

Maalaamon poistoilman lämmöntal- teenotto

Panu Siirtola

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Siirtola, Panu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2016
	Sivumäärä 47	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Maalaamon poistoliman lämmöntalteenotto		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikka		
Työn ohjaaja(t) Hytönen Kari		
Toimeksiantaja(t) Siltala Juha, Rapala VMC Oyj		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö toteutettiin Rapala VMC Oyj:n tehtaan maalaamoon Vääkseen. Työn tavoitteena oli tehdä esiselvitys siitä kuinka maalaamon poistoilmasta voitaisiin ottaa lämpö takaisin hyötykäyttöön. Selvityksen tuli sisältää markkinoilla olevista laitteistoista kohteeseen sopivimmat vaihtoehdot.</p> <p>Valituista laitteista tuli kartoittaa mahdolliset valmistajat, sekä niiden kustannukset. Kustannuksien ja laitteiston tuoman säästöpotentiaalın avulla tuli selvittää investoinnin takaisinmaksuaika.</p> <p>Laitteistojen valitsemiseksi perehdyttiin erityisesti suodattimien, sekä lämmönvaihdintekniikoiden teoriaan useista eri lähteistä. Teoriapohjalta valittiin muutama kohteeseen so-piva vaihtoehto. Valittujen tekniikoiden pohjalta kilpailutettiin lähialueella toimivien yritysten tarjoamia ratkaisuja. Tehtaalta saatujen lähtöarvojen ja kilpailutettujen laitteiden tietojen pohjalta laskettiin järjestelmän tuoma hyöty. Työhön selvitettiin myös asennukseen sekä huoltoon liittyvät tärkeimmät huomiot.</p> <p>Saavutettujen tuloksien ja tarjouksien avulla Rapala VMC Oyj pystyy suoraan tilaamaan tar-jotut laitteistot, tai pystyy helposti teoriaosuuden avulla selvittämään lisää mahdollisia vaihtoehtoisia ratkaisuja.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Esiselvitys, poistoilma, maalaamo, lämmöntalteenotto, ilmansuodatus, lämpöpumppu		
Muut tiedot		

Author(s) Siirtola, Panu	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 47	Permission for web publication: x
Title of publication Heat Recovery from Exhaust Air in a Paint Shop		
Degree programme Degraa Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Hytönen, Kari		
Assigned by Siltala Juha, Rapala VMC Oyj		
Abstract <p>The bachelor's thesis was assigned by Rapala VMC Corporation for their factory in Vääksy. The main purpose of the thesis was to create a preliminary report on how the energy from the exhaust air in the paint shop could be reused. The report was to include the most suitable equipment options on the market.</p> <p>The possible manufacturers of the selected equipment and their prices were to be researched. The payback time was to be calculated using the costs of the equipment and the savings made with the investment.</p> <p>To choose the equipment, the theory of air filters and heat exchangers in particular was studied using a variety of sources. A couple of appropriate options were chosen based on the study and bids were sought for the solutions offered by companies operating in the local area. The factory's known output values and the values received from the equipment were used to calculate the benefit to be created with the investment. The work also examined the installation, as well as the most significant findings related to maintenance.</p> <p>Rapala VMC Corporation can use the results and the bids to directly order the equipment provided, or can easily find more possible alternative solutions using the theory chapters.</p>		
Keywords/tags (subjects) Preliminary report, exhaust, paint shop, heat recovery, air filtering, heat pump		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto: Asetuksista käytäntöön.....	4
2	Poistoilman lämmöntalteenotto.....	6
	2.1 Lämmöntalteenottolaitteet.....	8
	2.2 Lämpöpumpun toiminta.....	8
	2.3 Likaisten ilmavirtojen hyödyntäminen.....	10
	2.3.1 Poistoilman epäpuhtaudet.....	10
3	Ilman suodatus ja pölyerottimet.....	12
	3.1 Syklonit.....	12
	3.2 Kuitusuodattimet.....	12
	3.3 Sähkösuodattimet.....	13
	3.4 Venturipesurit.....	14
4	Lämmönsiirtimet.....	15
	4.1 Regeneraattori.....	15
	4.2 Levysiirrin.....	16
	4.3 Nestekiertoinen järjestelmä.....	18
	4.4 Lämpöputkipatteri.....	20
5	Case Rapalan pintakäsittelyn lämmöntalteenotto.....	21
	5.1 Rapala VMC Oyj.....	21
	5.2 Alkutilanne.....	21
	5.2.1 Energian kustannukset ja LTO-potentiaali.....	23
	5.3 Toimenpiteet.....	27
	5.3.1 Suodatus.....	28
	5.3.2 Lämmön käyttökohde.....	31
	5.3.3 Lämmöntalteenotto laitteisto.....	31
	5.4 Asennus.....	33
	5.5 Huolto.....	35

5.6	Järjestelmän kustannukset ja takaisinmaksuaika	36
5.6.1	Investointituki.....	38
6	Yhteenveto	39
7	Analysointi.....	42
	Lähteet.....	44
	Liitteet	47

Kuviot

Kuvio 1. Lämpöpumpun komponentit (How to install a water heater. 2013.).....	8
Kuvio 2. Pyörivä regeneraattori (Sandberg, E. 2004.).....	16
Kuvio 3. Ristivirtalevylämmönsiirrin (Sandberg, E. 2004.).....	17
Kuvio 4. Vastavirtalevylämmönsiirrin (Sandberg, E. 2004.).....	18
Kuvio 5. Nestekiertoinen järjestelmä (Sandberg, E. 2004.).....	19
Kuvio 6. Putkistojen jako.....	33
Kuvio 7. Suodattimien sijoittaminen.....	34
Kuvio 8. Kaasun kustannuskäyrä (Economist Intelligent Unit. 2015.).....	38

Taulukot

Taulukko 1. Poistoilmojen energiasisältöjä.....	7
Taulukko 2. Poistoilmapuhaltimien virtausmäärät.....	22
Taulukko 3. Poistoilman energiamäärän kustannukset.....	24
Taulukko 4. Lämmöntalteenoton käyttökustannukset.....	26
Taulukko 5. Säästöpotentiaali.....	27
Taulukko 6. Poistuvat pölymäärät.....	29
Taulukko 7. Investointien kustannukset ja investointituet.....	36
Taulukko 8. Takaisinmaksuajat.....	37
Taulukko 9. Suodatintyyppien ominaisuudet (Säämänen ym. 2004).....	39
Taulukko 10. Lämmönvaihdinten ominaisuudet.....	40

Kaavat

Kaava 1. Kuukaudessa poistuvan ilman energiamäärä.....	6
Kaava 2. Poistoilman mukana poistuva energiamäärä.....	23
Kaava 3. Poistoilman energiamäärän hinta kaasuna.....	23
Kaava 4. Lämmöntalteenottolaitteiston tuottama energiamäärä.....	25
Kaava 5. Lämmöntalteenottolaitteiston käyttökustannus.....	25
Kaava 6. Säästöpotentiaali.....	26

1 Johdanto: Asetuksista käytäntöön

Joulukuun 12. päivä vuonna 2015 laaditun Pariisin Ilmastopöytäkirjan on allekirjoittanut 196 maata. Ilmastopöytäkirjan tavoitteena, on taistella ilmastonmuutosta vastaan taistelevan sopimuksen päätavoitteena on ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen alle 2 °C suhteessa 1800-luvulla mitattuun lämpötilaan. Mittausjakson alku on sijoitettu Euroopassa alkaneeseen voimakkaan teollistumisen vaiheeseen. (UN Climate Change Report 2016.)

Pariisin Ilmastopöytäkirja on jatkoa muun muassa vuonna 2005 voimaan astuneelle Kioton Ilmastopöytäkirjalle, joka täsmentää Yhdistyneiden Kansakuntien ilmastopöytäkirjasta UNFCCC:tä (United Nations Framework Convention on Climate Change). Kyseiset sopimukset ovat avainasemassa ohjaamassa maita rajoittamaan kasvihuonekaasupäästöjään ja täten hidastamaan ilmaston lämpenemistä.

Ilmastopöytäkirjat luovat valtioille velvoitteita hillitä syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Kyseisiin tavoitteisiin päästään mm. vähentämällä fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa, energiansäästöillä eri toimialueilla, sekä energiatehokkuuden parantamisella. (Ilmastonmuutoksen hillintä 2013.)

Yrityksiin kyseiset sopimukset heijastuvat valtion asettamien velvoittein ja sanktioin. Ympäristöystävällisiä investointeja myös tuetaan ja hiilidioksidineutraaliin energiantuotantoon tarjotaan syöttötariffeja. Suurin yksittäinen ohjauskeino suuryrityksille on vuoden 2015 lopulla pakolliseksi tullut energiakatselmus. Energiakatselmuksessa analysoidaan yrityksen energiankäyttö, johon sisällytetään yksittäisten kohteiden katselmuksia. Energiankäytön analysoinnin kautta selvitetään kohteet, joissa voidaan parantaa energiatehokkuutta. (Suurten yritysten pakolliset katselmukset N.d.)

Yrityksen toimiessa mallikkaasti ympäristöasioissa, se saa suuren markkinointivaltin olemalla edelläkävijä energiatehokkuudessa ja päästöjen vähentämisessä.

Yritykset saavat myös taloudellista hyötyä energiatehokkuutta parantavien investointien tekemisestä. Energiatehokkuuden parantaminen alentaa suoraan tuotantokustannuksia ja vähentävät mahdollisesti tarvittavan poltto- tai raaka-aineen ostamista.

Teollisuudessa energiatehokkuutta pystytään parantamaan parhaiten keskittymällä itse prosessiin. Usein pelkällä prosessin säädöllä voidaan saavuttaa valtavia säästöjä, koska ne kuluttavat suurimman osan laitoksien energiasta. Kuitenkin prosessin toimivuuden, sekä lopputuotteen laadun takaamisen vuoksi prosessin muuttaminen voi olla ongelmallista. Helpompia säästökohteita ovat jo systeemistä poistuvat energiavirrat, esimerkiksi lämmin vesi tai ilma.

Prosesseista helposti talteen otettavat energiavirrat ovat usein jo hyödynnetty. Vaikeammin hyödynnettäviä energiavirtoja kuitenkin löytyy paljon. Esimerkiksi likaisia poistoilmoja ei usein hyödynnetä korrosoivien, sekä lämmönvaihtimia likaavien syiden vuoksi. Suuret poistoilmavirrat hyödyntämättä hukkaavat paljon energiaa. Kyseinen energia olisi oikeanlaisella tekniikalla valjastettavissa hyötykäyttöön. Tämän tekniikan tutkimisella ja tietouden kokoamisella pystyi luoda hyvän lähteen, jonka motiivina lämmöntalteenottoa voitaisiin lisätä.

Tämä opinnäytetyö kokoaa eri tekniikoita poistoilman lämmöntalteenottoon, huomioiden niiden ongelmat.

2 Poistoilman lämmöntalteenotto

Suomen ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelman D2 mukaan asuntojen ilmvaihtokertoimen on oltava vähintään 0,5 1/h, eli huoneiston ilmamäärän on vaihduttava kokonaan kahden tunnin kuluessa. Yksi kuutiometri 21 °C poistoilmaa sisältää 5.36 W/h energiaa suhteessa vuoden keskilämpötilaan. Eli vuorokaudessa 100 m³ asunnosta poistetaan pelkästään poistoilman kautta noin 6.4 kWh energiaa.

Useissa kohteissa vaaditaan kuitenkin suurempia ilman vaihtuvuuskertoimia ilmanlaadun takaamiseksi. Esimerkiksi luentosalit, joissa on säännöllisesti enemmän ihmisiä vaativat huoneeseen otettavaksi ulkoilmaksi 3 (dm³/s)/m². Ravintoloissa vastaava määrä on 10 (dm³/s)/m², sekä tehtaissa vähintään 1,5 (dm³/s)/m². Tehtaiden tuotantotiloissa vaihtuvuudet voivat olla jopa korkeammat riippuen työn luonteesta, esimerkiksi ruiskumaalaamossa, jossa on 5 maalauskaappia, poistoilmamäärä voi olla jopa 82 (dm³/s)/m². Taulukossa 1 on koottu poistuvan energian määriä sekä lämpöpumppujärjestelmillä saavutettavia energiansäästöpotentiaaleja, jotka on laskettu kaavalla 1.

Kaava 1. Kuukaudessa poistuvan ilman energiamäärä

$$E_{\text{ilma,kk}} = Q_{\text{kk}} * \rho_{\text{ilma}} * (T_{\text{sisällä}} - T_{\text{keski}}) * C_{\text{ilma}}$$

jossa

$E_{\text{ilma,kk}}$	on kuukaudessa poistuvan ilman energiamäärä, kWh/kk
ρ_{ilma}	on ilman tiheys, 1,205 kg/m ³
C_{ilma}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/(K*kg)
$T_{\text{sisällä}}$	on poistettavan ilman lämpötila, 22 °C
T_{keski}	on Suomen keskilämpötila, 5 °C

Taulukko 1. Poistoilmojen energiasisältöjä

Huoneistotyyppi	Huoneistokoko [m ²]	Poistoilman energiasisältö [kWh/kk]	Poistetun ilman arvo sähkölämmittynä [€/kk]
Kerrostaloasunto	40	205	16.01
Omakotitalo	100	512	40.02
Omakotitalo	250	1280	100.06
Luentosali	100	4425	345.79
Ravintola	150	22124	1728.97
Tehdashalli	1000	22124	1728.97
Ruiskumaalaamo	110	132743	10373.85

Kyseinen lämpöenergia on otettavissa talteen, joko lämmönvaihdin ratkaisulla tai poistoilmalämpöpumpulla (PILP). Kuitenkaan poistoilman palauttaminen tai siirtäminen toiseen tilaan ei ole sallittua, jos poistettavassa tilassa prosessit, kemikaalit, kosteus tai hajut huonontavat poistoilman laatua (D2 Suomen RakMk 2002, 9). Kyseisissä tapauksissa lämmöntalteenotto on suoritettava poistoilmalämpöpumpulla tai jollakin muulla systeemillä, jossa poisto- ja paluuilmavirtojen sekoittumista ei tapahdu.

Erittäin tärkeää on myös pohtia kuinka talteen otettu energia tullaan hyödyntämään. Lämpöenergia voidaan hyödyntää esimerkiksi suoraan takaisinpuhallettavan ilman lämmitykseen, tehtaalla tai laitoksella olevaan prosessiin, tai lämpimään käyttöveeseen.

Lämpöä talteen otettaessa on oleellista, että saatu lämpöenergiaa voidaan syöttää suoraan hyötykäyttöön. Suoralla hyödyntämisellä vältetään lämmön varastoinnin häviöt. Kuitenkin lämminvesivaraajaan lämmön varastoiminen onnistuu, etenkin pienillä kapasiteeteilla. Lämminvesivaraajaa käytetään usein puskurivarana lämmintä käyttövettä varten tai sykleittäin toimivissa prosesseissa.

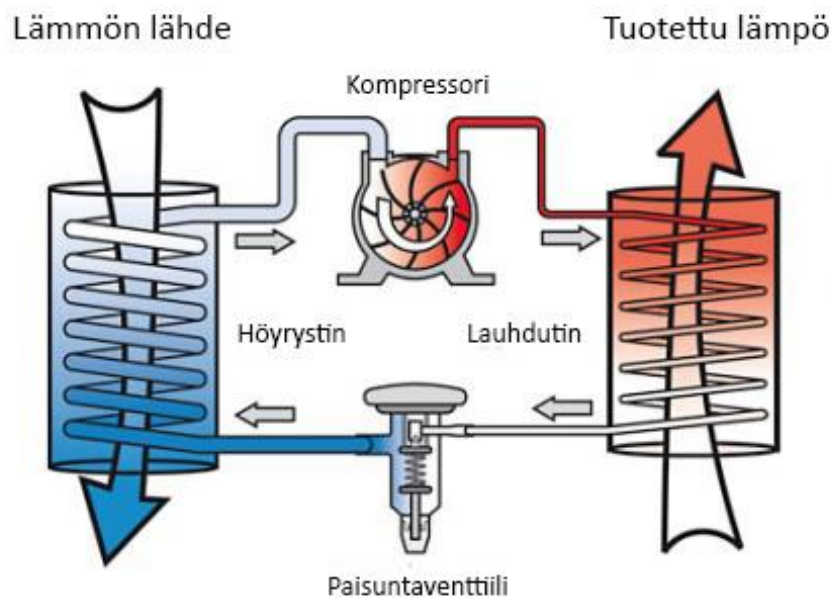
Energianlähteen ja hyödynnettävän kohteen välimatka tulee olla suhteellisen lyhyt, ettei matkalle synny turhia paine sekä lämpöhäviöitä, eivätkä putkistokustannukset kasva liian suuriksi suhteessa säästöpotentiaaliin.

2.1 Lämmöntalteenottolaitteet

Lämmöntalteenottolaitteet koostuvat yksinkertaisimmillaan lämmönvaihtimista, joissa poistuvasta ilmavirrasta lämpö johtuu suoraan sisään puhallettavaan ilmaan. Lämmönvaihdinjärjestelmien hyötysuhteita on pyritty parantamaan ratkaisuilla, joissa joko neste tai itse lämmönvaihdin varastoi lämpöenergiaa, eli tekemällä lämmönvaihtimesta regeneratiivisen. Kyseisissä ratkaisuissa hyötysuhde on parempi, koska metallit siirtävät ja etenkin nesteet pystyvät varastoimaan lämpöenergiaa paremmin, kuin pelkkä ilma. Myös nesteiden kiertoa hyödynnetään lämmönvaihdinjärjestelmissä, lisäämään lämmön siirtymistä ilmavirrasta toiseen.

Joissain tapauksissa osa poistettavasta ilmasta sekoitetaan tuloilmaan, joka lisää lämmöntalteenoton hyötysuhdetta huomattavasti. Kuitenkin kyseistä ratkaisua ei pystytä hyödyntämään tilanteissa joissa poistoilman laatu ei täytä tuloilman puhtausvaatimuksia. (Liddament, M.W. 1996.)

2.2 Lämpöpumpun toiminta



Kuvio 1. Lämpöpumpun komponentit (How to install a water heater. 2013.)

Termodynamiikan nollannen pääsäännön mukaan, lämpöenergia siirtyy aina kuumemmasta kylmempään. Esimerkiksi kahvi jäähtyy, kunnes se on huoneenlämpöistä. Lämpöpumpulla tilanne käännetään pääläelleen, eli siirretään lämpöä viileämmästä lämpimämpään.

Tilanne ei vaadi silti fysiikan lakien muuttamista. Siihen käytetään Carnot-prosessia, jonka mahdollistaa suljetussa piirissä kierrätettävä kylmäaine, joka valitaan prosessiin sopivien lämmönsiirto ominaisuuksien mukaan. Kylmäaineet höyrystyvät usein matalassa lämpötilassa, sekä pystyvät sitomaan suuria määriä lämpöenergiaa.

Aineen olomuodonmuutos nesteestä höyryksi vaatii paljon energiaa. Kylmäaine pyritään siis höyrystämään siinä vaiheessa, kun se kiertää viileämmässä tilassa, jotta lämpöenergiaa saadaan siirrettyä mahdollisimman paljon. Matalan höyrystymislämpötilan ansiosta erittäin kylmä lämmönvaihdin-neste sitoo lämpöä viileästä huoneesta itseensä ja höyrystyy. Tämän vuoksi lämpöpumpun viileässä tilassa olevaa lämmönvaihdinta kutsutaan höyrystimeksi.

Höyrystyminen saadaan aikaan laskemalla painetta höyrystimessä. Sama ilmiö tapahtuu jos vettä keitetään vuoristossa. Paineen laskiessa, laskee myös lämpötila jossa aineet höyrystyvät. Vesi alkaa kiehua alle sadassa Celsiusasteessa.

Paineen laskeminen höyrystinosassa suoritetaan kompressorilla. Kompressorin poistaa höyrystimestä kylläistä höyryä ja puristaa sen pienempään tilavuuteen, kompressorin toiselle puolelle. Kylmäainehöyryn puristuessa sen paine kasvaa ja se tiivistyy takaisin nesteeksi kiehumispisteen muutoksen vuoksi. Kyseistä puolta kompressorista kutsutaan korkeapainepuoleksi. Korkeapainepuolelle puristuneessa lämmönvaihdin-nesteessä höyrystymisestä sekä kompressorin tekemästä työstä saatu energia muuntuu lämmöksi.

Kyseinen lämpö vapautetaan korkeapainepuolen lämmönvaihtimessa, lauhduttimessa, joko suoraan ilma- tai vesivirtaan, mutta usein käytetään myös välivarastona toimivaa lämminvesivaraajaa.

Luovutettuaan lämpönsä neste siirtyy paisuntaventtiilin kautta takaisin matalapainepuolelle höyrystimeen, jossa kierto alkaa alusta.

Poistoilmalämpöpumput toimivat samalla periaatteella kuin muutkin lämpöpumput, mutta systeemin kylmätilana toimii rakennuksesta poistettava lämmin ilma. (Aittomäki, A., Aalto, E. 2012, 336 - 360)

2.3 Likaisten ilmavirtojen hyödyntäminen

Lämmöntalteenottoa pohdittaessa on otettava huomioon poistettavan ilman ominaisuudet sekä saavutettava energiasäästö. Likaiset ilmavirrat ovat lämpöenergisäällöltään usein yhtä suuria, kuin puhtaat ilmavirrat. Kuitenkin likaisten ilmavirtojen hyödyntäminen on haasteellisempaa, koska sitä ei voi käyttää palautusilmana, ainakaan ilman suodatusta. Poistoilmassa olevat partikkelit voivat myös tukkia lämmönvaihtimia tai ainakin heikentää lämmönsiirtymistä täten laskien laitteiston hyötysuhdetta.

2.3.1 Poistoilman epäpuhtaudet

Lämmöntalteenottopatteristo, sekä poistoilmaputkisto ovat kriittiset paikat, jotka voivat kärsiä poistoilman epäpuhtauksista. Lämmöntalteenoton kannalta on olennaista tietää poistoilman sisältävät epäpuhtaudet, etenkin mahdolliset tukkivat, sekä syövyttävät aineet. Jos prosessista poistuu rikkiä tai klooria ilman mukana, voi putkistoon muodostua rikkihappoja ja suolahappoja. Kyseisissä tilanteissa on käytettävä lämmönvaihtimissa haponkestäviä teräksiä. Lämmönvaihtimet tulee ainakin olla korrosiosuojattuja, ehkäistäkseen lämpötilavaihteluiden vuoksi tiivistyvän veden aiheuttamia vaurioita.

Lämmönvaihtimille erittäin ongelmallisia ovat myös rasvaiset ilmavirrat, maalien partikkelit sekä pölyt. Rasvaisia ilmavirtoja kertyy usein suurkeittiöistä sekä elintarvikkeiden valmistusprosesseissa. Rasvat kertyvät lämmönvaihtimien pinnoille ja keräävät muut epäpuhtaudet itseensä luoden eristävän sekä herkästi syttyvän kerroksen. Tämän vuoksi rasvan poistaminen vaatii lämmönvaihdinten, sekä muun kanaviston säännöllistä pesua. Pesuväliä voidaan kuitenkin pidentää rasvasuodattimilla, rasva-

nerotukseen käytettävää syklonia tai fotokatalyysiin perustuvaa titaanioksidi-ultraviolettia menetelmää, jossa ultraviolettivalo yhdessä katalyyttinä toimivan TiO₂ kanssa muuntavat rasvoja helpommin hallittaviksi komponenteiksi. (Holopainen, H. 2013)

Pölyt ja muut partikkelit aiheuttavat ongelmia työtilan ilmanlaatuun ja voivat jopa tehdä tilasta tai putkistosta räjähdysvaarallisen. Pölyn poistaminen on siis osaltaan työturvallisuustoimenpide, mutta on myös välttämätön taatakseen toimivan lämmöntalteenoton. Pölypartikkelit voivat nopeallakin aikavälillä tukkia lämmönvaihdinjärjestelmän tehden LTO-investoinnista kannattamattoman.

Pölyn poistamiseen on olemassa useita tekniikoita. Sopivin ratkaisu määritetään partikkelien koon, määrän sekä ilmavirtauksen nopeuden mukaan. Laitteisto voidaan valita myös hinnan tai huoltotarpeen mukaan. Pölyjen erotteleminen on kuitenkin erityisen tärkeää, kun suunnitellaan lämmön talteenottoa. Erityisen tärkeää on myös suodattaa kohdepoistoista lähtevät partikkelit, koska poistoilman epäpuhtauksia ei saa päästää luontoon. (Säämänen, A., Riipinen, H., Kulmala, I., Willing, I. 2004.)

3 Ilman suodatus ja pölyerottimet

Suodattimia valitessa on otettava huomioon etenkin ilmavirtauksen nopeus, ilmassa olevien epäpuhtauksien koko ja määrä, sekä olomuoto. Myös järjestelmän paine, sekä ilmavirran lämpötila vaikuttavat laitteiston valintaan.

3.1 Syklonit

Sykloni on dynaaminen erotin, jossa virtaus johdetaan pyörivälle radalle kohti laitteen pohjaa. Hiukkasten erotukseen hyödynnetään pyörrevirtauksen lisäksi partikkelien massavaikutusta. Virtauksen voimasta kappaleet törmäävät syklonin seinämiin ja kulkeutuvat syklonin pohjalle. Puhdistunut ilma imetään syklonin keskiosasta pois.

Syklonierottimet poistavat tehokkaasti ilmavirrasta suurikokoiset hiukkaset, sekä nestepisarat. Yksinkertainen, mekaaninen, järjestelmä on hyvä sijoitus, matalien investointi- sekä huoltokustannusten vuoksi. Syklonia voidaan hyödyntää myös korkeapainejärjestelmissä, sekä virtauksissa jotka kuluttavat laitteistoja. Kuitenkin painehäviö on suurempi kuin muissa pölynerottimissa ja alle 5 µm hiukkasten erottamisen hyötysuhde on erittäin pieni. (Säämänen ym. 2004, 116)

3.2 Kuitusuodattimet

Kuitusuodattimet koostuvat usein 0,1 – 100 µm paksuisista päällekkäisistä kuitukerrosista tehden suodattimesta 0,15 – 0,5 mm paksuja. Partikkelien poisto tapahtuu johtamalla ilmavirta suodattimen läpi, jolloin hiukkaset jäävät suodattimeen tai sen pinnalle. Kuitusuodattimia on kahta tyyppiä, pintasuodattimia, joiden kuidut on huovutettu tai kudottu, tai väljempirakenteisia syväsuodattimia, joissa suodatettavat partikkelit jäävät kiinni suodattimessa olevaan väliaineeseen. Kuitusuodattimien toiminnan takaamiseksi niissä voidaan käyttää vain kuivien partikkelien poistoon.

Syväsuodattimia käytetään poistamaan erittäin hienojakoisia sekä haitallisia aineita, esimerkiksi HEPA-suodattimet (High Efficiency Particulate Air filter) poistavat asbestia

sekä homepölyjä. Niitä käytetään etenkin ilmastoinnin sisäänpuhallus puolella, mutta myös poistoilmapuolella ilman ollessa erittäin likaista. Syväsuodattimilla voidaan erottaa jopa 0,3 µm kokoiset partikkelit.

Pintasuodattimien kankaanmuotoon tehty rakennetta käytetään, ilmanvaihtoputkistoon sijoitettavina tasaisina kasetteina tai muotoiltuna letkuiksi, jotka ovat umpinaisia toisesta päästä. Suodatinyksikköön sijoitetaan useampi letku tai suodatinlevy, joiden läpi ilma virtaa jättäen poistettavat partikkelit suodattimen pinnalle. Pintasuodattimet toimivat usein tehokkaimmin vasta kun niihin on kertynyt pieni pölykerros. Pölykerros voi kuitenkin tukkia suodattimen, joten ne vaativat säännöllistä puhdistusta mikäli mahdollista. Puhdistus hoidetaan kasettisuodattimissa paineilmahuolluksella ja putkisuodattimissa paineilmahuolluksella tai käyttämällä mekaanista rävistystä. Myös niin sanottua ääninuohousta eli ääniaalloista aiheutuvaa värinää voidaan käyttää suodattimien puhdistuksessa. Osa malleista on myös kertakäyttöisiä, jolloin suodatin on helposti vaihdettavissa.

Kuitusuodattimet ovat toimiva ja suhteellisen edullinen ratkaisu, mutta vaativat enemmän tarkkailua toiminnan takaamiseksi kuin syklonit. Kuitusuodattimet sisältävät säännöllisiä kustannuksia suodattimien vaihdosta. Kuitenkin käyttökustannukset jäävät hyvin alhaisiksi. (Säämänen ym. 2004, 117 - 119) (Riipinen, I., Lehtipalo, K. N.d.)

3.3 Sähkösuodattimet

Sähkösuodattimet erottelevat pienetkin pölyhiukkaset ilmasta tai savukaasusta erittäin tehokkaasti erittäin pienellä painehäviöllä. Sähkösuodattimia käytetään usein voimalaitoksien savukaasujen puhdistuksessa. Savukaasut johdetaan sähkösuodattimeen, jossa korkea tasavirta purkautuu koronapurkauksina metallilevyihin. Koronapurkauksien vaikutuksesta varautuneet hiukkaset tarttuvat sähkösuodattimen metallilevyihin, joista ne karistetaan säännöllisesti ja poistetaan keräämäkuljettimella sähkösuodattimesta. Sähkösuodattimien investointikustannus on korkea, joten sähkösuodattimia harvoin käytetään kiinteistöjen LTO-kohteissa. Kuitenkin sähkösuodat-

timen huoltokustannukset ovat edullisemmat, koska pienemmän koon sähkösuodattimet voidaan pestä, eikä tarvetta uusille suodatinosille ole. Sähkösuodattimen huollon puute voi kuitenkin laskea pölynerottelukykyä huomattavasti.

3.4 Venturipesurit

Venturipesureissa tärkeä osa on venturisuutin, joka nostaa poistettavan kaasun nopeuden 50 - 150 m/s. Suuttimessa kaasun sekaan lisätään pesuvesi, joka suuren virtausnopeuden vuoksi muuttuu erittäin pieniksi pisaroiksi höyrymäiseen muotoon. Pesurissa kaasun ja veden seos joutuu pyörivälle radalle jossa vesisumu tarttuu kaasun epäpuhtauksiin erottaen ne virtauksesta. Venturipesuria voidaan käyttää myös tilanteissa jossa kaasun mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet voisivat tukkia suodattimia, tai jos järjestelmä on ATEX-luokiteltu, eli kaasussa on mahdollinen räjähdysvaara.

Energiansäästön kannalta venturipesureita voidaan pitää epäedullisena suodattimessa tapahtuvan suuren painehäviön kannalta. Suurin osa pumpuilla tuotetusta työstä, jolla kaasu saadaan kiihdytettyä riittävään nopeuteen, häviää suodattimessa. Venturipesureissa ongelmaksi voi muodostua myös sen hyödyntämä vesi, joka korrosoi putkistoa, sekä voi härmistyä tai jäätymä kylmissä olosuhteissa. (Säämänen ym. 2004)

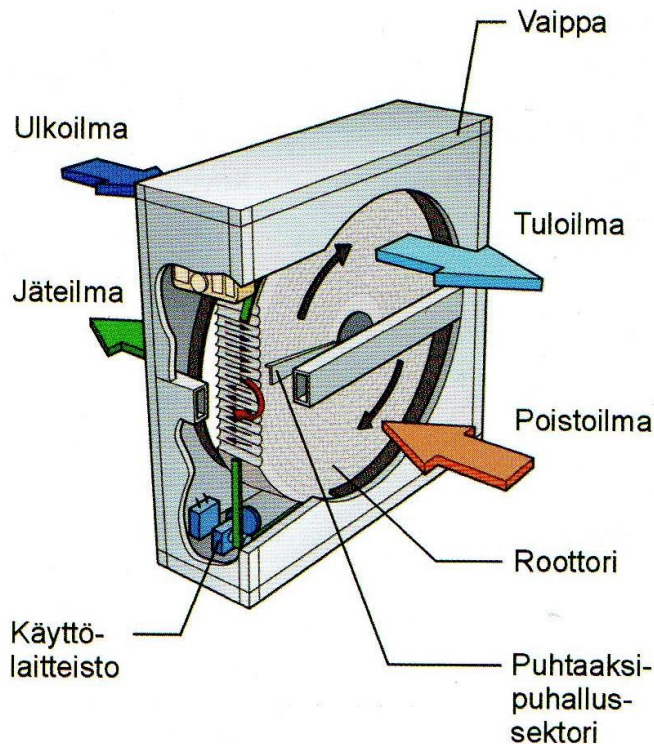
4 Lämmönsiirtimet

4.1 Regeneraattori

Regeneratiivisen lämmönvaihtimen toiminta perustuu lämmön varaamiseen. Lämmönvaraaja pystyy sitomaan itseensä riittävän kapasiteetin lämpöä ensin kuumasta aineesta, jonka jälkeen sen tilalle tulee kylmempi aine, joka absorboi lämmön. Lämmönsiirron kannalta regeneratiiviset lämmönvaihtimet ovat tehokkaimpia, yltäen 65 – 80 % lämmönsiirtohyötysuhteeseen. Korkean hyötysuhteen ansiosta ilman jälkilämmityksen tarve jää erittäin pieneksi vuoden aikana. Regeneraattoreita ei voida käyttää kohteissa joissa ilmanlaatumääräykset kieltävät poistoilman sekoittumisen tuloilmaan, koska laite ei ole ilmatiivis ja vuotoa tapahtuu jatkuvasti. Laitteessa käytettävä poistoilma saa sisältää korkeintaan 5 % luokan 3 poistoilmaa (ks. liite 1).

Ilmanvaihdossa, pyörivä regeneraattorimalli on yleisin. Kyseisessä mallissa ilmakanavat ovat sijoitettu vierekkäin ja pyörivä lämpöä varaava kiekko siirtää lämmön poistuvasta ilmasta tulevaan. Pyörivä lämmönsiirrin on kooltaan pieni ja vie vain 200 mm ilmakanavan pituudesta ja kokonaisuudessaan 400 mm syvyysuunnassa. Pienen kokonsa ansiosta kyseiset lämmönsiirrinmallit ovat käteviä asentaa ilmanvaihtojärjestelmiin. Liikkuvien osien vuoksi laitteistossa on aina suurempi riski hajoamisille, joten laitteisto vaatii kausittaista huoltoa toimintavarmuuden takaamiseksi. Yleisin ongelma pyörivissä malleissa on vetohihnan katkeaminen, mutta myös laitteiston säädöt sekä tiivisteiden kunto on hyvä tarkistaa säännöllisesti.

Pyöriviä lämmönsiirtimiä on kahta mallia, hydroskooppisia, jotka siirtävät kosteutta ja ei hydroskooppisia joissa kosteudensiirtoa on rajoitettu. Kosteudensiirron ansiosta hydroskooppiset regeneraattorit kestävät paremmin kylmää, eikä jäätymisvaaraa ole ennen -25 °C lämpötilaa. Ei hydroskooppinen vaatii huurteensulattimen jo -15 °C lämpötilassa. Tiloissa, joihin ei haluta siirtyvän yhtään kosteutta, ei tulisin käyttää edes ei hydroskooppista regeneraattoria, koska kosteutta pääsee siirtymään veden kondensoiduttua lämmönsiirtopintaan. (Hodge, J. 1961.) (Willmott, A.J. 2011) (Energia katselmoijan käsikirja. N.d.)



Kuvio 2. Pyörivä regeneraattori (Sandberg, E. 2004.)

4.2 Levysiirrin

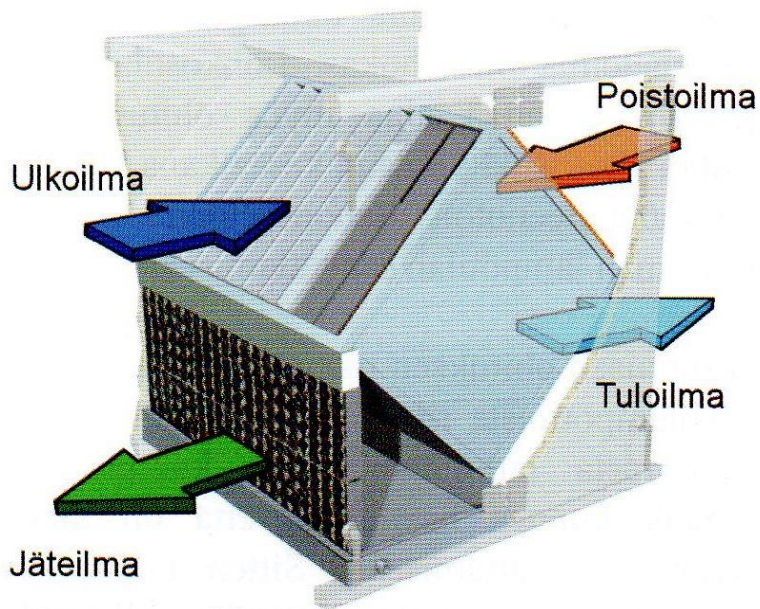
Levysiirrin tai levylämmönvaihdin on yksinkertainen lämmönvaihdinratkaisu, jossa virtaukset ovat johdettu ristiin levypatterin läpi. Lämmönvaihtimessa lämpö johtuu lämmönvaihtimen 0,1 – 0,2 mm paksujen alumiini levyjen kautta virrasta toiseen, jolloin virtaukset eivät pääse sekoittumaan. Suuremmissa malleissa levyjen välit kasvavat jopa yli 10 mm. Yksinkertaisen rakenteen vuoksi kyseiset mallit ovat lähes huoltovapaita, hygieenisinä sekä kustannustehokkaita. Perinteisillä neliönmuotoisilla levylämmönsiirtimillä päästään 40 – 60 % lämpötilahyötysuhteeseen. Levysiirtimet ovat myös erittäin tiiviitä ja vuotoa poistoilmasta tuloilmaan tapahtuu vain 0,5 %, eikä lämmönvaihtimen yli synny kuin noin 400 Pa paine-ero. Lämmönvaihdin päästää siis virtauksen läpi erittäin helposti, joten suurilla ilmavirroilla levylämmönsiirrin ei toimi optimaalisesti. Myöskään erittäin kuumat ilmavirrat eivät sovellu levylämmönsiirtimiin, tiivisteiden alhaisen sulamispisteen vuoksi.

Markkinoilla on myös virtausrakenteeltaan erilaisia, vastavirtalevylämmönsiirtimiä, niissä virtausta on johdettu enemmän kulkemaan ristiin. Vastavirtatekniikalla läm-

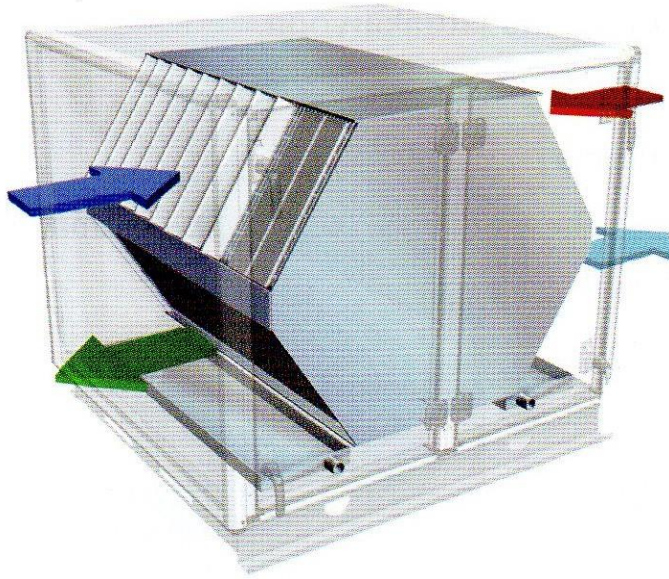
mönvaihdin voi saavuttaa lähes 80 % lämpötilahyötysuhteita. Suuremman hyötysuhteen vuoksi ne ovat kuitenkin herkempiä huurtumiselle kuin perinteiset ristivirtalämmönvaihtimet. Joissakin tapauksissa laitteisto vaatii tuloilmalle esilämmittimen joka nostaa tulevan ilman lämpötilan esimerkiksi $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Huurtumista, sekä levyjen korroosiota pyritään vähentämään lämmönvaihdinlevyjen pinnoittamisella. Pinnoittaminen kuitenkin laskee hieman lämmönsiirtokykyä.

Ongelmallisin kohta levylämmönsiirtimissä on niin sanottu kylmä kulma, jossa viilein tuleva ilma ja jäähtynein poistoilma kohtaavat. Kyseisessä kohdassa vesi kondensoituu ja alkaa jäätyä jo $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Veden jäädyttyä virtausnopeus hidastuu ja lämmönvaihtimen umpeen jäätyminen kiihtyy.

Levylämmönsiirtimien tehoa voidaan säädellä ohituspelleillä. Säätöä käytetään usein rajoittamaan kesäaikana lämmön siirtymistä tuloilmaan. Tehonsäätöpelleillä pystytään myös ehkäisemään jäätymistä sulkemalla välillä osa lohkoista, jolloin välit pääsevät sulamaan. (Seppänen, O. 2008) (Energiakatsemoijan käsikirja. N.d.)



Kuvio 3. Ristivirtalevylämmönsiirrin (Sandberg, E. 2004.)



Kuvio 4. Vastavirtalevylämmönsiirrin (Sandberg, E. 2004.)

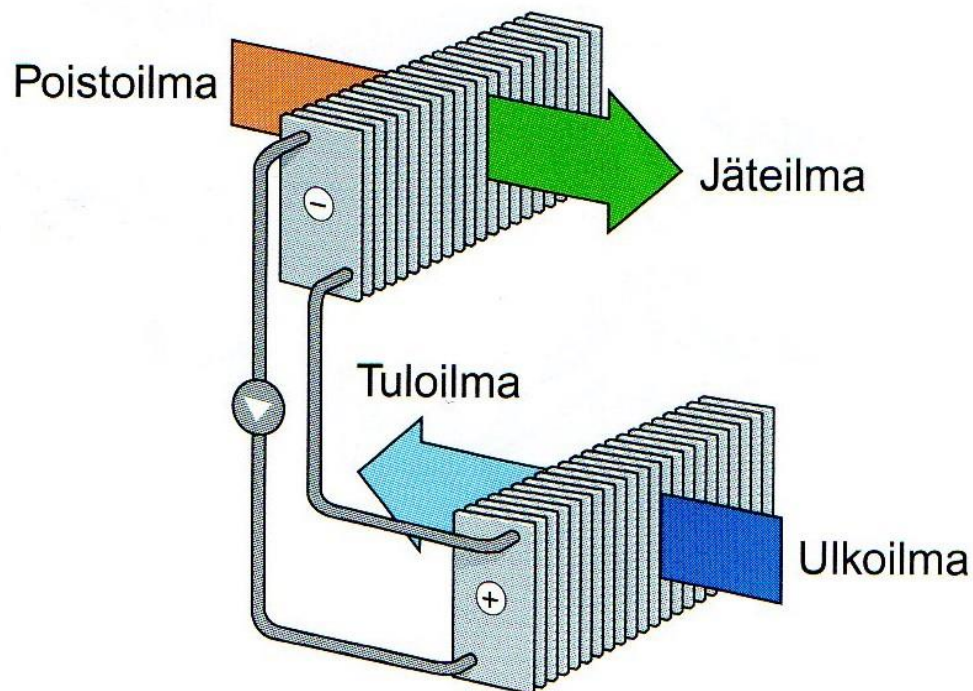
4.3 Nestekiertoinen järjestelmä

Nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa lämmön siirto tapahtuu väliaineen avulla. Väliaineena käytetään suurimmaksi osaksi vettä, johon on sekoitettu olosuhteisiin sopivaa jäätymisenestoainetta noin 25 – 30 %. Nestettä kierrätetään pumpulla kahden lämmönsiirtopatterin välillä, joista toinen sijaitsee poistoilma- ja toinen tuloilmakanavassa. Lämpöpattereissa ilma virtaa 2 – 4 mm etäisyydellä toisistaan olevien lamellien läpi. Lamellit ovat rei'itettyjä ja lämmönsiirtoputket kiertävät niiden läpi. Lämpöpatterien siirtokykyä lisätään tehostamalla ilman turbulentsuutta, jolloin lämpö siirtyy tehokkaammin lämmönvaihdinputken pinnalla. Tehoa voidaan nostaa myös lämmönvaihdinpinta-alaa kasvattamalla. Pinta-alan lisääminen tapahtuu joko pidentämällä lämmönvaihdinputkien pituutta tai käyttämällä rivallisia tai harjallisia putkia.

Kanavistoon asennettavien lämpöpatterien vuoksi järjestelmä on erittäin helppo lisätä myös jo olemassa oleviin kohteisiin ilman ilmanvaihtokoneiden tai kanavistojen siirtämistä. Nestekiertoisessa järjestelmässä väliaineen avulla päästään noin 50 % lämpötilahyötysuhteeseen, riippuen ilmojen lämpötilaeroista sekä kohteiden välimatkoista ja niiden välillä olevasta eristyksestä.

Lämpöä siirtävän nesteen ansiosta voidaan siirtää lämpö helpommin pidempi matka, joten ilman tulo- ja poistoilmakanavat voivat sijaita jopa rakennuksen eri puolilla. Väliaineen ansiosta nestekiertoinen järjestelmä on myös ainut lämmönvaihdin malli, jossa ilmat eivät pääse sekoittumaan yhtään, joten sitä käytetään kohteissa joissa poistoilmat sisältävät haitallisia aineita tai tuloilmat on oltava erittäin hygieenisinä. Kohteina nestekiertoisille järjestelmille ovat usein leikkaussalit, laboratoriot sekä muut erityistilat.

Nestekiertoinen järjestelmä vaatii säätölaitteiston, jolla voidaan säätää kylmäaineen virtauksen nopeutta. Säätö vaaditaan, jotta kesäaikana lämpöä ei siirry turhaan poistoilmasta tuloilmaan, sekä ennaltaehkäisemään talviajan lämmönvaihtimen huurtuminen. (Sandberg, E. 2014.)



Kuvio 5. Nestekiertoinen järjestelmä (Sandberg, E. 2004.)

4.4 Lämpöputkipatteri

Lämpöputkipatteri on yksinkertainen nestekiertoinen LTO-laite. Se koostuu kahdesta kanavasta joiden välillä kulkee lämmönvaihdinputkea. Sisällä olevissa putkissa kulkee lämpöä siirtävä kylmäaine, joka höyrystyy poistuvan ilman energian ansiosta ja lauhuu tuloilmakanavassa vapauttaen lämpöenergiaa tuloilmaan. Ilman turbulentsuutta on usein lisätty kuoren sisällä välilevyillä jotka estävät ilman virtaamisen suoraan lämmönvaihtimen läpi. Kyseisessä ilmalämmityksessä lämpöputkipatteri toimii lämpöpumpun tavoin, mutta kierto tapahtuu ilman kompressoria. Kylmäaine kiertää putkistossa kapilaarisen voiman vaikutuksesta. Jotta kapillaari-ilmiö tapahtuu, lämpöputkipatteri vaatii tulo ja poistoilmakanavien olemisen vierekkäin. Myös pienemmän lämpöhäviön vuoksi on tärkeää, ettei lämpöä siirretä pidempää matkaa.

Lämpöputkipatterin lämmönsiirtohyötysuhde on yleensä 45 – 60 %, jonka yläpäähän päästään jos lämpöputkipatteria kallistetaan niin, että nesteenkierto nopeutuu painovoimavaikutuksen vuoksi. Kallistus vaatii kuitenkin moottorin, jossa voi esiintyä ongelmia, etenkin talvella. Kokonaishyötysuhdetta laskee tuloilmapuolelle asennettava lämmityslaite joka kuitenkin on välttämätön useimmissa tapauksissa jäätymisen ennaltaehkäisyssä. (Seppänen, O. 2008) (Energiakatsemoijan käsikirja. N.d.)

5 Case Rapalan pintakäsittelyn lämmöntalteenotto

5.1 Rapala VMC Oyj

Rapala VMC Oyj on kansainvälinen urheilukalastusvälineiden valmistaja, jonka päätehdas sijaitsee Vääksyssä. Valmistusketjuun kuuluvat kokoonpanotehtaat sijaitsevat Venäjällä, Sortavalassa ja Virossa, Pärnussa, sekä näiden lisäksi yhtiö työllistää ihmisiä 39 maassa ja toimittaa tuotteitaan myytäväksi 140 maahan.

Vuosittain Rapalan liikevaihto ylittää noin 275 miljoonaan euroon laajan tuotevalikoiman ansiosta. Rapala valmistaa vieheiden lisäksi muita kalastusvälineitä, puukkoja, veitsiä, sekä muita ulkoharrastamiseen soveltuvia tuotteita. Valikoiman mahdollistavat Rapalan tytäryhtiöt; Blue Fox, Storm, VMC, Williamson lures, Marttiini, Peltonen sekä Mora Ice.

Opinnäytetyön case -kohteena toimiva tehdas sijaitsee Asikkalan Vääksyssä, josta yritys on saanut juurensa ensimmäisistä Lauri Rapalan veistämistä vieheistä. Vääksyn tehtaalla itse tuotannon lisäksi hoidetaan kone ja laitesuunnittelua sekä tuotekehitystä. Tehdas toimii pääsääntöisesti kahdessa vuorossa, jonka ansiosta päivätuotantona valmistuu noin 40000 – 60000 viehettä; muovi, metalli, sekä puuosineen. Eri tuotantomalleja on kertynyt noin 3000 kappaletta. Mallit eroavat muodoltaan, mutta erityisesti maalauksen ja pintakäsittelyn vuoksi. Vääksyssä hoidetaan kaikki tuotteiden vaatima pintakäsittely, josta suuri osa tehdään käsityönä. (Rapala VMC CORP. 2015.) (Siirtola, J. 2016.)

5.2 Alkutilanne

Kehitystarvetta vaativalla pintakäsittelyosastolla sijaitsee 11 aktiivisesti käytössä olevaa maalauskaappia. Kaapeissa ruiskumaalataan uistimia käsityönä, joten työpisteellä ilman virtauksen on oltava riittävän suuri hyvien työskentelyolosuhteiden ylläpitämiseksi. Yleinen ruiskumaalausoppien ilmavirtaussuositus on 1 – 2,5 m/s. Kohteessa optimaallisimmaksi ilmavirraksi on

todettu 2 m/s kunkin maalauskaapin suuaukolle. Kyseisellä nopeudella ilma ei jää pyörteilemään maalauskaappiin vaan suuntautuu poistoilmakanavaan.

Kustakin kaapista poistuu ilmaa keskimäärin 1700 l/s, taulukon 1 mukaisesti.

Yhteensä pintakäsittelyosastolta poistuva ilmamäärä on noin 18,7 m³/s. Kyseisestä ilmasta ei oteta lämpöä talteen. (Säämänen ym. 2004) (Siltala, J. 2016.)

Taulukko 2. Poistoilmapuhaltimien virtausmäärät

Laite / Mittauspaikka	Mitattu ilmamäärä q v (l/s)	Paine (Pa)
PUHALLIN NRO.1	1750	50
PUHALLIN NRO.2	1700	45
PUHALLIN NRO.3	1500	35
PUHALLIN NRO.4	1500	35
PUHALLIN NRO.5	1700	45
PUHALLIN NRO.6	1750	50
PUHALLIN NRO.7	1780	52
PUHALLIN NRO.8	1800	55
PUHALLIN NRO.9	1800	55
PUHALLIN NRO.10	1700	45
PUHALLIN NRO.11	1700	45
<u>KOKONAISILMAMÄÄRÄ</u>	18680	

Ilma poistetaan kustakin maalauskaapista poistoilmapuhaltimella 500 mm paksuissa poistoilmaputkissa tehtaan katolle. Maalauskaappien puhaltimet on erikseen sammutettavissa sekä maalauskaapilta lähtevä kanava on suljettavissa sulkupellillä. Kuitenkin kokonaisilmamäärä pysyy korkeana suuren käyttöasteen vuoksi.

Nykyisenä pienhiukkasten suodatusjärjestelmänä toimii omarakenteinen kangassuodatin. Osa maalipölystä pääsee kuitenkin kulkeutumaan suodattimen läpi. Järjestelmään on hiukkaspäästöjen vuoksi suunnitella toimivampi suodatinjärjestelmä, joka mahdollistaisiin myös lämmöntalteenottojärjestelmän virheettömän toiminnan.

Kohteessa on testattu Hydrocell Oy:n harjalämmönvaihtimella varaustettua LTO-ratkaisua. Harjalämmönvaihdin osoittautui kelpaamattomaksi kyseiseen kohteeseen,

koska maalipöly tukki lämmönvaihtimen hyvin nopeasti. Lämmönvaihdin testauksen aikana laitteistossa ei kuitenkaan ollut suunnitteilla olevaa lisäsuodatusta, joka voisi mahdollistaa kyseisen järjestelmän käytön.

Kiinteistössä ilma lämmitetään maakaasulla. Polttoaine tehtaalle tulee Lahti Energian maakaasuputkea pitkin. Lämmityksen kokonais kustannus on 86 €/MWh johon sisältyy maakaasun hinta, kuljetus, verot sekä kattilan käyttö. Maalaamosta poistettavan ilman lämmityskustannukset kohoavat vuosittain lähes 94000 €. Pintakäsittelylaitoksen lämmitykseen kuluva vuosittaisia kustannuksia voitaisiin siis vähentää huomattavasti.

5.2.1 Energian kustannukset ja LTO-potentiaali

Maakaasulla tuotettaviin tehtaan lämmityskustannuksiin kuluu vuodessa keskimäärin 2830 MWh maakaasua. Lämmityksen vuosittaiset kokonaiskustannukset nousevat siis noin 243000 €. Suurin osa kyseisistä kuluista menee uistinten valmistusprosesseja varten ja kuivaamoihin sekä maalausasteiden ilmanlaadun säilyttämiseksi. Maalausasteilta poistettava osuus on noin 40 % kokonaislämmityskustannuksista. Kuivaamoihin sijoitettu energian osuus on myös merkittävä. Kuitenkin kuivaamoista poistilmaa käytetään hyödyksi palauttamalla osa energiasta takaisin lämmönvaihdinten avulla.

Taulukossa 3 on laskettu kaavan 2 mukaan maalauskaapeilta poistuvan ilman energiamäärä kullekin kuukaudelle, sekä kyseisen ilmamäärän laskennalliset lämmityskustannukset olemassa olevalla kaasukattilalla kaavalla 3.

Kaava 2. Poistoilman mukana poistuva energiamäärä

$$E_{\text{ilma,kk}} = Q_{\text{kk}} * \rho_{\text{ilma}} * (T_{\text{sisään}} - T_{\text{ulko}}) * c_{\text{ilma}}$$

Kaava 3. Poistoilman energiamäärän hinta kaasuna

$$KAASU_{\text{kust}} = E_{\text{ilma,kk}} * K_{\text{kaasu}}$$

jossa

$E_{\text{ilma,kk}}$	on poistoilman mukana poistuva energia kuukaudessa, MWh
Q_{kk}	on poistettava ilmamäärä kuukaudessa, 19747200 m ³
ρ_{ilma}	on ilman tiheys, 1.205 kg/m ³
$T_{\text{sisään}}$	on sisäänpuhallettavan ilman lämpötila, 19 °C
T_{ulko}	on ulkoilman keskilämpötila Asikkalassa, °C
C_{ilma}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/(K*kg)
$KAASU_{\text{kust}}$	on poistettavan ilmamäärän lämmityskustannukset kaasulla, kun kaasukattilan hyötysuhde on 90%, €
K_{kaasu}	on kaasun lämmityskustannukset, 86 €/MWh

Taulukko 3. Poistoilman energiamäärän kustannukset

Kuukausi	Ulkolämpötila (Tulko) [°C]	Sisälämpötila (Tsisällä) [°C]	Ilman vaatima energia (Eilma,kk) [MWh]	Poistettavan energian kustannukset kaasulla (KAASUkust) [€]
Tammikuu	-6.5	22	168.6	16105.94
Helmikuu	-7	22	171.9	16421.75
Maaliskuu	-2.7	22	143.4	13705.84
Huhtikuu	3.4	22	103.1	9853.05
Toukokuu	9.9	23	60.1	5747.61
Kesäkuu	14.3	26	31.1	2968.55
Heinäkuu	17.1	28	12.6	1200.05
Elokuu	15	26	26.4	2526.42
Syyskuu	9.7	23	61.5	5873.93
Lokakuu	4.5	22	95.8	9158.28
Marraskuu	-0.7	22	130.2	12442.63
Joulukuu	-4.6	22	156.0	14905.89
Koko vuosi	4.37		1160.7	110909.95

Taulukossa 4 on esiteltyä vuoden 2015 todellinen lämmöntuotanto kaasukattilalla, 90 % hyötysuhteella. Taulukkoon on myös laskettu lämmöntalteenottoratkaisun potentiaalisesti tuottama energiamäärä. Se sisältää laskennallisen ilman energiamäärän lisäksi lämpöpumppuun syötetyn energiamäärän COP arvon perusteella (kaava 4).

Käytettävä LTO energia on lämmöntalteenottoratkaisulla tuotettu energiamäärä joka rajautuu kuitenkin tarvittavaan energiamäärään. Potentiaalista ylituotantoa ei siis ole hyödynnetty laskelmissa.

LTO-käyttökustannus on COP arvon ja käytetyn LTO energian mukaan laskettu lämpöpumpun käyttämän sähkön kustannukset (kaava 5).

Kaava 4. Lämmöntalteenottolaitteiston tuottama energiamäärä

$$LTO_{\text{energ}} = Q_{\text{kk}} * \rho_{\text{ilma}} * (T_{\text{sisällä}} - T_{\text{ulospuh}}) * c_{\text{ilma}} * (1 + \frac{1}{\text{COP}})$$

Kaava 5. Lämmöntalteenottolaitteiston käyttökustannus

$$LTO_{\text{kust}} = LTO_{\text{energ}} - \frac{LTO_{\text{energ}}}{1 + \left(\frac{1}{\text{COP}}\right)} * K_{\text{sähkö}}$$

jossa

LTO_{energ}	on lämmöntalteenottolaitteiston tuottama energiamäärä, MWh
LTO_{kust}	on lämmöntalteenottolaitteiston käyttökustannus, €
$T_{\text{sisällä}}$	on maalaamon sisälämpötila, °C
T_{ulospuh}	on lämmönvahtimen jälkeinen ulospuhalluslämpötila, 7 °C
COP	on lämpöpumpun COP arvo, 3
$K_{\text{sähkö}}$	on sähkön kustannukset, 78.2 €/MWh

Taulukko 4. Lämmöntalteenoton käyttökustannukset

Kuukausi	Todellinen kaasulla tuotettu lämpö (η 90%) [MWh]	LTO:n lämmitys energia potentiaali (LTOenerg) [MWh]	Käytettävä LTO energia [MWh]	LTO-käyttökustannus (LTOkust) [€]
Tammikuu	401.1	132.2	132.2	2582.79
Helmikuu	323.0	132.2	132.2	2582.79
Maaliskuu	314.7	132.2	132.2	2582.79
Huhtikuu	225.1	132.2	132.2	2582.79
Toukokuu	140.0	141.0	140.0	2736.03
Kesäkuu	107.6	167.4	107.6	2101.26
Heinäkuu	68.1	185.1	68.1	1331.09
Elokuu	57.8	167.4	57.8	1128.88
Syyskuu	128.9	141.0	128.9	2517.99
Lokakuu	225.5	132.2	132.2	2582.79
Marraskuu	258.6	132.2	132.2	2582.79
Joulukuu	275.5	132.2	132.2	2582.79
Koko vuosi	2525.9	1727.4	1427.8	27894.78

Järjestelmän tuottama säästöpotentiaali on kaasun kustannuksien osa, joka menee maalauskaapeilta poistettavan ilman lämmittämiseen, kattilan hyötysuhteen ollessa 90 %. Kyseisestä osasta on myös vähennetty LTO-laitteiston käyttökustannus (kaava 6).

Kaava 6. Säästöpotentiaali

$$SP = |KAASU_{kust} - LTO_{kust}|$$

jossa

SP on säästöpotentiaali nykyiseen lämmitysmuotoon verrattuna, €

KAASU_{kust} on poistettavan ilmamäärän lämmityskustannukset kaasulla, kun kaasukattilan hyötysuhde on 90%, €

LTO_{kust} on lämmöntalteenoton käyttökustannus, €

Taulukko 5. Säästöpotentiaali

Kuukausi	Kaasun todellinen kulutus [MWh] (2015)	Kaasun todelliset kustannukset [€]	Säästöpotentiaali (SP) [€]	Säästö suhde [%]
Tammikuu	445.7	38330.2	13523.15	35.3
Helmikuu	358.9	30865.4	13838.96	44.8
Maaliskuu	349.7	30074.2	11123.05	37.0
Huhtikuu	250.1	21508.6	7270.26	33.8
Toukokuu	155.6	13381.6	3011.58	22.5
Kesäkuu	119.5	10277.0	867.29	8.4
Heinäkuu	75.7	6510.2	131.04	2.0
Elokuu	64.2	5521.2	1397.55	25.3
Syyskuu	143.2	12315.2	3355.94	27.3
Lokakuu	250.6	21551.6	6575.49	30.5
Marraskuu	287.3	24707.8	9859.84	39.9
Joulukuu	306.1	26324.6	12323.10	46.8
Koko vuosi	2806.6	241367.6	83277.25	34.5

5.3 Toimenpiteet

Likaisia poistoilmoja hyödynnettäessä esitarkastelun tulee olla tarkempi kuin puhtailla ilmoilla. Ilman suodatus on lisäkustannus normaaliin LTO-järjestelmään nähden. Selvitykseen tulee huomioida myös järjestelmän vaativa jatkuva tarkkailu, sekä suodattimien pesemisen tai vaihdon lisäksi mahdolliset lämmönvaihtimien huollot.

Jotta järjestelmään voidaan lisätä lämmönvaihdin lämmöntalteenottoa varten, tulee ensin hoitaa poistoilman suodatus kuntoon. Jotta suodatus ja lämmöntalteenotto voidaan suorittaa mahdollisimman tehokkaasti, on poistoilmaputket yhdistettävä yhteen tai jakaa esimerkiksi kahteen rinnakkaiseen kokoomaputkeen. Kokoomaputkiin tehdään yksi isompi tai pienempi rinnakkaisia järjestelmiä jakamaan ilmavirran osiin. Mahdolliset erilliset osat tulevat siis sisältämään erilliset suodatukset ja omat lämmönvaihtimet lisäten käyttövarmuutta sekä mahdollistamaan järjestelmän tehokamman toiminnan esimerkiksi puolella kapasiteetilla.

Järjestelmän koko tulee valita ilmavirran nopeuden sekä määrän perusteella, jotta lämmöntalteenotto ja suodatus toimivat optimaalisesti. Tarvittaessa järjestelmä voi

vaatia lisäpuhaltimen tehostamaan ilman virtausta kun tuotannosta ei synny riittävää virtausta suodatuksen toimimiseksi.

Kohteen aktiivisen työrytmin vuoksi halutaan välttää ylimääräisiä huoltoja sekä tehdä pakolliset huollot mahdollisimman yksinkertaisiksi ja nopeiksi hoitaa. Kyseiset ominaisuudet ovat Rapalalle tärkeämmät kuin halvempi hinta, joten laitetarkastelu on suoritettu järjestelmän toimintavarmuus edellä.

Suodatuksen jälkeen poistoilmalinjaan tulee asentaa lämmönvaihtimet jotka pystyvät siirtämään tarvittavan määrän lämpöä poistoilmasta lämmönvaihtimessa kiertävään kylmäaineeseen. Lämmönvaihdinputkiston tulee siis siirtää lämpöä erittäin tehokkaasti nopean ilmavirtauksen vuoksi. Lämmönsiirtoa tehostamaan putkistossa on syytä olla ripoja tai neuloja jotka lisäävät putken lämmönsiirtopinta-alaa.

Sekä suodatin että lämmönvaihdin hidastavat ilmavirtausta poistoilmaputkessa, joten puhaltimien tehot pitää tarkistaa, jotta tarvittava 2 m/s ilmavirtaus säilyy maalaukskaapin suuaukolla. Tarvittaessa lisäpuhallus voidaan tehdä suodattimen ja lämmönvaihdinten väliin asennettavalla puhaltimella, joka takaa tarvittavan ilmavirtauksen säilymisen järjestelmässä vaikka osa maalaukskaapeista ei olisi jatkuvasti päällä.

Järjestelmäsuunnittelua varten on huomioitava myös tilan räjädyysvaara. Huoneessa käsitellään toisinaan herkästi syttyviä maaleja, jotka ilman seassa luovat räjähdysvaaralliset olosuhteet. Lisäksi ilmavirran mukana kulkeva maalipöly runsashappisissa olosuhteissa aiheuttaa syttymisvaaran. Tämän vuoksi tilaan ei voida asentaa tai tuoda sähkölaitteita, jotka voisivat aiheuttaa kipinän.

5.3.1 Suodatus

Maalaukskaapeista poistuu ilman mukana erittäin hienojakoista vesiohenteisten maalien kuivaa pölyä. Uistimien ruiskumaalaukseen käytetään vuodessa 6000 tonnia kuiva-ainetta. Maalatessa noin 30 % kuiva-aineesta jää uistimiin ja 70 % menee ohivirtauksena poistoilman mukaan. Suodattimen tulee siis pystyä keräämään 0,019 g/m³, eli maksimi poistomäärällä (67248m³/h) pölyä kertyy yhteensä 20.7 kg päivässä. Suodatuspinta-alan vähentämiseksi ilmavirtaus on jaettava kahteen osaan,

joista toinen kattaa viisi ja toinen kuusi maalauskaappia. Suodatusmäärät jakautuvat taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. Poistuvat pölymäärät

	Yhteensä	5 Maalauskaappia	6 Maalauskaappia
Ilmamäärä [m³/h]	67248	30567	36680
Pölymäärä [kg/h]	1.29	0.586	0.705

Pölyn kuivan laadun ja suhteellisen pienen määrän vuoksi parhaat suodatustavat olisivat joko kuitusuodatus tai sähkösuodatus. Kuitenkin sähkösuodattimen hankintakustannus olisi reilusti korkeampi. Sähkösuodattimen huolto vaatisi koulutetun huoltajan suorittamaan korjaus ja huoltotoimenpiteet, joka nostaisi myös suodattimen juoksevia kustannuksia. Huoltamattomana pöly pääsisi sähkösuodattimen läpi ja tukkisi suodattimen jälkeisen lämmönvaihtimen. Rapalalle myös poistoilma laitteiston toimintavarmuus ja huollon helppous ovat erittäin merkittävässä osassa, joten paremmaksi vaihtoehdoksi jää kuitusuodatus.

Markkinaselvityksen, jossa keskityttiin lähialueen tarjoajien pussisuodattimiin sekä muihin kuitusuodattimiin, tuloksena päädyttiin Dustec Oy:n tarjoamaan kapselisuodattimeen. Suodatinkapselit ovat maadoitettuja, nanokuidulla pinnoitettua selluloosaa. Valintaan päädyttiin järjestelmän pölynsuodatusominaisuuksien lisäksi suodattimien vaihdon sekä laitteiston huollon yksinkertaisuuden vuoksi.

Dustec Oy:n Downflo Oval suodatuslaitteessa virtaus-suunta on suodatuskammion yläosasta kohti pohjaa. Alaspäinvirtauksen ansiosta osa pölystä kulkeutuu suoraan pohjasuppiloon, joka kerää pölyn 200 l tynnyriin. Virtausreitillä suodatinkammiossa on nanaokuitukapseleita, joiden läpi ilma jatkaa virtaustaan suodattimen poistopuolelle. Ilmanvirtausta on laitteistossa hidastettu muotoilulla niin että virtausnopeus on suodatuksen kannalta otollinen. Hidastettu virtaus vähentää myös pohjasuppilossa tapahtuvia poikkivirtauksia, jotka voisivat estää pölyn päätyksen pohjatynnyriin. Hidastettu ilmavirtaus, sekä laitteiston yli syntynyt painehäviö korvataan suodattimen jälkeisellä puhaltimella. Puhallin on automaattisesti toimiva ja säätää puhaltimen kapasiteettia pitäen ilmamäärän vakiona.

Kaksi eri, viiden ja kuuden maalauskaapin kattavaa suodatusjärjestelmää toimitetaan Rapalalle toimintavalmiina. Viiden maalauskaapin kattava järjestelmä sisältää 36 kappaletta suodatinkapseleita, jonka kunkin suodatuspinta-ala on 17,8 m². Kuuden maalauskaapin järjestelmässä suodatinkapseleita on 48 kappaletta. Yhteensä suodatinpinta-alaa molemmissa järjestelmissä kertyy lähes 1500 m². Laskennallista painehäviö on 1,8 kPa molempien suodatinyksiköiden yli. Viiden maalauskaapin suodatusjärjestelmän kustannuksiksi ilman arvonlisäveroa tulee 101 000 euroa ja kuuden kaapin järjestelmän 118 800 euroa. Tarjouksen mukaan suodattimien lisäksi toimitettaviin varusteisiin kuuluu:

- Kannatuspukit pölynpoistolaitteille
- Pölysuppilot sekä pölynkeruutyynyrit
- Keskipakopuhaltimet
- Liitoskanavan kannakkeet ja asennustarvikkeet
- Laitteiston ohjauskaapin, sen kytkennän ja sähköistykset
- Tarvittavat paine-eromittarit
- Taajuusmuuttajan puhaltimille
- Kattavan dokumentaation laitteistosta, sen käytöstä sekä huollosta

Järjestelmät voidaan tilata linjaston ATEX-luokituksen mukaan. Mikäli linjasto on luokiteltu räjähdysvaaralliseksi, täytyy tilaus tehdä ATEX-tarvikkeiden kanssa. Ne sisältävät räjähdysvaarallisiin tiloihin sopivan puhaltimen, joka korvaa normaalitilanteisiin sopivan paineentasauspuhaltimen. Lisäksi luokitukset vaativat lisäturvaa laitteistolle, mahdollisilla sulkupelleillä sekä paineenvapautus luukuilla tai sineteillä. ATEX-varusteiden lisääminen mukaan kauppaan nostaa kokonaishintaa 67 000 eurolla.

Yhteensä 84 suodatinpatruunan vaihto lisää suodattimen vuosittaisia kustannuksia. Suodattimien oletettu kestoaika on noin 1-2 vuotta ja yhden suodatinkapselin kustannuksen ollessa 209 € + ALV, nousee kaikkien suodattimien verottomaksi hinnaksi 17 556 €. Suodattimien vaihto on kuitenkin yksinkertaista ja ne voidaan vaihtaa tehtaan oman huollon voimin, joten lisäkustannuksia vaihdosta ei tule.

5.3.2 Lämmön käyttökohde

Kohteen lämmitystarve on jatkuvaa, joskin se rajoittuu kesäkuukausina vain kuivaamoon, sekä lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Lämmitysjärjestelmä tehtaalla on vesikiertoinen, jossa kiertää noin 70 °C vesi. Vedellä lämmitetään tuloilmapuhaltimilta tuleva ilma, sekä nostetaan kuivaamoiden lämpötilaa.

Jotta lämmitysjärjestelmää ei tarvitse kokonaisuudessaan muuttaa on helpointa käyttää LTO-laitteistosta saatu lämpö veden esilämmittämiseen. Mikäli veden lämpötila ei nouse riittävän korkeaksi lämpöpumpun avulla, se voidaan priimata oikeaan lämpötilaan olemassa olevan kaasukattilan avulla.

Kesäkuukausina lämmöntalteenotto riittää kattamaan kuivaamoiden sekä lämpimän käyttöveden lämmityksen, joten tarvetta veden priimaamiselle ei ole. Tämä laskee kesäajan kaasunkäytön minimiin. Talvikausina kaasunkäyttö lisääntyy, mutta LTO:lla korkeampaan lämpötilaan saatu vesi ei vaadi niin paljoa priimaamista.

5.3.3 Lämmöntalteenotto laitteisto

Lämmöntalteenotto ilmasta veteen vaatii lämmönsiirripatterit, lämpöpumpun sekä toiminnan tasaamista varten lämmönvaraajan. Kyseisten komponenttien mukaan kuuluu liittää myös liuospumput sekä putkistot. Järjestelmä tulee myös yhdistää poistoilmanavaan ja lämminvesilinjaan. Koko järjestelmä tulee myös automatisoida tarvittavien mittauksen ja ohjauksyksikön avulla.

Järjestelmän hankkiminen on helpointa suorittaa yhden toimittajan kautta, joka hoitaa koko järjestelmän asentamisen. Yhden toimijan kanssa suunnittelu ja toteutus tulevat helpommaksi kuin halvimpien komponenttien hankkiminen erikseen ja ammattilaisen hankkiminen asentamaan laitteiston.

Laitteiston kilpailutusvaiheen jälkeen parhaaksi tarjoukseksi ilmeni lähialueella toimivan Calefa Oyn järjestelmä. Tarjouksen sisältämä laitteisto hoitaisi lämmöntalteenoton kuparialumiiniseoksesta valmistetulla lämmönvaihtopatterilla, jossa kiertää lämmönvaihdinneste. Lämmönvaihtimet pystytään pinnoittamaan tarpeen mukaan,

niin ettei maalipölyn ja kondensoituneen veden seos tartu putkiston pinnalle eriste-kerrokseksi. Poistoilmalinjaan sijoitettava lämmönvaihdin toimitetaan koteloituna patterina. Linjaan patteri aiheuttama painehäviö on noin 100 Pa, mikä täytyy ottaa huomioon suodattimen painehäviön kanssa, mitoittaessa paineentasauspuhallinta joka ylläpitää tarvittavan virtauksen putkistossa. Patterin painehäviön ja hinnan pitämiseksi siedettävällä tasolla päädyttiin rivattomaan tai harjattomaan putkeen, jonka lämmönsiirtoteho on hieman alhaisempi. Jotta tarvittava lämpö saadaan talteen, kasvaa lämmönvaihdinpattereiden koko melko suureksi. Jaetun poistoilmakanavan molempien patterien koko on 2 * 2,4 m.

Pattereiden kautta neste johdetaan 2 m³ varaajaan, jonka jälkeen nesteen lämpötila kohotetaan lämpöpumpulla. Pumpun jälkeen, kuumapuolella on toinen 2 m³ varaaja, josta neste johdetaan kiinteistössä kiertävän lämmitysvesilinjan paluupuolella sijoitettavaan lauhdutinpatteriin.

Lämpöpumppu on Calefan omavalmisteinen kohteeseen personoitu 600 kW tehoinen pumppu, joka pystyy ottamaan poistoilmasta 400 kW tehon ja vaatii verkosta 200 kW sähkötehon. Pumpulla pystytään tuottamaan linjastoon tarvittavan 70 °C maksimilämpötilan. Lauhdutinpatterin sijoitus paluupuolelle mahdollistaa talvikaudella veden priimauksen tarvittavaan lämpötilaan ennen lämmön käyttöä linjastossa.

Calefan tarjoukseen sisältyy kokonaisuudessaan

- Toimintavalmis lämpöpumppujärjestelmä
- Lämmöntalteenottopatterit (2kpl)
- Lämmitysveden ja LTO-nesteen varaajat
- Liuospumput LTO- ja lämmityspuolelle
- LTO-putkisto asennettuna ja eristettynä
- Lämmitysputkisto kytkettynä kiinteistön lämmitysjärjestelmiin (kytkentämahdollisuudet tarkistettava)
- Järjestelmän automaatio
- Dokumentit
 - Kaaviot järjestelmästä
 - Prosessikuvaus
 - Laitteiden päämittapiirustukset
- Järjestelmän käyttöönotto ja käytönopastus
- Takuuajan huollot

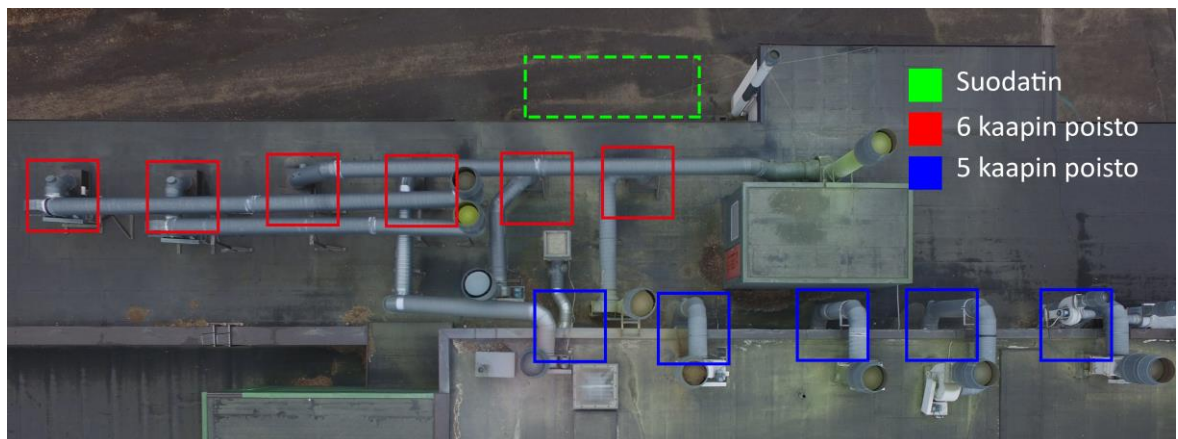
Rapalan osuudeksi työhön jää

- Sähkösyötöt lämpöpumpulle ja kiertovesipumpuille
- Sähköjohdotukset ja 230/400V kytkennät
- Tarvittavat rakennustekniset- ja purkutyöt
- LTO-patterien kanavointi
- Automaation liittäminen nykyiseen järjestelmään

Tarjouksen kokonaishinta on 265000 €, josta on mahdollista saada 20 % ELY:n energiainvestointitukea.

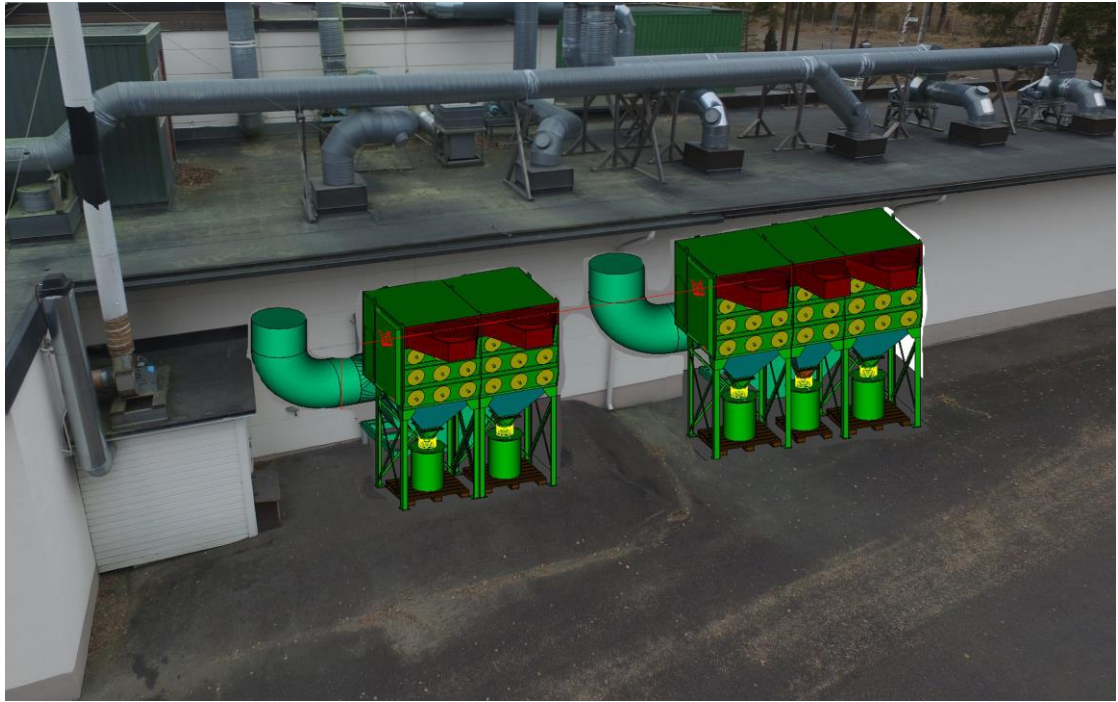
5.4 Asennus

Lämmöntalteenottojärjestelmän asennus vaatii viisi eri osa-alueita: putkitus, suodatus, lämmönvaihtimet, lämpöpumppu sekä automatisointi.



Kuvio 6. Putkistojen jako

Ensimmäinen osa on yhdistää nykyiset poistoilmaputket suodatusta varten kahteen eri kokoomaputkeen jotka johtavat kahteen rinnakkaiseen suodattimeen ja niiden jälkeen omiin lämmönvaihtimiinsa. Putkien edullisin jako tapahtuu niin, että katolla lähimpänä olevat poistot yhdistyvät. Maalauskaapit jakautuvat poistoputkiin, toinen 5 ja toinen 6 ryhmänä kuvion 6 mukaisesti. Uudet putkitukset vaativat myös uudet kannakkeet jotka pystyvät tukemaan myös isomman kokoomaputken. Lisäksi putkistosta on tehtävä uusi LVI-piirustus, jossa näkyy putkistojen uudet reitit, pituudet sekä paksuudet.



Kuvio 7. Suodattimien sijoittaminen

Toinen vaihe on asentaa suodattimet. Suodattimien helpomman huollon, sekä poistetun pölyn keräämisen kannalta paras kohde asentaa on tehtaan kaakkoispäättyyn, maalaamon uuden puolen ulkoseinän viereen. Pölysuodattimien asentaminen maanrajaan on myös helpompaa ja edullisempaa kuin asennus katolle. Ilman poisto suodattimista on ylöspäin ja suodattimien noin 4,5 m korkeuden ansiosta poisto tapahtuu lähes katon korkeudelta.

Kolmas asennuskohde on lämmönvaihtimet, joiden asentaminen on syytä tehdä heti suodatuksen jälkeen katolle ylimääräisen putkituksen välttämiseksi. Suodatinjärjestelmälle on tehtävä turvallinen reitti ja yhteys pesuveteen mahdollisia huoltoja varten. Pesu- ja kondenssivettä varten lämmönvaihtimilta tarvitaan myös likaisen veden poistoputki. Pesuveteen sekoittuu maalien kemikaaleja, joten syntyvä vesi on käsiteltävä erikseen normaalista likavedestä.

Jotta talteen otettu lämpö saadaan siirrettyä lämpimään käyttövedeen, täytyy lämpötila nostaa lämpöpumpulla. Kylmäaineen putkitus lämpöpumpulle ja lämpöpumpun asennus on asennuksen neljäs vaihe. Lämpöpumpun sijainti olisi hyvä olla mahdollisimman lähellä lämmönlähdettä, mutta myös lämmön luovutuskohdetta. Calefan toimitus pystyyään suorittamaan pakettiratkaisuna, jossa tarvittavat lämmönvaraajat ja

lämpöpumppu toimitetaan esimerkiksi yhtenä konttiratkaisuna tontille. Kontti tarvitsee vain kytkeä lämmönvaihtimiin, sähköverkkoon. Kontin asentaminen on hyvin nopea toimenpide, joten suodatuksen asennus voi olla lähes valmis, kun LTO-ratkaisua ruvetaan asentamaan. Laitteisto tulee kuitenkin tilata noin viisi kuukautta ennen haluttua asennuspäivää.

Viides asennusvaihe on järjestelmän automatisointi ja sähköistäminen. Poistoilmakanavaan tarvitsee asentaa paineantureita, jotka mittaavat virtauksen riittävyden suodattimien ja lämmönvaihtimien yli. Saatu informaatio säätää puhaltimien tehoa ja antaa tarvittaessa ilmoituksen, kun suodatin on vaihdettava tai lämmönvaihdin on puhdistettava. LTO-kontti sisältää oman toimintansa vaatimat automaatiot, jotka voidaan kytkeä tehtaalla omaan automaatioverkkoon.

Lämpöpumpun automatisoitu säätö tapahtuu hetkellisen lämmön tarpeen mukaan. Lämpöpumpun tuotettu lämpötieto ohjataan kaasukattilalle, joka tarvittaessa käynnistyy ja priimaa veden oikeaan lämpötilaan.

Kaikista järjestelmään asennettavista laitteista tulee olla laiteluettelo, jossa on kunkin laitteen käyttö ja huolto-ohjeet. Luettelosta tulee löytyä myös mahdollisten varaosien tilausta koskevat tiedot sekä piirustukset laitteista ja niiden positioista.

5.5 Huolto

Kaikista hankituista uusista tuotteista tulee tilauksen mukana saada käyttö-, sekä huolto-ohjeet, joissa on yksinkertaiset ohjeet laitteiden huoltoon. Laitteiden sijainnit tehtaalla on myös syytä sijoittaa erillisiin pohjapiirustuksiin.

Suodattimien tiiviys ja kunto on tarkastettava visuaalisesti määräajoin. Jos vuotoa ilmenee, on huolto yritettävä tehdä mahdollisimman nopeasti. Mikäli suodattimet eivät toimi optimaalisesti, pölyä voi päästä läpi lämmönvaihtimeen mikä mahdollisesti tukkiutuisi. Tiiveystarkastus on hyvä tehdä vähintään suodatinkapseleiden vaihdon yhteydessä. Kapselit on suositeltavaa vaihtaa säännöllisesti sekä vaihtotoimenpiteestä on tehtävä dokumentointi suodatinkorttiin tai huoltokirjaan. Suodattimet kes-

tävät reilun vuoden ajan ja voidaan vaihtaa tehtaalla tapahtuvan vuosihuollon aikana. Todellinen suodattimien vaihtoväli selvitetään pitkäaikaisella paine-ero mittauksella, joka ilmoittaa suodattimen yli olevan paineen. Käytöstä poistetut suodattimet tulee hävittää maalipölyn vuoksi ongelmajätteenä.

Lämmönvaihtimet eivät tarvitse jatkuvaa visuaalista tarkkailua. Mahdollinen tukkeutuminen tai liian kertymistä voidaan tarkkailla automaatiojärjestelmän kautta paine-ero ja hyötysuhde mittauksista. Yksinkertaisemman, rivottoman rakenteen vuoksi lämmönvaihdinten puhdistus pesemällä on helpompaa ja voidaan suorittaa muun poistoilmakanavan pesun yhteydessä vuosittain. Pesun tulee olla hienovaraista, jotta ohuet lämmönvaihdinputket eivät vaurioidu esimerkiksi kovista iskuista tai liian kovasta pesuvedenpaineesta.

5.6 Järjestelmän kustannukset ja takaisinmaksuaika

Järjestelmän kustannukset ovat yrityksiä tarjouksista saatuja ja sisältävät kappaleissa, 5.3.1 ja 5.3.3, luetelleet varusteet, sekä asennuksen. Arvonlisäveroa ei ole tarjouksissa, eikä laskelmissa huomioitu.

Investointien kustannukset ja mahdolliset ELY-keskuksen tarjoamat tuet ovat esiteltynä taulukossa 7.

Taulukko 7. Investointien kustannukset ja investointituet

Suodatinjärjestelmä	Investointi kustannukset [€]	Investointituet [€]	Investointi tuilla [€]
5 maalauskaapin ryhmä	101000	20200	80800
6 maalauskaapin ryhmä	118800	23760	95040
Atex varusteet yht.	67000	13400	53600
LTO-laitteisto	265000	53000	212000
Yhteensä Atexilla	<u>551800</u>	<u>110360</u>	<u>441440</u>
Yhteensä ilman Atexia	<u>484800</u>	<u>96960</u>	<u>387840</u>

Investointikustannusten, vuosittaisten suodatinkustannusten sekä säästöpotentiaalien avulla lasketut takaisinmaksuajat ovat esiteltynä taulukossa 8.

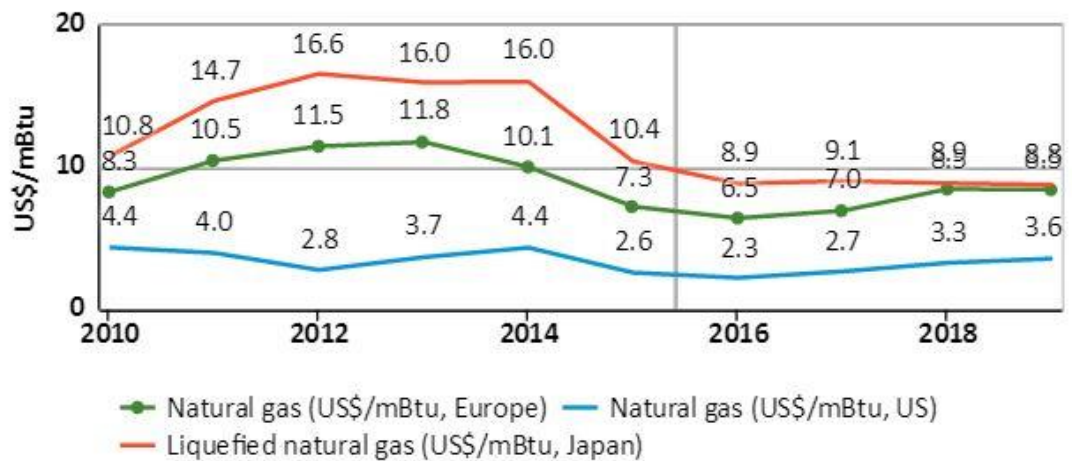
Taulukko 8. Takaisinmaksuajat

Laitteisto	Säästö potentiaali [€]	Vuosittaiset kustannukset [€]	Vuosittainen säästö [€]	Takaisinmaksu- aika ilman tukia [a]	Takaisin- maksuaika tuilla [a]
Atex varusteilla	83277	17556	65721	8.4	6.7
Ilman Atexia	83277	17556	65721	7.4	5.9

Järjestelmän kannattavuuteen voi vaikuttaa huomattavasti myös maakaasun hinnan vaihtelut. Euroopassa maakaasun hinnat ovat laskeneet viimeisten vuosien aikana (kuvio 8) ja ovat erittäin alhaalla, mutta Suomen oman kaasuverkon vuoksi hinnat neuvotellaan Suomeen erikseen. Suomeen ostettavan kaasun hinnasta ei ole julkista tietoa, toisin kuin öljyn hinnasta, josta julkaistaan päivittäinen kauppahinta. Usein hinta on sidottu jossain suhteessa esimerkiksi öljyn hintaan.

Kaasuputkisto Suomeen tulee suoraan Venäjältä, jossa kaasun myyntiä on käytetty myös poliittisena välineenä, etenkin Ukrainan kriisin aikana. Poliittiset syyt voivat siis olla riskitekijä hinnan nousuun, mutta todennäköisimmin hinta lähtee nousuun öljyn hinnan nousun myötä. Suomen kaasusopimus Venäjän kanssa, Gasumin ja Gazpromin välillä on solmittu 1990-luvulla ja se umpeutuu vuonna 2027. Hintaa kuitenkin pystytään tarkastamaan kolmen vuoden välein, joten hintavaihtelua ei tapahdu jatkuvasti. (Konttinen, J. 2015.)

Investointia suunnitellessa on tärkeä huomioida myös kaasun hinnan mahdollinen vaihtelu. Joka todennäköisimmin tulee olemaan nouseva maailmanpankin ennustekäyriin vedoten (kuvio 8).



Kuvio 8. Kaasun kustannuskäyrä (Economist Intelligent Unit. 2015.)

5.6.1 Investointituki

Energiatohokkuutta tukeviin investointeihin on mahdollista saada elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY-keskus) tarjoamaa investointitukea. Tavanomaisella tekniikalla toteutettuihin säästökohteisiin voidaan myöntää 20 % tuki investointin hinnasta.

Tuki on mahdollista saada energiakatselmuksissa todettuihin hankkeisiin tai niiden osiin, joilla on hankkeen toteutumisen kannalta tärkeä merkitys. Rapala voi siis saada tuen LTO-laitteiston investoinnista, sekä mahdollisesti myös toimenpiteen kannalta pakollisesta suodatusjärjestelmästä. (Investointituet. 2016.)

6 Yhteenveto

Lämmöntalteenotto likaisista ilmajirroista vaatii useita eri tarkastuksia ja mittauksia, jotta toimiva ratkaisu voidaan rakentaa. Tärkeimpänä on ilman laatu ja sen mukana kulevien partikkelien ominaisuudet. Suodatin on valittava ilman mukana kulkevien hiukkasten koon, määrän ja rakenteen mukaan. Vaikuttaviksi tekijöiksi jää myös ilmajirran määrä ja sen nopeus putkistossa. Olemassa oleviin kohteisiin saatetaan joutua asentamaan suodattimen lisäksi myös lisäpuhaltimen, jotta ilmajirtaus suodattimen yli saadaan ylläpidettyä sopivalla tasolla. Eri suodatintyyppien ominaisuudet selviää ja valintaa helpottaa taulukosta 7 löytyvät tiedot.

Taulukko 9. Suodatintyyppien ominaisuudet (Säämänen ym. 2004)

Suodatintyyppi	Sykloni	Kuitusuodatin	Sähkösuodatin	Venturipesuri
Käyttökohde	Murskaus, hionta, työstö-,	Kaikki kuiva pöly	Lentotuhka Hitsaushuurut	Kemialliset ja metallurgiset huurut
Edut	Yksinkertainen ja huoltovapaa rakenne	Korkea erotuskyky pienillekin hiukkasille	Alhainen painehäviö ja energiankulutus, korkea erotuskyky	Erottaa myös tahmeita tai syttyviä pölyjä sekä korrosoivia kaasut ja pölyt voidaan neutraloida, LTO suoraan nesteestä
Haitat	Pölyn aiheuttama kuluminen, alhainen erotuskyky pienille hiukkasille	Korkea painehäviö, rajoitukset korkeissa lämpötiloissa, ei sovellu tahmeille pölyille	Ei sovellu kaikille pölyille, kunnossapito vaatii asiantuntemusta	Korkea painehäviö, pesuneste käsiteltävä, korrosio ja jäätymisvaara
Kuormitus (g/m³)	0,1 - 100	0,1 - 20	0,1 – 2	0,1 - 100
Paine-ero (Pa)	500 – 1500	750 - 1500	100 – 250	500 - 4000
Hankinta kustannus	Alhainen	Kohtuullinen	Korkea	Alhainen
Käyttö kustannus	Kohtuullinen	Kohtuullinen	Alhainen	Korkea

Suodattimen jälkeen ilman laatu on tarkistettava epäpuhtauksien varalta. Jos vaatimukset eivät täyty, on käytettävä tiivistä levylämmönsiirintä tai nestekiertoista järjestelmää. Lämmönsiirtimen valintaan ja mitoitukseen tulee huomioida myös ilman massavirta, lämpötilaerot ja käytettävä materiaali. Osa materiaaleista johtaa paremmin lämpöä kuin toiset, mutta korroosion välttämiseksi on joissain tapauksissa käytettävä ruostumattomia materiaaleja tai pinnoitteita. Myös lämmön käyttökohde vaikuttaa oleellisesti järjestelmän suunnittelua. Jos lämpöä siirretään suoraan poistoilmasta tuloilmaan voidaan siirto tehdä suoraan lämmönsiirtimen avulla. Kuitenkin useissa tapauksissa halutaan lämpö johtaa esimerkiksi käyttöveteen. Kyseisessä tapauksessa on valittava nestekiertoinen järjestelmä ja käytettävä lämpöpumppua nostamaan kylmäaineen lämpötila korkeammaksi, jotta vesi saadaan haluttuun lämpötilaan. Lämmönvaihtimien valintaa helpottaa taulukosta 8 löytyvät tiedot.

Taulukko 10. Lämmönvaihdinten ominaisuudet

Lämmönvaihdin	Regeneraattori	Levyssiirrin	Nestekiertoinen järjestelmä	Lämpöputkipatteri
Edut	-Korkean lämmönsiirtokyky -Ei juurikaan jäätymisvaaraa -Pystyy siirtämään myös kosteutta -Pieni koko	-Ilmat eivät sekoitu -Korkea lämmönsiirtokyky -Vähä huoltoinen -Mahdollisuus virtausmallien muokkaukselle sekä pinnoitukselle -Alhainen hinta	-Tulo- ja poistoilmakanavien eri sijainnit mahdollisia -Ei ilmojen sekoittamista -Yksinkertainen asentaa olemassa oleviin laitoisiin -Ei kanavoinnin muutostarpeita	-Ei ilmojen sekoittamista -Yksinkertainen asentaa -Edullinen hinta -Vähä huoltoinen
Haitat	-Ilmavirtojen mahdollinen sekoittuminen. -Ilmakanavat on johdettava yhteen -Liikkuvien osien vuoksi vaatii enemmän huoltoa -Veden kondensoitumisvaara	-Ilmakanavat on johdettava yhteen -Ei pysty toimimaan suurilla virtausnopeuksilla -Ei kestä korkeita lämpötiloja -Veden kondensoitumis- ja jäätymisvaara	-Vaatii säätöjärjestelmän paremman toiminnan takaamiseksi -Poistoilmapatterin pinnoitus laskee hyötysuhdetta	-Ilmakanavat johdettava yhteen -Alhainen hyötysuhde -Veden kondensoitumis- ja jäätymisvaara
Lämpötilahyötysuhde	65 - 80 %	40 - 60 %, vastavirtatekniikalla jopa 80 %	40 - 60 %	45 - 60 %

Myös vaikeampiin kohteisiin toteutettaviin LTO-järjestelmiin on mahdollista valita taloudellinen, itsensä takaisin maksava laitteisto. Likaisten ilmavirtojen kanssa takaisinmaksuaika kuitenkin venyy pidemmäksi järjestelmän vaatiman suodatuksen vuoksi. Järjestelmän kustannuksia on kuitenkin mahdollista vähentää ELY-keskuksen tarjoamalla investointituilla, joka lyhentää takaisinmaksuaikaa.

7 Analysointi

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä esiselvitys Rapala VMCn poistoilman lämmöntalteenottoratkaisusta, johon sisältyy vaadittavat toimenpiteet, sekä lämmön talteenottoon vaadittavat laitteet. Tavoitteiden täyttämiseksi syntyi kiinteä teoriaosuus, joka helpottaa LTO-laitteiston suunnittelua. Työstä on hyötyä etenkin tilanteissa, joissa epäpuhtauksien vuoksi poistoilmaa ei voida käyttää hyödyksi. Työn tulos täyttyi esisuunnittelun lisäksi myös yksityksiltä saatujen tarjousehdotusten pohjalta. Tarjousehdotuksien ansiosta työn tuloksiin sisältyi säästöpotentiaalin lisäksi myös laitteiston kustannukset sekä niiden takaisinmaksuajat.

Esiselvityksenä työn on tarpeeksi laaja sisällytettäväksi Rapalan energiakatselmukseen. Työstä on siis suora hyötyä suunnitelmana vaikei itse laitteistoa hankittaisi välittömästi. Järjestelmän takaisinmaksuaika on positiivinen, sekä tarve suodatusinvestointi on välttämätön, joten on kuitenkin todennäköistä että työhön sisällytetyt tarjoukset tullaan toteuttamaan. Mahdollisuutena on jaoittaa investointi myös kahdelle vuodelle, niin että ensimmäisen vuoden budjettiin sijoitetaan toimiva suodatusjärjestelmä ja toisena vuonna lisätään järjestelmään myös lämmöntalteenotto.

Tarjouksena saadut laitteistojen investointikustannukset ovat selvät, mutta toimituksien lisäksi työhön tulee muitakin kustannuksia. Muutoksia kustannuksiin syntyy Rapalan vastuulle jäävään osaan hoitaa osan laitteiston sähköistyksestä, sekä katolla sijaitsevien poistoilmaputkien yhdistämisestä ja kannakoinnista sekä niiden asentamiseen kuluva työstä. LTO-laitteisto ja katolla sijaitsevat poistoilmaputket tarvitsevat myös suojan joka on syytä rakentaa eristetyksi tilaksi, joka lämpenee putkien vaikutuksesta ja pysyy kuivana myös talviaikaan. Keskimääräinen kustannus kevyelle tilarakennukselle on noin 1300 €/m², joten kustannukset tulevat nousemaan suhtellisen merkittävästi. Laskelmien säästöpotentiaalista puuttuu myös mahdollisesti asennettavan jäähdytyslaitteiston aiheuttamat sähkön lisäkustannukset.

Teoriaosuudessa on keskitytty laitteiston tärkeimpiin osiin eli suodattimiin ja lämmönvaihtimiin. Niiden sisältö koostuu yleisimmistä vaihtoehdoista joita käytetään maalamoiden poistoilmaa käsiteltäessä. Niissä esiintyvät hyötysuhteen arvot sekä

mahdolliset kuvaukset malleista voivat vaihdella toimittajien ja laitteiden mukaan. Teoriaosuuden pohjalta pystytään kuitenkin harkitsemaan myös muita vaihtoehtoisia ratkaisuja kyseiseen tai vastaaviin kohteisiin tulevaisuudessa.

Valinnat suodatintyypeistä ja LTO-ratkaisusta on tehty ilman laadun ja määrän kautta selvittämällä sopivuudet eri malleihin, yhteistyössä Rapalan edustajien kanssa.

Tarjousehdotukset on saatu lähtöarvojen ja toivottujen laitteistotyyppien avulla.

Kilpailutus on toteutettu huomioiden etenkin Rapalan lähialueilla sijaitsevia toimijoita. Pidempiaikaisella laitteistoon tutustumisella ja toimittajien kilpailutuksella järjestelmän kustannuksia voisi mahdollisesti pudottaa, mutta laitteiston käyttöönoton nopeuttaminen lyhentää aikaa, jolloin laitteisto maksaisi itsensä takaisin.

Kokonaisuudessaan kaikki työhön asetetut tavoitteet täyttyivät, eikä työ ylittänyt sille asetettuja rajoja. Tästä päätellen työ oli kokonaisuudessaan onnistunut.

Lähteet

Aittomäki, A., Aalto, E. 2012. Kylmäteknikka. 4. p. Helsinki: Suomen kylmähdistys.

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMk). 2002. Viitattu 15.1.2016.

<http://www.finlex.fi/data/normit/1921-D2s.pdf>

Economist Intelligent Unit. 2015. Viitattu 4.4.2016.

<http://knoema.com/ncszerf/natural-gas-prices-long-term-forecast-to-2020-data-and-charts>

Energiakatselmoian käsikirja. N.d. Motivan ohje energiakatselmoijille. Osa 2, luku 2.

Viitattu 4.4.2016

<http://www.motiva.fi/files/1696/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-2-luku-2-4-A.pdf>

Hodge, J. 1961. Regenerative heat exchangers patent. Patent reciever, Power Jets Res Dev Ltd. Viitattu 18.2.2016

<http://www.google.com/patents/US2987885?hl=fi>

Holopainen, H. 2013. Rasvasuodatus uv-valon avulla. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 11.2.2016.

https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/90348/Kandidaatinty%C3%B6_Rasvasuodatus_UV-valon_avulla.pdf?sequence=2

How to install a water heater. 2013. Viitattu 25.4.2016

<http://yourwayhomeaz.com/how-to-install-a-water-heater-heat-pump.html>

Ilmastonmuutoksen hillintä. 2013. Viitattu 14.1.2016.

http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillinta

Investointituet. 2016. Viitattu 26.4.2016.

http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/katselmus- ja_investointituet/investointituet

Konttinen, J. 2015. Suomen ostaman venäläisen kaasun hinta on salaisuus. Helsingin Sanomat. Viitattu 4.4.2016.

<http://www.hs.fi/talous/a1440639970242>

Liddament, M.W. 1996. A Guide to Energy Efficient Ventilation. Viitattu 25.1.2016.

<http://www.aivc.org/resource/gv-guide-energy-efficient-ventilation?volume=33979>

Rapala VMC CORP. Company Presentation. 2015. Viitattu 26.1.2016

http://rapalavmc.com/sites/rapalavmc.com/files/rapalavmc/documents/Rapala%20VMC%20Corporation_Company%20Presentation.pdf

Riipinen, I., Lehtipalo, K. N.d. Hiukkasten suodatus. Viitattu 30.3.2016.

<http://www.hiukkastieto.fi/node/133>

Sandberg, E. 2014. Sisäilmasto ja ilmastoitijärjestelmät. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut

Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut

Seppänen, O. 2008. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen LVI-liitto

Siirtola, J. 2016. Tekninen päällikkö. Rapala VMC Oyj. Haastattelu 26.1.2016.

Siltala, J. 2016. Tehtaanjohtaja. Rapala VMC Oyj. Haastattelu 8.3.2016.

Suurten yritysten pakolliset katselmukset. N.d.

<https://www.energiavirasto.fi/suurten-yritysten-pakolliset-katselmukset> 14.1.2016

Säämänen, A., Riipinen, H., Kulmala, I., Willing, I. 2004. Pölyntorjunta. VTT julkaisu. Viitattu 11.2.2016.

<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>

UN Climate Change Report. 2015. Viitattu 14.1.2016.

<http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/indc-synthesis-report-press-release/>

Willmott, A.J. 2011. Regenerative Heat Exchangers. Viitattu 18.2.2016

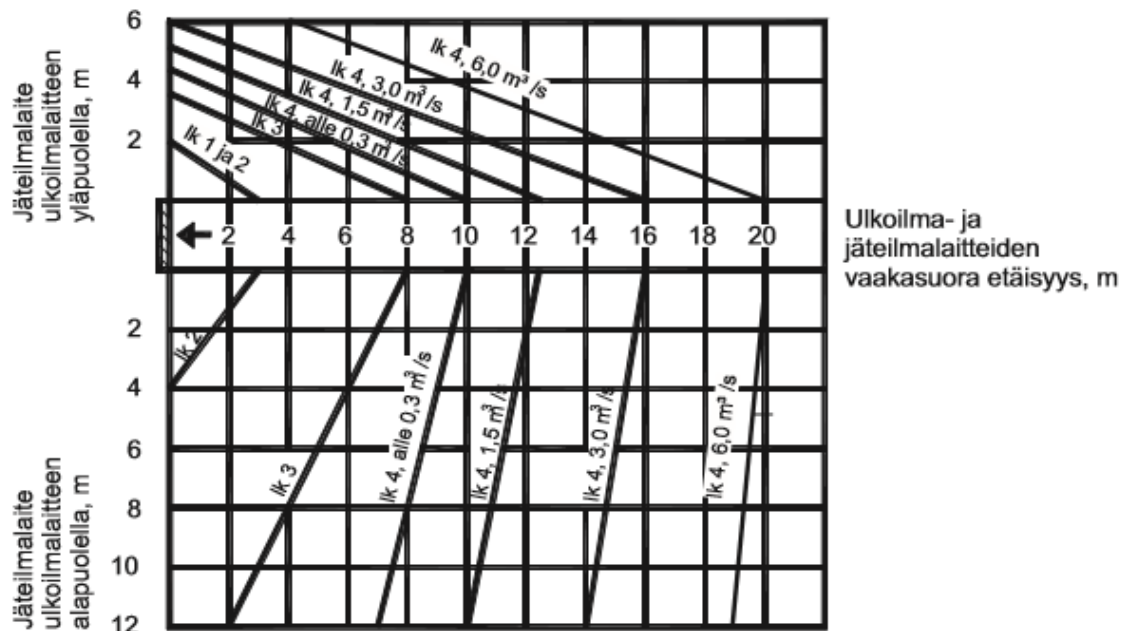
<http://www.thermopedia.com/content/1087/>

Liitteet

Liite 1. Jäteilman sijoitus

TAULUKKO 5. JÄTEILMALAITTEEN SIJOITUS

Jäteilmalaitteen etäisyys:	Etäisyys, m			
	Poistoilmaluokka			
	1	2	3	4
Ulkoilmalaitteista	kuva 2	kuva 2	kuva 2	kuva 2
Alapuolella olevista avattavista ikkunoista	2	2	4	6
Samalla tasolla tai yläpuolella olevista avattavista ikkunoista tai oleskelutasoista	3	3	6	10
Maanpinnasta tai pihatasosta	2	2	3	5
Kattopinnasta	0,9	0,9	0,9	0,9
Etäisyys voi olla pienempi, jos ilmanvaihtoa haittaavan lumipeitteen muodostuminen estetään jyrkän harjakaton avulla, lumisuojuksin tai muulla luotettavalla tavalla.				
Naapuritontista (ei koske pientaloja)	2	2	5	8
Tuuletusviemärin ja savupiipun aukosta	1	1	1	1
Painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon jäteilmalaitteiden välinen etäisyys	1	1	1	1



Kuva 2. Jäte- ja ulkoilmalaitteiden väliset etäisyydet. Viivojen väliarvot voidaan arvioida.