

Kalle Ikäheimo

## **MAALAUSSKAMMION ENERGIANKULUTUS**

Uuteen järjestelmään investoimisen kannattavuus ja vaihtoehdot

## **MAALAUSSKAMMION ENERGIANKULUTUS**

Uuteen järjestelmään investoimisen kannattavuus ja vaihtoehdot

Kalle Ikäheimo  
Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
Energiatekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

---

Tekijä(t): Kalle Ikäheimo  
Opinnäytetyön nimi: Maalaus-kammion energiankulutus  
Opinnäytetyön engl. kielinen nimi: Energy Consumption of a Paint Booth  
Työn ohjaaja(t): Timo Kiviahde  
Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2021  
Sivumäärä: 40

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää oululaiselle automaalaamolle sen käyttämän maalaus-kammion energiankulutus ja harkinnassa olevan laiteinvestoinnin kannattavuus. Käytössä olevista suurista lämminvesivaraajista tahdottiin luopua, koska näitä lämmittävän yösähkön hintaero päiväsähköön on pienentynyt jopa 15 prosenttiin.

Nykyisen järjestelmän käyttökustannuksia selvitettiin maalaus-kammion tarvitseman nettoenergian kautta. Harkinnassa olleesta lämminilmakehittimestä ja eri valmistajan vastaavasta laitteesta pyydettiin tarjoukset. Laitteiden käyttökustannukset arvioitiin, ja laitteisiin investoimisen kannattavuutta arvioitiin takaisinmaksuajan menetelmällä. Herkkyysanalyysinä polttoaineena käytettävän kevyt-polttoöljyn hintana käytettiin useita eri arvoja, jotka edustivat erilaisia tulevaisuuden näkymiä.

Tuloksista voitiin päätellä, että alun perin mainittu laite oli maalaus-kammion kokoon nähden turhan iso, ja vaihtoehtoinen laite oli vertailukelpoisempi tässä tilanteessa. Investoinnin todettiin olevan kannattava, mikäli öljyn hinta ei seuraavan 10 vuoden aikana nouse pysyvästi tasolle, jossa se on käynyt korkeimmillaan edellisen 10 vuoden aikana. Tässäkin tapauksessa laite toisi taloudellisia säästöjä mutta ei kuitenkaan maksaisi itseään takaisin.

Työtä tehtäessä nousi esille kysymys fossiilista polttoainetta käyttävän laitteen hankkimisen kannattavuudesta, kun kaikilla sektoreilla näistä polttoaineista pyritään luopumaan. Energiamurros vaikuttaa investointien kannattavuuteen, mutta sen tarkkaa vaikutusta oli hyvin vaikea arvioida. Voitiin kuitenkin todeta, että harkittu laite ei muutu käyttökelvottomaksi, koska kevyt polttoöljy on mahdollista korvata bioöljyllä. Esille nostettiin ajatus, että uuden laitteen hankinnan sijaan nykyisen järjestelmän kytkentää yksinkertaistamalla ja lämmöntalteenottoon investoimalla voitaisiin päästä toivottuihin taloudellisiin säästöihin.

Opinnäytetyöhön saatiin toimeksiantajan toivomia tuloksia harkitun investoinnin kannattavuudesta, joten päätarkoitus toteutui. Työssä olisi ollut kuitenkin hyvä saada tarkempia ja monipuolisempia tuloksia, mutta aikataulun tiukkuus esti näiden toteuttamisen.

---

Asiasanat: Lämmitys, energiankulutus, maalaus-kammio, energiamurros, kevyt polttoöljy

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in energy technology

---

Author(s): Kalle Ikäheimo  
Title of thesis: Energy Consumption of a Paint Booth  
Supervisor(s): Timo Kiviahde  
Term and year when the thesis was submitted: 5/2021  
Number of pages: 40

---

The aim of this thesis was to calculate energy consumption of a paint booth used for spray painting. Figures from these calculations were used to compare if a possible new warm air generator unit could bring financial savings. Previously the booth was heated using large water boiler units. These units were heated using off-peak electricity, but the price difference between peaks and off-peaks has come down, making heating more expensive than it has originally been.

Current energy consumption was calculated through theoretical net energy usage, because data was not available from the current equipment used, and timetable of thesis was too strict to allow for precise measurements on-site. Energy consumption of the possible new generator units was calculated from the provided data from suppliers. Difference between these consumption calculations was used to calculate a payback period for each new unit.

One of the compared units was proven to likely provide financial savings, even after using sensitivity analysis to make price of light fuel oil higher than it is like to be at for extended periods. Payback period in this scenario however was too long for the investment to pay itself back. Also, ramifications of the ongoing energy transition to the possible investment to an air generator unit using fossil fuels must be considered as well. Possibility of updating the current system with a heat recovery system was also mentioned as a possible way to achieve savings.

---

Keywords: Heating, energy consumption, paint booth, light fuel oil, energy transition

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	KOHDE.....	8
2.1	Maalausammion lämmityksessä ja ilmanvaihdossa käytettävät laitteet.....	9
2.2	Standardi SFS 3358 .....	9
2.3	Korjaamohallin muut laitteet .....	10
3	MAALAAUSAMMION LAITTEISTO.....	12
3.1	Lämminvesivaraaja .....	12
3.2	Ilmanvaihto.....	14
3.3	Maalausammio ja maalausprosessi.....	15
4	KOHTeen JA LÄMMITYSTAPojEN ENERGIANKULUTUS .....	17
4.1	Maalausammion lämmitys tällä hetkellä .....	17
4.2	Uuden laitteiston energiankulutus .....	20
4.3	Investoinnin kannattavuus ja herkkyyshanalyysi .....	20
5	ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA JA TULOKSET .....	22
5.1	Maalausammion kuukausittainen nettoenergiantarve.....	22
5.2	Ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutus.....	23
5.3	Lämmönsiirto vedestä ilmaan.....	24
5.4	Veden lämmitykseen kuluva energia.....	25
6	VAIHTOEHTOiset ENERGIAMUODOT JA NIIDEN HINTAVERTAILU .....	26
6.1	Mahdollisia energialähteitä.....	26
6.2	Energiahinnat .....	27
7	LÄMMINILMAKEHITTIMET JA INVESTOINNIN KANNATTAVUUS.....	29
7.1	Polarthermin lämminilmakehitin.....	29
7.2	FAM lämminilmakehitin .....	31

7.3	Muut laitteet.....	31
7.4	Investoinnin kannattavuuden laskelmat ja arviointi.....	32
7.4.1	Polarthermin tarjous.....	32
7.4.2	Finnkoneen tarjous .....	33
8	MAHDOLLISET TOIMENPITEET .....	35
8.1	Investointi uuteen lämminilmakehittimeen .....	35
8.2	Nykyisen järjestelmän päivitys.....	36
9	YHTEENVETO .....	38
	LÄHTEET.....	39

# 1 JOHDANTO

Aikasähkön eli yö- ja päiväsähkön hintaerot ovat pienentyneet huomasti. 2000-luvun alkupuolella hintaero oli 50 %:n luokkaa, kun nykyään ero on 20 %:n tuntumassa (Pohjois-Karjalan sähkö 2016). Esimerkiksi Oomin tarjoamassa 24 kk:n aikasähkösopimuksessa on hintaero enää 12,5 % (Oomi 2021). Tämän takia energian varaaminen yöllä esimerkiksi lämminvesivaraajalla ei ole enää aina järkevää. Hintaeron supistumisen takia tämän työn toimeksiantajana toimiva yritys antoi tehtäväksi tutkia energiansäästömahdollisuuksia käytössä olevan maalausammion lämmitystapaa vaihtamalla.

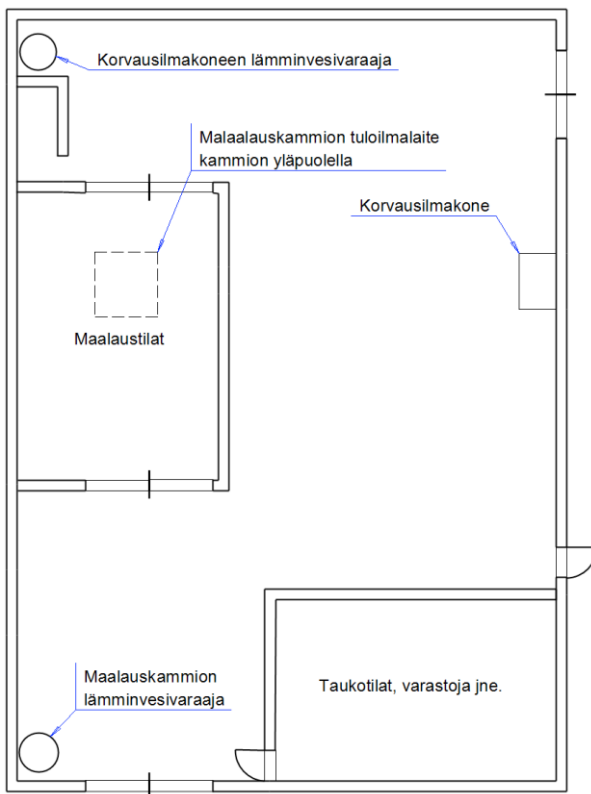
Maalaustilat sijaitsevat korjaamohallissa, jossa suoritetaan myös autojen muita huoltotöitä. Tilat koostuvat maalausammion ja kuivausuunista, jotka on erotettu toisistaan ovilla. Maalausammion tuloilma otetaan korjaamohallista, ja poistoilma puhalletaan suoraan ulos. Tällä hetkellä ammion tuloilma lämmitetään käyttämällä suurta sähkölämmitteistä varaajaa, joka lämpiää yösaikalla. Ammion käyttö vaihtelee hyvin paljon työtehtävien ja niiden määrän mukaan. Tässä työssä oletetaan käytön olevan 20 tuntia viikossa koko vuoden, mikä vastaa suhteellisen kiireistä ja isoista viikkoa.

Muita suuria sähkökuluttajia korjaamolla ovat paineilmakompressori, kolme ilmalämpöpumppua, valaistus sekä hallin korvausilmapuhallin ja tämän lämmittämiseen käytetty lämminvesivaraaja. Paineilmakompressorin energiankäytöstä on jo tehty selvitystä, ja uutta kompressoria ollaan ottamassa käyttöön. Hallin korvausilmapuhallinta käytetään vain talvisin maalausammion ollessa käytössä, koska korjaamotilaan syntyy muuten suuri alipaine.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella erityisesti käytössä olevan maalausammion energiansäästömahdollisuuksia. Työssä käydään läpi maalausammion laitteistoa ja sen energiankulutuksen laskentatapoja. Kulutus- ja hintatietojen avulla selvitetään toimeksiantajalle eri energialähteiden käytön vaikutus tilojen käyttökustannuksiin. Investoinnin kannattavuuden lisäksi työssä arvioidaan polttoöljyn käytön tulevaisuutta.

## 2 KOHDE

Toimeksiantajan tilat sijaitsevat Oulussa, ja ne sijoittuvat yhteen rakennukseen, joka on valmistunut vuonna 1982 (kuva 1). Rakennuksesta suurimman tilan vie korjaamohalli, jossa suoritetaan maalaamista edeltäviä toimenpiteitä sekä muita korjauksia. Taukotilat sijaitsevat yhdessä nurkassa, ja niissä kuluva lämmin käyttövesi lämmitetään pienellä varaajalla. Maalausammio ja uuni ovat samassa pariovin varustetussa osastossa. Kammion käyttö on hetkittäistä, ja viikon käyttöajat vaihtelevat työtilausten määrän ja laadun mukaan. Tässä työssä oletetaan kammion olevan käytössä 20 tuntia viikossa.



KUVA 1. Havainnekuva korjaamohallin pohjasta

Yksi ongelmakohtista tämänhetkisessä järjestelmässä on se, että maalaukseen kuuluvien tilojen tuloilma otetaan korjaamohallista. Tämän takia maalaukseen kuuluvien tilojen ollessa käytössä on korjaamohalliin talvella tuotava korvausilmaa koneellisesti, koska muuten korjaamohalliin syntyy suuri alipaine. Kesällä ongelmaa ei pääse syntymään, koska hallin suuret ovet voidaan avata. Talvella tämä kuitenkin tarkoittaa ylimääräisiä lämmityskuluja, kun tuloilman lämmittämiseen joudutaan käyttämään

energiaa toisesta lämminvesivaraajasta. Suurimman osan ajasta eli kun maalausammio ei ole käytössä, lämmittäminen tapahtuu kolmella ilmalämpöpumpulla.



*KUVA 2. Maalausammio*

## **2.1 Maalausammion lämmityksessä ja ilmanvaihdossa käytettävät laitteet**

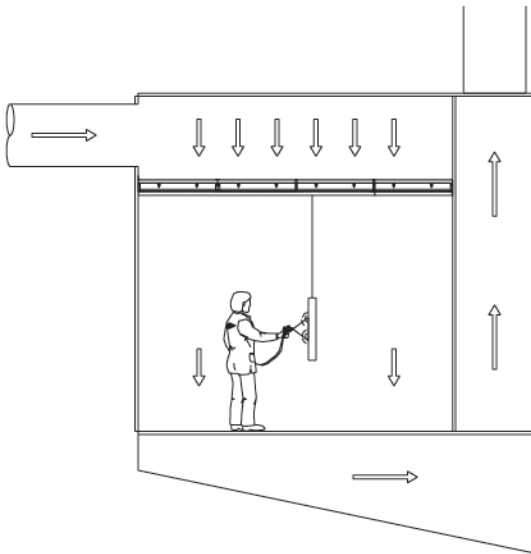
Maalausammion lämmitykseen käytetään tällä hetkellä lämminvesivaraajaa, joka lämpiää yösähköllä. Kammion tuloilma lämmitetään maalaustyön tarvitsemaan lämpötilaan tuloilmakojeessa, joka saa ilmansa korjaamohallista. Maalausammioista ilma poistetaan poistoilmapuhaltimella ulos. Nopeita kuivausaikoja tarvittaessa avataan väliovet uuniin, ja hyödynnetään siellä sijaitsevia sähkövastuksia. Maalausammion ilmanvaihtoon kuuluu myös maalauksen aikana käytettävä korvausilmakoje ottaa ilmansa välikatosta ja lämmittää tuloilman toisesta lämminvesivaraajasta saatavalla lämmöllä.

## **2.2 Standardi SFS 3358**

Standardi SFS 3358 käsittelee maalaukseen liittyviä toimintoja ja tiloja. Se keskittyy ohjeistamaan maalaustilojen suunnittelua niin, että räjähdysvaaraan johtavia olosuhteita ei pääse syntymään maalauksesta johtuen. Maalaustilan ilmanvaihto suunnitellaan ensisijaisesti niin, että mahdollisesti

muodostuvan palavan nesteen höyryn, kaasun tai sumun pitoisuus on enintään 25 % alemmasta syttymisrajasta. Tätä varten ilmanvaihtomäärän tulee olla kuusi kertaa tilan tilavuus tunnissa, jos toimitaan nesteiden kanssa, joiden leimahduspiste on alle 60 °C (SFS 3358, 17)

Standardissa annetaan myös esimerkki suljetun nestemaalaukskaapin ilmanvaihdosta ja sen suositelluista ilmannopeuksista. Kuvassa 3 on kohteen mukainen suljettu nestemaalaukskaappi pystysuoralla ilmanvaihdolla. Tällaisessa maalaustilassa keskiarvo mitatuille ilmannopeuksille on oltava vähintään 0,30 m/s. Yksittäisen mittausarvon tulee olla vähintään 0,25 m/s (SFS 3358, 35)



*KUVA 3. Suljettu nestemaalaukskaappi pystysuoralla ilmanvaihdolla (SFS 3358, 35)*

Standardi antaa myös erityisvaatimuksia ilmanvaihtolaitteiden sijoitukselle, toiminnalle ja valvonalle. Ilmanvaihdon määrää on valvottava esimerkiksi paine-eromittauksella, ja maalauslaitteisto saa toimia vain, jos ilmanvaihto on käynnistetty ja toimii normaalisti.

### **2.3 Korjaamohallin muut laitteet**

Korjaamohallin muut merkittävät energiankuluttajat ovat paineilmakompressori, hallin lämmitykseen käytettävät kolme ilmalämpöpumppua, valaistus sekä korvausilmakoje ja sen käyttämä lämminvesivaraaja. Kuvassa 4 näkyvät korvausilmakone ja korvausilman lämmityksessä käytettävä lämminvesivaraaja ovat käytössä vain talvella silloin, kun maalauskammiota käytetään. Tällä estetään alipaineen syntyminen korjaamotiloihin.



*KUVA 4. Korjaamohallin korvausilmakoje ja sen lämmittämiseen käytetty lämminvesivaraaja*

Kompressorin energiatehokkuudesta on jo tehty laskelmia, ja uusi kompressori on valmiina käyttöön otettavaksi. Valaistuksen LED-loisteputkia on kokeiltu normaalien loisteputkien tilalla ja on suunniteltu, että loput loisteputket vaihdetaan näihin energiatehokkaampiin valaisimiin

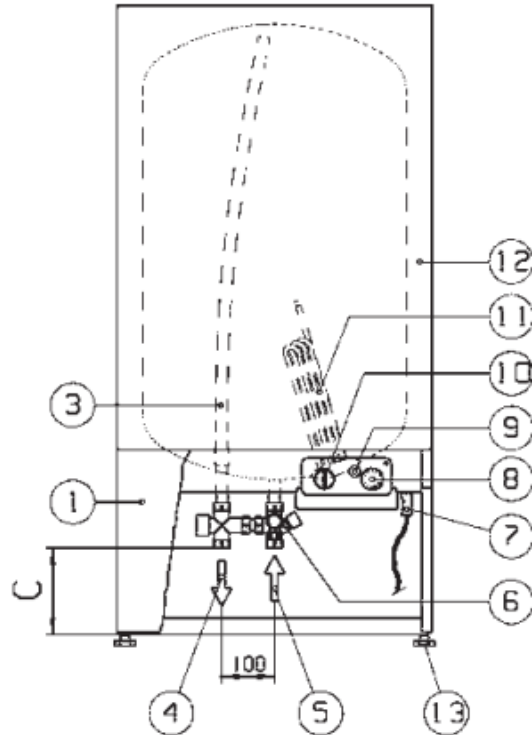
### 3 MAALAAUSKAMMION LAITTEISTO

Saavutettavissa olevan energiansäästön selvittämiseksi käytössä olevan laitteiston energian kulu-  
tusta arvioitiin. Tässä luvussa esitellään maalaamon laitteita ja toimintoja, joiden vaikutusta koko-  
naisenergiankulutukseen kuvataan.

#### 3.1 Lämminvesivaraaja

Lämminvesivaraajaan varastoidaan lämpöenergiaa käytettäväksi silloin kun sitä tarvitaan. Vesi voi-  
daan lämmittää sähköllä, polttoainekäyttöisillä kattiloilla, aurinkolämmöllä jne. Vaikka vesi lämmi-  
tettäisiin pääasiallisesti jollain muulla tavalla kuin sähköllä, on varaajissa useasti myös sähkövas-  
tus, jolla lämmittäminen voidaan tarvittaessa suorittaa.

Lämminvesivaraajia käytetään kotitalouksien lämmitysjärjestelmässä varmistamaan lämmön riittä-  
vyys. Kuvassa 5 esitellään tärkeimmät osat: sähkövastus, joka lämmittää veden (11), sisäputki,  
jonka kautta lämmin vesi johdetaan ulos (3), ja tulo- ja menoveden liittimet (4, 5). Jäspän lämmin-  
vesivaraajien nettisivuilla (Kaukora Oy 2021) suositellaan lämminvesivaraajan säiliön kooksi 100—  
500 litraa talouden koon mukaan.



KUVA 5. Lämminvesivaraajan periaatekuva (Jäspi lämminvesivaraajat 2021)

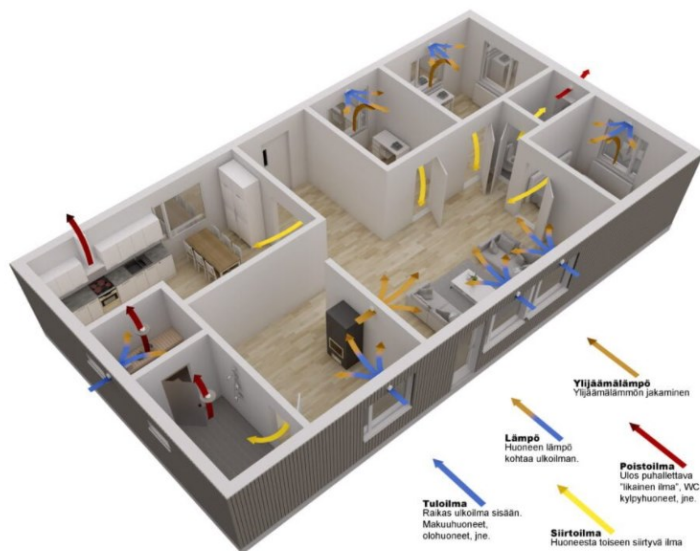
Lämminvesivaraajien käyttökohteet eivät rajoitu pelkästään kotitalouksien tarpeiden täyttämiseen. Lämpöä, joka on jostain syystä halvempaa tai menossa hukkaan, voidaan varastoida käytettäväksi myöhemmin. Tällöin puhutaan useasti myös energiavaraajista. Tällaisessa käytössä laitteen koko on suurempi, tuhansista litroista jopa satoihin tuhansiin kuutioihin (Enertec.fi 2021).

Kohteessa on käytössä kolme lämminvesivaraaja: maalausammion lämmitykseen käytettävä noin 10 kuution varaaja, korjaamohallin korvausilman lämmitykseen käytettävä noin 8 kuution varaaja ja pieni lämpimän käyttöveden lämmitykseen käytettävä varaaja, jota ei huomioida tässä työssä. Niissä vesi lämmitetään pelkillä sähkövastuksilla, ja tämä on ollut halvan yösähkön aikaan tehokas tapa saada halpaa lämpöenergiaa maalaustilojen käyttöön päiväksi. Säiliöiden suuren yhteistilavuuden ja käyttötavan perusteella voidaan jo puhua energiavarastosta.

### 3.2 Ilmanvaihto

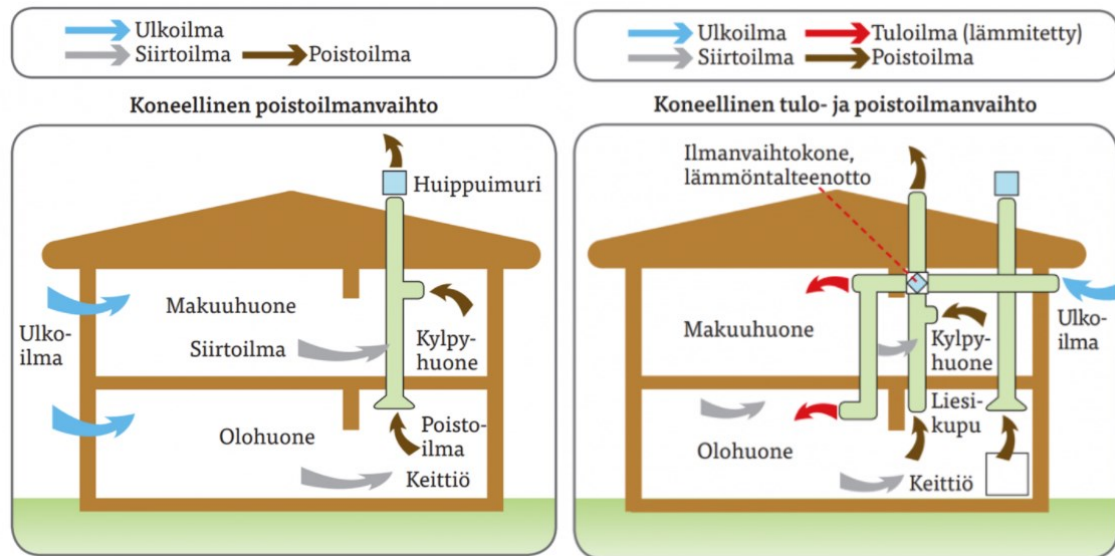
Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan ilmanvaihtojärjestelmän on luotava rakennuksen käyttötarkoituksen ja käytön mukaan edellytykset terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle (RakMK D2, 9). Ilmanvaihto voidaan toteuttaa koneellisesti tai painovoimalla.

Painovoimalla toteutetussa ilmanvaihdossa ei ole erillistä ilmanvaihtokoneistoa, vaan ilma vaihtuu tiloissa sisä- ja ulkoilman lämpötilaerojen vaikutuksesta; kylmä ilma laskeutuu alas, ja lämmin ilma nousee ylös. Puhutaan myös luonnollisesta ilmanvaihdosta (kuva 6). Ilma saapuu sisälle tuloilmaventtiilien kautta ja poistuu niille tarkoitetuista hormeista ja venttiileistä. Ilman poistumiseen vaikuttavat myös käytettävät laitteet ja kojeet, kuten esimerkiksi liesituuletin (Ilmakas.fi, 2021). Painovoimainen ilmanvaihto on ollut yleisin ilmanvaihtojärjestelmä suomalaisissa taloissa 1980-luvulle saakka (Ilmakas Oy 2021).



KUVA 6. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (Ilmakas Oy 2021)

Koneellisessa ilmanvaihdossa poistoilma tai tulo- ja poistoilma saadaan liikkeelle erillisellä laitteella, ilmanvaihtokoneella (kuva 7). Jos koneellisesti pelkästään poistetaan sisäilmaa, tulee huolehtia, että rakennuksessa on tarpeeksi tuloilmaventtiilejä, joista sisälle pääsee korvausilmaa. Kun molemmat tulo- ja poistoilma liikutetaan koneellisesti, voidaan käyttää iv-koneessa esimerkiksi lämmöntalteenottoa.



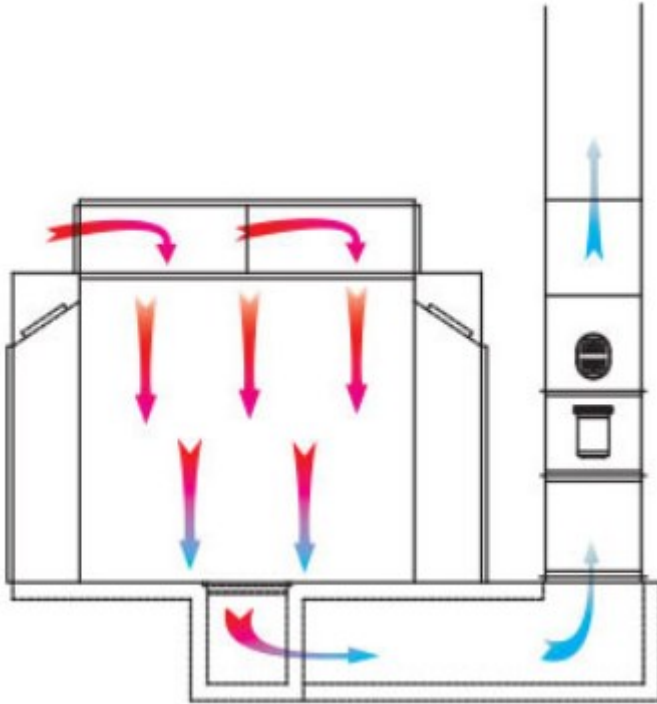
KUVA 7. Koneellinen ilmanvaihto omakotitalossa (Hengitysliitto 2021)

Opinnäytetyön kohteessa korjaamohallin ilmanvaihto tapahtuu luonnollisesti, ja tila lämmitetään kolmella ilmalämpöpumpulla. Maalauskammiota käytettäessä tarvitaan kylmillä keleillä lämpimän korvausilman tuottamiseen lisäksi erillistä tuloilmakonetta.

### 3.3 Maalauskammiot ja maalausprosessi

Maalauskammiot on tila, jossa lämpötila ja ilmanvaihto on suunniteltu siten, että se on mahdollisimman otollinen maalaustyölle. Jotta maalauksen jälki on paras mahdollinen, tulee olla mahdollista pitää lämpötila sopivana ja ilmanvaihto sellaisena, että se minimoi epäpuhtauksien pääsyn maalauspinnoille. Markkinoilla on myynnissä valmiita kammioita, jotka kootaan paikan päälle.

Ilmanvaihto toteutetaan kammiossa niin, että tuloilma saapuu ylhäältä mahdollisimman suurelta alalta ja poistoilma ohjataan ulos lattian kautta (kuva 8). Tällöin ilmavirta ei kierrätä kammion pohjalle mahdollisesti kertyneitä epäpuhtauksia maalipinnalle, eikä ilmaan jää leijumaan pisaroita ruiskumaalauksesta (Lidström 2021). On tärkeää, että poistoilma poistuu sille tarkoitettua reittiä eikä esimerkiksi kammion ovien raoista, koska se sisältää paljon maalauksessa syntyviä höyryjä. Tämän takia maalauskammiot tulee olla hieman alipaineinen.



KUVA 8. Ilmavirta maalauskammiossa (Global Finishing Solutions 2021)

Maalausprosessin aikana kammiossa pidetään yllä maalaustavan vaatimaa lämpötilaa ja jatkuvaa ilmanvaihtoa. Tämän jälkeen tilaa tuuletetaan sen aikaa, että ilmassa olevat höyryt ja pisarat poistuvat. Maali jätetään kuivumaan ”jäkilämmöllä”, mikäli työn toimituksella ei ole kiirettä. Tarvittaessa maalattu kohde voidaan kuivata nopeasti käyttämällä kammiota uunina (Lidström 2021).

## 4 KOHTEEN JA LÄMMITYSTAPOJEN ENERGIANKULUTUS

Tässä luvussa esitellään, millä tavoin kohteen sekä mahdollisten vaihtoehtoisten lämmitystapojen energian kulutus arvioidaan. Lisäksi esitellään tapoja, joilla investoinnin kannattavuutta tarkastellaan.

### 4.1 Maalausammion lämmitys tällä hetkellä

Maalausammion tuloilma otetaan korjaamohallista, johon lämmin ilma tulee korvausilmakoneesta ammion ollessa käytössä. Koska maalausammio lämmitetään vakioilmavirralla, voidaan tähän soveltaa RakMK D5:stä löytyviä ohjeita. Nettoenergian tarve lasketaan kaavalla 1 (RakMK D5, 21.)

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left( (T_{sp} - \Delta T_{puh}) - T_{lto} \right) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 1}$$

jossa

$Q_{iv}$	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve (kWh)
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte (h/24h)
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte (vrk/7 vrk)
$\rho_i$	ilman tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti (J/kgK)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta (m <sup>3</sup> /s)
$T_{sp}$	sisäänpuhalluslämpötila (°C)
$\Delta T_{puh}$	lämpötilan nousu puhaltimessa (°C)
$T_{lto}$	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila (°C)
$\Delta t$	ajanjakson pituus (h)
1000	kerroin, jolla suoritetaan yksikkömuunnos kilowattitunneiksi.

Kaavaa käytettäessä tässä työssä tulee huomioida, että  $T_{lto}$  on tässä tapauksessa ulkolämpötila, koska järjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa. Energiansäästökeinoja mietittäessä lasketaan kuitenkin järjestelmän kulutus, jos lämmöntalteenotto järjestettäisiin. Tätä varten käytetään kaavoja 2 ja 3, joista selviää LTO:n jälkeinen lämpötila, ja kuukaudessa talteen otettu keskimääräinen teho.

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}}$$

KAAVA 2

jossa

$T_{lto}$	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila (°C)
$T_u$	ulkoilman lämpötila (°C)
$\phi_{lto}$	lämmöntalteenotolla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho (W)
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7 vrk)
$\rho_i$	ilman tiheys (1,2 kg/m <sup>3</sup> )
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 J/kgK)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta (m <sup>3</sup> /s)

$$\phi_{lto} = \eta_{lto} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_s - T_u)$$

KAAVA 3

jossa

$\phi_{lto}$	lämmöntalteenotolla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho (W)
$\eta_{lto}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7 vrk)
$\rho_i$	ilman tiheys (1,2 kg/m <sup>3</sup> )
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 J/kgK)
$q_{v,poisto}$	poistoilmavirta (m <sup>3</sup> /s)
$T_s$	sisälämpötila (°C)
$T_u$	ulkolämpötila (°C)

Ilmanvaihtokoneiden puhaltimien aiheuttama sähkönkulutus lasketaan kaavalla 4 (RakMK D5, 52).

$$W_{iv} = \sum SFP q_v \Delta t + W_{iv,muu}$$

KAAVA 4

jossa

$W_{iv}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus (kWh)
$SFP$	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho (kW/m <sup>3</sup> /s)

- $q_v$  puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $\Delta t$  puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla (h)  
 $W_{iv, muu}$  muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus (kWh)

Puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho SFP lasketaan kaavalla 5 (RakMK D5, 52).

$$SFP = \frac{P_{puh}}{q_v} \quad \text{KAAVA 5}$$

jossa

- $P_{puh}$  puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho ( $\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $q_v$  puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Tuloilmakoneessa ilma lämmitetään vesi-ilmalämmönsiirtimellä ja tästä voidaan muodostaa energiavirtatase (kaava 6). Sen avulla voidaan arvioida tarvittavaa veden määrää ja lämpötilaeroa, kun lähtöarvoja vedestä tai lämmönsiirtimestä ei ole juuri saatavilla.

$$\dot{m}_i c_{pi} \Delta T_i = \dot{m}_v c_{pv} \Delta T_v \quad \text{KAAVA 6}$$

jossa

- $\dot{m}_{i,v}$  ilman ja veden massavirrat ( $\text{kg}/\text{s}$ )  
 $c_{pi,v}$  ilman ja veden ominaislämpökapasiteetit ( $\text{kJ}/\text{kgK}$ )  
 $\Delta T_{i,v}$  ilman ja veden lämpötilaerot lämmönsiirtimen yli ( $^{\circ}\text{C}$ )

Energiavirtatase ei ota huomioon todellisen laitteen hyötysuhteeseen vaikuttavia asioita kuten lämmönsiirtopintojen likaantumista. Taseesta saatava veden määrä voidaan kasvattaa suuremmaksi sopivaksi arvioidulla kertoimella, jolla otetaan huomioon, että siirto ei tapahdu täydellisellä hyötysuhteella. Tällä saadaan järjestelmän todellisuudessa kuluttama sähköteho, eli käyttökustannukset lähemmäksi oikeaa.

Veden lämmittämiseen kulunut energia lasketaan kaavalla 7 (Motiva).

$$Q = \frac{\rho c_p V (t_2 - t_1)}{3600} \quad \text{KAAVA 7}$$

jossa

$Q$	veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)
$\rho$	veden tiheys (kg/ m <sup>3</sup> )
$c_p$	veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK)
$V$	vedenkulutus (m <sup>3</sup> )
$t_2$	lämmitetyn veden lämpötila (°C)
$t_1$	lämmitettävän veden lämpötila (°C)
3600	yksikkömuunnoskerroin kilojouleista kilowattitunteihin.

## 4.2 Uuden laitteiston energiankulutus

Harkinnassa olevien lämminilmakehittimien energiankulutus arvioidaan laitteen ilmoitetun hyötysuhteen, nimellisilmamäärän ja käytetyn polttoaineen kautta. Koneiden käyttämien puhaltimien sähkönkulutus lasketaan samoilla kaavoilla kuin edellä on esitetty. Polttoaineenkulutusta arvioidaan vertaamalla polttoaineen eli polttoöljyn sisältämää energiaa nettoenergiantarpeeseen huomioiden lämminilmakehittimen hyötysuhde kaavan 8 mukaisesti.

$$Q_{pö} = \frac{Q_{iv}}{\dot{Q}_{pö}\eta_{iv}} \quad \text{KAAVA 8}$$

jossa

$Q_{pö}$	tarvittavan polttoaineen määrä (l)
$Q_{iv}$	kammion lämmitykseen tarvittava nettoenergian määrä (kWh)
$\dot{Q}_{pö}$	polttoaineen energiasisältö (kWh/l)
$\eta_{iv}$	lämminilmakehittimen hyötysuhde

## 4.3 Investoinnin kannattavuus ja herkkyysanalyysi

Uuden lämmitysmuodon hankinnan kannattavuutta voidaan arvioida takaisinmaksuaikaa arvioimalla (kaava 9, Mäkelä 2019, 20). Tätä varten lasketaan tämänhetkisen ja vaihtoehtoisten järjestelmien käytön kustannukset esimerkkikulutuksella määrätylle ajanjaksolle ja verrataan näiden erotusta (nettotuotto) kunkin järjestelmän investointihintaan.

$$TM = \frac{\text{perushankintameno}}{\text{nettotuotto vuodessa}} \quad \text{KAAVA 9}$$

Koska tulevaisuutta ei voi ennustaa, investoinnit sisältävät aina epävarmuustekijöitä ja riskejä. Tällaisessa investoinnissa takaisinmaksuajat voivat olla pitkiä ja koska energia-ala on murroksessa, hinnat eivät ole stabiileja ja tästä syystä kannattavuuden arviointi normaaliakin epävarmempaa (Gaia 2021). Näiden tekijöiden vaikutusta arvioon voidaan pienentää herkkyyksanalyysin avulla. Siinä investoinnin kannattavuuteen vaikuttavia suureita muutetaan tarkoituksella tämänhetkisistä arvoista suuntaan, joka voi olla epäedullinen investoinnin kannalta, ja katsotaan kuinka se vaikuttaa kannattavuuteen (Mäkelä 2019, 20).

## 5 ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA JA TULOKSET

Energiankulutuksen tarkka laskeminen vaatii paljon eri arvoja, ja usein erityisesti vanhemmissa kohteissa tarvittavia tietoja ei ole saatavilla järjestelmästä itsestään. Arvoja voidaan mitata ulkoisesti, mutta joidenkin suureiden kohdalla on tämäkin hankalaa. Tässä työssä lähtöarvoja oli myös saatavilla vähän eikä aikataulu antanut varaa suorittaa tarkkoja mittauksia, joten käytössä on paljon ohjearvoja ja oletuksia. Tämänhetkisen energiankäytön laskelmien tulosten todettiin olevan kuitenkin tarpeeksi lähellä todellisuutta, että suuntaa antavaa vertailua uusien järjestelmien kanssa voitiin suorittaa.

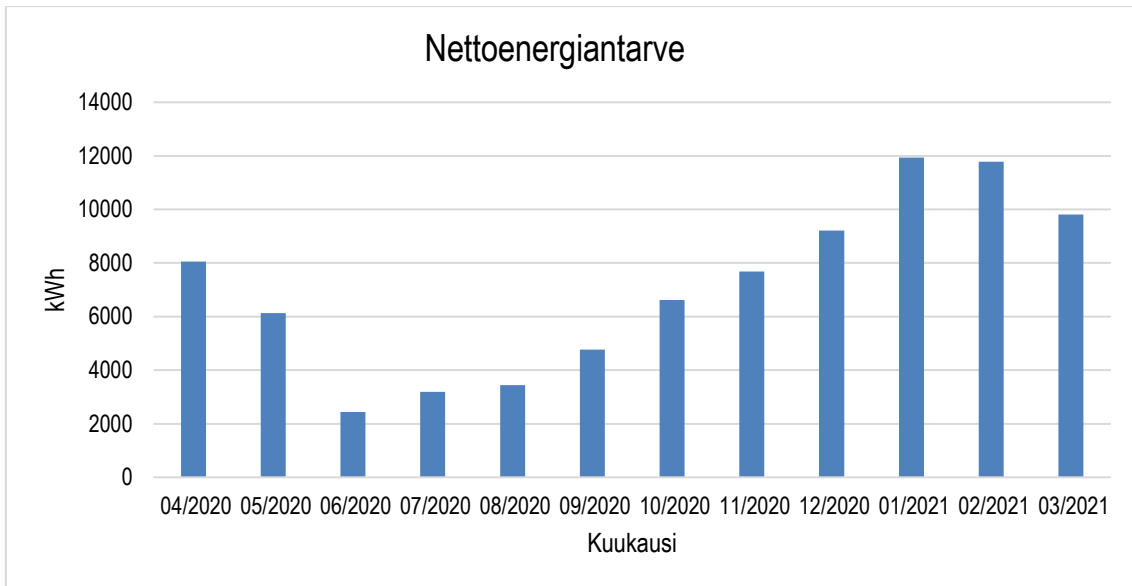
### 5.1 Maalausammion kuukausittainen nettoenergiantarve

Maalausammion tarvitsema lämmityksen nettoenergia lasketaan RakMK D5:n avulla, koska lämmitys tapahtuu vakiovirtauksisella ilmanvaihtokoneella. Keskimääräiseksi käyttöajaksi päädyttiin toimeksiantajan kanssa käyttämään 20 tuntia viikossa. Lämmitykseen kuluvan energian määrä riippuu vahvasti ulkolämpötilasta, joten nettoenergiantarve lasketaan kuukauden jaksoissa käyttäen kuukausittaista keskilämpötilaa toimeksiantajan toimittamista sähkönkulutustiedoista 04/2020–03/2021. Tiedot huhtikuulta 2021 vaikuttivat olevan vajaat, joten ne jätettiin pois laskennasta.

Kammion lämpötila on ruiskutuksen aikana 24 °C. Ruiskutuksen tultua valmiiksi kammio tuuletaan ja lämpötilaa voidaan hieman nostaa, vaikkei tämä ole aina varsinaisesti tarpeen. Jos työn luovutus on samana päivänä, käytetään kuivausuunissa sijaitsevia sähkövastuksia lämpötilan nostamiseen.

Kammioon tulevaa tilavuusvirtaa ei tiedetä tarkasti, mutta poistoilmakoje on vasta vaihdettu uuteen, ja sen mitoitusilmavirta on 14 000 m<sup>3</sup>/h. Päällä ollessaan kammio on hieman alipaineinen, joten tuloilmavirta on tätä arvoa pienempi. Tämän huomioiden toimeksiantajan kanssa päädyttiin käyttämään tuloilmavirran arvona noin 12 000 m<sup>3</sup>/h

Koko vuoden ajalta lämmitykseen tarvittava nettoenergian määrä on 79 741 kWh, kuukausittaiset tarpeet vuoden ajalta ovat esillä kuviossa 1. Kuvioista nähdään, että nettoenergian määrä on luonnollisesti pienempi lämpiminä kuukausina.



KUVIO 1. Lämmityksen nettoenergiantarve kuukausittain

Nettoenergiantarve kertoo, kuinka suuri lämpövirta kammioon täytyy virrata, jotta haluttuun lämpötilaan päästään.

## 5.2 Ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutus

Nettoenergia laskettiin ajatellen, että tuloilma otetaan ulkolämpötilassa ja lämmitetään kerralla haluttuun lämpötilaan, vaikka todellisuudessa tuloilma otetaan korjaamohallista, johon se tuodaan maalauskammiota käytettäessä korvausilmakoneella. Sähkönkulutuksessa täytyy kuitenkin huomioida, että korvausilmapuhallin tuo lisää sähkönkulutusta kammiota käytettäessä.

Maalauskammioiden ilmanvaihdossa on käytössä tulo- ja poistoilmapuhaltimet. Korvausilmakone sisältää vain yhden puhaltimen. Näiden puhaltimien kulutus kuukaudessa ei riipu muusta kuin käyntiajasta koska ilman tilavuusvirta on vakio. Käytettäessä yhteistä käyttöaikaa joka viikolle puhaltimien sähkönkulutus on riippuvainen kuukauden pituudesta (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Ilmanvaihtokoneiden käyttämä sähköenergia kuukaudessa

Kk	Kuukauden käyntiaika h	IV-koneiden sähkönkulutus kWh
04/2020	85,71	1086,36

05/2020	88,57	1122,58
06/2020	85,71	1086,37
07/2020	88,57	1122,58
08/2020	88,57	1122,58
09/2020	85,71	1086,37
10/2020	88,57	1122,58
11/2020	85,71	1086,37
12/2020	88,57	1122,58
01/2021	88,57	1122,58
02/2021	80	1013,94
03/2021	88,57	1122,58

### 5.3 Lämmönsiirto vedestä ilmaan

Lämmönsiirtimessä tuloilma lämmitetään veden avulla. Lämmönsiirtimestä ei ollut saatavilla juuri mitään tietoja, joten lämmönsiirtimessä tapahtuvia häviöitä jäljitellään kertomalla tarvittavan veden määrä kertoimella 0,9. Luottamusta arvion oikeellisuuteen viittaa se, että kylmänä talvikuukautena laskujen mukaan kammion lämmitykseen tarvitaan noin 650 kWh energiaa päivässä raskaassa käytössä kertoimen kanssa, ja kammion lämmitykseen on saatavilla 606 kWh energiaa lämminvesivaraajasta lämpötilassa 65 °C, joka oli arvio lämminvesivaraajan keskilämpötilasta toimeksiantajalta. Käydyissä keskusteluissa mainittiinkin, että kylmimpinä ja kiireisimpinä päivinä varaajasta tahtoi loppua lämmin vesi.

#### 5.4 Veden lämmitykseen kuluva energia

Veden lämmitys tapahtuu yösähköllä, joten veden lämmitykseen kuluva energia erotettiin laitteiston muusta sähkönkulutuksesta. Tällöin voidaan investointilaskelmissa saada tarkemmin selville tämähetkiset kustannukset. Taulukossa 2 nähdään veden lämmitykseen kuluva energia kuukausittain.

TAULUKKO 2. Veden lämmitykseen kuluva energia

Kk	Veden lämmitykseen kuluva energia kWh
04/2020	8952,38
05/2020	6701,69
06/2020	2427,09
07/2020	3289,17
08/2020	3576,97
09/2020	5132,70
10/2020	7277,29
11/2020	8514,71
12/2020	10278,66
01/2021	13444,49
02/2021	13294,61
03/2021	10977,61

## 6 VAIHTOEHTOISET ENERGIAMUODOT JA NIIDEN HINTAVERTAILU

Tässä työssä toimeksiantajan kannalta on merkittävintä selvittää lämmintilmakehittimien investoinnin kannattavuutta. Energia-alan murroksesta johtuen energiantuotantotavan huomioiminen on noussut yhä merkittävämpään asemaan uusien investointien kannattavuutta arvioitaessa. Kohteen sijainti, koko ja maalausammion lämmittämiseen käytettävät laitteet rajoittavat käytettävissä olevia vaihtoehtoja. Seuraavassa esitetään muita lämmöntuotantovaihtoehtoja, niiden hintatietoja, mitä käyttöönotto mahdollisesti vaatisi sekä näiden hyötyjä ja haittoja.

### 6.1 Mahdollisia energialähteitä

Tutkittavassa kohteessa energiaa kulutettiin viimeisen 12 kuukauden aikana noin 102,4 MWh, mikä laskettiin sähkön käytöstä. Maalausammion lämmitys harkitaan ratkaistavaksi muulla tavoin, minkä vuoksi tarkastellaan, mitkä järjestelmät ovat toteutuskelpoisia.

Koska maalausammion lämmitystarve on jaksottaista ja epäsäännöllistä, korvaavan lämmitysvaihtoehdon täytyy olla nopeasti käytettävissä. Tämän takia pelkästään ammion käyttöön hankittuna puupolttoaineella toimivat kattilat olisivat ongelmallisia. Tällaiset kattilat saavuttavat puhtaan palamisen ja parhaimman hyötysuhteen, kun palaminen on jatkuvaa. Jos korjaamohalliin, tai lähistön muihin rakennuksiin oltaisiin vaihtamassa lämmityslaitteistoa, voisi puupolttoainetta käyttävä lämmityskattila varaajaan kytkettynä olla harkinnan arvoinen, jos mitoituksessa otettaisiin huomioon ammion hetkittäin vaatima teho.

Lämmön tai sähkön tuottaminen omilla aurinkokeräimilläkin on ongelmallista vaihtelevasta tarpeesta johtuen. Erityisesti tässä tapauksessa energiantarve on suurin, kun laitteiden tuotto on pienimmillään talvella. Aurinkokeräimet voisi olla osa hybridijärjestelmää.

Kaukolämpö voisi olla toimiva vaihtoehto ja perusmaksun lisäksi maksetaan vain kulutetusta energiasta; tällöin hetkittäinen käyttö ei ole ongelma. Kohteen lähellä ei ole kuitenkaan liittymähaaraa (Oulun Energia 2021). Hyvistä puolista huolimatta ratkaisu ei ole houkutteleva tällä hetkellä, koska liittymismaksu sekä laitteiston hankintahinta kohoavat turhan korkeiksi.

Toteutuskelpoisuudeltaan ja käytettävyydeltään parhaimmiksi vaihtoehtoiksi tuleekin tarkoitukseen suunnitellut laitepaketit, joissa ilma lämmitetään öljy- tai kaasupolttimella. Näissä huomioidaan maalausammion erityistarpeet, ja ne hoitavat tarvittaessa kaiken ammion ilmanvaihtoon liittyen.

Öljyn käyttöä pyritään vähentämään kaikilla sektoreilla ja hinnat ovat epävakaita. Siksi öljylämmityslaitteisiin investoiminen sisältää merkittävän riskin. Tällä hetkellä öljy on vielä energiahinnaltaan halvempaa kuin sähkö, mutta fossiilisten polttoaineiden alas ajaminen nostaa käytön hintaa jatkuvasti. Öljylämmiteinen laitteisto ei kuitenkaan muutu käyttökelvottomaksi. Markkinoille tulee tarjolle jatkuvasti enemmän ilmastoystävällisiä polttoaineita, ja osaa näistä, kuten bioöljyä, voidaan käyttää suoraan tai pienillä muutoksilla perinteisissä polttimissa.

## 6.2 Energia hinnat

Hintatiedot on saatu Tilastokeskuksen maksuttomista tilastotietokannoista ja Oulun alueella öljyn litrahinta Yläneen Rakennuskeskuksen tarjoamasta palvelusta, joka hakee alueen parhaat hinnat valitulle tilausmäärälle (Yläneen Rakennuskeskus 2018). Taulukkoon 3 on koottu edellä mainittujen energialähteiden hintatiedot. Hinnat ovat keskiarvoja vuoden ajalta, ja niissä on huomioitu kuhunkin liittyviä lisämaksuja (kuljetus, perusmaksut, valmistevero jne.) jotta hintatieto olisi mahdollisimman lähellä todellista kuluttajahintaa.

*TAULUKKO 3. Hintojen keskiarvoja vuodelta 2020 ja 2019, puupelletin ja maakaasun viimeisin hintatieto hakuhetkellä oli vuodelta 2019*

Energiahinnat		
Sähkö	10,94	snt/kWh
Yösähkö	10,12	snt/kWh
Kevyt polttoöljy 2020	7,62	snt/kWh
Kevyt polttoöljy 2019	9,73	snt/kWh
Kaukolämpö	8,251	snt/kWh

Puupelletti	5,8	snt/kWh
Maakaasu	5,51	snt/kWh
Kevyt polttoöljy Oulu 2021 (2500 l)	0,9375	snt/l

Taulukosta nähdään, että sähkö on nettohinnaltaan kallein vaihtoehto, vaikka huomioitaisiin yö-sähkön noin 15 prosentin hintaero päiväsähköön. Sähköenergian hinnan osuus koko hinnasta on noin puolet, ja yö-sähkön hinta laskettiin vähentämällä 15 prosenttia tästä osuudesta pois.

Maakaasua ja polttoöljyä lukuun ottamatta hinnat ovat pysyneet samassa suuruusluokassa pitkään, ja hintamuutokset ovat olleet maltillisia ja ennustettavia. Maakaasun ja polttoöljyn hinnat taas ovat vaihdelleet suuresti viimeisen 5 vuoden sisällä, ja niiden tulevaisuutta on vaikea ennustaa lyhyellä aikavälillä, koska hinta on vahvasti sitoutunut mm. geopolitiikkaan. Pitkällä aikavälillä on varmaa, että saatavuus vaikeutuu ja hinnat tulevat nousemaan, kun fossiilisten polttoaineiden käyttöä ajetaan alas. Esimerkiksi Eurooppa-neuvosto käsittelee juuri päästökaupan laajentamista, mikä tarkoittaa, että pienten yritysten ja kotitalouksien lämmitykseen käyttämien fossiilisten polttoaineiden päästöt voivat joutua päästökaupan piiriin (Energiateollisuus ry 2021).

## 7 LÄMMINILMAKEHITTIMET JA INVESTOINNIN KANNATTAVUUS

Investoinnin kannattavuutta arvioidaan Finnkone Oy:n ja Polartherm Oy:n tarjoamista järjestelmistä. Suunnitteilla on hankkia järjestelmään lämminilmakehitin. Tämä korvaisi yhden lämminvesivaraajan ja tuloilmakoneen. Kun tuloilman otto paikka vaihdettaisiin samalla suoraan ulos, voitaisiin myös korvausilmakone ja sen lämminvesivaraaja poistaa käytöstä. Toimeksiantaja tekee tarvittavat muutos- ja asennustyöt mahdollisimman pitkälle itse, ja heidän luvallaan investointilaskelmista jätetään näiden töiden vaikutus hintaan huomioimatta. Kaikki tarjouksien hinnat ovat arvonlisäverottomia.

Järjestelmä pyritään liittämään vanhaan kammioon mahdollisimman vähällä muutostyöllä. Finnkone Oy:n toimitusjohtaja Sulo Kekäläisen mukaan: ”vanhojen kammioiden uudistaminen on tosi vaikeaa, koska ne on tehty niin pienille ilmamäärille”. Tämä tarkoittaa, että useasti vanhat tuloilma- ja poistoilmakanavat ovat liian ahtaita nykyaikaisille laitteille. Tämän työn tapauksessa hankittava ilmankehitin mitoitetaan poistoilmapuhaltimen mukaan, koska kammiota tahdotaan pitää alipaineisena. Poistoilmapuhaltimen nimellisvirtaus on 14 000 m<sup>3</sup>/h, eli lämminilmakehittimen täytyy tuottaa tätä vähemmän.

Molemmat laitteet käyttävät nestemäisiä polttoaineita, mutta ainoastaan Polarthermin laitteesta mainitaan bioöljyn käyttö mahdollisuutena. FAMin valmistamasta laitteesta ei ollut saatavilla tarpeeksi tietoja, että tiedettäisiin muiden polttoaineiden kuin polttoöljyn käytön olevan mahdollista.

Standardissa SFS 3358 annetaan erityisohjeita lämminilmakehittimien liittämiseksi maalaustilan ilmanvaihtoon ja lämmitykseen. Laite täytyy sijoittaa tilaan, jossa se ei aiheuta räjähdysvaaraa maalauksessa syntyvien syttyvien kaasujen kanssa, ja sen palamisilma täytyy ottaa ulkoa. Lämmitettävä ilma voidaan ottaa joko sisältä tai ulkoa. Maalaustilan poistoilmapuhallin tulee kytkeä lämminilmakehittimen lämminilmapuhaltimeen niin, ettei lämminilmakehittimen poltin voi toimia tulo- ja poistopuhaltimen ollessa pysähtyneenä.

### 7.1 Polarthermin lämminilmakehitin

Polarthermin mallistosta sopivin malli on Polar VRS -sarjasta VRS 170 (kuva 3). Laite tuottaa 12 000 m<sup>3</sup>/h, eli saman verran kuin tuloilmakoneen arvioidaan tällä hetkellä tuottavan. Puhaltimen

sähkötehoksi ilmoitetaan 4,4 kW, ja polttimen lämpötehoksi 193 kW. Polttoaineena käytetään nestemäisiä polttoaineita, eli laitteessa voidaan käyttää normaalin polttoöljyn lisäksi bioöljyä. Polarthermiltä pyydettyssä tarjouksessa hinnaksi annettiin 7800 €, johon sisältyy perustason automaatiikka, joka pitää lämpötilan säädetyssä käynnistämällä ja sammuttamalla öljypoltinta.



Kuva 2 Polartherm VRS -lämmintilakehitin. Lähde: Polartherm Oy, verkkosivut.

Maalamokäyttöön Polartherm tarjoaa laitteeseen myös automaatiikkaa. Tällöin mukaan tulee sälesäätöpellit, ristiinkytkentälaitte, peltimoottori ja automaatiikkakeskus. Polarthermin verkkosivuilla kuvataan automaatiikan toiminta:

*Kun käännetään pääkytkin ja ohjauskytkin asentoon 1, poistopuhallin ja lämmitin käynnistyvät. Ruiskutustermostaatti pitää huoneenlämmön vakiona. Pellinsäätömoottori pitää pellit auki ottaen ruiskutuksen aikana raikasta ilmaa. Kun maalaus on suoritettu, käännetään ohjauskytkin asentoon 2 ja valitaan ohjauskeskuksen kannessa olevasta kytkinkellosta kuivausaika (max. 2h). Poistopuhallin on päällä 10 min ja raitisilmapellit ovat auki 10 min. (aika on säädettävä, jona aikana ovat maaliumut haihtuneet). Säädetyt ajan jälkeen poistopuhallin pysähtyy ja pellinsäätömoottori kääntää pellit kiertoilmalle. Kuivaustermostaatti pitää huonelämpötilan halutun suuruisena, niin kauan kuin kytkinkelloon asetettu aika on loppunut, jolloin laitos pysähtyy. (Polartherm Oy)*

Tämä automaatiikka on lisävaruste, ja tarjouksessa hinnaksi annettiin 1900–2100 euroa laitteista riippuen. Normaalisti hintaan sisältyy automaatiikka, joka pitää lämpötilan säädetyssä käynnistämällä ja sammuttamalla öljypoltinta.

## 7.2 FAM lämminilmakehitin

Finnkone Oy:n mallistosta valikoitui vaihtoehdoksi FAM GRPAL 14. Se on tarjotuista malleista ainoa, jonka nimellisilmamäärä on tarpeeksi pieni ollakseen edes mahdollinen. Malli tuottaa 14 000 m<sup>3</sup>/h, ja puhaltimen moottorin nimellisteho on 4 kW. Lämpötehoksi ilmoitetaan 95 kW (Finnkone Oy, esite). Polttoaineena toimii polttoöljy. Kuva 4 on mainoskuva FAM ilmankehittimien mainoslehdessä.



*KUVA 3 Mainoskuva FAM lämminilmakehittimistä (Finnkone Oy)*

Järjestelmän osat on suojattu teräskuorella, ja koko paketti on eristetty mineraalivillalla. Yksikön hinta on 4400 €. Tarjouksesta jäi epäselväksi minkälainen ohjaus ja automatiikka sisältyy hintaan. Laitteen suora vertailu nykyiseen järjestelmään on myös hankalaa, koska laite tuottaa suuremman ilmamäärän kuin tämänhetkinen laite, joten se myös kuluttaa enemmän energiaa suuremman ilmamäärän lämmittämiseen.

## 7.3 Muut laitteet

Lämminilmakehitin tarvitsee lisäksi toimiakseen polttoainesäiliön. Toimeksiantajalla on mahdollisesti säiliö valmiina, mutta investointilaskelmiin lisätään myös uuden säiliön kustannukset. Uuden laitteen asennuksessa joudutaan tekemään muutostöitä tämänhetkiseen kanavointiin ja laitteen

sijoituspaikkaan. Näihin kuluva materiaaleja löytyy myös toimeksiantajalta, mutta investointilaskelmaan lisätään hieman materiaalikuluja. Kuten aikaisemmin mainittu, asennukseen kuluva työ jätetään pois laskuista.

#### **7.4 Investoinnin kannattavuuden laskelmat ja arviointi**

Investoinnin kannattavuutta arvioidaan laskemalla kunkin järjestelmän käyttökustannukset, ja mikäli uuden järjestelmän käyttö on halvempaa kuin nykyisen, tämä erotus käsitellään nettotuotona, jolloin voidaan käyttää takaisinmaksuaikaa kannattavuuden arviointiin. Takaisinmaksuajat laskettiin vuosien 2019 ja 2020 öljyn hinnoilla sekä lasketulla viimeisen 10 vuoden hintojen keskiarvolla. Vuoden 2019 hinnat toimivat herkkyyksianalyysin huonona tulevaisuuden kehityksenä investointia ajatellen, 2020 hyvänä ja viimeisen 10 vuoden keskiarvo antaa maltillisemman arvion hinnan kehityksen mahdollisuudesta.

Tällaisen investoinnin hyötyjen osoittaminen laskennallisesti rajoittuu vahvasti energiankäytön säästöihin ja niiden vertailuun, vaikka laitteiston vaihtaminen voi olla kannattavaa monella muulla tapaa. Jos takaisinmaksuajan perusteella investointi voi olla arveluttavaa mutta järjestelmän vaihtaminen uuteen voi tuoda hyötyjä, joiden arvoa ei voida osoittaa laskemalla, voidaan kallistua pitämään investointia kannattavana. Näitä voisi tämän työn kohteen tapauksessa olla käyttöön saatava tila suurien lämminvesivaraajien poistuessa, järjestelmän yksinkertaistaminen yhteen laitteeseen, suuremman ilmavirran mahdollisuus, parempi automatiikka jne. Nämä ovat kuitenkin asioita, joiden arvo on toimeksiantajan päätettävissä.

##### **7.4.1 Polarthermin tarjous**

Polarthermin laitteiston investointikustannukset laskettiin automatiikalla ja ilman (taulukko 4). Vertailtu laite on hyvin samankokoinen nykyiseen järjestelmään verrattuna ja laitteesta on saatavilla tarkkoja teknisiä tietoja, joten takaisinmaksuajan vertailu toimii tässä tapauksessa kohtalaisen tarkasti ottaen huomioon, että tämänhetkisen järjestelmän kulutuksissa on epävarmuustekijöitä.

TAULUKKO 4. Laitteiston takaisinmaksuaika Polarthermin tarjouksesta

Takaisinmaksuaika		
Ilman autom. 2020	5,57	vuotta
Automaatiikalla 2020	6,50	vuotta
Ilman autom. 2019	125,91	vuotta
Automaatiikalla 2019	147,08	vuotta
Ilman autom. 10 v KA	6,50	vuotta
Automaatiikalla 10 v KA	7,59	vuotta

Tuloksista nähdään, että polttoöljyn hinnan pysyessä lähellä viimeisen 10 vuoden keskihintaa, takaisinmaksuaika on kannattava. Säästöt muuttuvat kuitenkin olemattomiksi, jos hinnat nousevat ja pysyvät yhtä korkealla tasolla kuin ne olivat vuonna 2019.

#### 7.4.2 Finnkoneen tarjous

Finnkoneen tarjouksessa on hieman epävarmuutta lopullisista kustannuksista, koska työn valmistamiseen mennessä saadut tiedot jäivät hieman vajavaisiksi. Lisäksi koneen ilmavirran tuoton ollessa suurempi kuin tämänhetkisen laitteen, suoraan vertailu näyttää laitteiston huonommassa valossa takaisinmaksuaikaa laskettaessa. Taulukosta 5 nähdään, että laitteistolla on saavutettavissa säästöjä nykyiseen verrattuna, jos hintatasot pysyvät alhaisina. Negatiivinen takaisinmaksuaika kertoo, että käyttäminen maksaa enemmän kuin tämänhetkisen järjestelmän. Jos hintakehitys ei ole suotuisaa, maalausammion lämmitykseen menevät kustannukset nousevat.

*TAULUKKO 5. Laitteiston takaisinmaksuaika Finnkoneen tarjouksesta*

Takaisinmaksuaika	
2020 hinnoilla	10,50 vuotta
2019 hinnoilla	-6,99 vuotta
Öljyn hinnalla 10 v KA	23,20 vuotta

FAMin ilmankehittimen liian suuri teho, epävarmuudet laitteen tiedoista ja ohjausjärjestelmistä ja lasketut takaisinmaksuajat huomioiden Polarthermin tarjous on parempi näistä kahdesta. Jos maalausammioon tarvittaisiin suurempi nimellisilmavirta, olisi FAMin kone varmasti varteenotettava vaihtoehto.

## 8 MAHDOLLISET TOIMENPITEET

Tässä luvussa käydään läpi, mitä tulokset kertovat harkituista investoinneista. Esitellään myös tulokset siitä, miltä käyttökustannukset näyttäisivät, jos järjestelmään liitettäisiin lämmöntalteenotto, joka voisi olla varteenotettava vaihtoehto energiakustannusten laskemiselle. Nykyisen järjestelmän päivitys ei ollut tässä työssä keskeinen asia, joten tämän kustannuksia ja toteuttamiskelpoisuutta ei ole tarkasti laskettu. Teorian tasolla LTO-laitteen hyöty on kuitenkin helppo osoittaa, ja tarkoituksena on tarjota ajatuksia mahdollisesta toteutuksesta.

### 8.1 Investointi uuteen lämminilmakehittimeen

Jo ennen takaisinmaksuajan laskemista nähdään, että FAMin valmistaman laitteen hankkiminen ei välttämättä ole järkevää. Mikäli sen tuottamaa ilmapirtta ei voida säätää koneen omilla ohjausjärjestelmillä pienemmäksi, on vaarana, että maalaustyön jälki kärsii maalausammion alipaineen pienentyessä. Jos tavoitteena ei ole nostaa ammion tuottoa suuremmaksi, ei suuremmasta ilmapirtasta hyödytä, ja nettoenergiatarve kasvaa turhaan.

Polarthermin laitteistolla saavutetaan taloudellista säästöä myös korkeimmalla polttoöljyn hinnalla laskettuna. Laite ei kuitenkaan ehdi käytännössä maksaa itseään takaisin tässä tapauksessa. Mallillisemmalla hinnalla, joka perustuu viimeisen 10 vuoden keskiarvoon, laitteen takaisinmaksuaika on hyvä ja kestää vielä ylimääräistäkin öljyn hinnan nousua ennen kuin se muuttuu kannattamattomaksi. Laite voi myös käyttää bioöljyä, mutta sen hintatietojen arviointi tällä hetkellä on erittäin haasteellista. Biopolttoaineiden tuotanto näyttää kuitenkin kasvavan, ja hinta voi kehittyä esimerkiksi mahdollisen päästökaupan laajenemisen takia investoinnin kannalta edullisemmaksi. Tieto siitä, että biopolttoainetta voidaan käyttää laitteessa suoraan, on tulevaisuutta ajatellen välttämätöntä.

Molemmissa investoinneissa takaisinmaksuaika on laskettu käyttöajan arviolla, jossa laitetta käytetään joka päivä 4 tuntia, jokaisena työpäivänä viikossa. Jos maalausammiota tarvitsevia töitä tulee vähemmän, takaisinmaksuajat pitenevät. Tämän muuttujan herkkyytarkastelu jää toimeksiantajan arvioitavaksi.

## 8.2 Nykyisen järjestelmän päivitys

Maalausammion lämmitysjärjestelmän energiatehokkuutta voitaisiin mielestäni kuitenkin parantaa muillakin tavoin. Yksi vaihtoehto voisi olla säilyttää lämminvesivaraajat mutta muuttaa kytkentää niin, että korvausilmapuhaltimen tarve poistuisi sekä liittää järjestelmään LTO-laite.

Nykyisessä järjestelmässä tarvittava korvausilmakoneen puhallin kuluttaa kuukaudessa noin 260 kWh sähköä tässä työssä käytetyllä käyttöarviollla, joka nykyisellä sähköhinnalla maksaa 28,6 €. Korvausilmakoneen poistaminen järjestelmästä tarkoittaisi 343 euron vuosisäästöä.

Jotta järjestelmään voitaisiin tehdä näin suuria muutoksia, se tarkoittaa, että tuloilmakoneen soveltuvuus tulisi osoittaa laskennallisesti tai investoida uuteen tuloilmakoneeseen. Lisäksi LTO-laite nostaa ilmavirran vastusta, jolloin puhaltimien tehon riittävyys täytyisi varmistaa, jottei ilmamäärä laske riittämättömäksi maalaustyöhön. Lämminvesivaraajien tulisi riittää, koska ne riittävät tämänhetkisessäkin käytössä. Näidenkin putkituksiin tulisi muutoksia.

LTO-laite, joka ottaa talteen poistoilmassa olevaa lämpöä, nostaa koko järjestelmän hyötysuhdetta. Maalausammionkäytössä poistoilmassa on höyryjä ja maalipisaroita, jotka asettavat joitain erikoisvaatimuksia laitteelle, jota normaalikäytössä ei välttämättä ole. Standardin SFS 3358 sivulla 19 mainitaan lämmöntalteenottolaitteeseen liittyen, että täytyy varmistua siitä, että kierrätettävän ilman kaasupitoisuus on alle 25 % syttyvän kaasun alemmasta syttymisrajasta. Valmistajat kuitenkin tarjoavat järjestelmiinsä valmiita ratkaisuja

Esimerkiksi Finnkoneen tarjouksen yhteydessä esiteltiin myös LTO-laitetta, jonka lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi ilmoitettiin 55 %. Ei ole tietoa, onko laitetta mahdollista liittää muihin järjestelmiin kuin FAMin valmistamiin, mutta vastaavan hyötysuhteen omaavan laitteen vaikutus nykyiseen järjestelmään liitettynä voidaan laskea (taulukko 6).

TAULUKKO 4. LTO-laitteen talteen ottama energia käytetyillä lämpötiloilla

Kk	LTO talteen otettu teho W	LTO talteen otettu kWh
04/2020	7180,56	615,48
05/2020	5286,11	468,20

06/2020	2169,44	185,95
07/2020	2750	243,57
08/2020	2963,89	262,51
09/2020	4247,22	364,05
10/2020	5713,89	506,09
11/2020	6844,44	586,67
12/2020	7944,44	703,65
01/2021	10297,22	912,04
02/2021	11244,44	899,56
03/2021	8463,89	749,66

Tällaisella hyötysuhteella vuoden käyttökustannukset ilman, että huomioidaan mahdollisesti tarvittavien suurempien puhaltimien suurempia käyttökustannuksia, vähenevät noin 4500 euroon vuodessa verrattuna tähänhetkiseen 10 500 euroon. Saavutettu hyöty on niin suuri, että mahdollisesti suurikin investointi järjestelmän muuttamiseen voisi maksaa itsensä takaisin nopeasti, jos maalaukammio on raskaassa käytössä.

## 9 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää oululaisen automaalaamon käyttämän maalausammion energiankäyttöä ja toimeksiantajan harkitsemien lämminilmakehittimien tuomat mahdolliset taloudelliset säästöt. Nykyisen järjestelmän laskettuja käyttökustannuksia vertailtiin kahden eri lämminilmakehittimen laskettuihin käyttökustannuksiin. Mahdollisen investoinnin kannattavuutta tutkittiin taloudellisesta näkökulmasta tarjottujen laitteiden takaisinmaksuajat laskemalla. Herkkyysanalyysinä kulutustietoja laskettiin useilla eri energianhinnoilla.

FAMin valmistamassa laitteessa ongelmaksi muodostuu sen vaadittua suurempi ilmantuotto, jolloin suora vertailu nykyiseen pienempään järjestelmään ei antanut kovin käyttökelpoista tietoa. Mikäli kammiossa tarvittaisiin suurempaa ilmavirtaa, voisi laite olla harkitsemisen arvoinen.

Polarthermin valmistama lämminilmakehitin osoittautui tarjotuista laitteista paremmin tilanteeseen sopivaksi. Laitteesta saatiin myös enemmän tietoja, jolloin investoinnin arvioiminen onnistui tarkemmin ja tulos on luotettavampi. Laitteella on saavutettavissa taloudellisia säästöjä nykyiseen järjestelmään verrattuna, mutta kokonaisenergiankulutus ei kuitenkaan juuri muutu.

Työtä tehtäessä merkittäväksi osaksi nousi tutkia ja arvioida öljykäyttöisten lämminilmakehittimien kannattavuutta, sillä fossiilisten polttoaineiden käytöstä pyritään luopumaan. Investointia suunniteltaessa tuleekin tiedostaa polttoöljyn käyttämisen kustannusten todennäköinen nousu tulevaisuudessa.

Maalausammion tämänhetkisen energiankulutuksen selvittäminen osoittautui odotettua työläemmäksi, koska laitteistosta ei selvinnyt juuri mitään lähtöarvoja sähkötehon lisäksi. Tarkempaan energiankulutukseen olisi päästy selvittämällä lähtöarvoja mittaamalla.

## LÄHTEET

Energiateollisuus ry 2021. Kotien fossiilinen lämmitys mukaan päästökauppaan huippukokouksessa. Haettu 25.5.2021. <https://www.epressi.com/tiedotteet/energia/energiateollisuus-ry-kotien-fossiilinen-lammitys-mukaan-paastokauppaan-huippukokouksessa.html>.

Finnkone Oy 2021. FAM lämminilmakehittimet. Mainosesitys.

Gaia 2021. Energia-ala on murroksessa – ja siitä kannattaa ottaa kaikki hyöty irti. Haettu 12.5.2021. <https://www.gaia.fi/fi/blog/energia/energia-ala-on-murroksessa-ja-siita-kannattaa-ottaa-kaikki-hyoty-irti/>.

Global Finishing Solutions 2021. Downdraft paint booths. Haettu 11.5.2021. <https://global-finishing.com/products/paint-booths-airflow/downdraft-paint-booths/>.

Hengitysliitto 2021. Ilmanvaihtojärjestelmät. Haettu 6.5.2021. <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat/>.

Ilmakas Oy 2021. Painovoimainen ilmanvaihto – Miten se toimii? Haettu 6.5.2021. <https://ilmakas.fi/painovoimainen-ilmanvaihto/>.

Kaukora Oy 2021. Lämminvesivaraajat: käyttöveden lämmitys. Haettu 6.5.2021. <https://jaspi.fi/lamminvesivaraaja/>.

Kekäläinen, Sulo 2021. Finnkone Oy, toimitusjohtaja. Sähköpostikeskustelu 16 - 17.5.2021.

Lidström Mia, 2021. Toimeksiantaja, Automaalaamo Lidström. Keskustelut 10.5.2021.

Motiva 2019. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Haettu 12.5.2021. [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energian kaytto/kulutuksen\\_normitus/laskukaavat\\_lammin\\_kayttovesi](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi).

Mäkelä, Veli-Matti 2019. YY00BB75-3081 Entrepreneurship 3 op. Opintojakson materiaalit 2021. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Oomi 2021. Sähkö sopimukset. Haettu 5.5.2021. <https://oomi.fi/sahko/sahkosopimukset/>.

Oulun Energia 2021. Lämpöverkkoalue. Haettu 17.5.2021. <https://www.ouluenergia.fi/oulu-energia/lampopalvelut/kaukolampo/lampoverkkoalue/>.

Pohjois-Karjalan sähkö 2016. Energiaa, Tietoa ja tarinoita energiasta, lukijat kysyvät. Haettu 5.5.2021. <https://energiaa.pks.fi/onko-varaava-yosahko-edelleen-taloudellinen-lammitysmuotomeilla-on-vuonna-1993-rakennettu-pinta-alaltaan-noin-250-m2-talo-jossa-lammitettavaa-alaan-noin-200-neliota-illalla-kivilattiat-tun/>.

Polartherm Oy 2021, Kiinteästi asennettavat tilalämmittimet Polar VRS -sarja. Haettu 24.5.2021. <http://www.polartherm.fi/fi/civ-/tuotteet/teollisuus---tilat/kiinteasti-asennettavat-oljy--ja-kaasulammitimet-/automaatiikat-.html>.

RakMK D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Haettu 01.06.2021. [https://finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](https://finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf).

RakMK D5 (2012). 2012. Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Haettu 1.6.2021. <https://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>.

SFS 3358. 2016. Maalaus. Tilat, käyttö, huolto ja sammutuskalusto sekä ohjeita tilaluokitukseen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Tilastokeskus 2021. Tilastokeskuksen maksuttomat tilastotietokannat. Haettu 17.5.2021. <https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/>.

Yläneen Rakennuskeskus 2018. Lämmitys- ja polttoöljyn hintalaskuri. Haettu 25.5.2021. [https://omakylakauppa.fi/poltttooljyn-tilaus.php?gclid=Cj0KCQjwwLKFBhDPARIsAPzPi-IY\\_ByBG063TgM0AaLWWar2jCI31hV-BcMJrqwVbCvEx\\_vQBm9kSMkaAjaIeALw\\_wcB#hintatuloiset](https://omakylakauppa.fi/poltttooljyn-tilaus.php?gclid=Cj0KCQjwwLKFBhDPARIsAPzPi-IY_ByBG063TgM0AaLWWar2jCI31hV-BcMJrqwVbCvEx_vQBm9kSMkaAjaIeALw_wcB#hintatuloiset).