitää sisäilman laatu terveellisenä ja ilmanvaihtojärjestelmä puhtana liasta. Suodatin poistaa ilmasta epäpuhtaudet, kuten siite- ja katupölyn sekä pienhiukkaset, ja näin estää hengitysteiden ärsyntyminen. Lisäksi ilmansuodatuksen on tarkoitus pitää ilmanvaihtokanavisto ja ilmanvaihtolaitteet puhtaina, jotta ilmanvaihto toimii suunnitellusti ja se kuluttaa mahdollisimman vähän energiaa. Suodattimet on vaihdettava säännöllisesti niiden likaantumisen tähden, jotta ilmansuodatus toimii asianmukaisesti. Tarkkaa optimaalista vaihtovälin pituutta ei ole olemassa, koska likaantumisenopeus vaihtelee, mutta usein suodatintoimittajan suositus on vaihtaa suodattimet ainakin kahdesti vuodessa.

IV-koneiden suodattimen likaantuessa ilma ei puhdistu yhtä tehokkaasti, ja suodatin aiheuttaa enemmän painehäviötä ilmavirtaukselle. Tällöin ilmanvaihtokoneiston automaatio ohjaa puhallinta kasvattamaan sen painetta pitääkseen ilmamäärän suunnitellussa. Puhallinpaineen kasvaessa myös puhaltimien sähköteho kasvaa ja näin myös sähkönkulutus, jolloin on perusteltua tarkastella likaantuneen suodattimen vaihtovälin pituutta puhtaaseen suodattimeen sähkönkulutuksen kasvun perusteella.

Tämän insinööriyön tavoite on tehdä kirjallisuusselvitys ilmanvaihtokoneiden suodattimien vaihtovälin optimoimiseen sähkönkulutuksen perusteella. Malli kohteena on Espoon Tapiolassa sijaitseva LähiTapiolan rakennus (Sito-talo, kuva 1), jonka rakennusautomaation ja iv-koneiden suodattimien tietoja käytetään hyväksi. Kiinteistössä on suoritettu vuosien 2012–14 aikana iv-koneiden puhaltimien sähkönkulutus-, taajuus ja ilmavirtamittauksia sekä suodatinpainehäviömittauksia. Mittauksien eriaikaisuuden johdosta tässä opinnäytetyössä ei pystytä tekemään analyysiä eli määrittämään edullisinta vaihtoväliä mittausten perusteella. Tarkoitus on tehdä elinkaarilaskentaohje, jolla voidaan optimoida ajankohtaa, jolloin uuden suodattimen hankinta ja asennus on kustannustehokkainta sähkönkulutuksen ja suodatinkustannuksien perusteella.



Kuva 1. Sito-talo Espoon Tapiolassa.

## 2 Ilmansuodatus

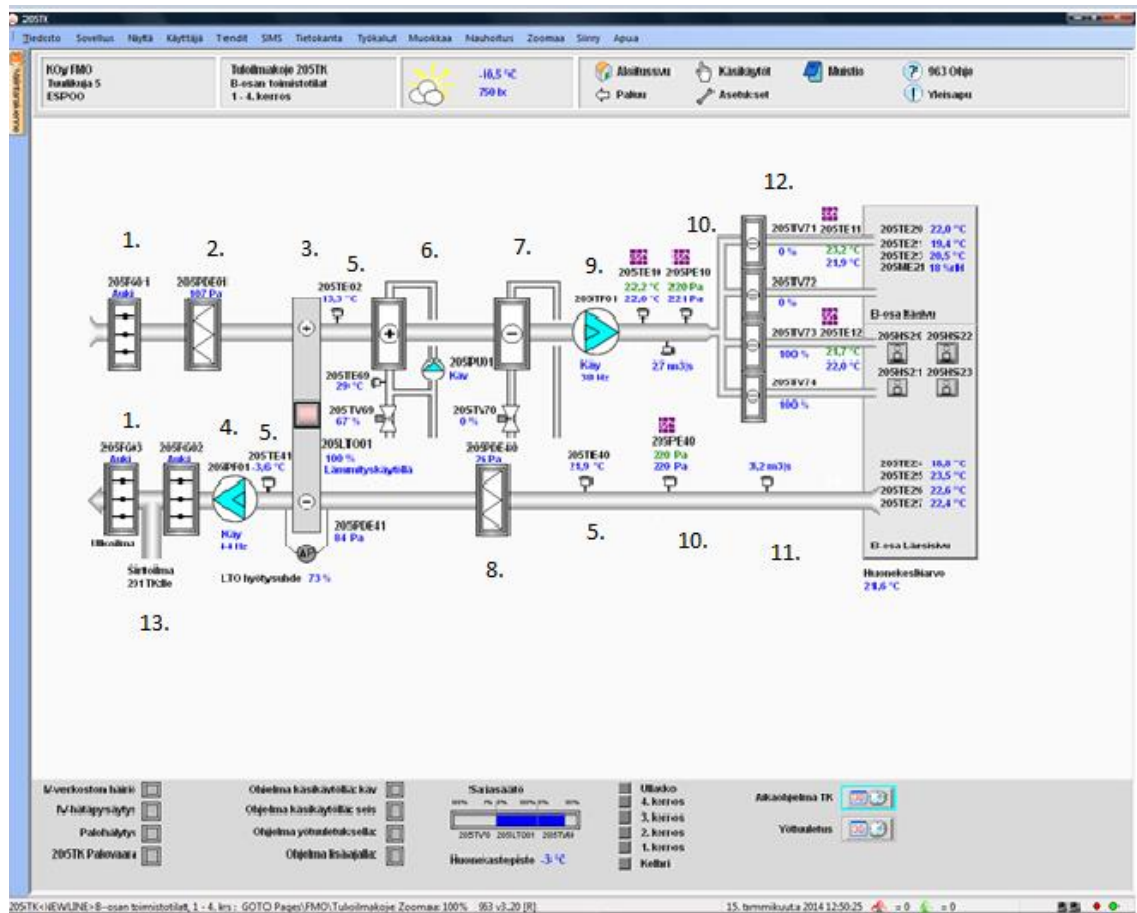
### 2.1 Ilmanvaihto ja ilmansuodatus IV-koneissa

Ilmanvaihtokoneet sekä puhaltavat raitista ulkoilmaa rakennukseen että poistavat sen imemällä, jotta sisäilma vaihtuu ja sen laatu pysyy näin ollen hyvänä. Ilmanvaihtokoneissa ilmasta suodatetaan epäpuhtauksia ja rakennukseen tulevaa ilmaa voidaan lämmittää ja jäähdyttää tarvittaessa.

Ilmanvaihtokoneessa rakennukseen tulevan ilman suodatin sijaitsee raitisilmasäleikön jälkeen ennen lämmöntalteenottolaitetta (LTO). LTO on ilmanvaihtokoneessa oleva lämmönsiirtolaite, joka energian säästämiseksi siirtää rakennuksesta poistettavasta ilmasta lämpöä tulokanavaan. Tämän vuoksi poistettava ilma on myös suodatettava, jotta lämmöntalteenottolaite ei likaannu. Kuvassa 2 sekä taulukossa 1 on esitetty ilmanvaihtokoneen osat ja laitteet, jossa ylempänä tuloilma- ja alhaalla poistoilmakone. Kuvassa 3 on Sito-talon ilmanvaihtokone numero 205.



Ilmansuodatus voidaan toteuttaa myös 2-portaisella suodatuksella eli asettamalla kaksi suodatinkehikkoa tarvittaessa peräkkäin. Koneessa 205 on sekä tulo- että poistokoneessa yksi suodatinkehikko, jolloin on kyseessä yksiportainen suodatus.



Kuva 2. Sito-talon ilmanvaihtokoneen numero 205 toimintakaavio.

Taulukko 1. Ilmanvaihtokoneiston (kone 205, kuva 2 ja 3) laitteet.

1.	Ulkosäleikkö	Säleikkö, jonka kautta ilma imetään sisään koneeseen.
2.	Tuloilmasuodatin	Puhdistaa rakennukseen ulkoa otettavaa ilmaa.
3.	Lämmöntalteenotto	Laite, joka siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan.
4.	Poistoilmanpuhallin	Puhallin, joka imee ja puhaltaa rakennuksesta poistettavan ilman ulos.
5.	Lämpötilamittari	Kertoo kanavistossa liikkuvan ilmanlämpötilan celsius-asteina.
6.	Lämmityspatteri	Vesikiertoinen patteri, joka lämmittää tuloilman.
7.	Jäähdytyslaite	Laite, jossa kiertävä kylmäaine tarvittaessa jäähdyttää tuloilmaa.
8.	Poistoilmasuodatin	Puhdistaa poistoilmaa, jota lämmöntalteenottolaite ei tukkeudu.
9.	Tuloilmapuhallin	Puhaltaa ulkoilman rakennukseen ilmanvaihtokanaviston kautta.
10.	Painemittari	Kertoo kanavistossa vallitsevan ilmanpaineen pascalleina (Pa).
11.	Ilmavirta mittari	Kertoo koneessa liikkuvan ilmamäärän kuutiometreinä/sekunnissa.
12.	Tuloilmakanavisto	Rakennukseen haarautuvat kanavistot säätöventtiileineen.
13.	Siirtoilma	Rakennuksesta poistettava ilma voidaan siirtää toiseen tilaan, jossa ei ole tiukat sisäilman laatuvaatimukset esim. parkkihalli.

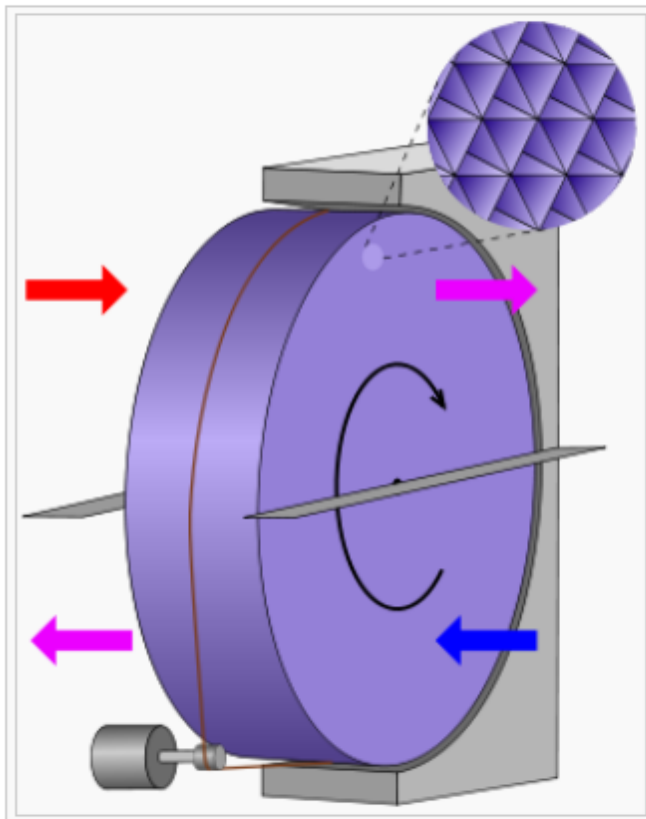


Kuva 3. Sito-talon ilmanvaihtokone numero 205.

## Pyörivä lämmöntalteenottolaite

Lämmöntalteenottolaite on ilmanvaihtokoneen lämmönsiirrin, jolla siirretään poistoilmakoneesta tuloilmakoneeseen lämpöä ja kosteutta. Kuvan 3 IV-koneeseen sisältyy pyörivälämmönsiirrin, joka on kennomainen kiekko, jonka kennostoon sitoutuu lämpöä ja siirtimen pyöriessä lämpö siirtyy poistoilmasta tuloilmaan. (1)

Kuvassa 4 on esitetty pyörivä lämmönsiirrin ilmavirtanuolineen, jossa ilmavirrat alhaalla: sininen ulkoilma ja violetti tuloilma. Samassa kuvassa ylhäällä: punainen nuoli poistoilma ja violetti jäteilma eli rakennuksesta pois puhallettava ilma, josta lämpöenergia on hyödynnetty.



Kuva 4. Pyörivä lämmönsiirrin (1).

## 2.2 Suodatinmateriaalit ja -tyypit

Suodattimen materiaali on joko lasikuidusta tai synteettistä (2, s. 2.). Suodattimien kehykset ovat joko metallia tai muovia (kuva 5). Pussisuodatin metallikehysineen. Suodattimet ovat jaoteltu niiden toimintakyvyn mukaan suodatusluokkiin (luvussa 2.4 ja taulukossa 2).

Hyvin yleisesti käytetään joko synteettistä tai lasikuidusta valmistettua pussisuodatinta. Karkeat synteettiset pussisuodattimet (suodatinluokat G1–G4) poistavat ilmasta hyvin suuria hiukkasia, kuten hiekka- ja siitepölyä. Lasikuidusta valmistetut hienosuodattimet (suodatinluokat M5-6/F7-9) poistavat bakteereja ja pienhiukkasia sekä lisäksi pystyvät tehokkaasti suodattamaan liikenteen aiheuttamia hiukkasia. Edellä mainitut suodattintyypit sopivat hyvin esimerkiksi liike- ja koulurakennusten ilmanvaihtokoneisiin. Teollisuushalleissa sekä sairaalarakennuksissa vaaditaan vielä tehokkaampi ilmansuodatus. HEPA (*High Efficiency Particulate Air filter*) –suodattimilla onnistutaan poistamaan miltei 100 % ilman epäpuhtauksista, joten näitä käytetään sairaaloissa ja myös teollisuudessa. On olemassa lisäksi kemiallisia kennosuodattimia, jotka soveltuvat kaasumaisien yhdisteiden poistamiseen. (2, s. 2.)



Kuva 5. Pussisuodatin. (Halton, Sami Kallio).

### 2.3 Ilmansuodatuksen vaatimukset

Suomessa sisäilman laatuvaatimukset ovat tiukat, joten rakennusten tuloilma on aina suodatettava. Rakennuksen ilman suodatuksen tulee täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 (2012) vaatimukset. Suodattimen laatuvaatimus riippuu siitä, millaista ulkoilmaa sen täytyy suodattaa ja millaiset ovat sisäilman laatuvaatimukset.(3)

### 2.4 Suodatusluokat

Suodatinvaatimukset määräytyvät Suomessa eurooppalaisen EN779:2012-standardin mukaan (taulukko 2). Taulukossa on esitetty eri suodattimien ominaisuuksia. Suodatinta valittaessa tulee siis olla tiedossa ilmansuodatusvaatimukset kohteeseen, jonne suodatinta ollaan valitsemassa, jolloin kyseistä taulukkoa tarkastelemalla voidaan valita määräykset täyttävä suodatin.

Samassa taulukossa on jaoteltu suodatinryhmät eli karkea-, keski- ja hienosuodattimet. Suodatinluokat kussakin ryhmässä määräytyvät niin, että mitä isompi numero kirjaimen jälkeen, sitä tehokkaammin sen tulee ilmaa suodattaa. Loppupainehäviö Pa on painehäviö jonka suodatin aiheuttaa ilmavirtauksella sen likaantuessa niin paljon, että suodatin on EN779:2012-standardin mukaan vaihdettava uuteen. (2, s.16.)

Suodattimen erotuskyvyllä (Am) ja erotusasteella (Em) tarkoitetaan prosenttiosuutta, joka suodattimen tulee keskimäärin puhdistaa (erottaa) ilmasta hiukkasia likaantumisen aikana. Synteettisen pölyn erotuskyky (Am) on prosenttiosuus punnitun pölyn massasta, jonka suodatin keskimäärin erottaa likaa. Hienosuodattimien keskimääräinen erotusaste (Em) on prosenttiosuus, jonka suodattimen tulee erottaa 0,4 mikrometrin ( $\mu\text{m}$ ) kokoisten hiukkasten määrästä likaantumisen aikana. Hienosuodattimille on EN779:2012-standardissa myös minimierotusaste eli määrä (%), jonka suodattimen on aina onnistuttava vähintään erottamaan ilmasta 0,4  $\mu\text{m}$ :n kokoisia hiukkasia likaantumisen aikana. (2, s. 16.)

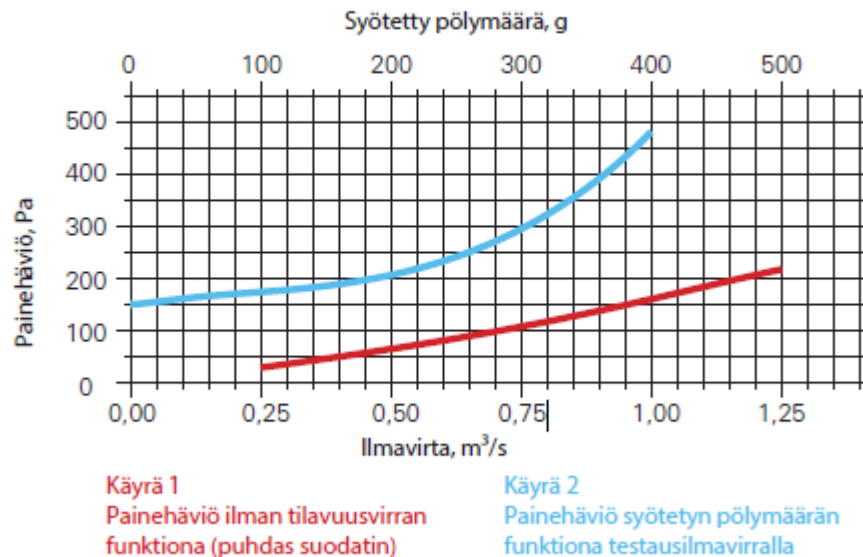
Kuva 6 kertoo F8-luokan suodattimen aiheuttaman painehäviön ilmavirran ja syötetyn pölymäärän mukaan. Käyriä käytetään apuna, kun täytyy mitoittaa oikeantyyppistä suodatinta ilmanvaihtokoneeseen pyrkien saamaan mahdollisimman hyvä erotusaste lialle ja pieni painehäviö ilmavirtaukselle. Kuvan 6 käyrässä 1. näkyvä punainen viiva

osoittaa, että esim. ilmavirran ollessa  $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$  puhdassuodatin aiheuttaa 100 pascalin painehäviön. Käyrässä 2 Luetaan sinistä viivaa, jolloin esim. 300 g syötettyä pölyä aiheuttaa 300 Pa:n painehäviön testausilmavirtaukselle.

Taulukko 2. Standardi EN 779:2012:n mukaiset suodatinvaatimukset (4).

Standardi EN 779:2012					
Ryhmä	Luokka	Loppupainehäviö (testaus) Pa	Synteettisenpölyn keskim. Erotuskyky (Am) %	Keskimääräinen erotusaste (Em) $0,4\mu\text{m}$ :n hiukkasille %	Minimi erotusaste vaatimus $0,4\mu\text{m}$ :n hiukkasille %
Karkeasuodattimet	G1	250	$50 \leq Am < 65$		-
	G2	250	$65 \leq Am < 80$		-
	G3	250	$80 \leq Am < 90$		-
	G4	250	$90 \leq Am$		-
Keskisuodattimet	M5	450	-	$40 \leq Em < 60$	-
	M6	450	-	$60 \leq Em < 80$	-
Hienosuodattimet	F7	450	-	$80 \leq Em < 90$	35
	F8	450	-	$90 \leq Em < 95$	55
	F9	450	-	$95 \leq$	70

### Ilmavirta-painehäviökäyrä



Kuva 6. Painehäviö-ilmavirta/pölymääräkäyrä, F8-suodatinpussi (2, s. 29).

## 2.5 Suodattimen mitoittaminen

Ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta on välttämätöntä, että suodattimet mitoite-  
taan oikein. Mitoitus vaikuttaa järjestelmän käyttöikään ja IV-koneen energiankulutuk-  
seen sekä suodatuksen toimintaan. (2, s. 8.)

Suodattimen pinta-alan mitoituksessa tulee ottaa huomioon ilmannoisuus suodattimen  
läpi sekä se miten iso osa ilmasta tulee suodattua. Mitä suurempi ilmannoisuus, sitä  
enemmän tarvitaan pinta-alaa ja mitä suurempi on suodatinerotusaste, sitä enemmän  
se aiheuttaa painehäviötä ilmavirtaukselle, jolloin molemmissa edellä mainituissa tapa-  
uksissa oikein mitoitettu pinta-ala on painehäviön vähentämiseksi tarpeen. (2, s. 8.)

### 2.5.1 Suodattimen pinta-alan laskeminen

Oikea pinta-ala suodattimelle on laskettavissa IV-koneen ilmamäärän sekä suodatus-  
luokan perusteella seuraavalla kaavalla (kaava, 2, s. 8–9):

Tarvittava pinta-ala = IV-koneen ilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) / Ilman materiaalinopeus ( $\text{m}/\text{s}$ )

Ilman materiaalinopeus ( $\text{m}/\text{s}$ ) pyritään mitoittamaan F7–F9-luokan suodattimille välille  
0,1–0,15  $\text{m}/\text{s}$ . (Halton, Sami Kallio).

### 2.5.2 Esimerkilaskenta suodattimen pinta-alalle

Esim. 1) Tuloilmakoneeseen, jonka ilmavirta on  $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , asennetaan F8-luokan suo-  
datin. Koneeseen mahtuu 8 kpl  $592 \times 592 \text{ mm}$ :n (pituus ja korkeus) kokoista suodatin-  
kehikkoa. Valitaan ilmannoisuudeksi  $0,11 \text{ m}/\text{s}$ .

Tarvittava pinta-ala:  $7,5 \text{ m}^3/\text{s} / 0,11 \text{ m}/\text{s} \approx 68 \text{ m}^2$

Koneeseen mahtuu 8 suodatinta, joten kussakin on oltava pinta-alaa  $68 \text{ m}^2/8 = \underline{8,5 \text{ m}^2}$ .

Esim. 2) Tarkastellaan, onko valittu suodatin sopiva IV-koneeseen sen ilmannoisuuden  
perusteella.

Ilmantilavuusvirta kullekin suodattimelle on laskettavissa kaavalla Tilavuusvirta = ilmannopeus x pinta-ala

$$0,11 \text{ m/s} \times 8,5 \text{ m}^2 \approx 0,94 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kaikkien suodatinpussien yhteispinta-ala saadaan lasketuksi kertomalla suodatinpussin keskimääräinen korkeus x keskimääräinen syvyys x pussien lukumäärä x 2 (kahdella kerrotaan, jotta pussin molemmat pinnat tulevat lasketuksi). F8-luokan lasikuitupussisuodattimella pinta-alaksi saadaan:

$$0,592 \text{ m} \times 0,635 \text{ m} \times 10 \times 2 \approx 7,52 \text{ m}^2$$

Ilmannopeus suodattimen läpi näillä tiedoilla:

$$0,94 \text{ m}^3/\text{s} / 7,52 \text{ m}^2 = \underline{0,125 \text{ m/s}}$$

Ilmannopeus on tavoitetulla välillä 0,1–0,15 m/s.

## 2.6 Suodatintoimittajan valinta

Suodatintoimittajaa valittaessa tulee tilaajalla olla tiedossa suodattimen valintaan vaikuttavat tiedot, joilla suodatintoimittaja valitsee tarvittavat suodattimet (2, s. 15):

- Millaisten tilojen ilmaa suodatin suodattaa?
- Minkälaista ulkoilmaa suodatetaan?
- Mitkä ovat suodatinluokkavaatimukset?
- Kaikki IV-koneen tekniset tiedot.

Tilaajan tulee varmistaa suodattimentoimittajan laatu. Hyvän laadun kriteerit ovat, että toimittajan ympäristö- ym. sertifikaatit kunnossa, laaja valikoima ja tehokas toimituskyky, tilaajalle optimaalinen laskutus, työkalut (mitoitushjelmat) suodattimen valintaan ja kustannuksien laskemiseen sekä tuotetuki. (2, s. 15.)



## 2.7 Suodatinhuollot

Suodatinhuolloilla tarkoitetaan suodattimen vaihtamista tai sen imuroimista liasta. Huoltotöissä tulee noudattaa suodattimen toimittajan ohjeita suodattimien oikeantyyppisessä asennuksessa, jotta suodatin toimii käyttötarkoituksen mukaisesti ja tarkistaa, että suodatin on kunnossa. On myös muistettava työturvallisuusohjeet, jolloin mm. IV-kone on turvallisinta sulkea huollon ajaksi.

## 2.8 Haltonin F8- ja M5-luokan suodattimet

Koska tässä insinööriyössä tarkastellaan otsikossa mainittujen suodattimien likaantumisen seurauksia, esitän tarkemmin ko. suodattimien tietoja. Kaikki seuraavat tiedot tässä luvussa perustuvat Haltonin ilmansuodatuksen tuotekirjaan (2, s. 25 ja 29.). Kuvassa 7 on esitetty Haltonin ilmanvaihtosuodattimen tuotekuvaus eli malli, materiaali ja mitat.

### **Yleiset ominaisuudet**

F8-luokan hienosuodattimet poistavat huomattavan määrän liikenteen ja energiantuotannon aiheuttamista päästöistä. Ne erottavat tehokkaasti mm. tupakansavua, bakteereja ja hiukkasia, jotka aiheuttavat tummumista ja lian kerääntymistä.

M5-luokan suodattimet poistavat osittain liikenteen ja energiantuotannon aiheuttamia ilman epäpuhtauksia. Ne myös erottavat hieno- ja siitepölyä sekä jossain määrin savuhiukkasia ja bakteereja.

### **Tyypilliset käyttökohteet**

Kuten muutkin hienosuodattimet, F8-suodatin on suunniteltu ilmastointijärjestelmien tulo- ja poistoilman puhdistukseen erilaisissa kohteissa, kuten toimistoissa, julkisissa rakennuksissa ja teollisissa tiloissa.

Samoin M5-luokan suodatin on suunniteltu ilmastointijärjestelmien tulo- ja

poistoilman puhdistukseen erilaisissa kohteissa, kuten toimistoissa, julkisissa rakennuksissa ja teollisissa tiloissa. M5-luokan suodattimia käytetään usein ilmankäsittelykoneiden tuloilman esisuodattimina tai poistoilman suodattimina.

### **Materiaalit**

F8-hienosuodattimen ja M5-suodattimen suodatinmateriaali on valmistettu lasimikrokuidusta. Vahva ja jäykkä suodatinmateriaali on palamatonta.

Molemmissa suodattimissa materiaalin vahvan rakenteen ansiosta suodatinta on helppo käsitellä ja se säilyttää muotonsa hyvin. Lasimikrokuiduista valmistetut pussisuodattimet perustuvat mekaaniseen syväsuodatukseen, eikä materiaalin pinta siten tukkeudu, vaan suodatin täyttyy koko syvyydeltään. Näin suodatin säilyttää määritellyn toimintatasonsa koko elinkaarensa ajan jopa vaikeissa olosuhteissa.

### **Toimintaolosuhteet**

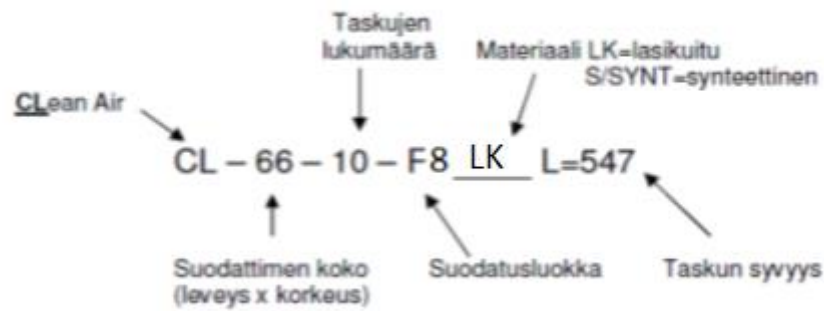
F8-suodattimen maksimi käyttölämpötila on 93 °C ja M5:n 95 °C. Suhteellista kosteutta suodattimet kestävätkin 100 %:iin eli kastepisteeseen saakka.

### **Rakenne**

Suodattimien sisä- ja ulkokehykset on valmistettu galvanoidusta teräksestä tai poltettavaksi sopivasta muovista. Tiiviiden varmistamiseksi suodatintaskut on liimattu ulkokehykseen. Suodatintaskujen ompeleet varmistavat taskun oikean avautumisen. Näin varmistetaan oikea toiminnallisuus, kuten myös korkea pölynvarauskyky. Ommelten tiiviys on varmistettu kuumaliimalla.

### **Koot**

Halton tarjoaa laajan valikoiman vakiokokoisia suodattimia. Tilauksesta voidaan valmistaa suodattimia myös erikoismittaisina.



Kuva 7. Suodattimen tuotekuvauksen määritelmä (Lähde: Sami Kallio, Halton).

## 2.9 Suodatinkustannukset

Suodatinkustannuksiin sisältyvät suodattimien hankinta, asennus, huolto sekä hävittäminen tai kierrätys. Seuraavassa esitetty Halton Clean air Oy:n suodattimien hintoja (alv 0 %) suodatintietoineen, joita tutkittavan kohteen (Sito-talo) ilmanvaihtokoneissa käytetään:

CL-66-10-F8 LK L = 635:	45 €
CL-63-10-F8 LK L = 635:	31 €
CL-36-5-F8 LK L = 635:	27 €
CL-66-6-M5 LK L = 635:	29,50 €
CL-63-6-M5 LK L = 635:	22,50 €

Suodatinhuolto sisältää yleensä uuden suodattimen vaihtamisen koneeseen sekä mahdollisesti vanhan hävittämisen tai kierrätyksen. Taulukossa 3 on esitetty talotekniikan alan huoltoyhtiön hinnat ilmanvaihtokoneiden huollolle (alv 0 %), johon sisältyvät kaikki muut toimenpiteet kuin hävitys/kierrätys. Kyseessä olevan yrityksen huoltohinnat määräytyvät tuloilmakoneen ilmamäärän mukaan.

Taulukko 3. Ilmanvaihtokojien huoltohinnat

ILMANVAIHTOKOJEIDEN HUOLLOT		
Tuloilmakone ilmamäärä – 2,8 m <sup>3</sup> /s		40 €/kpl
Tuloilmakone ilmamäärä 2,8 m <sup>3</sup> /s – 5,6 m <sup>3</sup> /s		80 €/kpl
Tuloilmakone ilmamäärä > 5,6 m <sup>3</sup> /s		120 €/kpl

### Suodattimien hävityskustannukset

Suodattimen hävittämisestä ja kierrättäminen tarkoittavat, että suodatin kehikkoineen viedään kaatopaikalle ja metallinen kehikko kierrätykseen. Tämä kannattaa jättää huoltoyhtiölle hoidettavaksi, jolloin kerralla haetaan lavallinen käytettyjä suodattimia kohteesta ja viedään ne kaatopaikalle ja/tai kierrätykseen. Tästä saatu hinta-arvio Lassila & Tikanojalta on noin 2 €/suodatin (sis. alv 24 %) edellyttäen, että kyseessä on kokonainen lava hävitettäviä suodattimia. Muutoin hinta on kalliimpi.

### 2.10 Suodattimen likaantumisen vaikutukset energiankulutukseen

Suodattimen likaantuessa sen kyky puhdistaa ilmaa heikkenee, ja lian päästessä suodattimen ohi ilmanvaihtokanavistojen pinnat ja päätelaitteet likaantuvat, jolloin kaikki edellä mainitut tapaukset aiheuttavat lisää painehäviötä ilmavirtaukselle. Jotta estetäisiin ilmavirtauksen pieneneminen, IV-koneet on varustettu rakennusautomaatiolla, joka ohjaa puhallinta lisäämään kierroksia koneistoon (ilmavirtauksen paine kasvaa tällöin myös), jotta ilmamäärä pysyy ennallaan. Tämän seurauksena puhaltimen sähköteho ja sähkönkulutus kasvavat. Lisäksi suodattimen erotuskyvyn heiketessä sen ohi päässyt lika saattaa tukkia LTO-laitteen, jolloin lämmöntalteenotto heikkenee, ja näin joudutaan käyttämään enemmän energiaa tuloilman lämmittämiseen.

### Rakennusautomaatio ja taajuusmuuttaja

Ilmanvaihtokoneita, kuten monia muitakin LVI-laitteita ohjataan nykyään automaatiolla. Rakennusautomaatiolla voidaan kytkeä esim. IV-koneita toimimaan haluttuna kellonaikana tai huoneistossa olevan ihmismäärän mukaan. Edellisessä luvussa kerrottiin suodattimen likaantumisen vaikutuksista ja siitä, miten se pienentää ilmavirtaa. Tässä tapauksessa puhaltimen tuottaman ilmavirranohjaus tapahtuu taajuusmuuttajalla.

Taajuusmuuttaja on laite, joka on kytketty ilmanvaihtokoneeseen ohjaamaan sen puhaltimen tehoa taajuuden mukaan. Tällöin puhallin toimii tarpeen mukaan, joka on energiankulutuksen kannalta hyödyllistä. (5)

Itse taajuus (yksikkö hertsi, Hz) on ilmiön tiettyssä ajassa toistuva toistojen ja värähdysten määrä. Ilmavirran pienentyessä määrättyssä ajassa taajuusmittarin lukema muuttuu eli tässä tapauksessa kasvaa, jolloin automatiikka ohjaa ilmanvaihtokoneen puhallinta lisäämään tehoa. (6)

### **3 Mittaukset ja suodatinkustannuslaskelmat**

Selvitettäessä suodattimen likaantumisen aiheuttavaa iv-puhaltimien energiakustannuksen kasvua kannattaa tutkia puhaltimen sähkönkulutusta, suodattimien aiheuttamaa painehäviön muutosta, ilmavirtauksen määrä sekä taajuuden muutosta sinä aikana, kun suodatin likaantuu. Näillä mittaustiedoilla sekä suodattimien hankintahinnoilla pystytään saamaan selville kokonais-suodatinkustannukset ja optimoimaan ajankohtaa, jolloin suodatin on edullisempaa vaihtaa uuteen. Edellä mainittujen mittaustietojen keruu on mahdollista rakennusautomaation valvontaohjelmilla, jotka voidaan asentaa mittaamaan mainittuja tietoja.

Koska tämä insinööritö tehdään vakuutusyhtiö LähiTapiola Oy:lle, joka on tutkinut ko. asiaa Sito-talon kiinteistössä, käytetään esimerkkinä LähiTapiolan käyttämän rakennusautomaation mittaustuloksia. Suodatinkustannukset Sito-talon iv-koneille lasketaan hyödyntämällä luvun 2.9 hinta-arvioita.

#### **3.1 Tutkittava kohde**

Tutkittava kohde Sito-talo (kuva 1) sijaitsee Espoon Tapiolan kaupunginosassa. Kiinteistön liiketilat kuuluvat infra-, liikenne- ja ympäristösuunnittelu yritys Sito Oy:lle. Rakennus on Suomen suurin puurakennus. Rakennuksen ympäristössä on vilkasta liikennettä ja paljon rakennustoimintaa, joten IV-koneiden tehokas ilmansuodatus on tarpeen. Kuvassa 8 on näkymä ilmanvaihtokonehuoneen ikkunasta.



Kuva 8. Näkymä Sito-talon IV-konehuoneen ikkunasta.

### 3.2 Sito-talon LVI-tekniikka

Sito-talon LVI-tekniikka sisältää kaukolämmöllä toimivan lämmityksen, koneellisen ilmanvaihdon sekä jäähdytyksen. Kohteen ilmanvaihto on toteutettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla ja lisäksi erillisillä kohdepoistoilla. Tuloilma lämmitetään vesikiertoisilla lämmityspattereilla (koneita yhteensä 6 kpl), joissa kaikissa on pyörivä lämmönsiirrin. Lisäksi kaikissa IV-koneissa on jäähdytys.

### 3.3 Tutkittavat Ilmanvaihtokoneet ja suodattimet

Insinööriyössä tutkittavaksi ilmanvaihtokoneiksi on valittu tulo- ja poistoilmakoneet 204, 205 ja 206. Kaikki koneet ovat Koja Oy:n Futura-ilmankäsittelykoneita. Koneissa on pyörivä lämmönsiirrin ja suodattimet ovat Haltonin F8 tuloilmalle ja M5 poistoilmalle. Koneet sijaitsevat kiinteistön ylimmässä kerroksessa.

Seuraavassa luetelmissa on esitetty kunkin tutkittavan koneen mitoitusilmamäärät ja suodatinmäärät ja niiden mallitiedot. Mitoitusilmamäärä on määrä, jonka kone on mitoitettu puhaltavan ja imevän rakennuksesta.

**Kone 204**

Tulo-/poistoilmavirrat 5 / 4,8 m<sup>3</sup>/s

Tuloilmakoneen suodattimet:

6 X CL-66-10-F8 LK L = 635

Poistoilmakoneen suodattimet:

6 X CL-66-6-M5 LK L = 635

**Kone 205**

Tulo-/poistoilmavirrat 3,2 / 2,8 m<sup>3</sup>/s

Tuloilmakoneen suodattimet:

2 X CL-66-10-F8 LK L = 635

2 X CL-63-10-F8 LK L = 635

1 X CL-36-5-F8 LK L = 635

Poistoilmakoneen suodattimet:

2 X CL-66-6-M5 LK L = 635

2 X CL-63-6-M5 LK L = 635

**Kone 206**

Tulo-/poistoilmavirrat 7,5 / 6,7 m<sup>3</sup>/s

Tuloilmakoneen suodattimet:

8 X CL-66-10-F8 LK L = 635

Poistoilmakoneen suodattimet:

8 X CL-66-6-M5 LK L = 635

### 3.4 IV-koneiden suodatinkustannukset

Lasketaan kunkin koneen yhden suodatuskerran suodatinkustannukset (sis. alv 24 %) lukujen 2.9 ja 3.3 perusteella. Laskutulokset on esitetty taulukoissa 4–6.

Taulukko 4. Kone 204,  
suodatinkustannukset.

Suodattimet	Hinta	Malli ja määrä
	335 €	6 x CL-66-10-F8
	219 €	6 x CL-66-6-M5
Yhteensä	<u>554 €</u>	
Huoltotyö	<u>99 €</u> (ilmavirta välillä 2,8 - 5,6 m <sup>3</sup> /s)	
Kierrätys	<u>24 €</u> (12 suodatin X 2 €/suodatin)	
Yhteensä:	<u>675 €</u>	

Taulukko 5. Kone 205,  
suodatinkustannukset.

Suodattimet	Hinta	Malli ja määrä
	112 €	2 x CL-66-10-F8
	77 €	2 x CL-63-10-F8
	34 €	CL-36-5-F8
	73 €	2 x CL-66-6-M5
	56 €	2 x CL-63-6-M5
Yhteensä	<u>352 €</u>	
Huoltotyö	<u>99 €</u> (ilmavirta välillä 2,8 - 5,6 m <sup>3</sup> /s)	
Kierrätys	<u>18 €</u> (9 suodatin X 2 €/suodatin)	
Yhteensä:	<u>469 €</u>	



Taulukko 6. Kone 206,  
suodatinkustannukset.

Suodattimet	Hinta	Malli ja määrä
	446 €	8 x CL-66-10-F8
	293 €	8 x CL-66-6-M5
Yhteensä	<u>739 €</u>	
Huoltotyö	<u>149 €</u> (ilmavirta välillä 2,8 - 5,6 m3/s)	
Kierrätys	<u>32 €</u> (16 suodatin X 2 €/suodatin)	
Yhteensä:	<u>920 €</u>	

### 3.5 Mittaukset Sito-talossa

Sito-talossa suoritettiin tutkittavien IV-koneiden puhaltimien sähkönkulutusmittaukset vuoden 2012 aikana. Puhaltimen ilmavirrat, taajuus ja suodattimien painehäviöiden muutoksia on mitattu talven ja kevään 2014 aikana. Mittausten eriaikaisuuden tähden mittaustulosten analysoiminen keskenään johtaisi epäluotettavaan tuloksiin, joten jatko-tarkastelun kannalta on tarpeen saada kaikki mittaustulokset samalta ajanjaksolta.

### 3.6 963-trendiseuranta

Sähkönkulutusmittauksia lukuun ottamatta kaikki mittaustiedot on saatu kerättyä käyt-tämällä Sito-talon valvomon 963-trendiseurantaa.

Trentec Team Oy:n 963-valvontaohjelmalla pystytään tarkkailemaan, muuttamaan ja ohjaamaan rakennusautomaatiojärjestelmää. Ohjelman värigrafiikan avulla järjestel-män tiedot ovat yksinkertaisesti ja tehokkaasti tulkittavissa. (7). Tiedot ovat siis luetta-

vissa joko taulukkomuodossa (esim. taulukko 7) tai graafisina käyrästeinä (esim. kuva 9).

963-ohjelma on asennettu Sito-talon kellaritilaan tietokoneelle, johon IV-koneisiin kytetyt mittausanturit lähettävät tiedot.

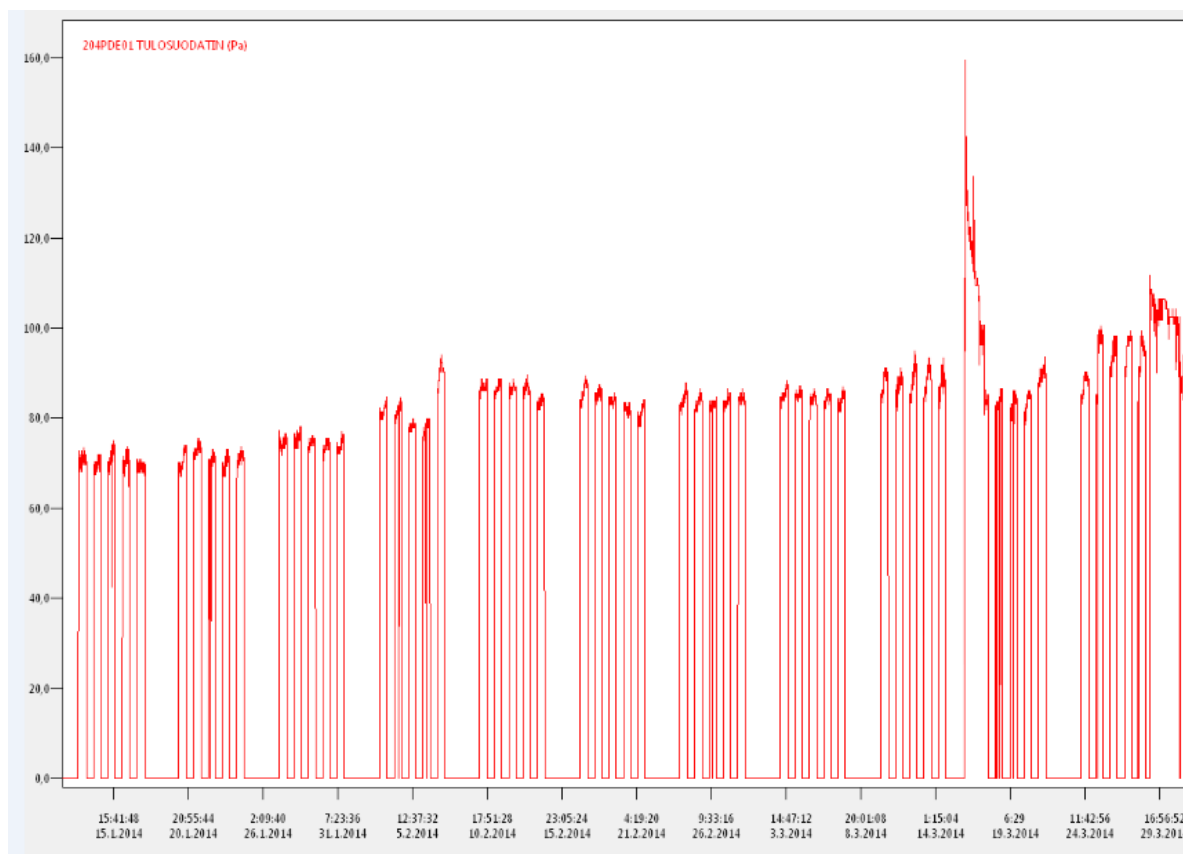
### 3.7 Azuwatt-seuranta

Sähkönkulutusseuranta on tapahtunut Seppo Weckmanin kehittämällä Azuwatt-trendiseurantaohjelmalla. Samaan tapaan kuin 963-trendiseuranta, sähkönkulutusmittaustulokset on saatu tietokoneelle, ja ne ovat luettavissa graafisina käyrästeinä.

### 3.8 Suodattimien likaantumisen vaikutus painehäviöön

Kuvassa 9 on esitetty 13.1.2014–31.3.2014 Sito-talon IV-koneen 204 tuloilmasuodattimen painehäviön muutos. Tiedot on poimittu 963 trendiseurannasta, painehäviö on tuona ajanjaksona suodattimen likaantuessa kasvanut n. 70 pascalista n. 100 pascaliin. Koneen poistoilmasuodattimen painehäviön kasvu samana ajankohtana on ollut vain n. 5 pascalia sen puhdistuessa pienempää ja puhtaampaa ilmamäärää.

Huom. Mittauksessa (kuva 9) lienee maaliskuun puolivälin tienoilla jokin häiriö, jollei painehäviö todella ole käynyt n. 150 pascalin tienoilla.

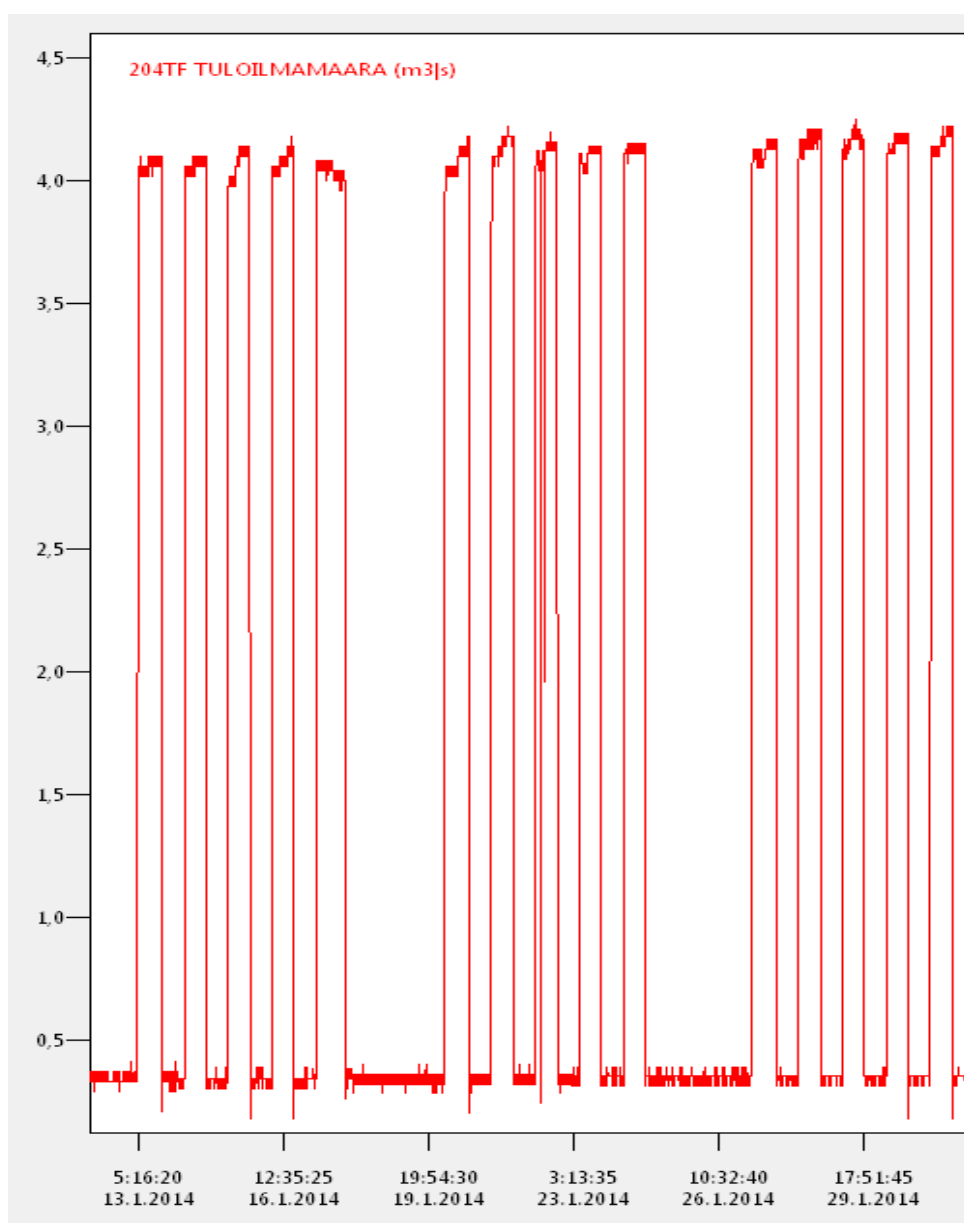


Kuva 9. TK-204-suodattimen painehäviön muutos (Pa) 13.1.–31.3.2014.

### 3.9 Painehäviön muutoksen vaikutus puhaltimen ilmamäärään ja taajuuteen

#### 3.9.1 Ilmamäärä

Kuvassa 10 on noin 2 viikon pituisen trendiseurannan käyrästä IV-koneen 204 tuloilmamäärästä. Koneen ilmamäärä on mittausjaksona vaihdellut välillä 4,0–4,25 m<sup>3</sup>/s. Suodattimen painehäviön kasvaessa ilmavirta sen läpi pienenee, mutta ilmastointilaitoksen automatiikkaohjaus pitää ilmamäärän suurin piirtein ennallaan lisäämällä puhaltimen kierroksia.



Kuva 10. TK-204, tuloilmamäärä 13.1.–29.1.2014.

### 3.9.2 Taajuuden muutos

Taulukossa 7 on esitetty TK204-puhaltimen taajuuden muutos hertseinä 24.2.–31.3. 2014, jossa tulokset poimittu viikon välein samana kellonaikana. Samalla aikavälillä suodattimen painehäviö on kasvanut n. 20 pascalia. Ilmastointilaitoksen automatiikka siis ohjaa taajuuden mukaan puhallinta lisäämään ja vähentämään kierroksia puhaltimien (puhaltimen painetta), jotta koneen ilmavirta pysyy halutussa arvossa (n. 4,25 m<sup>3</sup>/s). Mitä isompi taajuus, sitä isompi on puhallinpaine.

Taulukko 7. TK-204, taajuuden muutos 24.2.–31.3.2014.

Ajankohta	Taajuus (hertsiä)
24. helmikuuta 2014 15:00:00	36,46
3. maaliskuuta 2014 15:00:00	36,77
10. maaliskuuta 2014 15:00:00	37,39
17. maaliskuuta 2014 15:00:00	37,19
24. maaliskuuta 2014 15:00:00	37,62
31. maaliskuuta 2014 15:00:00	37,87

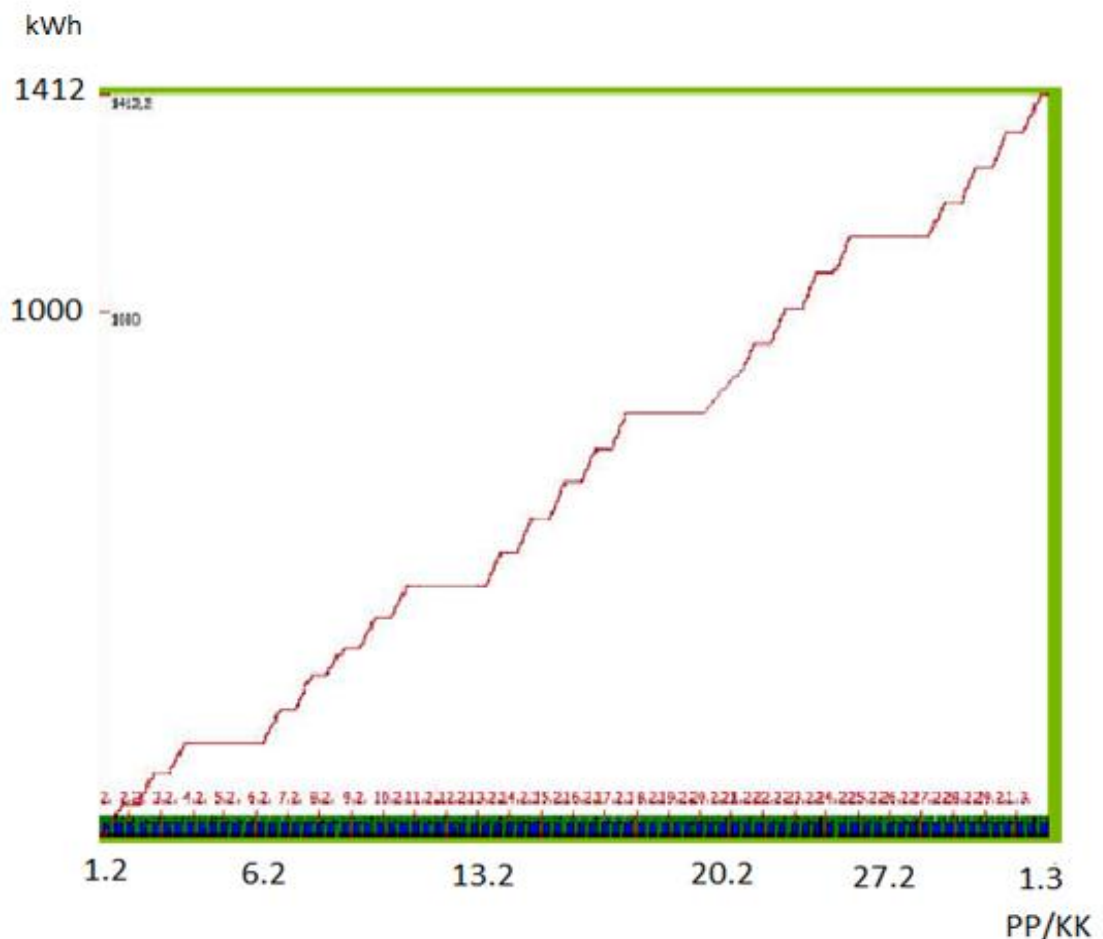
### 3.10 Puhaltimen sähkönkulutuksen kasvu suodattimen likaantuessa

Tässä luvussa on esitetty puhaltimen sähkönkulutuksen mittauksia sinä aikana, kun suodatin likaantuu. Mittaukset on suoritettu eri ajankohtana kuin edellisissä luvuissa esitetyt, joten mittaustuloksia ei pystytä analysoimaan keskenään. Tästä syystä kaikki mittaukset tulee suorittaa samaan aikaan, jotta kyseessä olevasta insinööriyön aiheesta pystyy tekemään tutkimusanalyysin.

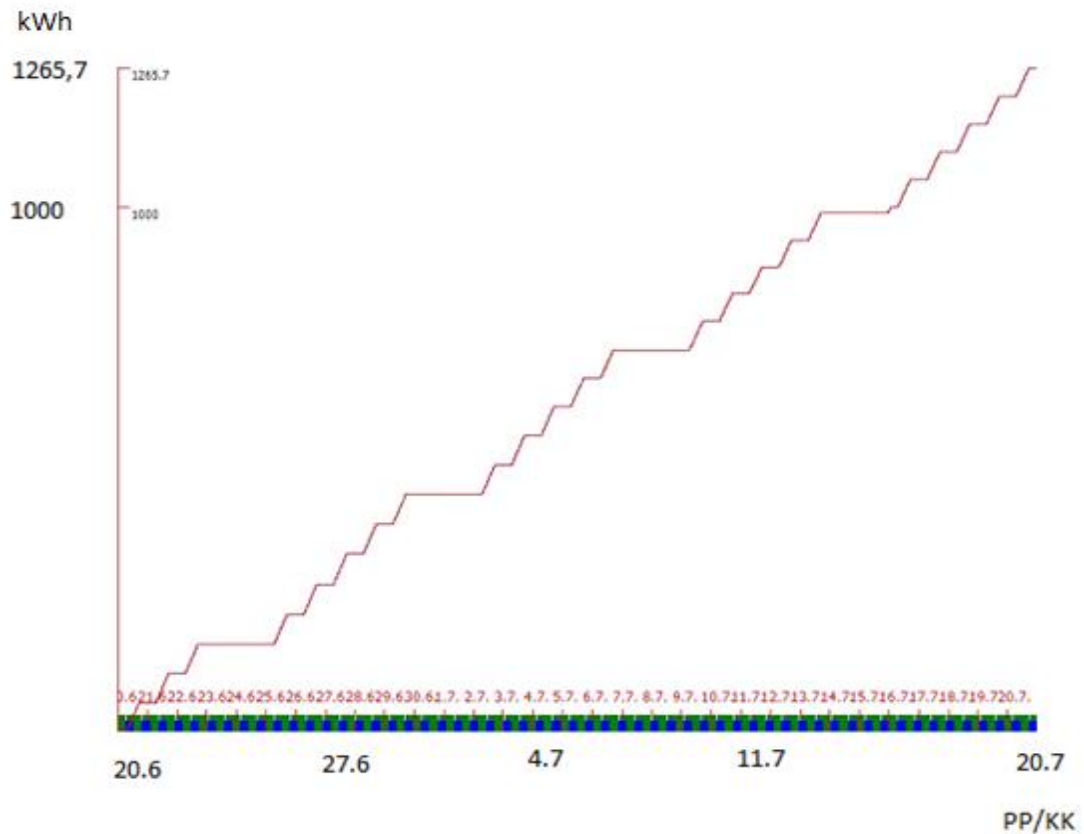
Vuonna 2012 tutkittaviin IV-koneisiin tehtiin suodattimen vaihtohuollot kahdesti: ensimmäinen 20.6. ja toinen 19.11. Vuoden 2011 viimeinen huoltotyö suoritettiin kesäkuussa, joten koneessa ovat tuona aikana olleet samat suodattimet vuoden ajan. Kuvissa 11 ja 12 on esitetty kaksi Azuwatt-tietokannasta kerättyä kuukauden pituista mit-

taustulosta tuloilmakoneen 204 sähkökulutuksesta. Mittauskäyristä selviää, että juuri vaihdettu puhdas suodatin aiheuttaa vähemmän sähkökulutusta kuin jo yli puolen vuoden ajan likaantunut suodatin. Tosin tuona ajankohtana ei ole tehty muita mittauksia (ilmavirta, painehäviö yms.), joten ei pystytä arvioimaan, kuinka paljon suodattimien likaantumisen vaikutusta sähkökulutukseen. Esim. ilmanvaihdon määrää on voitu vähentää jolloin puhaltimen tehoa on pienennetty ja näin sähkökulutus on pienentynyt.

On siis erittäin tarpeellista, että luvuissa 3.8-3.10 esitetyt mittaukset ovat tehtyinä samaan aikaan, jotta voidaan määritellä optimaalista vaihtoväliä suodattimille sähkökulutuksen perusteella.



Kuva 11. Sähkökulutus TK204, puhallin 1.2.–1.3.2012.



Kuva 12. Sähkönkulutus, TK204-puhallin. 20.6.–20.7.2012.

### 3.11 Puhaltimen sähkönkulutuksen kasvu ja kustannukset

Tarkastellaan ilmanvaihtopuhaltimien (koneen 204) sähkönkulutusta ja sen kustannuksia (taulukko 8 ja 9) välillä 20.6.–19.11.2012. Tulokset on poimittu joka kuukauden 20. päivästä, paitsi marraskuussa 19. päivästä. Sähkönhinta on 0,09 €/kWh (sis. alv, sähkön hinta on tämän opinnäytetyön tilaajan antama tieto), joten kulutuksen hinta saadaan kertomalla sähkönkulutus sähkön hinnalla. Esim. 2000 kWh X 0,09 €/kWh = 180 €.

Huom. Mittausaikavälillä oli mm. teknisistä vioista johtuen muutamien päivien katkoja, joten tulokset eivät ole luotettavia.

Taulukko 8. IV-kone 204, sähkönkulutuksen kasvu (kWh) /  
 hinta (€) 6-11/2012.

Tulokone KK					Poistokone KK				
Heinä	1266	kWh	113,94	€	Heinä	1339	kWh	120,51	€
Elo	2644	kWh	237,96	€	Elo	2759	kWh	248,31	€
Syys	3732	kWh	335,88	€	Syys	3822	kWh	343,98	€
Loka	4490	kWh	404,1	€	Loka	4529	kWh	407,61	€
Marras	5396	kWh	485,64	€	Marras	5379	kWh	484,11	€

Taulukko 9. Tulo-  
 ja poistoilmakone  
 204, sähkönkulutus  
 hinta yhteensä (€).

Heinä	234,45
Elo	486,27
Syys	679,86
Loka	811,71
Marras	969,75



## 4 Vaihtovälin optimointi

Optimaalisen ajan määrittäminen suodattimen vaihtovälille sähkönkulutuksen perusteella ei ole yksinkertaista, koska kustannuksiin vaikuttavat tekijät voivat vaihdella paljon.

Sähkön hinnan mahdollisesti noustessa lyhyempi vaihtoväli voi tulla edullisemmaksi ja hinnan kasvaessa päinvastoin. Sama asia koskee suodattimen hankinta-, huolto- ja kierrätyskustannuksia, joiden kallistuessa pitempi vaihtoväli voi olla edullisempi. Toinen optimaaliseen vaihtoväliin vaikuttava tekijä on suodattimen likaantuminen. Siitepölyn määrä vaihtelee vuodenaikoina ja vuosina. Liikenne kiinteistön ympärillä ja rakennustoiminnan määrän vaihtelu vaikuttavat suodattimen likaantumisen nopeuteen. Näistä syistä on järkevää mitata suodattimen sähkönkulutusta yms. ja tarkastella edellä mainittuja asioita.

Tutkittavan kiinteistön iv-koneissa käytetään Haltonin pussisuodattimia, jotka toimittajan mukaan on suositeltava vaihtaa 6 kk:n välein. LähiTapiola Oy on pyrkinyt ajoittamaan suodatinvaihdot 3–6 kk:n välein, joten on syytä myös optimoida sähkönkulutuksen perusteella edullisinta vaihtoväliä osuen ko. aikavälille.

### Suodattimien elinkaarikustannuslaskenta

Ilmanvaihtokoneiden suodattimille on olemassa elinkaarilaskentakaava, joka mahdollistaa laskennan ilmansuodatuksesta aiheutuvat kustannukset suodattimen asennuksesta sen hävittämiseen. Lähtötietoina tarvitaan suodatinkustannuksista suodattimen huollosta ja hankinnasta aiheutuvat kustannukset. Energiakustannukset saadaan selville, jos tiedetään sähkönkulutus käytön aikana sekä sähkön hinta. ( Kaava, 8.)

Life cycle cost (LCC) = Tuotehintaa + LCCenergia + LCCHuolto + LCCkierrätys

LCC on suodatuksesta johtuva kustannus  
Tuotehintaa on tuotteen hinta euroissa

LCCenergia on puhaltimen säädöstä ja tuotteen painehäviöstä johtuva kustannus (€)

LCCHuolto	on suodattimen vaihdosta johtuva kustannus (€)
LCCKierrätys	on suodattimen kierrätyksestä/hävittämisestä johtuva kustannus (€)

### Energiankulutuksen kaava

Energiankulutuksen hinta (sähkönkulutuksen hinta) on mahdollista laskea myös seuraavalla kaavalla, mikäli vain siihen tarvittavat lähtötiedot ovat saatavilla. ( kaava, 8.)

On kuitenkin huomioitava, että energiankulutuksen kaava ei ole samassa teoksessa esitettyjen tietojen perusteella ollenkaan luotettava laskemaan sähkönkulutusta, jollei aivan täsmällisiä lähtötietoja ole saatavilla. Kirjan mukaan, kuten kaavassa on merkitty, keskimääräinen painehäviön alku- ja loppupainehäviön erotus ei ole (hyvin suurella todennäköisyydellä) todellinen keskiarvo. Ko. painehäviön keskiarvo tulisi olla mitattuna koko suodattimen käytön ajalta keräämällä jokaisen päivän keskiarvo, kun kone on ollut päällä. Sama asia koskee muita lähtötietoja. Laskenta soveltuu parhaiten kahden erityyppisen suodattimen teoreettiseen vertailuun (kulutuksen hinta-eroon). (8)

$$W = (q_v \cdot \Delta p_{av} \cdot t \cdot c) / (\eta \cdot 1000)$$

W	on energian kulutus, kilowattituntia (kwh)
q <sub>v</sub>	on ilmamäärä, kuutiometriä sekunnissa (m <sup>3</sup> /s)
Δp <sub>av</sub>	on Δp <sub>alku</sub> + ((Δp <sub>loppu</sub> -Δp <sub>alku</sub> )/2) (Pa)
Δp <sub>loppu</sub>	on vanhan likaantuneen suodattimen aiheuttama painehäviö vaihdon hetkellä, pascalia (Pa)
Δp <sub>alku</sub>	on uuden puhtaan suodattimen aiheuttama painehäviö vaihdon hetkellä, pascalia (suodatintoimittajan antama tieto) (Pa)
c	on sähkön hinta (€/kWh)
t	on puhaltimen käyntitunnit (h)
η	on puhaltimen hyötysuhde (%), Hyötysuhde tarkoittaa kuinka paljon laite hyödyntää (lopun energiasta kuluvat hukkaan) prosentteina sille annetusta energiasta.

### Esimerkkilaskenta Haltonin F8-luokan suodattimen elinkaarikustannukselle

Kyseessä on Haltonin F8-luokan tuloilmasuodattimet, jotka asennettaessa aiheuttaa ilmavirtaukselle 60 pascalin painehäviön. Ilmanvaihtokoneena on kyseessä Sito-talon 206-tuloilmakone, jonka puhaltimen hyötysuhde 75 % ja ilmamäärä 7,5 m<sup>3</sup>/sekunnissa. Lasketaan energiankulutus asettamalla loppupainehäviöksi 130 Pa. Kyseinen painehäviö on Sito-talossa kokeena käytetty loppupainehäviö suodatinvaihdoissa, joka on toteutunut n. 4 kk:n kuluessa tuloilmasuodattimelle. Tällöin keskimääräisenä painehäviöksi tulee loppu- ja alkupainehäviöiden keskiarvo, joka sijoitetaan kaavaan. Suodattimen likaantuessa 4 kk:n kuluessa niin, että se aiheuttaa 130 Pa:n painehäviön, vastaava aika tunneissa on noin 1000 iv-koneen ollessa käynnissä 12 h arkipäivisin.

$$W = (q_v \cdot \Delta p_{\text{pav}} \cdot t \cdot c) / (\eta \cdot 1000) = (7,5 \cdot 95 \cdot 1000 \cdot 0,09) / (0,75 \cdot 1000) \approx \underline{85 \text{ €}}$$

$q_v$	on 7,5 (m <sup>3</sup> /s)
$\Delta p_{\text{pav}}$	on 60+ ((130-60)/2) = 95 Pa
$\Delta p_{\text{loppu}}$	on 130 Pa
$\Delta p_{\text{alku}}$	on 60 Pa
$c$	on 0,09 €/kWh
$t$	on 1000 h
$\eta$	on 75 %

Huom.

Äsken esitetty kaava ei siis ole, kuten aiemmin mainittiin, täysin luotettava laskemaan energiankustannusta ilman tarkkoja lähtötietoja. Lisäksi kaava ei huomioi moniportaista suodatusta tarkoittaen, että kaavaa ei voida käyttää, mikäli IV-koneeseen on asetettu kaksi suodatinkehikkoa peräkkäin (esim. karkea suodatin ja tämän jälkeen hienosuodatin). Tästä syystä on huomattavasti luotettavampi keino oikean tuloksen saamiseksi mitata iv-koneen puhaltimen sähkönkulutusta suodattimien likaantuessa ja kertoa kulutus (KWh) sähkön hinnalla, josta saadaan energiakustannus.(4)

Yhden suodatuskerran kustannukset tuloilmakoneen suodattimille:

$$\text{LCC} = 446 + 85 + 149 + 16 = \underline{696 \text{ €}}$$

LCC	on suodatuksesta johtuva kustannus
Tuotehintaa	on 446 € (8 kpl 55,8 € maksavaa suodatinta)
Energiakustannukset	ovat 85 € (lasku esitetty sivulla 29)
Huoltohintaa	on 149 € (ilmavirta suurempi kuin 5,6 l/s)
Kierrätyskustannukset	ovat 16 € (yhden suodatinkehikon hävityskustannus 2 €)

### **3–6 kuukauden vaihtovälin kustannukset**

Optimoidessa suodatinvaihtoväliä LCC-laskelmaa käyttäessä tulee olla tiedossa kaikki kaavaan tarvittavat lähtötiedot, kuten aiemmin tässä luvussa 4 on esitetty. Pyrkien ajoittamaan suodatin vaihdot 3–6 kk:n välein, voidaan laskea mittausten perusteella suodatinkustannuksen 1. vuodelle seuraavilla kaavoilla:

#### 3 kk:n vaihtovälin kaava:

$$\text{LCC} = 4 \times 3 \text{ kk:n energiakustannus} + 4 \times (\text{tuotehintaa} + \text{huolto} + \text{kierrätys})$$

Suodatinvaihtojen määriä yhdelle vuodelle tulee 4 kpl, kun ne vaihdetaan 3 kuukauden välein, joten kustannukset tulee kertoa 3:lla.

#### 4 kk:n vaihtovälin kaava:

$$\text{LCC} = 3 \times 4 \text{ kk:n energiakustannus} + 3 \times (\text{tuotehintaa} + \text{huolto} + \text{kierrätys})$$

Suodatinvaihtojen määriä yhdelle vuodelle tulee 3 kpl, kun ne vaihdetaan 4 kuukauden välein, joten kustannukset tulee kertoa 3:lla.

5 kk:n vaihtovälin kaava:

$LCC = 2 \times 5 \text{ kk:n energiakustannus} + 2 \text{ kk:n energiankustannus} + 2,4 \times (\text{tuotehinta} + \text{huolto} + \text{kierrätys})$

5 kuukauden vaihtoväliä käytettäessä energiankustannukset 1. vuodelle saadaan laskettua kertomalla kahdella 5 kuukauden energiankustannukset ja lisäämällä siihen 2 kuukauden kustannukset. Suodatinkustannukset samalle ajalle saadaan kertomalla yhden suodatuskerran kustannukset 2,4:llä. Suodatinvaihdot tapahtuvat tällöin 2,4 kertaa vuodessa ( $12 \text{ kk} / 5 \text{ kk} = 2,4$ ).

6 kk:n vaihtovälin kaava:

$LCC = 2 \times 6 \text{ kk:n energiakustannus} + 2 \times (\text{tuotehinta} + \text{huolto} + \text{kierrätys})$

6 kk:n vaihtovälillä vaihtokertoja on 2.

Esimerkilaskenta käyttäen 4 kk:n vaihtoväliä:

Lasketaan 4 kk:n vaihtovälin kaavaa käyttämällä suodatinkustannukset Sito-talon iv-kone 204:lle. Kaavassa käytetyt kustannukset on esitetty luvuissa 3.4 ja 3.11.

$LCC = 3 \times 811,71 \text{ €} + 3 \times (554 \text{ €} + 99 \text{ €} + 24 \text{ €}) \approx \underline{4466 \text{ €}}$

### Kaavan analysoiminen

Äsken esitetyillä kaavoilla voidaan laskea 1 vuoden suodatinkustannukset 3–6 kk:n vaihtoväliä käyttämällä aiemmin tehtyjä mittauksia hyödyntämällä. Laskelmista saatu edullisin vaihtovälin kustannus ei kuitenkaan aina tule toteutumaan samassa ajassa johtuen suodattimen likaantumisen nopeuden vaihtelusta. Tästä syystä laskelmia tutkiessa tulisi niiden ohella tarkastella mittaustuloksia. Erityisesti kannattaa kiinnittää huomiota suodattimien aiheuttaman painehäviön määrään (loppupainehäviö) vaihtojen hetkellä, jota voi myös käyttää vaihtovälin perusteena. Esimerkiksi jos laskelmista saataisiin selville, että 4 kuukauden vaihtoväli on edullisin ja tuloilmasuodattimen painehäviö vaihdon hetkellä 130 Pa, kuten Sito-talon mittauksissa on joskus tapahtunut (mainittu sivulla 29), tulisi tällöin hyödyntää kyseessä olevaa painehäviön määrää suodattimien vaihtovälin kriteerinä. Tässä tapauksessa suodatin tulisi vaihtaa aina kun painehäviö kasvaa 130 Pa:iin, tapahtui se sitten 3 kuukauden tai yli puolen vuoden kuluessa ja energiakustannukset pysyisivät suotuisina. On kuitenkin muistettava, että sähkön hinnan ja suodatinkustannusten muuttuessa, optimaalisin painehäviö suodatinvaihdolle voi myös muuttua.

## 5 Yhteenveto

Voidaan todeta, että sähkönkulutuksen perusteella suodattimien vaihtoväliä optimoidessa on tarpeen mitata ainakin suodattimien aiheuttamaa painehäviötä ilmavirtaukselle sekä puhaltimien sähkönkulutusta. Suodattimien likaantumiseen vaikuttavien tekijöiden vaihdellessa ei pystytä laskemalla määrittämään kovin tarkkaa edullista vaihtoväliä, vaan tulee suorittaa mittauksia jatkuvasti ja niiden tulosten tarkastelun ohella seurata sähkön hintaa ja suodatinkustannuksia. Jatkotoimenpiteenä voidaan ehdottaa, että kaikki tässä työssä esitetyt mittaukset suoritetaan uudestaan samana ajankohtana samoille iv-koneille. Mittaustuloksia hyödyntämällä voidaan tämän insinööriyön ohjeiden avulla tehdä tutkimusanalyysia sen aiheesta ja näin mahdollisesti löytää optimaalinen vaihtovälin kohta kyseessä olevassa asiassa.

On kuitenkin muistettava, että vaikka jossain tapauksissa sähkötulot ja suodatinkustannukset voivat olla pienemmät pidemmällä vaihtovälillä, tärkeintä on kuitenkin, että suodatin toimii tehokkaasti käyttötarkoituksen mukaisesti ja sisäilmanlaatu pysyy parhaana mahdollisena.

## Lähteet

- 1 Pyörivä lämmönsiirrin. 2014. Verkkodokumentti. Wikipedia, vapaa tietosanakirja. <http://fi.wikipedia.org/wiki/pyörivälämmönsiirrin>. Luettu 17.8.2014
- 2 Halton – ilmansuodatuksen tuotekirja 2013. Halton Clean Air Oy.
- 3 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 4 Toimintatapamme. 2014. Verkkodokumentti. Suodatinmaailma. <http://www.suodatinmaailma.fi/toimintatapamme>. Luettu 18.8.2014.
- 5 Taajuusmuuttaja. 2014. Verkkodokumentti. Wikipedia, vapaa tietosanakirja. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Taajuusmuuttaja>. Luettu 17.8.2014
- 6 Taajuus. 2014. Verkkodokumentti. Wikipedia, vapaa tietosanakirja. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Taajuus>. Luettu 17.8.2014
- 7 Valvomo-ohjelmistot. 2014. Verkkodokumentti. Trentec Team Oy. <http://www.trentec.fi/valvomo-ohjelmistot>. Luettu 17.8.2014
- 8 Mylius, Christian. DI. Halton Clean air 2013. Huomioita LCC-laskelman käytännön soveltamiseen.