LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Energiatekniikan koulutusohjelma

Tuomas Rilla

LASIVILLATEHTAAN ENERGIATEHOKKUUS

Työn tarkastaja: Professori Timo Hyppänen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Energiatekniikan koulutusohjelma

Tuomas Rilla

Lasivillatehtaan energiatehokkuus

Diplomityö

2014

125 sivua, 67 kuvaa, 6 taulukkoa ja 4 liitettä

Tarkastajat: Professori Timo Hyppänen
TKT Tero Tynjälä

Ohjaaja: DI Kari Ingalsuo

Hakusanat: energiatehokkuus, teollisuuden energiansäästöt, lämmön talteenotto, energiastrategia
Keywords: energy efficiency, industry energy savings, heat recovery, energy strategy

Diplomityön tavoitteena oli tuottaa toimenpidesuunnitelma energiatehokkuuden parantamiseksi sekä tilannekatsaus tehtaan energiankäytöstä Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Hyvinkään lasivillatehtaalla. Diplomityön ensisijaiseksi tutkimustavoitteeksi asetettiin energiankäytön tehostamisen tutkiminen sekä energiankäytön analysointi ja jatkotoimenpidesuunnitelman laatiminen.

Diplomityössä osoitettiin että lämmöntalteenotolla poistoilmasta voidaan saavuttaa 2000 MWh lämpöenergiansäästö. Yhteensä hyödynnettävää lämpöenergiaa selvitettiin syntyvän vuodessa 10 600 MWh. WCM- konseptilla, eli tuotannontehostamisohjelmalla pyritään energiankäytön systemaattiseen pienentämiseen. Tässä diplomityössä on esitetty energiankäytön tehostamisratkaisuja sekä energiatehokkuuden liittämistä WCM- konseptiin. Diplomityön tuloksia voidaan hyödyntää järjestelmällisen energiatehokkuuden parantamisohjelman kehittämisessä sekä konkreettisten energiansäästötoimenpiteiden toteuttamisessa.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Degree Program of Energy Technology

Tuomas Rilla

Energy efficiency of the glass wool factory

Master's thesis

2014

125 pages, 67 figures, 6 tables and 4 appendicies

Examiner: Professor, D. Sc. (Tech.) Timo Hyppänen
D. Sc. (Tech.) Tero Tynjälä
Supervisor: M.Sc (Tech.) Kari Ingalsuo

Keywords: insulation industry, glass wool, energy efficiency, industry energy savings, heat recovery, energy strategy, heating, air conditioning

The aim of the Master's Thesis was to produce an operation scheme for improving energy efficiency of Finnish glass wool factory owned by Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. In addition, the significance of the analyze of energy consumption and possible future focuses of improving energy efficiency were examined. Annual deployable waste heat was detected to be found 10 600 MWh.

Glass wool manufacturing is energy intensive branch of industry. Significant amount of gas and electricity is being used before the end product is manufactured. While the prize of energy is continuously rising, the issue of improving energy efficiency and reducing energy costs have become current. By the analyze of energy usage, waste heat sources were found. On the other hand the drains of energy were be found too. Proceeding to World Class Manufacturing - concept in the field of glass wool manufacturing, the importance of energy efficiency is being emphasized. This thesis presents how WCM in the field of energy efficiency can be utilized.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on laadittu Saint Gobain Rakennustuotteet Oy:n toimeksiannosta Hyvinkään lasivillatehtaalle, joka valmistaa Isover- tuotenimellä varustettua lasivillaeristettä. Haluan kiittää Saint-Gobain rakennustuotteiden henkilöstöä, erityisesti kunnossapitopäällikköä Marko Laaksoa, tehdaspäällikköä Kari Ingalsuota ja tuotantojohtajaa Eero Korpiota mielenkiintoisesta diplomityön aiheesta.

Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta haluan kiittää työn ohjaajia Tero Tynjälää, Mika Luorasta sekä työn tarkastajaa Timo Hyppästä. Erityiskiitokset kuuluvat myös muulle Lappeenrannan teknillisen yliopiston henkilökunnalle, jotka ovat opastaneet minua opintojeni aikana energian kiehtovaan maailmaan.

Haluan esittää erityiskiitokset myös avopuolisolleni Tiinalle, perheelleni sekä opiskeluaikana Lappeenrannassa saamilleni ystävilleni, jotka ovat myös vaikeina aikoina olleet tukenani sekä auttaneet ja kannustaneet minua opinnoissa eteenpäin.

Hyvinkäällä 13. elokuu 2014

Tuomas Rilla

Tuomas Rilla

SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO 5

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO 7

1 JOHDANTO 10
1.1 Työn tausta 10
1.2 Työn tavoitteet ja tutkimusongelman määrittäminen 11
1.3 Työn toteutus ja tutkimusmenetelmät 12
1.4 Työn rakenne ja rajaus 13

2 LÄMMITYS, ILMANVAIHTO JA ENERGIATEHOKKUUS LASIVILLATEOLLISUUDESSA 15
2.1 Rakentamimääräyskokoelma 17
2.2 Energiatehokkuuden kehitysnäkymät Suomessa 18
2.3 Lasivillaeristeen valmistus 20
2.4 Lasivillateollisuusrakennusten sisäilmastovaatimukset 22
2.5 Ilman kerrostuminen 23
2.6 Pölyn aiheuttamat haitat prosessilaitteille 24
2.7 Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä 26
2.8 Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämä energiatuki 27

3 CASE: SAINT-GOBAIN RAKENNUSTUOTTEET OY HYVINKÄÄN TEHDAS 29
3.1.1 Lämmönjakotapa 31
3.2 Lämpöpumppu lämmitysjärjestelmä 32
3.2.1 Käyttöveden lämmitys 36
3.3 Konttorin kaukolämmitys 37
3.4 Ilmanvaihtojärjestelmät 39
3.4.1 Tuloilmanvaihtojärjestelmä, teollisuusilmastointi 40
3.4.2 Poistoilmanvaihtojärjestelmä 41
3.4.3 Paikallisilmastointijärjestelmät 42
3.4.4 Turvallisuusilmastointi 42
3.4.5 Pölynpoisto 43
3.5 Lasivillatehtaan jäähdytystarve 45

4 UUNIHALLIN JA VESILAITOKSEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN 46
4.1 Uunihalli 46
4.1.1 Imukaappi 48
4.1.2 Lasiuuni 50
4.1.3 Prosessilaitteet 51
4.1.4 Vesikierto 52
4.2 Vesilaitos 53

5 ENERGIATASETYÖKALU 56
5.1 Poistuvat energiamäärät 58
5.2 Tulevat energiamäärät 61
5.3 Tulokset 64

6 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET ENERGIANSÄÄSTÖÖN 66
6.1 Energiansäästöstrategia Hyvinkään tehtaalle 67
6.2 Lämmöntalteenotto pakkaamon poistoilmasta 73
6.3 Lämmöntalteenotto tehdasyhteisistä tiloista 78
6.4 Robertson- tuuletuslaitteen soveltuvuuden arviointi 80
6.5 Ilmanottosäleikköjen lämpöhäviö 82
6.6 Lasivillan valmistuksessa syntyvän jätelämmön hyödyntäminen; Likaiseen pesukiertoon sitoutunut lämpö 85
6.6.1 Jätelämpönielu 89
6.7 Lämpimän ilman pakotettu tuominen uunihallin alaosaan 92
6.7.1 Ilman siirtolaitteisto ja energiansäästö 93
6.8 Kypsytysuunihallin ottaminen mukaan uunihallin ilmanvaihtoon 95
6.9 Rännivesien lämmöntalteenotto 96
6.10 Lämpöenergian sitominen kypsytysuunin palamisilmaan 100
6.11 Lämmityspatterien uusiminen 106

7 JOHTOPÄÄTÖKSET 107

8 YHTEENVETO 113

Lähdeluettelo 114

LIITE I MITTAUSPÖYTÄKIRJA 122

LIITE II ENERGIATASETYÖKALU 123

LIITE III POMMIKALORIMETRIMITTAUS 124

LIITE IV LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ LAYOUT 125

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

$\dot{H}$	entalpiavirta	[W
A	pinta-ala	[m^2]
c	ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kgK]
d	paksuus	[mm]
$\dot{E}$	energiavirta	[W]
N	ainemäärä	[mol]
n	lukumäärä	[-]
p	paine	[bar], [Pa]
P	sähköteho	[kW], [MW]
q	massavirta	[kg/s]
Q	lämpöenergia	[kWh], [MWh]
s	sulamislämpö	[kJ/kg]
t	lämpötila	[°C], [K]
w	virtausnopeus	[m/s]
ε	pinnan emissiivisyys	[-]
ε	tehokerroin	[-]
λ	ilmakerroin	[-]
ρ	tiheys	[kg/m^3]
σ	Stefan Bolzmannin-vakio	[W/m^2K^4]
Φ	lämpöteho	[MW], [kW], [kJ/s]

Alaindeksit

hä	häviöt
j	jäähdytys
ka	katto
ki	korvausilma
kv	korvausilma
l	lämmityspatteri
L	sisääntulo
lkv	lasikuituvirta
M	massa
m	moottori
mk	maakaasu
mk	maakaasu
mä	mänki
p	poistoilma

pa	pakkaamo
pi	paineilma
pr	prosessilaite
pu	puhallin
ro	robertson
sk	savukaasu
sk	savukaasut
sv	sideainevirta
sä	sähkö
sä	säleikkö
tot	yhteensä
u	uuni
v	vesi
va	vaippa
va	valaistus
vi	viemäri

Lyhenteet

BAT	Paras käyttökelpoinen tekniikka Vuonna 2013 uusittu referenssidokumentti parhaasta käyttökelpoisesta tekniikasta lasin valmistuksessa. Referenssidokumentissa esitetään mahdollisimman tehokkaita, kehittyneitä ja teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä. (Best Available Tehnology)
BREF	BAT- tekniikan vertailuasiakirja (Bat Reference Document).
COP	Lämpöpumppujen ilmoitettu suorituskerroin.. Kertoo kuinka monta yksikköä lämpöä voidaan siirtää yksiköllä sähköä._(Coefficient Of Performance)
EER	Ilmalämpöpumpuille ja ilmastointilaitteille ilmoitetaan*)* kylmäkerroin. Kylmäkerroin kertoo kuinka monta yksikköä jäähdytystä voidaan tuottaa yhdellä yksiköllä sähköverkon energiaa. Usein käytetään yksikköä kW. (Energy Efficiency Ratio*)*
EIPPCB	European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau.
HTP	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus. Valtioneuvoston päätöksessä käytetty termi. Työministeriö voi antaa työpaikan ilman epäpuhtauksille haitalliseksi tunnetut pitoisuudet.
LCC	Laitteen elinkaaren käyttö- ja hankintakustannusten nykyarvo, johon sisältyy käytöstä poistosta aiheutuvat kustannukset. (Life cycle cost)
LTO	Lämmöntalteenotto. Lämmöntalteenootto voidaan toteuttaa esimerkiksi poistoilman lämpöenergian siirtona kylmän ulkoilman lämmittämiseen ennen rakennukseen puhallusta.
LEAN	Johtamisfilosofia, joka keskittyy tuottamattomien toimintojen poistamiseen valmistavassa teollisuudessa.

PM	Hiukkaspitoisuuden kokoluokittain jaotteluun käytetty arvo. PM_{10} tarkoittaa kymmentä mikrometriä pienempien hiukkasten massapitoisuutta. (Particulate matter)
RakMK	Suomen rakentamismääräyskokoelma. Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta.
ROI	Sijoitetun pääoman tuottoprosentti. Mittaa yrityksen suhteellista kannattavuutta yritykseen sijoitetulle tuottoa vaativalle pääomalle. (Return on investment)
SPNa	Suurpainenatriumlamppu, kaasupurkauslamppu, joka tuottaa oranssia valoa. Käytetään muun muassa katuvalaistuksessa ja teollisuusvalaistuksessa.
SPF	Kertoo ilmastointikoneen ominaissähkötehon. (Spesific Fan Power)
TCO	Omistamisen kokonaiskustannukset. Laskentamalli investoinneille, joka ottaa huomioon omistamisesta aiheutuvat kokonaiskustannukset.(Total cost of ownership)
WCM	Joukko erilaisia käsitteitä, periaatteitta, ohjeita ja tekniikoita tuotteita valmistaville yritykselle. Keskittyy pääasiassa laadun jatkuvaan parantamiseen, kustannustehokkuuteen, läpimenoajan parantamiseen, joustavuuteen sekä asiakaspalvelun parantamiseen. (World class manufacturing)

1 JOHDANTO

Tämän diplomityön toimeksiantaja on kansainvälisen Saint-Gobain konsernin tytäryhtiö Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy Hyvinkään Isoverin lasivillatehdas ja sen toimihenkilöt, jotka ehdottivat toimintasuunnitelman laatimista ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmien uusimiselle. Diplomityön tavoitteena on lasivillatehtaan energiatehokkuuden parantaminen ja erilaisten ilmanvaihto- ja lämmitysratkaisujen teknillistaloudellisen kannattavuuden selvittäminen. Työssä syvennytään teollisuusrakennuksen olemassa olevan ilmastoinnin ja lämmityksen nykytilaan sekä pyritään kartoittamaan erilaisia ratkaisuja energiankäytön tehostamiseen.

Lasivillateollisuus on energiaintensiivinen teollisuudenala, jossa käytetään huomattava määrä energiaa lopputuotteen valmistukseen. Lopputuotteella saavutetaan merkittäviä energiansäästöjä globaalisti. World Class Manufacturing eli WCM on joukko ohjeita ja säädöksiä, joilla tähdätään yrityksen toiminnan tehostamiseen jokaisella osa-alueella. WCM- konseptin käyttöönotto Saint-Gobain konsernissa asettaa tavoitteita myös energiankäytön pienentämiseen ja edelleen energiakulujen minimointiin. Hyvinkään lasivillatehtaalla ollaan WCM- konseptin implementointivaiheessa.

1.1 Työn tausta

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Hyvinkään lasivillatehdas aloitti toimintansa vuonna 1982 päätuotteenaan lasivillaeristeet erilaisiin lämmöneristystarkoituksiin rakennusteollisuudessa. Saint-Gobain konsernin energiapolitiikka tähtää energiankäytön pienentämiseen kaikilla liiketoimintaosa-alueilla. Energiakustannukset olivat vuonna 2011 noin 7 % koko konsernin liikevaihdosta. Keskeisinä keinoina tavoitteiden saavuttamiseen ovat energiatehokkuusohjelmien perustaminen ja toteuttaminen. (Crowe 2012)

Lasivillan valmistus vaatii huomattavan määrän lämpöenergiaa, sillä lasi vaatii korkean 1300- 1400 °C sulamislämpötilan (Peräniitty 1995, 51.) Osa Hyvinkään lasivillatehtaan lämmitysjärjestelmän osista on alkuperäisiä, joten niiden vaihtaminen energiatehokkaampiin laitteistoihin on ajankohtaista. Tässä diplomityössä tarkastellaan onko teknillistaloudellisessa mielessä kannattavampaa kunnostaa

vanhat päätelaitteet vai vaihtaa ne kokonaan uusiin. Laitteistojen tekninen ikä on tullut vastaan monissa uusimattomissa laitteistoissa. Tämän lisäksi diplomityössä tarkastellaan jätelämmön hyödyntämisen mahdollisuuksia tehtaan omissa prosesseissa.

Energiankäytön tehostaminen pienentää osaltaan yrityksen tuotantokustannuksia ja parantaa siten kilpailua. Energiankäytön tehostamiseen kannustaa myös energian nouseva hinta.

Hyvinkään Kaupunki on laatinut energia- ja ilmastostrategian vuosille 2009-2016, jossa se on sitoutunut 9 GWh energiasäästötavoitteeseen vuoteen 2016 mennessä. Energia- ja ilmastostrategiassa on oma kohtansa yritysten energiatehokkuuden parantamiselle, jossa alueen yrityksiä kannustetaan energiatehokkuuden parantamiseen. (Hyvinkään kaupunki 2009)

1.2 Työn tavoitteet ja tutkimusongelman määrittäminen

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietoa tukemaan Saint-Gobain rakennustuotteet Oy:n henkilökunnan päätöksentekoa energiatehokkuuteen liittyvissä asioissa. Ennen varsinaista tutkimusta tehdään kirjallisuusselvitys teollisuuden energiatehokkuuden parantamisesta. Kirjallisuusselvityksessä tarkastellaan tavoitteita energiatehokkuuden parantamisesta aloittaen kansainvälisistä tavoitteista ja päätyen Suomen teollisuudelle asetetuille tavoitteille energiatehokkuuden parantamisesta. Selvityksessä syvennytään myös teoriaan keskiraskaan teollisuuden rakennusten lämmityksestä, ilmanvaihdosta ja teollisuusprosessien energiatehokkaasta käytöstä.

Tutkimuskysymystä selvittäessä diplomityössä on vastattava seuraaviin, tarkentaviin kysymyksiin:

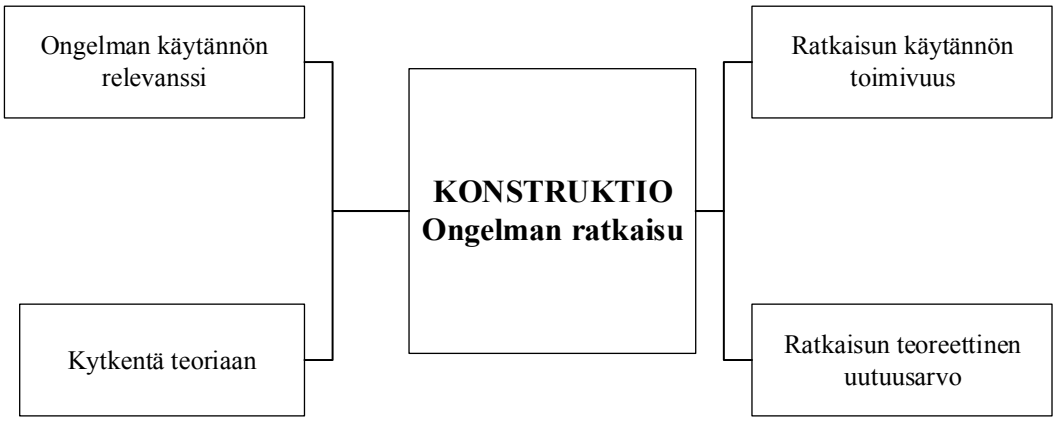
- Voidaanko osoittaa että lasivillatehtaan lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät tai niiden osat ovat tulleet elinkaarensa päähän ja minkälaisia energiansäästöjä on mahdollista saavuttaa nykyaikaisilla energiatehokkailla ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmillä?

- Onko uunihalliin prosessin tarpeisiin tuotu energia riittävä pitääkseen uunihallin lämpötilan pakkasrajan yläpuolella erilaisissa tuotantoprosessin ajotilanteissa vai tarvitaanko lisälämmitystä?
- Miten voidaan määrittää lasivillatehtaalle lämmitysjärjestelmäksi asennetun lämpöpumpun todellinen tehokerroin ja miten hyötysuhdetta on mahdollista edelleen parantaa?
- Voidaanko laatia energiatasetyökalu lasivillan valmistusprosessin ja tuotantotilojen lämmityksen seurantaan, jota voidaan käyttää energiankulutuksen analysointiin?
- Minkälaisia lämmöntalteenottomahdollisuuksia prosessissa on ja mihin hukkalämpöenergia voidaan käyttää?
- Missä järjestyksessä energiatehokkuustoimenpiteitä on teknistaloudellisessa mielessä järkevintä toteuttaa?

Tutkimuksen pohjalta muodostetaan Excel-pohjainen työkalu energian käytön ja tehokkuuden arvioimiseksi lasivillatehtaalla.

1.3 Työn toteutus ja tutkimusmenetelmät

Diplomityö kirjoitettiin kokonaisuudessaan aikavälillä 05/2014 – 9/2014, johon sisältyi kaikki vaiheet diplomityön sopimisesta, työstämisestä, mittauksista tulosten käsittelystä, analysoinnista ja julkaisemiselta. Diplomityö tehtiin pääsääntöisesti konstruktiivisena tutkimuksena, jonka tavoitteena on luoda konstruktioita, jotka vastaavat aiemmin esitettyihin kysymyksiin ja ongelmiin. Tutkimukselle on ominaista asioiden tarkastelu uudesta näkökulmasta, kuten tässä tapauksessa energiatehokkuuden näkökulmasta. Konstruktiivinen tutkimus aloitetaan tutkimusongelmien määrittelyllä, jonka jälkeen ongelmia käsitellään teoriatasolla. Asetetut ongelmat pyritään ratkaisemaan teoriaan perustuen. Diplomityöllä on tarkoitus saada innovatiivinen ja teoreettisesti perusteltu ratkaisu käytännön kannalta relevanttiin ongelmaan. Tuloksia tarkastellaan myös käytännön tasolla. Kuvassa 1 on esitetty konstruktiivisen tutkimuksen osat. (Kasanen et al 1991, 305-307.)



Kuva 1. Konstruktiivisen tutkimuksen rakenne. (Kasanen et al 1991, 306.)

Diplomityön ensimmäinen työvaihe oli diplomityön aiheen ja tavoitteiden selventäminen sellaisiksi että ne palvelisivat mahdollisimman hyvin diplomityön tilaajan Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Hyvinkään tehdasta.

Diplomityön aiheen kehittämisessä haastateltiin lasivillatehtaan toimihenkilöitä ja tuotantohenkilökuntaa suurimpien energiankäyttöön liittyvien ongelmien kartoittamiseksi. Tiedonantoja kerättiin eri lähteistä lasivillatehtaalla sekä haastateltiin muita teollisuuden energiansäästöprojekteissa toimivia henkilöitä. Valtaosa tavoitteista saatiin asetettua ensimmäisessä aloituspalaverissa 9.5.2014. Diplomityön edetessä ja asiaan syventyessä syntyi uusia tavoitteita ja näkökulmia energiansäästöön ja talteenottoon prosessista. Diplomityöhön kuului olennaisena osana lasivillatehtaalla kiertäminen, mittausten suorittaminen lähtötietojen hankinnassa sekä näytteiden kerääminen. Diplomityössä konsultoitiin laitetoimittajia kustannustietojen hankinnassa sekä laboratoriota näytteiden analysoinnissa.

Eräänä keinona ongelmien ratkaisussa käytettiin rakentavaa keskustelua muiden eri toimialoilla työskentelevien henkilöiden kanssa, joilta saatiin arvokkaita neuvoja ja vinkkejä selvitettävien asioiden lähestymiseen.

1.4 Työn rakenne ja rajaus

Diplomityö koostuu teoriaosasta, jossa käsitellään teoreettisesti työssä myöhemmin esille tulevia asioita. Työ pyrittiin rakentamaan niin, että teoriaosasta lukija

saa riittävän teoreettisen tiedon työssä esitetyn esimerkkitapauksen ymmärtämiseen. Diplomityönyön keskeisimmät laskentatavat esiteltiin yleisesti.

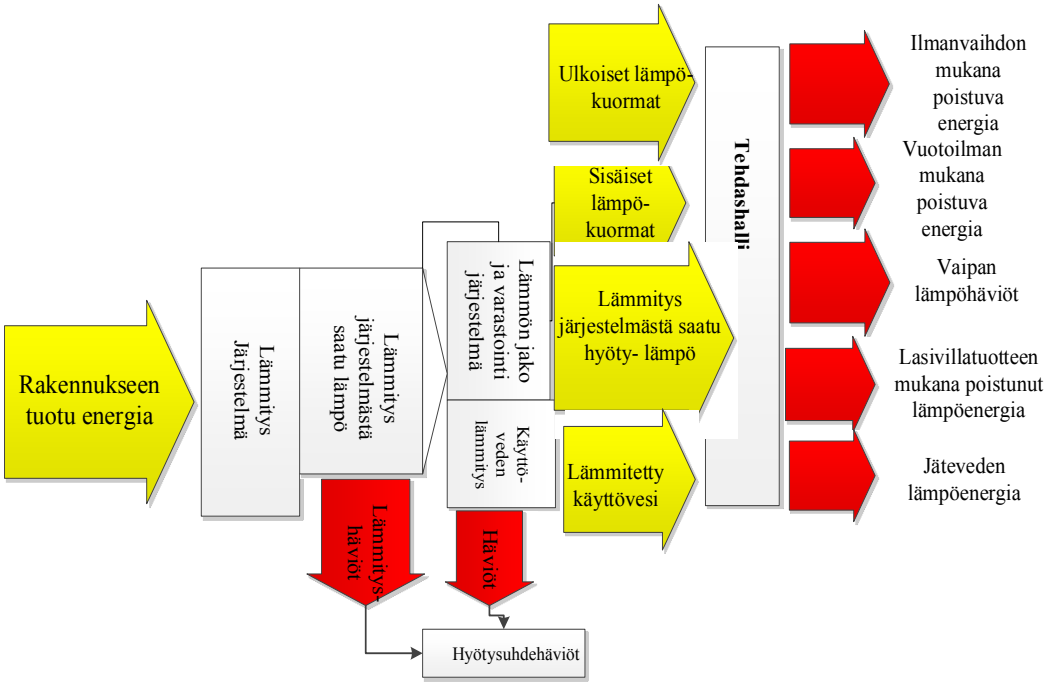
Diplomityö rajattiin käsittelemään Hyvinkään lasivillatehtaan energiatasetta ja sen hallintaa. Energiataseessa pyrittiin ottamaan huomioon kaikki merkittävimmät energiankulutukseen vaikuttavat tekijät.

Diplomityössä esiteltävät laskelmat ja johtopäätökset tarjoavat pohjatiedot lämmitysjärjestelmän ja lasivillatehtaan energiatehokkuuden hallintaan, uudistamiseen ja kehittämiseen. Energiatehokkuuden tarkasteluun liittyy lukuisia muita toimenpiteitä joihin tämän työn laajuudessa ei päästä tarkemmin keskittymään.

2 LÄMMITYS, ILMANVAIHTO JA ENERGIATEHOKKUUS LASIVILLATEOLLISUUDESSA

Vuoden 2012 ennakkotietojen mukaan rakennusten lämmitykseen käytettiin 77 222 GWh (Motiva 2013). Suomessa on 68 000 teollisuus- ja varastorakennusta, joiden lämmönkulutus kattaa 28 % Suomen kaikesta lämmönkulutuksesta. Suuren ominaisenergiankulutuksen takia teollisuuskiinteistöjen energiatehokkuuden parantamiseen on perusteltua kiinnittää erityistä huomiota. Energiatehokkuustoimenpiteitä ovat muun muassa käyttötottumusten muuttaminen, laite ja järjestelmäratkaisujen uusiminen energiatehokkaampiin laitteistoihin, energiankulutuksen ohjaaminen todellisen tarpeen mukaisesti sekä jätelämpövirtojen hyödyntäminen. (Mattila 2012)

Teollisuuden tuotantolaitoksilla on oma lämmön- ja sähköenergian kulutusprofiili. Kulutusprofiilien analysointi on hyödyllistä, jotta voidaan kohdentaa energiatehokkuustoimenpiteet juuri niihin kohteisiin, joissa energiansäästöpotentiaali on suurin.



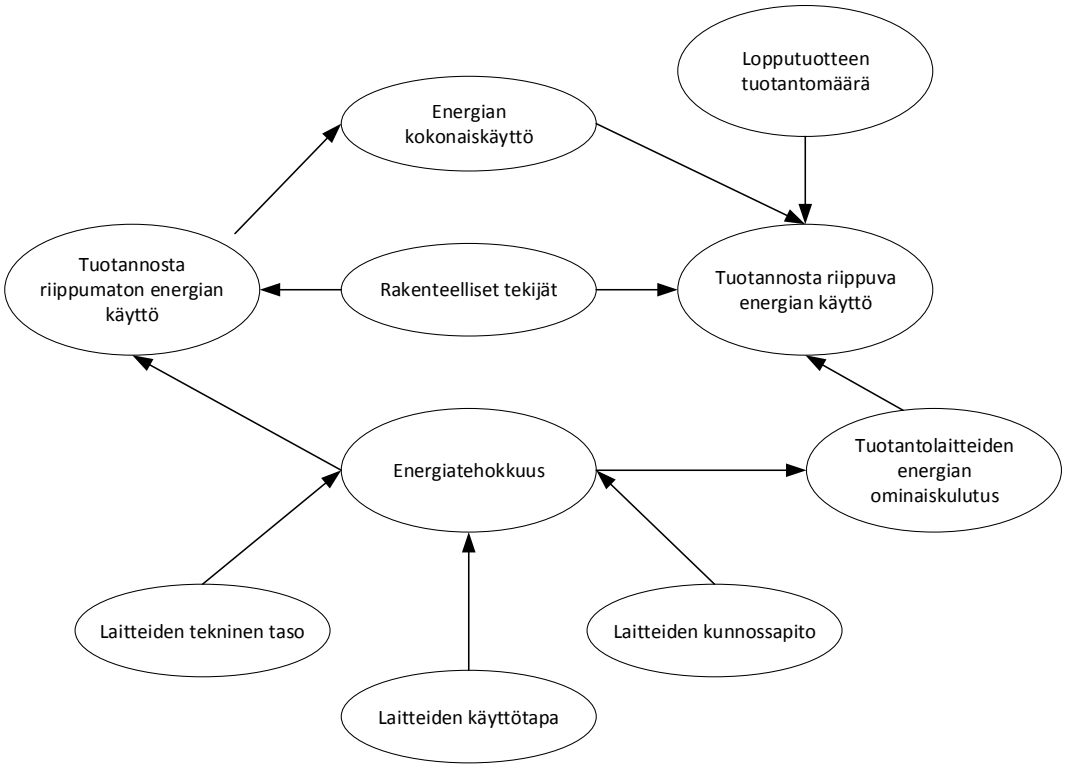
Kuva 2. Lasivillatehtaan teollisuustilojen lämmönkulutuksen jakautuminen (Neste Oy 1987,26 mukaillen.)

Kuvassa 2 on esitetty lasivillatehtaan teollisuustilojen lämmönkulutuksen jakaantuminen. Kuvasta nähdään että lämpöhäviökohteita ovat vaipan lämpöhäviöt, ilmanvaihdon, vuotoilman, lasivillatuotteen sekä jäteveden mukana poistuva energia, lasivillatuotteen mukana poistunut energia sekä jäteveden mukana poistuva energia.

Osa ilmanvaihdon toiminnan puutteista saadaan korjattua oikealla käytöllä, huollolla ja kunnossapidolla. Puhdistuksen ja perussäädön avulla ilmanvaihto saadaan yleensä palautettua alkuperäisen suunnitelman mukaiselle tasolle, mikäli rakennuksen muut ominaisuudet eivät ole muuttuneet. Tehtaan ilmanvaihdon valmistumisajankohdan 1980- luvun alkupuolen taso on kuitenkin nykyisiin sisäilmasto- ja energiataloustavoitteisiin nähden vaatimaton. Parempaan laatutasoon pääsemiseksi tarvitaan ilmanvaihdon perusparannusta. (Säteri 1998, 83.)

Keskeytymättömässä toiminnassa olevat tuotantolaitokset kuluttavat usein 4 - 5 kertaa enemmän energiaa, kuin 1-vuorotyötä tekevät teollisuuslaitokset. Jatkuvaa 3- vuorotyötä tekevillä tuotantolaitoksilla ilmastoinnin lämmöntalteenoton merkitys ja prosessin tuottaman hukkalämmön talteenoton merkitys kasvaa. (Hämeenniemi & Mykkänen 2011.)

Energiatehokkuuden säännöllisen seurannan ja huollon laiminlyönti johtaa hyvin todennäköisesti myös energian käytön kasvuun ja näin energiatehokkuuden heikkenemiseen. Etukäteissuunnittelua ja aktiivista käyttö- ja kunnossapitotoimintaa tarvitaan jopa vallitsevan energiatehokkuustason ylläpitämiseen. Kuvassa 3 on esitetty energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. (Keinänen et al, 1999 12-13.)



Kuva 3. Energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ja energiatehokkuus osana kokonaiskäyttöä. (Keinänen et al. 1999, 12.)

2.1 Rakentamimääräyskokoelma

Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa määräyksiä ja ohjeita rakennusten energiatehokkuudesta osiossa lämmöneristys D2. Sisäilmaa ja ilmanvaihtoa käsitellään osassa D3 ja energiatehokkuutta C3. Rakentamismääräyskokoelmissa annetaan tarkat ohjeet esimerkiksi ilmanvaihdon suunnitteluun keskiraskaalle teollisuudelle. (Ympäristöministeriö 2014.)

Teollisuuden ilmanvaihdon tulee täyttää vähimmäisvaatimukset ja suunnittelukriteerit, joita ovat mm. työn vaatiman ulkoilman määrä työntekijää kohti, ilman maksiminopeus kesällä ja talvella sekä ohjeellinen sisäilman lämpötila. Taulukkoon 1 on koottu tärkeimmät rakentamismääräyskokoelman asettamat reunaehdot keskiraskaan teollisuuden ilmanvaihdolle.

Taulukko 1. Rakentamismääräyskokoelman D2 mukaiset mitoituksen reunaehdot keskiraskaan teollisuuden ilmanvaihdolle. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 2002c.)

Mitoittava ulkolämpötila: Etelä-Suomen lääni	-26 °C
Tilakohtainen lämpötila lämmityskaudella: tehdashalli, keskiraskas työ	17 °C
Ulkoilmavirta	1,5 $(dm^3/s)/m^2$
Ilman nopeus	0,25-0,5 m/s

Taulukossa 1 ei ole erikseen määritetty poistoilmavirtaamaa. Rakentamismääräyskokoelmassa todetaan lisäksi että ilmanvaihtojärjestelmää voidaan käyttää pienemmällä ilmavirralla työtavoista tehtävän selvityksen epäpuhtauspäästön ja lämpökuormien perusteella. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 2002c.)

2.2 Energiatehokkuuden kehitysnäkymät Suomessa

Suomen energia- ja ilmastopoliittinen kehitys määräytyy kansainvälisistä sopimuksista ja strategisista tavoitteista. Energiatehokkuusdirektiivi (2012/27/EU) tähtää Euroopan Unionin 20 % energiansäästötavoitteen toteuttamiseen vuoteen 2020 mennessä. Energiatehokkuusdirektiivissä käsitellään muun muassa rakennusten energiatehokkuutta parantavaa peruskorjausta, energiatehokkuusvelvoitteita energian myyjille, energiankulutuksen mittaamista ja laskutusta sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannon edistämistä. (Luoma 2012.)

Energiatehokkuusdirektiivi ohjaa mittaamaan rakennusten energiatehokkuutta primaarienergiapohjaiseksi eli E-luvulla. E-luku kertoo rakennuksen energiankulutuksen pinta-alaa kohden. Usein käytetään yksikköä kWh/m^2. Laajemmin katsottuna rakennusten energiatehokkuuden parantamisen taustalla on Eurooppa 2020 älykkään, kestävän ja osallistuvan kasvun strategia, jossa ilmastonmuutoksen ja energian toimenpiteet ovat yksi viidestä EU:n yleistavoitteesta. Eurooppa 2020 kasvustrategia on nimensä mukaisesti kasvua hakeva ja sillä haetaan energiaomavaraisuuden parantamista, uusia työpaikkoja ja talouskasvua. (Kurnitski 2012, 95.)

Uudis- ja korjausrakentamisella on keskeinen rooli energiatehokkuuden parantamisessa, koska koko rakennuskannan energiankulutus vastaa 40 % kokonaisenergiankulutuksesta. Näin rakennusten energiatehokkuuden parantaminen muodostaa yksittäisen suurimman energiansäästöpotentiaalin. (Kurnitski 2012,96.)

Valtioneuvoston tulevaisuusselontekoon ilmasto- ja energiapolitiikasta on kirjattu tavoite tehostaa rakennuskannan energiakäyttöä niin, että kulutus on vuonna 2030 vähintään 30 %, vuonna 2040 vähintään 45 % ja vuonna 2050 vähintään 60 % pienempi kuin vuonna 2013.. (Lappalainen 2010,16.)

Suomi on sitoutunut Eurooppa 2020- tavoitteissa vähentämään hiilidioksidipäästöjä 16 % eli vähentämään päästöjä vuoden 1990- hiilidioksidipäästötasoon. Energiatehokkuuden osalta energiankulutuksen vähentymään Suomi on sitoutunut 4,6 Mtoe energiamäärän vähentämiseen. (Euroopan komissio 2014.)

Teollisuuden aloilla jossa kannattavuus on heikko, on paineita tinkiä jopa välttämättömistä investoinneista. Tällainen kehitys on kasvattanut Suomessa omaisuuseriin kohdistuvaa korjausvelkaa. (Kärri 2011.) Myös energiatehokkuusinvestoinnit kuuluvat tähän kategoriaan, koska ne vaativat alkupääomaa. Laitteiden hankintapäätöksiä tehtäessä on 1990- luvun alusta asti korostettu omistamisen kokonaiskustannusten (TCO) merkitystä. Toisin sanoen hankintahinnaltaan edullisin laite ei välttämättä ole kokonaistaloudellisin vaihtoehto. Käytännössä hankintabudjetin rajallisuus vaikuttaa myös energiatehokkuushanke valintoihin. Vaikka laskelmilla voidaan osoittaa hankkeen kannattavuus, siihen ei aina ryhdytä juuri rajallisesta investointibudjetista johtuen. Energiatehokkuusinvestoinneissa voidaan hyödyntää leasing- mallia. Se on ostoa parempi vaihtoehto, mikäli yrityksen käyttämä tuottovaatimus on suurempi kuin vuokraamisen rahoituskustannus. Pääoman hinnan kallistuessa vanhan koneen pitämisen ja peruskorjaamisen houkuttelevuus myös kasvaa. (Kärri 2011)

Teollisuudessa ja energiatehokkuusinvestoinneissa on käytetty ESCO- rahoitusta esimerkiksi Snellmanin Pietarsaaren lihanjalostustehtaassa, jossa on otettu talteen jäteveden hukkalämpöä lämpöpumppusovelluksella likaisesta vedestä. ESCO-rahoituksella tarkoitetaan menetelmää jossa investointikustannukset maksetaan laitoksen toimittajalle saavutetuilla kustannussäästöillä. (Huhtakangas 2008.)

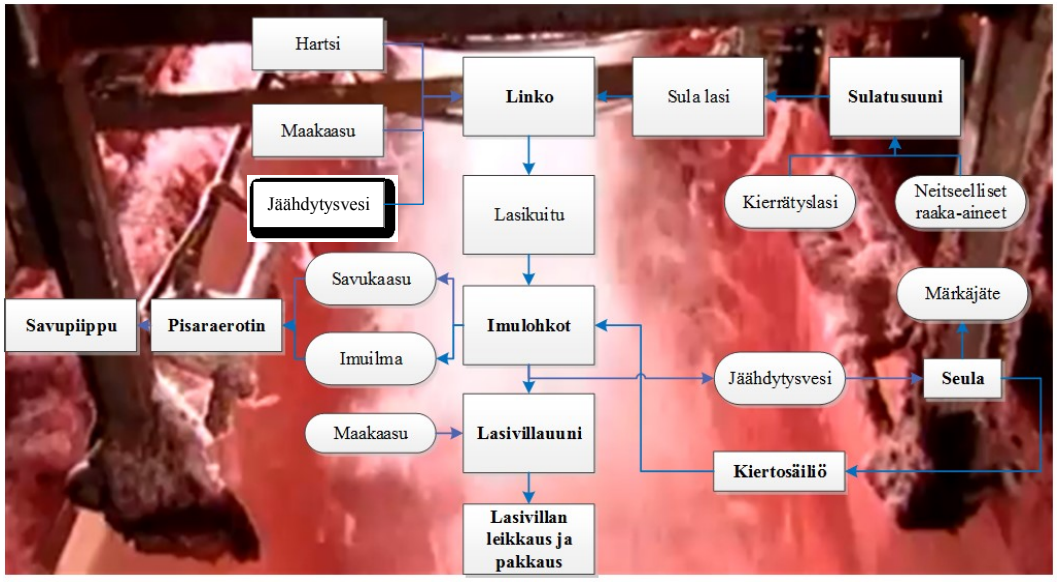
Lämpöpumppusovellus likaisesta lähteestä matalassa lämpötilassa voidaan toteuttaa esimerkiksi kylmäaineella, jolla on alhainen höyrystymislämpötila. Tällaisella hermeettisellä laitteistolla voidaan alipaineen avulla lämpöenergiaa ottaa talteen. (Vakkilainen 2014.)

Teollisuus käyttää noin puolet Suomen energiasta. Teollisuussektorin energiankulutukseen näin ollen kiinnittää erityistä huomiota. Teollisuuden toiminnassa syntynyt energiansäästö on tärkeä tekijä myös kilpailukyvyn kannalta. (Gaia Group & AX-Suunnittelu Oy 2000, 12.)

Tuotannon suunnittelu- ja ohjaus tehdään tuotannontarpeiden perusteella. Ratkaisevia tekijöitä ovat tällöin kokonaiskustannukset sekä laatu- ja määrävaatimukset. Energiankäyttö on tuotantolaitoksella osa kokonaiskustannuksia, jonka takia on tärkeää tietää ja hallita energiantarve erilaisille käyntiasteille ja tuotantotavoille. (Gaia Group & AX-suunnittelu 2000, 15.)

2.3 Lasivillaeristeen valmistus

Kierrätyslasin osuus lasivillasta on noin 80 %. Kierrätyslasin sekaan lisätään 20 % lasin neitseellisiä raaka-aineita, kuten hiekkaa ja soodaa. Raaka-aineet varastoidaan siiloihin, joista punnituksen ja sekoituksen jälkeen raaka-aineet syötetään lasiuuniin. Lasiuunissa seos sulatetaan sähköllä niin että pohjan lämpötila on 1300 - 1400 °C astetta. Sulatuksen jälkeen lasisula johdetaan lasikanavaa pitkin kuidutuskoneeseen. Kuidutuskoneessa lasisula johdetaan kovalla nopeudella pyörivään linkoon. (Isover 2014)



Kuva 4. Lasivillan valmistus sulasta lasimassasta kuidutuskoneella. (Discovery channel 2012, mukaillen.)

Lingossa keskipakoisvoiman vaikutuksesta lasi kuidutetaan ohueksi kuiduksi. Samalla syntyvien kuitujen sekaan syötetään hartsia liima-aineeksi. Hartsin avulla kuidut kiinnittyvät paremmin toisiinsa. Kuidutuksen jälkeen tuote kypsennetään, jolloin hartsi reagoi ja kiinnittää kuidut tiukasti toisiinsa. Kuidutuksessa tuote saa lasivillalle ominaisen keltaisen värin. Kuidutuksen jälkeen tuote leikataan asiakkaan vaatimiin mittoihin ja pakataan puristepakkaukseen. Suurin osa tuotteista pakataan lavapakkauksiin, mikä helpottaa tuotteiden käsittelyä varastossa sekä asiakkaiden tiloissa. (Isover 2014.)

Eristeen valmistus vaatii kuitenkin vain vähän energiaa suhteessa siihen, kuinka suuri energiamäärä lopputuotteella voidaan säästää. Oletuksella että rakennuksen käyttöaika on 50 vuotta, voidaan lasivillalla eristetyllä rakennuksella saavuttaa tuhatkertainen energiamäärä lasivillan valmistukseen kuluneeseen energiamäärään verrattuna. (Euroopan komissio 2013a, 32.)

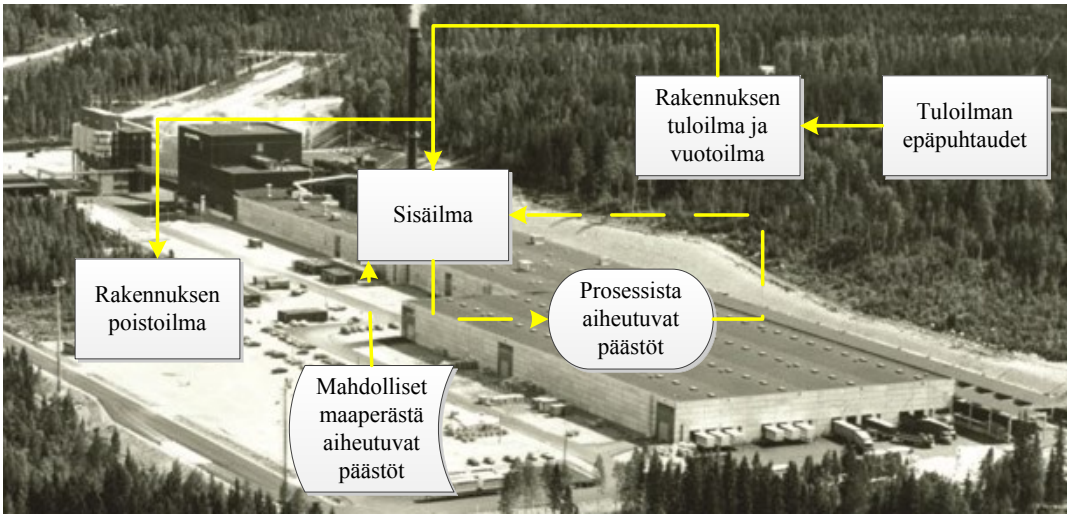
Eristevillasektori edustaa noin 10 % lasiteollisuuden kokonaistonnimäärästä Eristevillasektori sisältää lasi- ja kivivillan valmistuksen. Vuonna 2005 sektori työllisti Euroopassa yli 21 000 ihmistä ja tuotannon arvo oli suuruudeltaan 3 miljardia euroa. Vuonna 2007 Suomessa tuotettiin noin 5,6 % EU:n eristevilla- sektorin kokonaistuotannosta. Euroopan alueella alalla on viisi päätoimijaa, joita ovat

Saint- Gobain, Rockwool International, Paroc, URSA ja Knauf insulation. (Euroopan komissio 2013b, s.30.)

2.4 Lasivillateollisuusrakennusten sisäilmastovaatimukset

Työympäristössä esiintyy fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia haittatekijöitä, joiden vaikutukset ulottuvat lievistä viihtyvyyshaitoista työperäisiin sairauksiin. Työperäiset sairaudet ovat yläkäsite ammattitaudeille ja muille sairauksille, joiden synnyssä työhön liittyvillä tekijöillä on osuutensa. Ammattitautien ja muiden työperäisten sairauksien välinen raja on liukuva ja muuttuu tutkimustiedon lisääntyessä. (Tähti 2012, 22.)

Ilmanvaihtoa ja ilmastointia on perinteisesti pidetty työympäristön keskeisenä säätely- ja torjuntakeinona koska sillä vaikutetaan sekä ilman laatuun että lämpöolosuhteisiin. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistusvaikutus kohdistuu kaikkiin sisäemissiolähtöisiin epäpuhtauksiin (Tähti 2012, 22.). Lasivillan valmistuksessa syntyy lasivillakuitupölyä, joka ärsyttää ihoa, silmiä ja ylempiä hengitysteitä. Lasivillaeristeiden kuitupaksuus on 3- 6 µm ja vain pieni osa kuiduista pääsee keuhkoihin. Lasivillatehtaalla edellytetään käytettäväksi hengityssuojaimia paljon lasivillapölyä syntyvissä työtehtävissä, koska kaikkea lasivillapölyä ei voida poistaa edes tehokkaalla ilmanvaihdolla ja siivouksella. (Työterveyslaitos 2010.) Kuvassa 5 on esitetty lasivillatehdaskiinteistön sisäilmaan vaikuttavat tekijät. Tuloilman epäpuhtauksia ovat muun muassa ulkoilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet kuten bioaerosolit, pakokaasut, lentotuhka ja pienhiukkaset, typen oksidit ja eloperäiset hiukkaset. Ilmanvaihtoa lisäämällä ei voida vaikuttaa ulkoilman epäpuhtauksien torjuntaan, koska lisäämällä ilmanvaihtoa epäpuhtauksien määrä sisäilmassa lisääntyy. Ainoa keino, jolla tuloilman puhtauteen voidaan vaikuttaa on suodattaminen, mikäli ulkoilma on epäpuhdasta. (Sisäilmayhdistys Ry 2014.)

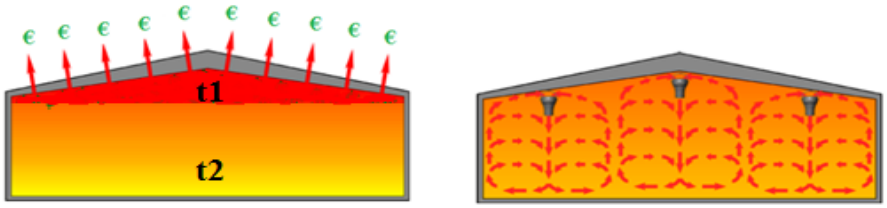


Kuva 5. Lasivillatehdaskiinteistön sisäilmaan vaikuttavat tekijät. (Isover 2014, mukaillen.)

2.5 Ilman kerrostuminen

Rakennusten ilmanvaihdossa suurin osa ilmanvirtauksista on turbulenttisia. Tämän takia ilman lämpötila- kerrostumisilmiötä tarkastellaan turbulenttiselle ilmavirtaukselle. Luonteenomaiset tunnuspiirteet lämpötilalle, tiheydelle ja turbulenttiselle intensiteetille ovat erilaisia kylmälle ja kuumalle ilmalle, joten niiden törmätessä tapahtuu lämmön- ja aineensiirtoa. Aineensiirtoa tapahtuu erityisesti, kun kosteuspitoisuus vaihtelee. Lämpimän ja kylmän ilmavirtauksen hylkiessä toisiaan lämmin ilmavirta nousee rakennuksen yläosaan ja kylmä ilmavirta rakennuksen alaosaan. Tämä ilmiö johtaa energiahäviöihin ja ilmanvaihdon hyötysuhteen heikkenemiseen. (Wang, 2006, 1.)

Ilman kerrostumisella tarkoitetaan LVI- tekniikassa sitä ilmiötä että lämmin ilma kerrostuu rakennuksen yläosaan ja kylmä ilma rakennuksen alaosaan. Kuvassa 6 on esitetty ilman kerrostumisen ongelma ja ratkaisu teoreettisesti.



Kuva 6. Ilman kerrostuminen ja lämmön karkaaminen ilmiöstä johtuen vasemmalla, jossa t1 > t2. Oikealla ratkaisu tasaisen lämpötilaprofiilin luomiseen rakennuksessa. (RMEnergy Inc 2011, mukaillen.)

Voimalaitoksissa ilman kerrostumista hyödynnetään niin että palamisilma otetaan kattilahallin yläosasta, jossa ilmalla on suurin ominaisentalpia. Ilman otto kattilahallin yläosasta vähentää esilämmityksen tarvetta ja nostaa kattilahyötysuhdetta. (Kaikko 2013.)

2.6 Pölyn aiheuttamat haitat prosessilaitteille

Pöly on yleisnimitys ilmassa olevalle epäpuhtaudelle. Epäpuhtaudet ovat pienpartikkeleita, halkaisijaltaan 1-100 µm mittaisia. Partikkelit muodostavat kaasun, eli hengitysilman kanssa aerosoliseoksen. Pöly on siis yleisnimitys määrittelemättömälle määrälle pienpartikkeleita ilmassa. Pölytyyppejä ovat muun muassa orgaaninen pöly sekä mineraalipöly. Lasivillateollisuudessa pääasiallinen pölytyyppi on epäorgaaninen mineraalipöly. (Korpio 2014)

Diplomityössä tarkastellulla Isover Oy:n Hyvinkään lasivillatehtaalla otettiin näyte lasivillapölystä 16.6.2014 ja se analysoitiin pommikalorimetrillä Isoverin laboratoriossa. Lasivillanäyte otettiin uunihallin yläosasta hyvien näytteenottoperiaatteiden mukaisesti. Lämpöarvo mitattiin, koska haluttiin selvittää uunihallin yläosan pölyn syttymis- ja palamisominaisuuksia. Lämpöarvoksi saatiin kolmen näytteen keskiarvona 0,264 kJ/kg. Vertailun vuoksi esimerkiksi hiontapölyn lämpöarvo on 19 kJ/kg. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että pölyllä on huonot palamisominaisuudet, joten se ei ole erityisen palo- tai räjähdysherkkä.

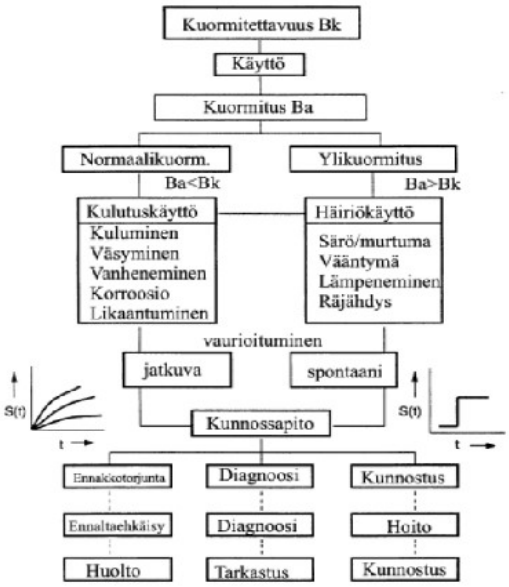
Pölystä tehtiin myös alkuaineanalyysi säteilyspektrometrillä. Näyte sisälsi piioksidia 59,5 %, natriumoksidia 19,3 % ja kalkkia 8,32 %. Mittaustulokset ovat työn liitteenä III.

Pölyn tavallisimmat muodostumistavat ovat kiinteän aineen mekaaninen hajoaminen, murskaus, jauhaminen, sahaus, poraus ja hionta, pölyävän materiaalin käsittely, kuljetus, sekoitus, seulominen ja hiekkapuhallus, kuumissa prosesseissa kondensoitumalla muodostuvat huurut sekä voimakkaiden ilmavirtausten mukaansa vetämät hienojakoiset materiaalit. Lasivilla- ja vuorivillapöly luokitellaan niin sanotuksi vähätehoiseksi pölyksi. (Rantanen & Pääkkönen 2008)

Likaantuminen on yksi kulumisen ilmenemismuoto. Se johtaa mittojen suurenemiseen ja haittaa prosessilaitteen käyttöä. Likaantuminen lasketaan muodollisesti kulumiseksi, sillä se vaatii samanlaisia toimenpiteitä kuin muut kulumismuodot. Kaikki kulumismuodot johtavat laitteen käyttöiän lyhenemiseen. Kuluminen riippuu kuormitusajasta ja näin ollen myös käyttöajasta. (Kaikko 2012.)

Sähkötilojen asianmukainen ilmanvaihto auttaa vähentämään tuotannon seisokkeja. Tehtaan seisokkien vähenemisillä on mahdollista saavuttaa merkittäviä säästöjä. Tehokas ilmanvaihtojärjestelmä pitää sisällään suhteellisen kosteuden hallinnan, ilman paineen hallinnan ja syövyttävien komponenttien poiston, koska ne aiheuttavat korroosiota sähkökomponenteille.

Kuvassa 7 on esitetty likaantumisen linkittyminen kunnossapitoon. Likaantuminen lisää kunnossapidon tarvetta kuvan 7 mukaisesti. Kuvasta nähdään että likaantuminen nostaa vaurioiden syntymisen todennäköisyyksiä.



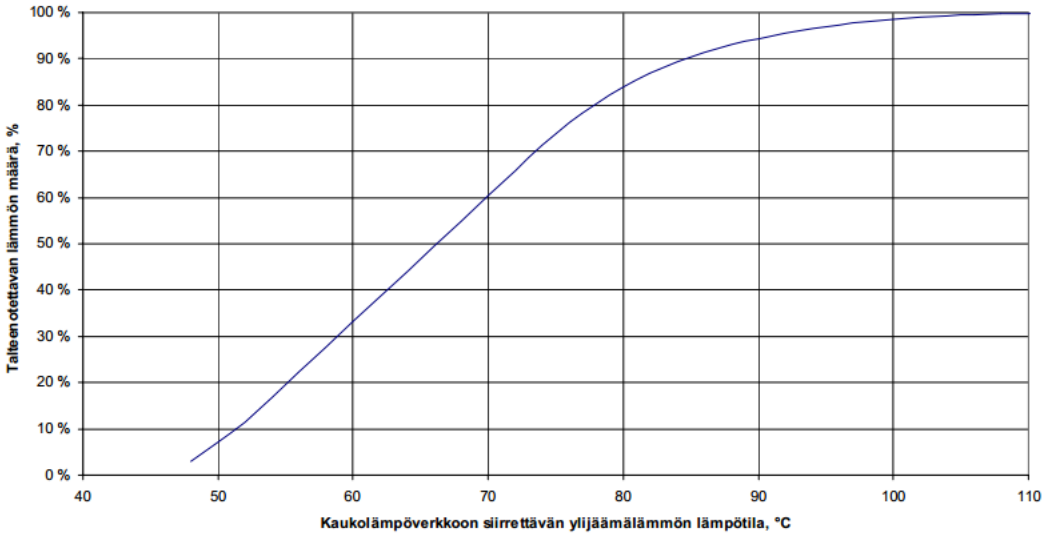
Kuva 7. Kunnossapidon riippuvuus käytöstä, kulumisesta ja ylikuormituksesta vasemmalla (Kaikko 2012.) Oikealla pölyn tukkima lämmityslaite, jonka hyötysuhde on heikentynyt likaantumisen seurauksena.

Pöly heikentää elektroniikkalaitteen jäähtymistä. Pölykerros luo peittomaisen pinnan komponenttien päälle ja näin ollen toimii eristemateriaalina, jolloin lämmön siirtyminen ilmaan heikkenee. Pöly voi tehdä suurissa määrin myös tukoksen liukupotentiometrin uralla, jolloin potentiometrin arvon säädin ei pääse kulkemaan ongelmitta päästä päähän. Lämmönsiirtopinnoilla pöly heikentää lämmön siirtymistä aiheuttaen hyötysuhdehäviöitä. (Kaikko 2013.)

2.7 Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä

Vuonna 2010 tehdyssä Energiateollisuus ry:n ja työ- ja elinkeinoministeriön toimeksiannossa ’’Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä’’ todettiin, että teollisuudessa teknisesti hyödynnettävää ylijäämälämpöä arvioidaan syntyvän vuosittain noin 19 TWh, josta kaukolämpöverkostoihin on mahdollista karkean arvioinnin perusteella saada noin 4-5 TWh. Selvityksen perusteella voidaan todeta että teollisuudesta löytyy potentiaalia hukkalämmön hyödyntämiseksi. (Kala et al. 2010, 46.)

Kuvassa 8 on esitetty hyödynnettävän ylijäämälämmön osuus kaukolämmöstä tuotetun ylijäämälämmön- lämpötilan funktiona.



Kuva 8. Hyödynnettävän ylijäämälämmön osuus kaukolämmöstä tuotetun ylijäämälämmön- lämpötilan funktiona. (Kala et al 2010, 9.)

Teollisuuden myymä ylijäämälämpömäärä vuonna 2008 oli noin 770 GWh, joka on noin 0,5 % koko teollisuuden käyttämästä energiamäärästä. (Kala et al 2010,14.)

2.8 Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämä energiatuki

Työ- ja elinkeinoministeriö voi hankekohtaisen harkinnan perusteella myöntää yrityksille, kunnille ja muille yhteisöille energiatukea sellaisiin ilmasto- ja ympäristömyönteisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät: (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014.)

1. uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä
2. energiansäästöä tai energiantuotannon tai käytön tehostamista
3. vähentävät energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja

Energiatuen myöntämiseen sovelletaan yleislakina valtionavustuslakia (668/2001). Tuen talousarvion mukaisesta myöntämisestä, maksamisesta ja käytöstä säädetään tarkemmin energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista annetulla

valtioneuvoston asetuksella (1063/2012). Asetuksessa määritellään tuen hakemisesta, hyväksyttävistä kustannuksista ja tuen maksamisesta.

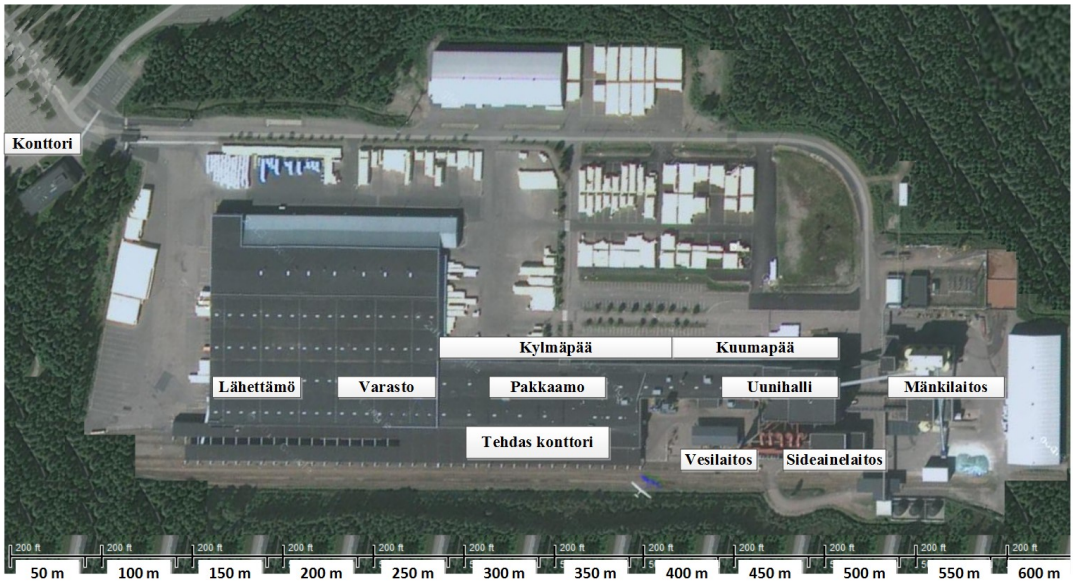
Tukipäätökset käsitellään pääsääntöisesti paikallisessa elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksissa. Investointikustannuksiltaan yli 5 miljoonan euron hankkeet, sekä hankkeet joihin sisältyy uutta teknologiaa, käsitellään työ- ja elinkeinoministeriön energiaosastolla. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014.)

Energiatukea tulee hakea ennen hankkeen aloittamista toimittamalla hakemus siihen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukseen, jonka toiminta-alueella investointi tai selvityshanke toteutetaan. Vuonna 2014 energiatukeen on kokonaisuudessaan varattu 147,5 miljoonaa euroa. Suuryritysten energiatehokkuuskatselmuksiin ei myönnetä energiatukea enää uuden energiatehokkuusdirektiivin kansallisen täytäntöönpanon alettua. Energiatehokkuusinvestointien osuus on ollut 15 miljoonaa euroa. Määräaika energiatehokkuuskatselmushakemuksille on 5.6.2014. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että energiansäästöinvestointeihin on saatavissa 15-20 % tuki valtiolta. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014)

3 CASE: SAINT-GOBAIN RAKENNUSTUOTTEET OY HYVINKÄÄN TEHDAS

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Hyvinkään tuotantolaitos valmistui vuonna 1981. Lasivillan tuotanto aloitettiin vuonna 1982. Tuotantolaitoksen rakennuksia ei ole uusittu käytön aikana, ainoastaan varastoa laajennettiin 1990- luvun lopulla. Kiinteistöjen bruttopinta-ala on 44 396 brm^2. Kiinteistöjen kokonaistilavuus on 429 669 rm^3, joista lämmitettyjen kuutioiden osuus on 179 729 rm^3.

Hyvinkään tehtaan tuotanto- ja konttoritilojen ilmanvaihto sekä lämmitys on toteutettu 1980- luvun alkupuolen tekniikalla. Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien energiatehokkuus on kehittynyt eri osa-alueilla, joten on oletettavissa että uusimalla laitekantaa nykyaikaisempaan, voidaan saavuttaa säästöjä ilmanvaihto- sekä lämmityskuluissa. Kuvassa 9 on esitetty lasivillatehtaan layout-kuva.



Kuva 9. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy, Hyvinkään tuotantotehtaan satelliittikuva. (Google Earth 2013, mukaillen.)

Vuonna 2009 Hyvinkään tuotantotehtaalle valmistui Motivan ohjeiden mukaisesti laadittu teollisuussektorin energiakatselmus. Motiva on suomalainen yritys, jolla on asiantuntemusta energian ja materiaalien tehokkaasta käytöstä. Energiakatselmuksessa tarkasteltiin lasivillatehtaan energiankäyttöä ja esitettiin ehdotuksia

lämpö- ja sähköenergian sekä veden säästöön. Katselmuksessa esitettiin kymmenen energiansäästötoimenpidettä, joille laskettiin säästöpotentiaali sekä takaisinmaksuaika. Ehdotetuista toimenpiteistä seitsemän toimenpidettä päätettiin toteuttaa myöhemmin, yksi toteutettiin ja kaksi toimenpidettä otettiin harkintaan. Lämmitys- ja ilmanvaihtokohteiden esittely.

Rasitusluokan 1 tilalla, tarkoitetaan tilaa, jossa on suuria mekaanisia, kemiallisia tai kosteuden ja pölyn aiheuttamia rasituksia. Rasitusluokan 2 tiloissa rasitukset ovat vähäisempiä. Ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmien keskimääräinen tekninen käyttöikä rasitusluokassa 1 on noin 10- 15 vuotta ja rasitusluokkssa 2 noin 20-25 vuotta (LVI 01-10424, 2008). Uunihallin voidaan sanoa kuuluvan rasitusluokkaan 1, koska uunihallissa vallitsee vaihtelevat lämpöolot sekä ilman pölypitoisuus on suuri. Tuotantotilojen ja pakkaamon voidaan sanoa kuuluvan rasitusluokkaan 2, koska olosuhteet ovat niissä vakaammat. Tässä kappaleessa on esitetty tämän hetkinen tilojen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät, joiden perusteella voidaan arvioida eniten uudistamista vaativat kohteet.

Prosessin kannalta tehdashallin ilman lämpötilalla ja kosteudella ei ole suurta merkitystä lopputuotteen laatuun. Pakkaamon lämpötilalla on havaittu olevan merkitystä tuotteen pakkaamisessa. Etenkin pakkausmuovin käyttäytyminen muuttuu lämpötilan laskiessa liian alhaiseksi. Taulukossa 2 on esitetty lasivillatehtaan lämmityskapasiteetti eri tehtaan tiloissa.

Taulukko 2. Ilmanvaihto- ja lämmityspatterienjärjestelmän kappaleluettelo ja kapasiteetti

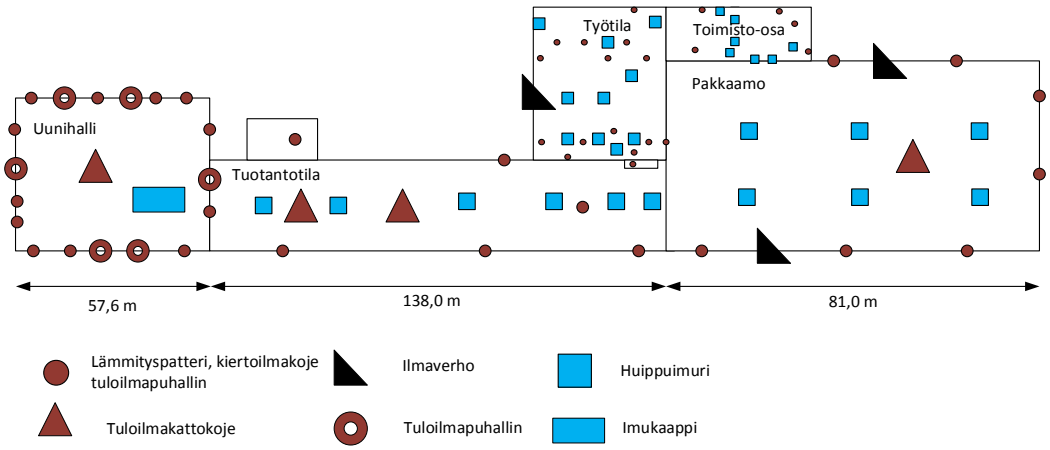
Tila	Huippuimureiden lukumäärä	Tuloilma-kapasiteetti [m^3/s]	Poistoilma-kapasiteetti [m^3/s]	Lämmitysteho [kW]	Runkolinjan halkaisija [mm]
Pakkaamo	5	18	18	1800*	100
Tehdasyhteiset tilat	20	13	15	617	100
Tuotantolinja		16		764	150
Uunihalli		147	110***	905	150
Sideainelaitos	3	4	4	300	80
Mänkilaitos	1	1	1	30	50
Vesilaitos		22	3	233	**
yhteensä	29	220	41	5023	

* Sis. maakaasulämmittimien tehot
** Lämpökeskus sijaitsee vesilaitoksella
*** Vaihtelee imukaapin ajon mukaan

3.1.1 Lämmönjakotapa

Uunihalli, tuotantotilat ja pakkaamo lämpiävät tulo- tai kierrätysilmalla. Tuloilmapuhaltimien perään on asennettu lämmityspatterit, jotka huolehtivat tuloilman lämmityksestä. Kierrätysilmapatterit lämmittävät tilassa jo olevaa ilmaa. Lämmityspatterit ovat asennettu pääasiassa lattiatasosta noin kahden metrin korkeuteen. Tätä ilmanjakotapaa kutsutaan myös syrjäyttäväksi ilmanjakotavaksi. (Tähti et al 2000, 3.)

Lämmityspattereissa on myös sulkupellit, jotka voidaan sulkea tarvittaessa ja lämmittää vain kierrätysilmaa, jolloin ne toimivat kiertoilmalämmittiminä. Ilmanvaihdon toimintaperiaate ja poistoilmanvaihtoverkoston toiminnasta saa käsityksen kuvasta 10.. Kuvassa 10 on esitetty pääpiirteissään uunihallin, tuotantotilojen ja pakkaamon ilmanvaihdon toimilaitteet ja sijoittelu.



Kuva 10. Lasivillatehtaan tuotanto-osan päätelaitteiden sijaintia ja lukumäärää havainnollistava kuva.

Ilmanvaihdolla pyritään hallitsemaan sisäilman laatua. Lasivillatehtaalla laatuvaatimukset riippuvat lähinnä tilassa tapahtuvasta työprosessista ja laitteista. Uunihallissa lasin sulatuksesta ja kuiduttamisessa, tuotantotiloissa lasivillan kypsyttämisestä ja leikkaamisesta ja pakkaamossa lasivillaeristeen pakkaamisesta.

Osaa tuloilmapuhaltimista ohjataan Siemens Visonik- ohjelmistoon asennetuilla lämmityssekvensseillä, kun taas osaa puhaltimista esimerkiksi uunihallin tuloilmapuhaltimia sekä kuvassa 55 näkyvä kypsytysuunin kärynpoistokanavaan asen-

nettua puhallinta ohjataan samasta operointijärjestelmästä, kuin lasivillaprosessia. Moniohjauksesta ja imukaapin aiheuttamasta poistoilmavirrasta johtuen voidaan todeta, että rakennuksen ilmatasapaino ei ole tarkkaan optimoitu toimimaan energiatehokkaimmalla tavalla. Liitteessä 4 on esitetty layout kuva lämmitysjärjestelmän pääliitännöistä

3.2 Lämpöpumppu lämmitysjärjestelmä

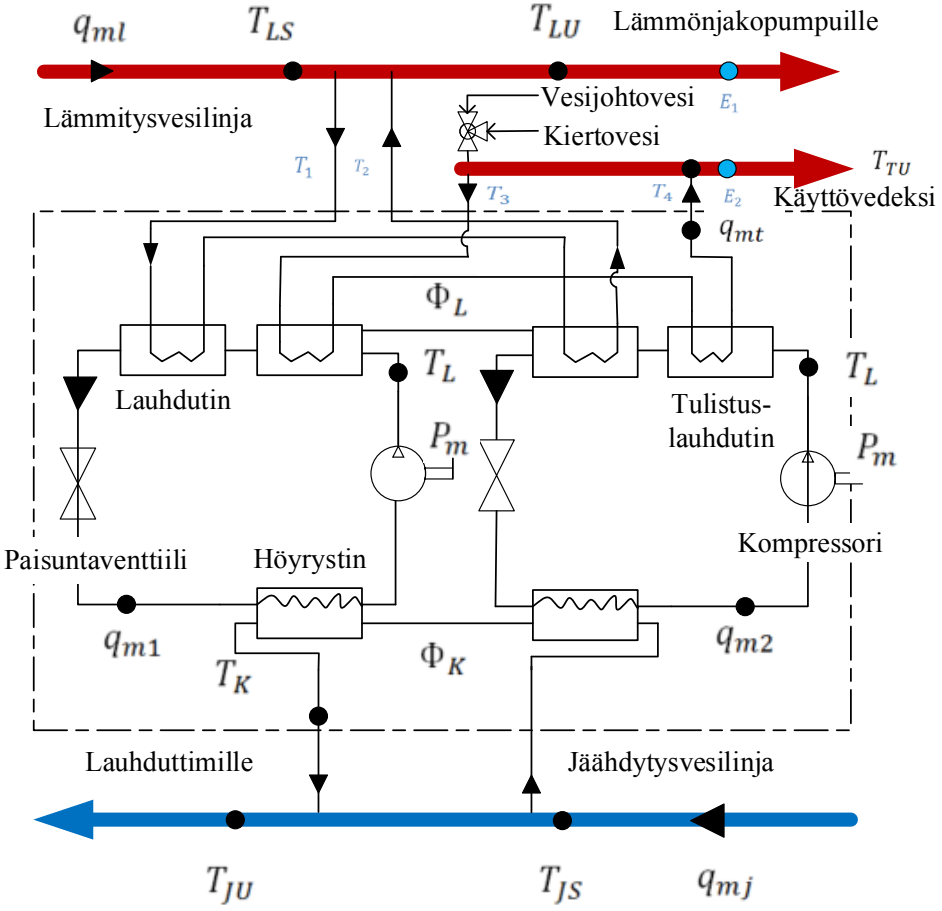
Lämpöpumpun käytöllä voidaan ottaa talteen matalalämpötilaisten lämmönlähteiden energia ja käyttää se lämmitystarkoitukseen. Lämpöpumppu soveltuu käytettäväksi muun muassa teollisuuslaitoksissa ja kaukolämmön tuotannossa.

Useissa teollisuusprosesseissa syntyy runsaasti 20 – 50 °C:n jätelämpöä, jonka lämpötila voidaan korottaa lämpöpumpulla 50 – 100 °C:seen. Korkealämpötilaiselle lämpöenergialle on löydettävissä monia käyttökohteita sekä prosessissa että lämmityksessä. Monipiirisellä järjestelmällä lämpöpumpun tehoa voidaan kohottaa ja säädettävyyttä parantaa. (Lappalainen 2010,97.)

Hyvinkään tuotantotiloissa otettiin käyttöön vuonna 2012 lämpöpumppu korvaamaan kiinteistöjen lämminvesikierron ja lämpimän käyttövesikierron lämmittämiseen käytetty maakaasukattila sekä sähkökattilat. Tehtaan lämmityskiertoon on kytketty lasivillatehdas poislukien lähettämön toimistotilat, joka on sähkölämmitteinen sekä konttorirakennus, joka lämpiää kaukolämmöllä.

Lämpöpumpun lämmön lähteenä käyttämä jäähdytysvesilinja saa lämpöenergiansa muun muassa kompressorien ja kuidutuksessa käytettävien laitteiden jäähdytysvedestä. Jäähdytysvesikierto on suljettu vesikierto ja sen kuorma vaihtelee, sen mukaan kuinka paljon jäähdytysvesikiertoon on saatavissa lämpöenergiaa.

Kuvassa 11 on esitetty kahdennetun lämpöpumpun kytkentä lämmitysjärjestelmään.



Kuva 11. Tehtaan lämmitykseen käytettävän kahdennetun maalämpöpumpun kytkentä ja energianseurantaan sekä hyötysuhteen määrittämiseen tarvittavat parametrit.

Lämpöpumput ovat teholtaan 163 kW ja ne ovat kytketty rinnan. Kuvan 11 merkinnöillä lämpöpumppusysteemin tehokertoimeksi saadaan: (Tynjälä 2014)

$$\varepsilon_L = \frac{q_{ml}c_{pl}(T_2-T_1)+q_{mt}c_{pl}(T_4-T_3)}{\sum P_m} \qquad (1)$$

missä

ε_L	tehokerroin	[-]
q_{ml}	lämmitysvesilinjan massavirta	[kg/s]
q_{ml}	tulistinvaraajan massavirta	[kg/s]
c_{pl}	veden ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kgK]

T_1	lauhduttimelle menevän veden lämpötila	[K]
T_2	lauhdutinvaraajalle menevän veden lämpötila	[K]
T_3	tulistinhöyrystimeen menevän veden lämpötila	[K]
T_4	tulistinvaraajalta tulevan veden lämpötila	[K]
P_m	kompressorien sähköteho	[kW]

Tehokerroin kertoo vain tehokkuuden tietyissä olosuhteissa, joten lämpöpumpun toimintaa tulee tarkastella joko kuukausitasolla tai vuositasolla. Vuositehokerroin on totuudenmukaisempi mittari lämpöpumpun tehokkuuden seuraamiseen. Se huomioi koko vuoden mukaan lukien lämpimät kesäkaudet ja kylmät talvijaksot.

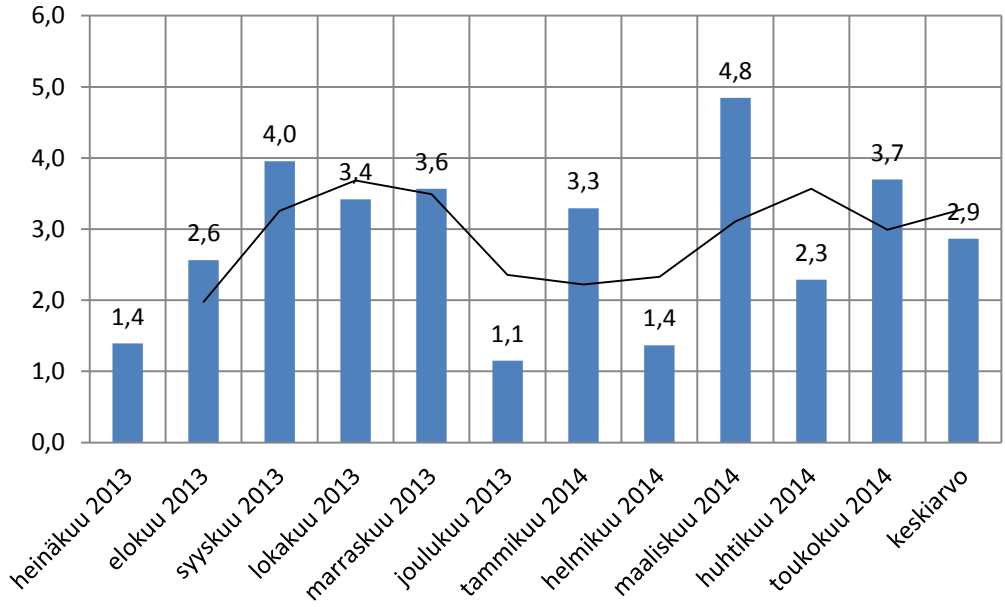
Lasivillatehtaan vuosihyötysuhdetta määritettäessä kerättiin tietoa lasivillatehtaan sähköenergiankäytöstä sekä lämpöpumpun tuottamasta lämpöenergiasta. Hyvinkään lasivillatehtaalla on käytössä Mittrix Oy:n toimittama Axon mittausohjelmisto energiatietojen hallintaan ja raportointiin. Ohjelma on tietokantapohjainen ja sillä voidaan käsitellä ja analysoida kenttälaitteilta saatavia tietomääriä. Havainnointikierroksen aikana 11.6.2014 pidetyssä katselmuksessa havaittiin, että lämpöpumpuilla ei ole omaa sähköenergianmittaussilmukkaa. Tästä johtuen sähköenergia joudutaan määrittämään vesilaitoksen muuntajatehosta niin, että käytetystä sähköenergiasta vähennetään muiden laitteiden tehonkulutukset, jotka ovat samalla energianmittauksella. Tällä menetelmällä ei päästä totuudenmukaiseen menetelmään, vaan hyötysuhde on todellista hyötysuhdetta korkeampi mikäli muiden laitteiden tehonkulutus on arvioitu liian suureksi. Tulos on liian pieni, mikäli tehonkulutukset on arvioitu todellista kulutusta pienemmiksi. Jatkuvan hyötysuhteen määrittämisessä on ehdottoman tärkeää toteuttaa lämpöpumpun energiankulutusmittaus luotettavien tulosten saamiseksi.

Lämmityslinjassa ei myöskään ole erillisiä lämpötilamittauksia, vaan tuotettu lämpöenergia voidaan lukea kiinteästi kentälle asennetusta energiamäärämittarista. Energiamäärämittauksen toiminta perustuu virtaamaan ja lämpötilaeron mittaamiseen meno- ja paluulinjasta. Koska lämpöpumput tuottavat lämpöenergiaa

lauhdutinvaraajalle ja tulistinvaraajalle, tulee molempien energiantuottomittareiden lukemat summata. Paikallisesta mittarista on luettavissa tuotetut energiamäärät asennusajankohdasta lähtien kuukausien käyttöjaksoina.

Energiamäärä on mahdollista toteuttaa myös mittaamalla lämpötilaa kuvassa 11 kohdista T_1 ja T_2 sekä massavirtaa kohdasta T_1 tai T_2. Näillä tiedoilla ja veden ominaislämpökapasiteetilla on mahdollista määrittää lämpöpumppujen luovuttama lämpöteho tarkasti. Mittauksen etuina energiamäärämittaukseen olisi että mahdolliset virhetilanteet olisi helppo määrittää, mistä mittauksesta ne johtuvat.

Kuvassa 12 on esitetty laskennallisesti saatu lämpökerroin eri kuukausille heinäkuusta 2013 lähtien.



Kuva 12. Lämpöpumpun tehokertoimet heinäkuu 2013 - toukokuu 2014.

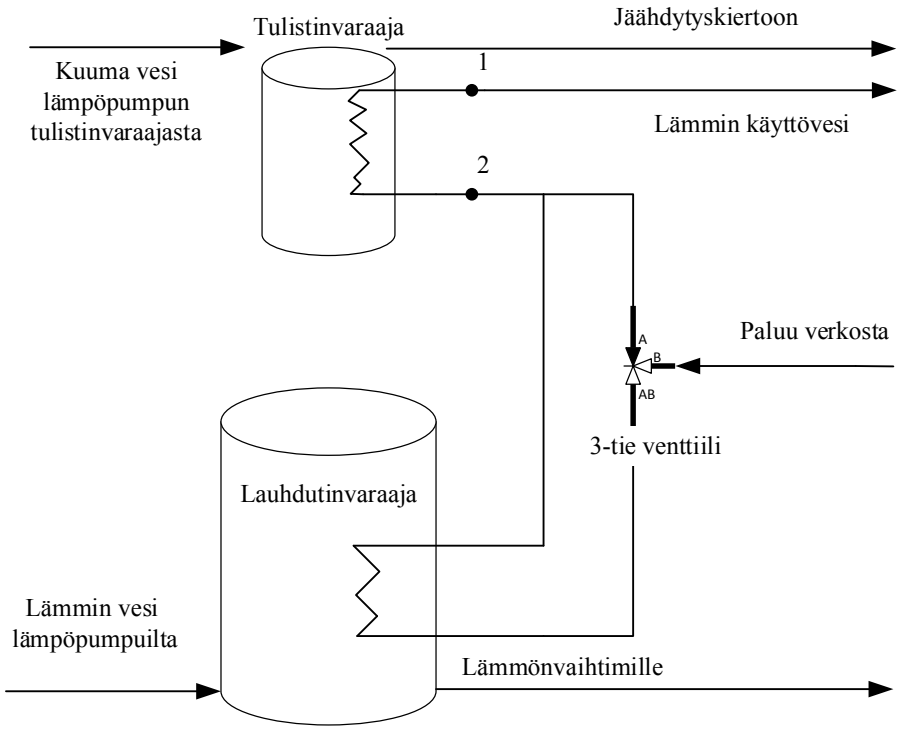
Kuvasta 12 huomataan että lämpökertoimen keskiarvoksi saatiin 2,9. Kuvasta 12 huomataan, että joulukuun 2013 tehokerroin jää huomattavan pieneksi. Tämä on seurausta alhaisesta tuotannosta joulukuussa, jolloin prosessista ei saatu lämpöverkkoon riittävästi lämpöenergiaa. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että lämpöenergian tuottaminen on erityisen kallista, kun tuotanto on seisokissa.

Lämpöpumpun energia- ja kustannustehokkaassa käytössä olisi aiheellista miettiä spot- sähkön hyödyntämistä. Toisin sanoen lämpöpumpun käyttöä on mahdollista

ohjata niin, että lämpöenergiaa tuotetaan esimerkiksi lämpöakkuun lämpöpumpulla kun sähkön spot- hinta on edullista. Vastaavasti lämpöenergiaa otetaan akusta, kun sähköenergia on kallista ja lämpöpumppua ei ole taloudellisesti kannattavaa käyttää. Spot- hintaan perustuva ajomalli vaatisi kuitenkin sähkön hinnan jatkuvaa seuraamista ja lämpöakkuinvestointia. Tulevaisuudessa älykkyys tulee lisääntymään energiantuotannossa ja kustannustehokkaassa lämmityksessä tulee seurata alan kehittymistä.

3.2.1 Käyttöveden lämmitys

Tehtaan lämmin käyttövesi tuotetaan lämpöpumpuilla. Käyttövettä esilämmitetään lauhdutinvaraajassa, mikäli verkoston paluulämpötila on pienempi, kuin lauhdutinvaraajan lämpötila. Lopullinen lämpötilan nosto tapahtuu tulistinvaraajalla. Tulistinvaraaja nostaa käyttöveden lämpötilan 60 °C. Lisävesi järjestelmään otetaan kaupungin vesijohtoverkostosta. Kuvassa 13 on esitetty lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmä.



Kuva 13. Lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmä Hyvinkään lasivillatehtaalla.

Käyttöveden lämmitykseen käytettyä energiamäärää ei seurata erillisellä mittauksella, vaan ainoa mittaus on lämpöpumpun tuottama lämpöenergia tulistinvaraajaan. Lämpimän käyttöveden kulutusta on mahdollista seurata asentamalla energiamittaus kuvan 13 pisteisiin 1 ja 2 tai vaihtoehtoisesti mitata massavirtaa sekä lämpötilaa pisteistä 1 ja 2. Yhtälön 2 mukaisesti:

$$E = m_{kv} c_p (T_1 - T_{vesijohtoverkko}) \qquad (2)$$

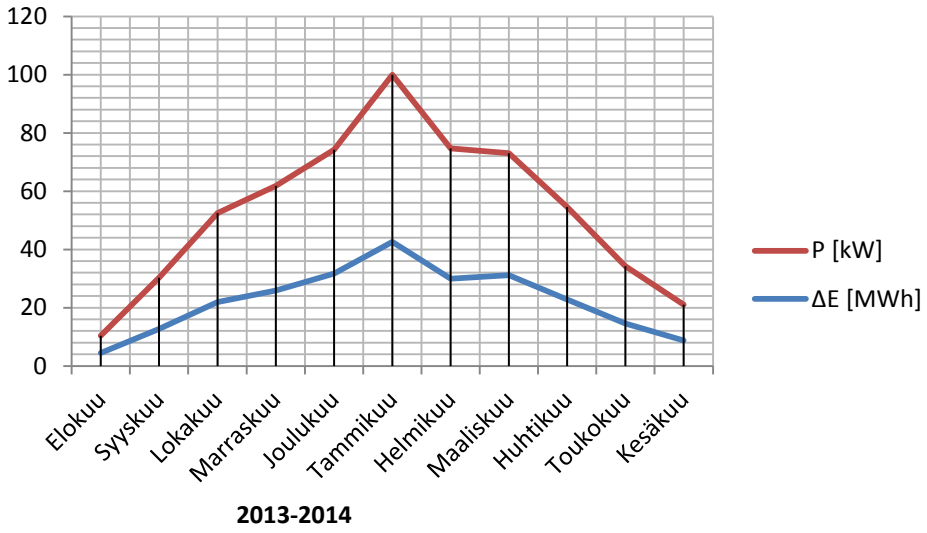
missä

E	käyttöveden energiankulutus	[J]
m_{kv}	käytetty käyttövesi	[kg]

Lämpimän käyttöveden energiankäytön seuranta voidaan ottaa jatkuvaan seurantaan, jolloin kulutuksesta saataisiin jatkuvaa tietoa ja energiankäyttöä pystyttäisiin vähentämään systemaattisesti pitkällä aikavälillä, kun kulutuksesta on kerättyä dataa.

3.3 Konttorin kaukolämmitys

Hyvinkään tehtaan vieressä oleva Saint-Gobain Isoverin konttorirakennus lämpenee kaukolämmöllä. Kaukolämmönvaihtimen tekninen käyttöikä on 20 – 30 vuotta. Kuvassa 14 on esitetty kaukolämmön kulutus ja keskimääräinen teho vuosilta 2013-2014.



Kuva 14. Kaukolämmön kulutus *E* ja teho *P* keskuskonttorilla vuosina 2013-2014

Kuvasta 14 huomataan että kaukolämpöä käytetään myös kesällä rakennuksen lämmittämiseen ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Yhteensä kesäkuukausina, kesäkuu, heinäkuu ja elokuu käytettiin kaukolämpöenergiaa 25 MW. Sulkemalla kesäsulkuventtiili kesän ajaksi on mahdollista saavuttaa energiansäästöä konttorilla. Kuvassa 15 on esitetty kesäsulkuventtiilin löytyminen PI-kaaviosta ja yleiskuva lämmönjakohuoneesta.

Kuva 15. Yleiskuva keskuskonttorin lämmönjakohuoneesta ja lämmönjakohuoneen PI-kaavio ja kesäsulkuventtiili.

Sulkemalla patteriverkoston kesäsulkuventtiili vältetään rakennuksen turhaa kesäaikaista lämmittämistä. Venttiilin sulkeminen estää kaukolämpöveden virtauksen siirtimen läpi ja lämmön siirtymisen siirtimen toisiopuolelle ja edelleen patteri-

verkostoon. Patteriverkoston pumppu voidaan pitää käynnissä koko kesän, jolloin pumpun ja verkoston käyttöikä ei laske.

3.4 Ilmanvaihtojärjestelmät

Teollisuusilmastoinnin olennaisin ero muiden tilojen ilmastointiin on se, että teollisuus-ilmastoinnissa mitoittavat tekijät ovat muut, kuin ihmisperäiset tai rakennusten rakenteiden ja pintamateriaalien aiheuttamat päästöt. Tärkeimpiä mitoittavia tekijöitä ovat prosessin ominaisuudet. Niiden johdosta tekninen vaatimus on usein huomattavasti suurempi, kuin tavanomaisten tilojen ilmanvaihtotekniikassa. (Tähti et al 2002, 6.)

Teollisuusilmastoinnin tärkeys ilmenee seuraavilla tavoilla:

- Sisäilman laadulla on vaikutus ihmisten terveyteen. Sisäilman epäpuhtauksien määrän ollessa liian suuri altistus vaikuttaa mm. allergisten sairauksien ja astman kehittymiseen
- Työtyytyväisyys ja työteho paranevat, mikäli termisesti ja laadullisesti korkean sisäilman taso on riittävä. Ihmisten tyytyväisyys paranee ja sairauspoissaolot vähenevät. Työtehoon vaikuttamisesta ei ole tieteellisesti varmennettua tietoa.
- Käyttökustannukset pysyvät optimaalisina, mikäli ilmastointijärjestelmä on oikein toteutettu. Rakenteille tulevat vauriot sekä tuotannon laatuun vaikuttaminen.
- Ilmavirtauksien pienentäminen vaikuttavaa investointeihin, tilakustannuksiin sekä vedon muodostumiseen.
- Kaikkien laskelmien pitää perustua elinkaarikustannuksiin. Elinkaarikustannusten mukaisesti laskettu edullisin vaihtoehto johtaa parhaisiin laitteisiin, koska elinkaariajattelu huomioi pitkällä aikavälillä korkealaatuisimmat tuotteet ja järjestelmät.
- Vertailu tulee tehdä käyttäen hyväksyttäviä reunaehtoja eikä esimerkiksi vertaamalla kahta ilmastointilaitosta, joista vain toisessa saadaan hyväksyttävä sisäilmasto. (Tähti et al 2002,6.)

Hyvinkään tehtaan tuotanto- ja konttoritilojen ilmanvaihto sekä lämmitys on toteutettu muutamia uudistuksia lukuun ottamatta 1980- luvun alkupuolen tekniikalla. Tästä johtuen selvää on että tehtaan ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmään voidaan tehdä ilmanlaatua parantavia ja energiatehokkaita investointeja. Hyvinkään lasivillatehtaalta löytyy CAD- kuvat, joiden päivittäminen ei kuulu kenenkään vastuualueelle. Uusittaessa ilmanvaihtojärjestelmiä tulisi CAD- kuvat tehdä ajanmukaisiksi myös ilmanvaihtojärjestelmän osalta, jotta järjestelmästä olisi teknisiä dokumentteja. Taulukossa 3 on esitetty osastojen tuloilmakapasiteetti, huippuimureiden määrä, poistoilmakapasiteetti sekä lämmityspatterien lämmitystehot.

Taulukko 3. Hyvinkään lasivillatehtaan osastojen huippuimureiden lukumäärä, tuloilma- kapasiteetti, poistoilmakapasiteetti sekä lämmitysteho.

Tila	Huippuimureiden lukumäärä	Tuloilma-kapasiteetti [m^3/s]	Poistoilma-kapasiteetti [m^3/s]	Lämmitysteho [kW]
Pakkaamo	5	16,5	21,3	1137
Tehdasyhteiset tilat	20	13	15	617
Tuotantolinja	-	16	-	764
Uunihalli	-	147	0	1397
Sideainelaitos	3	4	4	450
Mänkilaitos	1	1	1	87
Vesilaitos	-	22	3	571
yhteensä	**29**	**220**	**41**	**5023**

3.4.1 Tuloilmanvaihtojärjestelmä, teollisuusilmastointi

Hyvinkään lasivillatehtaassa tuotantotiloissa, uunihallissa ja vesilaitoksella tilojen lämmitys on toteutettu ilmalämmittimillä. Ilmalämmittimen komponentteja ovat puhallin, moottori, sulkupelti sekä lämmönvaihdin. Lämmönlähteenä ilmalämmittimissä on vesi. Ilmanlämmittimet ovat kytketty Siemens Visonik- ohjelmistoon. Visonik ohjelmistoon tulevia mittausparametrejä ovat muun muassa lämpötilamittaus, paine-eromittaus, sulkupellin asentotieto sekä puhaltimen sähkömoottorin käyntitieto. Kuvassa 4 oikealla on esitetty yksi uunihallin lämpöpattereista. Kuten kuvasta näkyy, lämpöpatterit ovat alkuperäisiä ja niiden toimintaolosuhteet ovat vaativat. Osa lämpöpattereista on tullut tehdashenkilökunnan mukaan elinkaarensa päähän. Tämä on todennettavissa käyttäjiltä saaduilla kokemuksilla sekä häi-

riönä näkymisenä Siemens Visonik- ohjelmistossa. Häiriöt eivät poistu häiriöt tietokannasta kuittaamisesta huolimatta.

Hyvinkään lasivillatehtaalla tuloilmanvaihto toimii niin, että tuloilmapuhaltimilla lämmitettyä ilmaa ajetaan lasivillatehtaaseen. Pakkaamon ja uunihallin ovien pitäminen auki etenkin talvella vaikuttaa lämmitystarpeeseen. Tarpeetonta ovien avaamista tulee välttää. Ovien avautumisesta aiheutuva energiahäviö on selvitettävissä, ja tietoa on mahdollista hyödyntää toiminnan kehittämisessä.

3.4.2 Poistoilmanvaihtojärjestelmä

Poistoilmanvaihtojärjestelmän tehtävänä on kuljettaa kosteus ja epäpuhtaudet ulos. Poistoilmanvaihtojärjestelmä perustuu alipaineeseen, jonka poistoilmanvaihtolaitteet saavat aikaan. Imukaapin johdosta poistoilmanmäärät ovat ajoittain liiankin suuret imukaapin aiheuttaman poistoilman takia. Hyvinkään lasivillatehtaalla poistoilmanvaihtojärjestelmä on toteutettu pääasiassa huippuimureilla. Eri tilojen poistoilmanvaihtomäärät ovat esitetty taulukossa 3. Taulukosta huomataan että suurimmat poistoilmakapasiteetit ovat pakkaamossa sekä tehdasyhteisissä tiloissa. Kuvassa 16 on esitetty havainnollistava kuva pölyn kertymisestä poistoilmankanavien ritilöihin.

Kuva 16. Pölyn kertyminen pakkaamon poistoilmakanavan ritilöihin.

Kuvasta 16 nähdään että poistoilmakanavan ritilät keräävät runsaasti pölyä. Pöly tukkii kanavan ja lisää kanavan painehäviötä. Kanavat tulisi puhdistaa säännöllisesti laitteiston toiminnan ja energiatehokkuuden takaamiseksi.

3.4.3 Paikallisilmastointijärjestelmät

Paikallisilmastoinnin osajärjestelmiä ovat muun muassa paikallispoistojärjestelmät sekä ilmaverhot eli ilman virtausten hallinta suihkujen avulla. Esimerkiksi tuloilman poisjättäminen voi aikaansaada koko tilaan ongelmallisia, hallitsemattomia virtauksia, jotka voivat haitata ihmisiä tai prosessia. Paikallispoistojärjestelmiä käytetään ilmatasapainon hallinnassa. (Tähti et al 2002,17.)

Osassa Hyvinkään lasivillatehtaan lämmitetyssä tiloissa on käytössä oviverhopuhaltimet. Oviverhopuhaltimilla tasoitetaan ovien käytöstä syntyvän voimakkaan virtauksen tasoittamista. Henkilökunta tuntee oven avaamisen vetona, sekä kylmä ilma voi vaikuttaa negatiivisesti lämpötilaherkkiin prosesseihin. Myös automatisoidut ilmastointi- ja lämmityslaitteet saattavat käyttäytyä yllättävästi sisäilman mittauksien nopeiden muutosten yhteydessä. Kuvassa 17 on esitetty pakkaamon uuden osan ulko-oven oviverho.

Kuva 17. Pakkaamon uuden osan ulko-oven ilmaverho.

3.4.4 Turvallisuusilmastointi

Turvallisuusilmastoinnin järjestelmiä voivat olla esimerkiksi savunpoistojärjestelmät. Usein ilmastointilaitoksissa käytetään eri turvallisuustason laitteita myös räjähdysvaaran vuoksi. Esimerkiksi puhaltimet ja erityisesti eri sähkölaitteet voivat olla turvallisuuden suhteen eri luokissa. Räjähdysvaarallisten tilojen räjähdys-

suojatut (EXE- luokka) komponentit voivat olla hintaluokaltaan jopa kolminkertaisia tavanomaisiin laitteisiin verrattuna. (Tähti et al, 2002, 13.)

Lasivillatehtaalla on lisäksi turvallisuusilmastoinnin piiriin kuuluvia savunpoistoluukkuja. Yhteenveto savunpoistoluukuista on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Yhteenveto lasivillatehtaan turvallisuusilmastoinnista.

Tila	Savunpoisto- luukkujen lukumäärä	Pinta-ala [m^2]
Uunihalli	-	6980
Tehdasyhteiset tilat	3	900
Tuotantotilat	10	4500
Pakkaamo	10	3628
Pakkaamo, uusi tila	8	1390
Tuotevarasto (kylmä)	64	11790

Useat vakuutusten tarjoajat edellyttävät trukkien latauspaikoilta, että ne ovat paikassa, jossa on hyvä tuuletus. Käytännössä tämä tarkoittaa erillistä poistoilmakanavaa. Hyvinkään lasivillatehtaalla pakkaamossa on sähkötrukkien latauspiste. Turvallisuusilmastoinnissa ei ole havaittu puutteita tai uusimisen tarvetta, eikä sen energiatehokkuutta voi oleellisesti parantaa.

3.4.5 **Pölynpoisto**

Hyvinkään lasivillatehtaalla pakkaamossa toteutettiin vuonna 2013-2014 kiertoilmapuhdistuksen arviointi. Pakkaamoalueelle asennettiin toukokuussa 2005 kolme kappaletta Zehnder flimmer E1200- kiertoilmapuhdistinta. Järjestelmän toimivuutta arvioitiin arviointikeskusteluna lasivillatehtaan toimihenkilöiden kanssa, hiukkasmittauksilla sekä aisteilla perustuvalla arvioinnilla. TSI DustTrak 8520 ja 8530- mittalaitteiden mittausten perusteella ennen kiertoilmanpuhdistimien asennusta pölytasoksi PM10- partikkelikoon pitoisuuden keskiarvoksi mitattiin 49 $\mu g/m^3$, piikkiarvoksi mitattiin 1 900 $\mu g/m^3$. Asennuksen ja neljän kuukauden toiminnan jälkeen pölypitoisuudeksi mitattiin 21 $\mu g/m^3$ ja huippuarvoksi 680 $\mu g/m^3$.

Kuvassa 18 on esitetty Zehnder flimmer E1200-kiertoilmapuhdistuslaite vasemmalla ja oikealla tehtaan pölynpoistojärjestelmän puhaltimet

Kuva 18. Zehnder flimmer 1200- kiertoilmapuhdistuslaite asennettuna pakkaamon kattoon vasemmalla ja oikealla tehtaan pölynpoistojärjestelmän puhaltimet.

WHO on määrittänyt huonon ulkoilman raja-arvoksi 50 µg/m^3. Karkeat hiukkaset eli PM 2.5-10 µm, on todettu yhteys hengitystiesairauksien pahenemiseen ja sydänsairauksiin, joskin pitkäaikaistutkimuksissa yhteyttä ei havaittu. EU:n kaupungeissa asuvan väestön altistumisarvioksi PM_{10}- hiukkasille keskiarvona 50 µg/m^3 on esitetty 18-21 % ja keskiarvona 20 µg/m^3 80-81% väestöstä. (Soukka 2014.)

Käyttökokemusten perusteella kiertoilmanpuhdistuslaitteilla ei katsottu saavutettavan havaittavaa hyötyä ilmanlaadun parannuksessa. Rakentamismääräyskokoelman D2 mukaan sisäilman epäpuhtauksien raja-arvo sisäilmaston suunnitteluun PM_{10}- hiukkasilla on 50 µg/m^3. Jos katsotaan hiukkaspitoisuus keskiarvoa ennen kiertoilmanpuhdistusjärjestelmän asentamista, voidaan sanoa suunnitteluarvon alittuvan. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012d,6.)

Lasivillatehtaalla on käytössä uunin ja pakkaamon puoleinen pölynpoistojärjestelmä. Kuvassa 18 vasemmalla on esitetty pölynpoistojärjestelmän puhaltimet. Pölynpoistojärjestelmässä on kaksi puhallin- ja suodatinyksikköä. Molemmat puhaltimet kykenevät tuottamaan suodattimien ollessa puhtaat 20 m/s virtausnopeuden. Pöly johdetaan takaisin imukaappiin, josta se ajetaan prosessiin. Säiliöiden tukkeutuessa ja suodattimia puhdistettaessa kertynyttä lasivillapölyä ei hyödynnetä prosessissa. Operaattoreita on ohjeistettu sulkemaan ylimääräisiä pisteitä, mikäli siellä ei tarvita pölynpoistoa. Tällöin kapasiteettia voidaan hyödyntää tehokkaammin.

Pölynpoistojärjestelmä vaikuttaa myös uunihallin ja pakkaamon ilmatasapainoon lisäämällä poistoilmavirtaa. Pölynpoistojärjestelmän korvausilma johdetaan kypsytysuunihallitilaan pyöreällä aaltopeltikanavalla. Ilman tuontia voisi tarkastella, jaetaanko se kohtaan, jossa lämpöenergiaa tarvittaisiin eniten.

3.5 Lasivillatehtaan jäähdytystarve

Hyvinkään tehtaalla jäähdytystä käytetään toimistotilojen jäähdyttämiseen, ruokalan tilojen jäähdytykseen sekä sähkö-, prosessi–, ja laitetilojen jäähdytykseen. Jäähdytyslaitteita on noin 80 kappaletta Jäähdytyslaitteet ovat kokoluokaltaan 1,5 kW – 10 kW. Lisäksi lähettämön katolla on yksi 31,7 kW tehoinen jäähdytyslaite. Kokonaisjäähdytystehon tarve uunihallissa, linjalla ja lähettämöllä on luokkaa 390 kW. EER eli kylmäkerroin on hyvä, mikäli se ylittää arvon 3,5, koska se edustaa laitteistojen keskitasoa. Tehtaalla voidaan arvioida silmämääräisen kuntotarkastuksen perusteella jäähdytyslaitteiden EER- luvuksi 3 laitteiston iän ja käyttökunnon perusteella. Tämä tarkoittaa sitä että sähkötehoksi saadaan noin 130 kW. Kuvassa 19 on esitetty jäähdytyskenno tehtaan katolla ja laitteiston huolto

Kuva 19. Havainnollistava kuva jäähdytyskennojen pintaan kertyneestä liasta vasemmalla. Oikealla jäähdytyskennon puhdistus puhdistusaineella, jolla saadaan lämmönsiirtopinnoille kertynyt lika poistettua.

Jäähdytyslaitteiden jäähdytyskennot tulee puhdistaa säännöllisesti jäähdytyskauden alkaessa, jotta laitteistojen hyötysuhde pysyy parhaalla mahdollisella tasolla.

4 UUNIHALLIN JA VESILAITOKSEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Uunihallissa tapahtuu lasin sulatus sekä lasivillan kuidutus. Uunihallin suurin prosessi- ilmanvaihtojärjestelmä on kuidutuskoneen imukaappi. Jotta uunihallin lämmitysjärjestelmää voidaan lähteä mitoittamaan, on merkityksellistä saada pohjatietoja rakenteiden U-arvosta ja tuotantoprosessin lämpökuormista. U- arvolla tarkoitetaan lämmönläpäisykerrointa. Se ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan kun lämpötila rakennuksen eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen. (RakMk C3 2012.) Termodynaamisella analyysilla voidaan selvittää rakennukseen tuotu- ja sieltä poistettu energiamäärä. Selvityksen avulla voidaan arvioida ja mitoittaa lämmityksen tarve.

4.1 Uunihalli

Sekoittavalla ilmanvaihdolla tarkoitetaan järjestelmää, jossa tilan tuloilma sekoitetaan tilan ilmaan tehokkaasti. Tuloilma saadaan sekoittumaan muuhun ilmaan voimakkaiden suihkujen avulla. Tästä syystä tuloilmalaitteiden virtausnopeudet ovat sekoittavassa ilmanvaihdossa muita järjestelmiä korkeampia. Suuret nopeudet voivat aiheuttaa vedon tunnetta, jota uunihallissa usein esiintyy. (Tähti et al 2002b, 47.)

Uunihallin ilmanvaihto on todennäköisesti suunniteltu toteuttamaan sekoittavan ilmanvaihdon toimintaperiaatetta, koska lämmityspatterin jälkeisillä tuloilmapuhaltimilla talvella lämmitetty tuloilma puhalletaan uunihallin alaosiin. Kesällä uunihallin lämpimään ilmaan puhalletaan viileämpää ulkoilmaa. Sekoitusilmanvaihto on herkkä häiriötekijöille. Uunihallissa häiriötekijöitä on imukaapin aiheuttama poistoilmanvirtaus sekä lukuisat vuotoilmankohdat uunihallin seinissä. Myös itse lasiuuni sekä useat kohdepoistot sekoittavat uunihallin ilmavirtaus- ja lämpötilaprofiilia. (Tähti et al 2002b, 47.)

Sekoittavan ilmanvaihdon tehottomuus voidaan osoittaa seuraavin perustein:

- Ilmanvaihto tapahtuu väärässä paikassa, ylhäällä katon rajassa kaukana lämpökuormista.
- Ilmanvaihto heikkenee, kun ylöspäin suuntautuvat konvektiovirtaukset törmäävät alaspäin kulkeutuvaan tuloilmaan.
- Koko huonetilavuus ilmastoidaan, jopa uunihallin katonraja.

Kuvassa 20 on esitetty yksi uunihallin aksiaalipuhaltimista. Kuvan aksiaalipuhallin on suojattu muovipeitteellä, jotta ulkoa tuleva kylmä ilma ei jäädyttäisi mänkikuljettimia.

Kuva 20. Yksi uunihallin kuudesta aksiaalipuhaltimesta katossa peitettynä muovipeitteellä.

Uunihallissa on jouduttu käyttämään 2010- luvulla öljyllä toimivia lisälämmittimiä tilojen lämmittämiseen huippupakkasilla yhteensä 140 kW teholla. Lisälämmittimiä on tarvittu, koska imukaapin ilman tilavuusvirta on enimmillään 100 m^3/s kaikkien linkojen ollessa käytössä. Korvausilmaa imukaappiin tulee rakenteiden läpi, pakkaamosta ja erillisistä kanavista. Imukaapin vaatimalla korvausilmalla ei ole esilämmitystä, joten se jäähdyttää sisätiloja tullessaan uunihalliin. Talvella sään ollessa kylmimmillään, saattaa tuloilman lämpötila olla jopa – 30 °C astetta. (Laakso 2014a.)

Imukaappi aiheuttaa uunihallissa ilman kerrostumista ja paine-eroja. Tällä hetkellä uunihallin yläosassa on neljä kappaletta aksiaalipuhaltimia nimellisteholtaan 11 kW ja mitoitustilavuusvirroiltaan 27 m^3/s, joita voidaan käyttää tulo- tai poistoilmanpuhaltimina. Aksiaalipuhaltimia ohjataan uunivalvomosta. Valvomo-

operaattorit ajavat puhaltimia omien tottumustensa perusteella. Alla on esitetty puhaltimien ajosuunnan vaikutus uunihallin ilman kerrostumiseen.

- Lämpimän ilman puhaltaminen uunihallista ulkoilmaan

Uunihalliin varastoitunutta lämpöä puhalletaan ilman lämmöntalteenottoa suoraan ulkoilmaan. Uunihallin korvausilman tarve kasvaa, uunihallin alipaine kasvaa sekä kylmän korvausilman määrä rakenteiden läpi ja pakkaamon puolelta kasvaa. Tätä menetelmää käytetään yleisesti lämmityskauden ulkopuolella.

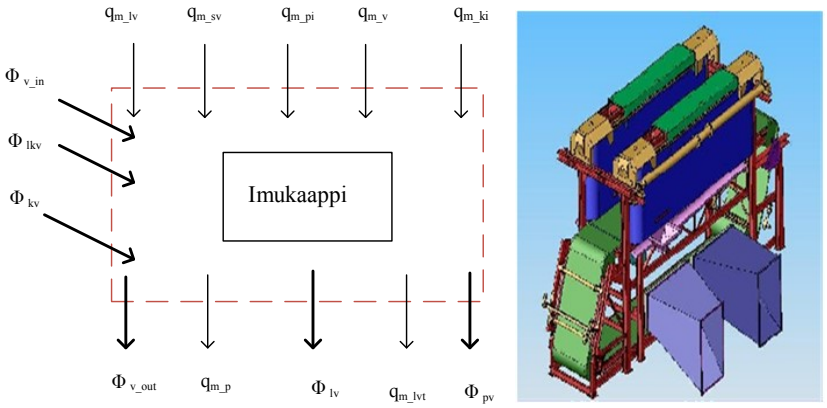
- Kylmän ilman puhaltaminen ulkoilmasta uunihalliin

Tässä vaihtoehdossa kylmää ilmaa sekoitetaan uunihallin yläosassa olevaan lämpimään kerrostuneeseen ilmaan. Uunihallin yläosaan pakkautuneen lämpimän ilman lämpötila laskee ja sekoittuu uunihallin alempien ilman lämpötilakerroksien kanssa. Tällä menetelmällä uunihalliin otettavaa korvausilmaa saadaan esilämmitettyä. Menetelmän ongelmana on huono sekoittuminen, josta aiheutuu ongelmia prosessilaitteille, koska kylmä ilma jäädyttää prosessilaitteita. Prosessilaitteista erityisesti lasikuljetin jäätyy herkästi. Tämän takia 1 puhallin on talvisin pois käytöstä. Puhaltimen käyttöönottamiseksi tuulee miettiä ilmanjakotapaa, jotta jäätymiseltä vältyttäisiin. Tätä menetelmää käytetään erityisesti lämmityskaudella.

4.1.1 Imukaappi

Imukaappi on keskeinen prosessilaite lasivillan valmistuksessa. Se on lasivillatehtaan suurin prosessi-ilmanvaihtojärjestelmä, jossa ilma imetään jäykistä teräslamelleista koostuvan viiran ja sen päällä kulkevan kuidutetun lasimaton läpi. Imukaapin vaatima alipaine tuotetaan taajuusmuuttajaohjatuilla puhaltimilla. Puhaltimista kaksi kappaletta on nimellisteholtaan 630 kW ja kaksi 800 kW. Puhaltimet sijaitsevat vesilaitoksen yläkerrassa. Imukaapissa on myös oma viiran kuivauspuhallin. Imukaapin poistoilma sisältää sideaineita ja lasikuitua, mistä johtuen se on voimakkaasti likaavaa. Likaavuudesta johtuen lämmöntalteenotto poistoilmavirrasta on haastavaa toteuttaa. Poistopuhaltimien yhteenlaskettu nimellisilmavirta on 189 m^3/s, normaalin tuotannon aikana virtaama on 70 – 90 m^3/s. (Pöyry 2009a, 37.)

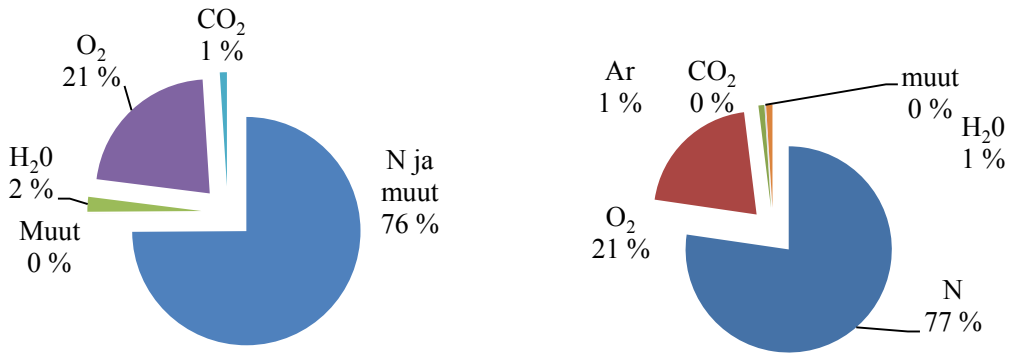
Kuvassa 21 on esitetty imukaapin termodynaaminen tasekuva. Imukaappiin tulevia massavirtoja ovat: lasikuituvirta, sideainevirta, paineilma, vesi ja korvausilma. Lähteviä massavirtoja ovat poistoilmavirta ja lasivillatuote. Lämpöenergiaa imukaappiin tulee lasikuituvirran, korvausilman ja jäähdytysveden mukana. Poistuvia lämpöenergiavirtoja ovat lasivillavirta, jäähdytysvesi ja poistoilmavirta.



Kuva 21. Imukaapin termodynaaminen tasekuva ja imukaappi. (WOLTZ GmbH 2014.)

Tämä taseraja ei huomioi imukaappien imupuhaltimien sähköenergiaa, joka vuonna 2007 oli yhteensä 13 % koko lasivillatehtaan sähköenergiankulutuksesta. Lisäksi tasekuvaan ei ole sisällytetty paineilman valmistukseen vaadittavaa sähköenergiaa eikä veden pumppaamiseen käytettyä sähköenergiaa.

Imukaapista savupiippuun lähtevän savukaasun koostumus ja ilman koostumus on esitetty kuvassa 22. Savukaasun koostumus on saatu vuonna 2012 tehdystä Pöyryn savukaasuanalyysistä. Ilman koostumus on saatu kirjallisuuden perusteella määritettynä yleisesti käytetystä koostumuksesta.



Kuva 22. Vasemmalla imukaapista piippuun johdetun savukaasun koostumus ja oikealla ilman koostumus pitoisuuksina tilavuudesta.

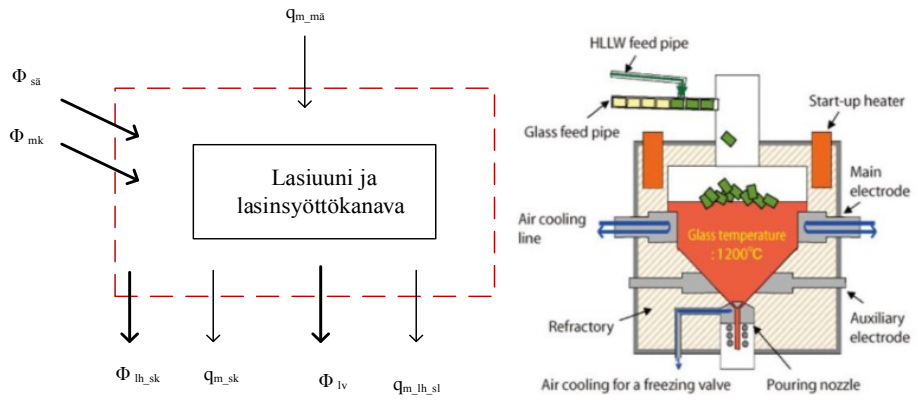
Sarjakaaviosta nähdään, että savupiippuun johdetusta savukaasusta suurin osa (76 %) on imukaapin poistamaa ilmaa. Noin viidennes on happea O_2. Kuvasta huomataan, että veden pitoisuus on suurempi piipuun johdetussa savukaasussa, koska se sisältää imukaapissa jäähdytykseen käytettävää vettä sekä maakaasun palamisessa syntyvää vettä. Tulevissa laskelmissa oletetaan savupiipulla poistuvan kaasun olevan ilmaa.

4.1.2 Lasiuuni

Konduktiivinen kuumennusmenetelmä on yleisesti käytössä teollisessa lasintuotannossa ja lasivillaeristeiden valmistuksessa sulatusvaiheessa. Menetelmä voi olla ainoa tapa tuottaa tarvittava lämpö uunissa tai toimia apulämmönlähteenä. Kiinteä lasi johtaa huonosti sähköä, mutta sulaessaan lasin sähkönjohtavuus kasvaa. Prosessin ylösajossa lasi on ensin sulatettava muilla lämmönlähteillä. Sulalle nestemäiselle lasille tyypillisiä resistiivisyyden arvoja on 1100 °C lämpötilassa 1,2 – 3 Ωcm. Sula lasi toimii näin vastuksena elektrodien välissä tuottaen lämpöä Joulen lain mukaisesti. (Desmukh 2005, 421.)

Lasiuuni hyödyntää suoraa vastuskuumennusta. Lasiuunissa käytetään vaihtovirtaa koska vaihtovirta ei johda elektrodien ja lasimassan välisiin kemiallisiin reaktioihin. Konduktiivisen kuumennuksen etuna lasinsulatuksessa on helppo säädettävyys ja päästöttömyys. Myös uunin lämpötila pysyy suhteellisen matalana. Var-

sinaisen kuumennuksen hyötysuhde on hyvä, sillä lähes kaikki sähköenergia voidaan muuntaa uunissa lämmöksi. (Plum 2012, 32.)



Kuva 23. Lasiuunin ja lasinsyöttökanavan termodynaaminen energiatasekuva sekä konduktiiviseen kuumennukseen perustuva lasinsulatusuuni (Shiotsuki 2006.)

Kuvassa 23 on esitetty lasiuunin ja lasinsyöttökanavan energiataseraja vasemmalla. Oikealla on esitetty tyypillisen lasiuunin poikkileikkauskuva. Verrattuna esimerkiksi maakaasulämmitteiseen lasinsulatusuuniin, konduktiivisella kuumennuksella toimivassa lasinsulatusuunissa ei synny niin suuria johtumis-, säteily-liekki-, ja savukaasuhäviöitä.

4.1.3 Prosessilaitteet

Uunihallissa olevia prosessilaitteita ovat kärypesuri, vesikiertopiirin kolme pumppua, kuidutusilman tuotantoon tarvittavat neljä turbokompressoria, muuntaja, välitaajuuslaitteet, liikkuvat seinät, viiran kuivauspuhaltimet, platinakupit, mänginsyöttäjä, uunin jäädytysilmapuhaltimet, kanavan palamisilmapuhaltimet, tulo- ja lähtöpään harjat, uunihallin muuntaja, pölynpoistopuhallin, tiivistevesipumput sekä linkojen moottorit.

Prosessilaitteet ovat mekaanisia ja saavat käyttövoimansa sähköstä. Prosessilaitteiden energiankulutusta tarkkaillaan seurantajärjestelmällä, josta käy ilmi sähköenergiankulutus kuukausittain eniten energiaa kuluttavissa laitteissa.

4.1.4 Vesikierto

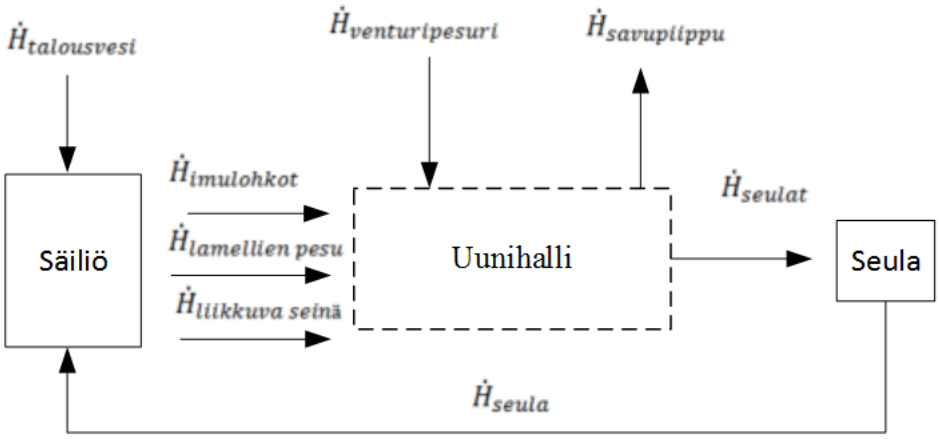
Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Hyvinkään lasivillatehtaalla on käytössä suljettu vesikiertojärjestelmä. Vesikiertojärjestelmä on jaettu kahteen prosessivesikiertoon, jotka ovat pesuvesikierto sekä jäähdytysvesikierto. Prosessivesikiertojen periaatteena on että jätevettä syntyy mahdollisimman vähän ja että uutta korvaavaa vettä tarvitsee ottaa prosessiin vähimmäismäärä. Vesikiertojen tehtävänä ovat:

- Jäähdyttää viiraa, imulohkoja ja imukaapin liikkuvaa seinää
- Syöttää pesuvettä seuloille sekä kypsytysuunin veturipesureille

Järjestelmään kuuluu 21 pumppua. Pumput ovat asennettu rinnankytkentänä neljän, kolmen ja kahden pumpun yksikköihin luotettavuuden parantamiseksi. Niistä käytetään yleensä vain yhtä. Pumput ovat pääasiassa keskipakois- ja aksiaalispumppuja. Uusimpien tietojen mukaan, arvioitaessa pumppausjärjestelmien energiatehokkuutta, tulee tarkastella koko pumppausjärjestelmää kokonaisuutena. Suurin osa pumppausjärjestelmän elinkaarikustannuksista muodostuu käytön energiamaksuista. Tehtaalla toteutettiin Pöyryn raportin toimenpidesuunnitelman pohjalta taajuusmuuttujaohjaus jäähdytysvesipumpuille ja investoinnille saatiin 2,5 vuoden takaisinmaksuaika. (Pöyry Finland Oy 2011,17.)

Diplomityön aikana tehdyssä pumpputarkastelussa havaittiin, että osa pumpuista ei toimi design- alueella. Optimoimalla pumppaus ja tarkastelemalla virtauksia voidaan saavuttaa energiansäästöä. Tässä diplomityössä pumppauksen energiatehokkuutta ei kuitenkaan selvitetty enempää.

Kuvassa 24 on esitetty energiatasetyökalussa käytettävä vesitasekuva. Tasekuvaan on sisällytetty uunihalliin tulevat ja sieltä lähtevät vesivirtaukset.

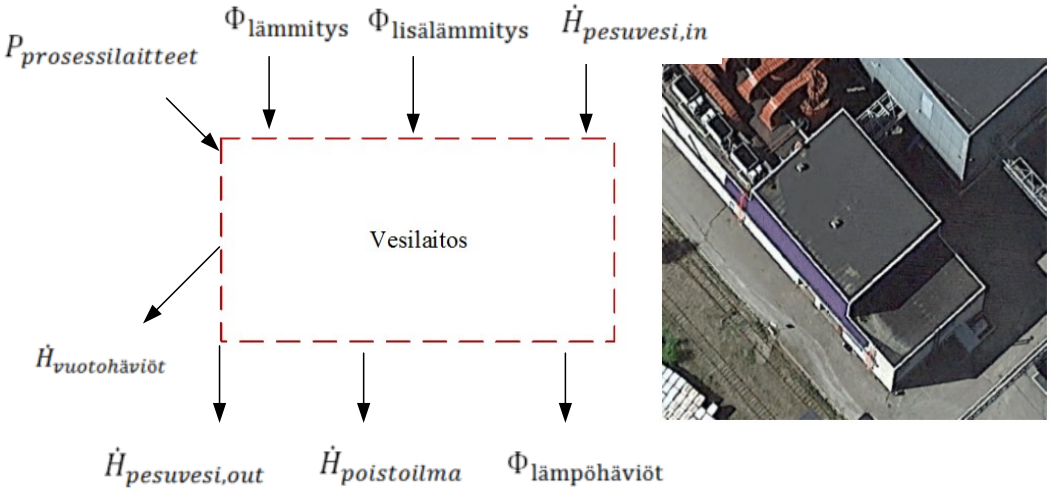


Kuva 24. Uunihallin vesitasekuva.

Uunihalliin tulevia vesivirtauksia ovat imulohkoilta tuleva vesi (430 m^3/h), liikkuvilta seiniltä tuleva vesi (60 m^3/h), lamellien pesusta tuleva vesi (20 m^3/h) ja lasivillauunin venturipesureista tuleva vesi (175 m^3/h). Mitoitusvirtaamat ovat merkitty sulkuihin.

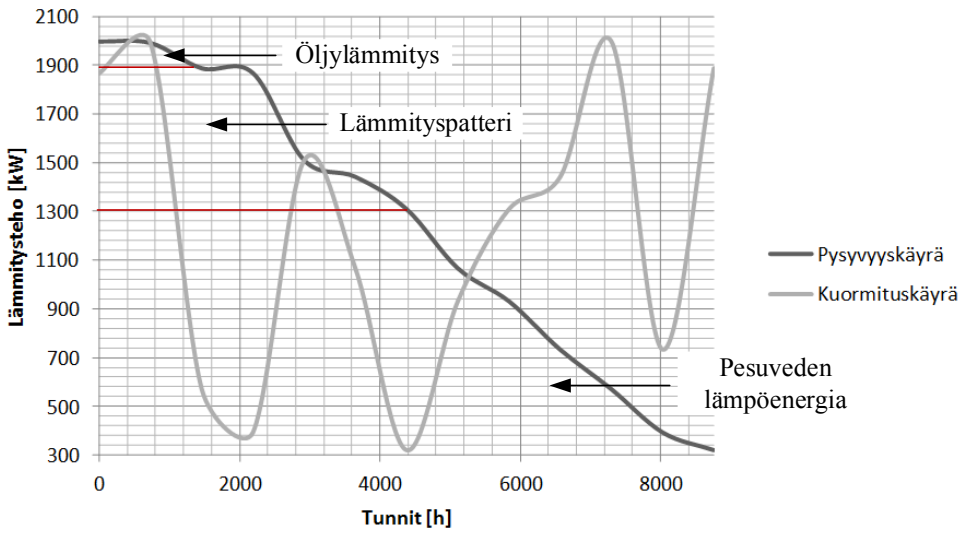
4.2 Vesilaitos

Vesilaitoksella on havaittu vastaavia lämmitysongelmia kuin uunihallissa. Lämmin ilma kerrostuu vesilaitoksen yläkertaan ja sieltä se ohjataan huippuimureilla ulkoilmaan. Lasivillatehtaan ollessa seisokissa esimerkiksi huoltoa vaativaan aikaan, vesilaitoksella esiintyy prosessilaitteiden jäätymistä etenkin alakerroksissa. Vesilaitoksen pohjan pinta-ala on 600 m^2. Taulukosta 2 nähtiin, että vesilaitoksen lämmitysteho on noin 500 kW. Tuotannon ollessa pysähdyksissä vesilaitoksella on jouduttu turvautumaan vuonna 2013 talvella 70 kW öljykäyttöiseen lisälämmittimeen. Pesuvesikierron ollessa päällä pesuveden mukana tulee lämpöenergiaa uunihalliin. Vastaavasti lämpöenergiaa poistuu uunihallista pesuveden mukana, kun pesuvesi johdetaan uudestaan käyttöön. Prosessilaitteiden ollessa käynnissä ne luovuttavat lämpöenergiaa uunihalliin. Lämpöenergiaa poistuu uunihallista lämpöhäviöinä ja vuotohäviöinä. Kuvassa 25 on esitetty vesilaitoksen energiatasekuva.



Kuva 25. Vesilaitoksen energiatasekuva.

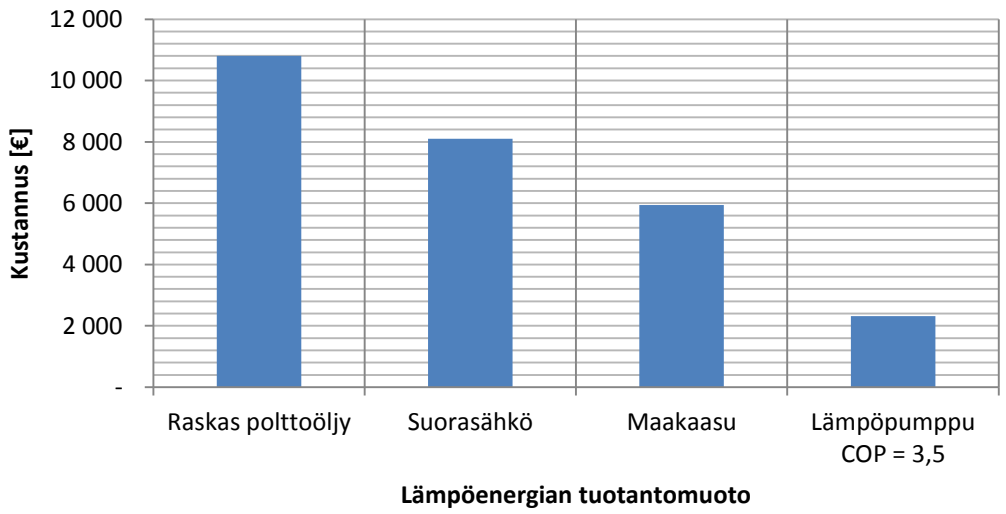
Energiataseen pohjalta voidaan selvittää millä lämpöenergiamuodolla on teknista-loudellisessa mielessä järkevää lämmittää vesilaitosta. Vuoden 2013 tietojen perusteella saadaan kuvan 26 mukainen lämpöenergian pysyvyys- ja kuormituskäyrä vesilaitoksella käytetylle lämpöenergialle.



Kuva 26. Vesilaitoksen lämpöenergian pysyvyyskäyrä ja kuormituskäyrä.

Kuvasta 26 nähdään, että pääosa tilan lämpöenergiasta saadaan pesuveden mukana tulevasta lämpöenergiasta. Lämmityspatterien lämmitysenergia on toiseksi

suurin energianlähde. Eron pesuveden ja lämmityspatterien pysyvyydessä tuo se että lämmityspattereita käytetään ainoastaan kuukausina, jolloin ulkolämpötila on pakkasen puolella, kun taas pesuveden mukana siirtyy lämpöenergiaa jatkuvasti tuotannon ollessa käynnissä. Lämmityspatterien huipputeho ei riitä, kun lasivillantuotantoa ei ole ja vuodenaika vaatii tilojen lämmitystä. Tällöin jouduttiin turvautumaan öljylämmitykseen tilojen pitämisenä lämpimänä. Öljylämmityksellä tuotettiin arviolta 135 MWh lämpöenergiaa. Kuvassa 27 on esitetty 135 MWh lämpöenergian tuottamisen kustannukset keskimääräisillä energianhinnoilla vuotena 2013.



Kuva 27. 135 MWh energiamäärän tuottamisen kustannukset eri lämmitysmenetelmillä.

Kuvasta 27 nähdään, että tilan lämmittäminen on huomattavasti kalliimpaa raskaalla polttoöljyllä, kuin lämpöpumpun tuottamalla lämpöenergialla. Investointilaskelmissa tulee huomioida investointikustannukset ja mahdolliset lämmityspatterien asentamisesta aiheutuvat kustannukset.

5 ENERGIATASETYÖKALU

Energiansäästö tarjoaa yritykselle mahdollisuuden kustannussäästöihin, tuottavuuden parantamiseen sekä ympäristötehokkuuden nostamiseen. Energian säästön toteuttaminen ei eroa muusta yrityksen normaalista tehokkuuden ja tuottavuuden parantamiseen tähtäävästä toiminnasta. Energian säästön toteuttaminen koostuu nykytila- arvioinnista, toimenpidesuunnitelman laatimisesta, säästötoimien toteutuksesta ja seurannasta. Yksittäisen energiansäästöprojektin jälkeen energiansäästö on liitettävissä osaksi yrityksen jatkuvaa parantamista. (Motiva 2000, 9.)

Lean- ajattelussa pyritään erilaisten yrityksen tuottamattomien toimintojen poistamisen avulla parantamaan asiakastyytyväisyyttä, laatua ja pienentämään toiminnan kustannuksia sekä lyhentämään tuotannon läpimenoaikoja. Energiatehokkuuden parantaminen ja energiansäästö ovat siten keskeinen osa Lean- toimintamallin tavoitteita. Lean filosofia korostaa vallitsevan tilanteen syvällistä ymmärtämistä. Energiatehokkuusasioissa tämä tarkoittaa energiankäytön ymmärtämistä energiatehokkuuden parantamiseksi. (The U.S Enviromental Protection Agency 2014)

Energiatasetyökalun laadinta lähti tarpeesta seurata ja arvioida uunihallin energiankäyttöä. Uunihallin energiankulutus on lasivillatehtaan suurin energiankuluttaja ja se vaikuttaa kiinteästi koko tehtaan energiankulutukseen. Vastaavanlaista energiantasetyökalua ei ole aikaisemmin ollut käytössä Hyvinkään lasivillatehtaassa eikä Forssan lasivillatehtaalla. Energiatasetyökalun määrittämisessä käytetään soveltuvin osin Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjetta D5 rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta sekä termodynaamista taseajattelua. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012b.)

Energiatasetyökalun suunnittelussa lähdettiin liikkeelle avoimen virtaussysteemin energiataseesta. Energia on häviämätön suure, joka voi muuttaa muotoaan ja siirtyä, muttei hävitä tai syntyä tyhjästä. Avoimen virtaussysteemin energiatase voidaan esittää yhtälön 3 mukaisesti. (LUT teknillinen termodynamiikka 2014.)

$$\dot{E}_{sisään} - \dot{E}_{ulos} = \frac{dE}{dt} \qquad (3)$$

missä

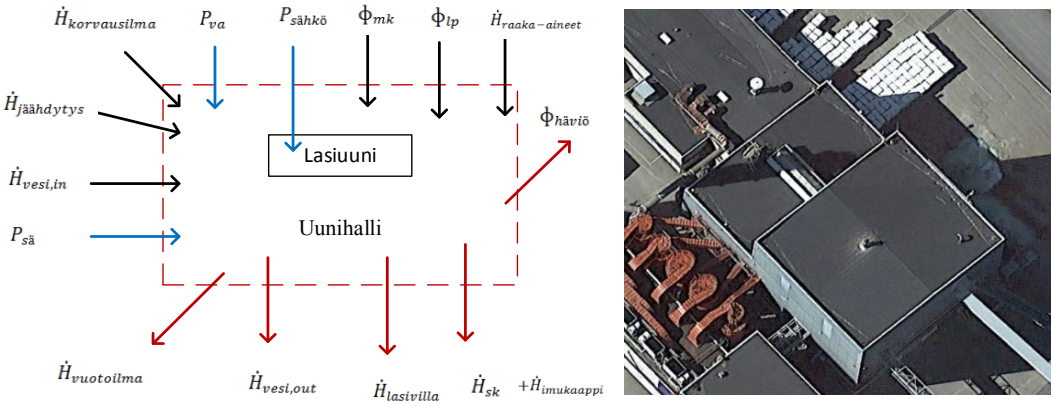
$\dot{E}_{sisään}$ energiavirrat systeemiin

$\dot{E}_{ulos}$ energiavirrat systeemistä ulos

$\frac{dE}{dt}$ systeemin energian muutosnopeus

Energiatase tehtiin kuvan 28 mukaisesti uunihallille. Energiataseeseen merkittiin ainevirtauksiin sitoutuneet energiavirrat, lämpövirrat, mekaanisen energian virrat ja muut energiavirrat kuten sähkö. Tämän jälkeen taseeseen kirjattiin systeemin sisällä olevien aineiden prosessit ja selvitettiin mitkä energiat muuttuvat systeemin sisällä.

Näiden jälkeen kirjoitettiin massatase eli jatkuvuustase ja energiatase. Tässä vaiheessa määriteltiin myös alku- ja reunaehdot. Energiatasetyökalu pyrittiin rakentamaan niin että sen arvoja on helppo muutella jälkikäteen, jonka ansiosta tulevaisuudessa voidaan ajaa erilaisia simulaatioita prosessin muuttuessa. Energiatasetyökalusta saatuja tuloksia voidaan käyttää myös CO_2- taseen laskentaan sekä kustannuslaskentaan. Vastaavanlaisia työkaluja on käytössä muun muassa energiantuotantolaitoksilla sekä paperi- ja selluteollisuudessa. Kuvassa 28 on esitetty uunihallin energiatase energiavirtojen suhteen.



Kuva 28. Uunihallin energiavirtatase ja uunihalli kuvattuna ylhäältäpäin oikealla. (Google Earth 2014b, mukaillen.)

Kuvassa 28 mustalla värillä on merkitty energiavirtojen lähteet ja punaisella poistuvat energiavirrat. Sähköenergiavirrat on merkitty kuvaan sinisellä. Uunihalliin tulevia energiavirtoja ovat lasiuuniin tuotu sähköenergia, maakaasun palamisessa vapautuva energia, lämmityspattereilla tuotu lämpöenergia, valaistuksen tuottama lämpöenergia, prosessilaitteiden tuottama lämpöenergia, korvausilman mukana tuleva energia, veden mukana tuleva energia ja raaka-aineiden mukana tuleva energia Uunihallista poistuvia energioita ovat imukaapin poistama energia, veden mukana poistuva energia, lasivillan mukana poistuva energia sekä lämpöhäviöt. Lämpöhäviöihin sisältyvät Robertson- kanavahäviö, säleikköhäviö, ulkoseinä-, vaippa- ja kattohäviö sekä vuotohäviöt.

Uunihallin ollessa alipaineinen, toisin sanoen imukaapin ollessa käytössä ilma pyrkii kulkemaan ulkoilmasta uunihalliin ja esimerkiksi tuotantoseisokkitilanteissa ylipaineella oltaessa uunihallista ulkoilmaan.

5.1 Poistuvat energiamäärät

Imukaapista poistuva energiavirta on suurin yksittäinen lämpöhäviön lähde. Se koostuu savukaasuhäviöstä ja imuilmahäviöstä. Muita häviöitä uunihallissa ovat jäähdytysvesihäviö, ulkoseinähäviöt, alapohjahäviö, kattohäviö, säleikköhäviö ja Robertson- kanavahäviö. Kylmäsiltahäviöitä ei oteta huomioon laskennan yksinkertaistamiseksi.

Lasiuunissa käytetään maakaasua uunin ylösajotilanteissa sekä kuidutuksessa. Savukaasun mukana uunihallista poistuu energiaa, lämpimän savukaasun virratessa savukaasukanavaan tiheyserosta johtuen. Savukaasuhäviö voidaan määrittää likimääräisesti yhtälöllä 4, missä polttoaineena käytetään maakaasua. Palaminen voidaan olettaa ideaaliseksi, koska yli-ilma otetaan huomioon imukaapin poistovirtauksessa.

$$\dot{H}_{sk} = \left[\left(\mu_{sk,teor} c_{sk} + (\lambda - 1)\mu_{i,teor} c_i\right) m_p \left(t_{sk} - t_{tef}\right)\right] \qquad (4)$$

missä

$\dot{H}_{sk}$ savukaasuhäviö [kWh]

$\mu_{sk,teor}$	stökiömetrisessä poltossa syntyvä savukaasuvirta / poltettu polttoaine	[kg_{sk}/kg_{pa}]
c_{sk}	savukaasun ominaislämpö	[kJ/kg]
λ	ilmakerroin	[-]
m_p	polttoainevirta	[kg/s]
$\mu_{i,teor}$	stökiömetrisessä poltossa tarvittava ilmavirta / poltettu polttoaine	[kg_i/kg_{pa}]
m_p	polttoainevirta	[kg/s]
t_{tef}	referenssilämpötila	[K]

Kappaleessa 4.1.1 käsiteltiin imukaapin termodynaaminen tasekuva. Energiatasetyökalussa tilannetta on yksinkertaistettu niin, että imukaapin aiheuttama häviö voidaan määrittää yhtälöllä 5, kun tunnetaan poistuvan ilman määrä sekä poistuvan ilman keskimääräinen lämpötila ja referenssilämpötila.

$$\dot{H}_{imukaappi} = \rho_i c_{pi} q_{v,imukaappi}(t_s - t_u) \qquad (5)$$

Jäähdytysveteen sitoutunut energiavirta voidaan määrittää yhtälöllä 6.

$$\dot{H}_{vesi} = c_{p,v} q_{m,vesi}(t_s - t_v) \qquad (6)$$

missä

$\dot{H}_{vesi}$	jäteveteen sitoutunut lämpöenergia	[kW]
$c_{p,v}$	jäteveden ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg K]
$q_{m,vesi}$	jäteveden massavirta	[kg/s]

Lasivillatuotteeseen sitoutuu valmistusprosessissa energiaa, joka poistuu tuotteen mukana uunihallista. Lämpöenergia on varastoitunut lasivillatuotteeseen termisenä energiana. Sen suuruus voidaan määrittää yhtälöllä 7.

$$\dot{H}_{lasivilla} = c_{ntp} q_m (t_{lasivilla} - t_{uunihalli}) \qquad (7)$$

missä

$\dot{H}_{lasivilla}$	lasivillaan sitoutunut lämpömäärä	[kJ]

c_{ntp}	lasivillan ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg K]
q_m	lasivillan massavirta	[kg/s]
$t_{lasivilla}$	poistuvan lasivillan lämpötila	[K]

Energiatasetyökalussa tulevien ja poistuvien energiavirtojen erotusta nimetään häviöiksi. Häviöiden osuutta voidaan pienentää tehostamalla tehtaan energiatehokkuutta. Seuraavaksi on esitetty häviöihin vaikuttavia tekijöitä ja niiden suuruuden arviointia.

Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien ja kattopintojen lämpöhäviöt voidaan määrittää yhtälöllä 8.

$$Q_{ulkoseinä} = \sum U_i \, A_i (t_s - t_u) \qquad (8)$$

missä

U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin	[W/m^{2}K]
A_i	rakennusosan i pinta-ala	[m^2]

Maanvastaisten alapohjien kautta johtuva energia voidaan laskea yhtälön 8 mukaisesti, käyttämällä ulkoilman lämpötilan sijasta rakennusmääräyskokoelmassa esitettyä alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan eroa.

Vuotoilmahäviöihin lukeutuvat Robertson- kanavahäviö, säleikköhäviö, sekä erilaiset kuljettimien läpivienneistä aiheutuneet vapaat tilat rakennuksen ulkoseinissä. Vuotohäviöt voidaan määrittää yhtälöllä (9). Vuotohäviötä esiintyy uunihallin ollessa ylipaineinen.

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (t_s - t_u) \qquad (9)$$

missä

$Q_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve	[kJ]
ρ_i	ilman tiheys, 1,2	[kg/m^3]
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg K]

$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmavirta	[m^3/s]

5.2 Tulevat energiamäärät

Lasinsulatusuunissa lasin raaka-aineita sulatetaan sähköllä. Sähkö muuttuu lämmöksi lasin raaka-aineiden sulaessa. Sähkötehoa merkitään tunnuksella *P*.

Sulan lasin ja lasiuunin seinärakenteiden kanssa tapahtuu johtumista ja konvektiota. Lasiuunin eristyksestä huolimatta sen rakenteista säteilee lämpöenergiaa uunihalliin. Konvektiossa lämpöä siirtyy virtaavan fluidin mukana. Konvektio on huomattavasti monimutkaisempi ilmiö uunihallin erilaisista virtauksista johtuen. Tapausta tulee siis tarkastella yhdistetyn konvektion ja säteilyn tapauksena. Esimerkiksi kuuma höyryputki saattaa menettää lämpöenergiaa ympäristöönsä yhtä paljon vapalla konvektiolla, kuin lämpösäteilyllä. Tästä johtuen todellinen uunin ja kanavan luovuttama lämpö tulee arvioida suuremmaksi kuin säteily-yhtälöllä saatu tulos. (Aalto-yliopisto 2014.)

Lasiuunin ja lasinsulatuskanavan lämpöhäviö voidaan määrittää säteily-yhtälöllä 10. (Nerg 2014)

$$Q_{säteily} = A\varepsilon\sigma\left(T_{seinä}^4 - T_{ympäristö}^4\right) \qquad (10)$$

missä

$Q_{säteily}$	lasinsulatusuunin ja kanavan luovuttama lämpösäteilyenergia	[kW]
A	lasiuunin kokonaispinta-ala	[m^2]
ε	pinnan emissiivisyys	[-]
σ	Stefan-Bolzmannin vakio 5,67*10^{-8}	[W/m^{2}K^4]
$T_{seinä}$	seinän lämpötila	[K]
$T_{ympäristö}$	ympäristön lämpötila	[K]

Lasinsulatusuunissa ja kuidutuksessa käytetään maakaasua lasin sulatukseen. Maakaasun poltossa vapautuva lämpöteho voidaan arvioida yhtälöllä 11

$$Q_{maakaasu} = q_{mk} * m_{mk} \quad (11)$$

missä

$Q_{maakaasu}$	maakaasun polttoaineteho	[kW]
q_{mk}	maakaasun lämpöarvo 13,9	[kWh/m^3]
m_{mk}	maakaasun määrä tunnissa	[m^3/h]

Uunihallissa on käytössä vesikiertoiset lämmityspatterit. Lämmityspatterit saavat lämpöenergiansa tehtaan lämmitysvesijärjestelmästä, missä lämpöenergia on tuotettu lämpöpumpulla. Vesikiertoisia lämmityspattereita on uunihallissa käytössä kahdeksan kappaletta, joiden nimellisteho on 11 kW. Lämmönsiirtomuoto lämmityspatteriin on konvektio ja säteilylämmönsiirto. Lämmityspatterien lämmitysenergiaa voidaan arvioida yhtälöllä 12.

$$\Phi_{lp} = \sum \rho_v c_{pv} q_{lv} (t_{lv} - t_{kv}) \Delta t \quad (12)$$

missä

Q_{lp_tot}	lämmityspatterien luovuttama lämpöteho	[kW]
ρ_v	veden tiheys	[kg/m^3]
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kgK]
q_{lv}	veden virtaama patterin läpi	[m^3/s]
T_{lv}	patteriin tulevan veden lämpötila	[K]
T_{kv}	patterista lähtevän veden lämpötila	[K]

Lämmityspatterien puhaltimet kuluttavat lisäksi sähköenergiaa, joka otetaan huomioon uunihalliin tuotuna sähkötehona.

Uunihallissa on useita sähkömoottoreita, pumppuja, kompressoreita, muuntajia, jotka muuttavat sähköenergiaa mekaaniseksi työksi. Kitka synnyttää lämpöhäviöitä, jotka vapautuvat uunihallin ilmatilaan ja vaikuttavat uunihallin lämmitystaseeseen. Sähkömoottoreiden hyötysuhteet ovat teollisuudessa keskimäärin parempia kuin 80 %. Muuntajahäviöt ovat keskimäärin laskennallisesti 0,5 % yli kulkeutuneesta energiasta. Myös kompressoreissa on huomattavat lämpöhäviöt. Näiden lämpöhäviöiden määrittäminen perustuu haarukointiin, koska prosessista saatavat tiedot ovat kerättävissä ja analysoitavissa energiankeruujärjestelmästä toteutunei-

na kulutuksina. Ne määritetään likimääräisesti yhtälöllä 13 sekä lasivillatehtaan kerätyistä energiankäyttötiedoista.

$$P_{sähkö} = \sum nP_i \tag{13}$$

missä

$P_{sähkö}$	prosessilaitteiden sähköteho	[kW]
n	lukumäärä	[-]
P_i	prosessilaitteen nimellisteho	[kW]

Uunihallin katon aksiaalipuhaltimilla tuodaan kylmää ulkoilmaa uunihalliin, josta ilma päätyy imukaapille. Ulkolämpötilan ollessa pienempi, kuin uunihallin referenssilämpötila, tuodaan uunihallin taserajan sisälle negatiivistä lämpöenergiaa. Uunihallissa on kuusi aksiaalispuhallinta, joiden nimellistilavuusvirta on 27 m^3/ puhallin. Aksiaalispuhaltimien tuomaa energiavirtaa voidaan mallintaa yhtälöllä 14.

$$\dot{H}_{korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,korvausilma}(T_s - T_u) \tag{14}$$

Aksiaalispuhaltimien vaatima sähköteho otetaan huomioon sähkötehossa. Rakennuksen valaistuksesta aiheutuu lämpöhäviöitä. Etenkin teollisuudessa käytetyt suurpainenatriumlamput (SPNa) ovat energiatehokkuudeltaan heikkoja ja tehonkulutukseltaan valaistustehokkuuteen nähden suurempia kuin nykyaikaiset ledvalaisimet. Elohopealamput korvaavat suurpainenatriumlamput poistuvat markkinoilta huhtikuussa 2015, EU:n EcoDesign- asetuksen myötä. EcoDesign- direktiivi määrittelee energiaa käyttävien tuotteiden suunnittelun ja tuotekehityksen ekologiset vaatimukset. (Rantakallio & Ylinen 2011).

Valaistuksen aiheuttamaa lämpövirtaa voidaan energiataseeseen voidaan arvioida yhtälöllä 15.

$$\Phi_{va} = \sum nP_i \tag{15}$$

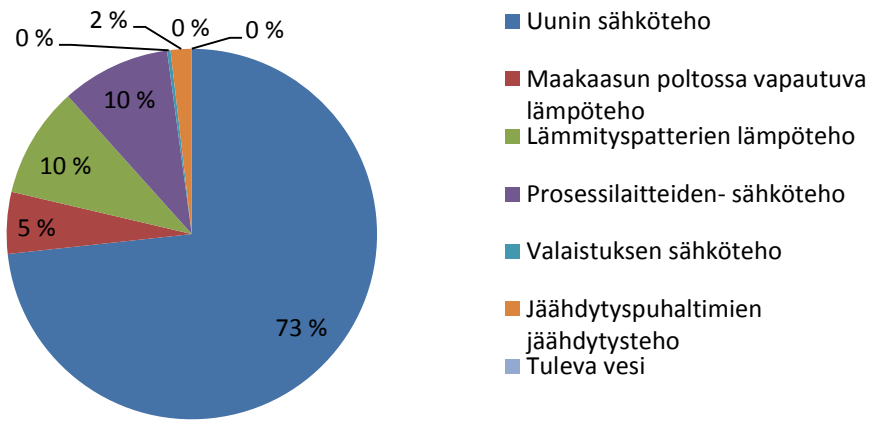
Φ_{va}	valaistuksen lämpöhäviö	[kW]
P_i	valaistuksen nimellisteho	[kW]

Vuoden 2014 aikana otetaan käyttöön kaksi kappaletta inventteriohjattuja lasikanavan jäähdytyspuhaltimia. Puhaltimien tehtävänä on jäähdyttää lasiuunia puhaltamalla uunia viileämpää ilmaa uunin rakenteisiin. Puhaltimet ottavat korvaus-

ilman ulkoilman lämpötilan mukaan joko ulkoilmasta tai uunihallista. Korvausilman ottoa säädetään ulkoilman lämpötilan mukaan, niin että lämmityskaudella kierrätetään uunihallin lämmintä ilmaa. Säätöpelleillä säädetään ulkoilman ja sisäilman suhdetta. Puhaltimien sähkötehot ovat 14,2 kW ja 4,6 kW. Ne tuottavat lämpötehoa 48 kW ja 38 kW. Puhaltimet eivät ole jatkuvasti käytössä, ainoastaan tehtaan valmistaessa niin sanottuja raskaita eristeitä. Tasekuvassa ne on kuvattu symbolilla $\dot{H}_{jäähdytys}$.

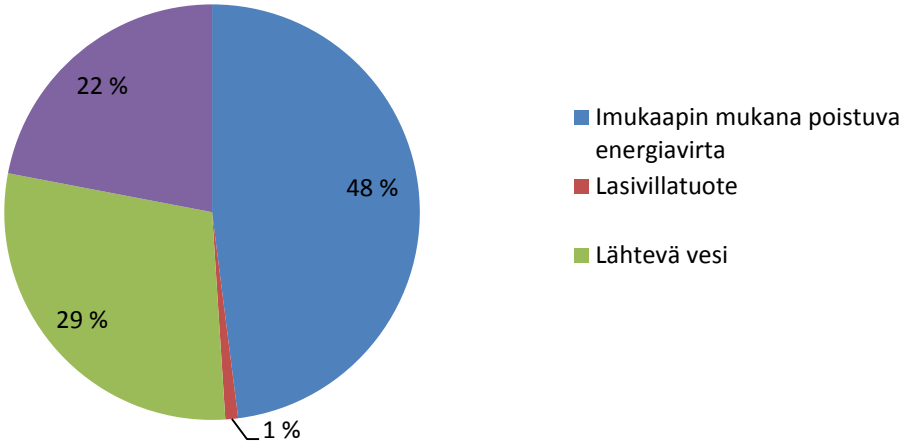
5.3 Tulokset

Energiatasetyökalulla saatiin selvitettyä tuodun ja poistuvan energian jakautuminen uunihallissa eri vuodenaikoina ja eri ajotilanteissa. Energiatasetyökaluun koottiin tunnuslukuja energiankäytöstä, joita voidaan käyttää energiankäytön pienentämisen vertailukohteena. Energiatasetyökalun tulosten avulla voidaan ohjata energiansäästötoimenpiteitä niihin kohteisiin, joissa on suurin kulutus ja joista suurimmat energiansäästöt ovat mahdollista saada hankittua. Kuvassa 29 on esitetty tuodun energian jakautuminen uunihallissa, kun ulkolämpötila on + 10 °C.



Kuva 23. Uunihalliin tuodun energian jakautuminen, kun ulkolämpötila on + 10 °C.

Kuvasta 29 nähdään, että suurin energiamäärä tulee uunin sähkötehon mukana. Toiseksi eniten lämpöenergiaa tuodaan prosessilaitteiden ja lämmityspatterien mukana. Poistuvat energiamäärät ovat esitetty kuvassa 30.



Kuva 24. Uunihallista poistuvien energiamäärien jakautuminen.

Kuvasta 30 nähdään, että imukaappiin sitoutuu suurin osa uunihalliin tuodusta energiasta. Toiseksi eniten lämpöenergiaa sitoutuu pesuveteen. Pesuveteen sitoutunut energiamäärä on helpoiten hyödynnettävissä muuta käyttöä varten. Myös häviöt muodostavat merkittävän osan uunihallista poistuvasta energiasta. Häviöitä ovat muun muassa vuotohäviöt, ala- ja yläpohjahäviöt sekä seinien lämpöhäviöt.

6 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET ENERGIANSÄÄSTÖÖN

Tehtyjen selvitysten perusteella useimmissa yrityksissä on löydettävissä merkittäviä säästökohteita, joissa investointien takaisinmaksuaika on alle kolme vuotta eli investointien tuotto (ROI) on yli 33 %. Energiansäästöinvestointiin liittyvä riski on monesti alhainen verrattuna muihin vastaavan tuotto-odotuksen tarjoamiin vaihtoehtoihin. (Motiva 2000, 6.)

Teollisuuden kannalta yksi keskeisimmistä keinoista on vapaaehtoisten energiansäästötoimien toteuttaminen. Oikein kohdennettujen ja tehokkaasti suoritettujen energiansäästötoimenpiteiden avulla yritysten kustannukset alenevat, hiilidioksidipäästöt vähenevät sekä ympäristötehokkuus paranee. (Motiva 2000,6.)

Teollisuuden energiansäästöpotentiaalia on käsitelty lukuisissa tutkimuksissa ja julkaisuissa. Tutkimuksissa on havaittu, että säästöpotentiaalin löytyminen ei sinällään ole vaikeaa. Käytäntö on osoittanut vaikeimmaksi säästötoimien tekeminen. Energiansäästötutkimukset ovat usein jääneet arvottomiksi, koska niissä tehtyjä ehdotuksia ei ole syystä tai toisesta toteutettu. Energiansäästön toteutumisen edellytyksiä ovat: (Suomen Metsäteollisuuden liitto 1983)

- Tehtaan johdon ja sen henkilökunnan motivoituneisuus energiansäästön tärkeydestä, kannattavuudesta ja mahdollisuuksista.
- Energiansäästöön liittyvistä tekijöistä tulee olla riittävästi tutkittua tietoa.
- Tehtaalla tulee olla riittävä organisaatio säästötyön järjestämiseksi. Tämän organisaation käytössä tulee olla ammattitaitoiset eri osa-alueiden asiantuntijaryhmät.
- Energiansäästötoimien tutkimiseen, suunnitteluun, rakentamiseen ja toiminnan seuraamisen kustannuksiin tulee olla tarvittava rahoitus.

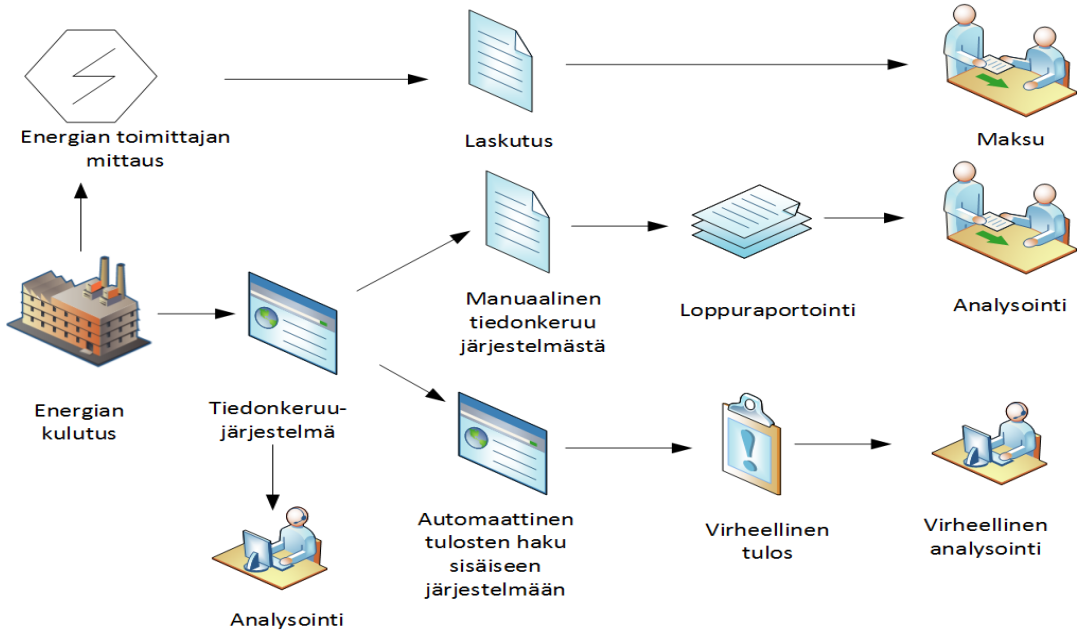
Energiankäytön tehostamiseksi joudutaan usein tekemään investointeja, kun muut säästötoimet eivät riitä vähentämään energiankäyttöä halutulle tasolle. Energiansäästöinvestointien taloudellisuutta voidaan arvioida, kun tiedetään tehdyn investoinnin suuruus, pitoaika, laskentakorkokanta, investoinnista aiheutuneet kustannuslisät, energiatuki ja saavutetut kustannussäästöt. Energiasäästöinvestointien

taloudellisuutta arvioitaessa tulee ottaa huomioon investointien elinkaarikustannukset. (Aho et al 2006, 36.)

Investointi on taloudellisesti kannattava, jos sen kokonaiskustannukset valitulla tarkastelujaksolla ovat pienemmät, kuin kokonaiskustannukset ilman investointia. Investointeja arvioitaessa tulee kiinnittää huomiota suorien säästövaikutusten ja kustannusten lisäksi myös välillisiin hyötyihin ja kustannuksiin. Välillisillä hyödyillä tarkoitetaan esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen pienentymistä ja energiankäytön vähenemistä. Takaisinmaksuaika on riippuvainen investointikohteesta, mutta myös pienillä investoinneilla voidaan saada merkittäviä säästöjä. Energiainvestointien tyypillinen takaisinmaksuaika on 1-3 vuotta. (Aho et al 2006, 37-38.)

6.1 Energiansäästöstrategia Hyvinkään tehtaalle

Hyvinkään lasivillatehtaalla energiankäytöstä kerätään kulutustietoja Mittrix- järjestelmällä. Mitrix- järjestelmä kerää reaaliajassa tietoa tehtaan energiankulutuksista eri kohteissa. Järjestelmästä saadut mittaustiedot kerätään raporttiin manuaalisesti, josta ne ohjataan edelleen loppuraportointiin ja analysoitavaksi. Toisessa järjestelmässä tiedonkeruujärjestelmästä haetaan automaattisesti tietoja energiankulutuksesta sisäiseen järjestelmään. Diplomityön ohessa suoritetussa katselmuksessa havaittiin, että tiedonkeruujärjestelmästä tulee dataa väärässä muodossa sisäiseen järjestelmään. Tämä aiheuttaa virheellisen tuloksen sisäisessä järjestelmässä. Katselmuksessa havaittiin että sisäisessä järjestelmässä raportoidaan keskimääräisestä tehosta vuorokauden aikana, kun raportissa haetaan kokonaisenergiankulutusta vuorokauden aikana. Kuvassa 31 on esitetty energiaraportointi Hyvinkään tehtaalla ja siihen on merkitty päällekkäisyydet raportoinnissa.

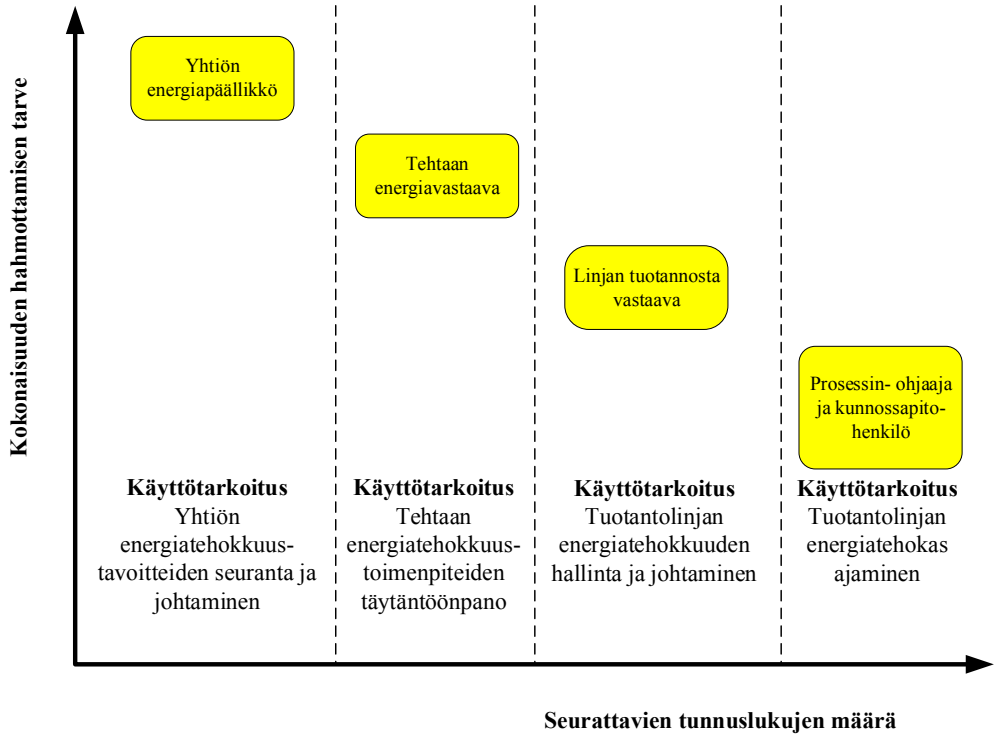


Kuva 31. Hyvinkään lasivillatehtaan nykyinen energiaraportointi.

Automaatioinsinööri Petri Järvelän mukaan ongelmat raportoinnissa johtuvat siitä, että energiaraportointia kehittämässä olevat henkilöt ovat siirtyneet muihin tehtäviin ja energiaraportointijärjestelmä on jäänyt keskeneräiseksi. Järvelän mukaan myös se että energiaraportointi ei kuulu kenenkään vastuualueelle on aiheuttanut sen että järjestelmän antamiin virheellisiin tuloksiin ei ole puututtu. (Järvelä 2014.)

Tuotantojohtaja Eero Korpion mukaan Hyvinkään lasivillatehtaalla ei ole käytössä erillistä asiantuntijaa energiatehokkuusasioiden johtamiseen. Myös lasivillatehtaan ilmataseessa Korpio näkee kehitettävää. (Korpio 2014b.)

Kuvassa 32 on esitetty organisaatiokaavio energiatehokkuusstrategian toteuttamiselle.



Kuva 32. Energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävä organisaatiokaavio ja tuotantolinjan toimijoiden tarpeet energiatehokkuuden tunnusluvuille. (Leskelä & Turunen 2012, mukaillen.)

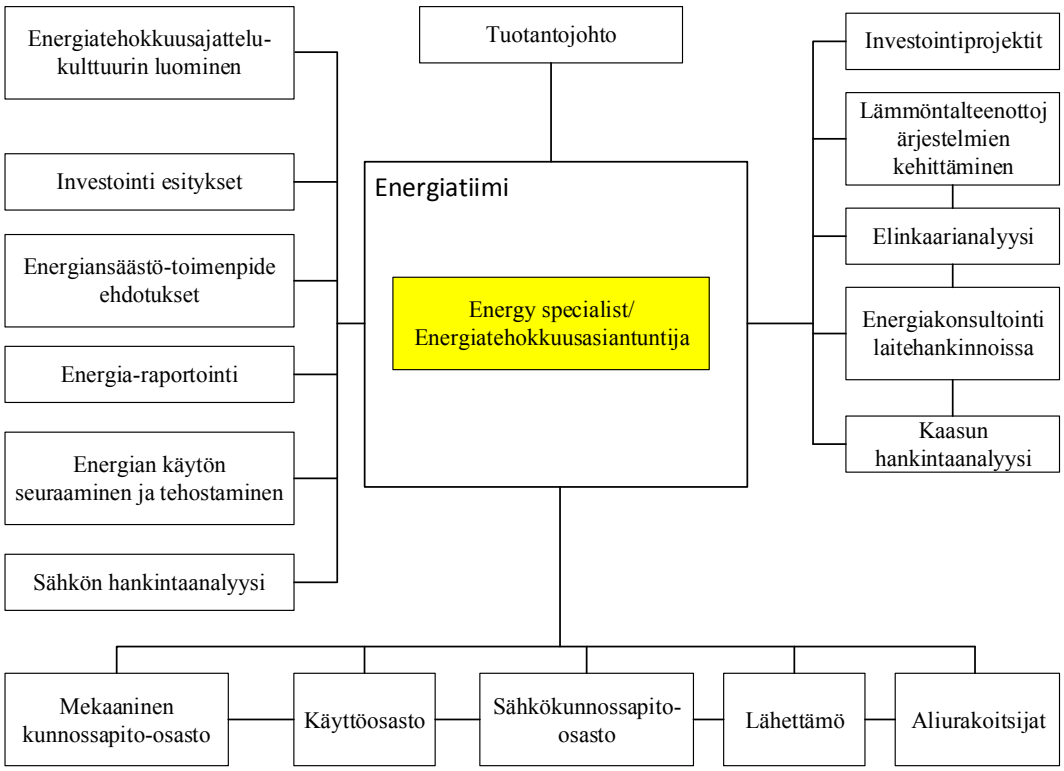
Organisaatiokaaviosta nähdään, että seurattavien tunnuslukujen määrä pienenee, kun mennään ylemmäksi yhtiön hierarkiassa. Kuva 32 kuitenkin osoittaa, että kaikilla tuotantoon osallistuvilla henkilöillä on oma vastuualue jatkuvassa energiatehokkuuden parantamisessa.

Suunnitelmallinen energiansäästöohjelma voidaan toteuttaa energiatehokkuusjärjestelmänä (ETJ). Esimerkiksi Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Kirkkonummen kipsilevytehtaalla tehtävää hoitaa *''Energy Superior''* eli energiatehokkuusasiantuntija. Energiatehokkuusasiantuntija vastaa tehtaan energiaraportoinnista, auditiointejen järjestämisestä ja järjestelmällisestä energiatehokkuuden parantamisesta. Energiatehokkuusjärjestelmän avulla yritys pystyy kehittämään energiatehokkuuttaan jatkuvan parantamisen periaatteiden mukaisesti. Energiatehokkuusjärjestelmän avulla pystytään keskittymään sekä energiankulutuksen että kustannuksien pienentämiseen. ETJ:n lähtökohtana on tuntea energiankäyttö ja sen jatkuva seuranta. Energiansäästömahdollisuudet tulee tiedostaa ja niistä teknistaloudellisesti kannattavat kohteet selvittää ja toteuttaa. Motivan energiakonsulttien

mukaan energiatehokkuusjärjestelmän integrointi olemassa olevaan johtamisjärjestelmään ei aiheuta suuria toimenpiteitä. Järjestelmän jalkauttaminen käytäntöön vaatii kuitenkin yrityksiltä panostusta, kuten vastuuhenkilön kouluttamista, mittaamista ja seurannan kehittämistä. (Mattila 2008)

Kirkkonummen kipsilevytehtaalle on perustettu energiatiimi, johon kuuluvat mekaanisen- ja sähkökunnossapidonpäälliköt, prosessi-insinööri, tuotantojohtaja, controller sekä tuotantopäällikkö. Kirkkonummen tehtaalla tehdään säännöllisesti energia-auditointeja. Auditointeja suorittavat ulkopuoliset asiantuntijat, sisäinen energiatiimi sekä konsernin energia-auditoijat. (Hiekka 2014.)

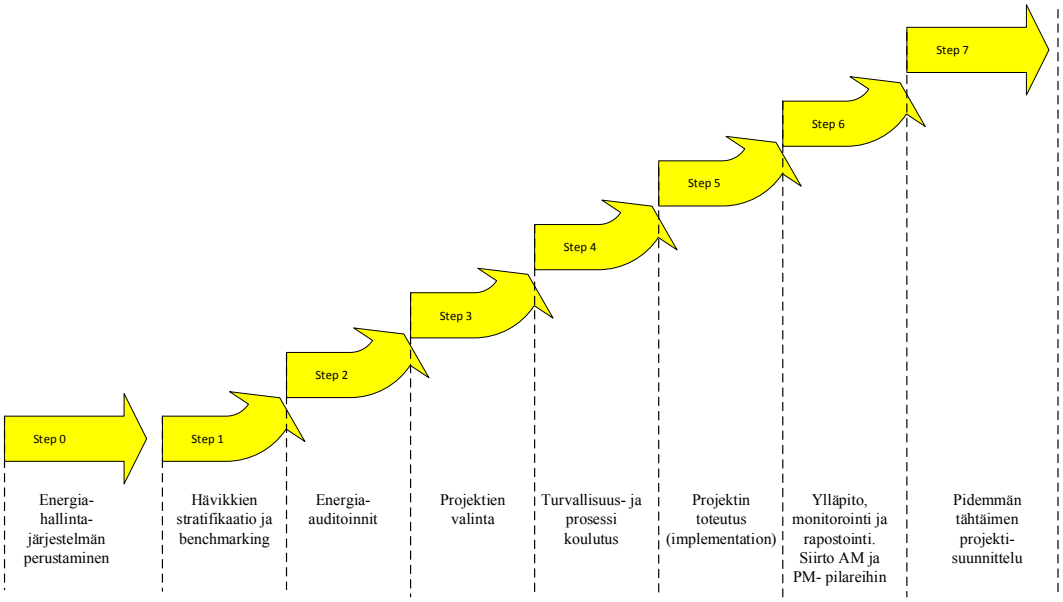
Energiatehokkuusasiantuntijan tuloksellisuutta on yksinkertaista seurata tarkastelemalla ominaisenergiankulutuksen kehittymistä. Kuvassa 33 on esitetty energiatehokkuusasiantuntijan toimintakenttä. Esimerkiksi paljon energiaa käyttävällä elintarvikealalla on saatu hyviä kokemuksia energiatehokkuusvastuuhenkilöistä.



Kuva 25. Energiatehokkuusasiantuntijan sijoittuminen organisaatiokaaviossa sekä tärkeimmät työtehtävät.

Kuvasta 33 nähdään että energiankäyttö linkittyy lähes kaikkeen tehtaalla tapahtuvaan toimintaan.

World Class Manufacturing eli WCM on joukko erilaisia käsitteitä, periaatteita ja tekniikoita valmistaville yrityksille. WCM on verrattavissa Toyotan TPS- järjestelmään. WCM tähtää laadun, kustannusten, läpimenoajan, joustavuuden sekä asiakaspalvelun jatkuvaan parantamiseen. Sen juuret ovat toisen maailmansodan jälkeisessä Japanin teollisuusyritysten noususta. WCM toimintamallia voidaan hyödyntää energiahallinnassa kuvan 34 seitsemän askelman mukaisesti.



Kuva 26. WCM periaatteiden seitsemän askelman energiahallinnan katsaus (Hiekka 2014, mukaillen)

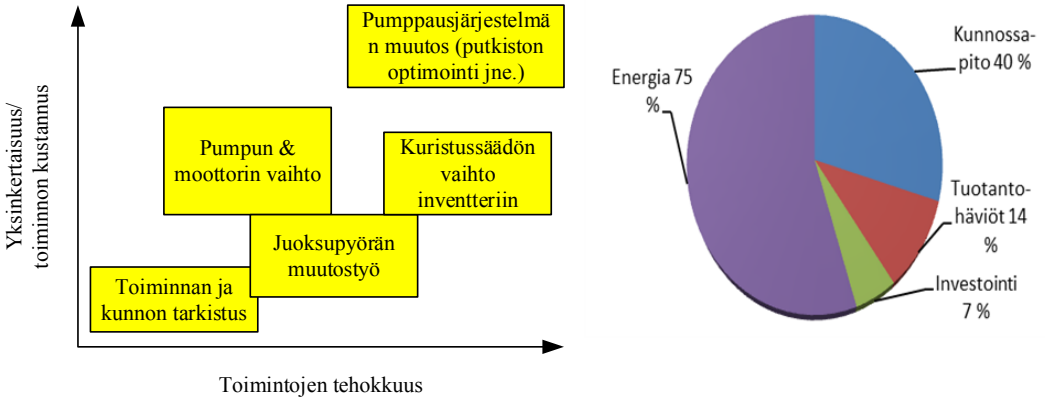
Kuvasta 34 nähdään, että miten energianhallinta voidaan rakentaa osaksi WCM-toimintamallia. Kirkkonummen tehtaalla saatujen kokemusten perusteella energiahallinnan WCM- toimintamalli on myös käännettävissä ISO 50 001 standardiin jolloin voidaan saavuttaa energiasertifikaatti koko tehtaalle. ISO 50 001 on energiatehokkuuden parantamista käsittelevä standardi.

Energiankäyttöraportointia on mahdollista muuttaa esimerkiksi niin, että energia-asioita käsitellään viikkopalaverissa, jossa käydään läpi keskeisimmät tunnusluvut sähkö-, lämpö- ja kaasuenergian käytöstä. Kuukausittain olisi mahdollista kerätä tiedot käytetystä energiasta ja tehdä analyysejä kulutuksesta sekä suunnitelma

käytön tehostamisesta. Kirkkonummen tehtaalla on käytössä energian monitorointijärjestelmä *Enersize Platform*™, jolla energiankulutusta voidaan seurata reaaliaikaisesti. Kokemusten perusteella järjestelmän suurimmat edut ovat siinä, että muutoksiin voidaan puuttua pikaisesti ja energiankäyttöä voidaan analysoida reaaliaikaisesti.

Sisäisellä tiedottamisella on myös tärkeä merkitys energiatehokkuuden parantamisessa. Esimerkiksi Kirkkonummen tehtaalla julkaistaan kaksi kertaa vuodessa koko henkilökunnalle ''*energy newsletter''* eli energiauutiset, jossa tiedotetaan energiatehokkuusprojekteista ja niiden onnistumisista sekä energian käytön tehostamisesta ja niillä saavutettavista eduista. (Hiekka 2014.)

Lämmöntalteenottojärjestelmiä ja energiatehokkuutta parantavia ratkaisuja kehitetään jatkuvasti ympäri maailmaa. Erilaiset kansainväliset LVI- ja energiamessut ovat erinomaisia paikkoja uuden tiedon hankintaan energiatehokkuutta parantavista ja ominaisenergiankulutusta pienentävistä järjestelmistä. Messuilla on usein esillä useita toimittajia, jotka mielellään markkinoivat ja tarjoavat lisätietoa järjestelmistään. Messuvierailut voi yhdistää osaksi energiansäästöstrategiaa. Benchmarkingilla eli esikuva-analyysilla tai vertailuanalyysillä ja hyvien käytäntöjen vaihtamisella on mahdollista käyttää prosessikehittämisen ja energiatehokkuuden kehittämisen välineenä. Oppimisen kohteena ja voidaan käyttää saman toimialan yrityksiä tai muita energiantuotantoon tai käyttöön sitoutuneita yrityksiä. Hyvinkään lasivillatehtaalla ei ole käytössä järjestelmällistä energiatehokkuuskartoitusta uusien prosessi-investointien kuten pumppujen ja puhaltimien hankinnassa, vaan ne pohjautuvat myyjien tarjouksiin. (Laakso 2014) Kuvassa 35 on esitetty tyypillinen LCA kustannusjakauma pumpun elinkaaresta.

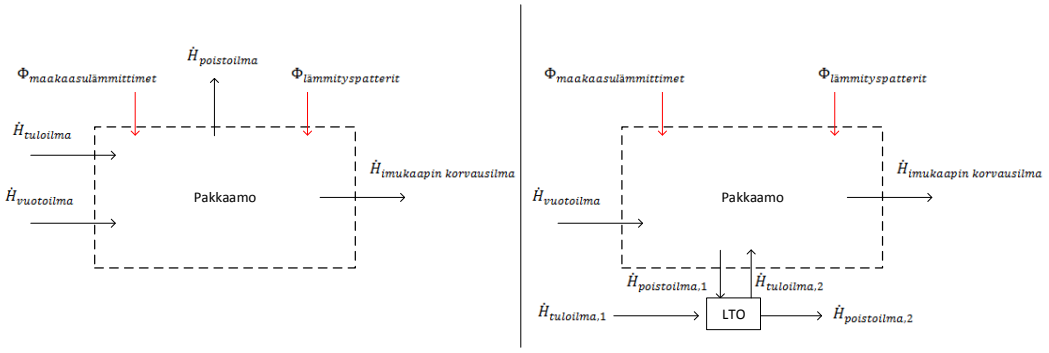


Kuva 35. Pumppausjärjestelmän energiankäytön optimoinnin prosessi ja pumpun elinkaarikustannukset. (Ahonen 2013, mukaillen.)

Kuvasta 35 nähdään, että energiakustannukset ovat suurin kustannuserä pumppujen elinkaaren aikana. Tämän perusteella voidaan todeta että energiatehokkuuden analysointi laitehankinnoissa on keskeisessä osassa mikäli tavoitteena on energiakustannusten pienentäminen. Tämän diplomityöhankkeen aikana suoritettiin uudesta pumppuhankinnasta elinkaarikustannusanalyysi.

6.2 Lämmöntalteenotto pakkaamon poistoilmasta

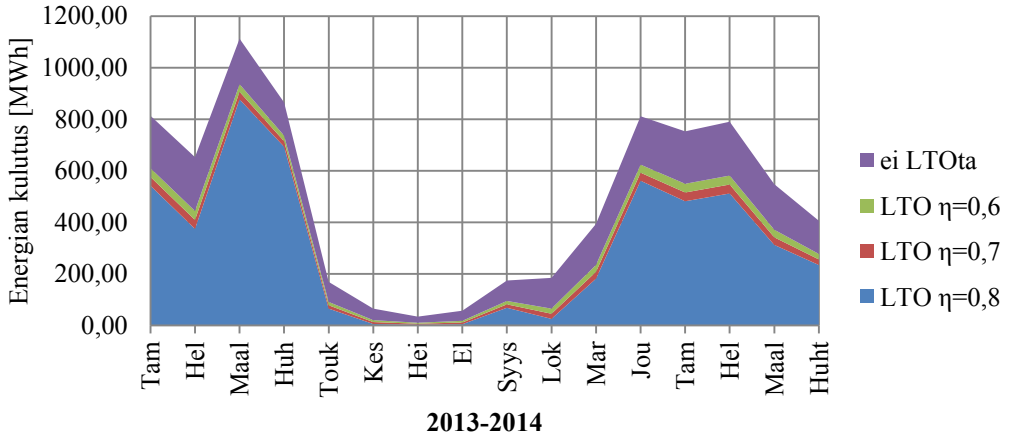
Saint- Gobain Rakennustuotteet Oy:n pakkaamotilat ovat alkuperäistä 1980- luvun alun rakennuskantaa. Pinta-alaltaan pakkaamo on noin 14 580 m^2 ja tilavuudeltaan noin 123 930 m^3. Keskimääräinen korkeus on 8,50 metriä. Pakkaamossa on lämmityspatterien lisäksi maakaasulämmittimet, joiden keskiteho lämmityskaudella 2013-2014 oli 624 kW. Pakkaamossa olevien lämmityspatterien vaatima lämpöteho lämmityskaudella oli puolestaan 320 kW. Tuloilman mitoitusvirtaama on 16,5 m^3/s ja poistoilmaverkoston mitoitusvirtaama 21,3 m^3/s. Virtaamista voidaan päätellä, että järjestelmän toimiessa oikein pakkaamo pysyy alipaineisena. Kun otetaan huomioon vielä imukaapin aiheuttama ilmavirtaus, pysyy pakkaamo alipaineisena. Imukaapin aiheuttama korvausilmantarve sekoittaa myös pakkaamon ilmatasetta. Kuvassa 6 on esitetty pakkaamon energiatasekuva ilman LTO:ta ja LTO:n kanssa.



Kuva 27. Vasemmalla pakkaamon energiatasekuva ilman lämmöntalteenottoa ja oikealla LTO:n kanssa.

LTO:n tarkoituksena on saada ilmavirtaan sitoutunut lämpö johdettua takaisin rakennukseen mahdollisimman tehokkaasti. On luonnollista että kaikkea poistoilmaan sitoutunutta lämpöä ei kustannustehokkaasti saada siirrettyä tuloilmaan. LTO:lle on tarkoituksenmukaista luoda tasapaino energiatehokkuuden ja investointikustannusten välille. LTO- ratkaisut eroavat toisistaan kustannusten ja toimintaperiaatteiden osalta.

Pakkaamoon ei ole rakennusvaiheessa asennettu ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa. Ilmanvaihtokoneita ohjataan pakkaamossa lämpötilan perusteella niin että lämpöpatterit käynnistyvät talvella +17 °C ja pysähtyvät +20 °C. Pakkaamon ilmanvaihto on käytössä pääosin jatkuvasti keskeytymättömän toiminnan takia. Vuonna 2009 tehdyssä katselmuksessa todettiin tuloilman lämpötilan olleen osittain liian korkea. Kuvan 37 energiataseen pohjalta laskettuna saadaan pakkaamon lämpöenergian kulutukseksi vuosina 2013–2014 lasketuista tiedoista energiankulutukseksi kuvan 37 mukaiset tulokset.



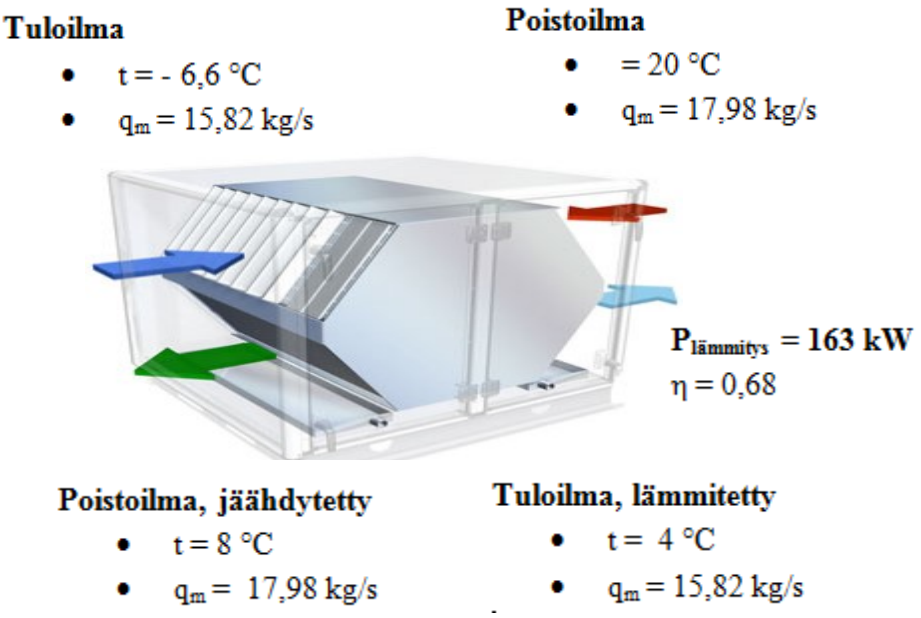
Kuva 28. Lämpöenergian kulutus pakkamossa eri lämmöntalteenottolaitteistojen hyötysuhteilla sekä ilman lämmöntalteenottoa.

Kuvasta 37 nähdään että esimerkiksi 0,6 hyötysuhteella toimivalla LTO laitteistolla voidaan saavuttaa 32 – 287 MWh energiansäästö kuukaudessa riippuen kuukauden lämmitystarpeesta. Vuotuisesti voidaan saavuttaa 2000- 2500 MWh:n vuosittainen energiansäästö järjestelmän energiatehokkuudesta riippuen.

Rakennusmääräyskokoelmassa D2 kohdassa 2.6.3.1 mainitaan ’’Lämmöntalteenoton rakentamisen voidaan osoittaa epätarkoituksenmukaiseksi esimerkiksi silloin, kun poistoilman poikkeuksellinen likaisuus estää lämmöntalteenoton toiminnan tai tilan lämpötila lämmityskaudella on alle + 10°C eikä poistoilmasta ole saatavissa lämpöä kustannustehokkaasti’’. (Rakennusmääräyskokoelma D3 2012b, s.16.)

Kohteessa ei ole rakentamismääräyskokoelmassa D2 esitettyjä esteitä LTO:n toiminnan kannalta.

Poistoilmaan sitoutunutta lämpöenergiaa voidaan LTO laitteiston asentamisen jälkeen hyödyntää myös tuomalla poistoilma uunihalliin. Jolloin etenkin talvella saadaan tuotua poistoilmaan sitoutunut lämpöenergia uunihallin lämmittämiseen. Tämä ratkaisu tuo jatkuvasti lämpöenergiaa uunihalliin. Kuvassa 39 on esitetty LTO järjestelmän toiminta-arvoja, sen toimiessa kun ulkoilman lämpötila on -6,6 °C.



Kuva 38. Pakkaamon lämmöntalteenoton mitoitusarvoja, kun hyötysuhteena on 0,68.

Kuvasta 38 nähdään että hyötysuhteen ollessa 68 % , päästään allaoleviin mitoitusarvoihin. Laitteistoja on saatavissa erilaisilla hyötysuhteilla lämmöntalteenoton toimintaperiaatteen mukaan. Hyötysuhde voidaan määrittää yhtälöllä 16, joka kertoo kuinka paljon lämpöenergiaa saadaan talteen poistoilmasta.

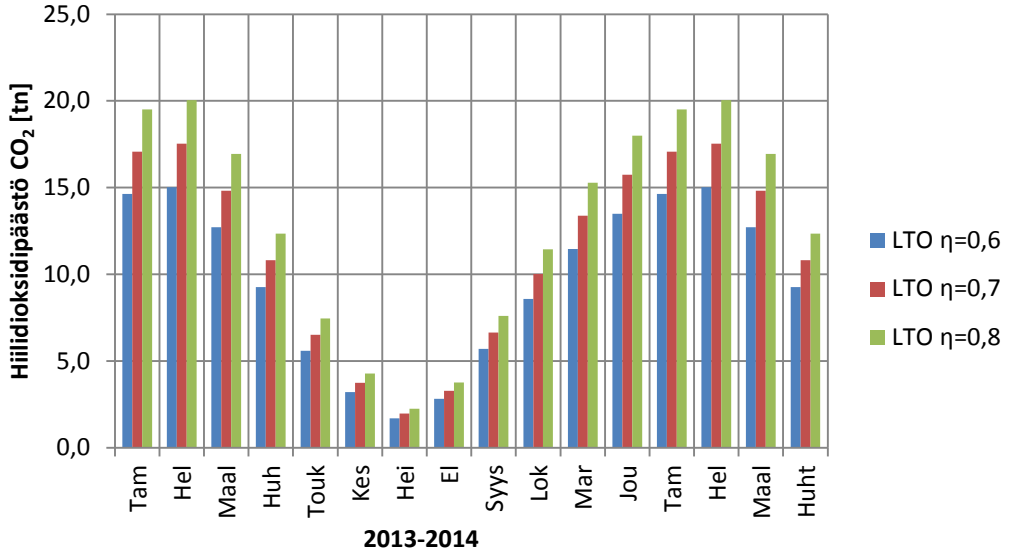
$$\eta = \frac{\phi_K}{\phi_L} \qquad (16)$$

missä

ϕ_K	höyrystimen lämpövirta	[W]
ϕ_L	lauhduttimen lämpövirta	[W]

Valinnoissa tulee miettiä, millä ulkolämpötilan pysyvyyskäyrällä lämmöntalteenotosta on eniten hyötyä ja millä se toimii parhaalla hyötysuhteella, mikäli LTO tulee osaksi lasivillatehtaan integroitua lämmitysjärjestelmää. LTO järjestelmä mitoitettiin alkuperäistä järjestelmää pienemmäksi, koska rakennusmääräyskokoelma ei aseta vaatimuksia ilmanvaihdolle. Toisaalta imukaappi poistaa ilmaa tilasta.

Vähentämällä maakaasun käyttöä lämmityksessä, voidaan vähentää maakaasun poltossa syntyviä CO_2- päästöjä. Kuten luvussa 2.2 todettiin, Suomi on sitoutunut vähentämään CO_2- päästöjä. Päästöjen vähenemät on esitetty kuvassa 39.



Kuva 29. Hiilidioksidipäästöjen väheneminen LTO- laitteiston hyötysuhteen funktiona

Kuvasta 39 nähdään, että 70 % hyötysuhteella toimivalla LTO- laitteistolla on mahdollista saavuttaa vuosittain 120 tonnin hiilidioksidipäästöalentuma. Kuvassa 40 on esitetty päästöluvan hinnan kehitys EU:n päästölupamarkkinoilla päästö-kaupan toisella kaudella 2008-2012.

Kuva 40. Päästöluvan hinta EU:n päästölupamarkkinoilla päästökaupan 2. kaudella 2008-2012. (Haavio 2010, s.6)

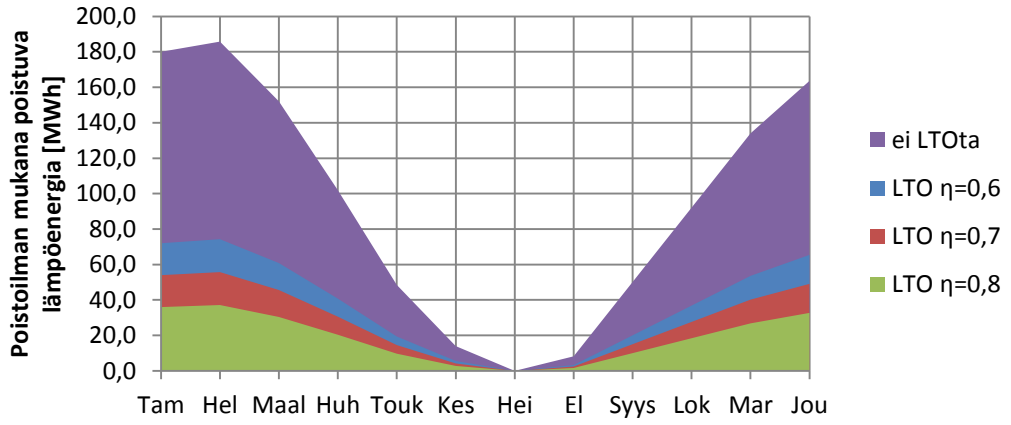
Teollisuuden ilmanvaihtosovelluksissa yleisin regeneratiivinen lämmönsiirrintyyppi on pyörivä lämmönsiirrin. Regeneratiivisessa järjestelmässä lämpöä varastoidaan poistoilmasta kiinteään väliaineeseen, josta lämpö luovutetaan tuloilmaan. Pyörivässä lämmönsiirtimessä kiekko varaa lämpöä itseensä poistoilmasta ja pyörähdettyään tuloilmapuolelle se luovuttaa lämmön tuloilmaan.

Vaihtoehtoisesti lämpöenergia on mahdollista siirtää nestekiertoisella piirillä lämmitysjärjestelmään ja käyttöveden lämmitykseen lämpöpumpulla. Lämpöpumpun avulla poistoilman energiaa voidaan hyödyntää myös lämpiminä vuodenaikoina. Tätä vaihtoehtoa ei tarkasteltu tässä diplomityössä. (Lappalainen 2010, s.97.)

Laskettaessa takaisinmaksuaikaa lämmöntalteenottolaitteistolle, tulee muistaa että koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto on pidettävä aina päällä, joten se kuluttaa jatkuvasti sähköä.

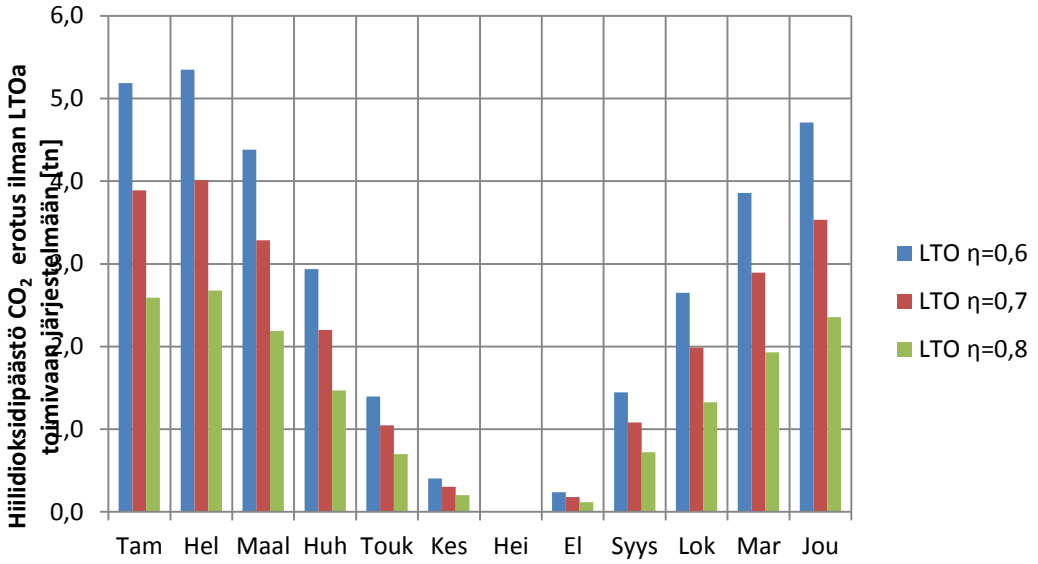
6.3 Lämmöntalteenotto tehdasyhteisistä tiloista

Tehdasyhteisissä tiloissa sijaitsee puhallusvillaosasto ja osa mekaanisen kunnossapidon toimintatiloista. Tehdasyhteisien tilojen pinta-ala on noin 900 m^2 ja tuloilman määrä on 15 m^3/s ja poistoilmanmäärä 13 m^3/s. Vastaavanlainen lämmöntaiteenottojärjestelmä kuin kappaleessa 6.2, sopisi myös tehdasyhteisiin tiloihin. Tässä kappaleessa esitellään pienemmällä ilmamäärällä toimivan LTO laitteiston energiansäästö sekä arvioidaan laitteiston soveltuvuutta tehdasyhteisiin tiloihin. Toisin kuin pakkaamossa, tehdasyhteisissä tiloissa ei käytetä maakaasua tilojen lämmittämiseen. Tästä johtuen LTO:n rakentaminen ei teknillistaloudellisesti ole niin kannattavaa, kuin pakkaamon tiloihin. Tehdasyhteisten tilojen lämmöntalteenotto säästää lämmityspatterien tuomaa lämpöenergiaa, kun lämmitettyä ilmaa ei ohjata suoraan huippuimureilla ulos. Energiansäästölaskelmissa oletetaan, että tiloja lämmitetään täydellä teholla kuukausina, kun ulkoilman keskiarvolämpötila on pakkasrajan alapuolella. Tehdasyhteisien tilojen nimellinen lämmitysteho on 618 kW. Kuvassa 41 on esitetty poistoilman mukana tehdasyhteisistä tiloista poistuva lämpöenergia kuukausittain ilman lämmöntalteenottoa ja eri LTO-laitteistojen hyötysuhteilla



Kuva 41. Tehdasyhteisistä tiloista poistoilman mukana poistuva lämpöenergia ilman LTO- laitteistoa ja eri LTO laitteistojen hyötysuhteilla.

Kuvasta 41 nähdään, että kuudenkymmenen prosentin hyötysuhteella toimivalla LTO-laitteisolla voidaan säästää lämpöenergiaa 70 MWh kylmimpinä kuukausina. Yhteensä vuodessa voidaan saavuttaa jopa 450 MWh lämpöenergiansäästö. Verrattuna pakkaamon LTO-laitteistoon, tehdasyhteisten tilojen LTO-laitteistolla saavutetaan pienemmät lämpöenergiansäästöt kapasiteetin suuruuden erosta johtuen. Kuvassa 42 on esitetty LTO- laitteiston hiilidioksidipäästöt vuodessa.



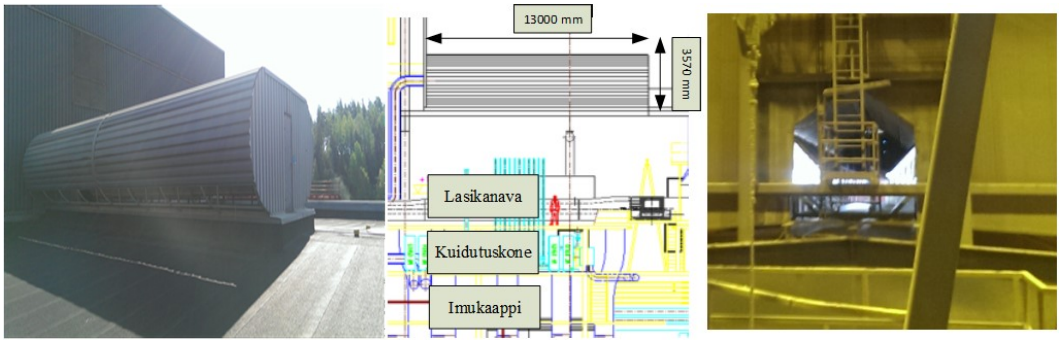
Kuva 30. LTO- laitteistolla saavutettavat hiilidioksidipäästösäästöt kuukausittain.

6.4 Robertson- tuuletuslaitteen soveltuvuuden arviointi

Uunihallin katossa on niin sanottu Robertson- tuuletuslaite, jolla lämmintä ilmaa voidaan poistaa rakennuksen katosta. Robertson tuuletuslaite on säädettävä ja ilman virtaa tuuletuslaitteessa voidaan säätää sulkupeltien asentoa muuttamalla. Laitteen toiminta perustuu ilmanpaine-eroon niin, että se päästää lämpimän ilman ulos mutta ei esimerkiksi vettä tai lunta sisälle. Robertson tuuletuslaitteen tehtävät:

- lämpimän ilman poisto uunihallista
- tulipalojen ehkäiseminen pitämällä lämpötilaolot vakaina

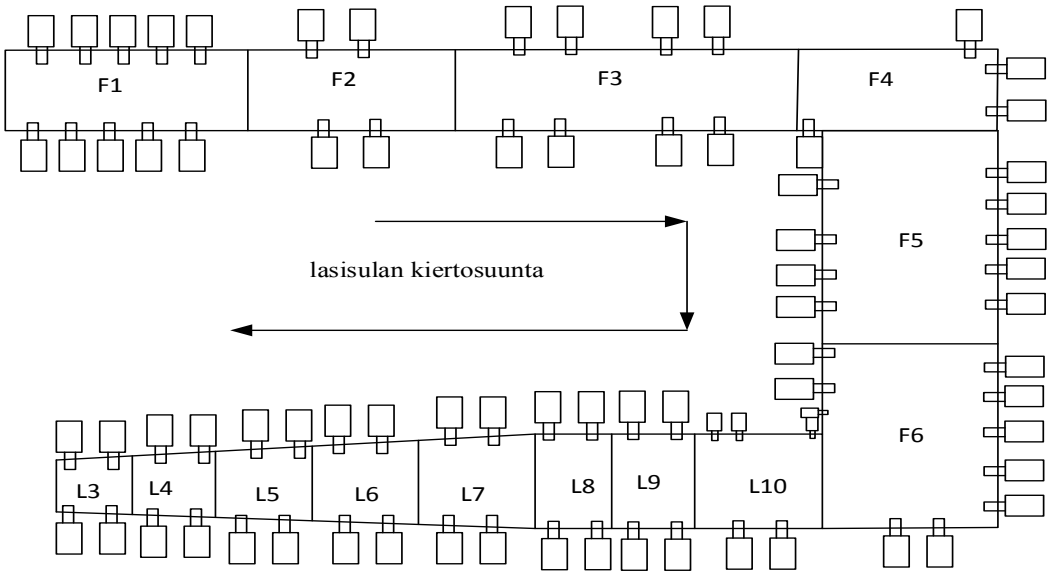
Lasikanava muutettiin vuonna 2013 maakaasukäyttöisestä sähkölämmitteiseksi, jolloin lämpöhäviöt pienenivät merkittävästi. Toisaalta maakaasulämmityksessä savukaasut johdettiin ulos, jolloin energiaa poistui savukaasuhäviönä. Lämmitysjärjestelmän uusimisen seurauksena ajankohtaiseksi tuli miettiä Robertson- tuuletuslaitteen tarkoituksenmukaisuus uunihallin lämmön poistossa. Robertson kanava on esitetty kuvassa 43.



Kuva 43. Robertson kanava vasemmalla uunihallin katolta kuvattuna. Robertson kanavan layout kuva keskellä ja oikealla kanava kuvattuna uunihallin sisältä.

Feederissä eli lasikanavassa on elektrodeja, joita käytetään lasikanavan lämmittämiseen, jotta sula lasi saadaan vietyä oikeassa lämpötilassa lingoille. Kuvassa 44 elektrodit näkyvät lasikanavan reunoilla. Lasikanavassa on optiset lämpötilamittaukset, joiden mittausten perusteella elektrodeja ajetaan. Energiatehokkuuden näkökulmasta lasikanavaa tulee käyttää niin että osissa F1-F4 lasille annetaan läm-

pötehoa niin vähän, kuin mahdollista ja F5 ja F6 lasi lämmitetään linkojen vaatimalle lämpötila-alueelle.



Kuva 44. Lasikanavan ja lingon layout- kuva.

Laskemalla säteily-yhtälön 10 mukaisesti säteilylämpöhäviö lasikanavalle, saadaan lasikanavan lämpöhäviöksi 390 kW. Säteilylämpöhäviö aiheutuu elektrodien ja lasisulan säteilyhäviöstä. Lasikanavasta aiheutuu myös konvektiolämpöhäviötä. Konvektiolämpöhäviö vapaalle konvektiolle voidaan esittää yhtälöllä 17.

$$q_{konv} = h_{konv} A_{kanava} (T_{pinta} - T_{ymp}) \qquad (17)$$

missä

q_{konv} konvektion lämpöteho [W]

h_{konv} konvektiokerroin [W/m^{2}K]

Konvektiokertoimen arvoja vapaalle konvektiolle on h_{konv}=3,5 – 50 W/m^{2}K ja ilman pakotetulle konvektiolle 10 – 500 W/m^{2}K. Lasikanavan konvektiolämpöhäviölle saadaan arvoksi noin 160 kW ja lasiuunille 200 kW

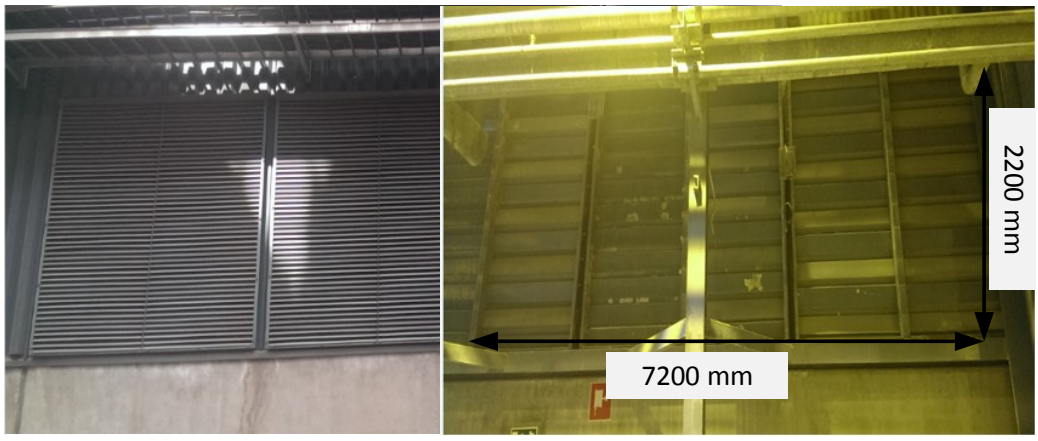
Todellisuudessa lasikanavan lämpöhäviö lienee laskettua lämpöhäviötä suurempi. Lasikanavan vastukset ovat teholtaan luokkaa 190 kW.

Kaikki lasikanavan luovuttamasta lämpöhäviöstä ei kulkeudu Robertson kanavasta ulkoilmaan, koska imukaapin alipaineen takia on oletettavissa että ilman virtaussuunta on kanavasta uunihalliin.

6.5 Ilmanottosäleikköjen lämpöhäviö

Uunihallin alaosassa on neljä kappaletta 7200 x 2200 mm ilmanottosäleikköjä, joita aikaisemmin on käytetty korvausilman ottoon uunihallissa. Tällä hetkellä ilmanottosäleiköistä on poistettu toimilaitteet ja ne eivät ole säädettävissä. Lämmityskaudella ilmanottosäleikköihin on jopa laitettu muovikalvoja väliaikaisesti estämään ja eristämään kylmän ilman tuloa uunihalliin. (Venäläinen 2014)

Kuvassa 45 on esitetty ilmanottosäleikköjen rakenne. Säleikkö koostuu nivelöidyistä teräspalkeista, jotka on asetettu pitkittäissuunnassa toisiaan vastaan. Ulkopuolella ulkoverhouksessa on pienempi säleikkö. Kuvasta huomaa että säleikön raameissa on eristämätöntä rakennetta, josta vuotoilma pääsee uunihalliin.



Kuva 45. Ilmanottosäleikkö ulkoapäin vasemmalla ja säleikkö uunihallissa oikealla.

Kuvasta huomataan, että säleikköjen ollessa kiinni ne eivät ole tiiviitä rakenteita. Uunihallin alaosassa imukaapin aiheuttaman vedon tuntee säleikköjen luona. Ilmanottosäleiköstä mitattiin virtausnopeuksia SwemaMan 2000- virtausnopeusmittarilla. Mittaukset suoritettiin 13.5.2014 tilanteessa, jossa kuusi kahdeksasta kuidutuslaitteesta oli käynnissä. Mittauspöytäkirja on diplomityön liitteenä 2. Mittausten tarkoituksena oli määrittää ilmanottosäleikköjen lämpöhäviöiden laskennas-

sa käytettävät alkuarvot ja selvittää ilmanottosäleikköjen umpeen eristämisen kannattavuus.

Säleikköjen energiahäviö koostuu vuotoilmasta ja johtumislämpöhäviöstä pinnan lävitse. Vuotoilman määrä voidaan selvittää yhtälöllä 18.

$$q_m = \rho w_m A_{säleikkö} \tag{18}$$

missä

ρ	ilman tiheys	[kg/m^3]
w_m	ilman virtausnopeus	[m/s]
$A_{säleikkö}$	säleikön vapaa pinta-ala	[m^2]

Virtausnopeudeksi valittiin eri mittauksilla saatujen ilman virtausnopeuksien keskiarvo. Säleikön pinta-alalla tarkoitetaan alaa, joka on avoimessa kosketuksessa ilman kanssa. Massavirran arvioinnin luotettavuuteen vaikuttaa virtausnopeuden profiili, jota on mahdoton mitata säleikköväleistä ja se aiheuttaa virhettä massavirran määrittämisessä.

Nyt voidaan laskea vuotoilman entalpiavirta yhtälöllä 19.

$$\dot{H}_{vuotoilma} = c_p(T_{imukaappi} - T_{ulk}) \tag{19}$$

Koska vuotoilma päätyy rakennuksessa imukaappiin, voidaan lämpötilana käyttää imukaapin lämpötilan neljän kuukauden keskiarvoa luotettavan tuloksen saamiseksi.

Rakenteen johtumishäviö voidaan määrittää eristetyssä tilanteessa ja eristämättömässä tilanteessa seuraavilla yhtälöillä. Johtumislämpöhäviön määrittämiseen tarvitaan lämmönläpäisykertoimen lisäksi rakenneosan pinta-ala sekä rakenneosan molemmin puolin vallitsevat lämpötilat. Vallitsevina lämpötiloina käytetään jokaisen kuukauden keskiarvolämpötilaa. Lasketaan ensin lämpöresistanssi yhtälöllä 20.

$$R_t = R_{si} + R_{1...n} + R_g + R_{qn} + R_{se} \tag{20}$$

missä

R_t	rakenneosan lämpövastus	[m^{2}K/W]
R_{si}	sisäpuolisen kerroksen pintavastus	[m^{2}K/W]
$R_{1...n}$	eri rakenneaine osien lämpövastus	[m^{2}K/W]
R_g	ilmakerroksen lämmönvastus	[m^{2}K/W]
R_{qn}	ohuiden kerrosten lämpövastus	[m^{2}K/W]
R_{se}	ulkopuolisen kerroksen pintavastus	[m^{2}K/W]

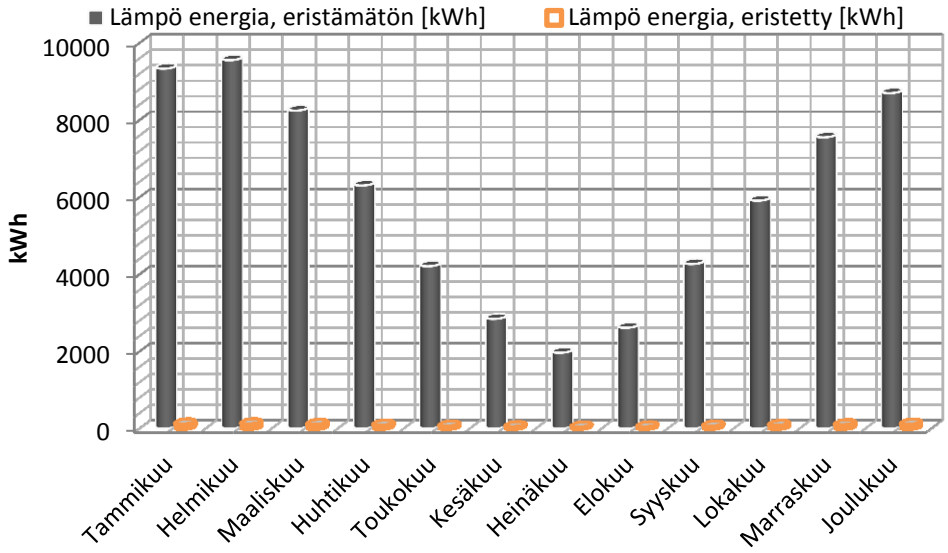
Nyt voidaan määrittää lämmönläpäisykerroin yhtälön 21 mukaisesti. Eristämättömässä tapauksessa rakenne koostui vain metallipalkista, kun taas eristetyssä tapauksessa oletetaan että materiaalit ulkoa sisälle ovat aaltopelti, lasivillaeriste, tuulensuojalevy sekä aaltopelti. Terässäleikön paksuudeksi valittiin 20 mm ja eristepaksuudeksi 120 mm. Eristeen lämmönjohtavuudeksi oletettiin 0,043 W/mK. Galvanoidun teräksen eli ulko- ja sisäverhoilun materiaalin emissivitiviteettinä käytettiin arvoa 0,45. Kuvaan 46 on laskettu kuukausittainen energiankulutus ilman eristystä sekä eristyksellä yksikössä kWh.

$$U = \frac{1}{R_T} \tag{21}$$

Lämmönläpäisykertoimen määrittämisen jälkeen saadaan johtumislämpöhäviö yhtälön 22 mukaisesti.

$$\Phi_{\text{johtuminen}} = UA(T_{sis} - T_{ulk}) \tag{22}$$

Kuvassa 46 on esitetty lämpöenergian kulutus kuukausittain kun säleiköt ovat eristetty ja eristämättöminä.



Kuva 46. Kuukausikohtainen säleikköjen energiankulutus ja energiankulutus eristämisen jälkeen

Kuvasta 46 nähdään että suurimmat energiansäästöt ovat saavutettavissa lämmitykuukausina. Lisäeristämisellä voidaan ainakin osittain ratkaista uunihallin alaosan jäätymisongelma talvella kun vuotoilman määrä saadaan minimoitua. Eristämisellä saavutetaan 2 – 10 MWh kuukausittainen energiansäästö.

6.6 Lasivillan valmistuksessa syntyvän jätelämmön hyödyntäminen; Likaiseen pesukiertoon sitoutunut lämpö

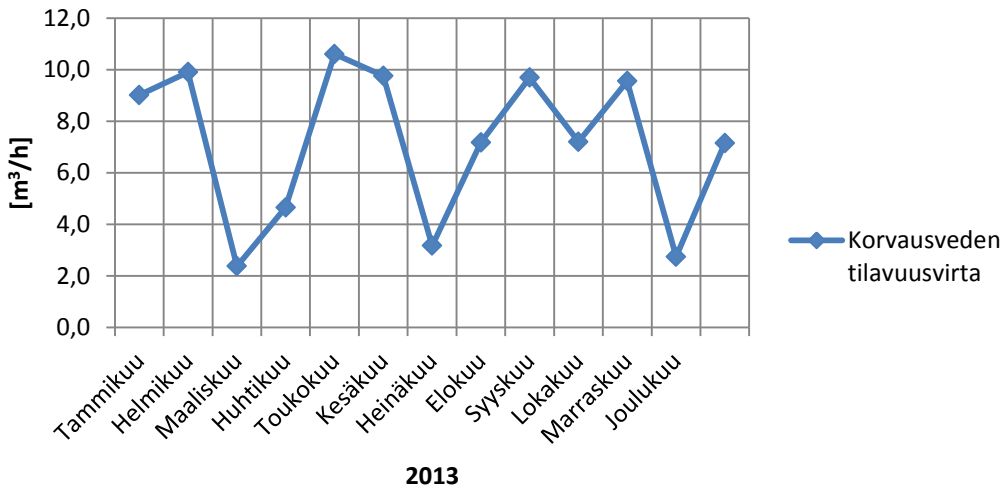
Tässä kappaleessa tarkastellaan lasivillan kuidutuksessa käytettävään lasivillan pesurivesikiertoon sitoutuneen lämpöenergian hyödyntämistä, teoreettista energiansäästömahdollisuutta sekä biosidien käytön alentumaa.

Pääosa lasivillatehtaan lämpöenergiasta poistuu lämpöhäviönä imukaapista poistettavan ilmavirran mukana. Poistoilmavirta on tehtaan suurin yksittäinen energiahäviö. Lämmöntalteenottolaitteiston sijoittaminen poistoilmavirtaan ei kuitenkaan ole toteuttamiskelpoinen vaihtoehto, sillä se on todettu useissa selvityksissä liian vaativaksi kohteeksi lämmöntalteenoton kannalta juuri likaantumisongelman vuoksi nykyisellä teknologialla.

Poistoilmavirta otetaan imukaapista neljällä erillisellä kanavalla poistoilmapuhaltimien avulla. Kanavan jälkeen poistoilmavirtaan suihkutetaan pesuvettä. Pesuve-

destä osa haihtuu ja poistuu savukaasun mukana savupiipunkautta ilmaan. Pesuvesisyöttöjen jälkeen poistoilma ohjataan pisaraerottimiin, joita on yhteensä neljä kappaletta. Pisaraerottimet poistavat osan poistoilman mukaan sitoutuneesta vedestä. Pisaranerottimilta erottuva vesi ohjataan pumppukuoppaan ja seulan kautta pesurivesisäiliöön.

Tässä pesuvaiheessa lämpöenergiaa siirtyy imukaapin poistoilmasta veteen. Kypsytysuunin vastaavanlainen savukaasun pesujärjestelmä yhtyy myös pesuriveden käsittelyjärjestelmään, josta siirtyy myös lämpöenergiaa prosessiveteen. Koska prosessivesikierto on suljettu kierto, jonne piipusta haihtuvan veden tilalle otetaan korvausvettä kaupungin vesijohtoverkostosta, voidaan esittää kuvan 46 mukainen kuvaaja prosessivesiverkkoon otetusta lisävedestä sekä toisaalta piipun kautta taivaalle haihtuneesta veden määrästä.



Kuva 47. Prosessivesikiertoon otettu lisäveden määrän keskiarvo tilavuusvirtaama. Tilavuusvirta vastaa piipun kautta haihtuvaa vesimäärää.

Kuvasta 47 nähdään, että korvausveden käyttö on sidoksissa tuotantomäärään. Tuotantolinjan ollessa seisokissa, myös veden kulutus on vähäisempää. Jatkuva korvausveden tarve selittyy sillä, että kuidutuksessa joudutaan aina valuttamaan, jolloin tarvitaan jäähdytysvettä.

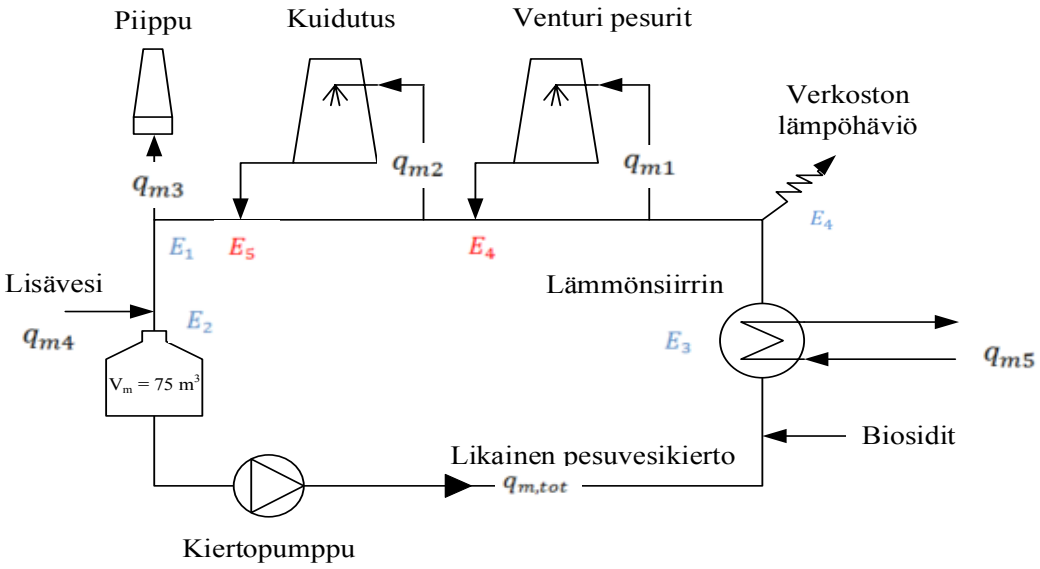
Biosidien käytön todellinen tarve tulee selvittää oikean jäähdytystekniikan löytyessä. Projektia on mahdollista tarjota esimerkiksi kolmannelle osapuolelle kuten

kaukolämmönjakeluyhtiölle tai lämmitysenergiaa tarvitseville lähialueen yrityksille, kun mitoittavat arvot lämmöntalteenottolaitteistolle ovat tiedossa.

Tällä hetkellä pesurivesikierron vesi johdetaan vesilaitokselle puhdistettavaksi ja jäähdytettäväksi ilman lämmöntalteenottoa. Jäähdytysvesi sisältää muun muassa sideainetta ja lasivillakuitua, joten se on lämmönsiirtopintoja likaavaa. Kiinteitä aineita poistetaan rumpuseuloilla, mutta kiertoon on mahdollisesti kertynyt myös liuenneita aineita, jotka voivat saostua sopivissa virtaus- tai lämpötilaolosuhteissa. Tämä likaavuus- ominaisuus asettaa haasteita lämmöntalteenottolaitteistoille. Pesukierron likaisuudesta, liuenneiden aineiden mahdollisesta saostumisesta tai biologisesta aktiviteetista ei ole tarkkaa tietoa.

Pesukierrossa joudutaan käyttämään biosideja eli kemiallisia aineita, joiden tarkoitus on tuhota tai tehdä haitalliseksi eliöitä, jotka elävät pesukiertovedessä. Nämä bakteerit ovat ihmisille haitallisia ja aiheuttuvat terveysvaaraa esimerkiksi kulkeutuessaan vesihöyryn mukana hengitykseen. Alentamalla pesukierron veden lämpötilaa, voidaan mahdollisesti vaikuttaa biosidien käyttöön, niin että niiden käyttö laskee. Esimerkiksi legionellabakteerin optimaalisin kasvulämpötila-alue on 30 – 37 °C. Bakteerien kasvumahdollisuudet heikkenevät, kun lämpötila alittaa 20 °C. Biosidien käytön lasku on seurausta siitä, että eliöillä ei ole enää niin suotuisat olosuhteet kehittyä pesuvedessä, kun lämpötila on matalampi.

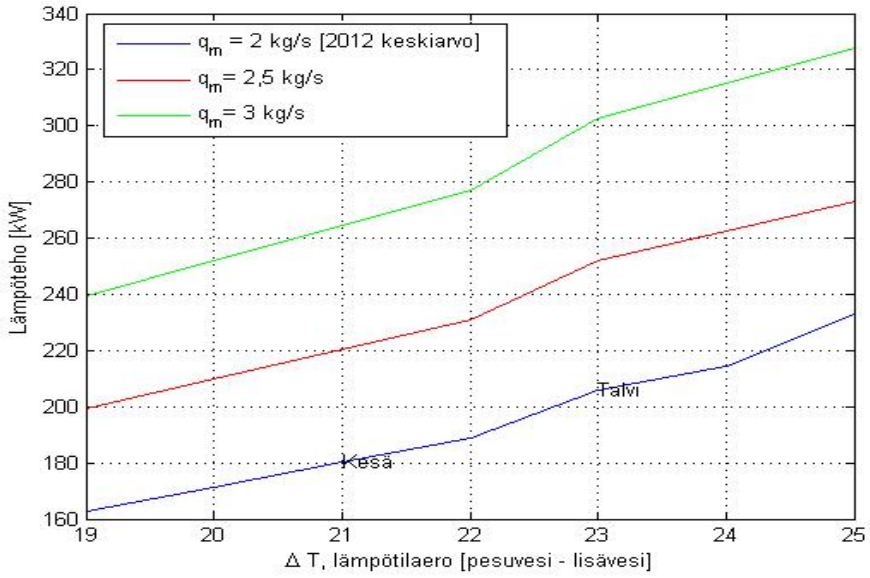
Likaiseen pesukiertoon sitoutunutta lämpöenergiaa voidaan hyödyntää esimerkiksi korkealämpöpumpulla, jolla pystytään tuottamaan 75 °C- asteista vettä. Likaiseen pesukiertoon sitoutunutta energiamäärää voidaan arvioida taseyhtälöiden avulla kuvan 48 mukaisesta yksinkertaistetusta prosessivesikierrosta.



Kuva 48. Pesuvesikierron jätelämmön talteenottoon vaadittavat mitoitusparametrit. Pesuvesikiertoon tulevat energiavirrat ovat merkitty kuvaan punaisella ja lähtevät sinisellä.

Kuvasta 48 nähdään, että pesuvesikiertoon sitoutuu lämpöä kuidutuksesta ja venturipesureilta. Lämpöä puolestaan kuluu piipun kautta haihtuvan vesihöyryn mukana sekä verkoston lämpöhäviönä. Verkoston lämpöhäviö on riippuvainen ulkoilman lämpötilasta.

Tällä hetkellä prosessiveteen sitoutuneen lämpöenergian määrää voidaan arvioida tutkimalla prosessiin otettua lisävettä ja sen lämpenemistä. Lämmöntalteenotto muuttaisi tilannetta niin, että piipun kautta häviäisi vähemmän lämpöenergiaa, koska jäähdytysveden lämpötila laskisi. Lisäveden tarve pienentyisi veden jäähdytystehon kasvaessa. Verkoston lämpöhäviötä on mahdollista pienentää esimerkiksi eristämällä verkon osia. Kuvassa 49 on esitetty prosessiin sitoutuva lämpötehoarvio vuoden 2012 ja 2013 tietojen perusteella.



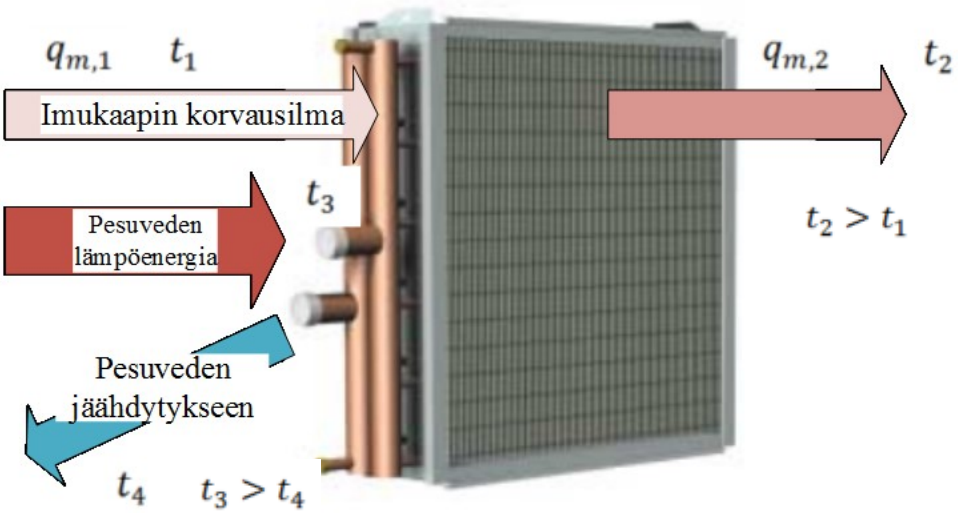
Kuva 49. Pesuveteen sitoutuva lämpöteho eri massavirroilla lämpötilaeron funktiona

Kuvasta 49 nähdään, että tällä hetkellä pesuvesikiertoon sitoutuu lämpöenergiaa vuodenajasta riippuen 180 – 205 kW teholla. Tätä lämpötehoa voidaan kasvattaa pienentämällä verkoston lämpöhäviöitä, sekä tehostamalla kuidutuksessa lämpöenergian siirtymistä pesuveteen kuidutusprosessissa. Teoreettisesti laskettu lämpöteho on enimmäismäärä, joka prosessista voidaan saada hyödynnettyä ilman lämmönsiirron tehostamista. Eräässä Hyvinkään lasivillatehtaaseen tehdyssä energiakatselmuksessa lämpötehoksi saatiin 700 kW. Todellisuudessa lämpöteho sijoittuu todennäköisesti näiden kahden arvon välille.

Esimerkiksi lämpöpumpulla, jonka tehokerroin on 4,voidaan kyseisestä lämmönlähteestä saada 720 kW lämpöteho.

6.6.1 Jätelämpönielu

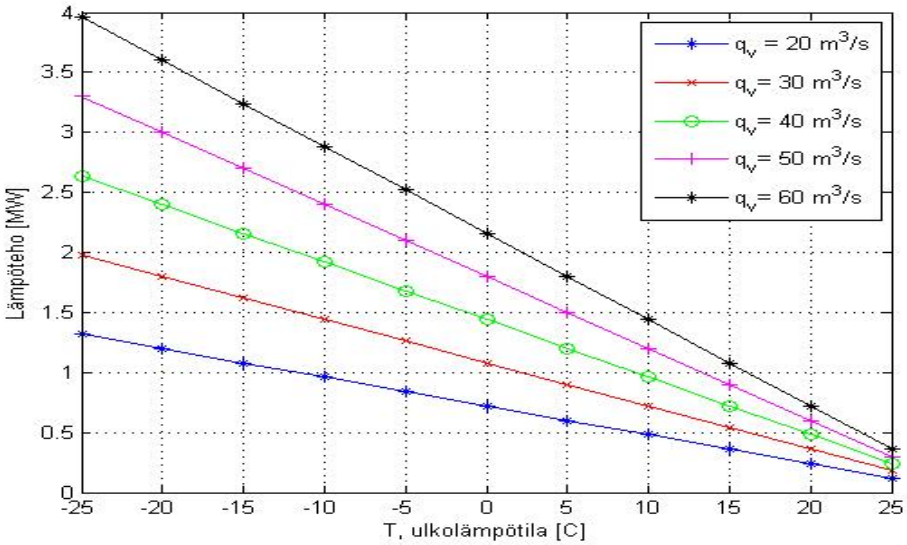
Hyvinkään lasivillatehtaalla yhtenä ongelmana jätelämmön hyödyntämisessä on lämpöenergian käyttö. Lämpöenergiaa voidaan tarjota myytäväksi, tai sitä voidaan ajaa lauhduttimiin tai vastaavasti talvella lamellilämmönsiirtimellä olisi mahdollista lämmittää imukaapin tarvitsemaa korvausilmaa. Tähän korvausilmaan on mahdollista sitoa huomattava määrä pesuvesikierron lämpöenergiaa. Kuvassa 50 on esitetty lamellilämmönsiirtimen toimintaperiaate pesuveden jäähdyttämiseen.



Kuva 50. Lamellilämmönsiirrin pesuvesikierron jäähdyttämiseen.

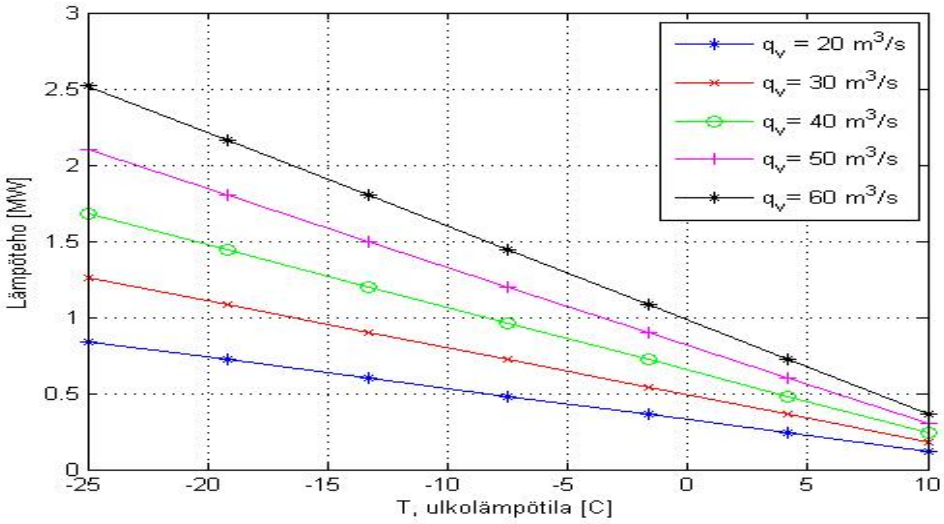
Jäähdytystehoa voidaan arvioida sen perusteella, kuinka paljon korvausilmaa johdetaan lamellilämmönsiirtimen lävitse imukaappiin. Ratkaisussa imukaapin korvausilma tulee keskittää kulkemaan lamellilämmönsiirtimen lävitse, joka toimii esilämmittimenä.

Taulukossa 51on esitetty lamellilämmönsiirtimen kapasiteetti ulkoilman lämpötilan ja eri tilavuusvirtojen funktiona. Ilmaan sitoutunut lämpöenergia laskettiin yhtälöllä 18, jossa sisälämpötilana eli referenssilämpötilana käytettiin + 30 °C.



Kuva 51. Lamellilämmönsiirtimen jäähdytysteho ulkolämpötilan ja korvausilman tilavuusvirran funktiona.

Todellisuudessa referenssilämpötila laskee, kun pesuveden lämpötila laskee. Pesuveden lämpötila määrää imuilman esilämmityksen teoreettisen referenssilämpötilan. Esimerkiksi haluttaessa että pesukierron lämpötila on + 10 °C, joka lienee optimaalinen lämpötila bakteerien epäsuotuisille olosuhteille lämpöenergiaksi saadaan 0,5 MW. Kuvassa 52 on esitetty lamellilämmönsiirtimen teho kun referenssilämpötilana on +10 °C.



Kuva 52. Imukaapin imuilman esilämmitys eli lamellilämmönsiirtimen jäähdytysteho ulkolämpötilan ja korvausilman tilavuusilman funktiona.

Kuvasta 52 nähdään että ylimääräistä lämpöenergiaa on lamellilämmönsiirtimellä mahdollista käyttää imukaapin ilman esilämmittämiseen, jolloin esilämmitetty ilma saadaan lämmityskäyttöön. Esimerkiksi ulkolämpötilan ollessa -5 °C, saadaan ilmamäärällä 40 m^3/s jäähdytystehoksi 800 kW Menetelmän ongelmana on se, että prosessi vaatii toimiakseen imukaappien toiminnan eli prosessin tulee olla päällä. Myös kesäaikaan järjestelmää tulee käyttää esimerkiksi öisin, kun ulkoilman lämpötila on matalimmillaan. Tämä tulee ottaa huomioon kannattavuuslaskelmissa.

6.7 Lämpimän ilman pakotettu tuominen uunihallin alaosaan

Uunihallin yläosaan on kerrostunut huomattava määrä lasivillapölyä. Tämä voidaan huomata myös silmämääräisesti kattopilareiden päällä kerrostuneena kahden senttimetrin paksuisena pölykerroksena. Kuvassa 53 on esitetty kattopilarit sekä silmämääräisesti havaittavissa oleva pölykerros.

Kuva 53. Uunihallin kattopalkin lämpötila ja pölykerros. Vasemmalla kattopalkkirakenne, johon ilman keräyskanavan on mahdollista sovittaa.

Siirtämällä uunihallin kattotasoon kerrostunutta lämmintä ilmaa kohti imukaappia pakotetulla konvektiovirtauksella, voidaan siirtää myös uunihallin yläosaan tiivistynyttä lasivillapölyä kohti imukaappia, josta se on mahdollista ajaa imukaapin synnyttämällä imuvirralla lasivillatuotteeseen. Menetelmällä saavutetaan seuraavat edut:

- Imuilman sisältämä lämpöenergia on mahdollista hyödyntää siellä missä lämmintä ilmaa tarvittaisiin, eli uunihallin alaosassa

- Uunihallin yläkerta puhdistuu pölystä, jolloin prosessilaitteiden pölykuormitus ja likaantumisesta aiheutuva kuluminen vähenee
- Pölynerotukseen ja uunihallin yläilman puhdistukseen ei tarvita kalliita sähkösuodatin puhdistusmenetelmää
- Kerättyä pölyä ei tarvitse ajaa kaatopaikalle, vaan se on mahdollista hyödyntää lasivillatuotteessa, jolloin vältytään syntyvästä jätevirrasta ja jätemaksuista
- Hyödynnetään jo olemassa olevaa puhallinkapasiteettia

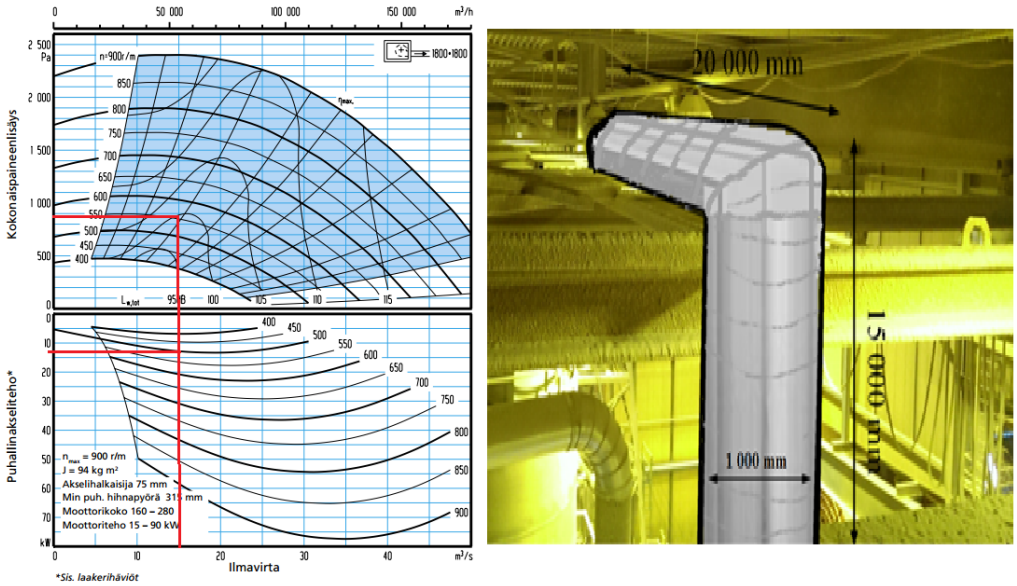
Lasivillaprosessin kannalta on suotavaa, jos imukaappiin voidaan tuoda kylmää ilmaa ulkoilmasta, koska lasivillaa joudutaan jäähdyttämään puhaltimilla kuidutuksen jälkeen. Ongelmana on ilman tuonti kuidutuslaitteelle. Kuidutuslaite vaatii, että ilma tulee tasaisesti imukaapin ympäriltä, jotta tuotu ilma ei häiritse lasivillakuidun levitystä imuviiralle. Imukaapille on yritetty korvausilman tuontia suoraan kuidutustasolle aksiaalipuhaltimella ja pyöreällä ilmanvaihtokanavalla. Korvausilman tuonnin käyttökokemukset eivät kuitenkaan olleet tyydyttäviä, koska ratkaisu ei vaikuttanut uunihallin jäätymisongelmaan. Kanavan ongelmana oli että ilma ei päätynyt imukaappiin. (Saarnivuo & Vilhunen 2014.)

Energiatehokkuuden kannalta on optimaalista, jos imukaapin korvausilma on mahdollista tuoda suoraan ulkoa tai kierrättää, niin että se ei sekoitu uunihallin lämmitysilman kanssa. Myös pienentämällä korvausilman ottoaluetta ja erottamalla korvausilmapiiri uunihallin energiataseesta voidaan saavuttaa lämmitysenergian säästöä. Energiatasetyökalulla pystytään arvioimaan ulkoilman käyttöä korvausilmana uunihallin energiataseeseen.

6.7.1 Ilman siirtolaitteisto ja energiansäästö

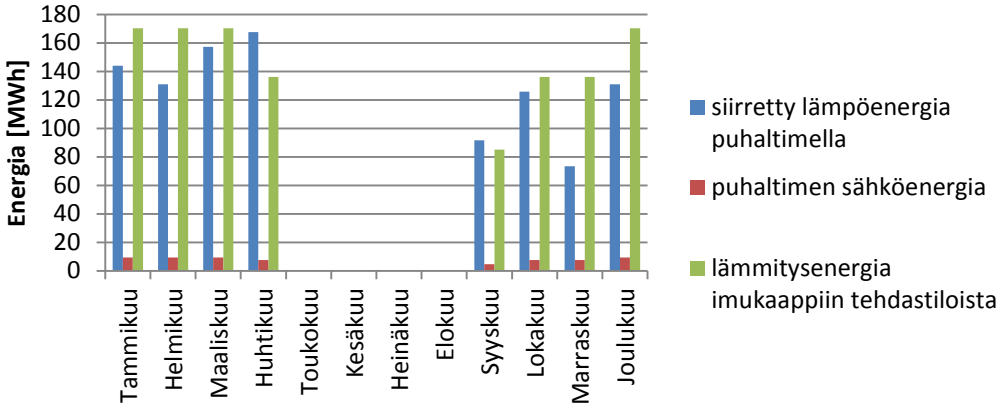
Laitteistoon vaaditaan ilmastointikanavaa sekä radiaalipuhallin. Radiaalipuhaltimille tulee varata tilaa uunihallin alakerrasta tai vaihtoehtoisesti tasolta Radiaalipuhaltimen sijoitus vaikuttaa ilmanvaihtokanavan painehäviöön ja näin ollen radiaalipuhaltimen energiankulutukseen. Järjestelmän energiansäästöä, takaisinmaksuaikaa ja kannattavuutta voidaan arvioida esimitoituksella.

Järjestelmän toiminnan kannalta huomioitavia tekijöitä ovat että puhaltimen tulee pystyä siirtämään ilmaa 15 metrin korkeudesta eli imupaineen tulee olla riittävän korkea. Pölypitoinen ilma ei saa vaikuttaa merkittävästi puhaltimen hyötysuhteeseen. Tilavuusvirraltaan puhaltimen tulee pystyä käsittelemään ilmaa hyvällä hyötysuhteella 15- 20 m^3/s. Tämä vastaa 16 – 22 % imukaapin korvausilmatarpeesta. Halli on leveydeltään 35,2 m, joten katonrajan keruuputkeksi voidaan valita 20,0 m painehäviön mitoituksessa. Yhteispituudeksi saadaan näin 35 m. Kun kanavistoksi valitaan standardikokoinen 1125 mm halkaisijaltaan oleva pyöreäkanava, jonka painehäviö on 1,3 Pa/m ja kertavastuksista aiheutuva painehäviö 400 Pa, saadaan mitoituspainehäviöksi 500 Pa. Kuvassa 55 on esitetty Swegon BC-055-puhaltimen puhallinkäyrämitoitus 15 m^3/s ja 550 Pa:n painehäviölle sekä ilmanottokanavan havainnekuva oikealla.



Kuva 54. Havainnollistava kuva Swegon BC-055- puhaltimen puhallinkäyrästä oikealla sekä lämpimän ilman poistokanavasta uunihallin katonrajassa vasemmalla. (Swegon Basic 2014.)

Kuvasta 54 nähdään että puhaltimen akseliteho on 13 kW. Tällä teholla voidaan tehdä kulutuslaskelma, jossa verrataan uunihallin yläosasta tuotua lämpöenergiaa, puhaltimen ottamaan sähkötehoon sekä tilanteeseen, jossa imukaappi ottaa korvausilman lämmitetyistä tehdastiloista. Kun uunihallin lämpötilaksi oletetaan lämmityskaudella +8 °C, saadaan kuvan 55 mukainen kuvaaja puhaltimen siirtämästä lämpöenergiasta.



Kuva 55. Swegon BC-055- puhaltimella teoreettisesti siirrettävissä oleva lämpöenergia.

Tuloilmakanavan ilmanottoaukkojen suunnitteluun tulee kiinnittää huomiota jotta lämmin ilma saadaan kerättyä tasaisesti uunihallin katto-osasta ja niin että tuloilmasuuttimet eivät pääse tukkeutumaan pölystä. Kanavana kannattaa käyttää pyöreää kanavaa, koska pyöreät kanavat kestävät alipainetta paremmin, kuin suorakaidekanavat. Kanaviston asentaminen seiniin tai kattoon vaatii kumia tai muuta tärinää vaimentavaa materiaalia melun vaimentamiseksi (Kulmala et al 2004.)

Jotta puhallinjärjestelmä toimii optimaalisesti, tulee uunihallin lämpöhäviöiden olla ympäri vuoden 120 – 290 kW. Kokeellinen lähestymistapa soveltuu tähän toimenpide-ehdotukseen, johtuen imukaapin toiminnasta. Tarkempia selvityksiä tarvitaan laitteiston energiatehokkuudesta ja energiankäytöstä.

Asennuksessa olisi mahdollista käyttää myös taipuisaa kumimateriaalista valmistettua letkua, jolloin väliaikaisten asennusten tekeminen olisi helppoa. Uunihallissa ilman kulkua voidaan seurata myös merkkisavujen avulla. Yhtenä vaihtoehtona olisi lämpimän ilman siirtäminen Robertson kanavasta. uunihallin alaosaan.

6.8 Kypsytysuunihallin ottaminen mukaan uunihallin ilmanvaihtoon

Pöyryn vuonna 2009 tekemässä energiakatselmuksessa ehdotettiin osatoimenpiteenä energian säästöön järjestelyä uunihallissa, jossa kypsytysuunin ja pakkaamon välinen osa erotetaan toisistaan mahdollisimman tehokkaasti. Toimenpiteellä

estetään pakkaamon lämmitetyn ilman virtaaminen imukaappiin. Tällä hetkellä uunihalliin on asennettu kypsytysuunin alkupäähän ensimmäiseen kärynpoistolaatikon kohdalle entiseen poistokanavaan aksiaalipuhallin. Erityisesti talvella voidaan kokeilla kylmän ilman tuontia aksiaalipuhaltimella kypsytysuunin päälle, jolloin imukaapista aiheutuvaa ilman vajetta saadaan korjattua. Tämän johdosta myös pakkaamosta uunihalliin kulkeutuvaa ilmaa saadaan vähennettyä.

Kuva 56. Tuotantotilassa sijaitsevan kypsytysuunin alkupään kärynpoistokanavan päälle asennettu aksiaalipuhallin.

Tällä hetkellä kuvan 56 puhallinta käytetään pääasiassa savunpoistoon palotilanteissa. Puhaltimen käytön muuttaminen ei vaadi investointikustannuksia, vaan jatkuvaa tavoitteellista käytön optimointia.

6.9 Rännivesien lämmöntalteenotto

Saint- Gobain Rakennustuotteet Oy:n Forssan lasivillatehtaalla on käytössä rännivesien lämmöntalteenotto. Järjestelmällä pyritään säästämään prosessivettä sekä keräämään lämpöä talteen. Järjestelmää käytetään, kun kuidutuskoneet ovat esimerkiksi kunnossapitotöiden takia poissa käytöstä ja sulaa lasia joudutaan ajamaan rännikouruun. Tässä ajotilanteessa sula lasi jäähdytetään veden avulla kiinteäksi lasiksi. Lasin luovuttama lämpöenergia siirtyy veteen. Veden lämpötila nousee ja vesi alkaa kiehua. Vesihöyry johdetaan erillisestä höyrynpoistokanavasta ulkoilmaan. Hyvinkään tehtaalla ei ole käytössä rännivesien lämmöntalteenottoa, jolla saadaan lämpöä talteen ja estetään veden muuttamista höyryksi ja pie-

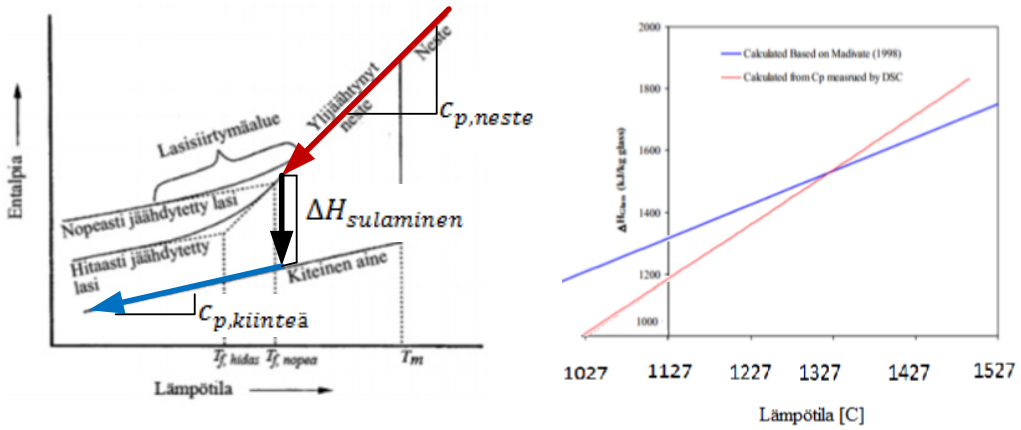
nennetään prosessivesihäviötä ja korvausveden tarvetta. Lasin jäähtyessä lämpöenergiaa siirtyy lasista veteen taseyhtälön 21 mukaisesti.

$$Q_{l,jääht} + Q_{l,jäh} + Q_{l,jääht} = Q_{v,läm} + Q_{v,höy} \qquad (21)$$

missä

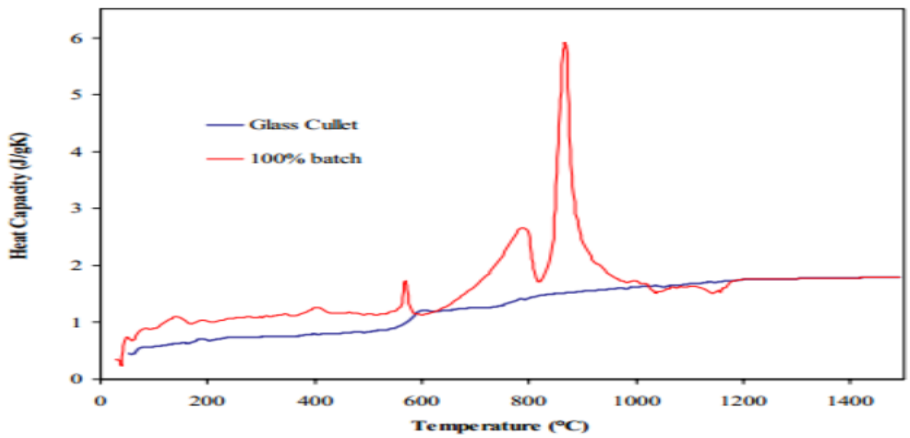
$Q_{l,jääht}$	lasisulan jäähtymisessä luovuttama lämpöenergia	[kJ]
$Q_{l,jäh}$	jähmettymiseen tarvittava lämpöenergia	[kJ]
$Q_{l,jääht}$	lasin jäähtymisen luovuttama lämpöenergia	[kJ]
$Q_{v,läm}$	veden lämpenemiseen sitoutunut lämpöenergia	[kJ]
$Q_{v,höy}$	veden höyrystymiseen sitoutunut lämpöenergia	[kJ]

Lasi on amorfinen kiinteä aine, eli lasilla ei ole tarkkaa sulamispistettä, vaan lasi sulaa ja jähmettyy siirtymäalueella. Kuvassa 57 on esitetty lämpötilan vaikutus entalpiaan lasia muodostavassa aineessa ja kuvaaja lasin sulamislämmön määrittämiseen. Kuvassa T_m on sulamislämpötila. $T_{f,nopea}$ on lämpötila, jossa nopeasti jäähdytetyn nesteen rakenne jähmettyy. $T_{f,hidas}$ on lämpötila, jossa hitaasti jäähdytetyn nesteen rakenne jähmettyy. (Shelby 2005.)



Kuva 57. Vasemmalla lämpötilan vaikutus entalpiaan lasia muodostavassa aineessa ja lasin jäähtymisen lämpötehon laskennassa tarvittavat parametrit. (Shelby 2005,mukaillen.) Oikealla sulamislämmön määrittämiseen käytettävä taulukko. (Kim & Matyas 2002, 31.)

Kuvasta 56 huomataan että ominaissulamislämpö 1050 °C lämpötilassa on noin 1200 kJ/kg_{lasi}. Ominaislämpökapasiteetti sulalle lasille saadaan kuvasta 58.



Kuva 58. Lasin ominaislämpökapasiteetin käyttäytyminen eri lämpötiloissa. (Kim & Matyas 2002 s.31)

Kuvasta huomataan että ominaislämpökapasiteetti on noin 1,3 kJ/kgK, kun lämpötila nousee yli 1000 °C. Lämpöteho voidaan nyt laskea kun tiedetään lasiränniin menevä sulan lasin massavirta yhtälöstä 22.

$$P_{jäähdytys} = q_m c_{p,sula} \Delta T_{sulatus} + q_m s + q_m c_{p,kiint} \Delta T_{jäähdytys} \qquad (22)$$

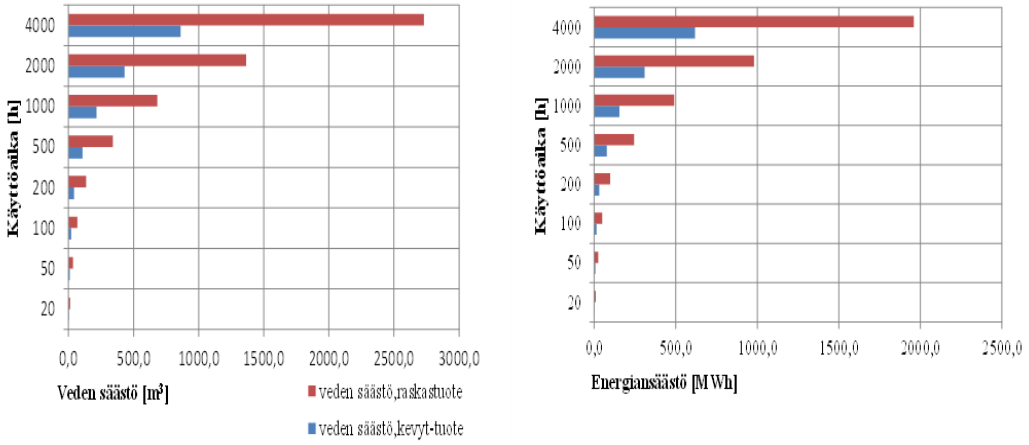
missä

$P_{jäähdytys}$	jäähdytysteho	[kW]
s	sulamislämpö	$[\frac{kJ}{kg}]$

Lasin jäähtymisessä vapautuva lämpö voidaan ottaa talteen lämmönsiirtimellä. Lämmönsiirtimen rakenteessa tulee huomioida lämpöpintojen likaantuminen. Prosessiveteen on rikastunut kalkkia jatkuvan haihdutuksen johdosta. Kalkki aiheuttaa lämpöpintojen likaantumisen, lämmönsiirron heikkenemisen ja jopa kanavien tukkeentumisen. Forssan lasivillatehtaalla on käytössä oikeanpuoleisen kuvan 59 mukainen itsepuhdistuva lämmönsiirrin lämmön talteenottoon ja prosessiveden säästämiseen.

Kuva 59. Itsepuhdistuva lämmönsiirrin siruveden lämmöntalteenottoon vasemmalla Forssan lasivillatehtaalla. Oikealla vesihöyryä Hyvinkään lasivillatehtaalla, kun lasisula ohjataan siruränniin.

Hyvinkään lasivillatehtaalla vastaavanlaisella prosessilla on mahdollista saavuttaa lämpöenergian lämmöntalteenotto ja prosessiveden säästö. Lisäksi säästetään sähköenergiaa, koska kuvan 22 höyrypuhallinta ei tarvitse käyttää, kun höyryä ei synny. Kuvassa 60 on esitetty arviot vuosittaisista lämpöenergiasäästöstä ja prosessivesisäästöstä. Veden-, lämpö- ja sähköenergiasäästöt ovat suoraan verrannollisia siihen, kuinka monta tuntia kuidutuskoneet ovat ohituksella ja sula lasi ohjataan ränniin.



Kuva 60. Prosessiveden teoreettinen säästöpotentiaali yhden lingon ollessa rännissä kevyellä ja raskaalla tuotteella vasemmalla. Oikealla energiansäästö yhden lingon ollessa rännissä kevyellä ja raskaalla tuotteella.

Kuvan 60 mukainen lämpöylimäärä voidaan ohjata esimerkiksi uunihallin lämmityspatterikiertoon paluupuolelle. Lämmön ohjaamisen seurauksena on mahdollista saavuttaa lämmityspiirin lämmitystarpeen pieneneminen. Veden säästämisen hyödyiksi voidaan laskea muun muassa kalkin rikastumisen esto siruvesikiertoon, koska höyrystymistä ei tapahdu enää niin suuressa mittakaavassa, kuin ilman lämmöntalteenottoa. Kalkin rikastuminen likaa lämmönsiirrinpintoja, lisää putkistohäviöitä sekä huonontaa pumppaushyötysuhdetta. Tämä tarkoittaa myös kustannussäästöjä, koska korvausvettä ei tarvitse ottaa kunnallisesta vesiverkosta. Myös höyrypuhaltimen pienemmästä käytöstä syntyy sähköenergian säästöä.

Forssan lasivillatehtaalla otettiin käyttöön vastaavanlainen lämmöntalteenottoratkaisu siruvedestä vuonna 2013 ja sieltä on saatu hyviä käyttökokemuksia prosessille.

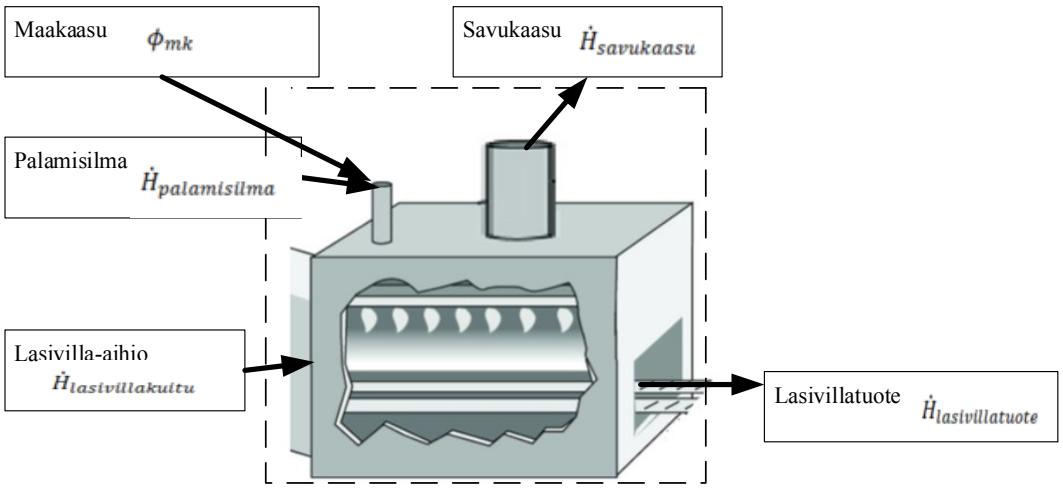
6.10 Lämpöenergian sitominen kypsytysuunin palamisilmaan

Vuonna 2013 kypsytysuunia käytettiin 1,7 MW keskiarvoteholla. Yhteensä kypsytysuuni vastasi noin 21 % koko tehtaan maakaasunkulutuksesta. Maakaasun tarvitsemaa palamisilmaa ei esilämmitetä, vaan savukaasut johdetaan savupiip-

puun ilman luvoa eli palamisilman esilämmitintä. Savukaasun lämpötila on vuodenajasta riippuen noin 250 °C.

Kypsytysuunissa on yhteensä seitsemän maakaasupoltinta, ja ne sijaitsevat kypsytysuunin katolla. Palamisilmapuhaltimet ovat kahdennettu ja ne sijaitsevat kypsytysuunin seinustalla. Savukaasun poisto eli kärynpoisto tapahtuu kypsytysuunin molemmista päistä. Savukaasut johdetaan samaan kanavaan, josta ne ohjataan edelleen venturipesureille.

Voimalaitoksissa on tavallista että palamisilmaa esilämmitetään savukaasuilla, jolloin polttoaineen kulutus pienenee ja polton hyötysuhde paranee. Kuvassa 60 on esitetty kypsytysuunin energiatase.



Kuva 61. Kypsytysuunin energiatase

Kuvasta 61 nähdään että tulevia energiavirtoja ovat maakaasun lämpöenergia, palamisilmaan sitoutunut lämpöenergia sekä lasivilla-aihioon sitoutunut lämpöenergia. Poistuvia energiavirtoja ovat savukaasun mukana poistuva energiavirta ja lasivillatuotteeseen sitoutunut energia. Pöyryn raportin mukaan prosessiteollisuuden energia-analyysissä esitettiin maakaasun kulutuksen vähentämistä kypsytysuunilla. Ehdotuksessa todettiin että palamisilman lämpötila voidaan nostaa 60 °C lämpötilaan ilman priimausta. Priiimamisella tarkoitetaan ulkopuolisen lämmönlähteen hyödyntämistä lämpötilan nostamisessa.

Toisaalta esilämmitys voidaan toteuttaa esimerkiksi savukaasuihin sitoutuneen lämpöenergian hyödyntämisellä, jolloin ulkopuolista lämpöenergiaa ei tarvita.

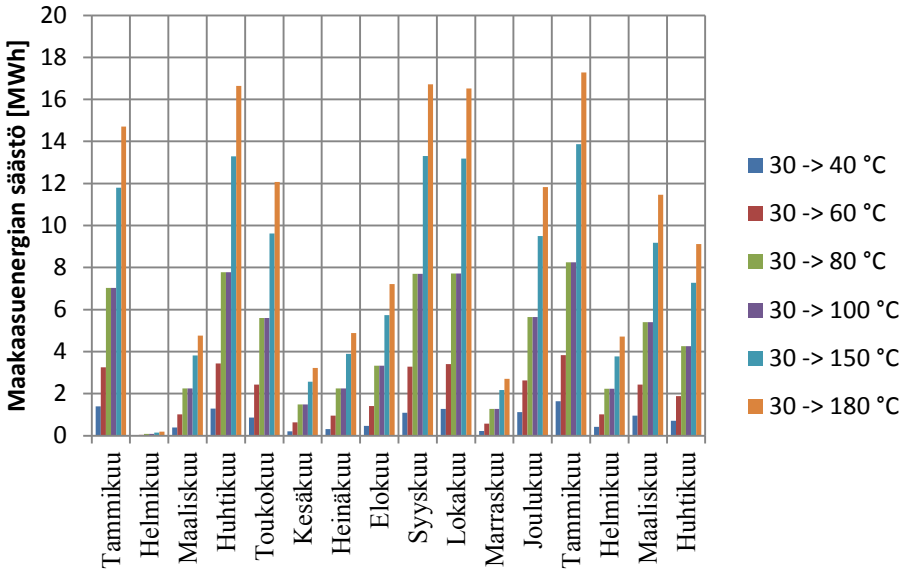
Maakaasu palaa palamisyhtälön 23 mukaisesti:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \qquad (23)$$

Palamisyhtälö voidaan kirjoittaa myös massataseena, kun tarkastellaan yhden metaanikilon palamista yhtälön 24mukaisesti:

$$1\ kg + 4\ kg \rightarrow 2{,}75\ kg + 2{,}25\ kg \qquad (24)$$

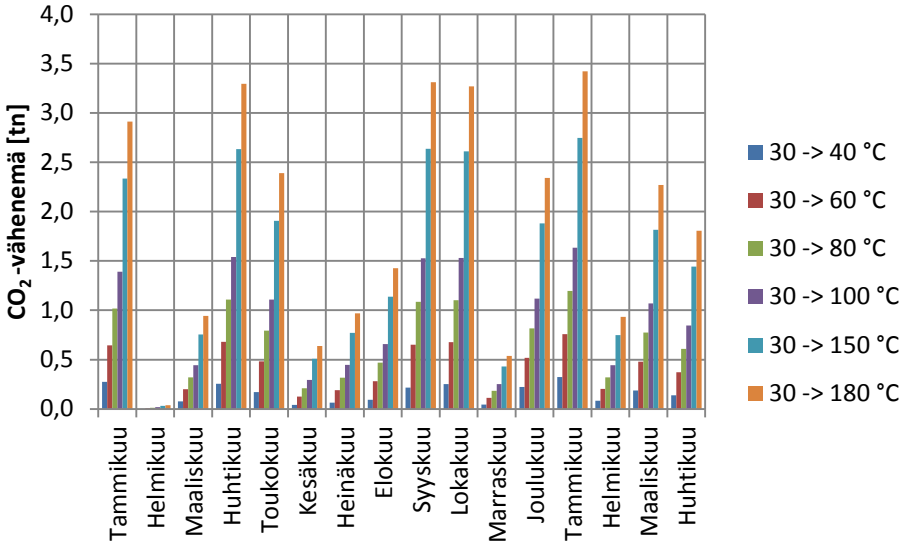
Palamisyhtälön massataseesta ilmamäärän keskiarvomassavirraksi 1.1.2013–1.5.2014 aikaväliltä saadaan 0,14 kg/s. Nyt voidaan laskea maakaasun säästöpotentiaali kun palamisilman lämpötilaa nostetaan. Kuvassa 62 on esitetty maakaasuenergian säästö megawattitunneissa eri palamisilman esilämmityksen lämpötilan kohottamisen arvoilla.



Kuva 62. Maakaasuenergian säästö palamisilman esilämmityksen funktiona.

Kuvasta 61 huomataan, että nostamalla palamisilman lämpötilaa 150 °C asteeseen, saavutetaan 89 MWh vuotuinen maakaasuenergian säästö.

Maakaasun poltossa syntyy hiilidioksidia. Lämmittämällä palamisilmaa voidaan vaikuttaa maakaasun käytön pienentämiseen, jolloin myös CO_2- päästöt pienenevät. CO_2- pienenemä on esitetty kuvassa 62.

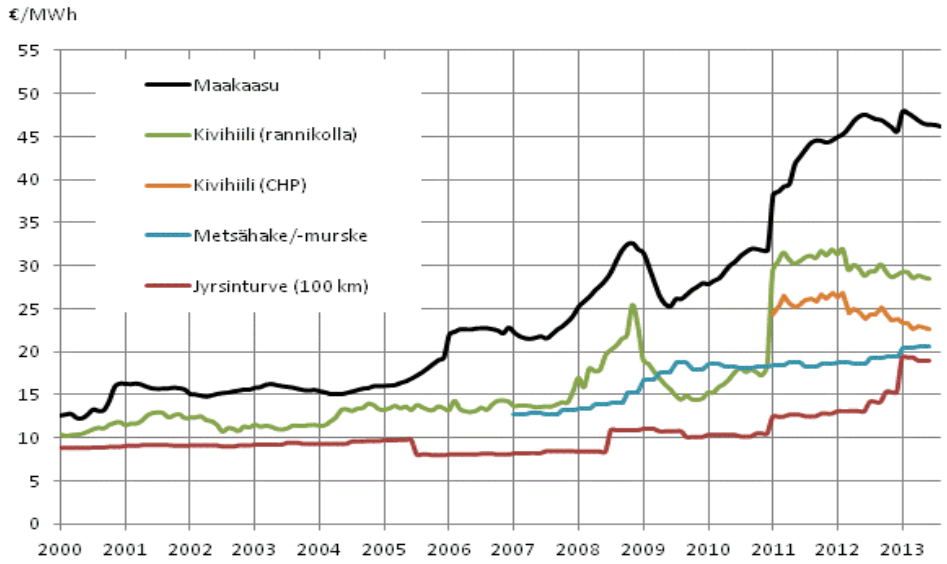


Kuva 63. Hiilidioksidipäästöjen vähenemä palamisilman esilämmityksen funktiona.

Kuvasta 63 huomataan, että nostamalla palamisilman lämpötilaa 150 °C asteeseen, voidaan saavuttaa vuodessa 24,4 tonnin hiilidioksidipäästö säästöt. Hyvinkään lasivillatehdas kuuluu päästökaupan piiriin, joten jokaisella vähennetyllä hiilidioksiditonnilla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä.

Hiilidioksidipäästöjen vähentämistä voidaan hyödyntää markkinoinnissa positiivisen ympärisötehokkuuden vahvistamisessa. Näin ovat tehneet useat energiaa tuottavat ja käyttävät yritykset 2000- luvulla.

Maakaasun hinta on kasvanut voimalaitospolttoaineissa 2000- luvulta lähtien. Suomessa maakaasu tuodaan Venäjältä ja sen hinta koostuu energiamaksusta ja siirtomaksusta. Vähentämällä maakaasunkulutusta voidaan vähentää maakaasun käytöstä aiheutuvia kustannuksia. Kuvassa 64 on esitetty maakaasun ja muiden voimalaitospolttoaineiden hinnan kehitys.



Kuva 64. Voimalaitospolttoaineiden hinnan kehitys 2000- luvulla.

Maakaasun hinnankehitys kuvaajasta nähdään että maakaasun hinnan kehitystrendi on ollut kasvava 2000- luvulta lähtien. Maakaasun hinnan noustessa myös palamisilman esilämmittimen takaisinmaksuaika lyhenee ja investoinnista tulee entistä kannattavampi. Kuvassa 65 on esitetty Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n Hyvinkään tehtaan lasiuunin palamisilmapuhallin vasemmalla sekä oikealla esimerkillinen rekuperaattorikytkentä savukaasulinjasta palamisilmalinjaan.

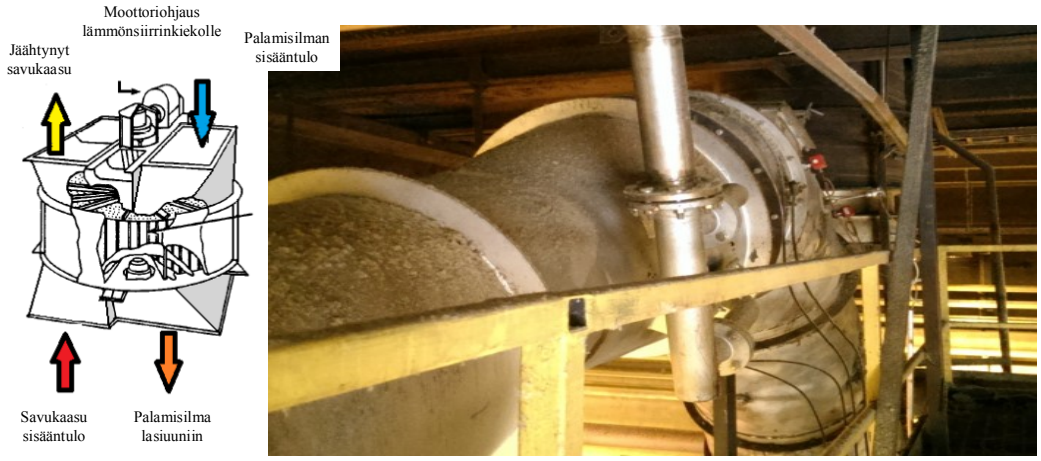
Kuva 65. Palamisilmapuhallin vasemmalla ja rekuperaattorikytkentä oikealla.

Hyvinkään lasivillatehtaalla ei ole systemaattisesti tarkasteltu palamisilman esilämmitystä. Hanketta ei ole toteutettu, koska kypsytysuunista tuleva savukaasu sisältää muun muassa kypsytysuunissa poistuvia hartsiyhdisteitä, lasivillan viiralle tarttumisen estoon käytettyjä lisäaineita sekä viiran voiteluaineita. Kyseiset yhdis-

teet aiheuttavat savukaasukanaviston ajoittaista tukkeentumista ja umpeen kuroutumista. Lähtökohdat tekevät lämmöntalteenoton kohteessa haastavaksi. Lämmöntalteenotto tulee toteuttaa menetelmällä, jossa lämmönlähteen likaisuus ei aiheuta toimintahäiriöitä lämmönsiirtimessä.

Rekuperaattori- tyyppiset lämmöntalteenottolaitteistot soveltuvat likaisten savukaasujen käsittelyyn (Sefe 2010 s. 16). Yhtenä keinona voidaan tutkia myös mikä aiheuttaa savukaasujen likaantumista ja miten sitä voidaan vähentää. Onko mahdollista pienentää savukaasupuhaltimen alipainetta ja vähentää likaavan aineksen kerääntymistä savukaasuun tai voidaanko rekuperaattori toteuttaa virtausteknisesti niin, että likaavat ja tahmeat ainesosat eivät tartu lämmönsiiriinpintoihin.

Kuvassa 66 on esitetty pyörivä kiekko lämmönsiirrin sekä savukaasukanava oikealla.



Kuva 66. Savukaasun lämmöntalteenottoon käytettävä pyörivä kiekkorekuperaattori oikealla ja vasemmalla kypsytysuunin savukaasukanava.

Investointia kannattaisi miettiä etenkin uutta kypsytysuunia hankittaessa. Uusille kypsytysuuneille luvataan 25 % parannusta energiatehokkuudessa. Palamisilman esilämmityksellä energiatehokkuutta voitaisiin edelleen parantaa.

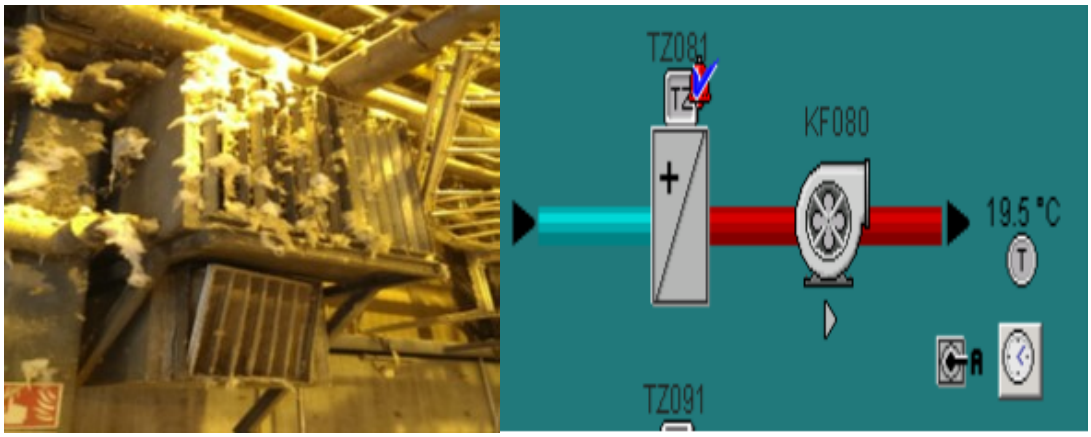
6.11 Lämmityspatterien uusiminen

Osa uunihallin lämmityspattereista on tullut elinkaarensa päähän. Lämmityspattereita on peruskorjattu säännöllisesti, mutta uunihallin vaativista olosuhteista johtuen osa laitteistosta on tullut vaihtokuntoon. Tähän kappaleeseen on kerätty uusimista vaativat lämmityspatterit sekä niiden mitoitustiedot ja automaatiokytkennät.

Lämmityspatterien uusimisen tarve voidaan osoittaa seuraavilla olettamuksilla:

- Silmämääräisesti tarkastettuna lämmityspatterien voidaan todeta olevan huonossa kunnossa
- Prosessihenkilökunnan kokemusten perusteella
- Visionik- ohjelmiston antamien vikatietojen perusteella lämmityspatterin voidaan sanoa olevan häiriötilassa

Kuvassa 67 on esitetty silmämääräisesti eniten uusimista tarvitsevat lämmityspatterit.



Kuva 67. Vuodelta 1981- oleva eniten uusimista tarvitseva uunihallin alakerran lämmityspatteri vasemmalla sekä oikealla kuva visonik- ohjelmistosta, jossa näkyy lämmityspatterin häiriö sekä puhaltimen käyttämättömyys.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän diplomityön tavoitteena oli tuottaa energiankäytön ja energiansäästöpotentiaalin tarkastelu Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy Hyvinkään lasiviltehtaalle. Työssä mallinnettiin energiankäyttöä vuodelta 2013 kerätyn datan pohjalta. Tutkimuksilla ja tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että johdonmukaisessa energianseurantajärjestelmässä on kehitettävää. Energiatehokkuuden yhdistäminen osaksi WCM- konseptin ympäristöpilaria tarkoittaa energiankäytön seuraamisen ja kehittämisen keskittämistä. Lähtötason selvittämisellä voidaan seurata energiatehokkuusprojektien todellista tulosta. Esimerkiksi tuotetun lämpöenergian kustannusten selvittämisessä havaittiin puutteita energiamittauksissa. Tässä diplomityössä esitettiin käytännön tasolla energiatehokkuuden implementointi WCM- konseptiin.

Energiatasetyökalun ja esikuva-analyysin pohjalta havaittiin lasivillan valmistusprosessissa kohteet, joista olisi saavutettavissa jätelämpöenergian talteenottoa. Suurimmat lämpöhäviöt ovat imukaapista poistuvassa imuilmassa, pesuvedessä ja poistoilmanvaihdon poistoilmassa. Havaittua ylijäämälämpöenergiaa voitaisiin hyödyntää kiinteistön lämmittämisessä ja teknistaloudellisessa mielessä ja edelleen pienentää energiakustannuksia. Investoinnilta ei voida välttyä, jos hanke toteutetaan. Investointi voidaan rahoittaa niin sanotulla ESCO- rahoituksella, jossa loppuasiakas maksaa investoinnin sen tuottamilla säästöillä sopimuksessa määritetyllä palvelukaudella. Energiatehokkuusprojekteihin on myös haettavissa työ- ja elinkeinoministeriöltä investointitukea. Investointituki lyhentää investointien takaisinmaksuaikaa ja kasvattaa yrityksen arvoa.

Tutkimustulosten perusteella selvitettiin keskimääräiset tehot, jolla hukkalämpöenergiaa syntyy ja esitettiin menetelmiä lämpöenergian hyötykäyttöön. Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että ylijäämälämpöenergialla voitaisiin pienentää omia lämmityskustannuksia ja sitä voisi riittää myyntiinkin oikean yhteistyökumppanin löydyttyä. Tutkimusten perusteella löydettiin myös muita energiansäästötoimenpiteitä, joilla voidaan säästää energiaa ilman investointeja. Kyseisiä toimenpiteitä ovat muun muassa konttorin kesäsulkuventtiilin sulkeminen, ilmata-

seen hallinta ja ovien järjestelmällinen sulkeminen. Yhteistä toimenpiteille on että ne vaativat jatkuvaa seurantaa ja aktiivista toimimista asian eteen.

Keskeisimmät energiaa säästävät toimenpiteet, jotka vaativat aktiivista toimintaa säästöjen eteen ovat esitetty taulukossa 5. Tarkkaa energiansäästöä ei voi kohteista myöskään määritellä, vaan ne ovat vaativat erillisiä selvityksiä ja kokeita.

Taulukko 5. Yhteenveto energiatehokkuusprojekteista, joille yhteistä on alhaiset investointikustannukset.

	Lämpöpumppu-käytön optimointi	**Lämpöakku lämmitysverkkoon**	**Konttorin energiakäytön optimointi**	**Uunihallin ilmataseen uudelleen järjestely**
Säästökohde	Sähkön hinnan vaihtelu	Lämpöenergian kulutushuippujen tasaaminen	Kaukolämpö-energia	Uunihallin lämpöhäviöt
Lämmönlähde	Jäähdytysverkosto	Jäähdytysverkosto	Lämmitysenergia	Lasikanavan ja lasiuunin lämpöhäviöt
Käyttöaika [h]	8 760	8 760	8 760	8 760
Teoreettinen maksimiteho [kW]	-	-	-	570*
Teoreettinen energiansäästö vuodessa [MWh]	Vaatii lisäselvityksiä	Vaatii lisäselvityksiä	0- 30	4 900
Tekiikka	Hintaseuranta, ohjauslogiikka	Lämpöakku, pumppu	Seuranta, keskittäminen	Puhallin, kanavat
Ongelma	Ei ajankohtainen	Ajankohtainen lämpöpumppujärjestelmää kehitettäessä	-	Ilman jakaminen uunihallissa
Muuta	-	-	-	* Lasiuunin ja kanavan säteilyhäviö

Taulukossa 6 on esitetty toimenpide-ehdotus lämpöenergian talteenottoon lasivillatehtaalla. Yhteistä ehdotuksille on että ne vaativat alkuinvestoinnin. Tyypillinen takaisinmaksuaika toimenpiteille on 2-4 vuotta. Tarkkaa takaisinmaksua hankkeille ei selvitetty, koska toimenpiteet vaativat tarjouspyyntöjä laite- ja asennustoimittajilta.

Taulukko 6. Yhteenveto energiatehokkuutta parantavista toimenpiteistä

	Pakkaamon LTO	**Tehdasyhteisten tilojen LTO**	**Ränniveden LTO**	**Säleikköjen eristäminen**	**Kypsytysuunin palamisilman esilämmitys**	**Lämmöntalteenotto pesuvedestä**
Hukkalämmön lähde	Pakkaamon poistoilma	Tehdasyhteisten tilojen poistoilma	Lasisulan jäähdytysvesi	Uunihallin tuloilma	Kypsytysuunin savukaasut	Pesuvesi
Käyttöaika [h]	8 760	8 760	3 560	8 760	5690	8760
Teoreettinen maksimi- teho [kW]	163	100	370	-	9,1	200
Teoreettinen energiansäästö vuodessa [MWh]	3 613	670	4 580	55	52	1752*
Veden säästö vuodessa [m^3]	-	-	6 350	-	-	**
Maakaasun säästö vuodessa [m^3]	144 776	-	n. 300 000*	-	3 440	lämmitykseen käytetty maakaasu
Polttoöljyn säästö [kg]	-	-	-	n. 2 000*	-	-
CO_2- päästö vähentymä [t]	350	48	-	-	14,3	Lämmitykseen kaytetyn maakaasun CO_2-sisältö
Tekniikka	Kaupallinen	Kaupallinen	Kaupallinen	Kaupallinen	Olemassa	Olemassa
Ongelma	-	-	-	-	Likaisuus	Likaisuus
Muuta	Imukaapin vaikutus?	-	Käytössä Forssan tehtaalla. (*Keskuslämmityksen maakaasun kulutuksen vähentyminen)	*(Vuoden 2013 kulutus- tietojen perusteella arvioitu)	-	Biosidien tarpeen vähentyminen, (*lämpöpumpulla jopa 6000 MWh), (** useita kuutioita pesuveden matalamman lämpötilan johdosta)

Taulukon perusteella voidaan todeta, että suurin teoreettinen energiansäästö voitaisiin saada ränniveden LTO:lla. Todellisuudessa hanketta tulisi arvioida vielä toimittajan laitetietojen ja esimerkiksi Forssan käyttökokemusten perusteella. Pesuveden ja savukaasun haastavuus liittyy niiden likaaviin ominaisuuksiin. Jätelämmönlähteet ovat erittäin likaavia, joka asettaa haasteita lämmönsiirtimille. Tämä ongelma tulee huomioida vaatimuksena käyttöönotettavalta tekniikalta. Esimerkiksi paikanpäällä voitaisiin varmentaa referenssikohteen tekniikan soveltuminen lasivillanvalmistusprosessiin.

Diplomityössä tutkittiin maakaasulämmityksen korvannutta lämpöpumppua ja sen todellista tehokerrointa kuluneen vuoden ajalta. Tarkastelussa havaittiin, että tehokerroin on vaihdellut välillä 1,1 -4,8. Aikaisemmin todellista tehokerrointa ei seurattu, vaan sen arveltiin liikkuvan kuukausittain välillä 3-5. Tehokerroin vaikuttaa suoraan lämpöenergian hintaan, mitä suurempi tehokerroin sitä edullisempaa on tuotettu lämpöenergia. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että jäähdytyskiertoon tulisi saada lämpöenergiaa myös seisokeissa, jotta lämmityskulut pysyvät edullisina myös tuotantoajan ulkopuolella. Työn pohjalta ehdotetaan, että lämmitysenergian hintaa seurattaisiin tarkemmin, jolloin voitaisiin paremmin vertailla millä lämmöntuotantotavalla tiloja kannattaisi eri tilanteissa lämmittää. Vesilaitoksella tehty energiankäyttövertailu osoitti, että vuonna 2013 lämmitykseen käytetty polttoöljy oli kustannuksiltaan vähintään puolet kalliimpi, kuin maakaasulämmitys, suora sähkölämmitys tai lämpöpumppulämmitys.

Ilmastonmuutos ja ilmastonmuutoksen torjuminen on ajankohtainen aihe, koska ilmastonmuutosta pidetään vakavimpana ympäristöuhkana. Teollisuus on suuri CO_2- päästöjen aiheuttaja ja Suomi on sitoutunut leikkaamaan hiilidioksidipäästöja useiden erilaisten sopimusten nimissä. Parantamalla energiatehokkuutta voidaan pienentää CO_2- päästöjä ja ehkäistä ilmastonmuutosta. Hiilidioksidipäästöjen vähentämisellä voidaan varautua myös päästöoikeuksien kustannusten nousuun. Tällä hetkellä hiilidioksidipäästöt eivät aiheuta kustannuksia, mutta tulevaisuudessa tilanne saattaa muuttua. Päästöjen väheneminen edistää yrityksen ympäristötehokkuutta. Energiatehokkuusinvestoinneille voidaan usein selvittää hiilidioksidipäästöalentumat.

Jatkuvalla energiatehokkuuden ja energiakustannusten pienentämiseen tarvitaan säännöllisin väliajoin tehtäviä ulkoisia ja sisäisiä auditionteja. Kokemus on osoittanut että tehokas tapa energiatehokkuuden parantamiseen on hyödyntää teollisuudessa hankittua osaamista ja olemassa olevaa tekniikkaa. Tämä vaatii aktiivista yhteistyötä ja verkostoitumista teollisuuden toimijoiden kanssa, jotta niistä saadaan kehitettyä tuottavia energiansäästöprojekteja.

Mahdollisia energiansäästöön tähtääviä jatkotoimenpiteitä voisivat olla esimerkiksi biosidien käytön tarpeellisuuden tarkastelu matalammassa pesuveden lämpötilassa, sadeveden hyödyntämisen teknistaloudellinen kannattavuus pesuvesikierrossa ja uusiutuvien energialähteiden kannattavuuden selvittäminen. Järjestelmällisellä hyötysuhteiden optimoimisella ja parantamisella voidaan saavuttaa energiansäästöä, mutta se vaatii resursseja. Tyypillinen esimerkki on paineilmaverkon toiminnan optimointi ja pumppujen käytön optimointi. Diplomityön aikana löytyi projekti pumppujen tehokkuuden parantamisesta, koska pumppausjärjestelmät eivät toimi tällä hetkellä pumppujen design- alueella, joka heikentää pumppaustehokkuutta.

Uusia investointeja suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon laitteistojen elinkaarikustannukset. Diplomityön tutkimuksen perusteella kävi ilmi, että esimerkiksi pumpun hankintaa suunniteltaessa ei tehdä järjestelmällisiä elinkaarikustannusanalyysejä. Elinkaarikustannusanalyysi on perusteltavaa pumpuissa, koska niiden energiakustannus muodostaa noin 70 % laitteiston kokonaiskustannuksista. Energiatehokkuusteknologia kehittyy jatkuvasti ja uusien tekniikoiden tullessa kilpailukykyisimmäksi ja tietämyksen lisääntyessä on keskeistä tehdä säännöllisin väliajoin kannattavuuslaskelmia erilaisille energiansäästötoimenpiteille. Hyvinkään lasivillatehtaalla on pinta-alaltaan laaja tasakatto, jota voisi hyödyntää esimerkiksi aurinko-energian talteenottoon. Aurinkopaneeliteknologian kehittyessä edullisemmaksi, voitaisiin miettiä aurinkosähkön kannattavuutta.

Energiatehokkuusinvestointien ja lämmöntalteenottoprojektien kannattavuutta arvioitaessa ei tulisi ainoastaan tarkastella takaisinmaksuaikaa. Vuonna 2012 kemianteollisuuden sijoitetun pääoman tuotto oli 6,6 %. Energiatehokkuusinvestoinnille, jonka takaisinmaksuaika on esimerkiksi kolme vuotta, saadaan ta-

kaisinmaksuajan jälkeiseksi sijoitetun pääoman tuotoksi 33 %. Edellä mainittu sijoitetun pääoman tuotanto on huomattavasti suurempi, kuin kemianteollisuuden sijoitetun pääoman tuotanto keskimäärin vuonna 2012.

8 YHTEENVETO

Tämän diplomityön tarkoituksena oli analysoida lasivillanvalmistusprosessin lämpö- ja sähköenergiankäyttöä. Perusteellisen analysoinnin jälkeen suunniteltiin toimenpiteitä Saint- Gobain Rakennustuotteet Oy:n Hyvinkään lasivillatehtaan energiatehokkuuden parantamiseen. Energiatehokkuusparannuksille laskettiin vuosittaiset sähkö- ja lämpöenergian säästöt, josta voidaan edelleen jatkaa tarkempiin investointilaskelmiin.

Diplomityössä käsiteltiin myös World Class Manufacturing- konseptin hyödyntämistä energiatehokkuuden parantamisessa ja sitä, miten sitä voitaisiin soveltaa järjestelmällisen energiatehokkuusjärjestelmän rakentamisessa. Diplomityön tavoitteena oli tuottaa tietoa lasivillatehtaan energiankäytöstä ja sen kulutuksen jakaantumisesta, jotta energiatehokkuusprojektit voidaan kohdentaa sinne, missä energiasta aiheutuvat kustannukset ovat suurimmat. Toisaalta näissä osissa saavutettavat kustannussäästöt ovat suurimmat.

Diplomityössä tuotettiin tietoa erilaisista prosessin lämpöhäviöistä ja energiavirroista, joita voidaan hyödyntää uusia järjestelmiä ja lämmöntalteenottojärjestelmiä suunniteltaessa. Työssä kerrottiin yleisesti teollisuudessa energiatehokkuutta parantavista toimenpiteistä, joilla on saavutettavissa energiansäästöä myös ilman suuria kiinteitä investointeja. Diplomityössä esiteltiin myös erilaisia energiatehokkuusprojektien rahoitusmalleja.

LÄHDELUETTELO

Aalto- yliopisto 2014. Kemiantekniikan osasto. Ke-42-1700 Kemian laitetekniikka I, Osa 3 Lämmönsiirto. [verkkodokumentti] [viitattu 26.5.2014] Saatavissa: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/ke-42.1700/materiaali/KE-42_1700_prujut_3.pdf

Aho, I & al. 2006. Asuinkerrostalojen ja toimistorakennusten energianhallinta: Opas isännöitsijöille ja kiinteistöhoitajille. Valtion tieteellinen tutkimuskeskus (VTT).

Ahonen, Tero 2013. BL40A2300 Energy efficiency – opintojakso. Luentomateriaali. Lecture 3: Energy efficiency in pumping systems. [viitattu 17.7.2014]

Crowe, John. 2012. Konsernin energiapolitiikka. Saint-Gobain konsernin johtaja. [sisäinen tiedote] [viitattu 4.7.2014]

Desmukh, Y. 2005. Industrial Heating: Principles, Techniques, Applications, and Design, Taylor & Francis Group, FL Sivuja 800. ISBN 978-0849-33-40-54

Discovery Channel 2012. How it's made Fiberglass insulation. [dokumentti video] [viitattu 16.4.2014] Saatavissa: http://www.youtube.com/watch?v=ahla7BT__m4

Euroopan komissio 2013a. Parhaan käytettävissä olevan tekniikan referenssidokumentti lasin valmistukselle.[pdf- dokumentti] [viitattu 28.4.2014] 485 s. ISBN 975-92-79-28284-3 Saatavissa: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/GLS_Adopted_03_2012.pdf

Euroopan komissio 2013b. Parhaan kätetävissäolevan tekniikan referenssidokumentti lasin valmistukselle.[pdf- dokumentti] [viitattu 28.4.2014] 485 s. ISBN 975-92-79-28284-3 Saatavissa: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/GLS_Adopted_03_2012.pdf

Euroopan komissio. 2014. Eurooppa 2020- tavoitteet. [verkkolähde] [viitattu 23.6.2014] Saatavissa: http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_fi.pdf

Gaia Group & AX-suunnittelu Oy. 2000. Pk-teollisuuden energiansäästöopas. Motiva. ISBN 952-5304-11-6

Haavio, Markus 2010. Ilmastonmuutos ja rahapolitiikka. Euro ja Talous- lehti. [verkko-artikkeli] [viitattu 16.6.2014] 8 S. Saatavissa: http://www.suomenpankki.fi/fi/julkaisut/euro_ja_talous/euro_ja_talous_vanhat/Documents/ET_3-2010_MarkusHaavio.pdf

Hiekka, Anna-Kaisa 2014. Energy champion. SG Gyproc. Kirkkonummi. Tiedoksianto 2.7.2014. Keskustelu 2.7.2014 [pdf-dokumentti]

Huhtakangas, Pirkko. 2008. Kehittyvä elintarvike. Ammattilehti. 2/2008 [verkkoartikkeli] [viitattu 1.7.2014] Saatavissa: http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/36-jateveden-hukkalammon-talteenotto-saastaa-energiakustannuksissa

Hyvinkään Kaupunki, 2009. Hyvinkään energia- ja ilmastostrategia 2009- 2016 ja energiatehokkuusohjelma 2009-2013. [Hyvinkään kaupungin www- sivuilta] [pdf- tiedosto] [viitattu 11.4.2014] 32 s. Saatavissa: http://www.hyvinkaa.fi/Tiedostot/AYR_Ymp%C3%A4rist%C3%B6_luonnonsuojelu/Energia_Ilmasto/Energiastrategia%20julkaisu.pdf

Hämeenniemi, Kauko. Mykkänen, Juhani. 2011. Hukkalämmön hyödyntäminen. Airix Talotekniikka Oy. [verkkoraportti] [viitattu 23.5.2014] Saatavissa: http://www.oulunkaari.com/tiedostot/Uusiutuvaenergia/raportit/hukkalammon%20hyod.pdf

Kaikko, Juha. 2014. BH50A0900 Kunnossapitotekniikka- opintojakson luentomateriaali. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [pdf- tiedostot] [viitattu 15.5.2014]

Kaikko, Juha. 2013. BH50A0300 Voimalaitosoppi- opintojakson luentomateriaali. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [pdf- tiedostot] [viitattu 29.7.2014]

Kala J., Laukkanen M., Siitonen, S, Stål N. 2010. Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä. Tutkimusraportti. Energiateollisuus, työ- ja elinkeinoministeriö. [verkkoraportti] [viitattu 23.6.2014] S.59 Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/teollisuuden_ylijaamalammon_hyodyntaminen_kaukolammityksessa_yit2010.pdf

Kasanen, E., Lukka, K. & Siitonen, A. 1991. Konstruktiivinen tutkimusote liiketaloustieteessä. Liiketaloustieteen Aikakausikirja. Vol 40 No. 3, s. 301-329.

Kim D. S & Matyas J. 2002. Batch Reactions of a Soda- Lime Silicate Glass. Pacific Northwest National Laboratory. U.S. Department Of Energy. [verkkoraportti] [viitattu 5.6.2014] Saatavissa: http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/pnnl-13994.pdf

Korpio, Eero. 2014a. Tuotantojohtaja, Työsuojelupäällikkö. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Tiedoksianto 15.5.2014. Keskustelu 2014.

Korpio, Eero. 2014b. Tuotantojohtaja, Työsuojelupäällikkö. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Tiedoksianto 26.5.2014. Keskustelu 2014.

Kulmala, Ilpo. Heinonen, Kimmo. Riipinen, Hannu. Säämänen, Arto. Welling, Irma.2004. Tietoverkko pölytorjunnan avuksi. VTT. TaTTL. LaTTL [verkkolähde] [viitattu 15.5.2014] Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/

Kurnitski, Jarek. Energiamääräykset 2012- opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Suomen Rakennusmedia Oy.150 s. ISBN: 978-952-269-063-0

Kärri, Timo. 2011. Kunnossapidon elinjakson huomioon ottaminen investointeja suunniteltaessa. Puheenvuoro. 4-5.10.2011. Kunnossapitopäivät Vantaa

Laakso, Marko. 2014a. Kunnossapitopäällikkö. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Tiedoksianto 5.5.2014 ja 16.7.2014. Tehdasesittelykierros 2014.

Lappalainen, Markku. 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja; suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki. Rakennustieto Oy. Tammerprint Oy. 200 s ISBN 978-951-682-945-9

Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2014. Teknillinen termodynamiikka [verkko-oppimismateriaali] [viitattu 12.5.2014] Saatavissa: http://www.kurssit.lut.fi/040301000/

Leskelä, Markku. Turunen, Teemu. 2012. Motiva Oy. Energiatehokkuuden mittausopas. [Motiva Oy:n www-sivuilla] [viitattu 29.5.2014] Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/6319/Hoyry-_lauhdesiirtojarjestelman_energiatehokkuuden_mittausopas_verkkoon.pdf

Luoma, Kalevi. 2012. Energiatehokkuusdirektiivi EED. Kuntamarkkinat 12.-13.9.2012 [seminaariesitys] [viitattu 16.4.2014] Saatavissa: http://www.kuntamarkkinat.fi/portals/2/Kalevi%20Luoma.pdf

LVI 01-10424. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. Helsinki: Rakennustieto. [Viitattu 24.6.2014]. Saatavissa LVI net -kortistosta. Vaatii käyttöoikeuden.

Mattila, Vesa- Ville. 2012. Energiatehokas teollisuuskiinteistö. Motiva Oy. [Motiva Oy:n www-sivuilla] [viitattu 31.3.2014] Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/5847/Energiatehokas_teollisuuskiinteisto.pdf

Mattila, Vesa. 2008. Sopimus tuo energiatehokkuuden arkeen ja johtamiseen. Energia-uutiset, 2008. Nro 1, s. 56-58

Motiva Oy, 2000. Pk- teollisuuden energiansäästöopas. Helsinki ISBN 952-5304-11-6 [verkkolähde] [viitattu 2.4.2014] 46 s. Saatavissa: http://www.sosiaaliala.fi/arkisto/ekarchive/20001219-094137-197.pdf

Motiva Oy, 2013. Energian loppukäyttö. . [Motiva Oy:n www-sivuilla] [viitattu 31.3.2014] Saatavissa: http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energian_loppukaytto

Nerg, Janne. 2014. BL20A0800 Sähkölämpötekniikka. Kurssimateriaali. [opintojakson www-sivuilta] [viitattu 21.5.2014] s. 47

Neste Oy, 1987. Teollisuushallin lämmityksen ja ilmastoinnin suunnittelutietoa. 388 s Espoo. ISBN 951-96063-1-9

Peräniitty, Markku. 1995. Sähkölämpötekniikat periaatteet ja sovellukset. Otatieto. Helsinki. ISBN 951-672-202-4

Plum, S., Graf, P., Beckers, M., Boersma, J., Dungen, E., Frijins, M., Verbakel, F. 2012. Advanced heating techniques for glass melting, Technische universiteit Eindhoven, Eindhoven. [verkkodokumentti] [viitattu 13.5.2014] Saatavissa: http://students.chem.tue.nl/mdp03/finalreport.pdf

Pöyry Energy Oy 2009a. SG- Rakennustuotteet Oy – prosessiteollisuuden energia-analyysi.[yrityksen sisäinen pdf- tiedosto] [viitattu 12.5.2014]

Pöyry Finland Oy. 2011. Motiva. Energiatehokkaat pumput. S.37 [Motivan www-sivuilta] [viitattu 3.6.2014] Saatavissa: http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/379/Energiatehokkaat_pumput.pdf

Rantakallio Antti, Ylinen Anne.2011. Elohopealamput pois- mitä tilalle ja millä hinnalla? Aalto- yliopisto [seminaariesitys] [viitattu 23.5.2014] Saatavissa: http://lightinglab.fi/ekovalo/News/3_ylinen_rantakallio_elohopealamput_pois.pdf

Rantanen, Salme. Pääkkönen, Rauno. 2008. Työhygienia, Kemialliset ja fysikaaliset tekijät. Työsuojeluhallinto. Tampere. [verkkolähde] [viitattu 15.5.2014] Saatavissa: http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2009/09/TSJ_86.pdf

RMEenergy Inc 2006. Ilman kerrostuminen [yrityksen www- sivut] [viitattu 14.5.2014] Saatavissa: http://rmenergyinc.com/?page_id=218

Roberts, P. 2006. Kun öljy loppuu. Uuden energiatalouden vaihtoehdot. Helsinki: Edita Prima Oy. ISBN 951-37-4575-9 UK: The Royal Society of Chemistry.

Saarnivuo, Heli. Vilhunen, Ari. Prosessi-insinööri, Työnjohtaja. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Tiedoksianto 19.5.2014. Palaveri 2014.

Safe Paykan 2010. Smelter Off-Gas Heat Recovery. Worley Parson Company. Dallas,Texas. [verkkodokumentti] [viitattu 18.6.2014] 36 S: Saatavissa: http://www.m2r2.expomin.cl/material_presentaciones/Workshop%20M2R2_Expomin%202010/2_Presentaciones_Presentations/15%20Abril/Panel%20III_Technologies/Paykan%20Safe_Worley%20Parsons.pdf

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. 2014. Isover- tuotanto. [yrityksen www-sivut] [viitattu 16.4.2014] Saatavissa: http://www.isover.fi/yritys/tuotanto

Shelby, J. E. 2005. Introduction to Glass Science and Technology. 2. painos. Cambridges. s.308. ISBN 978-0-85404-639-3

Shiotsuki, M. et al. 2006. Perspectives on Application and Flexibility of LWR Vitrification Technology for High Level Waste Generated from Future Fuel Cycle System, Proceedings of Waste Management 2006(WM'06). [verkkodokumentti] [viitattu 13.5.2014] Saatavissa: http://jolisfukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/mirai-en/2006/8_2.html

Sisäilmayhdistys Ry 2014. Epäpuhtaudet ja niiden torjunta. [sisäilmayhdistyksen www-sivut] [päivitetty 23.4.2014] [viitattu 23.4.2014] Saatavissa: http://www.sisailmayhdistys.fi/paasivuista-toinen/epapuhtaudet-ja-niiden-torjunta/

Soukka, Risto. 2014. BH60A0450 Kaasumaisten päästöjen hallinta. Luento 1. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [luentokalvot] [viitattu 6.6.2014]

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. 2002c. Ympäristöministeriö. Finlex- verkkopalvelu. [verkkolähde] [viitattu 9.6.2014] Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/1921-D2s.pdf

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. 2012. Ympäristöministeriö. Finlex- verkkopalvelu. [verkkolähde] [viitattu 3.6.2014] Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf

Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. 2012b. Ympäristöministeriö. Edilex- verkkopalvelu.. [verkkolähde] [viitattu 19.5.2014] Saatavissa: http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5_2012.pdf

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012a. Ympäristöministeriö. Edilex- verkkopalvelu. A-G- osat. [verkkolähde] [viitattu 19.5.2014] Saatavissa: http://www.edilex.fi/rakentamismaaraykset

Säteri, Jorma. 1998. Käytännön ilmanvaihto- opas ilmanvaihdon oikeaan käyttöön ja kunnossapitoon. SuLVI. Jyväskylä. GUMMERUS kirjapaino. Sivuja 103 ISBN 952-5189-01-5

Säteri, Jorma. 1998. Käytännön ilmanvaihto- opas ilmanvaihdon oikeaan käyttöön ja kunnossapitoon. SuLVI. Jyväskylä. GUMMERUS kirjapaino. Sivuja 103 ISBN 952-5189-01-5

The U.S Enviromental Protection Agency, 2014. Lean, Energy & Climate toolkit. [verkkolähde] [pdf- tiedosto] [viitattu 9.4.2014] 64 s. Saatavissa: http://www.epa.gov/lean/environment/toolkits/energy/resources/lean-energy-climate-toolkit.pdf

Tilastokeskus. 2014. Kivihiilen ja maakaasun hinnat laskivat toisella vuosineljänneksellä. [Tilastokeskuksen www-sivuilta]. Julkaistu 18.9.2013. [viitattu: 16.6.2014]. Saatavissa: https://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/2013/04/ehi_2013_04_2014-03-20_tie_001_fi.html

Tynjälä, Tero 2014. Teknillinen termodynamiikka. [verkko-opetusmateriaali] [viitattu 30-6-2014] Saatavissa: http://www.kurssit.lut.fi/040301000/

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2014. Energiatuki. [työ- ja elinkeinoministeriön www- sivut] [viitattu 14.4.2014] Saatavissa: http://www.tem.fi/energia/energiatuki

Työterveyslaitos 2010. Eristevillat [työterveyslaitoksen www- sivut] [päivitetty 30..2010] [viitattu 22.4.2014] Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/turvapakki/vaaralliset_aineet/eristeaineet/eristevillat/sivut/default.aspx

Tähti, Esko. Selin, Mikko et al. 2002. Teollisuuden ilmastoinnin opas. Helsinki. Suomen talotekniikan kehityskeskus Oy. 119 s. [Opas]

Vakkilainen, Esa. 2014. Diplomityöpalaveri Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa 27.6.2014. Tiedoksianto

Wang Hanqing, Wang Zhiyong, Chagrong Liu 2006. Kuuman ilman kerrostuminen ilman tuonnissa laaja-alaisissa rakennuksissa. School of Energy Science and Engineering Changsha. Kiina [verkkoartikkeli] [viitattu 14.5.2014] Saatavissa: http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/5392/ESL-IC-06-11-23.pdf

Venäläinen, Seppo. 2014. Vuoromestari. Saint Gobain- Rakennustuotteet Oy. Tiedoksianto 12.5.2014. Keskustelu 2014.

Ympäristöministeriö, 2014. Suomen rakentamismääräyskokoelma. [Ympäristöministeriön www-sivuilta] [viitattu 31.3.2014] Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

LIITE I

Mittauspöytäkirja 13.5.2014

Mittauspöytäkirja

Mittari	SwemaMan 2000
Kalibrointi suoritettu	1995
Pvm	13.5.2014 klo. 11.50
Suorittaja	Tuomas Rilla

Virtausnopeus [m/s]

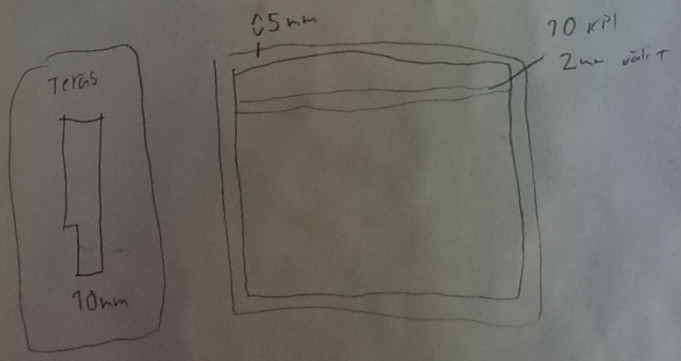
Parkki Pohjan Puoli
- Mittaus 1 10,4
- Mittaus 2 10,2
- Mittaus 3 10,7
- Mittaus 4 10,4
- Mittaus 5
- Mittaus 6

Vesi laitoksen puol
- Mittaus 7 10,5
- Mittaus 8 10,5
- Mittaus 9 10,4
- Mittaus 10

Muuta: klo 11.47 6 kaidutinta päällä, 2 pois käytöstä → Imuvirta pienempi. Takaovi auki 2 ekassa mittauksessa. Myös toinen vesilaitoksen puoleinen ovi auki. Mittarin toiminnasta ei takeita!

Tammikuu
1/14 20° C

Kesäkuussa
22 °C → miten piikkiä ollut



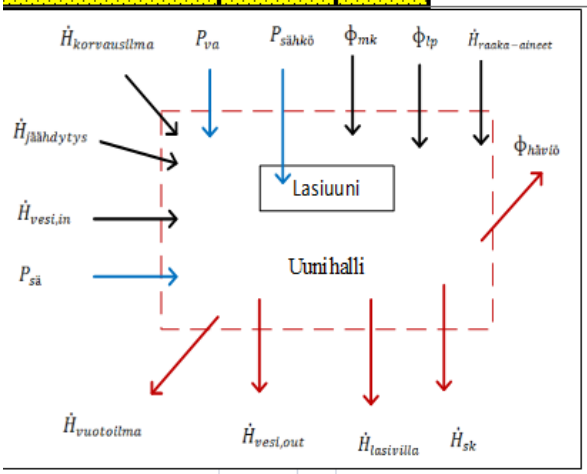
LIITE II

Energiatasetyökalu

ENERGIATASETYÖKALU, UUNIHALLI

Energiatyyppi	Tuotu energia		Hinta [€]
Uunin sähköteho		kW	
Maakaasun poltossa vapautuva lämpöteho	251,40	kW	3,02 €
hajonta	111,56	kW	1,34 €
Lämmityspatterien		kW	
hajonta		kW	
Prosessilaitteiden-sähköteho	11,27	kW	4,64 €
hajonta	2,00	kW	
Valaistuksen sähköteho	13,93	kW	0,82 €
Jäähdytyspuhaltimien jäähdytysteho	86,00	kW	0,77 €
hajonta		kW	
Tuleva vesi		kW	
Raaka-aineet		kW	
Yhteensä	476,157	kW	10,59 €

Energiatyyppi	Tuotu energia		Hinta [€]
Imukaapin mukana poistuva lämpöteho		kW	
Vuotohäviöt		kW	
Lasivillatuote		kW	
Lähtevä vesi		kW	
Häviöt	476,156673		
Ulkoseinien lämpöhäviö	31,05	kW	
muut		kW	
Yhteensä	507,2064	kW	- €
Tehtaan jäähdytys	90,00	kW	1,23 €
hajonta	20,00	kW	0,27 €
Muuta			
Lasiuunin ja kanavan luovuttama lämpöenergia	388,52	kW	15,99 €
hajonta		kW	



Tuotantotilanne		
Tuote:	Pehmeä	Raskas
Ulkolämpötila	10 C	283,15 K
Imukaapin tilavuusvirta	100 m3/s	
Sisälämpötila	23 C	296,15 K
Aihion lämpötila	20 C	293,15 K
Tuotanto	6125 kg/h	147 t/d
Sähkön hinta	€	€
Lämpöenergian hinta	€	€
Aikaikkuna	h	

LIITE III

Pommikalmometrimittaus, uunihallin pöly

SAINT-GOBAIN RAKENNUSTUOTTEET OY
LABORATORIO

10.9.2013

POMMIKALORIMETRIMITTAUS

Tuote: Pöly (uunihallin johtokourujen päältä)

Valmistettu:

Mitattu: 19.5.2014

Mittaaja: MA

Standardi: ISO 1716

"rihma"

Koe 1: **Näytteen paino:** 0.5363 g

Kupin paino:	0.2024 g	X	19658	J/g =	4019	J
Bentsoehapon paino:	0.5486 g	X	26461	J/g =	14517	J
Kvartsihiekan paino:	0.2292 g			+	70	J
			Extrat:	=	**18606**	**J**

Koe 2: **Näytteen paino:** 0.5487 g

Kupin paino:	0.2646 g	X	19858	J/g =	5254	J
Bentsoehapon paino:	0.4973 g	X	26461	J/g =	13159	J
Kvartsihiekan paino:	0.2929 g			+	70	J
			Extrat:	=	**18483**	**J**

Koe 3: **Näytteen paino:** 0.5196 g

Kupin paino:	0.2126 g	X	19858	J/g =	4222	J
Bentsoehapon paino:	0.4926 g	X	26461	J/g =	13035	J
Kvartsihiekan paino:	0.2729 g			+	70	J
			Extrat:	=	**17327**	**J**

Tulos 1:	571 "rihma"	J/g
Tulos 2:	283	J/g
Tulos 3:	244	J/g

Keskiarvo: 264 J/g

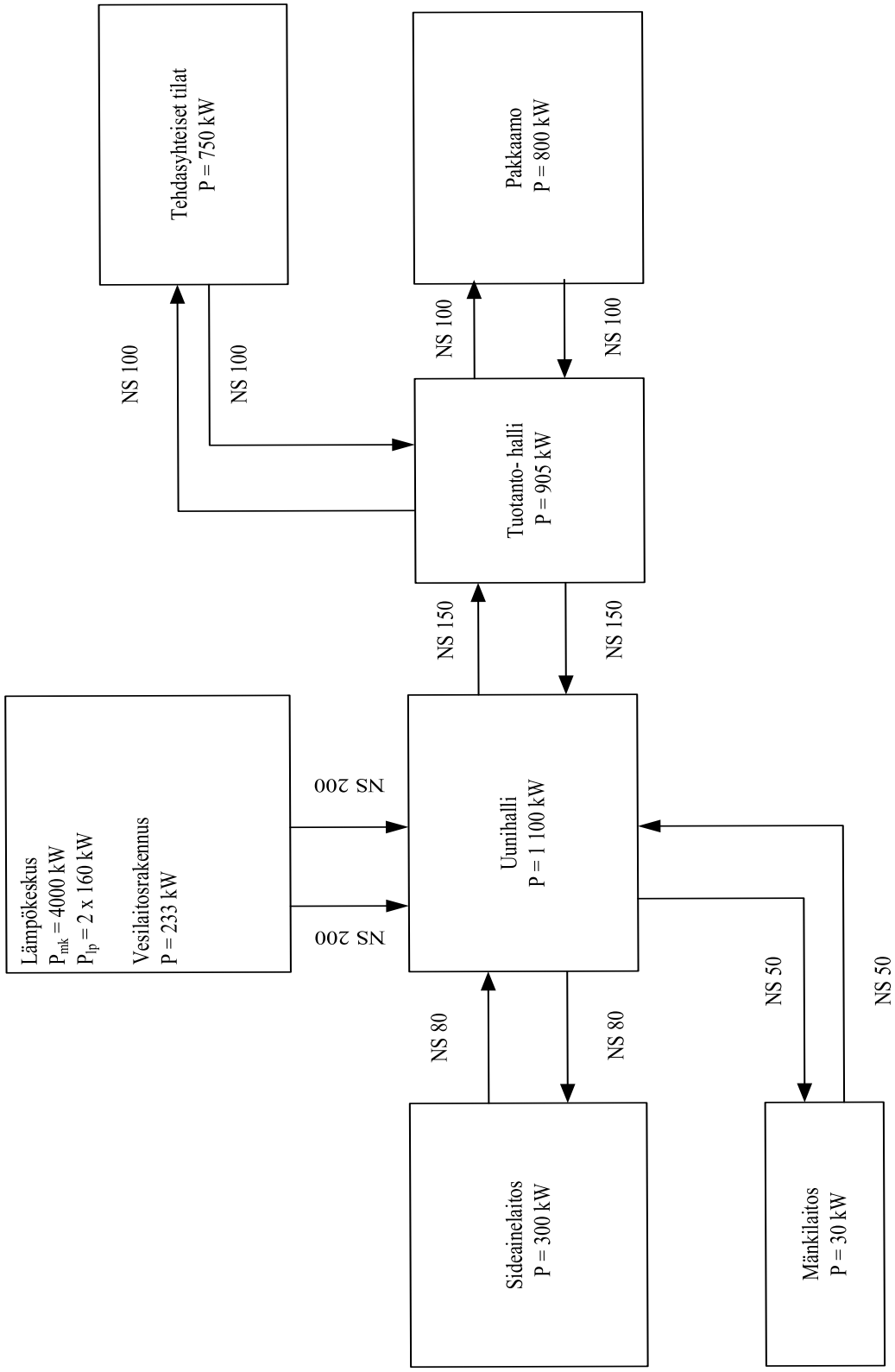
S-G Rakennustuotteet Oy
Isover
MA

19.5.2014

Alkuaineanalyysi uunihallin johtokourujen päältä kerätystä pölystä:

Na_2O	natriumoksidi	19.3	%
MgO	magnesiumoksidi	1.9	%
Al_2O_3	alumiinioksidi	1.92	%
SiO_2	piidioksidi	59.5	%
P_2O_5	fosforipentoksidi	0.013	%
SO_3	rikkitrioksidi	2.841	%
K_2O	kaliumoksidi	0.82	%
CaO	kalkki	8.32	%
TiO_2	titaanidioksidi	0.055	%
Cr_2O_3	dikromitrioksidi	0.278	%
MnO	mangaanioksidi	0.603	%
Fe_2O_3	rauta(III)oksidi	1.01	%
ZnO	sinkkioksidi	0.051	%
SrO	strontiumoksidi	0.006	%
BaO	bariumoksidi	0.1	%
Rh_2O_3	rodium(III)oksidi	285.202	cps
B_2O_3	booritrioksidi	3.25	%

LIITE IV


Lämpökeskus
P_{mk} = 4000 kW
P_{lp} = 2 x 160 kW
Vesilaitosrakennus
P = 233 kW
NS 200
NS 200
NS 80
NS 80
Sideainelaitos
P = 300 kW
Uunihalli
P = 1 100 kW
NS 150
NS 150
Tuotanto- halli
P = 905 kW
NS 100
NS 100
NS 100
NS 100
Tehdasyhteiset tilat
P = 750 kW
Pakkaamo
P = 800 kW
NS 50
NS 50
Mänkilaitos
P = 30 kW