

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2013

Juha-Pekka Hoppari

TUOTANTOLAITOKSEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SANEERAUS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Energia- ja polttomoottoritekniikka

2013 | 48+7

Tommi Paanu

Juha-Pekka Hoppari

TUOTANTOLAITOKSEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SANEERAUS

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä esisuunnitelma tuotantolaitoksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän saneerauksesta helpottamaan opinnäytetyön tilaajan (Carrier Oy) tarjouksen antamista. Päätaavoitteena oli korvata nykyinen öljylämmitysjärjestelmä energiatehokkaalla lauhdelämpöä hyödyntävällä lämpöpumpulla ja uusia vaihtokunnossa olevia ilmanvaihtokoneita. Lisäksi saneerauksen yhteydessä oli tarkoitus paikoittain tehostaa jäähdytystä ja parantaa ilmanjakoa.

Esisuunnitelmaa varten selvitettiin kohteen nykyinen tilanne sekä tarvittavat lämmitys- ja jäähdytystehontarpeet. Kohteen nykyistä tilannetta selvittäessä saatiin selville, että esimerkiksi ilmanvaihdon ilmamäärä oli huomattavasti oletettua pienempi. Tehontarpeiden perusteella mitoitettiin uusi järjestelmä ja laskettiin sen tuoma säästö.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin määritettyä järjestelmä, jolla on mahdollista saada 100 000 €:n vuosisäästö lämmityskustannuksista, uudet toimintavarma lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät sekä paremmat työskentelyolosuhteet. Uusi lämmitysjärjestelmä hyödyntää tuotantoprosessin jäähdytyksessä lämmennytä jäähdytysvettä lämpöpumpun avulla. Lämpöpumpun avulla voidaan toteuttaa myös haluttu lisjäähdytys.

ASIASANAT:

Energiatehokkuus, lämmitysjärjestelmät, lämpöpumput, ilmastointilaitteet

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Energy and Combustion Engine Technology

2013 | 48+7

Instructor Tommi Paanu

Juha-Pekka Hoppari

THE RENOVATION OF A HEATING SYSTEM OF THE FACTORY

The purpose of this thesis was to create a preliminary plan to the renovation of a heating and ventilation system of the factory. This thesis was commissioned by Carrier Oy and the preliminary plan was made so that they can give a quotation of the renovation. The primary aim was to replace the current oil heating system by using condensate with an energy efficient heat pump. During the renovation all wornout ventilation equipment will be replaced. There purpose was also to upgrade the cooling system and air distribution system.

For making the plan it was necessary to determine the factory layout and the wattages needed for heating and cooling. During the planning it turned out that for example the air content of the ventilation was much less than it was thought. On account of the wattages it was possible to dimension the whole new system and to calculate the savings of the heating costs.

The outcome of this thesis was a system that can save up to € 100 000 in the heating costs. The new system is reliable and it improves working circumstances. The new heating system uses warmed-up cooling water of the production process with a heat pump. Also desired extra cooling can be implemented with the heat pump.

KEYWORDS:

energy efficiency, heating systems, heat pumps, air conditioners

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 KOHTEEN NYKYTILANNE	8
2.1 Kohteen esittely	8
2.2 Kulutustiedot	8
2.3 Nykyinen lämmitysjärjestelmä	10
2.3.1 Lämmönjakoverkoston veden lämpötilat ja virtaamat	11
2.3.2 Lämmitysteho	12
2.4 Jäähdytys	14
2.5 Ilmanvaihto	14
2.5.1 Ilmavirtojen selvitys	15
2.5.2 Ilmanjako	17
2.6 Tuotantoprosessi	18
3 LÄMMITYSTEHONTARVE	20
3.1 Johtumisteho rakenteiden läpi	22
3.2 Vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho	23
3.3 Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho	24
3.4 Tulokset	25
4 JÄÄHDYTYSTEHONTARVE	27
4.1 Tulokset	31
5 UUDEN JÄRJESTELMÄN TEKNIikka	32
5.1 Lämpöpumppu	32
5.2 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto	33
5.3 Puhallinkonvektori	34
6 VALITTU JÄRJESTELMÄ	35
6.1 Ilmanvaihto	36
6.1.1 Tuotantohalli 1	36
6.1.2 Toimisto	38
6.2 Lämmöntuotanto	38
6.3 Jäähdytys	39
6.4 Pääkomponentit	39

7 VUOTUINEN LÄMMITYSENERGIANTARVE JA LÄMMITYSKUSTANNUKSET	41
7.1 Tulokset	42
8 SÄÄSTÖ JA TAKAISINMAKSUAIKA	44
9 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	47

LIITTEET

- Liite 1. Lämmitystehontarve tuotannon aikana.
 Liite 2. Lämmitystehontarve tuotannon ulkopuolisella ajalla.
 Liite 3. Toimintakaavio.
 Liite 4. Ilmavirtojen ohjeavot.
 Liite 5. Lämmitysenergiantarve ja -kustannus tuotannon aikana.
 Liite 5. Lämmitysenergiantarve ja -kustannus tuotannon ulkopuolisella ajalla.

KUVAT

Kuva 1. Tuotantolaitoksen tilojen sijainnit.	8
Kuva 2. Kevytöljylämmitysjärjestelmän toimintaperiaate (Rakennustietosäätiö RTS & LVI-Keskusliitto 2006, 5).	11
Kuva 3. IV-koneiden sijainnit.	15
Kuva 4. Sekoittavan ilmanjaon toimintaperiaate (Rakennustietosäätiö 1989, 3).	17
Kuva 5. Syrjäyttävän ilmanjaon toimintaperiaate (Rakennustietosäätiö 1989, 3).	18
Kuva 6. Prosessijäähdytyksen yksinkertaistettu toimintaperiaate.	19
Kuva 7. Mitoittava ulkoilman lämpötila (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, D5).	20
Kuva 8. TESTI-vuoden lisäjaksoon perustuva kesäolosuhteiden mitoitusää (Rakennustietosäätiö & LVI-Keskusliitto 1992, 2).	27
Kuva 9. Huonetilan jäähdytystarpeen aiheuttavat tekijät (Rakennustietosäätiö 1996, 2).	28
Kuva 10. Kosteaa ilman Mollier-piirros.	30
Kuva 11. Log-ph-diagrammi (Happonen 2010, 38).	32
Kuva 12. Lämpöpumpun toimintaperiaate.	33
Kuva 13. LTO-esimerkkejä (Rakennustietosäätiö 1990, 3–4).	33
Kuva 14. Carrier 42GW -puhallinkonvektori.	34
Kuva 15. Uuden järjestelmän yksinkertaistettu toimintaperiaate.	35
Kuva 16. Airovision 39HQ.	37
Kuva 17. Retermia LTO-huippuimuri.	37
Kuva 18. Halton AFB -piennopeustuloilmalaite.	37
Kuva 19. Carrier 30HXC.	38
Kuva 20. Carrier 09GF.	39
Kuva 21. ESCO-malli (Motiva 2013).	44

KUVIOT

Kuvio 1. Normitettu lämmitysenergiankulutus.	9
Kuvio 2. Lämmönjakoverkoston meno- ja paluuviesien lämpötilat ulkoilman lämpötilan suhteen.	12
Kuvio 3. Toimiston tehontarve ulkolämpötilan mukaan.	26
Kuvio 4. Lämmitysenergiantarpeen jakautuminen.	42
Kuvio 5. Lämmityskustannukset.	43

TAULUKOT

Taulukko 1. Kulutus- ja kustannustietoja.	9
Taulukko 2. Pumppujen virtaamat.	12
Taulukko 3. Lasketut lämmitystehot eri ulkoilman lämpötiloilla.	13
Taulukko 4. Lämmityspatterien tehon perusteella lasketut raitisilmavirrat.	16
Taulukko 5. Ilmavirrat.	17
Taulukko 6. Ohjearvoja tiloille, joiden huonelämpötilan suunnitteluarvo ei ole +21 °C (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, D2).	21
Taulukko 7. Lämmönjaon- ja luovutuksen vuosihyötysuhteiden ohjearvoja (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, D5).	21
Taulukko 8. Tyypillisiä vaipan ilmanvuotolukuja (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, D5).	24
Taulukko 9. Lämmitystehontarve.	25
Taulukko 10. Auringon säteilyteho ikkunaan kahden huipputunnin keskiarvona (Insinööritoimisto Sarkki & LVI-konsultointi Sarkki Oy 2013, 42).	29
Taulukko 11. Lämpökuormat ja jäähdytystehontarpeet.	31
Taulukko 12. Raitisilmavirrat.	36
Taulukko 13. Pääkomponentit ja niiden sijoituspaikat.	40
Taulukko 14. Tuotannon aikainen energiantarve ja kustannus	41
Taulukko 15. Takaisinmaksuaika.	44

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on esisuunnitelman laatiminen tuotantolaitoksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän saneerauksesta. Suunnitelma tehdään helpottamaan opinnäytetyön tilaajan Carrier Oy:n tarjouksen tekoa.

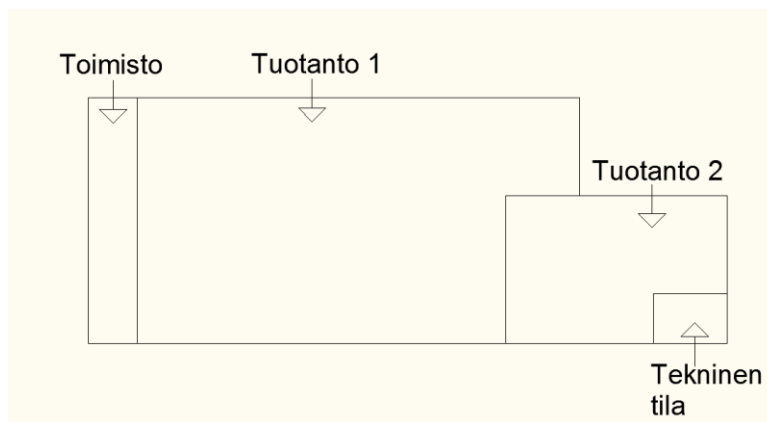
Tarkoituksena on korvata kohteen nykyinen öljylämmitysjärjestelmä lämpöpumpun avulla, siten että hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti tuotantolaitoksen prosessissa syntyvää hukkalämpöä. Myös vanhoja uusintakunnossa olevia ilmanvaihtokoneita on tarkoitus korvata lämmöntalteenoton sisältävillä uusilla laitteilla. Lisäksi kohteeseen tarvitaan paikoittain lisää jäähdytystä, joka on tarkoitus toteuttaa lämpöpumpun avulla. Pää tavoitteena on vähentää tuotantolaitoksen korkeita lämmityskustannuksista investointikustannusten kuitenkin pysyessä kohtuullisina.

Osana työtä tulee selvittää muun muassa kohteen nykytilanne sekä lämmitys- ja jäähdytystehontarpeet. Näiden perusteella määritetään uuden laitteiston kokuokka ja lämmitysenergian säästöpotentiaali.

2 KOHTEEN NYKYTILANNE

2.1 Kohteen esittely

Kohde on 1970-luvulla valmistunut tuotantolaitos, jota on laajennettu 80- ja 90-luvulla. Rakennuksessa on 2-kerroksinen toimistotila, kaksi erillistä tuotantotilaa ja tekninen tila (Kuva 1). Lämpökeskus sijaitsee rakennuksen vieressä. Työntekijöitä on yhteensä 35, joista 15 työskentelee toimistolla ja 20 tuotantotiloissa.



Kuva 1. Tuotantolaitoksen tilojen sijainnit.

2.2 Kulutustiedot

Kohteessa on vuodesta 2010 alkaen seurattu öljynkulutusta atk-pohjaisella järjestelmällä. Taulukkoon 1 on listattu kohteen öljynkulutuksia vuosilta 2010–2012 sekä niiden perusteella laskettuja lämmitysenergian kustannus- ja kulutustietoja. Lämmitysenergian kulutuksen laskennassa on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5-ohjeita, jonka mukaan kevyen polttoöljyn tehollinen lämpöarvo 10 kWh/dm^3 ja kohteen öljykattilalaitoksen vuosihyötysuhteena voidaan käyttää arvoa 0,89.

Taulukko 1. Kulutus- ja kustannustietoja.

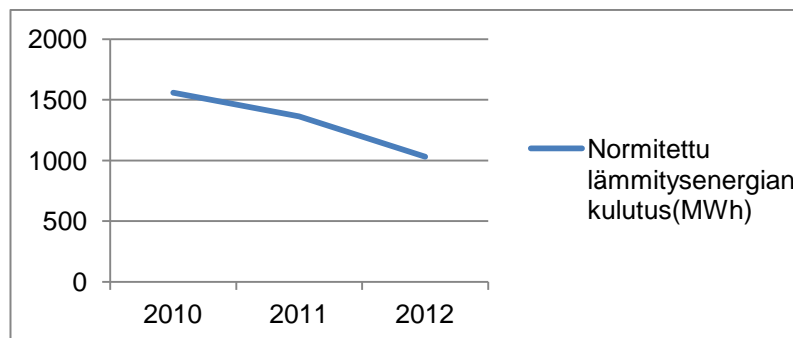
Vuosi	Öljynkulutus (dm ³)	Lämmitysenergiankulutus (MWh)	Kustannus (€)
2010	198297	1765	178467
2011	135055	1202	121550
2012	113208	1008	101887
Keskiarvo	148853	1325	133968

Taulukosta nähdään, että öljynkulutus on viimeisen kolmen vuoden perusteella ollut keskimäärin 150 000 litraa vuodessa, josta on aiheutunut kustannuksia 134 000 euroa vuodessa. Lämmitysenergiankulutus puolestaan on ollut keskimäärin 1325 MWh/vuosi.

Normitettu lämmitysenergiankulutus

Koska lämmitysenergiankulutus riippuu ulkoilman lämpötilasta, rakennuksen lämmitykseen käytetty energiankulutus vaihtelee vuodesta toiseen. Kylminä talvina lämmitykseen kuluu enemmän energiaa kuin lauhempina. Kulutuksen normittamisen avulla voidaan verrata toisiinsa eri vuosien lämmitysenergiankulutuksia. Tällöin huomioidaan eri vuosien lämpötilojen vaihtelut, joten normitettu lämmitysenergiankulutus kertookin kulutuksen määrän vertailukaudella eli ns. normaalivuotena. (Motiva Oy 2013.)

Kuviossa 1 on esitetty normitettu lämmitysenergiankulutus eri vuosille. Huomataan, että normitettu lämmitysenergiankulutus on tippunut viime vuosien aikana. Lämmitysjärjestelmä on kuitenkin toiminut halutulla tavalla eikä mitään lämmitysenergian säästöön pyrkiviä toimenpiteitä ole tehty.



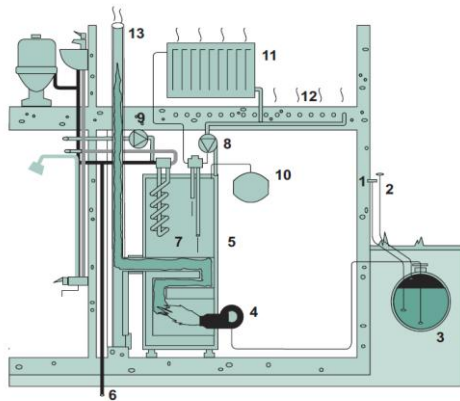
Kuvio 1. Normitettu lämmitysenergiankulutus.

Kulutuksen pienentymistä voisi selittää ilmanvaihtokoneiden suodattimien tukkeutumisella tai muista vioista johtuvalla tuloilmavirran pienentymisellä. Tämän seurauksena tarvittaisiin vähemmän lämmitysenergiaa tuloilman lämmittämiseen. Kaikki koneet kuitenkin toimivat ja ne huolletaan ja tarkastetaan säännöllisesti.

Toisaalta tuotannon ollessa käynnissä prosessista vapautuu paljon lämpöenergiaa, joka pienentää lämmitysenergiantarvetta. Lämmitysenergiankulutuksen väheneminen voidaan selittää sillä, että tuotanto on lisääntynyt viime vuosien aikana. Vuosien 2011 ja 2012 pieni kulutus todennäköisesti johtuu siitä, että silloin oli paljon tuotantoa ja prosessista vapautuva lämpöenergia pienensi lämmitysenergiankulutusta.

2.3 Nykyinen lämmitysjärjestelmä

Kohteessa on kevytöljyjärjestelmä, joka sisältää öljysäiliön, -polttimen, -kattilan, savuhormin ja pumppuja sekä ohjaus-, säätö- ja varolaitteita. Öljy pumpataan säiliöstä polttimelle, jossa öljysumu ja palamisilma sekoittuvat, ja palaminen tulipesässä käynnistetään polttimen sytytyslaitteilla. Kattilaveteen siirtyvällä lämpöenergialla lämmitetään lämmitysverkossa kiertävä vesi. Kuvassa 2 on esitetty kevytöljylämmitysjärjestelmän toimintaperiaate. (Rakennustietosäätiö RTS & LVI-Keskusliitto 2006, 5.)



- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 öljysäiliön täyttöputki | 8 lämmityksen kiertovesipumppu |
| 2 öljysäiliön tuuletusputki | 9 lämpimän käyttöveden kiertovesipumppu |
| 3 öljysäiliö | 10 paisuntasäiliö |
| 4 öljypoltin | 11 lämpöpatteri |
| 5 öljylämmityskattila | 12 lattialämmitys |
| 6 vesijohto | 13 savuhormi |
| 7 kattilavesi | |

Kuva 2. Kevytöljylämmitysjärjestelmän toimintaperiaate (Rakennustietosäätiö RTS & LVI-Keskusliitto 2006, 5).

Vesikiertoisessa lämmönjaossa käytetään kaksiputkijärjestelmää, jossa menoja paluuedellä on oma putkistonsa. Lämmin vesi kierrätetään pattereissa, jossa ne luovuttavat lämpöä huoneisiin ja tuloilmaan. (Rakennustietosäätiö RTS & LVI-Keskusliitto 2006, 7.)

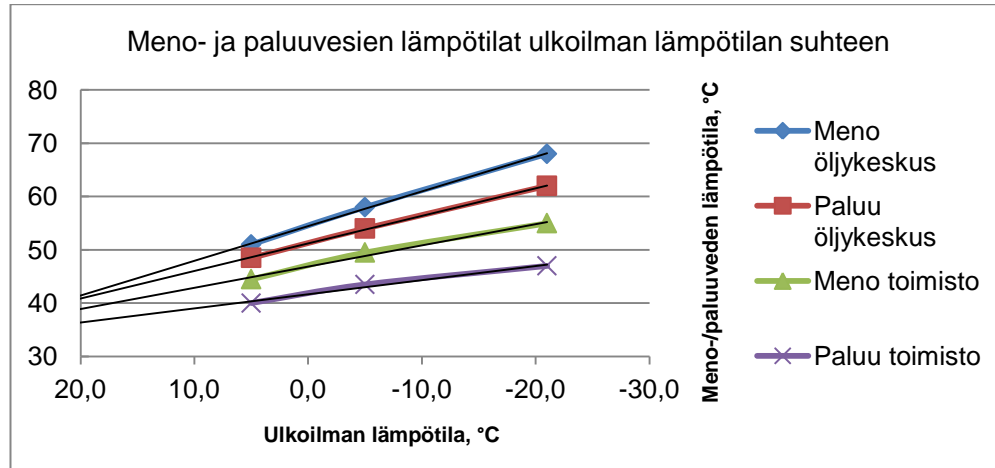
Tuotannon ollessa käynnissä molemmat tuotantohallit lämpenevät prosessissa syntyvän lämmön avulla. Öljylämmitysjärjestelmä on lämmönlähteenä toimiston patteriverkostolle sekä toimiston ja tuotantohallin 1 tuloilman lämmityspattereille. Tuotantohallin 2 tuloilman lämmityspatterien lämmönlähteenä on kompressorien lauhdevesi.

Aikoina, jolloin tuotanto ei ole käynnissä, tuotantotilojen lämmitys tapahtuu yliämpöisen tuloilman avulla. Tällöin lämmönlähteenä on ainoastaan öljylämmitysjärjestelmä.

2.3.1 Lämmönjakoverkoston veden lämpötilat ja virtaamat

Lämmönjakoverkoston meno- ja paluueden lämpötilat saadaan putkistoihin asennetuista elohopeamittareista. Kuvio 2 on tehty mitattujen arvojen perusteel-

la ja siitä nähdään meno- ja paluuvesien lämpötilat ulkoilman lämpötilan suhteen. Toimiston patteriverkoston lämpötila olisi tämän perusteella mahdollista tuottaa lämpöpumpulla.



Kuvio 2. Lämmönjakoverkoston meno- ja paluuvesien lämpötilat ulkoilman lämpötilan suhteen.

Lämmönjakojärjestelmän suuntaa antavat virtaamat saadaan puolestaan määritettyä pumppujen tyyppikilvistä ja taulukkoon 2 onkin listattu eri pumppujen virtaamia.

Taulukko 2. Pumppujen virtaamat.

Pumppu	Virtaama (dm ³ /s)
Öljykeskus	14
Toimiston patteriverkosto	1,33
T-1	3,16
T-2	4,16
T-3	3,16
T-4	1,17
T-5	1,17

2.3.2 Lämmitysteho

Lämmitysjärjestelmän hetkellinen teho voidaan määrittää, kun tiedetään lämmönjakoputkistoissa virtaavan nesteen tiheys, tilavuusvirta, ominaislämpökapaa-

siteetti ja lämpötilan muutos. Teho voidaan laskea kaavalla (Tammertekniikka 2005, Tekniikan kaavasto):

$$\Phi = \rho q_v c_p \Delta T, \text{ jossa}$$

Φ = lämpöteho (kW)

ρ = tiheys (kg/m³)

q_v = tilavuusvirta (kg/s)

c_p = ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kg°C))

ΔT = lämpötilan muutos (°C)

Taulukkoon 3 on laskettu nykyisiä lämmitystehoja eri ulkoilman lämpötiloilla. Koska kaikki mittaukset on tehty tuotannon aikana, öljylämmitysjärjestelmä ei ollut käytössä tuotantohallissa 2 ja tämän vuoksi ko. tilaa ei ole huomioitu mittauksissa. Tällöin kaikki öljykeskuksen lämmitysteho menee toimiston patteriverkostoon sekä toimiston ja tuotantohallin 1 tuloilman lämmittämiseen.

Taulukko 3. Lasketut lämmitystehot eri ulkoilman lämpötiloilla.

Pvm	T _u °C	T _{öljykeskus} °C	Φ _{öljykeskus} kW	T _{toimistopatteri} °C	Φ _{toimistopatteri} kW	Φ _{IV} kW
18.1.	-21	68/62	353	55/47	45	308
8.2.	-5	58/54	235	49,5/43,5	34	202
28.2.	5	50/48,5	88	44,5/40	25	63

Taulukossa oleva ilmanvaihtokoneiden (IV) teho on saatu vähentämällä öljykeskuksen kokonaistehosta toimiston patteriverkoston teho. Esimerkiksi 18.1.2013 ulkoilman lämpötilan ollessa -21 °C, öljykeskuksen kokonaisteho oli 353 kW, josta 45 kW meni toimiston patteriverkostoon ja 308 kW tuloilman lämmittämiseen.

Lämmitysteho öljynkulutuksen perusteella

Öljynkulutus 18.1.2013 oli 962 dm³ ulkolämpötilan keskiarvon ollessa -21 °C. Kuten kappaleessa 2.2 on mainittu, kevyen polttoöljyn lämpöarvo on 10 kWh/dm³ ja kohteen öljykattilan hyötysuhde 0,89. Tämän perusteella saadaan ratkaistua päivän lämmitysenergiankulutus. Jakamalla energiakulutus vuorokauden tunneilla (24h), saadaan päivän keskimääräinen teho.

$$962 \text{ dm}^3 * 10 \text{ kWh/dm}^3 * 0,89 = 8561 \text{ kWh}$$

$$8561 \text{ kWh} / 24 \text{ h} = 356 \text{ kW}$$

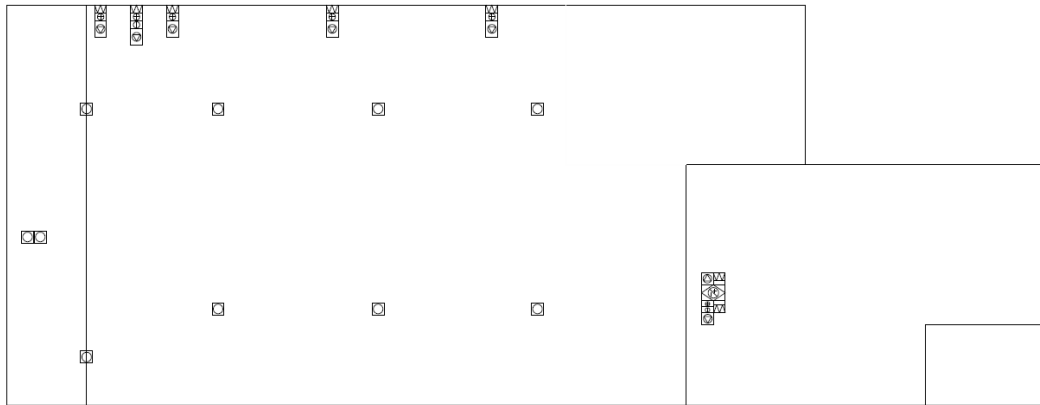
Lämmitysteho on siis öljynkulutuksen perusteella kyseisenä päivänä keskimäärin ollut 356 kW. Kun verrataan arvoa öljykeskuksen meno- ja paluuviesien perusteella saatuun arvoon 353 kW, nähdään, että tulokset ovat lähellä toisiaan ja sen perusteella melko luotettavia.

2.4 Jäähdytys

Tuotantohallin 2 Swegon 30 -ilmankäsittelykoneessa on tuloilman jäähdytyspatteri, joka on yhdistetty prosessin jäähdytysverkostoon. Teho on kuitenkin riittämätön, koska helteillä tuloilman lämpötila on 24 °C ja hallin sisälämpötila on yli 30 °C. Toimiston ylemmän kerroksen IV-koneessa on prosessin jäähdytysverkostoon liitetty tuloilman jäähdytyspatteri, joka on teholtaan riittämätön. Alakeran toimisto-osassa jäähdytys on toteutettu ilmalämpöpumpulla.

2.5 Ilmanvaihto

Tuotantolaitoksessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, jossa ilma tuodaan ja poistetaan puhaltimien avulla (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, D2). Kuvassa 3 on esitetty laitteiden sijainnit.



Kuva 3. IV-koneiden sijainnit.

Toimistossa on kaksi tuloilmakonetta ja neljä huippuimuria. Tuotantohallissa 1 on kolme tuloilmakonetta ja kuusi huippuimuria. Tuotantohallissa 2 on Swegon 30 -ilmankäsittelykone levylämmönsiirtimellä, jonka hyötysuhde on 0,7 (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, D5). IV-koneet ovat uusintakunnossa lukuun ottamatta tuotantohallin 2 Swegon 30 -ilmankäsittelykonetta.

2.5.1 Ilmavirtojen selvitys

Toimiston ja tuotantohallin 1 tuloilmakoneet käyttävät osittain kierrätysilmaa, jonka ilmanottokanavia on tukittu. Myös raittiin ilman ilmanottoaukkoja on kuristettu. Tämän vuoksi toimiston ja tuotantohallin 1 ilmavirtoja ei tiedetä.

IV-koneen lämmityspatterin tehon perusteella voidaan laskea raitisilmavirta, jonka lämmittämiseen patterin teho riittää. Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D5 saadaan kaava, jolla voidaan laskea ilmanvaihdon tehontarve.

$$\Phi = \rho_i c_{pi} q_v \Delta T, \text{ jossa}$$

Φ = ilmanvaihdon tehontarve

ρ_v = ilman tiheys (kg/m³)

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kg°C))

q_v = ilmavirta (m³/s)

ΔT = lämpötilan muutos (°C)

Em. kaavasta saadaan ratkaistua ilmavirta:

$$q_v = \Phi / (\rho_i C_{pi} \Delta T)$$

Kappaleessa 2.3.2 Lämmitysteho on laskettu IV-koneiden lämmityspatterien kokonaisteho, mutta konekohtaiset lämmityspatterien tehot saadaan laskettua lämmityspatterien yhteydessä olevien lämmitysveden lämpötilamittareiden arvojen avulla. Lämpötilamittarit ovat viisarimittareita, joiden viisarit voivat helposti jumiutua. Tämän vuoksi ne eivät ole yhtä luotettavia kuin elohopeamittarit. (K. Louhi, henkilökohtainen tiedonanto 9.1.2013.)

Taulukkoon 4 on listattu IV-koneiden ilmavirtoja tyyppikilpien perusteella sekä laskettu raitisilmavirrat konekohtaisten lämmityspatterien tehon perusteella.

Taulukko 4. Lämmityspatterien tehon perusteella lasketut raitisilmavirrat.

8.2.2013(ulkona -5°C)	Teho,kW	Raitisilmavirta tehon perusteella,m ³ /s	Tyyppikilpi,m ³ /s
T1(tuotanto)	27,0	0,9	7,0
T2(tuotanto)	35,0	1,2	7,0
T3(tuotanto)	66,0	2,8	7,0
T4(toimisto)	34,0	1,4	1,33
T5(toimisto)	79,0	3,3	1,66
Yhteensä	241,0	9,6	

Taulukosta 4 nähdään, että tehon perusteella kokonaisraitisilmavirta olisi 9,6 m³/s. Kappaleessa 2.3.2 Lämmitysteho lasketun IV-koneiden lämmityspatterien kokonaistehon perusteella kokonaisraitisilmavirta olisi 8 m³/s. Näin ollen voidaan todeta, että kaikkien IV-koneiden yhteydessä olevien lämpötilamittareiden antamat arvot eivät ole luotettavia. Taulukon mukaan esimerkiksi T5 raitisilmavirta olisi suurempi kuin sen tyyppikilven antama arvo. Edellä mainittujen tulosten perusteella voidaan kuitenkin karkeasti arvioida ilmavirrat molemmille tiloille. Taulukkoon 5 onkin listattu tiloihin tulevia ilmavirtoja tyyppikilpien ja dokumentaation perusteella sekä arviot tämän hetken ilmavirroista.

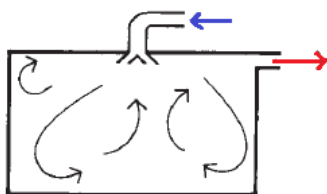
Taulukko 5. Ilmavirrat.

Ilmavirta(m ³ /s)	Tyypikilpi	Arvioitu raitisilmavirta	Arvioitu kierrätysilmavirta
T1 (tuotanto 1)	7,0	6	6
T2 (tuotanto 1)	7,0		
T3 (tuotanto 1)	7,0		
T4 (toimisto)	1,33	3	0
T5 (toimisto)	1,66		
Swegon (tuotanto 2)	2,3		

Tarkempaa tietoa ilmavirroista ei saada ilman ilmamäärämittauksia. Uuden koneen kapasiteetin mitoituksen kannalta todelliset ilmavirrat olisi hyvä selvittää. Jos kierrätysilman osuus onkin oletettua suurempi, voi kokonaisilmavirta tuotantohalliin 1 olla lähempänä tyypikilpien arvoa 21 m³/s, jolloin kierrätysilmavirta voisi olla jopa yli 10 m³/s. On huomioitava, että myös kierrätysilma kulkee suodattimien läpi, jolloin se samalla puhdistuu. Nykytilanteessa tuotantohallin 1 ongelmana on, että ilmalaatu voi olla paikoittain huono silloin, kun ilmansuodattimet ovat jo lähes vaihtokuntoisia.

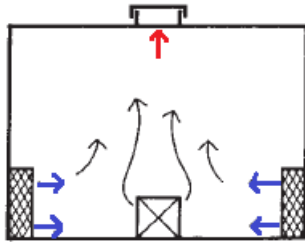
2.5.2 Ilmanjako

Kohteessa on käytössä sekoittava ilmanjako, jossa tulo- ja poistoilmalaitteet on sijoitettu katonrajaan tai lähelle sitä. Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilma pyritään sekoittamaan huoneilmaan. Tämän vuoksi käytetään ilmasuihkuja, joiden nopeus on suuri. Sekoittumista tehostaa myös se, että lämmin poistettava ilma pyrkii kohoamaan ylöspäin poistoilmalaitteisiin ja alilämpöinen tuloilma vastaavasti pyrkii alaspäin oleskeluvyöhykkeelle. Kuvassa 4 on esitetty sekoittavan ilmanjaon toimintaperiaate. (Seppänen 2005, 195; Tuotantolaitos 2012.)



Kuva 4. Sekoittavan ilmanjaon toimintaperiaate (Rakennustietosäätiö 1989, 3).

Sekoittavan ilmanjaon ongelma tuotantohalleissa on se, että myös ilman epäpuhtaudet leviävät ilman sekoittuessa. Toinen ongelma on ilmalämmitystä käytettäessä yllämpöisen tuloilman pyrkiminen ylöspäin, jolloin oleskeluvyöhykkeelle ei saada haluttua lämmitystehoa. Tämän takia kohteessa ollaan kiinnostuneita syrjäyttävästä ilmanjaosta tuotantohalleihin. Kuvassa 5 on esitetty syrjäyttävän ilmanjaon toimintaperiaate.

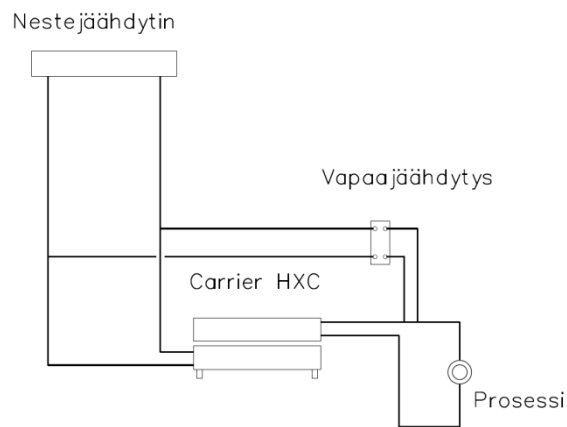


Kuva 5. Syrjäyttävän ilmanjaon toimintaperiaate (Rakennustietosäätiö 1989, 3).

Syrjäyttävässä ilmanjaossa pyritään saamaan hyvät olosuhteet oleskeluvyöhykkeellä epäpuhtauksien ja lämpötilan kerrostumisen avulla. Tuloilma johdetaan oleskeluvyöhykkeelle piennopeustuloilmalaitteilla ilman sekoittumista välttämällä, jolloin saadaan aikaan vanhan ilman syrjäytyminen. (Seppänen 2005, 195)

2.6 Tuotantoprosessi

Tuotantoprosessi on nykytilanteessa yleensä käynnissä viitenä päivänä viikossa, jolloin tehdään 3-vuorotyötä vuorokauden ympäri. Viikonloppuisin koko laitos suljetaan. Tuotannon ajo kuitenkin vaihtelee tilauskannan mukaan, mutta arviolta noin 65 % vuodesta tuotanto on käynnissä. Prosessi tarvitsee jäähdytystä jatkuvasti ja jäähdytysveden tekemiseen käytetään 1080 kW:n Carrier 30HXC310 -vedenjäähdytintä. Lauhdepiirin virtaama on 56 dm³/s ja mitoituslämpötila 35/41 °C. Lauhdelämpö ajetaan katolle Carrier 09GH -nestejäähdyttimiin (1326 kW). Jäähdytyspiirin virtaama on 43 dm³/s ja mitoituslämpötila 6/14 °C. Normaali prosessin jäähdytysveden lämpötilan muutos on 3–4 °C, joka vastaa tehoa 540–720 kW. Kuvassa 6 on prosessijäähdytyksen yksinkertaistettu toimintaperiaate.

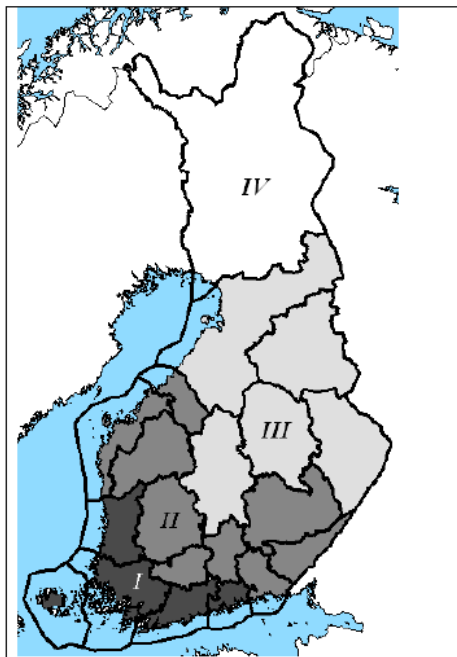


Kuva 6. Prosessijäähdytyksen yksinkertaistettu toimintaperiaate.

Lämpötilan tippuessa alle $+2\text{ °C}$, vedenjäähdytin sammutetaan ja käytetään vapaajäähdytystä. Vapaajäähdytykseen käytetään Sondexin levylämmönsiirrintä (1080 kW). Lämmönsiirrin jäähdyttää prosessiveden ja lauhdelämpö johdetaan edelleen katolle nestejäähdyttimiin. Lisäksi kohteessa on erillinen jäähdytysjärjestelmä kompressoreille, jossa lämmennyt jäähdytysvesi ajetaan suoraan katolle nestejäähdyttimiin.

3 LÄMMITYSTEHTÄVÄT

Lämmitystehontarpeen laskenta tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaan. Siinä huomioidaan johtumishäviöiden, vuotoilmanvaihdon ja ilmanvaihdon aiheuttama lämmitystehontarve. Mitoitettava ulkoilman lämpötila on säävyöhykekohtainen ja työn kohteen tapauksessa se on -26 °C (Kuva 7).



Säävyöhyke	Mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C
I	-26
II	-29
III	-32
IV	-38

Kuva 7. Mitoitettava ulkoilman lämpötila (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, D5).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21 °C. Perustellusta syystä voidaan käyttää myös muita arvoja. Taulukossa 6 on tilakohtaisia ohjeita tiloille, joiden huonelämpötila poikkeaa suunnitteluarvosta +21 °C.

Taulukko 6. Ohjearvoja tiloille, joiden huonelämpötilan suunnitteluarvo ei ole +21 °C (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, D2).

Tila	Huonelämpötila °C
Porrashuone	17
Kylpyhuone, pesuhuone	22
Kuivaushuone	24
Myymälä	18
– myymälän kiinteä työpiste	21
Liikuntahalli	18
Kirkkosali	18
Tehdashalli, keskiraskas työ	17
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17

Tämän perusteella toimisto-osan huonelämpötilan suunnitteluarvoksi valitaan +21 °C ja tuotanto-osan +17 °C. Tuotannon ulkopuolisella ajalla tuotantohalleissa huonelämpötila pudotetaan +15 °C:seen.

Lisäksi Suomen Rakentamismääräyskokoelma osan D5 ohjeiden mukaan laskeissa huomioidaan lämmitysjärjestelmän vuosihyötysuhde. Hyötysuhteena voidaan käyttää arvoa 0,9, kun mitoitusilanteen hyötysuhde ei ole tiedossa. Toimiston patteriverkostossa kuitenkin käytetään arvoa 0,8 taulukon 7 perusteella, koska toimiston patteriverkoston jakojohdot ei ole eristetty. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, D5.)

Taulukko 7. Lämmönjaon- ja luovutuksen vuosihyötysuhteiden ohjearvoja (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, D5).

Lämmitysratkaisu	Vuosihyötysuhde η_{tilat}
	-
Vesiradiaattori 45/35 °C	
jakojohtot eristetty	0,90
jakojohtot eristämätön	0,85
Vesiradiaattori 70/40 °C	
jakojohtot eristetty	0,9
jakojohtot eristämätön	0,8

3.1 Johtumisteho rakenteiden läpi

Johtumisteho rakenteiden läpi saadaan summaamalla yhteen seinien, ikkunoiden, ovien ja ala- sekä yläpohjan johtumishäviötehot. Jokaisen rakenteen johtumishäviötehot saadaan kunkin lämmönläpäisykerroimen, pinta-alan ja lämpötilaeron tulosta. Muista poiketen johtumisessa alapohjaan mitoittavana ulkolämpötilana käytetään vuotuista keskilämpötilaa, johon lisätään 2 °C:tta, ja pinta-alana välittömästi maan kanssa kosketuksissa olevaa alapohjan pinta-alaa. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, D5.)

$$\Phi_{\text{joht}} = \Sigma (\mathbf{UA}) (\mathbf{T_s - T_{u,mit}}), \text{ jossa}$$

Φ_{joht} = johtumislämmitysteho, W

U = rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m²°C)

A = rakennusosan pinta-ala, m²

T_s = sisäilman lämpötila, °C

T_{u,mit} = mitoittava ulkoilman lämpötila, °C

Lämmönläpäisykerroimet

Rakenteiden lämmönläpäisykerroimia ei ollut saatavilla, joten ne on laskettu kohteesta saatujen tietojen perusteella. Laskennassa on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 ohjeita. Alapohjan lämmönläpäisykerrointa laskettaessa huomioidaan myös maan lämmönvastus, jossa on otettu huomioon ulkopuolinen pintavastus. Maan lämmönvastus lasketaan erikseen reuna- ja sisäalueelle. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003, C4.)

$$\mathbf{U} = \mathbf{1 / (R_{si} + \Sigma R_n + R_{se})}, \text{ jossa}$$

R_{si} = sisäpuolinen pintavastus

R_{se} = ulkopuolinen pintavastus

R_n = materiaalin lämmönvastus = $\mathbf{d_n / \lambda_n}$, jossa

d_n = materiaalin paksuus, m

λ_n = materiaalin lämmönjohtavuus, W/(m°C)

3.2 Vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho

Vuotoilma on rakenteiden epätiiviyksien kautta rakennukseen virtaavaa ilmaa. Vuotoilman lämmitykseen tarvittavan tehon määrittämiseksi on selvitettävä vuotoilmavirta. Virran laskennassa huomioidaan rakennuksen tiiveys, joka työn kohteen tapauksessa on huono. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, D5.)

$\Phi_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v,\text{vuotoilma}} (T_s - T_{u,\text{mit}})$, jossa

$\Phi_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho, kW

T_s = sisäilman lämpötila, °C

$T_{u,\text{mit}}$ = mitoittava ulkoilman lämpötila, °C

ρ_i = ilman tiheys, kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/(kg°C)

$q_{v,\text{vuotoilma}}$ = vuotoilmavirta, m³/s

Vuotoilmavirta lasketaan kaavalla:

$q_{v,\text{vuotoilma}} = (n_{50} / 25) * V / 3600$, jossa

n_{50} = rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h

V = rakennuksen ilmatilavuus, m³

3600 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos m³/h → m³/s

Taulukossa 8 on esitetty erilaisille rakennuksille tyypillisiä vaipan ilmavuotolukuja (n_{50}).

Taulukko 8. Tyypillisiä vaipan ilmanvuotolukuja (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, D5).

<i>Taulukko 4.3. Tyypillisiä vaipan ilmanvuotolukuja (n₅₀) erilaisille rakennuksille riippuen rakentamis- ja toteutustavasta.</i>		
Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n ₅₀ -luvut, 1/h
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1 ... 3 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 ... 1,5
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3 ... 5 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 ... 3,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5 ... 10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3 ... 7

3.3 Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho

Kohteeseen on esivalittu Retermian lämmöntalteenottolaitteisto (LTO-laitteisto), joten laskuissa käytetään Retermian antamia arvoja. Tuotantohallin 1 lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 60 % ja toimiston 55 %. Mitoitustilanteessa lämmöntalteenoton avulla saadaan ilma esilämmitettyä -1,5 °C:seen. Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho lasketaan kaavasta:

$$\Phi_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (1 - \eta_{p,mit}) (T_s - T_{u,mit}), \text{ jossa}$$

Φ = ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho, W

ρ_i = ilman tiheys, kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg°C)

$q_{v,poisto}$ = poistoilmavirta, m³/s

η = lämmöntalteenoton hyötysuhde mitoitusolosuhteissa

T_s = sisäilman lämpötila, °C

$T_{u,mit}$ = mitoittava ulkoilman lämpötila, °C

3.4 Tulokset

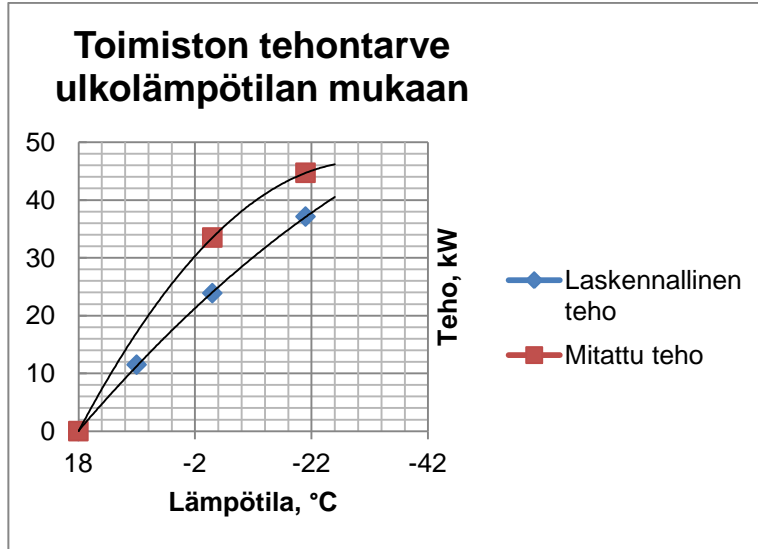
Lämmitystehontarve tuotannon aikana on 278 kW ja tuotannon ulkopuolisella ajalla 308 kW (taulukko 9). Liitteessä 1 on laskettu tuotannon aikaiset tehontarpeet sekä liitteessä 2 tuotannon ulkopuolisen ajan tehontarpeet.

Taulukko 9. Lämmitystehontarve.

Tuotanto käynnissä		Tuotannon ulkopuolinen aika	
Toimisto	Tehontarve (kW)	Toimisto	Tehontarve (kW)
Johtuminen	29,5	Johtuminen	29,5
Vuotoiv	10,9	Vuotoiv	10,9
IV	89,9	Tuotantohalli 1	
Tuotantohalli 1		Johtuminen	93,1
IV	147,9	Vuotoiv	87,1
Yhteensä	278,2	Tuotantohalli 2	
		Johtuminen	25,2
		Vuotoiv	24,6
		IV	37,7
		Yhteensä	308,1

Tuotannon aikana suurin osa lämmitystehosta kuluu tuloilman lämmittämiseen. Toimiston lämmittämiseen kuluva teho on suhteellisen pieni. Tuotannon ulkopuolisella ajalla suurin osa tehosta taas kuluu tuotantohallien lämmittämiseen ilmanvaihdon osuuden ollessa pieni.

On kuitenkin huomioitava, että esimerkiksi toimiston todellinen lämmitystehontarve on suurempi kuin laskennallien lämmitystehontarve (kuviot 3).

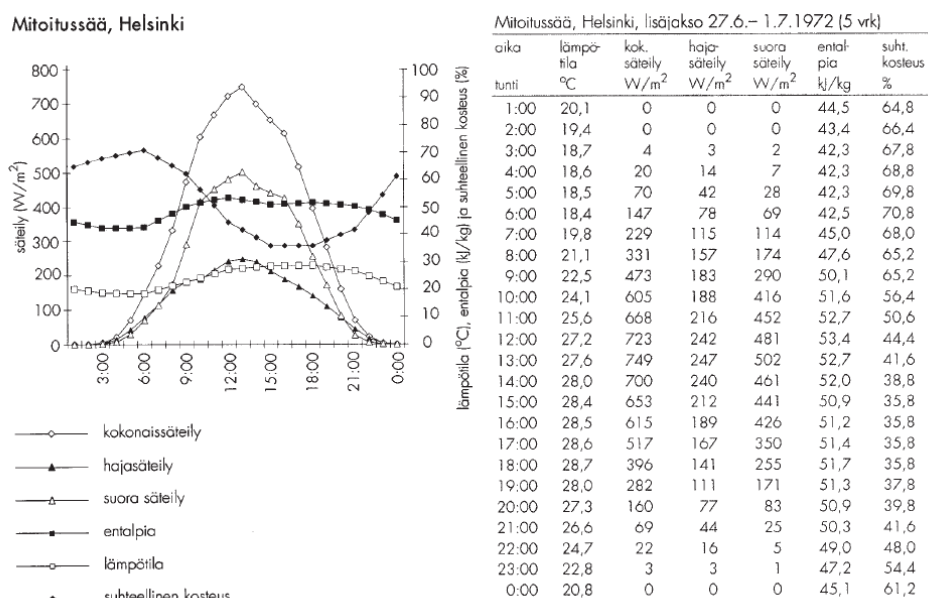


Kuvio 3. Toimiston tehontarve ulkolämpötilan mukaan.

Tämä selittyy sillä, että toimiston lämmönjakojärjestelmän säätö ei toimi halutulla tavalla ja huonelämpötila on paikoittain liian korkea, jolloin lämpöhäviöt lisääntyvät. Lisäksi korkean huonelämpötilan seurauksena alakerran toimistossa tapahtuu jäähdytystä ja lämmitystä samaan aikaan. Rakennuksen tiiveyskään ei välttämättä ole alkuperäisellä tasolla esimerkiksi ikkunoiden osalta.

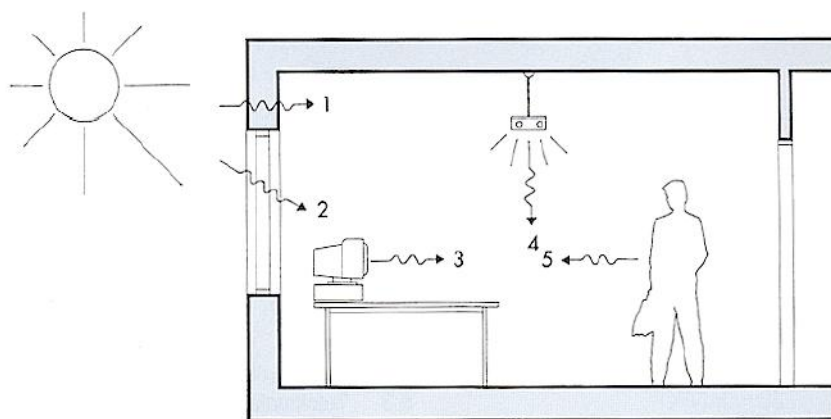
4 JÄÄHDYTYSTEHTÄVÄT

Jäähdytystarpeen laskennan alussa määritetään tavoitearvot ja käytettävät säätiedot. Tuotantohallin 2 sisälämpötilan tavoitearvo on +24 °C ja toimiston +23 °C. Ilmatieteen laitoksen laatiman TESTI-vuoden lisäjaksoon perustuvan kesäajan mitoitussään (kuva 8) perusteella mitoitavana ulkoilman lämpötilana käytetään arvoa +28 °C ilman suhteellisen kosteuden ollessa 45 %. Mitoitussään tiedot ovat Helsingin viiden vuorokauden hellejakson keskiarvoja. (Rakennustietosäätiö & LVI-Keskusliitto 1992, 2.)



Kuva 8. TESTI-vuoden lisäjaksoon perustuva kesäolosuhteiden mitoitussää (Rakennustietosäätiö & LVI-Keskusliitto 1992, 2).

Jäähdytyskuormaa aiheuttavat sisäiset ja ulkoiset lämpökuormat. Sisäisiä kuormia ovat ihmisten tuottama lämpö ja sähkölaitteista, kuten valaisimista ja atk-laitteista, vapautuva lämpö. Ulkoista kuormaa aiheuttavat johtuminen ja vuoto rakenteiden läpi sekä auringon lämpösäteily. Kuvassa 9 on havainnollistettu huonetilan jäähdytystarpeen aiheuttavia tekijöitä. (Rakennustietosäätiö 1996, 2.)



- Huoneilmaan tulee lämpöä
- 1 auringon säteilyä johtumalla
 - 2 auringon säteilyä ikkunan kautta
 - 3 koneista ja laitteista
 - 4 valaisimista
 - 5 ihmisistä

Kuva 9. Huonetilan jäähdytystarpeen aiheuttavat tekijät (Rakennustietosäätiö 1996, 2).

Johtuminen ja vuotoilmanvaihto

Johtumiset ja vuotoilmanvaihdon aiheuttama jäähdytystarve lasketaan samalla periaatteella kuin niiden aiheuttama lämmitystarve, vain lämpövirran suunta on eri. Lämpötilaero on pieni, joten niistä ei aiheudu oleellista lämpökuormaa.

Henkilöt

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan yhden henkilön lämpöteho on noin 70 W, joten henkilöistä aiheutuva jäähdytystarve lasketaan lämpötehon (70 W) ja henkilöiden lukumäärän tulona.

Sähkölaitteet

Käytännössä kaikki sähkölaitteisiin tuotu sähköteho muuttuu lämmöksi, joten niistä aiheutuva jäähdytystehontarve saadaan summaamalla yhteen kaikkien sähkölaitteiden teho. Suurimman kuorman aiheuttavat tyypillisesti valaistus ja tietokoneet. Tämän työn kohteen tapauksessa suurimman kuorman tuotantohal-

leissa aiheuttaa prosessista syntyvä lämpö. (Rakennustietosäätiö & LVI-Keskusliitto 1992, 2–3.)

Auringon säteilyteho ikkunaan

Ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyteho lasketaan erikseen eri ilmansuunnissa oleville ikkunoille. Taulukossa 12 on auringon säteilyteho ikkunan neliömetriä kohden kahden huipputunnin keskiarvona. Eteläpuolella huippu on puolenpäivän aikaan, itäpuolella aamulla, länsipuolella iltapäivällä ja pohjoispuolella likimain sama koko päivän. (Insinööritoimisto Sarkki & LVI-konsultointi Sarkki Oy 2013, 42.)

Taulukko 10. Auringon säteilyteho ikkunaan kahden huipputunnin keskiarvona (Insinööritoimisto Sarkki & LVI-konsultointi Sarkki Oy 2013, 42).

Ilmansuunta	Pohjoinen	Etelä	Itä	Länsi
Kesäkuu	200 W/m ²	500 W/m ²	650 W/m ²	650 W/m ²

Laskuissa huomioidaan myös säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin, jonka laskentaan tarvittavat kertoimet saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D5. Esimerkiksi pelkästään oikeanlaisten kaihtimien avulla saadaan auringosta aiheutuvaa lämpökuormaa tiputettua noin 70 %.

Ilmanvaihto

Ilman jäähtyöksessä huomioidaan myös veden tiivistymiseen kuluva teho. Jäähdytyspatterin pintalämpötilan ollessa ilman kastepisteen alapuolella, alkaa siihen tiivistyä vettä, jolloin osa jäähdytystehosta kuluu kosteuden poistoon. Ilman jäähtyökseen tarvittava teho eli jäähdytyspatterien teho saadaan ilman massavirran ja ominaisentalpian muutoksen tulosta. (Seppänen 2004, 93.)

$\Phi_{\text{jäähdytyspatteri}} = \rho_i q_v \Delta h$, jossa

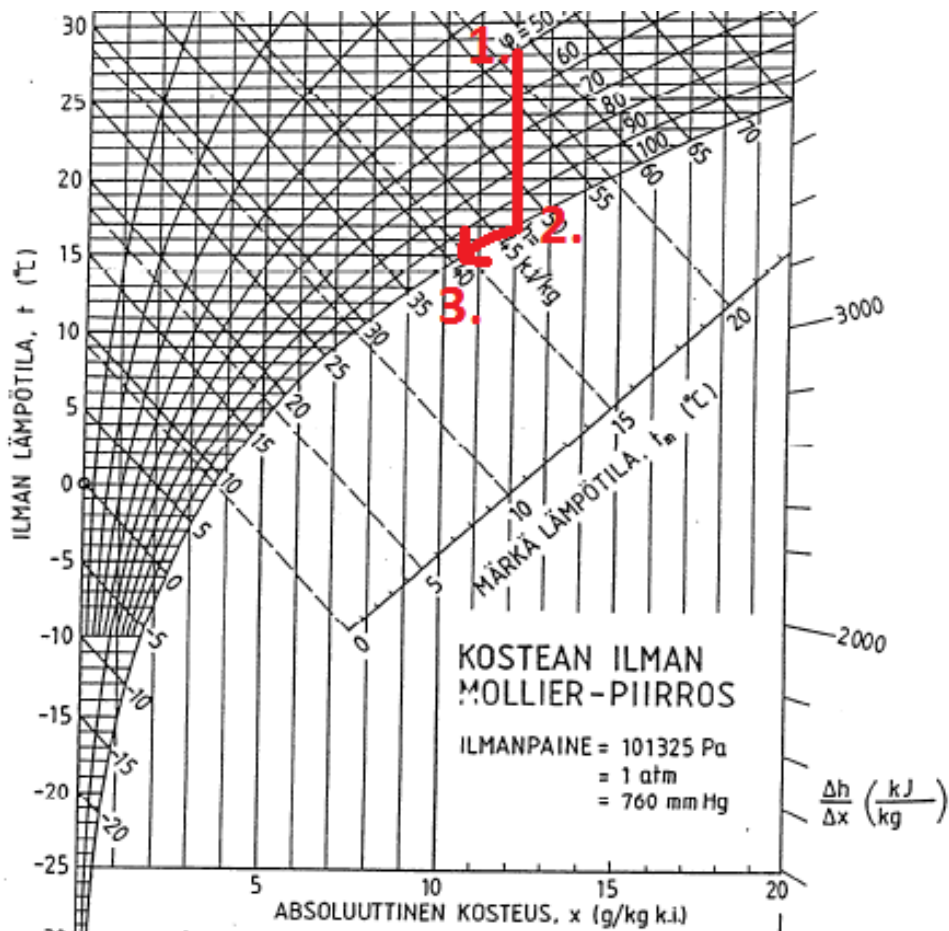
$\Phi_{\text{jäähdytyspatteri}}$ = jäähdytyspatterin teho, kW

ρ_i = ilman tiheys, kg/m³

$q_v =$ tuloilmavirta, m^3/s

$\Delta h =$ ilman ominaisentalpian muutos, kJ/kg

Kuvaan 10 on piirretty malliksi ilman jäähdytys + 28 °C:sta +15 °C:seen. Pisteessä 1 ilman lämpötila on +28 °C, suhteellinen kosteus 50 %, ominaisentalpia 58 kJ/kg ja vesipitoisuus 12 g/kg . Jäähdyttämällä ilma +17 °C:seen (piste 2), ilman suhteellinen kosteus nousee 100 %:iin ilman vesisisällön pysyessään ennallaan. Ominaisentalpia on 47 kJ/kg . Jäähdyttämällä ilmaa edelleen +15 °C:seen (piste 3), ilman suhteellinen kosteus pysyy samana, mutta nestettä tiivistyy ja vesisisältö laskee arvoon 10,5 g/kg . Ominaisentalpia on enää 42 kJ/kg . Tällöin ominaisentalpian muutos on kokonaisuudessaan 16 kJ/kg .



Kuva 10. Kostean ilman Mollier-piirros.

4.1 Tulokset

Taulukossa 11 on esitetty toimiston ja tuotantohallin 2 kokonaislämpökuormat sekä jäähdytystehontarpeet. Toimiston yhteenlaskettu lämpökuorma on 33,6 kW ja tuotantohallin 2 vastaava arvo on 112 kW.

Taulukko 11. Lämpökuormat ja jäähdytystehontarpeet.

Toimisto		Tuotantohalli 2	
Lämpökuorma	Jäähdytystehontarve (kW)	Lämpökuorma	Jäähdytystehontarve (kW)
Johtuminen	2,4	Johtuminen	6
Vuotoiv	0,9	Vuotoiv	0,0012
Hlö	1,28	Hlö	0,21
Sähkölaite	12	Sähkölaite	103
Aurinko	17	Aurinko	2,5
Yhteensä	33,6	Yhteensä	112
IV		IV	
Jäähdytys +28-->+17	38	Jäähdytys +28-->+24	11
Jäähdytys +23-->+17	21		

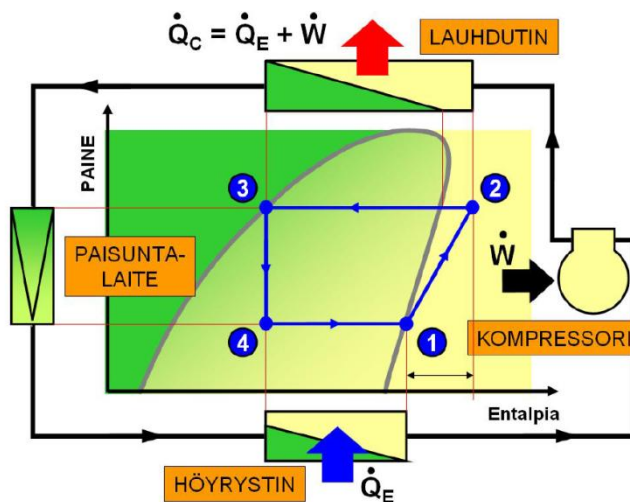
Toimiston jäähdytys on tarkoitus toteuttaa tuloilmajäähdytyksellä, jossa tuloilman lämpötila on +17 °C. Jäähdytyspatterin tehontarve on tällöin 38 kW, mutta jäähdytystehoa lämpökuormien poistoon saadaan vasta huoneilmaa viileämmällä tuloilmalla. Tällöin tuloilmasta saatava jäähdytysteho lämpökuormien poistamiseen on 21 kW, joka ei siis riitä kattamaan 33,6 kW:n jäähdytystarvetta kovimmilla helteillä. Sisäilman lämpötila saadaan kuitenkin pidettyä kohtuullisella tasolla. Rakennuskokoelman osan D2 mukaan ulkoilman lämpötilan viiden tunnin keskiarvon ylittäessä +20 °C, voi huoneilman lämpötila olla +5 °C korkeampi kuin ulkoilman lämpötila.

Tuotantohallin 2 jäähdytys on tarkoitus toteuttaa puhallinkonvektoreiden avulla, joiden jäähdytystehon on oltava vähintään 112 kW. Tuloilman jäähdytyspatteri on tällä hetkellä liitettynä prosessin jäähdytysverkostoon. Mikäli jäähdytyspatteri halutaan liittää uuteen järjestelmään, sen jäähdytystehontarve (11 kW) on huomioitava.

5 UUDEN JÄRJESTELMÄN TEKNIikka

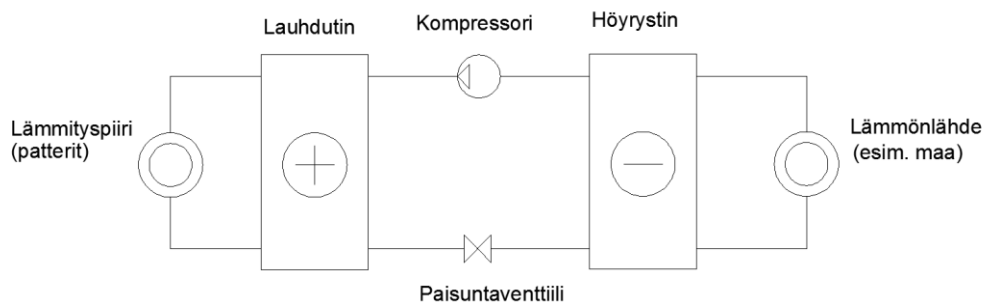
5.1 Lämpöpumppu

Lämpöpumpun avulla voidaan siirtää lämpöä kylmemmästä paikasta lämpimämpään. Toiminta perustuu suljettuun kylmäainekiertoon, joka on esitetty kuvassa 11 log-ph-diagrammin avulla. Siinä kompressorin puristaa höyrystyneen kylmäaineen korkeaan paineeseen, jonka seurauksena kylmäaineen lämpötila nousee (1–2). Lauhduttimessa lämpöä luovuttava kylmäaine nesteytyy ja jäähtyy (2–3). Nestemäisen kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat paisuntaventtiilissä (3–4), jonka seurauksena höyrystyvä kylmäaine sitoo lämpöä itseensä höyrystimessä (4–1). (Happonen 2010, 38–39; Perälä 2009, 30.)



Kuva 11. Log-ph-diagrammi (Happonen 2010, 38).

Sekä lauhdutin että höyrystin ovat lämmönsiirtimiä. Lauhdutin luovuttaa kylmäaineesta saadun lämmön sen toisiopiirissä kiertävään aineeseen, esimerkiksi lämmitysverkoston veteen. Höyrystin puolestaan sitoo lämpöä kylmäaineeseen sen toisiopiirissä kiertävästä aineesta. Työn kohteessa toisiopiirinä on prosessin jäähdytyspiiri tai nestejäähdyttimen piiri. Lämpöpumpun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 12. (Rakennustietosäätiö RTS & LVI-Keskusliitto 2002, 2)

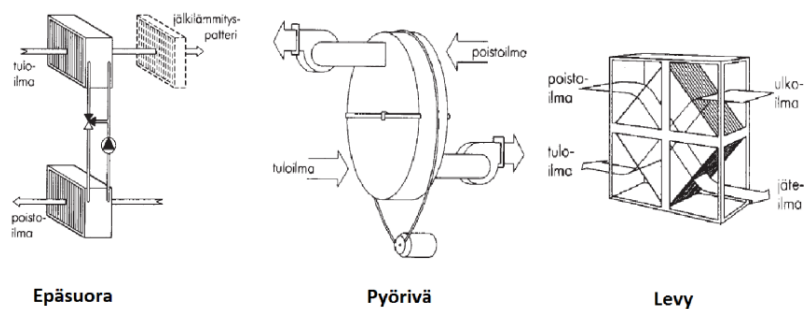


Kuva 12. Lämpöpumpun toimintaperiaate.

Lämpöpumppujen tehokkuutta kuvaa lämpökerroin eli COP-arvo, joka kertoo kuinka paljon lämmitystehoa lämpöpumppu pystyy tuottamaan sähköverkosta ottamallaan kompressoriteholla. Esimerkiksi COP-arvon ollessa 3, lämpöpumppu pystyy tuottamaan 1 kW ottoteholla 3 kW lämmitystehoa. COP-arvoon vaikuttaa oleellisesti lämpötilaero lämmönlähteen ja käyttökohteen välillä. Pienellä lämpötilaerolla saadaan suuri COP-arvo, joten lämpöpumppuratkaisuissa kannattaa pyrkiä mahdollisimman pieniin lämmönjaon lämpötiloihin ja suurin lämmönlähteen lämpötiloihin. (Perälä 2009, 31–33.)

5.2 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto voidaan toteuttaa pyörivällä lämmönsiirtimellä, levylämmönsiirtimellä tai epäsuoralla nestekiertoisella lämmönsiirtimellä. Kuvassa 13 on esimerkkejä erilaisista ratkaisuista. (Rakennustietosäätiö 1990, 3–4.)



Kuva 13. LTO-esimerkkejä (Rakennustietosäätiö 1990, 3–4).

Kohteeseen on valittu huippuimurin päälle rakennettava Retermian epäsuora nestekiertoinen neulalämmönsiirrin. Lämpöenergia otetaan talteen poistoilmasta neulaputken sisällä virtaavaan LTO-nesteeseen ja liuosputkiston avulla lämpöenergia siirretään tuloilman esilämmityspattereihin. (Retermia 2013.)

5.3 Puhallinkonvektori

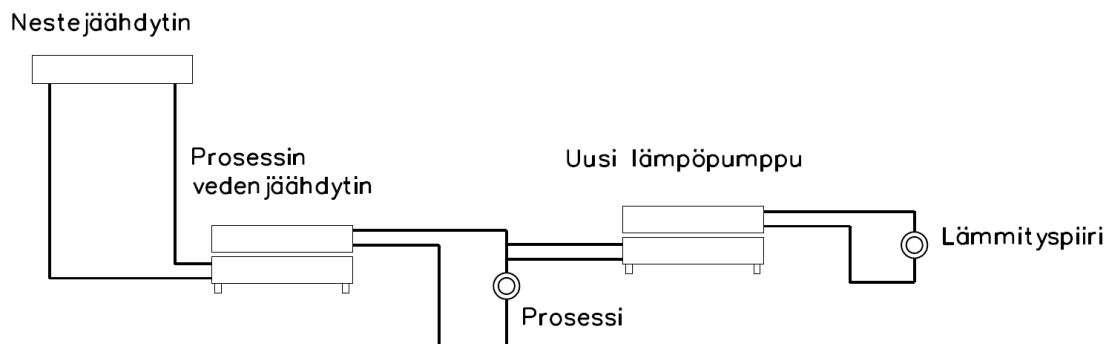
Puhallinkonvektorilla (kuva 14) jäähdytys voidaan toteuttaa paikallisesti kierrättämällä ilmaa huonekohtaisen jäähdytyspatterin läpi puhaltimen avulla. Jäähdytyspatterissa kiertävän veden kylmänlähteenä voi olla esimerkiksi lämpöpumppu. Jäähdytyspatterin ja puhaltimen lisäksi puhallinkonvektori sisältää myös suodattimen. (Rakennustietosäätiö 1996, 5.)



Kuva 14. Carrier 42GW -puhallinkonvektori.

6 VALITTU JÄRJESTELMÄ

Kohteeseen valitussa järjestelmässä uuden lämpöpumpun lämmönlähteenä on prosessista palaava lämmennyt jäähdytysvesi (kuva 15). Lämpöpumppu toimii myös samalla prosessin vedenjäähdyttimenä, jolloin saadaan myös lisää jäähdytystehoa prosessin jäähdytykseen. Liitteessä 4 on järjestelmän toimintakaavio.



Kuva 15. Uuden järjestelmän yksinkertaistettu toimintaperiaate.

Kun prosessi ei ole käynnissä, lämpöpumpun lämmönlähteenä voidaan käyttää nestejäähdytintä silloin, kun ulkoilman lämpötila on yli +2 °C. Tätä kylmemmillä keleillä joudutaan käyttämään varaajan sähkövastuksia. Myös jäähdytys voidaan toteuttaa lämpöpumpun avulla. Kun lämmitystä ei tarvita, lauhdelämpö johdetaan lämmityspiirin sijaan nestejäähdyttimeen ja jäähdytyspiiri voidaan kytkeä jäähdytyspattereihin.

Työn aikana pohdittiin myös muita tapoja toteuttaa lämmitysjärjestelmä, kuten maalämmön käyttämistä ja lauhdelämmön hyödyntämistä suoraan lämmitykseen. Maalämpöratkaisussa olisi ollut mahdollista käyttää lämpöpumppua myös tuotannon ulkopuolisella ajalla, mutta siitä saatava lisähyöty on liian pieni verrattuna investoinnin kustannuksiin. Prosessin vedenjäähdyttimen lauhdelämmön hyödyntämisessä sen sijaan ongelmana on se, että sitä on saatavilla vain vedenjäähdyttimen ollessa käynnissä eli lämpimillä keleillä.

Kompressorin lauhdelämpöä on saatavilla kylmemmilläkin keleillä, mutta ongelmana on sen liian matala lämpötila. Lämpötila riittäisi tuloilman lämmittämiseen, mutta ei toimiston patteriverkoston. Lämpöpumppua siis tarvittaisiin kuitenkin toimiston lämmitykseen toimiston ja tuotantohallin 2 jäähdytyksen lisäksi. Lämpöpumpun kokoluokka kuitenkin voisi olla pienempi verrattuna valittuun järjestelmään. Kompressorien lauhdelämpöä hyödyntämällä lämmityskustannuksia saataisiin vielä vähän alemmaksi, mutta se vaatisi paljon putkitöitä.

6.1 Ilmanvaihto

Ilmavirrat haluttiin pitää pääosin entisellään, kunhan ne täyttävät niille asetetut ohjearvot. Ohjearvot saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 taulukoista ja ne on esitetty liitteessä 4. Taulukosta 12 nähdään, että nykyiset ilmavirrat täyttävät niille asetetut ohjearvot.

Taulukko 12. Raitisilmavirrat.

Raitisilmavirrat(m ³ /s)	Nykyinen (arvio)	Rakennuskokoelman ohjearvo	Uusi suunniteltu talvi	Uusi suunniteltu kesä
Toimisto	3	1,8	3	3
Tuotantohalli 1	6	4,2	6	12
Tuotantohalli 2	2,3	1,2		

6.1.1 Tuotantohalli 1

Tuotannon kolme tuloilmakonetta korvataan yhdellä säädettävällä Airovision 39HQ -ilmankäsittelykoneella (kuva 16), joka varustetaan kierrätysilmatoiminnolla. Kuusi huippuimuria korvataan kolmella EC-puhaltimen sisältävällä Retermian LTO-huippuimurilla (kuva 17), joiden neulalämmönsiirtimet yhdistetään tuloilmakoneen esilämmityspattereihin. Jälkilämmitys suoritetaan jälkilämmityspattereilla, joiden lämmönlähteenä on Carrier HXC80 -lämpöpumppu.



Kuva 16. Airovision 39HQ.



Kuva 17. Retermia LTO-huippuimuri.

Vanhat tuloilmakoneet varusteineen poistetaan. Uusi kone sijoitetaan katolle ja se yhdistetään vanhoihin tuloilmakanaviin. Lisäksi halliin asennetaan Halton AFB -piennopeustuloilmalaitteita (kuva 18) lattiatasolle (vanhoja IV-kanavia jatkettava). Mitoitusilmavirta tuotannon aikana on $12 \text{ m}^3/\text{s}$, josta lämmityskaudella puolet on kierrätysilmaa. Tuotannon ulkopuolisella ajalla käytetään kokonaisuudessaan kierrätysilmaa.



Kuva 18. Halton AFB -piennopeustuloilmalaite.

6.1.2 Toimisto

Toimiston kaksi tuloilmakonetta korvataan yhdellä säädettävällä Airovision 39HQ -ilmankäsittelykoneella. Neljä huippuimuria korvataan kolmella EC-puhaltimen sisältävällä Retermian LTO-huippuimurilla, joiden neulalämmönsiirtimekset yhdistetään tuloilmakoneen esilämmityspattereihin. Jälkilämmitys suoritetaan jälkilämmityspattereilla, joiden lämmönlähteenä on Carrier HXC80 -lämpöpumppu.

Vanhat tuloilmakoneet varusteineen poistetaan. Uusi kone sijoitetaan katolle ja yhdistetään vanhoihin tuloilmakanaviin, jotka eristetään ilman kondensoitumisen estämiseksi. Mitoitusilmavirta on tuotannon aikana 3 m³/s ja tuotannon ulkopuolisella ajalla kone sammutetaan.

6.2 Lämmöntuotanto

Öljylämmitysjärjestelmä korvataan Carrier HXC80 -lämpöpumpulla (kuva 19), joka sijoitetaan katolle. Tuotannon aikana lämpöpumppu ottaa lämmitysenergiänsä prosessin palaavasta jäähdytysvedestä ja samalla pienentää nykyisen jäähdytyskoneen kuormaa. Lämpöpumpulla lämmitetään puskurivaraajaa, joka on yhdistetty toimiston patteriverkoston ja uusien tuloilmakoneiden jälkilämmityspattereihin sekä olemassa oleviin Swegonin lämmityspattereihin.



Kuva 19. Carrier 30HXC.

Tuotannon ulkopuolisella ajalla lämmitys tapahtuu lämpöpumpulla, kun ulkolämpötila on yli +2 °C. Lämmönlähteenä on uusi katolle sijoitettava Carrier 09GF -nestejäähdytin (kuva 20). Kylmemmissä lämpötiloissa käytetään varaa-
jan sähkövastuksia. Toimiston lämmitystä tehostetaan tarvittaessa ilmalämmityksellä, koska toimiston patteriverkoston vaatima lämpötila huonontaisi lämpöpumpun COP-arvoa.



Kuva 20. Carrier 09GF.

6.3 Jäähdytys

Jäähdytykseen käytetään uutta Carrier HXC80 -lämpöpumppua. Lauhdepuolen lämmennyt vesi jäähdytetään Carrierin 09GF -nestejäähdyttimessä. Jäähdytyspiiri kytketään toimiston tuloilman jäähdytyspattereihin sekä tuotantohalliin 2 tuleviin puhallinkonvektoreihin.

6.4 Pääkomponentit

Taulukosta 13 nähdään uuden laitteiston pääkomponentit ja niiden sijoituspaikat. Ilmankäsittelylaitteille ja lämmityslaitteistolle rakennetaan huoltokatos. Pääkomponenttien lisäksi laitokseen tulee suuri määrä pienempiä komponentteja, kuten erilaisia venttiileitä ja säätölaitteita.

Taulukko 13. Pääkomponentit ja niiden sijoituspaikat.

Uuden laitteiston pääkomponentit	Sijoituspaikka/käyttökohde
Carrier 30HXC80	Katto
Carrier 09GF	Katto
Varaaja sähkövastuksilla	Katto
Airovision 39HQ (12 m ³ /s)	Katto/Tuotantohalli 1
3 kpl Retermia LTOH EC-puhaltimella	Katto/Tuotantohalli 1
Airovision 39HQ (3 m ³ /s)	Katto/Toimisto
3 kpl Retermia LTOH EC-puhaltimella	Katto/Toimisto
Puhallinpatterikojeet	Tuotantohalli 2/Tuotantohalli 2
Halton AFB -piennopeustuloilmalaitteet	Tuotantohallit/Tuotantohallit

7 VUOTUINEN LÄMMITYSENERGIANTARVE JA LÄMMITYSKUSTANNUKSET

Vuotuisen lämmitysenergiantarpeen laskennassa on käytetty rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutuksen laskentaa varten kehitettyä nykyistä ilmastoa vastaavaa uutta testivuotta (Ilmatieteenlaitos 2011). Sen perusteella on laadittu lista lämpötilojen tuntisesta pysyvyydestä vuodessa ja laskettu lämmitystehontarpeet kyseisille lämpötiloille. Kertomalla lämpötilan tehontarve ja tunnin pysyvyys saadaan kyseisen lämpötilan vuotuinen lämmitysenergiantarve. Summaamalla yhteen jokaisen lämpötilan lämmitysenergiantarve, saadaan tulokseksi kokonaislämmitysenergiantarve.

Sähkövastuksia käyttäessä lämmitysenergian määrä on yhtä suuri kuin sen sähköverkosta ottama energia ja kun taas lämpöpumppua käyttäessä sen sähköverkosta ottama energia saadaan jakamalla lämmitysenergiantarve COP-arvolla. Kustannukset saadaan kertomalla ottoenergian määrä sähkönn hinnalla.

Taulukosta 14 nähdään, että esimerkiksi lämpötilan -21 °C esiintyvyys testivuotena on 7 tuntia. Koska tuotantoa on 65 % ajasta, lämpötilan esiintyvyys tuotannon aikana on 65 % 7 tunnista eli 4,55 tuntia. Tehontarve tuotannon aikana lämpötilassa -21 °C on 238 kW, joten lämmitysenergiantarve on $238 \text{ kW} \cdot 4,55 \text{ h} = 1082 \text{ kWh}$. Tämä pystytään tuottamaan lämpöpumpulla, jonka sähköverkosta ottama energian määrä saadaan jakamalla lämmitysenergiantarve COP-arvolla eli lämpöpumppu ottaa sähköverkosta 361 kWh. Tällöin kustannuksia tulee noin 31 €.

Taulukko 14. Tuotannon aikainen energiantarve ja kustannus

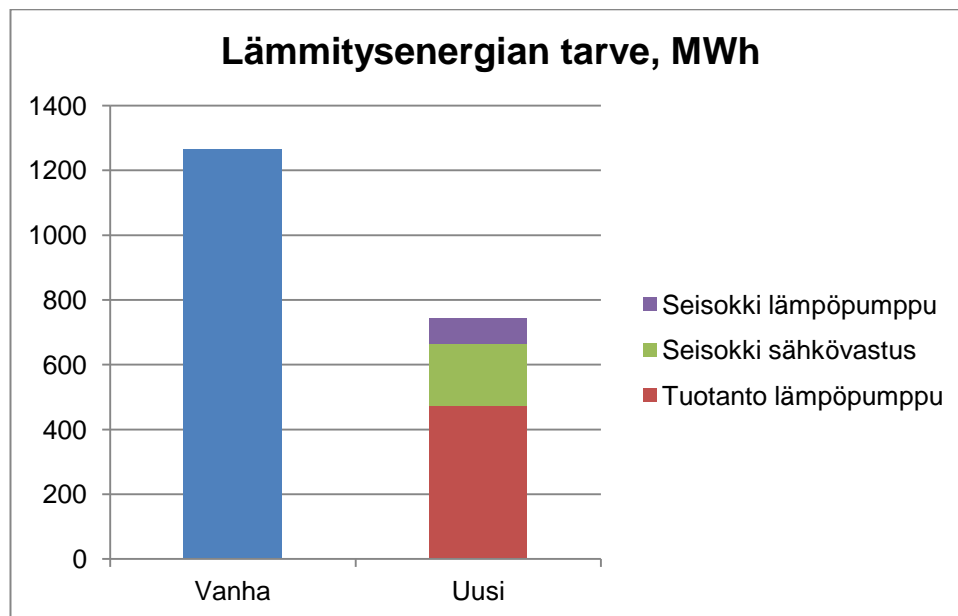
Tu, °C	h/a	Osuus, %	Tehontarve, kW	Energiantarve, kWh	COP	Ostoenergia, kWh	Kustannus, €
-21	7	0,65	238	1082	3	361	31
-20	19	0,65	232	2864	3	955	81
-19	23	0,65	226	3378	3	1126	96

COP -arvona laskuissa on käytetty arvoa 3. On huomioitava, että todellisuudessa COP -arvo muuttuu sen mukaan, kuinka lämmintä vettä tuotetaan lämmitykseen. Lisäksi ulkoilman lämpötila vaikuttaa COP-arvoon lämpöpumpun ottaessa energiansa ulkoilmasta nestejäähdyttimen avulla.

7.1 Tulokset

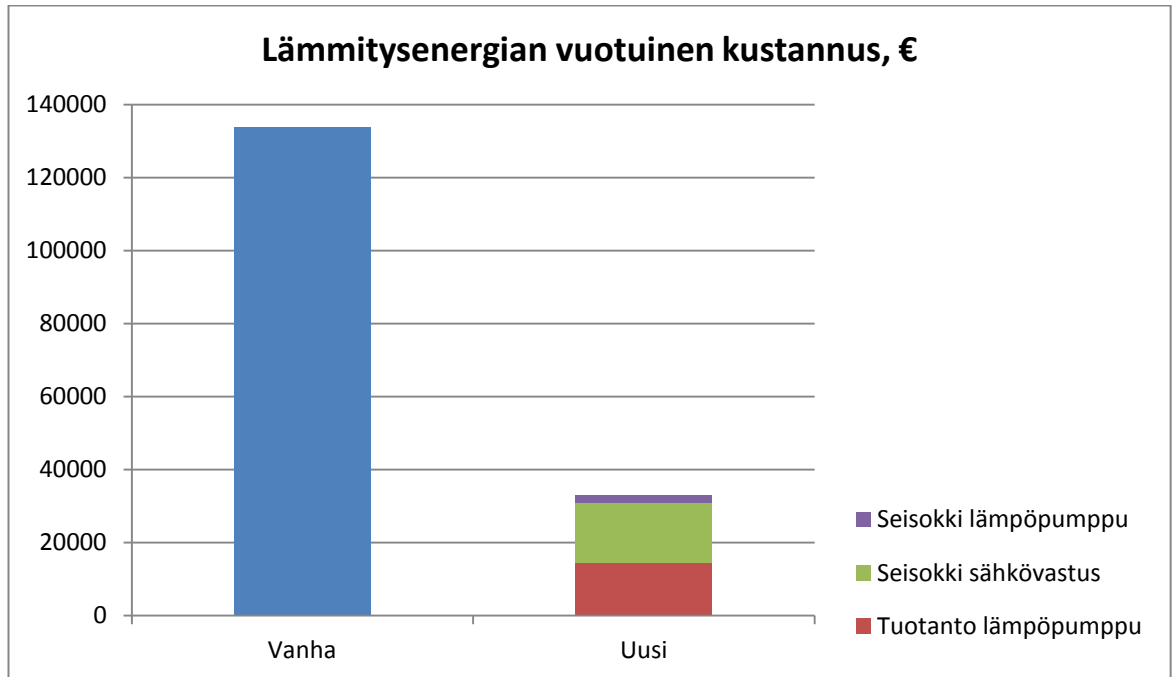
Liitteissä 5 ja 6 on laskettu lämmitysenergiankulutus ja kustannus erikseen tuotannon ajalle ja sen ulkopuoliselle ajalle. Uuden järjestelmän kokonaislämmitysenergiatarve vuodessa on noin 740 MWh. Lämmöntalteenotolla ja kierrätysilmatoiminnolla saadaan siis pienennettyä tarvetta noin 500 MWh. Säädettyjen IV-koneiden avulla on mahdollista säätää ilmavirtoja tarpeen mukaan ja saada kulutusta vieläkin pienemmäksi.

Kuviosta 4 nähdään uuden lämmitysenergiatarpeen jakautuminen ja sen suhde alkuperäiseen energiatarpeeseen. Suurin osa lämmitysenergiasta tarvitaan tuotannon aikana.



Kuvio 4. Lämmitysenergiatarpeen jakautuminen.

Suurin osa lämmitysenergiasta voidaan tuottaa lämpöpumpun avulla hyvällä hyötysuhteella ja sen ansiosta uuden järjestelmän lämmityskustannukset vuodessa ovat noin 30 000 € eli säästöä syntyy noin 100 000 €. Kuviosta 5 nähdään kustannusten jakautuminen ja niiden suhde alkuperäisiin kustannuksiin.



Kuvio 5. Lämmityskustannukset.

Huomataan, että sähkövastuksien osuus kustannuksista on kuitenkin yllättävän suuri, vaikka käyttöaika on pieni. Onkin huomioitava, että lämmitysenergiankulutukseen ja kustannuksiin vaikuttaa oleellisesti tuotantoajon määrä.

8 SÄÄSTÖ JA TAKAISINMAKSUAIKA

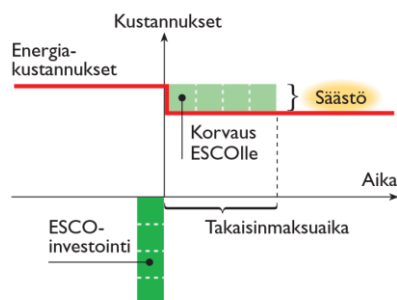
Investoinnin hinta-arvio on 550 000 euroa, ja sillä on mahdollista saada vuodessa noin 100 000 euron säästö lämmityskustannuksista. Hinta sisältää suuren osan tarvittavista asennustöistä, mutta lisäkustannuksia kuitenkin tulee jonkin verran. Investoinnin takaisinmaksuajaksi saadaan noin 5,4 vuotta, joka on melko lyhyt (taulukko 15).

Taulukko 15. Takaisinmaksuaika.

Kustannukset nykytilanne, €	Kustannukset uusi järjestelmä, €	Säästö lämmityskustannuksissa, €	Projektin hinta-arvio, €	Takaisinmaksuaika, vuotta
133968	31763	102205	550 000	5,4

Saneerauksen yhteydessä tehdään myös huoltotoimenpiteitä uusimalla vanhoja IV-koneita sekä parannetaan työskentelyolosuhteita syrjäyttävällä ilmanvaihdolla ja tehokkaammalla jäähdytyksellä. Tällöin itse lämmitysjärjestelmäsaneerauksen takaisinmaksuaika on vieläkin lyhyempi.

Takaisinmaksuaikaa on mahdollista laskea työ- ja elinkeinoministeriön myöntämän energiatuen avulla. Liittymällä energiatehokkuussopimusjärjestelmään tukea on mahdollista saada 20 % hyväksyttävistä kustannuksiin, mutta se edellyttää sitoutumista toimenpideohjelmiin ja vaatii suuren työpanoksen. Toinen vaihtoehto on käyttää ESCO-palvelua (kuva 21), jolloin tuki on 15 % hyväksyttävistä kustannuksista.



Kuva 21. ESCO-malli (Motiva 2013).

ESCO-palvelussa ulkopuolinen energia-asiantuntija (Carrier Oy) suorittaa asiakasyrityksessä investointeja energian säästämiseksi ja sitoutuu samalla tavoitteiden saavuttamiseen. Kustannukset maksetaan toteutuneilla säästöillä, jotka syntyvät investoinnin seurauksena.

On kuitenkin huomioitava, että tukea saa vain energiansäästöön pyrkivistä toimenpiteistä, jolloin työn kohteen tapauksessa tuen ulkopuolelle jäävät ainakin IV-kanavat ja jäähdytys. Tuet ovat myös aina tapauskohtaisia. (Motiva Oy 2013.)

9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli laatia esisuunnitelma lämmitys- ja IV-saneeruksesta helpottamaan Carrier Oy:n tarjouksen tekoa. Suunnitelman päätavoitteena oli saada lämmityskustannukset mahdollisimman pieniksi investoinnin kustannusten kuitenkin pysyessä kohtuullisina.

Työn tavoitteet saavutettiin hyvin, koska kohteesta tehty esisuunnitelma toimi tarjouksen lähtökohtana. Suunnitelman perusteella lämmityskustannuksia saataisiin vähennettyä noin 100 000 euroa vuodessa. Samalla päästään irti epäekologisesta öljylämmitysjärjestelmästä sekä saadaan uudet toimintavarmat lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät. Myös työskentelyolosuhteet paranevat tehostuneen ilmanjaon ja jäähdytyksen ansiosta.

LÄHTEET

Happonen, T. 2010. Ilmalämpöpumpun toiminta ja asennus. Kuopio: Kopijyvä Oy.

Ilmatieteenlaitos 2011. Energialaskennan testivuodet. Viitattu 23.3.2013 www.ilmatieteenlaitos.fi > Palvelut yrityksille > Rakentaminen ja kiinteistöhuolto > Rakennusten energialaskennan ilmastolliset testivuodet > Energialaskennan testivuodet.

Insinööritoimisto Sarkki & LVI-konsultointi Sarkki Oy 2012. LVI-kalenteri 2013. Helsinki: Suomen kalenterit Oy.

Motiva Oy 2013. Katselmus- ja investointituet. Viitattu 23.3.2013 www.motiva.fi > Toimialueet > Energiakatselmustoiminta > TEM:n tukemat energiakatselmuksset > Katselmus- ja investointituet.

Motiva Oy 2013. Kulutuksen normitus. Viitattu 23.3.2013 www.motiva.fi > Julkinen sektori > Kiinteistöjen energianhallinta > Kulutuksen normitus.

Neste 1987. Teollisuushallin lämmityksen ja ilmastoinnin suunnittelutietoa. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Perälä, R. 2009. Lämpöpumput. Helsinki: Alfamer Oy.

Rakennustietosäätiö 1989. Teollisuusilmanvaihdon suunnittelu, osa 1. Helsinki: Rakennuskirja Oy.

Rakennustietosäätiö 1990. Keskusilmastointikoneen osien valinta ja mitoitus. Helsinki: Rakennuskirja Oy.

Rakennustietosäätiö 1996. Huonetilojen jäähdytysjärjestelmät liike- ja toimistorakennuksissa. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustietosäätiö & LVI-Keskusliitto 1992. Rakennuksen jäähdytystarpeen määrittäminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustietosäätiö RTS & LVI-Keskusliitto 2002. Lämpöpumput. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustietosäätiö RTS & LVI-Keskusliitto 2006. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Retermia Oy 2013. LTO-huippumuri (LTOH). Viitattu 23.3.2013 www.retermia.fi > Teknologia > Tuotetyypit > LTO-huippumuri (LTOH)

Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan kirjapaino Oy

Seppänen, O & Seppänen, M. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. 3. painos. Espoo: SIY Sisäilmätieto Oy.

Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003. C4. Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007. D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Tammertekniikka 2005. Tekniikan kaavasto. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Lämmitystehontarve tuotannon aikana

Tuotanto päällä	Toimisto	U-arvo (W/ Km2)	Pinta-ala (m2)	$\Delta T(K)$	Hyötysuhdekerroin(1/ η)	Tehontarve(kW)
Johtuminen	Rakenneosa	0,50761	250	47	1,25	7,5
	Ulkoseinä	0,27409	395	47	1,25	6,4
	Yläpohja	5,74712	7,2	47	1,25	2,4
	Ovi	2,7	73	47	1,25	11,6
	Ikkuna	0,4879	62	14	1,25	0,5
	Alapohja, reuna	0,1936	333	14	1,25	1,1
	Alapohja, sisä					
Vuotoiv	ilman tiheys (kg/m ³)	1000	vuotoilmavirta (m ³ /s)			
	1,2	1000	0,155	47	1,25	10,9
						40,4

Ilmanvaihto	Ilman tiheys (kg/m3)	ilman ominaislämpökap. (J/kgK)	ilmavirta(m3/s)	$\Delta T(K)$	Hyötysuhdekerroin(1/ η)	
Toimisto(+21)	1,2	1000	3	22,5	1,11	89,9
Tuotanto 1(+17)	1,2	1000	6	18,5	1,11	147,9
						237,8

Yhteensä	278,2
----------	-------

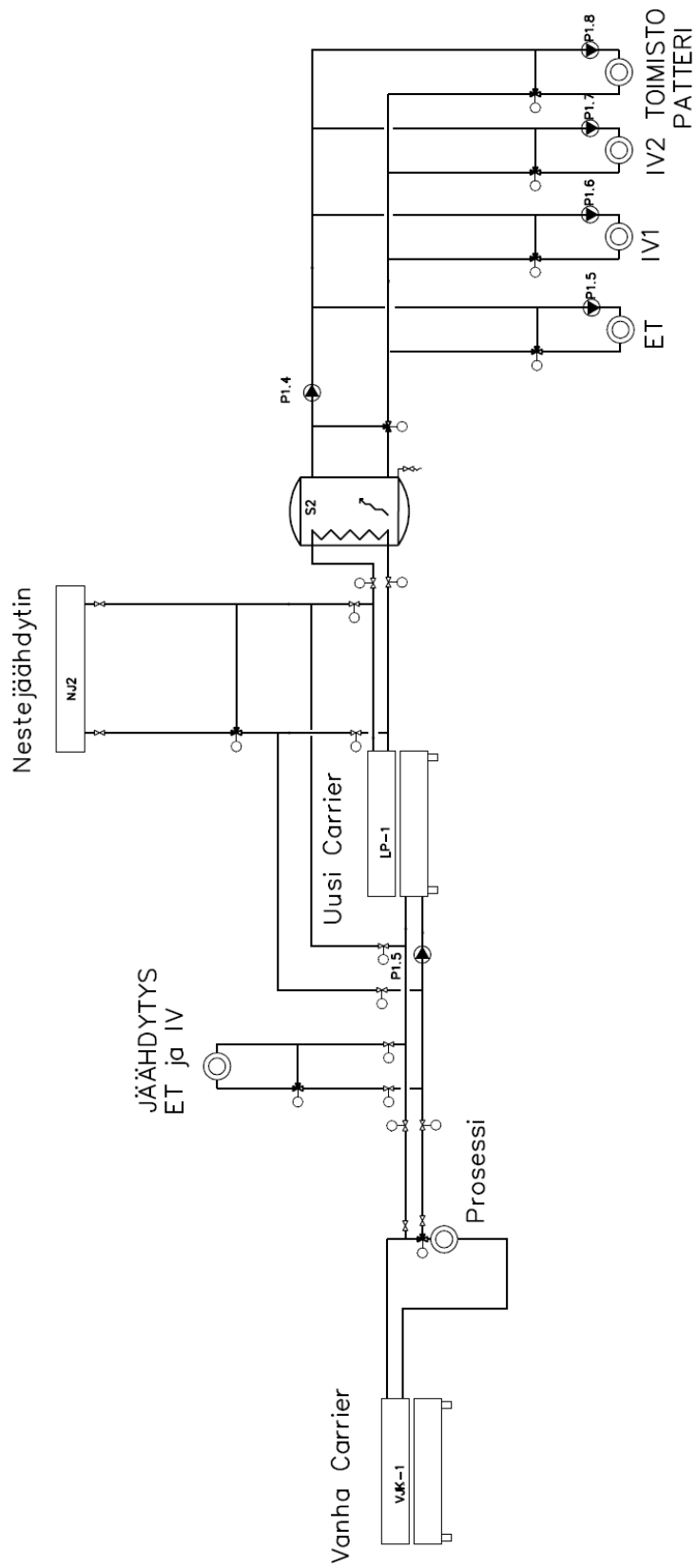
Lämmitystehontarve tuotannon ulkopuolisella ajalla (1/2)

Seisokki	Toimisto	U-arvo (W/ Km2)	Pinta-ala (m2)	T(K)	Hyötysuhdekerroin(1/n)	Tehontarve(kW)
	Rakenneosa					
	Ulkoseinä	0,50761	250	47	1,25	7,5
	Yläpohja	0,27409	395	47	1,25	6,4
Johtuminen	Ovi	5,74712	7,2	47	1,25	2,4
	Ikkuna	2,7	73	47	1,25	11,6
	Alapohja,reuna	0,4879	62	14	1,25	0,5
	Alapohja,sisä	0,1936	333	14	1,25	1,1
	ilman tiheys (kg/m ³)	ilman ominaislämpök. (J/kgK)	vuotoilmavirta (m3/s)			
Vuotoiv	1,2	1000	0,155	47	1,25	10,9
						40,4
Seisokki	Tuotanto 1	U-arvo (W/ Km2)	Pinta-ala (m2)	T(K)	Hyötysuhdekerroin(1/n)	Tehontarve(kW)
	Rakenneosa					
	Ulkoseinä	0,50761	1400	41	1,11	32,3
	Yläpohja	0,27409	2800	41	1,11	34,9
Johtuminen	Ovi	0,99	48	41	1,11	2,2
	Ikkuna	2,7	150	41	1,11	18,4
	Alapohja,reuna	0,4879	158	8	1,11	0,7
	Alapohja,sisä	0,1936	2642	8	1,11	4,5
	ilman tiheys (kg/m ³)	ilman ominaislämpök. (J/kgK)	vuotoilmavirta (m3/s)			
Vuotoiv	1,2	1000	1,594	41	1,11	87,1
						180,1

Lämmitystehontarve tuotannon ulkopuolisella ajalla (2/2)

Seisokki	Tuotanto 2								
Johtuminen	Rakenneosa	U-arvo (W/ Km2)	Pinta-ala (m2)	T(K)	Hyötysuhde-kerroin(1/η)	Tehontarve(kW)			
	Ulkoseinä	0,50761	340	41	1,11	7,9			
	Yläpohja	0,27409	794	41	1,11	9,9			
	Ovi	0,99	48	41	1,11	2,2			
	Ikkuna	2,7	31	41	1,11	3,8			
	Alapohja,reuna	0,4879	52	8	1,11	0,2			
	Alapohja,sisä	0,1936	742	8	1,11	1,3			
Vuotoiv	ilman tiheys (kg/m ³)	ilman ominaislämpök. (J/kgK)	vuotoilmavirta (m ³ /s)						
	1,2	1000	0,451	41	1,11	24,6			49,9
Ilmanvaihto Tuotanto 2(+15)	Ilman tiheys (kg/m ³)	ilman ominaislämpökap. (J/kgK)	ilmavirta(m ³ /s)	LTO (1-η)	T(K)	Hyötysuhde-kerroin(1/η)	Tehontarve(kW)		
	1,2	1000	2,3	0,3	41	1,11	37,7		37,7
Yhteensä							308		

Toimintakaavio



Ilmavirtojen ohjearvot (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, D2)

Taulukko 2. Toimistorakennukset #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Toimistohuone ja vastaavat tilat		1,5		33 / 38 *	0,20 / 0,30	*C1 ohje
Neuvotteluhuone	8	4		33 / 38	0,20 / 0,30	#3
Asiakastila		2		38 / 43	0,30 / 0,40	#2,
Käytävätila		0,5		38 / 43	0,30	#2,
Kahvio, taukotila		5		38 / 43	0,25	
Arkisto, varasto			0,35			
Tupakointitila: – rakennuksen käyttöaikana – rakennuksen käyttäjän ulkopuolella			20	38 / 43	0,30	#4
Kopiointihuone		1	4			#4
#1	Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.					
#2	Kiinteiden työpisteiden ilman nopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.					
#3	Jos rakennuksessa on kolme tai useampia neuvotteluhuoneita, on niiden ilmanvaihto oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.					
#4	Tupakointitilan on aina oltava alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.					

Taulukko 9. Työtilat yms. #1, #2 ja #3

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Tehdastyö: – Kevyt – Keskiraskas	10 10	1,5 #4 1,5 #4			0,20 / 0,30 0,25 / 0,50	
Laboratoriot (kemian)	8	1		38 / 43	0,20 / 0,40	#E, T
Autokorjaamo, katsastustilat		7 #5	3	43 / 48	0,25	
#1	Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.					
#2	Rakennukseen kuuluvissa toimistotiloissa sovelletaan toimistorakennuksen ohjeita.					
#3	Poistoilmavirtaa ja vastaavasti ulkoilmavirtaa suurennetaan kohdepoistojen ja/tai epäpuhtauksien hallitsemisen edellyttämällä määrällä.					
#4	Ilmanvaihtolaitos mitoitetaan vähintään ko. ilmavirralla. Laitosta voidaan käyttää pienemmällä ilmavirralla työtaivoista yms. tehtävän selvityksen epäpuhtauspäästöjen ja lämpökuormien perusteella. Ilman nopeudet ovat esimerkkejä. Työn luonne ratkaisee lämpötilatason ja ilman nopeuden tapauskohtaisesti.					
#5	Edellyttää paikallista pakokaasun poistoa, jonka suuruus on vähintään 100 dm ³ /s henkilöautoille ja 300 dm ³ /s kuorma-autoille. Mikäli käytetään pakokaasunpoistokiskoa, joihin ajoneuvot ovat liitettyinä koko ajan, voi ilmavirta olla 2 (dm ³ /s)/m ² . Poistoilmavirta mitoitetaan ottaen huomioon pakokaasunpoisto siten, ettei tila ole alipaineinen, ks. myös standardi SFS 3352.					
#E	Tapauskohtainen suunnittelu.					
#T	Ilmanvaihdon tarpeenmukaisen käytön oltava mahdollista.					

Lämmitysenergiankulutus ja -kustannus tuotannon aikana

Tuotannon ajan energiantarve							
Tu, °C	h/a	Aika vuodesta,%	Tehontarve,kW	Energiantarve, kWh	COP	Ostoenergia, kWh	Kustannus, €
-21	7	0,65	238	1082	3	361	31
-20	19	0,65	232	2864	3	955	81
-19	23	0,65	226	3378	3	1126	96
-18	21	0,65	220	3003	3	1001	85
-17	30	0,65	214	4175	3	1392	118
-16	55	0,65	208	7442	3	2481	211
-15	83	0,65	202	10912	3	3637	309
-14	63	0,65	196	8040	3	2680	228
-13	72	0,65	190	8911	3	2970	252
-12	52	0,65	184	6236	3	2079	177
-11	49	0,65	179	5687	3	1896	161
-10	49	0,65	173	5499	3	1833	156
-9	76	0,65	167	8236	3	2745	233
-8	124	0,65	161	12960	3	4320	367
-7	146	0,65	155	14697	3	4899	416
-6	169	0,65	149	16362	3	5454	464
-5	174	0,65	143	16176	3	5392	458
-4	193	0,65	137	17199	3	5733	487
-3	214	0,65	131	18247	3	6082	517
-2	237	0,65	125	19295	3	6432	547
-1	301	0,65	119	23347	3	7782	661
0	519	0,65	113	38258	3	12753	1084
1	494	0,65	107	34513	3	11504	978
2	460	0,65	102	30367	3	10122	860
3	354	0,65	96	22006	3	7335	624
4	280	0,65	90	16328	3	5443	463
5	301	0,65	84	16394	3	5465	464
6	279	0,65	78	14121	3	4707	400
7	300	0,65	72	14029	3	4676	397
8	280	0,65	66	12016	3	4005	340
9	285	0,65	60	11133	3	3711	315
10	290	0,65	54	10212	3	3404	289
11	293	0,65	48	9190	3	3063	260
12	293	0,65	42	8062	3	2687	228
13	322	0,65	36	7620	3	2540	216
14	297	0,65	30	5885	3	1962	167
15	291	0,65	25	4645	3	1548	132
16	309	0,65	19	3743	3	1248	106
17	209	0,65	13	1727	3	576	49
18	180	0,65	10,0	1169	3	390	33
				475	MWh	Yhteensä	13463

Lämmitysenergiankulutus ja -kustannus tuotannon ulkopuolisella ajalla

Tuotannon ulkopuolinen aika				(COP 3)		
Tu, °C	h/a	Aika vuodesta,%	Tehontarve,kW	Energiantarve,kWh	Kustannus sähköv,€	Kustannus lämpöp,€
-21	7	0,35	276	677	58	
-20	19	0,35	269	1788	152	
-19	23	0,35	262	2106	179	
-18	21	0,35	254	1869	159	
-17	30	0,35	247	2594	220	
-16	55	0,35	240	4616	392	
-15	83	0,35	232	6754	574	
-14	63	0,35	225	4966	422	
-13	72	0,35	218	5492	467	
-12	52	0,35	211	3834	326	
-11	49	0,35	203	3488	296	
-10	49	0,35	196	3363	286	
-9	76	0,35	189	5022	427	
-8	124	0,35	182	7878	670	
-7	146	0,35	174	8904	757	
-6	169	0,35	167	9876	839	
-5	174	0,35	160	9725	827	
-4	193	0,35	152	10295	875	
-3	214	0,35	145	10870	924	
-2	237	0,35	138	11434	972	
-1	301	0,35	131	13755	1169	
0	519	0,35	123	22394	1903	
1	494	0,35	116	20056	1705	
2	460	0,35	109	17504	1488	
3	354	0,35	101	12568		356
4	280	0,35	94	9227		261
5	301	0,35	87	9152		259
6	279	0,35	80	7772		220
7	300	0,35	72	7593		215
8	280	0,35	65	6373		181
9	285	0,35	58	5761		163
10	290	0,35	50	5123		145
11	293	0,35	43	4429		125
12	293	0,35	36	3682		104
13	322	0,35	29	3226		91
14	297	0,35	21	2219		63
15	291	0,35	7	747		21
16	309	0,35	6,4	694		20
17	209	0,35	5,5	403		11
18	180	0,35	4,6	289		8
				267	16087	2246
				MWh	Yhteensä	18333