

Janne Alanen

**MAALAAMON POISTOILMAN SUODATUS JA LÄMMÖNTAL-  
TEENOTTO**

# **MAALAAMON POISTOILMAN SUODATUS JA LÄMMÖNTAL- TEENOTTO**

Janne Alanen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2017  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Janne Alanen  
Opinnäytetyön nimi: Maalaamon poistoilman suodatus ja lämmöntalteenotto  
Työn ohjaaja: Rauno Holopainen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017 Sivumäärä: 33 + 2 liitettä

---

Opinnäytetyö tehtiin Granlund Pohjanmaa Oy:lle. Työn tavoitteena oli selvittää mahdollisuuksia ABB Oy:n Vaasan tehtaan sähkömoottorien maalaamon poistoilman suodatukselle ja lämmöntalteenotolle. Työssä vertailtiin erilaisia suodatusmenetelmiä, jotka mahdollistaisivat lämmöntalteenoton (LTO) käytön aiheuttamatta liikaa kustannuksia.

ABB:n Vaasan tehtaan MM-rakennuksen maalaamosta poistetaan 20,6m<sup>3</sup>/s maalipölyllä likaantunutta ilmaa. Laskennallisesti poistoilman mukana häviää vuodessa 2700 MWh:n edestä hyödyntämätöntä lämpöenergiaa. Tällä hetkellä poistoilmaa ei suodateta eikä siitä oteta lämpöä talteen. Suurimpana ongelmana oli löytää kohdepoistoille toimiva suodatusratkaisu, joka mahdollistaisi poistoilman käytön LTO:ssa.

Työn edetessä selvitettiin erityyppisten suodatusmenetelmien ominaisuuksia ja soveltuvuutta maalaamon poistoilman suodatukseen. Sopivan suodatusmenetelmän löydyttyä oltiin yhteydessä laitevalmistajiin, joilta pyydettiin tarjouspyynnöt. Tämän jälkeen etsittiin markkinoilta käyttötarkoitukseen soveltuva LTO-järjestelmä. Suodatus- ja LTO-järjestelmien tarjouksien pohjalta laskettiin järjestelmän takaisinmaksuaika.

Valittu järjestelmä tulisi työn perusteella maksamaan itsensä takaisin noin 16 vuodessa jos hankkeelle ei haeta investointitukea Tekesiltä. Järjestelmää suunniteltaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon tarkemmin asennuskustannuksien vaikutus takaisinmaksu-aikaan ja järjestelmän kannattavuuteen.

Työn tulokset auttavat ABB Oy:tä arvioimaan LTO-järjestelmän kannattavuutta mahdollisesti tulossa olevan saneerauksen yhteydessä. Teoriaosuudesta on myös hyötyä, mikäli päädytään selvittämään muita mahdollisia ratkaisuja.

---

Asiasanat: maalaamo, poistoilma, suodatus, lämmöntalteenotto, säästöpotentiaali

## **ALKULAUSE**

Tahdon kiittää Granlund Pohjanmaa Oy:n Pekka Pajuniemeä, VTT Tampereen Ilpo Kulmalaa sekä opinnäytetyöni ohjaajaa Rauno Holopaista arvokkaasta tuesta ja ohjauksesta.

Oulussa 1.6.2017

Janne Alanen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 HIUKKASMAISET EPÄPUHTAUDET	8
3 YLEISET SUODATUSMENETELMÄT	9
3.1 Kuitusuodattimet	10
3.1.1 Seulavaikutus	10
3.1.2 Kosketusvaikutus	10
3.1.3 Diffuusiovaikutus	10
3.1.4 Hitaus-/törmäysvaikutus	11
3.1.5 Sähköstaattinen vaikutus	11
3.2 Sähkösuodattimet	11
3.3 Syklonit	12
3.4 Venturipesurit	13
4 ILMANVAIHDON LÄMMÖNTALTEENOTTO	15
4.1 Nestekiertoinen lämmönsiirrin	16
4.2 Levylämmönsiirtimet	17
4.3 Pyörivä lämmönsiirrin	18
5 ABB MM-RAKENNUKSEN TILANNE	20
5.1 Alkutilanne	20
5.2 Valintaprosessi	23
5.3 Valittu suodatusjärjestelmä	24
5.4 Valittu LTO-järjestelmä	26
6 KUSTANNUKSET	29
6.1 Investointikustannukset	29
6.2 Käyttökustannukset	29
6.3 LTO:n säästöpotentiaali ja takaisinmaksuaika	31
7 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	33
Liite 1	Poistoilmakanavista mitatut virtaamat ja painehäviöt

Liite 2 Suodatinlaitteiston asennusjärjestelyt

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty Granlund Pohjanmaa Oy:lle ABB Oy:n toimeksiannosta. Työn tavoitteena oli kartoittaa ja vertailla ABB:n MM-rakennuksen maalaamon kohdepoistoille suodatusratkaisu, joka mahdollistaisi poistoilman käytön lämmöntalteenotossa (LTO). Tämän lisäksi työssä pyritään selvittämään, millainen LTO-järjestelmä, jonka puhdistus on helppoa ja kustannustehokasta, soveltuu maalipölyn aiheuttamaan rasiinukseen.

MM-rakennus sijaitsee Vaasassa Strömberg Parkin teollisuusalueella. Rakennus on betonirakenteinen teollisuushalli, jossa on tuotantotiloja kahdessa tassa sekä toimistotiloja kolmessa kerroksessa. Teollisuushallissa kootaan ja käsitellään pienjännitteisiä oikosulkumoottoreita ja -generaattoreita. Rakennuksen kokonaispinta-ala on 29 019 m<sup>2</sup>, ja siellä työskentelee päivittäin noin 472 henkilöä. (1.)

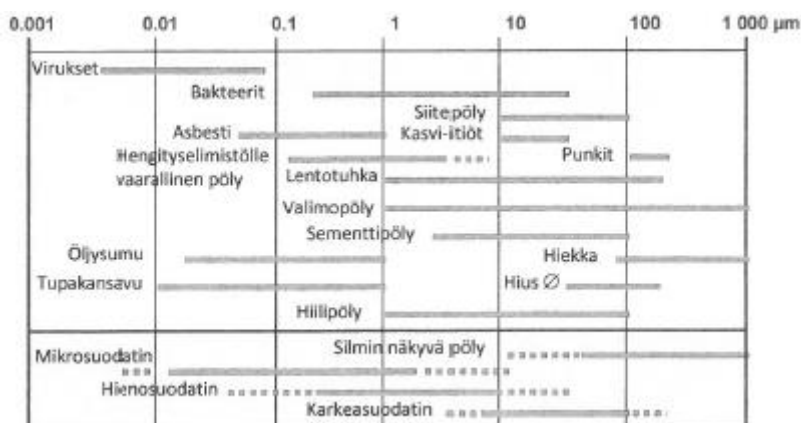
Tällä hetkellä maalaamon kohdepoistojen poistoilmassa ei ole lämmöntalteenottoa. Maalaamosta poistetaan kohdepoistoilla 20,6 m<sup>3</sup>/s lämmitettyä ilmaa, jonka lämpöenergiaa ei hyödynnetä.

Suurin ongelma on löytää käyttötarkoitukseen sopivat suodattimet, sillä sähkömoottoreiden ruiskumaalauksessa käytetty maali tukkii tavanomaiset pussisuodattimet todella nopeasti. Harvemmat suodattimet eivät puolestaan suodata poistoilmaa tarpeeksi, mikä johtaa LTO:n ja kanaviston likaantumiseen ja tukkeutumiseen. Tällä hetkellä maalaamon kohdepoistoissa ei Andrea-värihoukkujen lisäksi ole muuta suodatusta.

## 2 HIUKKASMAISET EPÄPUHTAUDET

Ulko- ja sisäilmassa on erityyppisiä ja -kokoisia hiukkasia, jotka vaikuttavat hengitysilman laatuun. Näiden hiukasmaisten epäpuhtauksien pitoisuudet ja kokojakauma vaikuttavat suuresti suodattimien kykyyn sitoa niitä itseensä.

Ilmassa olevat hiukkaset jaotellaan usein niiden koon ja koostumuksen mukaan. Hiukkasten kokojakauma ulottuu aina ultrapienistä hiukkasista (hiukkaskoko < 0,1 µm) suuriin hiukkasiin (hiukkaskoko > 2,5 µm). Alle 2,5 µm:n kokoisilla pienhiukkasilla on todettu suora syy-yhteys sydän- ja verisuonitaudeista aiheutuneeseen kasvavaan kuolleisuuteen. Merkittävin pienhiukkaslähde kaupunkiympäristössä on dieselpakokaasut. Kuvassa 1 on esitetty tyypillisten epäpuhtauksien hiukkaskokoalueita. (2.)



KUVA 1 Esimerkkejä epäpuhtauksien hiukkaskokoalueista (2)



### 3 YLEISET SUODATUSMENETELMÄT

Suodatusmenetelmää valittaessa on perehdyttävä suodatettavan ilman ominaisuuksiin, sen sisältämiin epäpuhtauksiin ja suodatetun ilman laatuvaatimuksiin. Ilman nopeus, lämpötila ja epäpuhtauksien koostumus vaikuttavat merkittävästi suodatusmenetelmän ja muun laitteiston valintaan. Taulukossa 1 on esitettyä yleisimpien suodatusmenetelmien ominaisuuksia.

TAULUKKO 1 Suodatintyyppien ominaisuuksia (3)

	<b>Kuitusuodatin</b>	<b>Sykloni</b>	<b>Venturipesuri</b>	<b>Sähkösuodatin</b>
<b>Käyttökohte</b>	Kaikki kuiva pöly	Murskaus, hionta, työstö ja hakkeenkuljettimet	Kemialliset ja metallurgiset huurut	Lentotuhka, hitsausuurut
<b>Edut</b>	Korkea erotuskyky pienillekin hiukkasille	Yksinkertainen ja huoltovapaa rakenne	Soveltuu tahmeille ja syttyville pölyille, korrodoivat kaasut neutraaloitavissa	Alhainen painehäviö ja energiankulutus, korkea erotuskyky pienillekin hiukkasille
<b>Haitat</b>	Korkea painehäviö, rajoitukset korkeissa lämpötiloissa, huono soveltuvuus tahmeille pölyille	Pölyn aiheuttama kuluminen, huono erotuskyky pienille hiukkasille	Korkea painehäviö, pesuneste käsiteltävä, korrosio ja jäätymisvaara	Ei sovellu kaikille pölyille, kunnossapito vaatii asiantuntemusta
<b>Kuormitus (g/m<sup>3</sup>)</b>	0,1–100	0,1–20	0,1–2	0,1–100
<b>Paine-ero (Pa)</b>	500–1500	750–1500	500–4000	100–250
<b>Hankintakustannus</b>	Kohtuullinen	Alhainen	Alhainen	Korkea
<b>Käyttökustannus</b>	Kohtuullinen	Kohtuullinen	Korkea	Alhainen

### **3.1 Kuitusuodattimet**

Suodattimen kyky suodattaa hiukkasia perustuu mekaanisiin ja sähköisiin ilmiöihin. Mekaanisissa suodattimissa suodattimen kuitujen koko ja etäisyys toisistaan vaikuttaa merkittävästi suodattimen kykyyn sitoa itseensä hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Kuitusuodattimien suodatusvaikutukset voidaan jakaa seula-, kosketus-, diffuusio-, hitaus-/törmäysvaikutuksiin ja sähköstaattiseen vuorovaikutukseen. Suodattimen erotusaste koostuu näiden mekanismien yhteisvaikutuksesta. (2.)

#### **3.1.1 Seulavaikutus**

Seulavaikutuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa suodattava epäpuhtaus on halkaisijaltaan suurempi kuin kuitujen välinen etäisyys. Tällöin hiukkanen jää kiinni kuitujen väliin. Seulavaikutuksen merkitys on varsin merkityksetön ulkoilman epäpuhtauksille, joiden halkaisija on lähes aina pienempi kuin 1  $\mu\text{m}$ . (2.)

#### **3.1.2 Kosketusvaikutus**

Kosketusvaikutuksen merkitys kasvaa suodattimen kuidun halkaisijan pienentyessä ja kuitumateriaalin säietiheyden kasvaessa. Tässä mekanismissa hiukkaset kiertävät kuidun ympäri seuraten ilmavirran virtauslinjaa. Kun hiukkanen koskettaa kuitua, se voi kiinnittyä kuituun. Kosketusvaikutuksen toiminta ei juurikaan muutu ilmavirran nopeuden muuttuessa. Erityisesti pienet ja kevyet hiukkaset jäävät kuituihin kiinni kosketusvaikutuksen ansiosta. (2.)

#### **3.1.3 Diffuusiovaikutus**

Diffuusiovaikutuksessa pääosassa on ilmamolekyylien Brownin liikkeet, joiden takia hiukkaset täysin sattumanvaraisesti poikkeavat ilmavirran virtaus suunnasta ja törmäävät suodattimen kuituihin. Diffuusio vaikuttaa pääasiassa pieniin (<1  $\mu\text{m}$ ) hiukkasiin. Diffuusion merkitys kasvaa hiukkasten koon pienentyessä ja on hallitseva pien- ja nanohiukkasten suodatuksessa. Diffuusiovaikutuksen teho kasvaa kuitujen säietiheyden kasvaessa, hiukkaskoon pienentyessä ja ilmavirran virtausnopeuden pienentyessä. (2.)

### **3.1.4 Hitaus-/törmäysvaikutus**

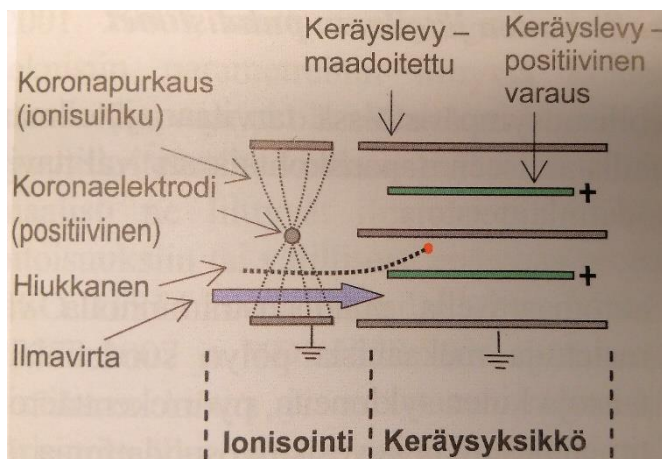
Hitaus-/törmäysvaikutus perustuu massan hitauteen. Hiukkanen pyrkii jatkaamaan alkuperäistä liikerataansa ja suuntaansa törmätessään suodattimen kuituun ja jääden siihen kiinni. Kiinnijäämisen mahdollisuus kasvaa hiukkasen koon ja ilmavirran nopeuden kasvaessa sekä kuidun paksuuden suurentuessa. (2.)

### **3.1.5 Sähköstaattinen vaikutus**

Sähköstaattinen vaikutus perustuu hiukkasen ja kuidun erimerkkiseen sähkömagneettiseen varaukseen. Erimerkkisen varauksen ansiosta kuitu ja hiukkanen vetävät toisiaan puoleensa, jolloin hiukkanen jää kiinni kuituun. Tämän mekanismin vaikutus kasvaa ilmavirran nopeuden, kuidun ja hiukkasen koon pienentyessä. (2.)

## **3.2 Sähkösuodattimet**

Sähkösuodattimissa hiukkasille luodaan sähkövaraus koronapurkauksen avulla, joka syntyy korkeajännitteisen elektrodilangan ja maadoitetun levyn välille. Purkauksen läpi kulkeva kaasu ionisoituu. Kaasun kuljettamat hiukkaset varautuvat kaasuionien törmätessä niiden pintaan. Varautuneet hiukkaset kerätään maadoitettuihin keräyslevyihin. Keräyslevyjen puhdistus tapahtuu joko ravistamalla tai pesemällä levyt. Positiivista varausta käyttävän sähkösuodattimen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2. (2.)



KUVA 2. Sähkösuodattimen toimintaperiaate (2)

Sähkösuodattimissa voidaan käyttää joko positiivista tai negatiivista varausta. Negatiivinen varaus sallii kymmenien kilovolttien käyttöjännitteen käytön. Tämä mahdollistaa suuremmat koronavirrat, ja sen vuoksi sitä käytetään teollisuudessa suuria kaasumääriä käsiteltäessä. Negatiivisen koronan haittapuolena on sen tuottamat suuret otsonimäärät. Positiivinen korona soveltuu negatiivista koronaa paremmin sisäkäyttöön sen alhaisemman otsonintuoton vuoksi. (2.)

Sähkösuodatinta käytettäessä on varmistettava kaasuvirran tasainen virtausnopeus. Epätasainen virtaus aiheuttaa kerätyn pölyn irtoamista takaisin suodatettuun kaasuvirtaan. Toinen olennainen seikka on suodatettavien hiukkasten sähköjohtavuus. Hiukkasten optimaalinen sähkönvastus on välillä  $10^8 - 10^{10}$  W\*cm. Pölyt, joiden ominaisjohtokyky on yli  $10^{11}$  W\*cm, saattavat aiheuttaa pölyn kerääntyminen maadoitetun elektrodin pintaan ja estää varauksen purkautumisen. Tämä aiheuttaa läpilyöntejä ja alentuneen käyttöjännitteen, jotka häiritsevät suodattimen toimintaa. (3.)

### 3.3 Syklonit

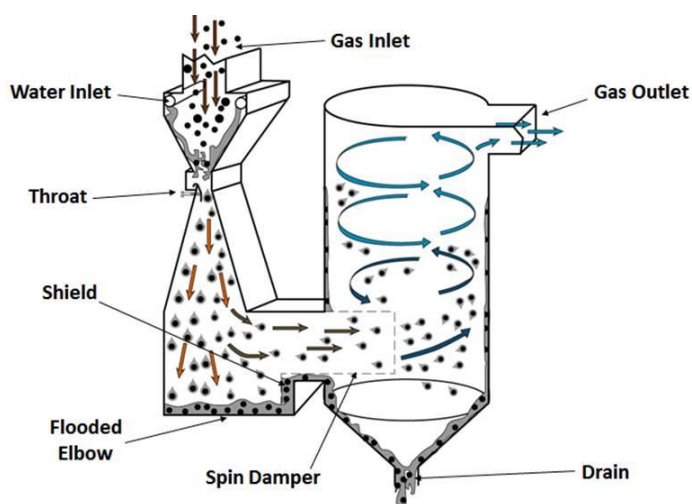
Syklonit ovat eniten käytettyjä mekaanisia pölynroottimia hiukkaskoon ollessa suuri, noin 1000 - 10 000  $\mu\text{m}$ . Ne ovat edullisia ja helppohuoltoisia yksinkertaisen rakenteensa vuoksi. Sykloneissa ei ole liikkuvia osia, joka osaltaan lisää niiden toimintavarmuutta. Yleisin käyttötarkoitus sykloneille on toimia esierottimina

ennen varsinaista suodatinta. Alle 5  $\mu\text{m}$ :n kokoisia hiukkasia ei kuitenkaan saada erotettua tehokkaasti, joka rajaa syklonien käyttökohteita. (3.)

Syklonien toiminta perustuu keskipakoisvoimaan, jolla hiukkaset saadaan erotettua ilmavirrasta. Puhdistettava ilma ohjataan pyörivään liikkeeseen kohti syklonin pohjaa, jolloin epäpuhtaudet siirtyvät keskipakoisvoiman vaikutuksesta syklonin seinämille. Puhdistettu ilma imetään syklonin keskeltä yläkautta pois toilmakanavaan hiukkasten valuessa suodattimen seinämiä pitkin syklonin pohjalla olevaan keräysastiaan. (3.)

### 3.4 Venturipesurit

Venturipesureissa käytetään nestettä, yleisimmin vettä, erottamaan hiukkaset puhdistettavasta ilmasta. Ilma johdetaan yleensä kuvan 3 mukaisesti pesurin yläosasta sisään, jossa se pakotetaan jopa nopeuteen 50-150 m/s venturin kurkussa. Kurkkuun johdetaan matalapaineista vettä, joka ilmaan osuessaan hajoaa pieniksi pisaroiksi. Ilman suuren liikenopeuden ansiosta pisaroiden ja ilmassa olevien hiukkasmaisten epäpuhtauksien välille saadaan tehokas törmäysvaikutus. Pisarat sitoutuvat hiukkasiin ja näiden erottaminen tapahtuu pisaranerottimessa. Erottimena käytetään yleisimmin syklonia, joka kerää likaisen veden säiliöön, josta se voidaan mahdollisuuksien mukaan käyttää uudelleen erotusprosessissa. (2.)



KUVA 3 Venturipesuri syklonilla (4)

Venturipesureiden etuja ovat suhteellisen kompakti koko, kyky käsitellä kosteita ja kuumia ilmavirtoja ja mahdollisuus suodattaa samanaikaisesti sekä kaasuja että hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Venturipesureita voidaan käyttää myös räjähdysvaarallisten kaasujen käsittelyyn. (2.)

Pesureiden suurin ongelma on erotusprosessissa käytettävän nesteen aiheuttama korroosio- ja jäätymisvaara. Uusiokäyttöön kelpaamattoman jäteveden hävittäminen on myös kallista, jos se sisältää ongelmajätteesiluokiteltuja epäpuhtauksia. Venturipesureiden painehäviöt ovat muihin suodatusmenetelmiin verrattuna korkeita, joka nostaa puhaltimien energiankulutusta.(2.)

## 4 ILMANVAIHDON LÄMMÖNTALTEENOTTO

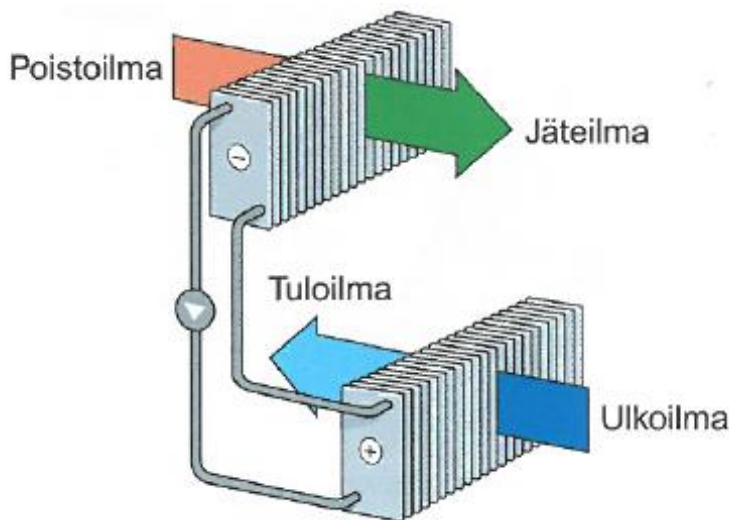
LTO-järjestelmillä pyritään vähentämään ilmanvaihdon lämmityskustannuksia ja pienentämään lämmityspattereiden tehon tarvetta. LTO-laitteiston valintaan vaikuttavat erityisesti ilmanvaihdon käyttökohde ja käsiteltävän ilman ominaisuudet. Myös ilman hygieniavaatimukset ovat olennaisessa osassa LTO-laitteistoa valittaessa. Taulukossa 2 on esitetty erilaisten lämmönsiirrinten ominaisuuksia.

TAULUKKO 2 Lämmönsiirrinten ominaisuuksia (6)

	Nestekiertoinen lämmönsiirrin	Levylämmönsiirrin	Pyörivä lämmönsiirrin
Hyödyt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ei ilmavirtojen sekoittumista</li> <li>- kanavat voivat olla toisistaan erillään</li> <li>- helppo asentaa olemassa olevaan järjestelmään</li> <li>- hyvät säätömahdollisuudet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tiivis,</li> <li>- vähän liikkuvia tai hajoavia osia</li> <li>- hyvät pinnoitusmahdollisuudet</li> <li>- alhainen hinta</li> <li>- helppo huollettavuus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hyvä lämpötilasuhde</li> <li>- pieni koko</li> <li>- kyky siirtää kosteutta</li> <li>- alhainen jäätymisvaara</li> </ul>
Haitat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vaatii säätöjärjestelmän</li> <li>- vaatii jäätymisenestoainetta, joka laskee hyötysuhdetta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ei kestä korkeita lämpötiloja</li> <li>- huurtumisaltis</li> <li>- hanavien on johdettava yhteen</li> <li>- huuri tilantarve muihin nähden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ilmavirrat saattavat sekoittaa</li> <li>- liikkuvat osat lisäävät huollon tarvetta,</li> <li>- veden kondensoitumisvaara</li> <li>- ilmanakanavat on johdettava yhteen</li> </ul>
Lämpötilasuhde	40–60 %	40–60 %, vastavirtasiirtimessä jopa yli 80 %	75–85 %

#### 4.1 Nestekiertoinen lämmönsiirrin

Nestekiertoisessa lämmön talteenottojärjestelmässä lämpö siirretään nesteen välityksellä poistoilmasta tuloilmaan. Nesteenä on yleensä veden ja jäätymisenestoaineen seos. Väliaineena käytetään yleisimmin 30–40 % vesi–etyleeni-glykoliseosta, jota kierrätetään pumpun avulla tulo- ja poistoilmapatterien välillä. Yksinkertainen malli tämän tyyppisen lämmönsiirtimen toiminnasta on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4 Nestekiertoinen lämmönsiirrin (6)

Tulo- ja poistoilmapatterien rakenne on hyvin samanlainen, kuin lämmityspattereissa, mutta lämmönsiirtopinta-alaa on huomattavasti enemmän. Pattereilta vaaditaan suurta pinta-alaa pienien lämpötilaerojen vuoksi. Patterit ovat tyypillisesti 6–8-rivisiä, mutta suurta lämpötilasuhdetta tavoiteltaessa voi rivimäärä olla jopa 10 tai 12. (6.)

Valmistusmateriaalina käytetään yleisimmin kupariputkia tai profiloituja alumiinilamelleja. Tarpeen vaatiessa lamellit voidaan pinnoittaa kestävämmän korroosiota tai hylkimään likaa. Tämä kuitenkin vaatii lamellivälien harventamista ja heikentää lämmönsiirtoa. (6.)

Suurimmat edut nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa ovat tiiviys, pieni lisätilan tarve ja hyvät säätömahdollisuudet. Sitä voidaan myös käyttää, vaikka tulo- ja poistoilmakoneet eivät sijaitsisi lähellä toisiaan. (6.)



Nestekiertoisen järjestelmän lämpötilasuhde on yleensä noin 40–60 % riippuen etyleeniglykolin pitoisuudesta ja patterin syvyydestä (5). Järjestelmän täytössä tulee ottaa huomioon, että lämpötilasuhde on sitä parempi, mitä vähemmän jäätymisenestoainetta kiertävässä nesteessä on. Jäätymisenestoaineen käyttö on kuitenkin käytännössä aina pakollista, jotta kiertävä neste ei pääse jäätymään ja näin mahdollisesti rikkomaan järjestelmää. (6; 2.)

## 4.2 Levylämmönsiirtimet

Levylämmönsiirtimet koostuvat nimensä mukaisesti joukosta levyjä, joiden välistä ilma johdetaan siten, että joka toisessa levyvälissä kulkee poistoilmaa ja joka toisessa välissä tuloilmaa. Kuvassa 5 on esitetty levylämmönsiirtimen rakenne ja kuinka ilma johdetaan lämmönsiirtimeen.



*KUVA 5. Vastavirtalämmönsiirrin (6)*

Levyt valmistetaan hyvin lämpöä johtavasta materiaalista, yleisimmin alumiinista. Lämpö siirtyy johtamalla levyjen läpi. Ristivirtalämmönsiirtimien lämpösuhte on maksimissaan 60–65 % ja vastavirtalämmönsiirtimien parhaimmillaan yli 80 %. Motivan suorittamien tutkimusten mukaan levylämmönsiirrinten yleinen lämpötilasuhteen alue on 45–60 %. (7.)

Koska ilmavirrat eivät missään vaiheessa kosketa toisiaan, ovat levylämmönsiirtimet hyviä käytettäviksi kohteissa, joissa on korkeat vaatimukset hygienian suhteen. Levylämmönsiirtimet voidaan valmistaa niin tiiviiksi, että vuoto voi olla vähemmän kuin 0,5 % paine-erolla 400 Pa. Yksinkertaisen rakenteensa vuoksi ne ovat myös helppoja puhdistaa, kustannustehokkaita, eikä niissä ole helposti hajoavia liikkuvia osia. (6.)

Levylämmönsiirtimen tehoa voidaan ohjata säätöpelleillä, joilla myös voidaan sulattaa huurretta. Säätöpellin ohjatessa osan kylmästä tuloilmasta ohivirtauksen levyjen ohi, sulattaa lämmin poistoilma syntyneen huurteen. Siirrin jaetaan lohkoihin, joita voidaan avata ja sulkea vuorotellen säätöpelleillä. (6.)

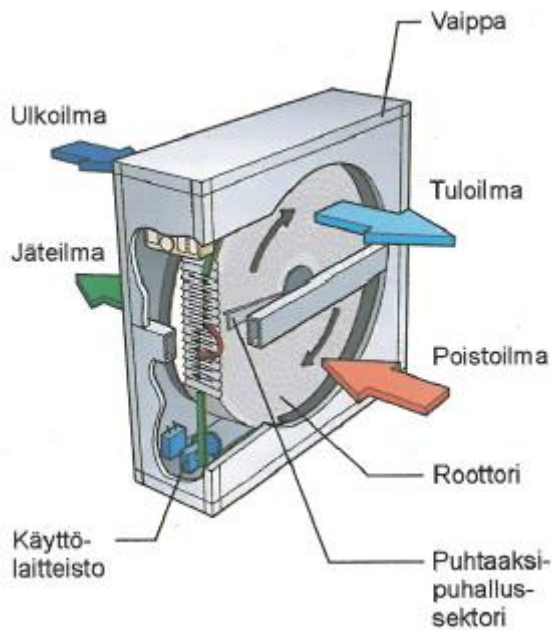
Levylämmönsiirtimien suurin ongelma on niiden huurtumisalttius. Kylmällä ilmalla lämmin poistoilma jäähtyy alle kastepistelämpötilan ja kondensoituu siirtimen levyjen pinnalle. Siirtimen pintalämpötilan laskiessa 0 °C:n alapuolelle, kosteus alkaa huurtumaan levyjen pinnalle. Huurtuminen alkaa niin kutsutusta ”kylmästä kulmasta”, jossa kylmin ulkoilma ja eniten lämpöä luovuttanut jäteilma kohtaavat. Huurtumista voidaan ehkäistä asentamalla esilämmityspatteri ulkoilmakanavaan, joka lämmittää ulkoilman haluttuun lämpötilaan (esim. –18°C). (6.)

### **4.3 Pyörivä lämmönsiirrin**

Pyörivässä lämmönsiirtimessä lämmön siirtyminen perustuu pyörivän kiekko-maisen roottorin varaaman lämmön siirtämiseen poistoilmasta tuloilmaan. Siirtimen kotelo on jaettu kahteen osaan, jonka toiselle puolelle virtaa poistoilmaa ja toiselle tuloilmaa kuvan 6 mukaisesti. Kahden osion välissä pyörivä LTO-kenno varaa poistoilmasta itseensä lämpöä ja vapauttaa sen tuloilmaan. (6.)

Pyörivä lämmönsiirrin on hyvä valinta sen suuren lämpötilasuhteen ja pienen tilantarpeen ansiota. Lämpötilasuhde pyörivissä lämmönsiirtimissä on tyypillisesti korkea, yleensä välillä 75–85 %. Roottori vaatii ilmavirran suuntaisesti tilaa vain noin 200 mm ja kokonaisuudessaan samassa suunnassa noin 400 mm. Näiden etujen vuoksi pyörivää lämmönsiirrintä pyritään käyttämään ilmanvaihdon LTO-laitteena, mikäli sen käyttö on tilan vaatimusten ja ilman puhtauden kannalta mahdollista. (6.)

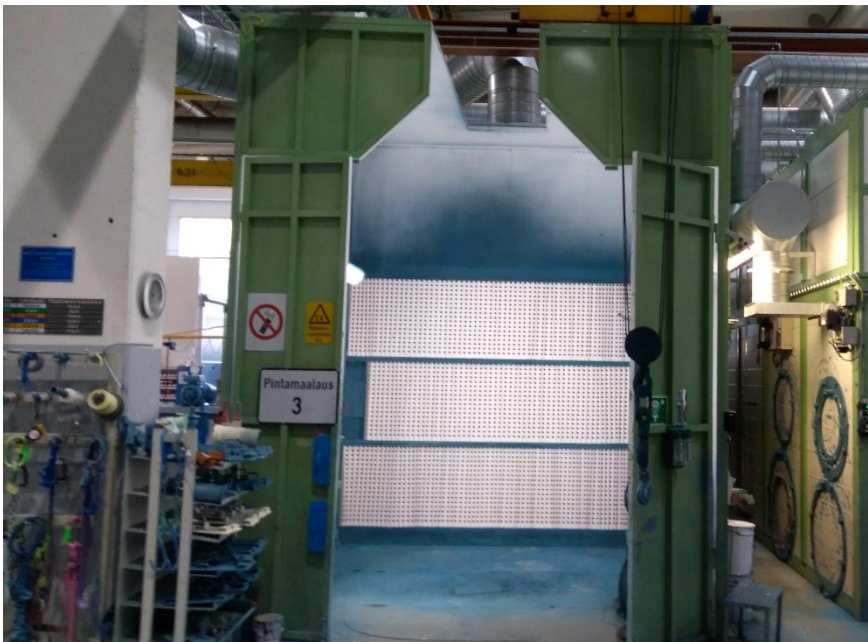
LTO-järjestelmää valittaessa tulee muistaa, että pyörivää lämmönsiirintä voidaan käyttää keskitetyssä ilmanvaihdossa vain, jos poistoilmassa on alle 5 % luokan 3 poistoilmaa (8). Mikäli ilmavaihtokone palvelee vain yhtä tilaa, voidaan pyörivää lämmönsiirintä käyttää likaistenkin tilojen LTO:ssa. Näissä tilanteissa tulee ottaa huomioon poistoilman mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet, esimerkiksi maalihiukkaset, jotka voivat tukkia roottorin. (6.)



KUVA 6 Pyörivä lämmönsiirrin (6)

## 5 ABB MM-RAKENNUKSEN TILANNE

ABB Oy:n MM-rakennuksessa valmistetaan ja maalataan suuria sähkömoottoreita erilaisia käyttötarkoituksia varten. Maalaamossa maalataan arviolta 20 moottoria vuorokaudessa (9). Maalaamon poistoilmapuhaltimet ovat vanhoja, ja ne on suunniteltu vaihdettaviksi syksyn 2017 aikana uusiin ATEX -suojattuihin puhaltimiin. Lisäksi tiloihin on kaavailtu nykyisten avointen maalauspisteiden (kuva 7) korvaamista suljetuilla maalauskaapeilla. (10.)



*KUVA 7 Pintamaalaamon avoin maalauspiste. Valkoiset levyt ovat pahvisia Andrea-värihoukkuja.*

### 5.1 Alkutilanne

Tällä hetkellä maalauskoipeista poistetaan 20,6 m<sup>3</sup>/s ilmaa, jonka lämpötila on noin 21 °C. Neljän maalausseinän, imuseinän ja laittilojen poistoilmasta ei oteta lämpöä lainkaan talteen. Ilma imetään maalauspisteiltä pahvisten Andrea-värihoukkujen läpi, josta ilma johdetaan käsittelemättömänä rakennuksen vesikatolle. Jokainen kohdepoisto on johdettu omalle puhaltimelle katolle, josta puhaltimet puhaltavat jäteilman suodatinkammioon ja sieltä avointen huolto-ovien kautta ulkoilmaan. Suodatinkammio ei ole enää käytössä (kuva 8).

Taulukossa 3 on LVI-Leinolat Oy:n vuonna 2014 tilojen poistoilmakanavista mitatut ilmavirrat ja painehäviöt. Taulukon 1 arvot on otettu Granlundin toimittamista kanavakuvista (liite 2).

*TAULUKKO 3 Poistoilmakanavista mitatut ilmavirrat ja painehäviöt (liite 2)*

<b>Kanava</b>	<b>ø (mm)</b>	<b>q<sub>v</sub> (l/s)</b>	<b>Δp (Pa)</b>
laitetilat	315	1800	245
pohjamaalaus 1	630	4300	290
pohjamaalaus 2	630	4300	440
pintamaalaus 3	630	3500	290
pintamaalaus 4	630	3500	220
imuseinä	630	3200	280

Maalaamon tilalla on aikaisemmin ollut hartsaamo, jonka poistoilma on suodatettu katolla olevassa suodatinkammiossa. Lämpöä on otettu talteen nestekiertoisella Ecoterm LTO -järjestelmällä. Katolla ollut järjestelmä ei tilan maalauksiksi muuttamisen jälkeen soveltunut tarkoitukseensa. Suodattimet ja LTO-kennot tukkeutuivat jatkuvasti, minkä takia ne poistettiin käytöstä poistamalla suodattimet ja hitsaamalla suodatuskammioiden huolto-ovet auki-asentoon. Kuvassa 8 näkyy vesikatolla oleva vanha suodatinkammio sekä LTO-kennot. (10.)



*KUVA 8 Pintamaalaamon entinen suodatinkammio ja Ecoterm LTO-kennot*

ABB:n kiinteistöpäällikön mukaan nykyiset puhaltimet ovat käynnissä koko ajan. Tämä tarkoittaa, että vuodessa maalaamon poistoilman mukana poistuu noin 2,7 GWh hyödyntämätöntä lämpöenergiaa (taulukko 2.) Ottaen huomioon, että

MM-rakennuksen vuoden 2016 lämpöenergian todellinen kulutus oli 10,2 GWh, voidaan hyvin toteutetulla lämmön talteenotolla saada aikaan merkittäviä säästöjä. Kohdepoistojen käyttöaikojen muuttaminen todellisen käyttötarpeen mukaiseksi laskisi myös ilmanvaihdon lämmityskustannuksia.

Taulukossa 4 on laskettu kaavan 1 mukaan maalauskaapeilta poistuvan ilman energiamäärä kuukausittain sekä poistetun ilmamäärän laskennalliset lämmityskustannukset kaukolämmöllä kaavan 2 mukaan. Kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat on otettu vuoden 2012 Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D3. Kaukolämmön hinta on laskettu ABB:n toimittamasta lämmönkulutuksen kirjanpidosta vuodelta 2016. Kaukolämmön verollisena hintana on käytetty 56,58 €/MWh ja verottomana 45,63 €/MWh.

$$Q_{ilma,kk} = \frac{q_{kk} * \rho_{ilma} * (T_{sisään} - T_{ulko}) * c_{ilma}}{3600} \quad \text{KAAVA 1}$$

$$KL_{kust} = Q_{ilma,kk} * K_{KL} \quad \text{KAAVA 2}$$

$Q_{ilma, kk}$  = Ilman mukana poistuva energiamäärä, kWh

$q_{kk}$  = Poistettava ilmamäärä kuukaudessa, tammikuu 55 175 040 m<sup>3</sup>

$\rho_{ilma}$  = Ilman tiheys, 1,21 kg/m<sup>3</sup>

$T_{sisään}$  = Sisään puhallettavan ilman lämpötila, 18 °C

$T_{ulko}$  = Ulkoilman keskilämpötila vyöhykkeellä 2, °C

$c_{ilma}$  = Ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/(K\*kg)

$KL_{kust}$  = Poistettavan ilman lämmityskustannukset kaukolämmöllä

$K_{KL}$  = Käukolämmön hinta, 56,58 €/MWh

TAULUKKO 4 Maalaamon poistoilman laskennalliset lämmityskustannukset

Kuukausi	$T_u$ (°C)	t (h)	$q_{kk}$ (m <sup>3</sup> /kk)	$Q_{ilma,kk}$ (MWh)	Kust.(€)	Kust.+alv (€)
tammikuu	-3,97	744	55175040	407,43	18591	23053
helmikuu	-4,5	672	49835520	376,88	17197	21324
maaliskuu	-2,58	744	55175040	381,65	17415	21594
huhtikuu	4,5	720	53395200	242,28	11055	13708
toukokuu	10,76	744	55175040	134,27	6127	7597
kesäkuu	14,23	720	53395200	67,66	3087	3828
heinäkuu	17,3	744	55175040	12,98	592	735
elokuu	16,05	744	55175040	36,16	1650	2046
syyskuu	10,53	720	53395200	134,06	6117	7585
lokakuu	6,2	744	55175040	218,83	9985	12382
marraskuu	0,5	720	53395200	314,07	14331	17770
joulukuu	-2,19	744	55175040	374,42	17085	21185
wotuinen	5,57	8760	649641600	2700,70	123233	152808

MM-rakennuksen lämmittämiseen kului 578 556 euroa vuonna 2016. Hinnassa on mukana alv. 24 %. Maalaamon poistoilman hyödyntäminen LTO-laitteilla tuuloilman lämmityksessä toisi siis merkittäviä säästöjä rakennuksen lämmityskustannuksiin.

## 5.2 Valintaprosessi

Suodatuksen ja LTO-järjestelmän valinta tehtiin kartoittamalla erilaisten ratkaisujen ominaisuuksia ja soveltuvuutta maalaamoon. Valittujen järjestelmien tulee soveltua maalaamon poistoilman suodattamiseen ja lämmön talteenottoon. Järjestelmien on oltava myös helposti huollettavissa.

Suodatuksen valintakriteerinä oli saada poistoilmasta mahdollisimman paljon maalipölyä talteen. Tällä pyritään vähentämään LTO-järjestelmän puhdistuksen tarvetta. Lisäksi suodattimien huollon ja vaihdon on oltava helposti suoritettavissa, sillä tehtaan oma henkilökunta suorittaa kiinteistön kunnossapidon.

Suodatuksen tyyppiä valittiin kuitusuodatus. Tässä työssä valinta perustui suurilta osin Eastern Research Group Inc.:n Yhdysvaltojen Ympäristövirastolle EPA:lle tekemään selvitykseen. Selvityksessä todettiin, että 20 tarkastellusta maalaamosta valtaosa eli 18 käytti poistoilman suodattamiseen (vaihdettavia) kuitusuodattimia. Selvityksen mukaan kuitusuodatus on tehokkain menetelmä maalipölyn suodattamiseen. (11.)

Venturipesurin käyttö olisi muuten mahdollisesti toimiva ratkaisu, mutta ABB ei halua pesuria sen korkeiden käyttökustannusten vuoksi. ABB on aikaisemmissa kohteissaan todennut, että pesurien huolto on työlästä ja kallista ja että sen tuottaman jäteveden hävittäminen ongelmajätteenä ei ole kannattavaa.

Sähkösuodattimien käyttö ei kohteessa onnistu, sillä kyseessä on räjähdysvaarallinen tila. Markkinoilta ei löytynyt kohteen ATEX-luokituksen täyttävää sähkösuodatinta.

Suodatuksesta huolimatta LOT-järjestelmä voi likaantua maalipölystä. Tämän vuoksi sen tulee olla helposti puhdistettavissa, jotta tehtaan oma henkilökunta voi suorittaa puhdistuksen.

LTO-järjestelmistä toimivimmaksi ratkaisuksi osoittautui nestekiertoinen lämmönsiirrin. Rakennuksen katolla on valmiiksi olemassa nestekiertoiselle lämmöntalteenotolle tarkoitettu lämmönsiirrin, johon LTO-järjestelmä voidaan kytkeä. Maalaamon poistoilmakanavat sijaitsevat niin kaukana yleisilmanvaihdon tuloilmakoneesta, että muunlaisten LTO-järjestelmien käyttö ei olisi järkevää.

### **5.3 Valittu suodatusjärjestelmä**

Suodatinjärjestelmäksi valittiin Dustec Oy:n tarjouksen perusteella Donaldsonin Downflo Oval -pölynpoistolaitteisto. Järjestelmä on paineilmalla puhdistettava suodatinjärjestelmä. Likainen poistoilma virtaa yksikön yläosasta sisääntulokammioon, josta pölyinen ilma ohjataan kammion alaspäin suodattimille. Suodattimet on asennettu vaakasuoraan suodatinkammion puhtaan ja likaisen puolen väliseinään. Vaakasuorat suodattimet ja laitteiston muotoilu hidastavat ilmavirtausta siten, että virtausnopeus on suodatuksen kannalta optimaalinen. Hidastettu ilmavirtaus vähentää myös pohjasuppilossa tapahtuvia poikkivirtauksia, jotka voisivat estää pölyn päätyä pohjatynnyriin. (12.)

Suodatuspatruunat puhdistetaan paineilmapulssilla, joka irrottaa pölyn suodattimesta. Irrotettu pöly laskeutuu pohjasuppiloa pitkin sulkuventtiilillä varustettuun 200 litran tynnyriin. Paineilmapulssi voidaan säätää toimimaan joko suodatinpatruunoiden paine-eron mukaan tai puhtaasti aikaohjelmalla. Laitteisto on ja-



ettu kahteen yksikköön, joista toinen käsittelee pintamaalaamon ja toinen pohjamaalaamon poistoilmaa. Pohjamaalaamon poistoilman suodatinyksikköön tulee kaksi ja pintamaalaamon suodatinyksikköön kolme pohjatynnyriä. (12.)

Suodatinmateriaalina patruunoissa on maadoitettu nanokuitupinnoitettu selluloosa. Patruunoita tulee pintamaalaamon suodatinyksikköön 36 kpl ja pohjamaalaamon suodatinyksikköön 48 kpl. Yhden suodatinpatruunan suodatuspinta-ala on 17,8 m<sup>2</sup>. Pintamaalaamon yksikön yhteenlaskettu suodatuspinta-ala on siis 640,4 m<sup>2</sup> ja pohjamaalaamon yksikön suodatuspinta-ala on 854,4 m<sup>2</sup>. Laskennallinen painehäviö molempien suodatinyksikköjen yli on 1,8 kPa. (12.)

Pintamaalaamon suodatinyksikön hinnaksi tulee ilman arvonlisäveroa 111 000 euroa ja pohjamaalaamon suodatinyksikön hinnaksi 128 000 euroa. Tarjouksen hintoihin sisältyy suodatinyksikön lisäksi

- kannatuspukit ja pölysuppilot pölynpoistolaitteille
- pölynpoistolaitteiden tuloyhteet
- paineentasauksella varustetut tynnyrit
- keskipakopuhaltimet
- puhaltimen ja laitteen välisen liitoskanavan kannakointeineen
- sähkökeskuksen laitteiston
- automaation kytkennät ja kaapeloinnin (liitteen 3 mukaisesti)
- Dustec Autobalance imutehon vakiointijärjestelmän taajuusmuuttajineen
- kattavan dokumentaation suunnittelusta, laitteistosta ja sen huollosta
- käyttö- ja huoltokoulutuksen käyttöönoton yhteydessä
- mekaanisen asennuksen (liitteen 3 mukaisesti)

Suodatinyksiköt tulee tilata maalaamon ATEX-luokituksen takia ATEX-varustelulla. Varusteisiin kuuluu

- katolle sijoitettava räjähdyspaneeli ja yksiköiden paineenkeston lisäys
- takaiskuventtiilit
- puhaltimien ATEX 3D sisäpuolisen varustuksen
- pneumatoimiset dia 300 kaksoisläppäpaketit
- ATEXin vaatimat muutokset sähkökeskukseen.

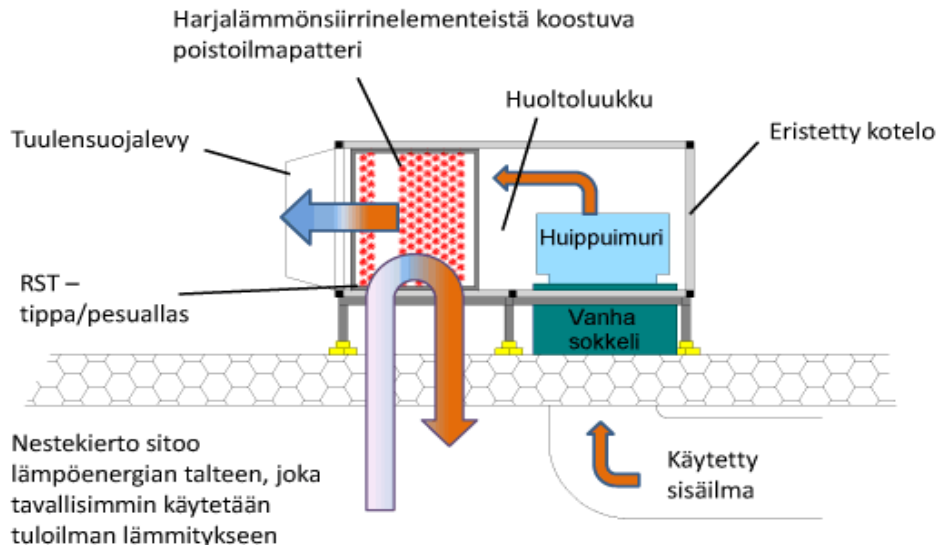
Tilaajan hoidettavaksi järjestelmän asennuskustannuksista ja järjestelyistä jää

- nostimet ja varastointitilat töiden ajaksi
- paineilmaputkisto liitääntään asti
- rakennustekniset työt, kuten:
  - perustukset
  - piikkaukset ja jälkivalut
  - mahdolliset läpivientiaukot
- mahdollinen telinekalusto.

ATEX-varusteet maksavat molemmille laitteille yhteensä 71 000 euroa ilman arvonlisäveroa. Suodatinten tämänhetkinen kappalehinta 239 euroa ilman arvonlisäveroa. Yhteensä 84 suodattimen verottomaksi hinnaksi tulee siis 20 076 euroa. Yhden suodatinpatruunan arvioitu kestoikä on noin 1–2 vuotta. Todellinen vaihtoväli tulee selvittää käytön yhteydessä pitkäaikaisella paine-eromittauksella suodattimien yli. (12.)

#### **5.4 Valittu LTO-järjestelmä**

Poistoilman LTO-järjestelmäksi valittiin Hydrocell Oy:n harjalämmönsiirtimet. Siirtimien harjarakenteen ansiosta siinä on suuri lämmönsiirtopinta-ala eikä se ole herkkä likaantumiselle. Harjapatteri voidaan puhdistaa imuroimalla ja/tai painepesurilla. Harjalämmönsiirtimen elementti koostuu alumiinilangoista, jotka on kierretty kahden kupariputken väliin. Kuvassa 9 on esitetty LTO-kennon rakenne. Kuvasta poiketen kohteessa poistoilma kulkee suodatinyksiköiden läpi ennen LTO-kennoa.



KUVA 9 Hydrocell LTO-kenno (13)

Molempien maalaamoiden poistoilmalle tulee oma LTO-kennonsa, jotka asennetaan suodattimien jälkeen. Kennoilta lämpö siirretään 35 prosenttisella vesietyleeniglykoliseoksella olemassa olevalle lämmönsiirtimelle. Taulukossa 5 on eriteltyinä pinta- ja pohjamaalaamon LTO-kennojen tekniset tiedot.

TAULUKKO 5 LTO-kennojen tekniset tiedot

	Pintamaalaamon LTO	Pohjamaalaamon LTO	
<b>Ilmavirta täysteho</b>	10,2	10,4	m <sup>3</sup> /s
<b>Ilmavirta mitoitusteho</b>	10,2	10,4	m <sup>3</sup> /s
<b>Lämpötila meno/paluu</b>	21,0/6,4	21,0/6,5	°C
<b>TEHO</b>	182,8	186,4	kW
<b>LTO-hyötysuhde</b>	54,2		%
<b>Ilman otsapintanopeus</b>	2,1	2,1	m/s
<b>Lämmönsiirtoneste</b>	Etyleeniglykoli 35		til-%
<b>Nestevirtaus</b>	3,00	3,06	dm <sup>3</sup> /s
<b>Lämpötila meno/paluu</b>	-3,1/12,8	-3,1/12,9	°C
<b>Nesteen virtausnopeus</b>	0,75	0,76	m/s
<b>Δp, ilman täysteho</b>	121	126	Pa
<b>Δp, ilma mit. Teho</b>	121	126	Pa
<b>Δp, neste</b>	105	107	kPa
<b>Yksikön päämitat (LxKxS)</b>	3295 x 1680 x 1080	3296 x 1680 x 1080	mm
<b>Otsapinta (LxK)</b>	3010 x 1620	3011 x 1620	mm
<b>Nesteyhde</b>	76,1	76,1	mm
<b>Massa</b>	n. 1020	n. 1021	kg
<b>Nestetilavuus</b>	96	96	dm <sup>3</sup>

Toisin kuin Dustecin tarjouksessa, Hydrocellin tarjous ei sisältänyt asennustöitä. Asennustyöt on helpoin yhdistää jo suunniteltuun LTO-verkoston saneeraukseen. Kennojen tuottama lisäteho on syytä ottaa huomioon saneerauksen toteutusta arvioitaessa. Tarjouksen kokonaishinnaksi tuli 36 000 euroa ja se sisältää:

- 2 kpl Cu/Al harjalämmönsiirtimet
- laipalliset nesteyhteet ilmausyhteellä
- huoltoluukun patterin päällä pesua varten
- RST-altaan, viemärointi V32 haluttuun suuntaan
- alumiinikuoret, eristys 30 mm XPS®
- nostokorvakkeet. (14.)

Tarjoukseen on mahdollista sisällyttää lisätilauksella myös

- tuulensuojapellit
- ulkokuoret RR-värikartan mukaisella Hard Coat® -pellityksellä
- säädettävät asennusjalat
- IT-listat kanavointia varten.

## 6 KUSTANNUKSET

ABB:n MM-rakennuksen kaukolämpökustannuksiin kului 579 000 euroa vuonna 2016. Tästä summasta 153 000 euroa kului pohja- ja pintamaalaamoiden poistoilman lämmittämiseen (taulukko 3). Kustannuksissa on otettu huomioon luvuissa 5.3 ja 5.4 eriteltyt hinnat. Hinnat ovat ilman arvonlisäveroa.

### 6.1 Investointikustannukset

Investointikustannukset on laskettu saatujen tarjouksien perusteella. Kustannuksissa ei ole huomioitu tarjouksiin kuulumattomia töitä, sillä niiden hinnat saadaan vasta, kun asennuksien tarkat sijainnit ovat tiedossa. Investointeihin on mahdollista anoa innovaatorahoituskeskus Tekesiltä enintään 20 % investointitukea. Tuki voidaan myöntää kaiken kokoisille yrityksille, jotka ovat liittyneet Tekesin energiatehokkuussopimukseen. (15.) Investointikustannukset on esitetty taulukossa 6.

*TAULUKKO 6 Investointikustannukset*

	Investointikustannukset	Investointituki	Kustannukset tuilla
	€	€	€
<b>Pintamaalaamon suodatinyksikkö</b>	111000	22200	88800
+ ATEX-varusteet	31500	6300	25200
<b>Pohjamaalaamon suodatinyksikkö</b>	128800	25760	103040
+ATEX-varusteet	39500	7900	31600
<b>Hydrocell LTO-kennot 2kpl</b>	36000	7200	28800
<b>Yhteensä</b>	<b>346800</b>	<b>69360</b>	<b>277440</b>

### 6.2 Käyttökustannukset

Käyttökustannuksia järjestelmän käytöstä muodostuu pääasiassa suodattimien vaihdosta, likaisten suodattimien ja maalijätteen hävityksestä sekä järjestelmän aiheuttamista energiakustannuksista. 84 suodattimen vaihdon verottomaksi hinnaksi tulee 20 076 euroa. Suodattimia on koko järjestelmässä yhteensä 84 kappaletta ja yhden suodatinpatruunan hinta on 239 euroa. Suodatinpatruunoiden vaihtaminen on tehty mahdollisimman yksinkertaiseksi, joten se voidaan suorittaa tehtaan oman henkilökunnan toimesta ilman lisäkustannuksia. Fortum Wastolutionsin (ent. Ekokem) mukaan maalilla likaantuneet jätteet luokitellaan

vaaralliseksi jätteeksi (16). Suodattimien ja maalijätteen hävityskustannukset on tarkastettava esimerkiksi Stormossenilta ja otettava huomioon järjestelmän käyttökustannuksissa.

Molemmissa suodatinyksiköissä on keskipakopuhaltimet, joiden hyötysuhteeksi toimittaja ilmoitti 86 %. Samaa hyötysuhdetta on käytetty aikaisempien kohteiden laskennassa. Suodatinvalmistaja on ilmoittanut molempien yksiköiden laskennalliseksi painehäviöksi 1800 Pa. Puhaltimien sähkönkulutuksen laskennassa käytettiin painehäviönä 2000 Pa kanavaosien ja suodattimien likaantumisen kompensoimiseksi. Sähkönkulutus laskettiin ympärivuorokautisella käytöllä, jotta tuloksista saatiin vertailukelpoisia. Puhaltimien sähkönkulutus on laskettu kaavalla 3. Puhaltimien yhteenlasketuksi sähkönkulutukseksi saatiin 488 MWh/a. Sähkön hinta on laskettu ABB:n toimittamasta lämmönkulutuksen kirjanpidosta vuodelta 2016. Sähkön verolliseksi hinnaksi saatiin 88,64 €/MWh ja verottomaksi 71,49 €/MWh. Käyttökustannukset on esitetty taulukossa 7.

$$E_{puh} = \left( \frac{P_{puh}}{\eta} * \Delta t \right) / 1000$$

KAAVA 3

$E_{puh}$  = Puhaltimien sähkönkulutus, MWh

$P_{puh}$  = Puhaltimen laskennallinen teho, kW

$\eta$  = toimittajan puhaltimelle ilmoittama hyötysuhde, %

$\Delta t$  = Puhaltimen käyntiaika vuodessa, 8760 h

Taulukossa 7 on eriteltyä järjestelmän vuosittaiset käyttökustannukset. Kustannuksissa on huomioitu suodattimien vaihto vuosittain sekä puhaltimien laskennallinen sähkönkulutus.

TAULUKKO 7 Järjestelmän käyttökustannukset

KÄYTTÖKUSTANNUKSET	kust. (€)	kust. + alv. (€)
suodattimien vaihto	20076	24894
Puhaltimet	34886	43259
<b>Yhteensä</b>	<b>54962</b>	<b>68153</b>

### 6.3 LTO:n säästöpotentiaali ja takaisinmaksuaika

Hydrocell ilmoitti järjestelmän lämpötilasuhteeksi 54,2 %. Ympäristöministeriön D3:n LTO-laskinta käyttämällä saatiin poistoilman vuosihyötysuhteeksi  $\eta_a$  41 %. Kuukausittain hyödyksi saatu lämpöenergia on laskettu kaavalla 4. Taulukossa 8 on lueteltu säästöpotentiaalit, vuosittaiset kustannukset ja säästöt sekä takaisinmaksuajat.

$$Q_{LTO} = Q_{ilma, kk} * \eta_a \quad \text{KAAVA 4}$$

$Q_{LTO}$  = LTO:lla hyödyksi saatu lämpöenergia, kWh

$Q_{ilma, kk}$  = Poistettava ilmamäärä kuukaudessa, tammikuu 55 175 040 m<sup>3</sup>

$\eta_a$  = poistoilman vuosihyötysuhde, %

TAULUKKO 8 Takaisinmaksuajat

Säästö-potentiaali	Kustannukset (€/a)	Säästö (€/a)	Takaisinmaksu-aika tuilla (a)	Takaisinmaksu-aika ilman tukia (a)
62651	68153	22004	12,6	15,8

Järjestelmän kannattavuuteen voi vaikuttaa kaukolämmön ja sähkön hinnan muutokset. Lisäksi järjestelmän asennuskustannukset tulevat nostamaan hintaa.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä selvitys vaadittavista toimenpiteistä ABB Oy:n maalaamon kohdepoistojen poistaman lämpöenergian hyödyntämisestä tuloilman lämmityksessä. Tavoitteena oli löytää sopiva suodatus- ja LTO-järjestelmä, joka soveltuu maalaamon likaisten ilmavirtojen käsittelyyn.

Sopivia ratkaisuja kartoitettaessa havaittiin, että maalipöly tuottaa monenlaisia ongelmia etenkin suodatuksen kannalta. Järjestelmän valintakriteereinä oli helppo huollettavuus ja maltilliset käyttökustannukset. Toimivimmaksi ratkaisuksi osoittautui paineilmapuhdisteinen patruunasuodatin. Suodattimien vaihto on yksinkertaista ja onnistuu tehtaan omalta henkilökunnalta ilman lisäkustannuksia.

Nestekiertoinen LTO oli tutkituista vaihtoehdoista ainut kohteeseen soveltuva LTO-järjestelmä. Maalaamon kohdepoistojen ja tuloilmakoneen välinen matka on niin pitkä, että ilmanvaihtokanaviston tuloilmakoneelle ei olisi järkevää. Muut LTO-järjestelmät edellyttäisivät tulo- ja poistoilmakanavien vetämistä lähelle toisiaan. Valitun LTO-järjestelmän hinta tulee todennäköisesti vielä nousemaan asennuskustannuksien myötä.

Ennen hankkeen toteuttamista poistoilman maalipitoisuus ja hiukkasten kokoja-kauma tulee mitata suodatuksen soveltuvuuden varmistamiseksi. Lisäksi kustannusarviota tulee tarkentaa maalilla likaantuneiden suodattimien ja suodatusyksikköön kerätyn maalipölyn hävityskustannuksien osalta. Pidemmällä aikavälillä suoritettu kilpailuttaminen todennäköisesti laskisi järjestelmän kokonaishintaa ja alentaisi takaisinmaksuaikaa.



## LÄHTEET

1. Poranen, Tuomo 2013. Räjähdyssuojausasiakirja MM-rakennus. SK Protect Oy.
2. Sandberg, Esa 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
3. Kulmala, Ilpo – Heinonen, Kimmo – Riipinen, Hannu – Säämänen, Arto – Welling, Irma 2004. Pölyntorjunta. Kansainvälinen yhteistyö- ja tiedonvälityshanke hyvien työympäristöratkaisujen kehittämiseksi Tampere. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf> Hakupäivä 15.3.2017.
4. Venturi wet scrubber. 2016. Sly Inc. Saatavissa: <https://www.slyinc.com/products/wet-scrubbers/venturi-wet-scrubber/> Hakupäivä 26.4.2017.
5. Seppänen, Olli 1994. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen Ivi-yhdistysten liitto.
6. Sandberg, Esa 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
7. Energiakatselmoijan käsikirja. 2016. Motiva.Oy. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/1696/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-2-luku-2-4-A.pdf> Hakupäivä 23.3.2017.
8. D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187/D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187/D2-2012_Suomi.pdf). Hakupäivä: 21.3.2017.
9. Mäenpää, Markku. Fw: ATEX testaus. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Tuominen, Pasi; Pajuniemi, Pekka 13.12.2012.

10. ABB:n MM-rakennuksen henkilöstön haastattelut 5.5.2017.
11. Heaney, Mike – Palmer, Brian 2006. Review of Spray Booth Filter Information for the Area Source Motor Vehicle and Mobile Equipment Refinishing National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP).
12. Juntunen, Markku. Re: tarjouspyyntö maalaamon poistoilman suodatuksesta opinnäytetyötä varten. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Alanen, Janne 22.5.2017.
13. Lämmöntalteenotto. 2017. Hydrocell Oy Saatavissa: <http://www.hydrocell.fi/lammonsiirtimet/lammontalteenotto/> Hakupäivä 29.6.2017.
14. Keinänen, Mikko. Re: Maalaamon LTO. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Alanen, Janne 23.5.2017.
15. Energiatuki. 2017. Tekes. Saatavissa: <https://www.tekes.fi/rahoitus/pk-yritys/energiatuki/> Hakupäivä 27.5.2017.
16. Vaarallisten jätteiden käsittely. 2017. Fortum Wastesolutions. Saatavissa: <http://wastesolutions.fortum.com/fi/palvelut/vaarallisten-jatteiden-kasittely/> Hakupäivä 22.5.2017.

