

Opinnäytetyö

Rauno Rantanen

ENERGIATEHOKKAIDEN RATKAISUJEN ETSIMINEN SÄHKÖASEMIEN LÄMMITYKSEEN

Työn valvoja Diplomi-insinööri Veijo Piikkilä, TAMK

Työn teettäjä Tampereen Kaupungin Tilakeskus

Tampere 2009

Rantanen, Rauno

Opinnäytetyö
Työn valvoja
Työn teettäjä

Toukokuu 2009
Hakusanat

Energiatehokkaiden ratkaisujen etsiminen
sähköasemien lämmitykseen
58 sivua + 7 liitetiedostoa
Diplomi-insinööri Veijo Piikkilä
Tampereen Kaupungin Tilakeskus,
ohjaajana kiinteistönpitopäällikkö Pertti Koivisto

Lämmitys, ilmalämpöpumppu, energiansäästö

TIIVISTELMÄ

Työn aiheena oli Tampereen kaupungin tilakeskuksen kolmen sähköaseman tilojen lämmityksen ja ilmastoinnin energiankulutuksen tutkiminen ja mahdollisten parannusten etsiminen. Työn tavoitteena oli elinkaaritarkastelujen avulla löytää sähköasemien lämmitykseen ja ilmanvaihtoon nykyistä energiatehokkaampia ratkaisuja esim. lämpöpumpputekniikan ja järjestelmien nykyistä kehittyneemmän ohjauksen avulla.

Kohteina olivat Hervannan, Teiskon ja Alasjärven sähköasemat. Lämmitystarve selvitettiin tilakohtaisesti kuhunkin rakennukseen kyseisissä kiinteistöissä. Lämmitystarpeen selvittämiseksi rakenteiden lämmönläpäisykertoimet laskettiin rakennekuvista saatavien tietojen perusteella. Tämän jälkeen pystyttiin mitoittamaan kuhunkin kiinteistöön tarvittavat ilmalämpöpumput ja laskettua lämmityskustannuksista vuodessa saatavat säästöt.

Tuloksien perusteella suurin hyöty saavutetaan vuodessa säästyvillä kilowattitunneilla, joiden lämmitykseen kuluva määrä putoaa huomattavasti. Tämä helpottaa Tampereen kaupunkia pääsemään askeleen lähemmäksi energiansäästösopimuksen tavoitteita, jonka tavoitteita myös Tampereen kaupunki on ajanut. Rahallinen säästökin on varteenotettava ja laitteet maksavat itsensä varsin nopeasti takaisin.

Laskettujen lämmitystarpeiden luotettavuus jäi odotettua heikommaksi, sillä monet rakenne-, ja pohjakuvista olivat epätarkkoja, mikä aiheutti ongelmia tehokkuusvertailuja tehtäessä. Verrattaessa laskelmia toteutuneisiin kulutuksiin, pystyttiin tekemään energiaa säästäviä ratkaisuehdotuksia uusiksi lämmitysvaihtoehdoiksi mielestäni kohtalaisen hyvin. Lämmitysratkaisuissa tiedostettiin lämmitystarpeen laskennallisten tarpeiden olevan suurempia kuin todellisuudessa, joten ehdotusten mukaisilla laitteilla energiaa tulee säästymään jopa enemmän kuin tämän työn laskelmat osoittavat.

Uusilla lämmityskeinoilla päästiin tuloksissa selviin säästöihin etenkin kilowattitunneissa, joka on kuntien energiansäästösopimusten kannalta hyvä asia.

Rantanen, Rauno

Finding energy efficient solutions in heating electric
transmission station estates

Engineering Thesis

58 pages, 7 appendices

Thesis supervisor

M.Sc. Veijo Piikkilä

Commissioning Company

Tampere city Tilakeskus

May 2009

Keywords

Heating, Air Conditioning Heat Pumps, Energy savings

ABSTRACT

Subject of this thesis were studying heating of three electric transmission stations real estates, owned by Tampere city's Tilakeskus. Goal of this thesis was to find better energy efficiency to produce and manage heating and air-conditioning.

Subjects of this study were Hervanta, Teisko and Alasjärvi electric transmission stations. Heat loads of the real estates' were investigated separately. To solve the heating load in a building we needed to calculate structures heat transfer coefficient in every estate.

After this, we could design what kind of air conditioning units are needed to heat up the buildings and calculate the costs per year in heating before and after the suggested methods.

On ground of the results, greatest benefits are achieved in yearly usage of kilowatt-hours per year witch are decreased remarkably. This thesis helps City of Tampere achieve energy savings contract, which City of Tampere has agreed to obey. Also financial savings are considerable and equipments used in this thesis reimburse them back in reasonable time.

Reliability of calculated results in heating loads remained weaker than were expected, because many of the structural design and plan papers were inaccurate and it leads in to troubles when efficiency comparisons were made

When compared calculated consumptions with actual consumptions, we could made solution suggestions that could save energy in heating costs quite well. We recognized that the heating loads were bigger in calculations than in reality, so these heating solutions may save even more energy that has been calculated in this thesis.

New heating solutions achieved clear savings especially with kilowatt-hours, which is good toward energy saving agreements.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET	
1. JOHDANTO	7
1.1 Työn tavoite	7
1.2 Työn rajausta ja lähtökohdat työn suorittamiselle	7
1.3 Tulosten arviointi	7
2. KIINTEISTÖJEN LÄHTÖTIEDOT JA NIIDEN MUOKKAAMINEN	8
3. TUTKITTAVIEN KIINTEISTÖJEN YLEINEN LÄMMITYSLAITTEIDEN PARANNUS	9
3.1 Ilmastoinnin huolto ja korjaus	9
3.2 Lämmityksen huolto ja korjaus	9
4. PARANNUSEHDOTUSTEN PERUSTIETOJA JA YLEINEN TEORIA LAITTEIDEN TOIMINNASTA	10
4.1 Taajuusmuuttaja	10
4.2 Ilmalämpöpumpun toiminta	11
5. LASKENNAN KULKU SEKÄ TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI	12
5.1 Rakenteiden U-arvojen laskeminen	12
5.2 Lämmitystarpeen laskenta	12
5.3 Ilmastoinnin energiankulutus	13
5.4 Ilmastoinnin ohjaus taajuusmuuttajalla	14
6. KOHTEIDEN TUTKIMINEN	14
6.1 Hervanta	14
6.1.1 U-arvot ja lämmönjohtuminen	14
6.1.1.1 Rakenteiden U-arvot	14
6.1.1.2 Rakenteiden lämmönjohtavuus ja energiankulutus	15
6.1.2 Laskennankulku, esimerkkinä Hervannan toimistorakennus	16
6.1.3 Ilmastoinnista aiheutuva energiankulutus	17
6.1.4 Vanhat laitteistot	17
6.1.5 Parannusehdotukset	18
6.1.5.1 Ilmastointi	19
6.1.5.2 Lämmitys	20
6.1.5.3 Ilmalämpöpumppujen tuottama säästöpotentiaali	20
6.1.5.4 ILP:n valinta toimistorakennukseen	22
6.1.5.5 ILP:n valinta autotalliin	24
6.1.5.5.1 Autotallin korkea osa	25
6.1.5.5.2 Autotallin matala osa, uusi lämmitettävä alue	26
6.1.6 Päätelmät	27

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Talotekniikka

6.2 Alasjärvi	28
6.2.1 U-arvot ja lämmönjohtuminen	28
6.2.1.1 Rakenteiden U-arvot	28
6.2.1.2 Rakenteiden lämmönjohtavuus ja energiankulutus	29
6.2.2 Laskennan kulku, esimerkkinä Alasjärven toimistorakennus	30
6.2.3 Ilmastoinnista aiheutuva energiankulutus	31
6.2.4 Vanhat laitteistot	32
6.2.5 Parannusehdotukset	32
6.2.5.1 Ilmastointi	33
6.2.5.2 Lämmitys	34
6.2.5.3 Ilmalämpöpumppujen tuottama säästöpotentiaali	34
6.2.5.4 ILP:n valinta toimistorakennukseen	36
6.2.5.5 ILP:n valinta autotalliin	38
6.2.5.5.1 Autotallin laajennusosa, ennestään lämmin osa	39
6.2.5.5.2 Autotallin alkuperäinen osa, uusi lämmitettävä osa	40
6.2.6 Päätelmät	41
6.3 Teisko	42
6.3.1 U-arvot ja lämmönjohtuminen	42
6.3.1.1 Rakenteiden U-arvot	42
6.3.1.2 Rakenteiden lämmönjohtavuus ja energiankulutus	43
6.3.2 Laskennan kulku	44
6.3.3 Ilmastoinnista aiheutuva energiankulutus	45
6.3.4 Vanhat laitteistot	45
6.3.5 Parannusehdotukset	46
6.3.5.1 Ilmastointi	46
6.3.5.2 Lämmitys	47
6.3.5.3 Ilmalämpöpumppujen tuottama säästöpotentiaali	47
6.3.5.4 ILP:n valinta Teiskon kiinteistöön	48
6.3.6 Päätelmät	52
7. LAITTEIDEN HANKINTAKUSTANNUKSET JA TAKAISINMAKSUAIKA.	53
7.1 Laitteiden hinnat	53
7.2 Kustannusten suuruus	54
7.3 Investointien takaisinmaksuun kuluva aika	55
8. PÄÄTELMÄT	57
Lähteet	58
Liitteet	58

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET, SANASTO

R_T	rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön	V	tilan ilmatilavuus, m ³
ΣH_{joht}	rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K	q_v , vuotoilma	vuotoilmavirta, m ³ /s, $n_{\text{vuotoilma}} \cdot V/3600$
U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)	$n_{\text{vuotoilma}}$	rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h
A	rakennusosan pinta-ala, m ² .	3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos m ³ /h → m ³ /s
T_s	sisäilman lämpötila, +21 °C	$\Phi_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho, W
T_u	ulkoilman lämpötila, °C	$H_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K
Δt	ajanjakson pituus, h (lasketaan vuoden ajalta)	Φ_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho, W
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi	H_{iv}	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
$T_{\text{maa, vuosi}}$	alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C	q_v , poisto	poistoilmavirta, m ³ /s
T_u , vuosi	ulkoilman vuotuinen keskilämpötila (RakMK D5, liite 1), °C	$\eta_{p, \text{mit}}$	lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitusolosuhteissa. Kohteessa ei ole lämmöntalteenottoa, joten lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhdetta $\eta_{p, \text{mit}}$ ei tarvitse laskea ja sen arvoksi voidaan asettaa 0.
$\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}$	alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman kuukausittainen keskilämpötilaero (RakMK D5 taulukko 4.1), °C	COP	Coefficient of Performance, ilmalämpöpumpun lämpökerroin
Q_{joht}	Rakenteiden läpi johtuva energia	Q	virtaus
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh	Q1	nimellisvirtaus
$H_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K	Q2	alentunut virtaus
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³	P	teho
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)	P1	nimellisteho
q_v , vuotoilma	vuotoilmavirta, m ³ /s	P2	alentunut teho
T_s	sisäilman lämpötila, °C	H	paine
T_u	ulkoilman lämpötila, °C	H1	nimellispaine
T_u , mit	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C	H2	alentunut paine
Δt	ajanjakson pituus, h	n	nopeuden säätely
		n1	nimellisopeus
		n2	alentunut nopeus

1. JOHDANTO

Työn aiheena oli Tampereen kaupungin tilakeskuksen kolmen sähköaseman tilojen lämmityksen ja ilmastoinnin energiankulutuksen tutkiminen ja mahdollisten parannusten etsiminen.

1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli elinkaaritarkastelujen avulla löytää sähköasemien lämmitykseen ja ilmanvaihtoon energiatehokkaampia ratkaisuja esimerkiksi lämpöpumpputekniikan ja järjestelmien paremman ohjauksen avulla.

Kiinteistöissä tämänhetkinen lämmitys on toteutettu sähkövastuspattereilla tai sähkökäyttöisellä lattialämmityksellä. Näiden tilalle pyritään löytämään taloudellisemmat ratkaisut, kuten ilmalämpöpumput. Ilmastointi on toteutettu joko erillisillä tulo- ja poistoilmakoneilla, ilman lämmöntalteenottoa tai pelkällä pistoilmakoneella. Ellei koko ilmastointia lähdetä uusimaan, lämmöntalteenottoa ei ollut syytä lähteä tutkimaan (LTO-ilmastointilaitteistoa). Näiden tietojen pohjalta alettiin tutkia erilaisia toteuttamiskelpoisia vaihtoehtoja.

1.2 Työn rajaus ja lähtökohdat työn suorittamiselle

Jokainen kohde tutkittiin erikseen, mutta parannusehdotuksissa pyrittiin yhtenäiseen toteutukseen huollon ja kunnossapidon tehostamiseksi. Yhtenäinen laitteisto selkeyttää myös kustannusten laskentaa esimerkiksi urakkatarjousten laatimisessa; samoin yhtenäisen laitteiston huolto- ja kunnossapito saadaan yhdestä yrityksestä.

Aluksi pyrittiin selvittämään rakennusten rakenteiden U-arvot joiden avulla saatiin käsitys lämmitystarpeesta. Vanhoista kuvista ei suoraan U- tai K-arvoja löytynyt, joten ne jouduttiin laskemaan kuvista löytyvien tietojen pohjalta. Lämmitystarvelaskelmat jäivät luotettavuudeltaan odotettua heikommiksi, sillä monet kuvista olivat epätarkkoja, mikä aiheutti selkeitä ongelmia laskettaessa rakenteiden vahvuuksia ja materiaaleja. Tästä syystä joidenkin rakenneosien lämmönjohtavuudet saattavat olla selkeästi todellisuutta korkeammat, moni rakenneosa jäikin osin tästä syystä U-arvoitansa nykyisiä normeja selkeästi alemmalle tasolle. Osassa rakennusten rakenteista jouduttiin tyytymään arvioihin jotka perustuivat kyseisen ajankohdan mukaisiin muihin vastaaviin rakenteisiin. Laskelmissa pyrittiin kuitenkin siihen, että kaikkia tietoja pystytään tarvittaessa tarkentamaan yksinkertaisilla lukuarvojen korjauksilla taulukkolaskentaohjelmassa ja näin parantamaan tulosten luotettavuutta.

1.3 Tulosten arviointi

Tulosten luotettavuutta päästiin vertaamaan rakennusten vanhojen sähkölukemien perusteella mutta toteutuneita lämmityksen kokonaiskulutuksia ei suoraan saatu selville, vaan

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

lämmityksen osuus jouduttiin arvioimaan laskemalla muun sähkönkulutuksen osuus pois kokonaiskulutuksesta. Sähkönkulutuksesta pyrittiin siis erottamaan sähkölämmitys ja sähkölämmitteinen ilmanvaihto muusta rakennuksissa käytetystä sähköenergiasta ja näin saamaan selville rakennuksen lämmittämiseen ja ilmanvaihtoon kulunut energia.

Laskettuja lämmityskuluja ei siis päästy vertaamaan todellisiin lämmityskuluihin, mutta laskennallisesti lämmityskuluissa päästiin lähelle arvioituja todellisia kuluja.

2. KIINTEISTÖJEN LÄHTÖTIEDOT JA NIIDEN MUOKKAAMINEN

Taulukko 2.1, Rakennusten kokonaissähkönkulutus (liitteessä 7. tarkemmat laskelmat):

Kohteen tiedot	Kok. kulutus, kWh	Lämpimän käyttöveden osuus /a, kWh	Valaistus ym. laitteet, kWh	Lämmitysenergian määrä ilman käyttöväettä, kWh	Lämmitysenergian määrä, kWh	Vuotuinen normeerattu lämmitysenergian määrä, kWh
Alasjärvi kpnro. 6188088, Niihamankatu 10:						
3.5.2006–8.5.2007	97 980	4 096	40 728	53 156	57 252	57 718
8.5.2007–21.5.2008	89 706	4 096	40 728	44 882	48 978	48 675
Laskettu keskiarvo	93 843	4 096	40 728	49 019	53 115	53 200
Hervanta kpnro. 6241597, Hepolamminkatu 16:						
7.2.2007–7.2.2008	131 980	7 240	71 984	52 756	59 996	56 989
7.2.2008–13.2.2009	130 795	7 240	71 984	51 571	58 811	55 694
Laskettu keskiarvo	131 388	7 240	71 984	52 164	59 404	56 400
Teisko kpnro. 6210187, Viitapohjantie 144:						
14.7.2006–24.8.2007	53 315	3 783	37 613	11 919	15 702	12 676
24.8.2007–23.7.2008	57 950	3 783	37 613	16 554	20 337	17 742
Laskettu keskiarvo	55 633	3 783	37 613	14 237	18 020	15 200

Taulukosta 2.1 käy ilmi että vuosittaiset vaihtelut voivat olla hyvinkin suuria rakennuksen lämmityksessä. Tämä johtuu pääosin vaihtelevista ulkoilman lämpötiloista, mikä vaikuttaa suoraan lämmityskauden pituuteen ja lämmitystarpeeseen. Lähtötietojen arvioinnissa käytettiin laskentaperusteina pienen (<100 hengen) toimistorakennuksen oletuskulutuksia. Laskennassa käytetyt lämpimän käyttöveden laskentatiedot löytyvät RakMK D5:n luvusta 5. Rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus lasketaan RakMK D5:n luvun 7 mukaan. Luvun 7 laskentamallissa on mukana valaistussähkön, ilmanvaihtojärjestelmän sähkön ja muun

laitesähkön yhteenlaskettu kulutus ilman lämmitykseen ja tilojen jäädytykseen käytettyä sähköä.

3. TUTKITTAVIEN KIINTEISTÖJEN YLEINEN LÄMMITYSLAITTEIDEN PARANNUS

3.1 Ilmastoinnin huolto ja korjaus

Mikäli kiinteistössä tehdään saneerauksia tai merkittäviä huoltoja ilmastointilaitteille, tulisi ilmanvaihtojärjestelmän perussäädöt tarkistaa samalla ja asettaa ne vastaamaan suunnitelmissa esitettyjä arvoja. Jo tämä toimenpide saattaa usein saada aikaan säästöjä niin energiankulutuksessa kuin vikaantumisen aiheuttamissa korjauskuluissakin. Kiinteistöjen sähkökuvista ei selviä mikäli ilmastointi- tai lämmityslaitteistossa on jo olemassa olevaa automatiikkaa sähkökeskuksen omien kellokytkimien lisäksi. Kuvien mukaan kohteissa ei myöskään ole ilmastointikoneissa taajuusmuuttajia. Saneerauksen tai huollon yhteydessä laitteistoihin voitaisiin lisätä nykyaikainen ohjauslaitteisto. Lisäksi voitaisiin esimerkiksi siirtää ilmastointikoneiden puhaltimien ohjaus taajuusmuuttajille ja vaihtaa vanhojen tuloilman lämmityksessä käytettyjen sähköpattereiden tilalle ilmalämpöpumpputekniikalla toteutettu tuloilmanlämmitys.

Ilmastoinnin puhaltimen energiakulutusta voidaan pienentää käyntiaikoja lyhentämällä, ilmavirtojen käytön mukaisella ohjauksella, kanaviston vastusta pienentämällä ja parantamalla puhaltimen kokonaishyötysuhdetta. Hyötysuhdetta alentavia tekijöitä ovat (ilmalle pyörivän liikkeen aiheuttavat) puhaltimen imuaukossa olevat häiriöt, liian suuri sähkömoottori, löysä tai liian kireä kiilahihna, likaisuus ja huonot kanavaliitokset. 11/

3.2 Lämmityksen huolto ja korjaus

Huonekohtaisen sähkölämmityksen energiatehokkuutta voidaan parantaa normaalisti myös perushuollon yhteydessä tarkastamalla termostaattien oikea toiminta, mikäli lämmityspattereiden termostaatit ovat epätarkkoja tai eivät katkaise lämmitystä tarvittaessa, energiaa kuluu hukkaan huoneen lämpötilan jatkuvan vaihtelun takia. Tämä aiheuttaa lämmitykseen muodostuvan sahaavan liikkeen, joka tuntuu käyttäjältä epämukavalta, kun huone tuntuu vuoroon liian kuumalta ja vuoroon liian kylmältä.

4. PARANNUSEHDOTUSTEN PERUSTIETOJA JA YLEINEN TEORIA LAITTEIDEN TOIMINNASTA

4.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajan asennus olemassa olevaan järjestelmään on suhteellisen vaivatonta monessa tapauksessa. Ohjausparametreina taajuusmuuttajien säädössä voidaan käyttää sekä ilman laatua että lämpötilaa. /1/

Taajuusmuuttaja mahdollistaa sähköverkon ja käyttölaiteistojen rasitusten pienentämisen (esim. kiihdytys- ja hidastustilanteissa), mikä puolestaan lisää laitteistojen käyttöikää.

Taajuusmuuttajien on havaittu säästävän runsaasti energiaa puhallinkäytössä, sillä taajuusmuuttajalla saadaan puhallin käymään halutulla nopeudella ja haluttuna kellonaikana, joten esimerkiksi yöllä ilmanvaihdon puhaltimen pyörimisnopeuden voi laskea 20 prosenttiin täydestä tehosta, jolloin säästö on jo huomattava täyden- tai puolinopeuden kuluttamaan energiaan verrattuna.

Taajuusmuuttajalla ohjattavan puhaltimen käyttämä teho on selkeästi pienempi kuin suoralla verkkojännitteellä toimiva kaksinopeusmoottori. Tehontarpeen suhde virtaukseen selviää kaavasta 5, jonka mukaisesti puhaltimen virtausnopeus on suoraan verrannollinen tehontarpeen kolmanteen potenssiin, joten vähentämällä virtausta hieman, saadaan suhteellisesti enemmän säästettyä energiaa kuin virtausta vähennetään.

Esimerkki energiansäästöstä:

Virtausta säädellään kierrosnopeutta muuttamalla. Kun nopeutta muutetaan vain 20 % nimellinopeudesta, myös virtaus pienenee 20 %. Tämä johtuu siitä, että virtaus on suoraan verrannollinen kierroslukuun. Sähkönkulutus pienenee kuitenkin 50 %. Jos kyseisen järjestelmän on pystyttävä tuottamaan 100 %:a vastaava virtaus vain muutamana päivänä vuodessa, kun taas keskimääräinen tarve on alle 80 % nimellisvirtauksesta loppuvuoden ajan, energiaa säästyy jopa yli 50 %./2/

Ilmanvaihdon tarve on siis harvoin laitteen maksimaalisen tehon mukainen, joten taajuusmuuttajalla ilmastointikoneen puhaltimen ohjaus tuo selvää säästöä.

Ilmanvaihtojärjestelmän käyntiaikojen säätäminen vain kiinteistön käyttöaikoihin ja käyttötarpeisiin sidottu käyntiaika mahdollistavat siis suuret säästöpotentiaalit.

Hankintahintakaan ei nykyään ole niin suuri este kuin yleisesti luullaan, sillä muun muassa Danfoss tekee suoraan talotekniikkaan soveltuvia taajuusmuuttajia, jolloin hinnat myös ovat alhaisempia kuin tehdassovelluksiin tarkoitetuissa taajuusmuuttajissa. Danfossin LVI-sovelluksiin suunniteltu VLT® HVAC Drive FC 100 -mallisto on suunniteltu pumpuille, puhaltimille ja vedenjäähdyttimille (kompressoreille), jolloin hankintakustannukset ja käyttöönotto on edullista ja vaivatonta. Tässä työssä laskettiin taajuusmuuttajan säästämät

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

tehonkulutukset ja laitteiden tietoina käytetään juuri Danfossin taajuusmuuttajista saatavia tietoja. Vanhoihin puhaltimiin voidaan liittää taajuusmuuttaja välittämättä siitä, onko vanha puhallin yksi- vai kaksinopeuksinen, joten uusia puhaltimia ei tarvitse hankkia.

Rakennusautomaatiolla saataisiin aikaan vielä taajuusmuuttajaa ja lämpöpumppuja edistyneempi ohjaus ja myös seuranta onnistuisi suoraan automaation avulla. Toteutus olisi myös edullista, sillä rakennusta kohden ei tarvita kuin yksi säädin. Automaatiikalla saavutettaisiin täten suurimmat säästöt ilmastoinnin ja lämmityksen tarkemman ohjauksen avulla. Samaan säätimeen saataisiin yhdistettyä myös ilmastointikoneiden peltien ohjaus.

Painoarvo työssä on kuitenkin lämmityspumppujen valinnassa ja lämmityksen kautta saatavat säästöt, joten taajuusmuuttajien tuomien säästöjen tutkiminen on tässä toisarvoinen asia.

4.2 Ilmalämpöpumpun toiminta

Ulkoilmassa on energiaa vielä pakkasellakin. Energiaa on ilmassa aina absoluuttiseen nollapisteeseen (-273,15 °C) saakka. Tästä syystä ilmalämpöpumpulla voidaan ulkoilmassa olevaa energiaa siirtää sisälle lämmitettävään tilaan myös pakkasella. Putkiston ja kylmäaineen välityksellä lämpöenergia siirretään haluttuun suuntaan, joko ulkoa rakennuksen sisälle tai päinvastoin. Lämmityskäytössä siirto on huomattavasti edullisempaa kuin suora lämmitys esim. sähköllä. Suorassa sähkölämmityksessä saat yhden kilowatin sähkönkulutuksella vain yhden kilowatin lämpöä, mutta ilmalämpöpumpulla voi parhaimmillaan siirtää samalla sähkönkulutuksella ulkolämpötilasta riippuen jopa 4 - 5,5 kW lämpöenergiaa ulkoilmasta sisälle rakennukseen.

Kovilla pakkasilla (-20 °C tai enemmän) ilmalämpöpumpun lämmönsiirtokyky huononee nykyisillä kylmäaineilla oleellisesti, joten ainoaksi rakennuksen lämmönlähteeksi siitä ei Suomen olosuhteissa ole, vaan rinnalle tarvitaan täydelle teholle mitoitettu lämmitysjärjestelmä. Lisälämmönlähteenä, asumismukavuutta lisäävänä ja energiaa säästävänä laitteena se on kuitenkin varsin hyvä.

Ilmalämpöpumpun lämpökerroin (COP = Coefficient Of Performance) kertoo, miten tehokkaasti kulutetulla sähköenergialla saadaan lämpöä siirrettyä. Ilmalämpöpumppujen yhteydessä ilmoitetut COP-arvot mitataan yleensä + 7 °C ulkolämpötilalla. Esimerkiksi kun COP-arvo = 4, yhden kilowatin sähkönkulutuksella saadaan siirrettyä neljä kilowattia lämpöä ulkoilmasta sisätiloihin. /3/

Ilmalämpöpumpulla saatava säästö

Nykyisillä laadukkailla laitteilla pystytään lämpöä tuottamaan vielä lähes -20 °C pakkasellakin noin kaksinkertainen määrä ilmalämpöpumpun kuluttamaan energiaan nähden, joten vain harvoin on pakkasia, jolloin lämmityksessä pystytään käyttämään vain kiinteistön vanhoja lämmityslaitteita. Työssä pitää ottaa huomioon kiinteistöjen muoto ja käyttötarkoitus. Kaikissa

rakennusten osissa ei voida ilmalämpöpumpua käyttää, vaan joudutaan turvautumaan vanhoihin laitteisiin. Tämän takia myöskään missään säästölaskelmissa ei oleteta lämpöpumpun tuottavan 100 %:a lämmitystarpeesta.

5. LASKENNAN KULKU SEKÄ TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

5.1 Rakenteiden U-arvojen laskeminen

Lämmönläpäisykerroin U , [$W/(m^2 \cdot K)$] lasketaan kaavalla $U = 1 / R_T$ (kaava 1)

R_T saadaan laskemalla rakenteen eri kerrosten lämmönvastukset, R yhteen. R , [$(m^2 \cdot K)/W$] saadaan laskemalla jokaisen rakenteen osan lämmönjohtavuus (λ), [$W/(m \cdot K)$] kerrottuna rakenneosan paksuudella.

Taulukko 5.1, esimerkki yläpohjan U-arvon laskemisesta

Materiaalit	$R = d/(\lambda)$ [$(m^2 \cdot K)/W$]
Huopa + raakapontti	$0,03 \text{ m} / (0,13 \text{ W}/(m \cdot K)) = 0,23$
Ilmarako	0,3
Villa	$0,05 / 0,06 = 0,83$
Villa	$0,225 / 0,06 = 3,75$
Villa	$0,225 / 0,055 = 4,09$
Lauta / Ilmarako	0,3
Gyproc / kipsilevy	$0,012 / 0,20 = 0,06$
$R_T = 0,23 + 0,3 + 0,83 + 3,75 + 4,09 + 0,3 + 0,06 = 9,56 \text{ (m}^2 \cdot K)/W$	

Tämän jälkeen U-arvo saadaan ottamalla lämmönvastuksesta käänteisluku

$$1 / R_T = 1 / 9,56 \text{ (m}^2 \cdot K)/W = 0,1 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

5.2 Lämmitystarpeen laskenta

Työssä laskettava rakennuskohtainen tämänhetkinen energiankulutus lasketaan vaiheittain seuraavasti:

Rakenteiden yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö lasketaan rakennusosakohtaisesti seuraavalla kaavalla (*RakMK D5, 4.2*).

$$\sum H_{\text{joht}} = \sum (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) + \sum (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \sum (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}}) \quad , \left[\frac{W}{K} \right] \quad (\text{kaava 2})$$

Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia Q_{joht} lasketaan kaavalla (*RakMK D5, 4.1*)

$$Q_{\text{joht}} = \sum H_{\text{joht}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad , [\text{kWh}] \quad (\text{kaava 3})$$

Alapohja on laskettava erikseen, sillä ulkolämpötila on eri niitä laskettaessa. Kun jokaisen kuukauden kulutukset lasketaan yhteen, saadaan rakennuksen vuotuinen kokonaiskulutus.

Laskennan perusteina käytetyt tiedot ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman D5:n ohjeiden ja laskenta-arvojen mukaiset. RakMK D5:n mukaan alapohjan kautta johtuvan energiankulutuksen laskentatapa poikkeaa muista rakenteiden osista maapohjan oman lämmönvastuksen takia. Maanvastaisten alapohjien kautta johtuva energia lasketaan kaavan (RakMK D5, 4.1) mukaisesti käyttämällä kaavassa ulkoilman lämpötilan sijasta alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Tällöin alapohjan U-arvo lasketaan ilman maan lämmönvastusta rakentamismääräyskokoelman osan C4 ohjeesta poiketen. Alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila lasketaan ulkoilman kuukausittaisesta keskilämpötilasta kaavalla (RakMK D5, 4.4). /RakMK D5/

$$T_{\text{maa, kuukausi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + T_{\text{maa, kuukausi}} \quad (\text{kaava 4})$$

Maanvastaisten alapohjien johtumiskertoimet ja lämmitystarpeet lasketaan D5:n ohjeen mukaan maanvastaisen alapohjan laskukaavalla. Muut rakenneosat lasketaan normaalisti ulkoilman kuukausittaisen lämpötilan mukaan. Oletetaan maalajin olevan savea, salaojitettua hiekkaa tai soraa, jolloin saadaan laskettua alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero eri U-arvoisille alapohjille RakMK D5:n taulukon 4.1 tiedoilla. Alapohjan alapuolisen maan kuukauden keskilämpötila saadaan lisäämällä RakMK D5:n taulukosta 4.2 kuukausittainen lämpötilaero vuotuisen lämpötilaeroon.

5.3 Ilmastoinnin energiankulutus

Rakenteiden epätiivyyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$ lasketaan kaavalla

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \frac{H_{\text{vuotoilma}} * (T_s - T_u) * \Delta t}{1000}$$

jossa

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i * c_{pi} * q_{v, \text{vuotoilma}} \quad \text{ja} \quad q_{v, \text{vuotoilma}} = n_{\text{vuotoilma}} * V / 3600$$

joten $Q_{\text{vuotoilma}}$ lasketaan siis

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \frac{\rho_i * c_{pi} * \left(\frac{n_{\text{vuotoilma}} * V}{3600} \right) * (T_s - T_u) * \Delta t}{1000} \quad (\text{kaava 5})$$

Kun rakennuksen laskennallisesti vaadittavat energiankulutukset saatiin laskettua, voitiin lukuja verrata toteutuneisiin kulutuksiin. Tiedossa ei kuitenkaan ollut suoraan lämmitykseen kulunutta sähkönkulutusta. Kulutustiedoista piti laskennallisesti poistaa muut sähköä kuluttavat tekijät. Tämän jälkeen voitiin verrata näitä kahta tulosta keskenään ja saada suuntaa antava käsitys toteutuneesta lämmitykseen kuluvasta energiasta. Vuotoilmavirta $q_{v, \text{vuotoilma}}$ määräytyy rakennuksen ilmapitävyyden mukaan (kts. D5 4.2.2). Laskennassa voidaan käyttää vuotoilmakertoimena $n_{\text{vuotoilma}} = 0,16$ 1/h, mikäli ilmatiiveyttä ei tarkemmin tunneta.

5.4 Ilmastoinnin ohjaus taajuusmuuttajalla

Taajuusmuuttajan toiminta ja tehonkulutus suhteessa ilmanvirtaukseen ja paineeseen.

$$\text{Virtaus: } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{Paine: } \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \text{Teho: } \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (\text{kaava 6})$$

6. KOHTEIDEN TUTKIMINEN

6.1 Hervanta

Tampereen sähköasema / Eteläisen piirin tukikohta / Hepolamminkatu, 33720 Tampere.

Sähköasemaan kuuluu toimistorakennus muuntamotiloineen sekä erillinen autotalli.

Kiinteistössä on huonekohtainen sähkölämmitys toteutettu sähkövastuspattereilla, sekä kosteissa tiloissa sähköisellä lattialämmityksellä.

6.1.1 U-arvot ja lämmönjohtuminen

6.1.1.1 Rakenteiden U-arvot

Rakenteiden U-arvot on laskettu liitteenä (liite 1.) olevassa Excel-tiedostossa Hervannan Laskentataulukot.xls

U-arvojen laskemisessa on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman C4:n taulukon 1. tietoja joiden perusteella eri materiaalien lämmönjohtavuuksista on saatu laskettua U-arvot rakenneosille.

Taulukko 6.1.1, Toimistorakennuksen U-arvot, täydelliset laskelmat liitteen 1. lehdellä "Seinärakenteet".

Kuvista saatavat tiedot ovat heikkoja, joten virhemarginaali on hieman suurempi kuin normaalisti. Oletetaan toimistotilan katto kauttaaltaan saman rakenteiseksi, Alapohjassa osa maanvastainen ja osa välipohjaa alakerran kanssa.			
YP	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	Isot ovet	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,31		2,8
AP1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	Ulko-ovi	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,35		1,7
US1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	VS1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,3		0,17
2-kerroksinen lasi	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	VS2	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	2,7		5,4

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.1.2, Autotallin U-arvot, täydelliset laskelmat liitteen 1. lehdellä ”Seinärakenteet”.

Rakennusta on laajennettu jälkeempään, joten tämän takia kahdet eri rakenteet ja U-arvot.			
AP1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	YP1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,44		0,4
AP2	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	YP2	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,24		0,4
US1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	2-kerros lasi	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,47		2,7
US2	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	Isot ovet	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,42		2,8

6.1.1.2 Rakenteiden lämmönjohtavuus ja energiankulutus

Rakenteiden läpi johtuva energia Q_{joht} lasketaan RakMK-osan D5 kaavoilla 4.1 ja 4.2. käyttämällä taulukossa 6.1.3 esitettyjä rakennusosien pinta-aloja ja taulukoissa 6.1.1 ja 6.1.2 esitettyjä U-arvoja. Alapohjan alapuolisen maan lämpötila lasketaan kaavalla 4.4. Vuoden aikana rakenteiden läpi johtuva energia esitetään taulukoissa 6.1.4 – 6.1.5

Taulukko 6.1.3, Toimistorakennuksen ja autotallin rakenteiden pinta-alat, laskelmat liitteen 1. lehdillä ”toimiston lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat” ja ”autotallin lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat”.

Toimisto		Autotalli, korkea osa		Autotalli, Matala osa (ent. kylmä osa)	
YP	Pinta-ala, [m ²]	YP1	Pinta-ala, [m ²]	YP2	Pinta-ala, [m ²]
	235		141		201
AP	Pinta-ala, [m ²]	AP1	Pinta-ala, [m ²]	AP2	Pinta-ala, [m ²]
	235		141		175
US1	Pinta-ala, [m ²]	US1	Pinta-ala, [m ²]	US2	Pinta-ala, [m ²]
	91,5		134		92,5
Ovet	5,5	Ovet	29	Ovet	71
Ikkunat	24	Ikkunat	5,7	Ikkunat	1,7

Taulukoiden 6.1.4 – 6.1.8 tiedot laskettu liitteessä 1 lehdillä ”toimiston lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat” ja ”autotallin lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat”.

Taulukko 6.1.4, Hervannan toimistorakennuksen rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia Q_{joht} , kWh

	$Q_{\text{joht, ilman ap}}$ [kWh]	$Q_{\text{joht, ap}}$ [kWh]	Q_{joht} [kWh]
Koko vuosi	26 510	9 459	35 969

Taulukko 6.1.5, Hervannan autotallin rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia Q_{joht} , kWh

	$Q_{\text{joht, ilman ap}}$ [kWh]	$Q_{\text{joht, ap}}$ [kWh]	Q_{joht} [kWh]
Koko vuosi	35 463	2 424	37 887

Taulukko 6.1.6, Toimiston ilmastoinnin vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$, kWh

	$Q_{\text{vuotoilma}}$ [kWh]
Koko vuosi	1 961

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.1.7, Autotallin ilmastoinnin vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$, kWh

$Q_{\text{vuotoilma}}$ [kWh]	
Koko vuosi	1 709

Kiinteistön kokonaiskuulutuksessa tulee huomioida laskujen epätarkkuus. Virheen voidaan katsoa olevan ± 100 kWh

Taulukko 6.1.8, Hervannan kiinteistön kokonaiskulutukset

	Toimisto, Q_{kok} [kWh]	Autotalli, Q_{kok} [kWh]
Koko vuosi	37 900	39 600

6.1.2 Laskennankulku, esimerkkinä Hervannan toimistorakennus

AP1:n ja AP2:n johtumiskertoimet ja lämmitystarpeet lasketaan D5:n ohjeen mukaan maanvastaisen alapohjan laskukaavalla. Muut rakenneosat lasketaan normaalisti ulkoilman kuukausittaisen lämpötilan mukaan. Oletetaan maalajin olevan savea, salaojitettua hiekkaa tai sora, jolloin saadaan laskettua alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero eri U-arvoisille alapohjille RakMK D5:n taulukon 4.1 tiedoilla. Alapohjan alapuolisen maan kuukauden keskilämpötila saadaan lisäämällä RakMK D5:n taulukosta 4.2 kuukausittainen lämpötilaero vuotuisen lämpötilaeroon.

Alapohjan lämpötilat esimerkiksi Tammikuussa olivat seuraavat (laskettu liitteessä 1. lehdellä ”Toimiston Lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat” ja ”Autotallin Lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat”).

Toimistotilat:

$$\text{AP: (U} \sim 0,35\text{): } T_{\text{maa, kuukausi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kuukausi}} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Autotalli:

$$\text{AP1: (U} \sim 0,44\text{): } T_{\text{maa, kuukausi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kuukausi}} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{AP2: (U} \sim 0,24\text{): } T_{\text{maa, kuukausi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kuukausi}} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Alapohja lasketaan erikseen, sillä kaavassa käytettävä ulkolämpötila muodostetaan maan lämpötilan pohjalta.

$$\sum H_{\text{joht, ilman ap}} = (0,2957 * 91,44) + (0,3139 * 234,85) + (2,7 * 24,13) + (1,7 * 5,46) = 175,2 \text{ } \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\sum H_{\text{joht, alap}} = (0,3539 * 234,85) = 83,1 \text{ } \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\sum H_{\text{joht}} = 175,2 \text{ } \frac{\text{W}}{\text{K}} + 83,1 \text{ } \frac{\text{W}}{\text{K}} = 258,3 \text{ } \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Taulukoissa 6.1.4 – 6.1.8 on esitetty rakenteiden läpi johtuvat lämpöenergiat, sekä alla on tammikuun osalta esimerkkilaskelma toimiston energianjohtumisesta.

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

$$Q_{\text{joht, ilman ap}} = \frac{175,2 * (21 - (-8,53)) * 31 * 24}{1000} \approx 3931 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{joht, ap}} = \frac{83,1 * (21 - (8)) * 31 * 24}{1000} \approx 804 \text{ kWh}$$

Yhteensä

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{joht, ilman ap}} + Q_{\text{joht, ap}} = 3931 + 804 = 4735 \text{ kWh}$$

Kun jokaisen kuukauden kulutukset lasketaan yhteen, saadaan rakenteiden vuotuinen kokonaiskulutus, joka on noin 36 000 kWh.

6.1.3 Ilmastoinnista aiheutuva energiankulutus

Rakenteiden epätiiviyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$ laskettuna tammikuun osalta. Liitteessä 1. lehdellä "Energiankulutukset yhteensä" on esitetty kaikki lasketut arvot.

$$Q_{\text{vuotoilma, tammi}} = \frac{\rho_i * c_{pi} * \left(\frac{n_{\text{vuotoilma}} * V}{3600} \right) * (T_s - T_u) * \Delta t}{1000}$$

$$Q_{\text{vuotoilma, tammi}} = \frac{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{Ws}}{\text{kgK}} * \left(\frac{1,6 * 583,17 \text{m}^3}{3600} \right) * (21^\circ\text{C} - (-9,16^\circ\text{C})) * 31}{1000}$$

$$Q_{\text{vuotoilma, tammi}} \approx 291 \text{ kWh}$$

Kun jokaisen kuukauden kulutukset lasketaan yhteen, saadaan vuotoilmasta syntyvä vuotuinen kokonaiskulutus, joka on noin 2 000 kWh.

Yhteenlaskettu energiankulutus Hervannan sähköaseman rakennuksissa saadaan laskemalla rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia sekä vuotoilmasta aiheutuvat energiankulutukset. Hervannan kokonaisenergiantarve toimistorakennukselle on 37 900 kWh ja autotallille 39 600 kWh. Lämpötilaluvut ovat kuitenkin hieman jo vanhentuneet. Motivan julkaiseman lämmitystarvelukujen mukaan lämmitystarve onkin laskenut vuoden 1979 keskiarvoista. Lämmityksen tarve ei siis välttämättä ole tulevaisuudessa aivan yhtä suuri, joten todellisuudessa laskemalla päästiin vieläkin lähemmäksi todellisia kulutuksia. Autotallille laskettava kulutus oli selkeästi suurempi kuin tähän asti autotalliin on kulunut, sillä lämmitettävä ala kasvoi huomattavasti.

6.1.4 Vanhat laitteistot

Kiinteistöön kuuluu kaksikerroksinen toimistorakennus, jossa on päivittäistä toimintaa. Toimistorakennukseen kuuluu myös kytkinhalli, energiamittaus, kaapelitilaa, ym. sähkönjakeluun kuuluvia tiloja, mutta nämä eivät kuulu varsinaiseen tutkittavaan alueeseen (lämpöpumpuilla lämmitettävään alueeseen). Lisäksi kiinteistöön kuuluu erillinen

autotallirakennus, joka jakautuu kahteen erilliseen osaan. Autotalli kuuluu kokonaisuudessaan työn alueeseen.

Toimistorakennuksen tämänhetkinen lämmitys on toteutettu ilmastoinnin ja huonekohtaisen sähkölämmityksen yhdistelmällä. Kiinteistöä löytyy sähköllä toteutettu lattialämmitys pesutiloissa ja saunassa. Muissa tiloissa lämmitys on toteutettu sähköpattereilla. Ilmastointikoneen lämmityspatteri on sähköinen lämmityspatteri ja siihen kuuluu kaksi lämmitysvastusta, 5 kW ja 12 kW. Toimiston lämmityslaitteiden yhteenlaskettu teho on noin 13,2 kW. Alakerran tiloille ei ole erikseen lämmityspattereita, joten kaikki lämmittävät laitteet olivat tutkittavalla alueella. Alakertaa sekä muita tiloja lämmittävät siis vain muuntamon laitteista vapautuvat mahdolliset lämmöntuotot sekä muualta johtuvat lämmöt.

Autotallissa on 4 autopaikan osassa lattialämmitys ja varastohuoneessa sähköpatteri. 8 autopaikan puolella ei erillistä lämmitystä tällä hetkellä ole. Autotallissa ei myöskään ole muita kuin poistoilmakoneita, joten tuloilman lämmittämiseen ei kulu ilmastoinnissa sähköä. Tutkittavaan alueeseen kuului siis uutena alueena 8 autopaikan puoli, jonka lämmitys tullaan toteuttamaan mahdollisesti ilmalämpöpumpuilla.

6.1.5 Parannusehdotukset

Kun rakennuksen laskennallisesti vaativat energiankulutukset saatiin laskettua, voitiin lukuja verrata toteutuneisiin kulutuksiin. Kulutustiedoista ei saatu lämmityksen käyttämää todellista energiankulutusosaa suoraan tietoon, vaan kulutustiedoista piti laskennallisesti poistaa muut sähköä kuluttavat tekijät.

Toimiston arvioituissa valaistukseen, sähkölaitteisiin ja lämpimään käyttöveteen kuluva sähkön osuus saattoi olla todellisuudessa pienempi, mikäli käyttö rakennuksessa ei ole suurta. Lasketut kulutusarvot ovat laskettu toimistorakennusten keskiarvoisten kulutusten mukaisesti.

Kun muut arvioidut kulutukset saatiin poistettua toteutuneen sähkönkulutuksen lukemasta, voitiin lämmitykselle jäävä energiankulutus normeerata vastaamaan laskuissa käytettävää lukemaa. Normeerattua energiankulutusta voitiin tämän jälkeen verrata laskettuihin energiankulutuksiin. Kulutuslukemien vertailusta saatiin suuntaa antava tieto toteutuneesta lämmitykseen kuluva energiasta.

Lasketuista toimiston energiankulutuksista voitiin laskea myös autotallille jäävän kulutuksen määrä. Toteutunut, normeerattu lämmitysenergian määrä, 56 340 kWh on koko kiinteistön kuluttama energiamäärä, joten poistamalla toimistorakennuksesta laskemalla saatu kulutettu energia 37 900 kWh, saadaan suuntaa antava energiankulutus myös autotallille. Autotallin kuluttama energia saadaan vähentämällä vuotuisesta normeeratusta lämmitysenergian määrästä $Q_{\text{normeerattu kulutus}}$ laskettu $Q_{\text{joht, toimisto}}$, joten $Q_{\text{joht, autotalli}} = 56\,340 \text{ kWh} - 36\,000 \text{ kWh} = 20\,340 \text{ kWh}$.

Autotallin kuluttamaksi tehoksi jäi hieman suurempi osa, vaikka lämmityslaitteiden osuus kokonaismäärästä on vain 1/3 toimiston laitteiden lämmitystehosta. Tämä ero voidaan selittää sillä, että autotallin lämmityksessä pyritään puolilämpimään ilmanlämpötilaan, mutta sen tilavuus on suurempi kuin toimistorakennuksen. Laskettua lämmitysenergian tarvetta ei voitu verrata kuluneeseen energian määrään, sillä autotallin lämmitettävä osuus kasvaa uudessa suunnitelmassa. Laskennassa oletettiin myös lämmityksen olevan ympärivuotista, mikäli lämmitystarvetta ilmenee.

Autotallissa olevat suuret ovet aiheuttavat lämmitykselle suuria haasteita ja näiden käyttöä ja lämmöneristävyttä pitäisikin erityisesti huomioida. Mikäli halutaan autotallin toisenkin osan pysyvän lämpimänä mahdollisimman vähillä kustannuksilla, olisi syytä tarkastaa ovien rakenteet lämmönjohtuvuuden osalta ja tarvittaessa vaihtaa tilalle uudet matalan U-arvoluokituksen ovet. Työssä käytettiin ovien U-arvojen laskemiseen suuria lämmönjohtavuuksia, sillä vanhat nosto-ovet ja muut suurialaiset hallien ovet ovat heikkotasoisia eristävyksiltään, joten tämän arvion avulla vältetään liian positiivisilta tuloksilta.

Jos autotallin lämmitys toteutetaan ilmalämpöpumpuilla, ei tuleva energiankulutus autotallissa kuitenkaan ole yhtä suuri kuin laskemalla saatu energiankulutus, sillä ilmalämpöpumpun energiankulutus syntyy vain pumpun toimintaan kulumasta sähkönkulutuksesta ja itse lämpö tulee suoraan ilmasta.

Vartenotettavia säästöjä pitkän ajan kuluessa tuo myös ikkunoiden vaihtaminen nykyaikaisiin lämpölaseihin. Lämmönjohtumisesta aiheutuvat kulut voivat olla hyvinkin suuria, mikäli ikkunat ovat alkuperäisiä yksi- tai kaksikerroksisia laseja, sillä nykyiset lämpölasit ovat moninkertaisesti parempia lämmöneristävydeltään.

6.1.5.1 Ilmastointi

Toimiston tuloilmakone sisältää teholtaan 5 kW:n ja 12 kW:n lämmitysvastukset sisältävän tuloilman lämmityspatterin. Nämä voitaisiin korvata esimerkiksi Mitsubishi Electric PAC-1F011B-E -lämpöpumpulla (jatkossa ME PAC-1F011B) joka sisältää lämmityspatteriyksikön. Tämä laite mahdollistaa tällöin tuloilman lämmityksen lämpöpumpputekniikalla ja myös tuloilman lämmityksen paremman säädön, sillä vanhassa laitteistossa lämmitys on toteutettu kolmiportaisesti, eli se on joko 5kW tai 12 kW lämpövastus on päällä tai lämmitys on pois päältä. Tämän seurauksena tuloilman lämmitystä ei pystytä säätämään tehokkaasti, vaan pahimmillaan patteri lämmittää ilmaa jatkuvasti liikaa tai liian vähän. Tämä voi aiheuttaa tuloilman lämmityspatterin nopean kulumisen, kun vastuksia kytketään jatkuvasti käyttöön ja pois käytöstä, samasta syystä myös tuloilman lämpötila vaihtelee jatkuvasti ja aiheuttaa huojuntaa myös huoneiden pattereiden toimintaan. ME PAC-1F011B:n etuna on laitteen mukana tuleva patterin portaaton säätö, jolloin tehoa kulutetaan vain sen verran, kuin on tarve kulloinkin käyttää.

Toimistorakennuksessa olevan tuloilmakoneen puhaltimen ohjaus voidaan toteuttaa taajuusmuuttajalla, jolloin ilmastointikoneen puhaltimen kuluttamaa energiaa säästyy huomattavasti, sillä ilmanvaihdon tarve ei ole jatkuvasti puhaltimen maksimi-ilmanvaihtonopeus, eikä myöskään tasan puolet siitä. Tarkemmalla ohjauksella saadut säästöt ovat huomattavia jo pienellä virtausnopeuden muutoksella. Esimerkkilaskelmassa on laskettu tuloilman virtaamaa $0,1\text{m}^3/\text{s}$, jolloin energiaa säästetään $0,63\text{ kW}$ joka on jo yli kolmannes kokonaiskulutuksesta.

Esimerkkilaskelma, vähennetään tuloilmankiertoa $0,1\text{m}^3/\text{s}$ (16,7 %) jolloin tehonkulutus laskee $1,5\text{kW}$:sta $0,87$ kilowattiin. Säästettävä energiamäärä on tällöin 42 %

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^3 \quad (\text{kaava 5})$$

$$\frac{1,5\text{kW}}{P_2} = \left(\frac{0,6\text{m}^3/\text{s}}{0,5\text{m}^3/\text{s}} \right)^3 \rightarrow P_2 = 0,87\text{kW}$$

6.1.5.2 Lämmitys

Toimistorakennuksen lämmitys ei onnistu yhdellä ilmalämpöpumpulla jossa on yksi sisäyksikkö, sillä yhden yksikön mallit vaatisivat tehokkaaseen toimintaan avoimet tilat ja kohde koostuu pääosin erillisiä huoneista ja käytävistä jolloin yhden puhaltimen kierrättämä ilma ei jakaantuisi tasaisesti. Tästä syystä lämpöpumpun ulkoyksiköksi soveltuisi huoneiden lämmittämiseen esimerkiksi Multisplit-mallinen Mitsubishi Electric MXZ-8A140VA, sillä tähän malliin on mahdollista kytkeä useampi sisäyksikkö (2-8 kpl). Mitsubishi Electric MXZ-8A140VA:n maksimilämmitysteho on 16 kW . Laitteeseen voidaan valita sisäyksiköiksi joko seinä-, lattia- tai kattoyksiköt. Laskennassa käytetään yleisintä mallia eli seinäyksikköä. Sisäyksiköt valitaan siten että ulkoyksikön tuottama lämmitysteho saadaan parhaiten jaettua sisätiloihin. Sisäyksiköt valitaan laskemalla huoneiden tarvitsema lämmitysteho joka saadaan lämmönjohtumisesta huoneen rakenteiden läpi.

6.1.5.3 Ilmalämpöpumppujen tuottama säästöpotentiaali

Hervannan kiinteistön lämmitysenergiaan kuluu noin $56\,340\text{ kWh}$ johon sisältyy myös ilmastoinnin kuluttama energia. Laskennallisesti toimistorakennukseen kuluu lämmitykseen noin $35\,969\text{ kWh}$ ja ilmastointiin noin 1961 kWh eli yhteensä noin $37\,900\text{ kWh}$. Autotalliin kuluu uuden lämmitettävän alueen takia laskettuna $37\,887\text{ kWh}$ ja ilmastointiin 1710 kWh , eli yhteensä $39\,600\text{ kWh}$.

Taulukossa 6.1.9 on esitetty Tampereen Sähkölaitoksen lämpösähkön (yö/päivä) hinta aikavälillä 01.05. – 31.8.2009, käytämme laskelmissa näitä arvoja. Mitsubishin lämpöpumppujen lämpökerroin eli COP-luku on noin 3-4 välillä eli laitteet tuottaa $+7\text{ °C}$:ssa 1 kW :lla 3-4 kW lämmitysenergiaa. Vielä -15 °C :n pakkasessakin lämpöpumpun lämpökerroin

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

on noin 2. Näiden tietojen avulla saamme laskettua lämpöpumppujen tuottaman säästöpotentiaalin lämmityksessä. Taulukossa 6.1.10 on esitetty alkutilanne sekä esitetty eri tilanteissa laitteistojen tuottamat säästöt.

Taulukko 6.1.9, Ilmoitetut Tampereen sähkölaitoksen sähkön hinnat.

Lämpösähkö (päivä/yö)	Hinta, alv 22 %	Hinta, alv 0 %
	€/kk	€/kk
Perusmaksu	3,00	2,46
	snt/kWh	snt/kWh
Päiväenergiamaksu	6,66	5,46
Yöenergiamaksu (yöaika 9h)	5,02	4,11

Taulukko 6.1.10, Tampereen Sähkölaitoksen ilmoittamien hintojen mukaan lasketut käyttökustannukset toimiston ja autotallin laskennallisten kulutusten mukaisesti sekä toteutuneiden kulutusten mukaisesti. Liitteestä 1. lehdeltä "Lämmityskustannukset" löytyy tarkemmat laskelmat

Sähkönkulutus	Laskettu, tsto [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]	Laskettu, autotal. [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]	Toteutuneen mukaan, [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]
Päiväsähkö (62,5 %)	22 500	1 230	23 700	1 300	35 210	1 920
Yösähkö (37,5 %)	13 500	550	14 200	580	21 130	870
Yhteensä	36 000	1 780	37 900	1 880	56 340	2 790

Voimme laskea yösähkön prosentuaalisen osuuden vuodessa taulukon tiedoista. Laskemalla 9/24 saadaan yösähkön osuudeksi 37,5 % ja päivänsähkön osuudeksi on 62,5 %. Näiden tietojen mukaan saamme laskettua lämmitykseen kuluvan energian verollisen ja verottoman hinnan tämän hetkisillä laitteilla ja kulutuksella. Mallilaskussa käytetään toimistorakennuksen laskettuja kulutustietoja. Ensinnäkin selvitetään yö- ja päivänsähkön osuudet.

Päiväsähkön osuus on $36\,000\text{ kWh} \cdot 62,5\% = 22\,500\text{ kWh}$ ja yösähkön osuus $36\,000\text{ kWh} \cdot 37,5\% = 13\,500\text{ kWh}$. Hinnaksi muodostuu siis verollisena $(22\,500\text{ kWh} \cdot 6,66\text{ snt/kWh}) + (13\,500\text{ kWh} \cdot 5,02\text{ snt/kWh}) = 2\,170\text{ €}$ ja verottomana $(22\,500\text{ kWh} \cdot 5,46\text{ snt/kWh}) + (13\,500\text{ kWh} \cdot 4,11\text{ snt/kWh}) = 1\,780\text{ €}$. Mikäli hinta lasketaan normeeratulla kiinteistön lämmityksen kokonaiskulutuksella 56340 kWh, lämmitettävän energian osuus maksaa verollisena 3 400 € ja verottomana 2 790 € vuodessa, tässä hinnassa on tosin mukana myös autotallin osuus.

6.1.5.4 ILP:n valinta toimistorakennukseen

Taulukko 6.1.11, Sisäyksiköiden valinnassa käytettävät perusteet.

	Toimisto	Käytävä / saap. pesu	PKH/M	Taukotila
Pinta-ala, [m ²]	35,7	44,2	35,7	35,7
YP1 U-arvo	0,31	0,31	0,31	0,31
YP1 pinta-ala, [m ²]	35,7	44,2	32,9	62,3
$\Phi_{\text{joht, yp}}$ [W]	560	694	516	978
AP1 U-arvo	0,35	0,35	0,35	0,35
AP1 pinta-ala, [m ²]	35,7	44,2	32,9	62,3
$\Phi_{\text{joht, ap}}$ [W]	531	657	489	926
US1 U-arvo	0,30	0,30	0,30	0,30
US1 pinta-ala, [m ²]	14,6	3,9	17,4	34,6
$\Phi_{\text{joht, us}}$ [W]	216	58	257	512
Ikkuna U-arvo	2,70	2,70	2,70	2,70
Ikkuna pinta-ala, [m ²]	7,7	0,0	0,8	9,1
$\Phi_{\text{joht, ikkuna}}$ [W]	1 040	0	109	1 223
Ovi U-arvo	1,70	1,70	1,70	1,70
Ovi pinta-ala, [m ²]	0,0	3,2	0,0	1,9
$\Phi_{\text{joht, ovi}}$ [W]	0	268	0	161
Sisäyksikön tarvitsema teho Φ_{joht} [kW]	2,3	1,7	1,4	3,8

Laskelman mukaan voimme valita sisäyksiköt ilmalämpöpumpuille, valinnassa otetaan huomioon muihin tiloihin johtuva lämpöenergia huomioon pyöristämällä huoneiden tarvitsemat lämmitystekot ylöspäin seuraavaan tasaan kilowattiin. Toimistohuoneen yksikön koko on siis 3 kW, käytävän / saappaiden pesun yksikön koko 2 kW, pukuhuoneen yksikön koko 2 kW ja taukotilan yksikön koko 4 kW. Seuraavaksi valittiin Mitsubishin laiteluettelosta tähän tilaan sopiva ulkoyksikkö joka tukee neljää tilan vaatimaa sisäyksikköä.

Multisplit-mallisen ulkoyksikön valinnassa ensimmäinen kriteeri on sisäyksiköiden määrä, eli 4 kappaletta. Tarvittava ulkoyksikön teho saadaan laskemalla sisäyksiköiden yhteenlaskettu teho, 3 kW + 2 kW + 2 kW + 4kW = 11 kW. Kaikki yksiköt eivät lämmitä jatkuvasti täydellä teholla, joten hieman pienempikin ulkoyksikkö käy, mutta mikäli halutaan varmistettavan tulevaa varten laajennettavuus, on syytä ottaa tuon 11 kW tehon tuottava ulkoyksikkö. Nämä kriteerit täyttyvät esimerkiksi ulkoyksikössä MXZ-8A140VA, joka on tarkoitettu maksimissaan 16 kW lämmitystekolle. Vaihtoehtoisesti MXZ-5A100VA soveltuu myös toimistorakennuksen lämmittämiseen 12 kW asti. Mikäli yksiköt halutaan seinäasenteisina, voimme valita yksiköiksi 3 kpl MSZ-GA22VA- yksikköä ja yhden MSZ-GA35VA. MSZ-GA22VA tuottaa lämmityksessä 3,3 kW ja MSZ-GA35VA tuottaa 4,0 kW. Mikäli on mahdollista asentaa sisäyksiköt kattoon, yksiköiksi voidaan valita 3 kpl SLZ-KA25VA(L) (3kW) ja yksi SLZ-KA35VA(L) (4kW). Tuotekuvaston mukaan kummatkin ulkoyksiköt tukevat näitä yhdistelmiä. Valitessa erillislaitteet lämmitykseen, suurin mahdollinen lämmitystekko kohteissa nousee, sillä saatavilla

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

olevista laitteista, tiedot ovat vain 3,2 kW ja 4,0 kW laitteista. Hankintahinta jää kuitenkin alhaisemmaksi kuin Multisplit-mallistossa.

Ilmalämpöpumpun tuottama hyöty saadaan laskettua tarkastelemalla ilmalämpöpumpun osuutta koko lämmityksen osuudesta. Eli voimme olettaa ilmalämpöpumpun tuottavan esimerkiksi 40–80% tarvittavasta lämmitysenergiasta.

Oheisessa taulukossa (Taulukko 6.1.12) on laskettu lämmityksen tuottama säästöpotentiaali toimiston lämmitysenergiasta eri prosentuaalisilla osuuksilla lämmitystarpeesta. Taulukossa on laskettu Mitsubishin ilmoittaman COP-luvun tuottama säästö +7 °C lämpötilassa (MUZ-GE-mallistossa COP-luku noin 4,38), sekä VTT:n tekemän tutkimuksen (VTT-S-090606-08e) ilmoittaman COP-luvun tuottama säästö -15 °C lämpötilassa (COP-luku noin 2).

Toimistorakennuksessa voidaan helposti neljällä sisäyksiköllä lämmittää lähes 80 % pinta-alasta sijoittamalla sisäyksiköt toimistohuoneeseen, miesten pukuhuoneeseen, käytävään ja taukotilaan.

Taulukko 6.1.12, Toimistorakennuksen lämmityksessä säästettävä energia [kWh/a] ILP:n eri lämpökertoimilla ja lämmitysosuuksilla.

Lämmitystarve	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 80 % [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Saatu säästö [kWh/a]
36 000	+7°C	4,38	28 800	6 575	22 225
	-15°C	2	28 800	14 400	14 400
Lämmitystarve	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 60 % [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Saatu säästö [kWh/a]
36 000	+7°C	4,38	21 600	4 932	16 668
	-15°C	2	21 600	10 800	10 800
Lämmitystarve	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 40 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh]
36 000	+7°C	4,38	14 400	3 288	11 112
	-15°C	2	14 400	7 200	7 200

Taulukko 6.1.13, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 80 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	6 570	7 194	13 763	8 602	5 161	470	212	682	1 100
ALV 22 %	6 570	7 194	13 763	8 602	5 161	573	259	832	1 342

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.1.14, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 60 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	4 927	14 388	19 315	12 072	7 243	659	298	957	825
ALV 22 %	4 927	14 388	19 315	12 072	7 243	804	364	1 168	1 007

Taulukko 6.1.15, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 40 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	3 285	21 581	24 866	15 541	9 325	849	383	1 232	550
ALV 22 %	3 285	21 581	24 866	15 541	9 325	1 035	468	1 503	671

6.1.5.5 ILP:n valinta autotalliin

Taulukko 6.1.16, Sisäyksiköiden valinnassa käytettävät perusteet.

	Autotalli	Verstas	Autotalli (8paikkaa)
Pinta-ala, [m ²]	85,0	41,1	180,8
YP U-arvo	0,40	0,40	0,40
YP pinta-ala, [m ²]	86,0	41,0	200,5
$\Phi_{\text{joht, yp}}$ [W]	1 341	820	4 009
AP U-arvo	0,38	0,38	0,24
AP pinta-ala, [m ²]	86,0	41,0	175,0
$\Phi_{\text{joht, ap}}$ [W]	1 012	483	1 302
US U-arvo	0,47	0,47	0,42
US pinta-ala, [m ²]	107,8	50,5	101,8
$\Phi_{\text{joht, us}}$ [W]	1 962	919	1 655
Ikkuna U-arvo	2,70	2,70	2,70
Ikkuna pinta-ala, [m ²]	2,8	2,8	1,7
$\Phi_{\text{joht, ikkuna}}$ [W]	295	295	177
Ovi U-arvo	2,80	1,70	2,80
Ovi pinta-ala, [m ²]	29,1	2,1	70,8
$\Phi_{\text{joht, ovi}}$ [W]	3 172	139	7 731
Sisäyksikön tarvitsema teho Φ_{joht} [kW]	7,8	2,7	14,9

Autotallin lämmitettävä osuus kasvaa siis noin 15 kilowatilla matalan osan lämmitettäväksi muuttamisen takia. Autotallin isot ovet olisi syytä tarkastaa ja tarvittaessa vaihtaa paremmin lämpöä eristäviksi, sillä suurimmat yksittäiset johtumiset autotallissa syntyvät nimenomaan suurien ovipinta-alojen takia. Autotallissa pyritään laskuissa noin 10 °C lämpötilaan. Laskelman mukaan voimme valita sisäyksiköt autotallin ilmalämpöpumpuille. Korkean osan autotallille 8 kW:n yksikkö, Verstaalle 3 kW yksikkö ja matalan tilan autotallille 15 kW:n yksikkö. Näiden tietojen pohjalta voimme päätellä, että matala osa tarvitsee oman

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

ulkoyksikkönsä ja korkea osa tallista omansa. Mitsubishiin laiteluettelosta tähän tilaan sopivat ulkoyksiköt voidaan valita samoin kuin toimistolle, eli matalaan osaan voidaan valita kotelomallinen sisäyksikkö PEAD-RP140 (COP: 3,36), joka pystyy 16 kW lämmitystehtävään ja tämä yksikkö on suunniteltu nimenomaan mm. autokorjaamoiden lämmittämistä varten. Tämän yksikön tuloilma voidaan tarvittaessa kanavoida tasaisesti autotallin sisällä. Samoin korkeaan osaan voidaan valita samanlainen, mutta pienempi tehoinen yksikkö kuten PEAD-RP100- malli (COP: 3,22), jonka lämmitysteho on 11,2 kW. Tämän yksikön lämmitysilmalla voidaan myös kanavoida jakaantumaan autotalliin ja varastoon. Kanavoinnin etuna on lämmön tasainen jakautuminen suuressa tilassa eikä isojen oviaukkojen haitat ole silloin niin suuret.

Ulkoyksikön valinnassa verrataan sisäyksikön kokoa ja tehdään valinta sen mukaan, mikä ulkoyksikkö kykenee tarvittavaan lämmitystehtävään. Tarvittava ulkoyksikön teho korkeaan osaan on siis vähintään 11 kW, mutta mikäli halutaan lämmityskapasiteetissa olevan varaa suurempaan lämmitykseen, pitää valita sisäyksiköksi PEAD-RP125 (COP: 3,41) jonka teho on 14 kW. Jos valitaan 14 kW:n ja 16 kW:n yksiköt sisätiloihin, voimme valita ulkoyksiköksi korkeaan osaan PUHZ-RP100 ja matalaan osaan PUHZ-RP125.

Autotallin lämmityskustannuksien säästöjä laskettaessa voimme ottaa huomioon vain korkeassa osassa jo olleet laitteet, loppulämmitys on toteutettava ilmalämpöpumpuilla. Joten matalan tallin osalta laskemme vain lämpöpumpun ottaman tehon kustannuslaskelmissa. Eritellyt lämmitystarpeet korkealle ja matalalle tallin osalle on esitetty taulukossa 6.1.17.

Taulukko 6.1.17, Autotallin jo lämmitettävän ja uuden osan lämmönjohtumiset eriteltynä.

Korkea osa			Matala osa (uusi lämmitettävä ala)		
$Q_{\text{joht, ilman ap}}$ [kWh]	$Q_{\text{joht, ap}}$ [kWh]	Q_{joht} [kWh]	$Q_{\text{joht, ilman ap}}$ [kWh]	$Q_{\text{joht, ap}}$ [kWh]	Q_{joht} [kWh]
14 150	1 010	15 160	21 315	1 100	22 415

Taulukosta 6.1.17. saadaan laskettua korkean osan toteutuneen lämmityksen kustannus ja ILP:n tuoman säästö sekä arvioitua uuden matalan osan lämmitysosuuden kustannukset. Seuraavaksi laskettiin ilmalämpöpumpuilla toteutetun autotallin lämmityksen kustannukset.

6.1.5.5.1 Autotallin korkea osa

Taulukko 6.1.18, Tampereen Sähkölaitoksen ilmoittamien hintojen mukaan lasketut käyttökustannukset autotallin korkean osan laskennallisten kulutusten mukaan.

Sähkönkulutus	Lasketun mukaan [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]	Verollinen hinta, [€ / a]
Päiväsähkö (62,5 %)	9 475	517	631
Yö sähkö (37,5 %)	5 685	234	285
Yhteensä	15 160	noin 750	noin 920

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.1.19, Säästö kWh:n mukaan

Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP, laitteiden tiedoista	ILP lämmitämä osuus 80 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh]
15 160	+7°C	3,41	12 128	3 557	8 572
	-15°C	2	12 128	6 064	6 064
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 60 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh]
15 160	+7°C	3,41	9 096	2 668	6 429
	-15°C	2	9 096	4 548	4 548
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 40 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh]
15 160	+7°C	3,41	6 064	1 778	4 286
	-15°C	2	6 064	3 032	3 032

Taulukko 6.1.20, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 80 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	3 558	3 033	6 592	4 120	2 472	225	102	327	425
ALV 22 %	3 558	3 033	6 592	4 120	2 472	274	124	398	518

Taulukko 6.1.21 Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 60 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	2 669	6 067	8 735	5 460	3 276	298	135	433	319
ALV 22 %	2 669	6 067	8 735	5 460	3 276	364	164	528	389

Taulukko 6.1.22, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 40 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	1 779	9 100	10 879	6 799	4 080	371	168	539	212
ALV 22 %	1 779	9 100	10 879	6 799	4 080	453	205	658	259

6.1.5.5.2 Autotallin matala osa, uusi lämmitettävä alue

Taulukko 6.1.23, Tampereen Sähkölaitoksen ilmoittamien hintojen mukaan lasketut käyttökustannukset autotallin korkean osan laskennallisten kulutusten mukaisesti, mikäli lämmitys toteutettaisiin suoralla sähkölämmityksellä

Sähkönkulutus	Lasketun mukaan, [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]	Verollinen hinta, [€ / a]
Päiväsähkö (62,5 %)	14 010	765	933
Yösähkö (37,5 %)	8 405	345	422
Yhteensä	22 415	noin 1 110	noin 1 360

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.1.24, Säästö kWh:n mukaan verrattaessa suoraan sähkölämmitykseen

Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP, laitteiden tiedoista	ILP lämmitämä osuus 80 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatava säästö [kWh]
22 415	+7°C	3,36	17 932	5 337	12 595
	-15°C	2	17 932	8 966	8 966
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 60 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatava säästö [kWh]
22 415	+7°C	3,36	13 449	4 003	9 446
	-15°C	2	13 449	6 725	6 725
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 40 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatava säästö [kWh]
22 415	+7°C	3,36	8 966	2 668	6 298
	-15°C	2	8 966	4 483	4 483

Taulukko 6.1.25, Laskettu suuntaa antava kustannus, säästö vain vertausta varten. ILP:n osuus lämmityksessä 80 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	5 337	4 483	9 820	6 138	3 683	335	151	486	624
ALV 22 %	5 337	4 483	9 820	6 138	3 683	409	185	594	761

Taulukko 6.1.26, Mikäli päästään haluttuun lämpötilaan pelkällä ilmalämpöpumpulla (10 °C) on kustannukset ja säästöt verrattaessa suoraan sähkölämmitykseen seuraavat

Lämmitystarve [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatava säästö [€/a]
22 415	6 671	4 169	2 502	228	103	330	780

6.1.6 Päätelmät

Ilmalämpöpumppujen voidaan olettaa pääsevän lämmityksessä vuositasolla keskimäärin lähelle 80 %:a lämmitystarpeesta. Ilmalämpöpumpuilla lämmityksessä saatavat säästöt Hervannan kiinteistössä muodostuvat sekä toimistorakennuksen että autotallin lämmityksen kulujen vähenemisestä. Tämänhetkisen lämmitettävän alueen vuosittaiset kustannukset laskisivat lämpöpumpuilla noin 1 500 euroa, mutta uusi lämmitettävä osa autotallista tuo uusia lämmityskustannuksia, joten lämmityskustannusten vuosittaiseksi säästökksi jää noin 1200 €. Laskelmien virhemarginaalin vuoksi esitetyissä summissa tulisi huomioida noin ±100 € suuruinen marginaali.

Taulukko 6.1.27, Lämmityksen kokonaiskustannus Hervannan kiinteistössä

	Alkutilanne, [€ / a]	Parannusehdotuksen jälkeen, [€ / a]	Erotus, [€ / a]
Toimisto	1 782	682	1 100
Autot. Korkea	751	326	425
Autot. Matala	0	330	- 330
Yhteensä	2 530	1 340	1 190

Säästyvä summa on suuntaa antava, sillä säästöt riippuvat siitä, minkälaiset urakoitsijan asentamat laitteet ovat hyötysuhteeltaan ja hankintakustannuksiltaan. Säästö voivat olla jopa

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

suurempi sillä ilmalämpöpumppujen tekniikka kehittyy jatkuvasti ja laitteiden tuoma säästö tällöin kasvaa. Säästyvään energiaan vaikuttaa myös suoraan kunkin talven keliolosuhteet, kylmänä talvena kustannukset kasvavat ja lämpimänä talvena kustannukset pienenevät. Ilmalämpöpumpulle ihanteellisin talvi olisi leuto, muutaman pakkasasteen tietämissä oleva lämpötila. Tällöin lämmitystarvetta esiintyisi ja lämpöpumpun hyötysuhde olisi vielä korkealla.

Laittevalintoja tehdessä tulee Multisplit-mallistossa vastaan sen selkeästi korkeampi hinta verrattaessa perinteisiin ulkoyksikkö+sisäyksikkö-yhdistelmiin. Tästä syystä laitteiksi on edullisempaa valita erillislaitteet, kuten MSZ-GE25VAH- sekä MSZ-GE35VAH-yhdistelmät. Nämä laitteet pystyvät lämmittämään 3,2 kW ja 4,0 kW. Nämä riittävät toimistorakennuksen lämmittämiseen. Laitteiksi Hervannan toimistorakennukseen valittaisiin kustannussyistä siis 3 kpl MSZ-GE25VAH-laitteita ja yksi MSZ-GE35VAH.

Autotallin kohdalla ongelmaksi tulee hallien suuri tilavuus, tällöin aiemmin esittämäni laitteet olisivat lämmityksen kannalta parhaimpia, mutta niiden hankintahinnat ovat korkeita.

6.2 Alasjärvi

Tampereen sähköasema / Alasjärvi sähköasema/ Niihamankatu 10, 33560 Tampere.

Sähköasemaan kuuluu toimistorakennus muuntamotiloineen sekä erillinen autotalli.

6.2.1 U-arvot ja lämmönjohtuminen

6.2.1.1 Rakenteiden U-arvot

Rakenteiden U-arvot on laskettu liitteenä olevassa Excel-tiedostossa Alasjärvi

Laskentataulukot.xls

U-arvojen laskemisessa on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman C4:n taulukon 1. tietoja joiden perusteella eri materiaalien lämmönjohtavuuksista on saatu laskettua U-arvot rakenneosille.

Taulukko 6.2.1, Toimistorakennuksen U-arvot, täydelliset laskelmat liitteen 2. lehdellä "Seinärakenteet".

Kuvista saatavat tiedot ovat heikkoja, joten virhemarginaali on hieman suurempi kuin normaalisti. Oletetaan toimistotilan katto kauttaaltaan saman rakenteiseksi, Alapohja maanvastainen.			
YP	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	Ulko-ovi	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,10		1,7
AP1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	2-kerroksinen lasi	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,55		2,7
US1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]		
	0,24		

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.2.2, Autotallin U-arvot, täydelliset laskelmat liitteen 2. lehdellä ”Seinä rakenteet”.

Rakennusta on laajennettu jälkeenpäin, joten tämän takia kahdet eri rakenteet ja U-arvot.			
AP1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	YP1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,44		0,25
AP2	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	YP2	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,41		1111
US1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	2-kerroksinen lasi	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,27		2,7
US2	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	Isot ovet	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,27		2,8
US3	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]		
	3,18		

6.2.1.2 Rakenteiden lämmönjohtavuus ja energiankulutus

Rakenteiden läpi johtuva energia Q_{joht} lasketaan RakMK osan D5 kaavoilla 4.1 ja 4.2. käyttämällä taulukossa 6.2.3 esitettyjä rakennusosien pinta-aloja ja taulukoissa 6.2.1 ja 6.2.2 esitettyjä U-arvoja. Alapohjan alapuolisen maan lämpötila lasketaan RakMK osan D5 kaavalla 4.4. Lämmönjohtavuudet kuukausittain jaoteltuna esitetään liitteen 2. lehdellä ”Energiankulutukset yhteensä”.

Taulukko 6.2.3, Toimistorakennuksen ja autotallin rakenteiden pinta-alat, laskelmat liitteen 2 lehdillä toimiston lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat ja autotallin lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat

Toimisto		Autotalli, laajennus		Autotalli, vanha osa	
YP	Pinta-ala, [m ²]	YP1	Pinta-ala, [m ²]	YP1.2	Pinta-ala, [m ²]
	300		120		126
AP	Pinta-ala, [m ²]	AP1	Pinta-ala, [m ²]	AP2	Pinta-ala, [m ²]
	300		118		119
US1	Pinta-ala, [m ²]	US1	Pinta-ala, [m ²]	US2	Pinta-ala, [m ²]
	140		120,5		44,5
Ovet	3	Ovet	26,6	Ovet	23
Ikkunat	32	Ikkunat	15	Ikkunat	6

Taulukoiden 6.2.4 – 6.2.8 tiedot laskettu liitteessä 2. lehdillä ”toimiston lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat” ja ”autotallin lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat”.

Taulukko 6.2.4, Alasjärven toimistorakennuksen rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia Q_{joht} , kWh

	$Q_{\text{joht, ilman ap}}$ [kWh]	$Q_{\text{joht, ap}}$ [kWh]	Q_{joht} [kWh]
Koko vuosi	23 800	18 800	42 600

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.2.5. Alasjärven autotallin rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia Q_{joht} , kWh

	$Q_{\text{joht, ilman ap}}$ [kWh]	$Q_{\text{joht, ap}}$ [kWh]	Q_{joht} [kWh]
Koko vuosi	19 950	1 918	21 900

Taulukko 6.2.6. Toimiston ilmastoinnin vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$, kWh

	$Q_{\text{vuotoilma}}$ [kWh]
Koko vuosi	2 150

Taulukko 6.2.7. Autotallin ilmastoinnin vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$, kWh

	$Q_{\text{vuotoilma}}$ [kWh]
Koko vuosi	1 594

Taulukko 6.2.8. Alasjärven kiinteistön kokonaiskulutukset

	Toimisto, Q_{kok} [kWh]	Autotalli, Q_{kok} [kWh]
Koko vuosi	44 700	23 500

6.2.2 Laskennan kulku, esimerkkinä Alasjärven toimistorakennus

Alapohjien johtumiskertoimet ja lämmitystarpeet lasketaan D5:n ohjeen mukaan maanvastaisen alapohjan laskukaavalla. Muut rakenneosat lasketaan normaalisti ulkoilman kuukausittaisen lämpötilan mukaan. Oletetaan maalajin olevan savea, salaojitettua hiekkaa tai soraa, jolloin saadaan laskettua alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero eri U-arvoisille alapohjille RakMK D5:n taulukon 4.1 tiedoilla. Alapohjan alapuolisen maan kuukauden keskilämpötila saadaan lisäämällä RakMK D5:n taulukosta 4.2 kuukausittainen lämpötilaero vuotuisen lämpötilaeroon.

Alapohjan lämpötilat esimerkiksi tammikuussa olivat seuraavat (liitteessä 2. lehdillä ”toimiston lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat” ja ”autotallin lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat” täydentävät laskelmat.).

Toimistotilat:

$$\text{AP (U} \sim 0,55\text{): } T_{\text{maa, kuukausi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kuukausi}} = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Autotalli:

$$\text{AP1 (U} \sim 0,44\text{): } T_{\text{maa, kuukausi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kuukausi}} = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{AP2: (U} \sim 0,41\text{): } T_{\text{maa, kuukausi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kuukausi}} = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Alapohja lasketaan erikseen, sillä kaavassa käytettävä ulkolämpötila muodostetaan maan lämpötilan pohjalta.

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

$$\begin{aligned}\sum H_{\text{joht, ilman ap}} &= (0,23896 * 140) + (0,10455 * 299,9) + \\ &\quad (2,7 * 32,2) + (1,7 * 3) = 157,0 \text{ W/K} \\ \sum H_{\text{joht, alap}} &= (0,55071 * 299,1) = 165,2 \text{ W/K} \\ \sum H_{\text{joht}} &= 157,0 \text{ W/K} + 165,2 \text{ W/K} = 322,2 \text{ W/K}\end{aligned}$$

Taulukoissa 6.2.4 – 6.2.8 on esitetty rakenteiden läpi johtuvat lämpöenergiat, sekä alla on tammikuun osalta esimerkkilaskelma toimiston energianjohtumisesta.

$$Q_{\text{joht, ilman ap}} = \frac{157,0 * (21 - (-8,53)) * 31 * 24}{1000} \approx 3522 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{joht, ap}} = \frac{165,2 * (21 - (8)) * 31 * 24}{1000} \approx 1597 \text{ kWh}$$

Yhteensä

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{joht, ilman ap}} + Q_{\text{joht, ap}} = 3522 + 1597 = 5120 \text{ kWh}$$

Kun jokaisen kuukauden kulutukset lasketaan yhteen, saadaan rakenteiden vuotuinen kokonaiskulutus, noin 42 600 kWh.

6.2.3 Ilmastoinnista aiheutuva energiankulutus

Rakenteiden epätiiviyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$ laskettuna tammikuun osalta. Liitteessä 2. välilehdellä ”Energiankulutukset yhteensä” on esitetty kaikki lasketut arvot.

$$\begin{aligned}Q_{\text{vuotoilma, tammi}} &= \frac{\rho_i * c_{pi} * \left(\frac{n_{\text{vuotoilma}} * V}{3600} \right) * (T_s - T_u) * \Delta t}{1000} \\ Q_{\text{vuotoilma, tammi}} &= \frac{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{Ws}}{\text{kgK}} * \left(\frac{1,6 * 639,36 \text{ m}^3}{3600} \right) * (21^\circ\text{C} - (-9,16^\circ\text{C})) * 31}{1000} \\ Q_{\text{vuotoilma, tammi}} &\approx 318,81 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Kun jokaisen kuukauden kulutukset lasketaan yhteen, saadaan vuotoilmasta syntyvä vuotuinen kokonaiskulutus, noin 2 150 kWh.

Yhteenlaskettu energiankulutus Alasjärven sähköaseman rakennuksissa saadaan laskemalla rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia sekä vuotoilmasta aiheutuvat energiankulutukset. Alasjärven kokonaisenergiatarve toimistorakennukselle on 44 700 kWh ja autotallille 23 500 kWh. Lämpötilaluvut ovat kuitenkin hieman jo vanhentuneet ja Motivan julkaiseman lämmitystarvelukujen mukaan lämmitystarve onkin laskenut vuoden 1979 keskiarvoista. Lämmityksen tarve ei siis välttämättä ole tulevaisuudessa aivan yhtä suuri, joten todellisuudessa laskemalla päästiin vieläkin lähemmäksi todellisia kulutuksia. Autotallille laskettava kulutus oli selkeästi suurempi kuin tähän asti autotalliin on kulunut, sillä lämmitettävä ala kasvoi huomattavasti.

6.2.4 Vanhat laitteistot

Kiinteistöön kuuluu toimistorakennus, jossa on päivittäistä toimintaa. Toimistorakennukseen kuuluu myös kytkinhalli, valvomo ym. sähkönjakeluun kuuluvia tiloja, mutta nämä eivät kuulu varsinaiseen tutkittavaan alueeseen (lämpöpumpuilla lämmitettävään alueeseen). Lisäksi kiinteistöön kuuluu erillinen autotallirakennus, jota on jälkeempään laajennettu. Autotalli kuuluu kokonaisuudessaan työn alueeseen.

Toimistorakennuksen tämänhetkinen lämmitys on toteutettu ilmastoinnin ja huonekohtaisen sähkölämmityksen yhdistelmällä. Kiinteistöstä löytyy sähköllä toteutettu lattialämmitys ainakin isoimmista yksittäisistä tiloista kuten 102 Ruokailu ja 104 Toimisto. Muissa tiloissa oletetaan lämmityksen olevan toteutettu sähköpattereilla. Ilmastointikoneen lämmityspatteri on sähköinen lämmityspatteri joka on viisi tai kuusi portainen 16 kW. Rakennuksen toinen puoli on osittain lämmitetty pelkästään sähkölaitteistosta tulevalla lämmöllä, kuten kytkinhallin laitteista vapautuvalla lämmöntuotolla.

Autotallissa on laajennusosassa lämmitys ja alkuperäinen autotalli on kylmänä. Autotallissa ei myöskään ole kuin yksi ILURI-kattoimuri, joten tuloilman lämmittämiseen ei kulu ilmastoinnissa sähköä. Tutkittavaan alueeseen kuului siis uutena alueena alkuperäinen autotalli, jonka lämmitys tullaan toteuttamaan mahdollisesti ilmalämpöpumpuilla.

6.2.5 Parannusehdotukset

Kun rakennuksen laskennallisesti vaaditut energiankulutukset saatiin laskettua, voitiin lukuja verrata toteutuneisiin kulutuksiin. Kulutustiedoista ei saatu lämmityksen käyttämää todellista energiankulutusosaa suoraan tietoon, vaan kulutustiedoista piti laskennallisesti poistaa muut sähköä kuluttavat tekijät.

Toimiston arvioiduissa valaistukseen, sähkölaitteisiin ja lämpimään käyttöveteen kuluva sähkön osuus saattoi olla todellisuudessa pienempi, mikäli käyttö rakennuksessa ei ole suurta. Lasketut kulutusarvot ovat laskettu toimistorakennusten keskiarvoisten kulutusten mukaisesti.

Kun muut arvioidut kulutukset saatiin poistettua toteutuneen sähkönkulutuksen lukemasta, voitiin lämmitykselle jäävä energiankulutus normeerata vastaamaan laskuissa käytettävää lukemaa. Normeerattua energiankulutusta voitiin tämän jälkeen verrata laskettuihin energiankulutuksiin. Kulutuslukemien vertailusta saatiin suuntaa antava tieto toteutuneesta lämmitykseen kuluva energiasta.

Autotallin lämmityksen kuluu Alasjärvellä selkeästi vähemmän energiaa kuin toimistorakennukseen, tämä ero voidaan selittää sillä, että autotallin lämmityksessä pyritään puolilämpimään ilmanlämpötilaan ja toisin kuin Hervannassa, Alasjärven autotallin seinärakenteet ovat kohtalasia U-arvoiltaan. Laskettua lämmitysenergian tarvetta ei voitu verrata kuluneeseen energian määrään, sillä autotallin lämmitettävä osuus kasvaa uudessa

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

suunnitelmassa. Laskennassa oletettiin myös lämmityksen olevan ympärivuotista, mikäli lämmitystarvetta ilmenee.

Autotallissa olevat suuret ovet aiheuttavat lämmitykselle rasitetta ja näiden käyttöä ja lämmöneristävyyttä pitäisikin erityisesti huomioida. Mikäli halutaan autotallin alkuperäisen osan pysyvänä kustannustehokkaasti lämpimänä, olisi syytä tarkastaa ovien rakenteet lämmönjohtuvuuden osalta ja tarvittaessa vaihtaa tilalle uudet matalan U-arvoluokituksen omaavat ovet. Työssä käytettiin ovien U-arvojen laskemiseen tarkoituksella suuria lämmönjohtavuuksia, sillä yleisellä tasolla vanhat nosto-ovet ja muut suurialaiset hallien ovet olivat heikkotasoisia eristävyyksiltään, joten tämän arvion avulla vältetään liian positiivisilta tuloksilta.

Jos autotallin lämmitys tullaan toteuttamaan ilmalämpöpumpuilla, ei tuleva energiankulutus autotallissa kuitenkaan ole yhtä suuri kuin laskemalla saatu energiankulutus, sillä ilmalämpöpumpun energiankulutus syntyy vain pumpun toimintaan kulumasta sähkönkulutuksesta ja itse lämmöntuotto tulee suoraan ilmasta.

Vartenotettavia säästöjä pitkällä aikavälillä tuo myös ikkunoiden uusiminen nykyaikaisiin lämpölaseihin. Lämmönjohtumisesta aiheutuvat kulut voivat olla hyvinkin suuria, mikäli ikkunat ovat alkuperäisiä yksi- tai kaksikerroksisia laseja, sillä nykyiset lämpölasit ovat moninkertaisesti parempia lämmöneristävyydeltään. Alasjärven kuvien mukaan osa on jo useampikerroksisia ikkunoita, mutta osa oli yhä kaksikerroksisia.

6.2.5.1 Ilmastointi

Toimistorakennuksen ilmastointikoneen lämmityspatteri on sähköinen lämmityspatteri joka on viisi tai kuusi portainen 16 kW, tällä pystytään jo kohtalaisen hyvään ohjattavuuteen. Kuitenkin sähköpatterin voisi vaihtaa esimerkiksi Mitsubishi Electric PAC-1F011B-E -lämpöpumpulla toimivaan ilmastointikoneen tulopatterin korvaavaan laitteistoon. Tämä laite mahdollistaa tällöin tuloilman lämmityksen lämpöpumpputekniikalla. Ohjattavuus ei kovin paljoa parane, vaikka PAC:ssa onkin portaaton säätö, mutta lämpöpumppu säästää parhaimmillaan 2/3 tehosta.

Toimistorakennuksessa olevan tuloilmakoneen puhaltimen ohjaus voidaan toteuttaa taajuusmuuttajalla, kuten Hervannan kohdalla ehdotettiin. Ilmastointikoneen puhaltimen kuluttamaa energiaa säästyy, sillä ilmanvaihdon tarve ei ole jatkuvasti puhaltimen maksimi ilmanvaihtonopeus, eikä myöskään tasan puolet siitä. Tarkemmalla ohjauksella saadut säästöt ovat huomattavia jo pienellä virtausnopeuden muutoksilla.

Saatava hyöty on esitetty laskukaavassa.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^3$$
$$\frac{1,5kW}{P_2} = \left(\frac{0,6 \frac{m^3}{s}}{0,5 \frac{m^3}{s}} \right)^3 \rightarrow P_2 = 0,87kW$$

6.2.5.2 Lämmitys

Toimistorakennuksen lämmitys ei onnistu yhdellä ilmalämpöpumpulla jossa on yksi sisäyksikkö, sillä yhden yksikön mallit vaatisivat tehokkaaseen toimintaan avoimet tilat ja kohde koostuu pääosin erillisiä huoneista ja käytävistä jolloin yhden puhaltimen kierrättämä ilma ei jakaantuisi tasaisesti. Tästä syystä lämpöpumpun ulkoyksiköksi soveltuisi huoneiden lämmittämiseen esimerkiksi Multisplit-mallinen Mitsubishi Electric MXZ-8A140VA, sillä tähän malliin on mahdollista kytkeä useampi sisäyksikkö (2-8 kpl). Mitsubishi Electric MXZ-8A140VA:n maksimilämmitysteho on 16 kW. Laitteeseen voidaan valita sisäyksiköiksi joko seinä-, lattia- tai kattoyksiköt. Yksiköt valitaan siten että ulkoyksikön tuottama lämmitysteho saadaan parhaiten jaettua sisätiloihin. Sisäyksiköt valitaan laskemalla huoneiden tarvitsema lämmitysteho joka saadaan lämmönjohtumisesta huoneen rakenteiden läpi. Laskettaessa kustannuksia huomattiin perinteisten yhden sisäyksikön ilmalämpöpumppujen tulevan edullisemmaksi, vaikka näin ollen joudutaan asentamaan useampi laite.

6.2.5.3 Ilmalämpöpumppujen tuottama säästöpotentiaali

Alasjärven kiinteistön lämmittämiseen kuluu laskennallisesti noin 68 000 kWh johon sisältyy myös ilmastoinnin kuluttama energia. Laskennallisesti toimistorakennukseen kuluu lämmitykseen noin 42 600 kWh ja ilmastointiin noin 2 150 kWh, yhteensä noin 44 700 kWh. Autotalliin kuluu uuden lämmitettävän alueen takia laskettuna 21 900 kWh ja ilmastointiin 1 600 kWh, eli yhteensä 23 500 kWh.

Taulukossa 6.2.9 on esitetty Tampereen Sähkölaitoksen lämpösähkön (yö/päivä) hinta aikavälillä 01.05. – 31.8.2009, laskelmissa käytetään näitä hintatietoja. Mitsubishin Multisplit-malliston lämpöpumpun lämpökerroin eli COP-luku on 3,91 eli laite tuottaa +7 °C:ssa 1 kW:lla 3,91 kW lämmitysenergiaa. Yksittäisen MSZ-GE-malliston laitteiden COP-luku on 4,19 ja 4,57 välillä. Vielä -15 °C:n pakkasessakin lämpöpumpun lämpökerroin on hieman yli kahdessa. Näiden tietojen avulla saamme laskettua lämpöpumppujen tuottaman säästöpotentiaalilin lämmityksessä. Taulukoissa on esitetty alkutilanteet, sekä esitetty eri tilanteissa laitteistojen tuottamat säästöt.

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.2.9, Ilmoitetut Tampereen sähkölaitoksen sähkön hinnat.

Lämpösähkö (päivä/yö)	Hinta, alv 22 %	Hinta, alv 0 %
	€/kk	€/kk
Perusmaksu	3,00	2,46
	snt/kWh	snt/kWh
Päiväenergiamaksu	6,66	5,46
Yöenergiamaksu (yöaika 9h)	5,02	4,11

Taulukko 6.2.10, Tampereen Sähkölaitoksen ilmoittamien hintojen mukaan lasketut käyttökustannukset toimiston ja autotallin laskennallisten kulutusten mukaisesti sekä toteutuneiden kulutusten mukaisesti. Liitteestä 2 lehdeltä Lämmityskustannukset löytyy tarkemmat laskelmat

Sähkönkulutus	Laskettu, tsto [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]	Laskettu, autotal. [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]	Toteutuneen mukaan, [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]
Päiväsähkö (62,5 %)	26 625	1 454	13 688	747	33 250	1 815
Yösähkö (37,5 %)	15 975	657	8 213	338	19 950	820
Yhteensä	42 600	2 110	21 900	1 085	53 200	2 635

Voimme laskea yösähkön prosentuaalisen osuuden vuodessa taulukon tiedoista. Laskemalla 9/24 saadaan yösähkön osuudeksi 37,5 % ja päivänsähkön osuudeksi on 62,5 %. Näiden tietojen mukaan saamme laskettua lämmitykseen kuluvan energian verollisen ja verottoman hinnan tämän hetkisinillä laitteilla ja kulutuksella.

Mallilaskussa käytetään toimistorakennuksen laskettuja kulutustietoja. Ensin selvitetään yö- ja päivänsähkön osuudet. Päiväsähkön osuus on $42\,600\text{ kWh} \cdot 62,5\% = 26\,625\text{ kWh}$ ja yösähkön osuus $42\,600\text{ kWh} \cdot 37,5\% = 15\,975\text{ kWh}$.

Hinnaksi muodostuu siis verollisena $(26\,625\text{ kWh} \cdot 6,66\text{ snt/kWh}) + (15\,975\text{ kWh} \cdot 5,02\text{ snt/kWh}) = 2\,575\text{ €}$ ja verottomana $(26\,625\text{ kWh} \cdot 5,46\text{ snt/kWh}) + (15\,975\text{ kWh} \cdot 4,11\text{ snt/kWh}) = 2\,110\text{ €}$.

Mikäli hinta lasketaan normeeratulla kiinteistön lämmityksen kokonaiskulutuksella 53 200 kWh, lämmitettävän energian osuus maksaa verollisena noin 3 200 € ja verottomana noin 2 600 € vuodessa. Normeeratuissa energioissa on mukana myös autotallin osuus.

6.2.5.4 ILP:n valinta toimistorakennukseen

Taulukko 6.2.11, Sisäyksiköiden valinta tarvittavan lämmitystehon mukaan.

	Käytävä	Ruokailu	Kokous/kartat	TSTO	TSTO
Pinta-ala, [m ²]	38	41	28	39	35
YP1 U-arvo	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
YP1 pinta-ala, [m ²]	38	41	28	39	35
$\Phi_{\text{joht, yp}}$ [W]	199	212	144	205	185
AP1 U-arvo	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
AP1 pinta-ala, [m ²]	38	41	28	39	35
$\Phi_{\text{joht, ap}}$ [W]	881	939	638	907	819
US1 U-arvo	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
US1 pinta-ala, [m ²]	11	20	25	46	3
$\Phi_{\text{joht, us}}$ [W]	132	241	304	553	31
Ikkuna U-arvo	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Ikkuna pinta-ala, [m ²]	0	5	4	7	5
$\Phi_{\text{joht, ikkuna}}$ [W]	0	629	574	929	638
Ovi U-arvo	1,70	1,70	1,70	1,70	52,30
Ovi pinta-ala, [m ²]	2	0	0	0	0
$\Phi_{\text{joht, ovi}}$ [W]	205	0	0	0	0
Sisäyksikön tarvitsema teho Φ_{joht} [kW]	1,4	2,0	1,7	2,6	1,7

Laskelman mukaan voimme valita sisäyksiköt ilmalämpöpumpuille, valinnassa otetaan huomioon muihin tiloihin johtuva lämpöenergia, johtuva lämpö näin ollen lämmittää huoneita joissa ei sisäyksikköä ole, huomioon pyöristämällä huoneiden tarvitsemat lämmitystehot ylöspäin seuraavaan tasaan kilowattiin. Käytävän yksikön koko 2 kW, ruokailutilan yksikön koko 3 kW, kokous/karttahuoneen koko 2 kW, 104 toimiston yksikön koko 3 kW ja 105 toimiston yksikön koko 2 kW. Näiden tietojen perusteella valittiin Mitsubishin laiteluettelosta tähän tilaan sopiva ulkoyksikkö joka tukee viittä sisäyksikköä. Valittaessa nämä viisi huonetta, pääsemme jo yli 75 % lämmitettävästä pinta-alasta ja näistä huoneista johtuu myös lämpöä muihin huoneisiin.

Ulkoyksikön valinnassa ensimmäinen kriteeri on sisäyksiköiden määrä, eli 5 kappaletta. Tarvittava ulkoyksikön teho saadaan laskemalla sisäyksiköiden yhteenlaskettu teho, 2 kW + 3 kW + 2 kW + 3 kW + 2kW = 12 kW. Kaikki yksiköt eivät lämmitä jatkuvasti täydellä teholla, joten hieman pienempikin ulkoyksikkö käy, mutta mikäli halutaan varmistettavan tulevaa varten laajennettavuus, on syytä ottaa 12 kW tehon tuottava ulkoyksikkö. Nämä kriteerit täyttyvät esimerkiksi ulkoyksikössä MXZ-8A140VA, joka on tarkoitettu maksimissaan 16 kW lämmitysteholle. Vaihtoehtoisesti MXZ-5A100VA soveltuu myös toimistorakennuksen

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

lämmittämiseen 12 kW asti, mutta tämä olisi käytännössä aivan rajoilla koko ajan. Mikäli yksiköt halutaan seinäasenteisina, voimme valita yksiköiksi 5 kpl MSZ-GA22VA- yksikköä, joista kukin tuottaa lämmityksessä 3,3 kW. Mikäli on mahdollista asentaa sisäyksiköt kattoon, yksiköiksi voidaan valita 5 kpl SLZ-KA25VA(L) (3kW) tai vaihtoehtoisesti vaihtaa yksi yksikkö SLZ-KA35VA(L) (4kW) malliseksi huoneen 104 toimistoon. Kustannussyistä on kuitenkin edullisempaa valita viisi MSZ-GE25VAH-laitetta, jolloin myös lämmitysteho on suurempi kuin Multisplit-laitteistolla.

Ilmalämpöpumpun tuottama hyöty saadaan laskettua tarkastelemalla ilmalämpöpumpun osuutta koko lämmityksen osuudesta. Eli voimme olettaa ilmalämpöpumpun tuottavan esimerkiksi 40–80% tarvittavasta lämmitysenergiasta.

Taulukossa 6.2.12 on laskettu lämmityksen tuottama säästöpotentiaali toimiston lämmitysenergiasta eri prosentuaalisilla osuuksilla lämmitystarpeesta. Taulukossa on laskettu Mitsubishiin ilmoittaman COP-luvun tuottama säästö +7 °C lämpötilassa (COP-luku 4,59), sekä VTT:n tutkimuksen (VTT-S-090606-08e) ilmoittaman COP-luvun tuottama säästö -15 °C lämpötilassa (COP-luku noin 2), jossa testattiin lähes samanlaista laitetta. Toimistorakennuksessa voidaan viidellä sisäyksiköllä lämmittää yli 75 % pinta-alasta sijoittamalla sisäyksiköt toimistohuoneisiin, käytävään, ruokalaan ja kartta/kokoustilaan.

Taulukko 6.2.12, Toimistorakennuksen lämmityksessä säästettävä energia [kWh/a] ILP:n eri lämpökertoimilla ja lämmitysosuuksilla. Laitteena on käytetty Mitsubishiin MSZ-GE25VA-mallia.

Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 80 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh]
42 600	+7°C	4,59	34 080	7 425	26 655
	-15°C	2	34 080	17 040	17 040
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 60 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh]
42 600	+7°C	4,59	25 560	5 569	19 991
	-15°C	2	25 560	12 780	12 780
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 40 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh]
42 600	+7°C	4,59	17 040	3 712	13 328
	-15°C	2	17 040	8 520	8 520

Taulukko 6.2.13, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 80 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	7 425	8 510	15 935	9 959	5 976	544	246	789	1 321
ALV 22 %	7 425	8 510	15 935	9 959	5 976	663	300	963	1 612

Taulukko 6.2.14, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 60 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	5 569	17 021	22 589	14 118	8 471	771	348	1 119	991
ALV 22 %	5 569	17 021	22 589	14 118	8 471	940	425	1 366	1 210

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.2.15, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 40 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	3 712	25 531	29 243	18 277	10 966	998	451	1 449	662
ALV 22 %	3 712	25 531	29 243	18 277	10 966	1 217	551	1 768	807

6.2.5.5 ILP:n valinta autotalliin

Taulukko 6.2.16, Sisäyksiköiden valinnassa käytettävät perusteet.

	Varasto	Varasto	Autotalli (kylmä)	Autotalli (puolilämmin)
Pinta-ala, m ²	30	31	118	62
YP U-arvo	0,25	0,25	0,25	0,25
YP pinta-ala, [m ²]	29	30	126	60
$\Phi_{\text{joht, yp}}$ [W]	284	295	1 229	587
AP U-arvo	0,44	0,44	0,41	0,44
AP pinta-ala, [m ²]	29	30	119	60
$\Phi_{\text{joht, ap}}$ [W]	396	410	1 521	817
US U-arvo	0,27	0,27	0,27	0,27
US pinta-ala, [m ²]	26	30	45	64
$\Phi_{\text{joht, us}}$ [W]	276	319	469	676
Ikkuna U-arvo	2,70	2,70	2,70	2,70
Ikkuna pinta-ala, [m ²]	5	3	6	8
$\Phi_{\text{joht, ikkuna}}$ [W]	490	290	600	820
Ovi U-arvo	2,80	2,80	2,80	2,80
Ovi pinta-ala, [m ²]	9	8	23	9
$\Phi_{\text{joht, ovi}}$ [W]	1 016	873	2 498	1 016
Sisäyksikön tarvitsema teho Φ_{joht} [kW]	2,5	2,2	6,3	3,9

Autotallin lämmitettävä osuus kasvaa siis noin 7 kilowatilla alkuperäisen osan tullessa lämmitettäväksi. Autotallin isot ovet olisi syytä tarkastaa ja tarvittaessa vaihtaa paremmin lämpöä eristäviksi, sillä suurimmat yksittäiset johtumiset autotallissa syntyvät nimenomaan suurien ovipinta-alojen takia. Autotallissa pyritään laskuissa noin 10 °C lämpötilaan.

Laskelman mukaan voimme valita sisäyksiköt autotallin ilmalämpöpumpuille Mitsubishin laiteluettelosta. Tähän tilaan sopivat ulkoyksiköt voidaan valita samoin kuin toimistolle.

Sisäyksiköiden mukaan lämmitystehoa vaaditaan autotallissa yhteensä 3 kW + 3 kW + 7 kW + 4 kW = 17 kW. Tämän kokoista ulkoyksikköä ei suoraan tueta taulukossa, mutta kahdella ulkoyksiköllä päästään tarvittaviin lukuihin.

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Ulkoyksikön valinnassa verrataan sisäyksikön kokoa ja tehdään valinta sen mukaan, mikä ulkoyksikkö kykenee tarvittavaan lämmitystehoon. Tilajakoa autotallille on hieman hankala tehojen mukaan mitoittaa, mutta jos hankitaan kaksi Mitsubishin PEAD-RP100-mallista sisäyksikköä, päästään yhteensä 22,4 kW lämmitystehoon ja ulkoyksiköiksi sopisi tällöin kaksi PUHZ-RP100. Tämä yhdistelmä takaisi tarvittavan lämmityksen koko autotallille ja sisäyksiköiden lämmitetty ilma voidaan jakaa tasaisesti ilmakehällä jokaiseen tallin osaan.

Autotallin lämmityskustannuksia laskettaessa voimme ottaa huomioon vain tällä hetkellä lämmitettävä osa, loppulämmitys on toteutettava pelkillä ilmalämpöpumpuilla, joten kylmä osa tallista laskettiin kustannuslaskelmissa vain lämpöpumpun ottaman tehon mukaan. Eritellyt lämmitystarpeet jo lämmitetyille ja lämmittämättömälle tallin osalle on esitetty liitteessä 2. lehdellä "Autotallin lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat".

Taulukko 6.2.17, Autotallin jo lämmitettävän ja uuden osan lämmönjohtumiset eriteltynä.

Laajennus			Alkuperäinen		
$Q_{\text{joht, ilman ap}}$ [kWh]	$Q_{\text{joht, ap}}$ [kWh]	Q_{joht} [kWh]	$Q_{\text{joht, ilman ap}}$ [kWh]	$Q_{\text{joht, ap}}$ [kWh]	Q_{joht} [kWh]
11 800	990	12 790	8 150	930	9 080

Taulukosta 6.2.17 saadaan laskettua jo lämmitettävän laajennusalueen toteutuneen lämmityksen kustannus ja ILP:n tuoman säästö sekä arvioitua alkuperäisen, aikaisemmin kylmän osan lämmitysosan kustannukset.

6.2.5.5.1 Autotallin laajennusosa, ennestään lämmin osa

Taulukko 6.2.18, Tampereen Sähkölaitoksen ilmoittamien hintojen mukaan lasketut käyttökustannukset autotallin korkean osan laskennallisten kulutusten mukaan.

Sähkönkulutus	Lasketun mukaan [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]	Verollinen hinta, [€ / a]
Päiväsähkö (62,5 %)	7 375	403	491
Yösähkö (37,5 %)	4 425	182	222
Yhteensä	11 800	585	713

Taulukko 6.2.19, ILP:lla saatava säästö kWh:n mukaan

Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP, keskiarvo laitteiden tiedoista	ILP lämmitämä osuus 80 % [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Saatu säästö [kWh/a]
11 800	+7°C	3,22	9 440	2 932	6 508
	-15°C	2	9 440	4 720	4 720
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 60 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh/a]
11 800	+7°C	3,22	7 080	2 199	4 881
	-15°C	2	7 080	3 540	3 540
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 40 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh/a]
11 800	+7°C	3,22	4 720	1 466	3 254
	-15°C	2	4 720	2 360	2 360

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.2.20, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 80 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	2 932	2 360	5 291	3 307	1 984	181	82	262	322
ALV 22 %	2 932	2 360	5 291	3 307	1 984	220	100	320	393

Taulukko 6.2.21, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 60 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	2 199	4 719	6 918	4 324	2 594	236	107	343	242
ALV 22 %	2 199	5 115	7 314	4 571	2 743	304	138	442	271

Taulukko 6.2.22, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 40 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	1 466	7 079	8 545	5 341	3 204	292	132	423	161
ALV 22 %	1 466	7 079	8 545	5 341	3 204	356	161	517	197

6.2.5.5.2 Autotallin alkuperäinen osa, uusi lämmitettävä osa

Taulukko 6.2.23, Tampereen Sähkölaitoksen ilmoittamien hintojen mukaan lasketut käyttökustannukset autotallin korkean osan laskennallisten kulutusten mukaisesti, mikäli lämmitys toteutettaisiin suoralla sähkölämmityksellä

Sähkönkulutus	Lasketun mukaan, [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]	Verollinen hinta, [€ / a]
Päiväsähkö (62,5 %)	5 675	310	378
Yösähkö (37,5 %)	3 405	140	171
Yhteensä	9 081	450	549

Taulukko 6.2.24, Säästö kWh:n mukaan verrattaessa suoraan sähkölämmitykseen

Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP, keskiarvo laitteiden tiedoista	ILP lämmitettävä osuus 80 % [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Saatava säästö [kWh/a]
9081	+7°C	3,22	7 264	2 256	5 008
	-15°C	2	7 264	3 632	3 632
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP, keskiarvo laitteiden tiedoista	ILP lämmitettävä osuus 60 % [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Saatava säästö [kWh/a]
9081	+7°C	3,22	5 448	1 692	3 756
	-15°C	2	5 448	2 724	2 724
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP, keskiarvo laitteiden tiedoista	ILP lämmitettävä osuus 40 % [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Saatava säästö [kWh/a]
9081	+7°C	3,22	3 632	1 128	2 504
	-15°C	2	3 632	1 816	1 816

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.2.25, Laskettu suuntaa antava kustannus, säästö vain vertausta varten. ILP:n osuus lämmityksessä 80 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	2 256	2 558	4 814	3 009	1 805	164	74	238	211
ALV 22 %	2 256	2 558	4 814	3 009	1 805	200	91	291	258

Taulukko 6.2.26, Mikäli päästään haluttuun lämpötilaan pelkällä ilmalämpöpumpulla (10 °C) kustannukset olisivat seuraavat

Lämmitystarve [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatava säästö suoraan sähköläm. verrattuna [€/a]
9 081	2 820	1 763	1 058	96	43	140	310

6.2.6 Päätelmät

Ilmalämpöpumpujen voidaan olettaa pääsevän lämmityksessä vuositasolla keskimäärin lähelle 80 % lämmitystarpeesta. Ilmalämpöpumpuilla lämmityksessä saatavat säästöt Alasjärven kiinteistössä muodostuvat sekä toimistorakennuksen että autotallin lämmityksen kulujen vähenemisestä. Tämänhetkisen lämmitettävän alueen vuosittaiset kustannukset laskisivat lämpöpumpuilla noin 1 600 euroa, mutta uusi lämmitettävä osa autotallista tuo uusia lämmityskustannuksia, joten lämmityskustannusten vuosittaiseksi säästöksi jää noin 1 500 €. Pinta-alojen ja lämmönjohtuvuuksien virhemarginaalin vuoksi esitetyissä summissa tulisi huomioida noin ±100 € suuruinen marginaali.

Taulukko 6.2.27, Lämmityksen kokonaiskustannus Alasjärven kiinteistössä

	Alkutilanne, [€ / a]	Parannusehdotuksen jälkeen, [€ / a]	Erotus, [€ / a]
Toimisto	2 108	789	1 319
Autot. laajennus (puoliilämmin)	584	262	322
Autot. alkuperäinen (kylmä)	0	140	- 140
Yhteensä	2 692	1 191	1 502

Säästyvä summa on suuntaa antava, sillä säästöt riippuvat siitä, minkälaiset urakoitsijan asentamat laitteet ovat hyötysuhteeltaan ja hankintakustannuksiltaan. Säästö voivat olla jopa suurempi sillä ilmalämpöpumpujen tekniikka kehittyi jatkuvasti ja laitteiden tuoma säästö tällöin kasvaa. Säästyvään energiaan vaikuttaa myös suoraan kunkin talven keliolosuhteet, kylmänä talvena kustannukset kasvavat ja lämpimänä talvena kustannukset pienenevät. Ilmalämpöpumpulle ihanteellisin talvi olisi leuto, muutaman pakkasasteen tietämissä oleva lämpötila. Tällöin lämmitystarvetta esiintyisi ja lämpöpumpun hyötysuhde olisi vielä korkealla.

Laittevalintoja tehdessä tulee Multisplit-mallistossa vastaan sen selkeästi korkeampi hinta verrattaessa perinteisiin ulkoyksikkö+sisäyksikkö-yhdistelmiin. Tästä syystä laitteiksi on

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

edullisempaa valita erillislaitteet, kuten MSZ-GE25VAH-yhdistelmä. Tämä laite pystyy lämmittämään 3,2 kW. Tämä on riittävä teho toimistorakennuksen eri huoneiden lämmittämiseen. Laitteiksi Alasjärven toimistorakennukseen valittaisiin kustannussyistä siis 5 kpl MSZ-GE25VAH-laitteita. Autotallin tehokkaaseen lämmitykseen eivät nämä edulliset laitteet sovi välttämättä kovin hyvin, vaan laitteiksi tulee asentaa ehdotettu PEAD/PUHZ-laitteisto.

6.3 Teisko

Tampereen Kaupunki / Teiskon sähköasema/ Viitapohjantie 144 Tampere.

Sähköasemaan kuuluu toimistorakennus kaapelitiloineen sekä alakerrassa sijaitseva autotalli.

Työn alueena ovat toimistotilat sekä kellarikerroksen autotalli ja autotallin viereinen varastohuone

6.3.1 U-arvot ja lämmönjohtuminen

6.3.1.1 Rakenteiden U-arvot

Rakenteiden U-arvot on laskettu liitteenä olevassa Excel-tiedostossa Teisko Laskentataulukot.xls

U-arvojen laskemisessa on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman C4:n taulukon 1. tietoja joiden perusteella eri materiaalien lämmönjohtavuuksista on saatu laskettua U-arvot rakenneosille.

Taulukko 6.3.1, Toimistorakennuksen U-arvot sisältäen alakerran autotallin, täydelliset laskelmat liitteen 3. lehdellä "Seinärakenteet".

Kuvista saatavat tiedot ovat heikkoja, joten virhemarginaali on hieman suurempi kuin normaalisti. Oletetaan toimistotilan katto kauttaaltaan saman rakenteiseksi, Alapohja maanvastainen.			
YP1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	VP1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,17		0,42
YP2	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	Ulko-ovi	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,29		1,7
AP1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	2-kerroksinen lasi	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,19		2,7
US1	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	3-kerroksinen lasi	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,23		1,9
US2	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	4-kerroksinen lasi	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]
	0,17		1,2
US3	Lämmönläpäisykerroin, U [W/K]	Tallin ovi	
	0,38		2,8

6.3.1.2 Rakenteiden lämmönjohtavuus ja energiankulutus

Rakenteiden läpi johtuva energia Q_{joht} lasketaan RakMK osan D5 kaavoilla 4.1 ja 4.2.

käyttämällä taulukossa 6.3.2 esitettyjä rakennusosien pinta-aloja ja taulukossa 6.3.1 esitettyjä

U-arvoja. Alapohjan alapuolisen maan lämpötila lasketaan RakMK osan D5 kaavalla 4.4.

Lämmönjohtavuudet kuukausittain jaoteltuna esitetään liitteen 3. lehdellä ”Energiankulutukset yhteensä”

Taulukko 6.3.2, Toimistorakennuksen ja autotallin rakenteiden pinta-alat, laskelmat liitteen 3. lehdillä ”toimiston lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat” ja ”autotallin lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat”

Toimisto		Autotalli ja varasto	
YP	Pinta-ala, [m ²]	YP1	Pinta-ala, [m ²]
	205		195
VP	Pinta-ala, [m ²]	AP1	Pinta-ala, [m ²]
	205		195
US1	Pinta-ala, [m ²]	US1	Pinta-ala, [m ²]
	126		22
Ulko-ovet	2,1	US1	Pinta-ala, [m ²]
Varaston ovi	7		92,5
2-kerrosikkunat	7,6	Tallin ovet	25
3-kerrosikkunat	6,5	Ikkunat	0
4-kerrosikkunat	3,6		

Taulukoiden 6.3.3 – 6.3.6 tiedot laskettu liitteessä 3 lehdillä ”toimiston lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat” ja ”autotallin lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat”

Taulukko 6.3.3, Teiskon toimistorakennuksen rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia Q_{joht} , kWh

	$Q_{\text{joht, ilman ap}}$ [kWh]	$Q_{\text{joht, ap}}$ [kWh]	Q_{joht} [kWh]
Koko vuosi	18 690	8 300	26 990

Taulukko 6.3.4, Teiskon autotallin/varaston rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia Q_{joht} , kWh

	$Q_{\text{joht, ilman yp\&ap}}$ [kWh]	$Q_{\text{joht, ap}}$ [kWh]	Q_{joht} [kWh]
Koko vuosi	1 570	975	2 275

Taulukko 6.3.5, Toimiston ja autotallin ilmastoinnin vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$, kWh

	Toimistotilat $Q_{\text{vuotoilma}}$ [kWh]	Kellarikerros $Q_{\text{vuotoilma}}$ [kWh]
Koko vuosi	2 545	740

Taulukko 6.3.6, Teiskon kiinteistön kokonaiskulutukset

	Toimisto, Q_{kok} [kWh]	Autotalli, Q_{kok} [kWh]
Koko vuosi	28 880	3 290

6.3.2 Laskennan kulku

Alapohjien johtumiskertoimet ja lämmitystarpeet lasketaan D5:n ohjeen mukaan maanvastaisen alapohjan laskukaavalla. Kellarikerroksen ulkoseinissä pitää ottaa huomioon maan eristävyys RakMK D5:n luvun 4.1.3 mukaan. Muut rakenneosat lasketaan normaalisti ulkoilman kuukausittaisen lämpötilan mukaan. Oletetaan maalajin olevan savea, salaojitettua hiekkaa tai soraa, jolloin saadaan laskettua alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero eri U-arvoisille alapohjille RakMK D5:n taulukon 4.1 tiedoilla. Alapohjan alapuolisen maan kuukauden keskilämpötila saadaan lisäämällä RakMK D5:n taulukosta 4.2 kuukausittainen lämpötilaero vuotuisen lämpötilaeroon. Välipohjan johtumiset laskettiin kumpaankin suuntaan. Kaavoissa huomioitiin rakenteen kummallakin puolella vallitsevat lämpötilat (kellari +10 °C ja 1.krs +21 °C) jolloin huomattiin toimistoista johtuvan energian lämmittävän jo autotallia.

Alapohjan lämpötilat esimerkiksi tammikuussa olivat seuraavat (laskettu liitteessä 3 ”Autotallin lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat”).

$$AP1: (U \sim 0,29): T_{\text{maa, kuukausi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kuukausi}} = 7 \text{ °C}$$

Alapohja lasketaan erikseen, sillä kaavassa käytettävä ulkolämpötila muodostetaan maan lämpötilan pohjalta.

$$\begin{aligned} \sum H_{\text{joht, ilman VP}} &= (0,22774 * 126,3) + (0,16745 * 205) + \\ &\quad (2,7 * 7,6) + (1,9 * 6,5) + (1,2 * 3,6) + \\ &\quad (1,7 * 2,1) + (2,8 * 7,0) = 123,5 \text{ w/k} \\ \sum H_{\text{joht, välip}} &= (0,42017 * 205) = 86,1 \text{ w/k} \\ \sum H_{\text{joht}} &= 210 \text{ w/k} \end{aligned}$$

Liitteissä 3. lehdellä ”Toimiston lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat” ja ”Autotallin lämpöhäviöt ja rakenteiden pinta-alat” on esitetty rakenteiden läpi johtuvat lämpöenergiat, sekä alla on tammikuun osalta esimerkkilaskelma toimiston energianjohtumisesta.

$$\begin{aligned} Q_{\text{joht, ilman ap}} &= \frac{123,5 * (21 - (-8,53)) * 31 * 24}{1000} \approx 2772 \text{ kWh} \\ Q_{\text{joht, välip}} &= \frac{86,1 * (21 - (8)) * 31 * 24}{1000} \approx 705 \text{ kWh} \\ \text{Yhteensä} \\ Q_{\text{joht}} &= Q_{\text{joht, ilman ap}} + Q_{\text{joht, ap}} = 2772 + 705 = 3477 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Kun jokaisen kuukauden kulutukset lasketaan yhteen, saadaan rakenteiden vuotuinen kokonaiskulutus noin 27 000 kWh.

6.3.3 Ilmastoinnista aiheutuva energiankulutus

Rakenteiden epätiiviyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$ laskettuna tammikuun osalta. Liitteessä 3. lehdellä ”Energiankulutukset yhteensä” on esitetty kaikki lasketut arvot.

$$Q_{\text{vuotoilma, tammi}} = \frac{\rho_i * c_{pi} * \left(\frac{n_{\text{vuotoilma}} * V}{3600} \right) * (T_s - T_u) * \Delta t}{1000}$$

$$Q_{\text{vuotoilma, tammi}} = \frac{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{Ws}}{\text{kgK}} * \left(\frac{1,6 * 560,05 \text{ m}^3}{3600} \right) * (21^\circ\text{C} - (-9,16^\circ\text{C})) * 31}{1000}$$

$$Q_{\text{vuotoilma, tammi}} \approx 279,27 \text{ kWh}$$

Kun jokaisen kuukauden kulutukset lasketaan yhteen, saadaan vuotoilmasta syntyvä vuotuinen kokonaiskulutus 1 883 kWh.

Yhteenlaskettu energiankulutus Teiskon sähköaseman rakennuksissa saadaan laskemalla rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia sekä vuotoilmasta aiheutuvat energiankulutukset. Teiskon kokonaisenergiatarve 1. kerroksen toimisto-osalle on 28 876 kWh ja autotallille 3 287 kWh. Lämpötilaluvut ovat kuitenkin hieman jo vanhentuneet ja Motivan julkaiseman lämmitystarvelukujen mukaan lämmitystarve onkin laskenut vuoden 1979 keskiarvoista. Lämmityksen tarve ei siis välttämättä ole tulevaisuudessa aivan yhtä suuri, joten todellisuudessa laskemalla päästiin vieläkin lähemmäksi todellisia kulutuksia.

6.3.4 Vanhat laitteistot

Kiinteistöön kuuluu kaksikerroksinen rakennus, jossa on 1. kerroksen toimistotiloissa päivittäistä toimintaa. Rakennukseen kuuluu myös kytkinhalli, valvomo ym. sähkönjakeluun kuuluvia tiloja, mutta nämä eivät kuulu varsinaiseen tutkittavaan alueeseen (lämpöpumpuilla lämmitettävään alueeseen). Lisäksi rakennuksen kellarikerroksessa sijaitsee autotalli ja varastuhuone jotka ovat osa tarkasteltavaa aluetta.

Teiskon kiinteistön tämänhetkinen lämmitys on toteutettu huonekohtaisella sähkölämmityksellä sähkövastuspattereilla. Kohteessa on ainoastaan kiertoilmakojeita ja poistoilmapuhaltimia, joten tähän kohteeseen ei Mitsubishin ilmastointikojeeseen tarkoitettua ilmalämpöpumppu -patteri yhdistelmää kannata harkita. Kiinteistössä on lämmitys myös kytkinhallin ja kaapelitilan puolella, mutta nämä alueet eivät kuuluneet työn alueeseen.

6.3.5 Parannusehdotukset

Kun rakennuksen laskennallisesti vaatimat energiankulutukset saatiin laskettua, voitiin lukuja verrata toteutuneisiin kulutuksiin. Kulutustiedoista ei saatu lämmityksen käyttämää todellista energiankulutusosaa suoraan tietoon, vaan kulutustiedoista piti laskennallisesti poistaa muut sähköä kuluttavat tekijät.

Kiinteistön arvioiduissa valaistukseen, sähkölaitteisiin ja lämpimään käyttöveteen kuluva sähkön osuus saattoi olla todellisuudessa pienempi, mikäli käyttö rakennuksessa ei ole suurta. Lasketut kulutusarvot ovat laskettu toimistorakennusten keskiarvoisten kulutusten mukaisesti. Kellaritilan autotallia lämmitetään kiertoilmakojeella.

Kun muut arvioidut kulutukset saatiin poistettua toteutuneen sähkönkulutuksen lukemasta, voitiin lämmitykselle jäävä energiankulutus normeerata vastaamaan laskuissa käytettävää lukemaa. Normeerattua energiankulutusta voitiin tämän jälkeen verrata laskettuihin energiankulutuksiin. Kulutuslukemien vertailusta saatiin suuntaa antava tieto toteutuneesta lämmitykseen kuluva energiasta.

Kellarikerroksessa pyritään puolilämpimään tilaan ja lämpötilana laskelmissa on käytetty +10 °C. Teiskon kiinteistössä rakenteiden U-arvot saatiin laskelmissa vastaamaan lähes rakennusajan standardeja. Laskennassa oletettiin myös lämmityksen olevan ympärivuotista, mikäli lämmitystarvetta ilmenee.

Työssä käytettiin ovien U-arvojen laskemiseen tarkoituksella suuria lämmönjohtavuuksia, sillä yleisellä tasolla vanhat nosto-ovet ja muut suurialaiset hallien ovet olivat heikkotasoisia eristävyyksiltään, joten tämän arvion avulla vältetään liian positiivisilta tuloksilta.

Kiinteistössä oli useita erilaisia ikkunarakenteita, jos loputkin kaksikerroksiset ikkunat vaihdettaisiin lämpölaseihin, saataisiin lämmityskustannuksiin lisää säästöä. Erillisenä työnä kuitenkin ei ole tarpeellista ikkunoita alkaa uusia, mutta mikäli korjaustarvetta ilmenee, on syytä harkita rakenteellisia parannuksia.

6.3.5.1 Ilmastointi

Kuten yllä todettiin, ilmastointi on toteutettu pääasiassa vain poistokojein, lisäksi kummassakin kerroksessa on kiertoilmakojeet. Mikäli näitä laitteita ohjattaisiin nykyaikaisella rakennusautomaatiolla, saataisiin aikaan selkeää säästöä. KsK:t sekä poistoilmapuhaltimet voitaisiin muuttaa taajuusmuuttajaohjatuiksi tai käynti voitaisiin ohjata rakennusautomaatiolla käymään vain tarvittavina aikoina. Nykyisen ohjauksen mukaan laitteissa on jo olemassa kello-ohjaus sähkökeskuksessa, ja nopeuksina on täysi- ja puolinopeudet.

6.3.5.2 Lämmitys

Kiinteistön lämmitys ei onnistu pelkästään yhdellä sisäyksiköllä, sillä lämmitettävät alueet sijaitsevat kiinteistön eri osissa, eikä näin ollen ole suoraa yhteyttä ilman vapaaseen kiertoon sisätiloissa. Yhden yksikön mallit vaatisivat tehokkaaseen toimintaan avoimet tilat. Tästä syystä lämpöpumpun ulkoyksiköksi soveltuisi huoneiden lämmittämiseen esimerkiksi Mitsubishi Electric:n MXZ-8A140VA, sillä tähän malliin on mahdollista kytkeä useampi sisäyksikkö (2-8 kpl). Mitsubishi Electric MXZ-8A140VA:n maksimilämmitysteho on 16 kW. Laitteeseen voidaan valita sisäyksiköksi joko seinä-, lattia- tai kattoyksiköt. Sisäyksiköt valitaan siten että ulkoyksikön tuottama lämmitysteho saadaan parhaiten jaettua sisätiloihin. Sisäyksikkö valitaan laskemalla huoneen tarvitsema lämmitysteho, joka saadaan lämmönjohtumisesta huoneen rakenteiden läpi. Kustannussyistä on kuitenkin edullisempaa hankkia useita MSZ-GE-mallisia ilmalämpöpumppuja, sillä Multisplit-mallisto on selkeästi MSZ-GE-mallistoa kalliimpi.

6.3.5.3 Ilmalämpöpumppujen tuottama säästöpotentiaali

Teiskon kiinteistön lämmittämiseen kuluu laskennallisesti noin 32 200 kWh johon sisältyy myös ilmastoinnin kuluttama energia. Laskennallisesti 1. kerrokseen kuluu lämmitykseen noin 27 000 kWh ja ilmastointiin noin 1 880 kWh, yhteensä noin 28 900 kWh. Autotallin ja varaston sisältävään kellarikerrokseen kuluu lämmitykseen laskettuna 2 550 kWh ja ilmastointiin 740 kWh, eli yhteensä 3 290 kWh. Taulukossa 6.3.7. on esitetty Tampereen Sähkölaitoksen lämpösähkön (yö/päivä) hinta aikavälillä 01.05. – 31.8.2009, laskelmissa käytetään näitä hintatietoja. Toimistokerrokseen ehdottamani Mitsubishin lämpöpumpun lämpökerroin eli COP-luku on 3,91 eli laite tuottaa +7 °C:ssa 1 kW:lla 3,91 kW lämmitysenergiaa. Vielä -15 °C:n pakkasessakin lämpöpumpun lämpökerroin on hieman yli kahdessa. Näiden tietojen avulla saamme laskettua lämpöpumppujen tuottaman säästöpotentiaalin lämmityksessä. Taulukossa 6.3.8 on esitetty kiinteistön lämmityksen alkutilanne. tämän jälkeen selvitettiin eri tilanteissa laitteistojen tuottamat säästöt.

Taulukko 6.3.7. Ilmoitetut Tampereen sähkölaitoksen sähkön hinnat.

Lämpösähkö (päivä/yö)	Hinta, alv 22 %	Hinta, alv 0 %
	€/kk	€/kk
Perusmaksu	3,00	2,46
	snt/kWh	snt/kWh
Päiväenergiamaksu	6,66	5,46
Yöenergiamaksu (yöaika 9h)	5,02	4,11

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.3.8, Tampereen Sähkölaitoksen ilmoittamien hintojen mukaan lasketut käyttökustannukset toimiston ja autotallin laskennallisten kulutusten mukaisesti sekä toteutuneiden kulutusten mukaisesti. Liitteestä Teisko Laskentataulukot, lehdeltä Lämmityskustannukset löytyy tarkemmat laskelmat

Sähkönkulutus	Laskettu, tsto [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]	Laskettu, autotal. [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]	Toteutuneen mukaan, [kWh / a]	Veroton hinta, [€ / a]
Päiväsähkö (62,5 %)	16 875	921	1 591	87	9 506	519
Yösähkö (37,5 %)	10 125	416	955	39	5 703	234
Yhteensä ~	27 000	1 340	2 545	130	15 209	750

Voimme laskea yösähkön prosentuaalisen osuuden vuodessa taulukon tiedoista. Laskemalla 9/24 saadaan yösähkön osuudeksi 37,5 % ja päivänsähkön osuudeksi on 62,5 %. Näiden tietojen mukaan saamme laskettua lämmitykseen kuluvan energian verollisen ja verottoman hinnan tämän hetkisillä laitteilla ja kulutuksella. Mallilaskussa käytetään toimistorakennuksen laskettuja kulutustietoja. Ensinnäkin selvitetään yö- ja päivänsähkön osuudet. Päiväsähkön osuus on $27\,000\text{ kWh} \cdot 62,5\% = 16\,875\text{ kWh}$ ja yösähkön osuus $27\,000\text{ kWh} \cdot 37,5\% = 10\,125\text{ kWh}$.

Hinnaksi muodostuu siis verollisena $(16\,875\text{ kWh} \cdot 6,66\text{ snt/kWh}) + (10\,125\text{ kWh} \cdot 5,02\text{ snt/kWh}) = 1\,630\text{ €}$ ja verottomana $(16\,875\text{ kWh} \cdot 5,46\text{ snt/kWh}) + (10\,125\text{ kWh} \cdot 4,11\text{ snt/kWh}) = 1\,340\text{ €}$. Mikäli hinta lasketaan normeeratulla kiinteistön lämmityksen kokonaiskulutuksella 15 200 kWh, lämmitettävän energian osuus maksaa verollisena 920 € ja verottomana 750 € vuodessa, Normeeratuissa energioissa on mukana myös autotallin osuus.

6.3.5.4 ILP:n valinta Teiskon kiinteistöön

Taulukko 6.3.9, Sisäyksiköiden valinta tarvittavan lämmitystehon mukaan 1. kerrokseen.

	Ruokailu	Pukuhuone	Mestari	Kartat	Varasto h.120
Pinta-ala, m ²	41	16	14	18	60
YP1 U-arvo	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
YP1 pinta-ala, [m ²]	41	16	14	18	60
$\Phi_{\text{joht, yp}}$ [W]	340	134	120	147	500
VP1 U-arvo	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
VP1 pinta-ala, [m ²]	41	16	14	18	60
$\Phi_{\text{joht, vp}}$ [W]	188	74	66	81	276
US1 U-arvo	0,23	0,00	0,23	0,23	0,23
US1 pinta-ala, [m ²]	10	0	9	8	33
$\Phi_{\text{joht, us}}$ [W]	110	0	99	90	377
Ikkuna U-arvo	2,70	2,70	2,70	2,70	1,20
Ikkuna pinta-ala, [m ²]	4	0	2	2	4
$\Phi_{\text{joht, ikkuna}}$ [W]	536	0	296	296	217
Ovi U-arvo	1,70	1,70	1,70	2,70	2,80
Ovi pinta-ala, [m ²]	0	0	0	0	7
$\Phi_{\text{joht, ovi}}$ [W]	0	0	0	0	984
Sisäyksikön tarvitsema teho Φ_{joht} [kW]	1,2	0,2	0,6	0,6	2,4

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.3.10, Sisäyksiköiden valinta tarvittavan lämmitystehon mukaan kellarikerrokseen.

	Autotalli	Kellarin varasto
Pinta-ala, m ²	123	67
AP1 U-arvo	0,19	0,19
AP1 pinta-ala, [m ²]	123	67
$\Phi_{\text{joht, ap}}$ [W]	1 011	549
VP1 U-arvo	0,42	0,42
VP1 pinta-ala, [m ²]	3	67
$\Phi_{\text{joht, vp}}$ [W] (ei huomioida)	- 13	- 309
US1 U-arvo	0,23	0,23
US1 pinta-ala, [m ²]	8	8
$\Phi_{\text{joht, us}}$ [W]	75	73
US2 U-arvo	0,17	0,17
US2 pinta-ala, [m ²]	188	58
$\Phi_{\text{joht, us}}$ [W]	1 611	494
Ikkuna U-arvo	2,70	2,70
Ikkuna pinta-ala, [m ²]	0	0
$\Phi_{\text{joht, ikkuna}}$ [W]	0	0
Tallin ovi U-arvo	2,80	2,80
Ovi pinta-ala, [m ²]	25	0
$\Phi_{\text{joht, ovi}}$ [W]	2 752	0
Sisäyksikön tarvitsema teho Φ_{joht} [kW]	5,4	1,1

Laskelman mukaan voimme valita sisäyksiköt ilmalämpöpumpuille, valinnassa otetaan huomioon muihin tiloihin johtuva lämpöenergia, johtuva lämpö näin ollen lämmittää huoneita joissa ei sisäyksikköä ole. Johtuminen otetaan huomioon pyöristämällä huoneiden tarvitsemat lämmitystehot ylöspäin seuraavaan tasaan kilowattiin.

Yksiköiden koot ovat seuraavat: 1. kerroksen huoneissa ruokailu 2 kW, Pukuhuone, mestari, kartat, kukin 1 kW, huonenumero 102 varasto 3 kW, kellarissa autotalli 6 kW ja varasto 2 kW. Näiden tietojen pohjalta voitiin valita Mitsubishin laiteluettelosta tähän tilaan sopiva ulkoyksikkö joka tukee tarvittavaa määrää sisäyksiköitä. 1. kerroksessa päästään hieman yli 70 % lämmitettävästä pinta-alasta valitsemalla taulukossa esitetyt huoneet, kuitenkin kaikkiin näihin tiloihin ei ole viisasta sijoittaa sisäyksikköä vaan laskea hieman tehokkaammat yksiköt osaan huoneista ja näin ollen johtuva lämpö siirtyy huoneesta toiseen. 1. kerroksen sisäyksiköt voitaisiin mitoittaa laskemalla tilojen tarpeet yhteen, eli mitoitetaan 3 yksikköä seuraaviin huoneisiin; ruokailu, kartat ja varasto. Yksiköiden koot selvitetään laskemalla puuttuvat alueet mukaan näihin yksiköihin, eli "kartat"-huoneen yksikkö mitoitetaan kartat + mestari ja saadaan näin ollen yksikön kooksi 2 kW. Ruokailu ja pukuhuoneen lämmitystarve voidaan katsoa olevan 3 kW jolloin myös käytävään riittää lämpöä. Varastoon jäisi oma yksikkönsä 3 kW. Ulkoyksiköksi saataisiin siis teholtaan laskennallisesti saman tehoinen laite, eli 8 kW. Tähän olisi mahdollista liittää myös kellarikerroksen tarvitsemat sisäyksiköt joiden

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

tehontarve on sama 8 kW. Näin ollen selvittää yhdellä ulkoyksiköllä joka kykenee viiteen eri sisäyksikköön ja jonka antama lämmitysteho on yhteensä 16 kW. Kiinteistössä ei todellisuudessa pystytä käyttämään yhtä yksikköä sillä putkituksen pituuden rajat sisä- ja ulkoyksikön välillä on rajallinen ja Mitsubishin MXZ-8A140VA-mallissa maksimipituus sisä- ja ulkoyksikön välillä on 80m sekä korkeusero maksimissaan 15m.

Ensimmäisen kerroksen ulkoyksiköksi voitaisiin valita 8 kW lämmitystehtoon ja kolmen sisäyksikön kapasiteettiin kykenevä yksikkö. Tällainen laite Mitsubishiilta olisi esimerkiksi MXZ-4A71VA, mikä kykenee lämmittämään 8,6 kW ja putkitusetäisyys on maksimissaan 60 metriä, sekä korkeusero 15 metriä. Tämän laitteen COP-luku on 4,13.

Kellarikerrokseen voitaisiin näin ollen valita MXZ-4A71VA-mallinen laite joka kykenee 8,6 kW lämmitystehtoon ja sallii kaksi sisäyksikköä. Tämän laitteen sallimat putkipituudet ovat maksimissaan 60 metriä. Korkeusero tulee laitteissa ottaa tarkasti huomioon sillä tämä vaikuttaa putkitusten pituuteen. Pienempi tehoinen MXZ-2A52VA-malli ei kykene tarpeeksi suureen yksittäiseen laitteeseen.

Taulukko 6.3.11, Teiskon kiinteistöön valittavat ilmalämpöpumpputjärjestelmät.

Teisko	Ulkoyksikkö	Sisäyksikkö 1	Sisäyksikkö 2	Sisäyksikkö 3	vaadittu teho, kW	Laitteen lämm.teho, kW
1.kerros	MXZ-4A71VA	MSZ-GE35VA	MSZ-GE35VA	MSZ-GE25VA	8	8,6
Kellari	MXZ-4A71VA	MSZ-GE25VA	MSZ-GE50		8 (min. 6,5)	8,6

Teiskon kiinteistön lämmityslaitteiden hankintakulut tulevat kuitenkin edullisemmaksi valittaessa MSZ-GE-malliston laitteet, esimerkiksi 1. kerrokseen 2 kpl MSZ-GE25VAH-lämpöpumpua ja yksi MSZ-GE35VAH-lämpöpumppu. Kellarin lämmitykseen voidaan valita kumpiakin lämpöpumppuja yksi kappale.

Ilmalämpöpumpun tuottama hyöty saadaan laskettua tarkastelemalla ilmalämpöpumpun osuutta koko lämmityksen osuudesta. Eli voimme olettaa ilmalämpöpumpun tuottavan esimerkiksi 40–80% tarvittavasta lämmitysenergiasta.

Taulukossa 6.3.12 on laskettu lämmityksen tuottama säästöpotentiaali toimiston lämmitysenergiasta eri prosentuaalisilla osuuksilla lämmitystarpeesta. Taulukossa on laskettu Mitsubishin MSZ-GE25VAH-mallin ja MSZ-GE35VAH-mallin lämpöpumppujen tuottama säästö +7 °C lämpötilassa (COP-luku keskiarvoltaan 4,38), sekä VTT:n tutkimuksen (VTT-S-090606-08e) ilmoittaman COP-luvun tuottama säästö -15 °C lämpötilassa (COP-luku noin 2), jossa testattiin lähes samanlaista laitetta. Kiinteistössä päästään ehdotetuilla laitteilla lämmittämään yli 70 % pinta-alasta ja sisäyksiköiden lämmitysenergiasta johtuu osa myös muihin tiloihin.

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.3.12, 1.kerroksen lämmityksessä säästettävä energia [kWh/a] ILP:n eri lämpökertoimilla ja lämmitysosuuksilla.

Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 80 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh]
27 000	+7°C	4,38	21 600	4 932	16 668
	-15°C	2	21 600	10 800	10 800
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 60 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh]
27 000	+7°C	4,38	16 200	3 699	12 501
	-15°C	2	16 200	8 100	8 100
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP	ILP lämmitämä osuus 40 % [kWh]	ILP:n kuluttama energia [kWh]	Saatu säästö [kWh]
27 000	+7°C	4,38	10 800	2 466	8 334
	-15°C	2	10 800	5 400	5 400

Taulukko 6.3.13, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 80 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	4 932	5 400	10 332	6 457	3 874	353	159	512	826
ALV 22 %	4 932	5 400	10 332	6 457	3 874	430	194	625	1 008

Taulukko 6.3.14, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 60 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	3 699	10 800	14 499	9 062	5 437	495	223	718	619
ALV 22 %	3 699	10 800	14 499	9 062	5 437	604	273	876	756

Taulukko 6.3.15, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 40 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	2 466	16 200	18 666	11 666	7 000	637	288	925	413
ALV 22 %	2 466	16 200	18 666	11 666	7 000	777	351	1 128	504

Kellarikerroksessa pyritään laskuissa noin 10 °C lämpötilaan. Voimme tämän perusteella laskea kellarikerroksen lämmitykseen kuluva sähköenergian kustannukset sekä ILP:n tuomat säästöt seuraavien taulukoiden mukaisesti.

Taulukosta 6.3.16 saadaan laskettua saatu säästö kilowattitunneissa. Taulukoista 6.3.17–6.3.19 saadaan laskettua säästö euroina eri lämmitystilanteissa.

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.3.16, Säästö kWh:n mukaan

Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP, keskiarvo laitteiden tiedoista	ILP lämmitämä osuus 80 % [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Saatu säästö [kWh/a]
2 545	+7°C	4,38	2 036	465	1 571
	-15°C	2	2 036	1 018	1 018
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP, keskiarvo laitteiden tiedoista	ILP lämmitämä osuus 60 % [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Saatu säästö [kWh/a]
2 545	+7°C	4,38	1 527	349	1 179
	-15°C	2	1 527	764	764
Lämmitystarve [kWh/a]	Lämpötila	COP, keskiarvo laitteiden tiedoista	ILP lämmitämä osuus 40 % [kWh/a]	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Saatu säästö [kWh/a]
2 545	+7°C	4,38	1 018	232	786
	-15°C	2	1 018	509	509

Taulukko 6.3.17, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 80 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	465	509	974	609	365	33	15	48	78
ALV 22 %	465	509	974	609	365	41	18	59	95

Taulukko 6.3.18, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 60 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	349	1 018	1 367	854	513	47	21	68	58
ALV 22 %	349	1 018	1 367	854	513	57	26	83	71

Taulukko 6.3.19, Säästö €/a, kun ILP:n osuus lämmityksessä 40 %

	ILP:n kuluttama energia [kWh/a]	Muun energian tarve [kWh/a]	Uusi kulutus [kWh/a]	Päiväsähkön osuus [kWh/a]	Yösähkön osuus [kWh/a]	Päiväsähkön hinta [€/a]	Yösähkön hinta [€/a]	Sähkön hinta yhteensä [€/a]	Saatu säästö [€/a]
ALV 0 %	232	1 527	1 760	1 100	660	60	27	87	39
ALV 22 %	232	1 527	1 760	1 100	660	73	33	106	47

6.3.6 Päätelmät

Ilmalämpöpumpujen voidaan olettaa pääsevän lämmityksessä vuositasolla keskimäärin lähelle 80 % lämmitystarpeesta. Ilmalämpöpumpuilla lämmityksessä saatavat säästöt Teiskon kiinteistössä muodostuvat sekä toimistorakennuksen että autotallin lämmityksen kulujen vähenemisestä. Lämmityskustannusten vuosittaiseksi säästökseen tulee noin 900 €. Rakenteiden vahvuuksia mitatessa ja lämmönjohtavuuksia laskiessa syntyvä virhe tulee huomioida rahallista hyötyä tarkasteltaessa. Virhemarginaalin vuoksi esitetyissä summissa tulisi huomioida noin ±100 € suuruinen marginaali. Pienet, kymmenissä kilowateissa pysyvät kulutuksen nousut tai laskut eivät vielä näy laskuissa merkittävästi, niiden vaikutus pysyy kymmenien eurojen sisällä kokonaiskulutusta laskettaessa.

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 6.3.20, Lämmityksen kokonaiskustannus Teiskon kiinteistössä

	Alkutilanne, [€ / a]	Parannusehdotuksen jälkeen, [€ / a]	Erotus, [€ / a]
1. kerros	1 335	510	830
Kellarikerros	125	50	60
Yhteensä	1 460	560	900

Säästyvä summa on suuntaa antava, sillä säästöt riippuvat siitä minkälaiset urakoitsijan asentamat laitteet ovat hyötysuhteeltaan. Säästö voi olla jopa suurempi sillä ilmalämpöpumppujen tekniikka kehittyi jatkuvasti ja laitteiden tuoma säästö tällöin kasvaa. Säästyvään energiaan vaikuttaa myös talven keliolosuhteet, kylmänä talvena kustannukset kasvavat ja lämpimänä talvena kustannukset pienenevät. Ilmalämpöpumpulle ihanteellisin talvi olisi leuto, muutaman pakkasasteen tietämissä oleva lämpötila. Tällöin lämmitystarvetta esiintyisi ja lämpöpumpun hyötysuhde olisi vielä korkealla.

Laittevalintoja tehdessä tulee Multisplit-mallistossa vastaan sen selkeästi korkeampi hinta verrattaessa perinteisiin ulkoyksikkö+sisäyksikkö-yhdistelmiin. Tästä syystä laitteiksi on edullisempaa valita erillislaitteet, kuten MSZ-GE25VAH – ja MSZ-GE35VAH yhdistelmä. Nämä laitteet pystyvät tuottamaan lämmitysenergiaa 3,2 kW ja 4,0 kW edestä. Tämä on riittävä teho kiinteistön eri tilojen lämmittämiseen. Laitteiksi Teiskon sähköaseman kiinteistöön valittaisiin kustannussyistä siis 1. kerrokseen 2 kpl MSZ-GE25VAH-laitteita ja yksi MSZ-GE35VAH-laite. Kellarin lämmitykseen voidaan valita yksi MSZ-GE25VAH-lämpöpumppu ja yksi MSZ-GE35VAH-lämpöpumppu.

7. LAITTEIDEN HANKINTAKUSTANNUKSET JA TAKAISINMAKSUAIKA.

7.1 Laitteiden hinnat

Sain tietooni verottomat listahinnat osasta työssä käytetyistä Multisplit-ilmalämpöpumpuista. Todellisuudessa urakkatarjousta tehdessä Tampereen Kaupunki tulee saamaan laitteet edullisemmin, sillä laitteet eivät ensinnäkään olleet hinnoiteltu pakettina vaan jokainen ulkoyksikkö ja sisäyksikkö erikseen. Kaikkien Multisplit-laitteiden hintoja en saanut käsiini. Taulukossa 7.1 on ilmoitettu laskelmissa käytettyjen laitteiden hinta niiltä osin kun ne ovat tiedossa sekä erikseen mainittu, mikäli kyseessä on hinta-arvio.

Taulukko 7.1, Multisplit-laitteiden listahinnat ilman arvonlisäveroa.

Ulkoyksikkö	Hinta / €	Sisäyksikkö	Hinta / €
MXZ-4A71VA	2 600	MSZ-GE 25 VA	1 100
MXZ-8A140VA (arvio)	4 000	MSZ-GE 35VA	1 230
		MSZ-GE50	1 600
Ulkoyksikkö	Hinta / €	Sisäyksikkö	Hinta / €
PUHZ-RP100	5 500	PEAD-RP100	6 200
PUHZ-RP125	5 900	PEAD-RP140	6 700

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 7.2, Perusilmalämpöpumppujen hinnat asennuksineen.

ILP-malli	Hinta asennettuna, €	kW
MUZ-GE25VAH+MSZ-GE25VA	1 500	3,2
MUZ-GE35VAH+MSZ-GE35VA	2 200	4,0

Näiden hintojen perusteella on hankalaa tehdä tarkkaa laskelmaa laitteiden kustannuksista. Suuritehoisten laitteiden kohdalla asennusryitykset painottavat räätälöityjä ratkaisuja joten hinnat muuttuvat tapauskohtaisesti. Autotallin laitteisto aiheuttaa selkeästi suurimman kustannuserän hankinnoissa.

7.2 Kustannusten suuruus

Taulukko 7.3, Hervannan sähköaseman laitehankintojen kustannukset.

Toimisto / Multisplit	Ulkoyksikkö	Sisäyksikkö 1	Sisäyksikkö 2	Sisäyksikkö 3	Sisäyksikkö 4	hinta yht. €
Laite	MXZ-8A140VA (arvio)	MSZ-GE 25 VA	MSZ-GE 25 VA	MSZ-GE 25 VA	MSZ-GE 35VA	
Hinta	4 000	1 100	1 100	1 100	1 230	8 530
Toimisto / Peruspaketit	Sisäyksikkö 1	Sisäyksikkö 2	Sisäyksikkö 3	Sisäyksikkö 4	hinta yht. €	
Laite	MSZ - GE25VAH	MSZ - GE25VAH	MSZ - GE25VAH	MSZ - GE25VAH		
Hinta	1 500	1 500	1 500	2 200		6 700
Autotalli	Ulkoyksikkö	Sisäyksikkö 1	Ulkoyksikkö	Sisäyksikkö 2	hinta yht. €	
Laite	PUHZ-RP100	PEAD-RP100	PUHZ-RP125	PEAD-RP140		
Hinta	5 500	6 200	5 900	6 700		17 600
					Multisplit	26 130
					Peruspaketti	24 300

Taulukko 7.4, Alasjärven sähköaseman laitehankintojen kustannukset.

Toimisto / Multisplit	Ulkoyksikkö	Sisäyksikkö 1	Sisäyksikkö 2	Sisäyksikkö 3	Sisäyksikkö 4	Sisäyksikkö 5	hinta yht. €
Laite	MXZ- 8A140VA (arvio)	MSZ- GE25VA	MSZ- GE25VA	MSZ- GE25VA	MSZ- GE25VA	MSZ- GE25VA	
Hinta	4 000	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100	9 500
Toimisto / Peruspaketit	ILP 1	ILP 2	ILP 3	ILP 4	ILP 5	hinta yht. €	
Laite	MSZ- GE25VAH	MSZ- GE25VAH	MSZ- GE25VAH	MSZ- GE25VAH	MSZ- GE25VAH		
Hinta	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500		6 000
Autotalli	Ulkoyksikkö	Sisäyksikkö 1	Ulkoyksikkö	Sisäyksikkö 2	hinta yht. €		
Laite	PUHZ- RP100	PEAD- RP100	PUHZ- RP100	PEAD- RP100			
Hinta	5 500	6 200	5 500	6 200			17 200
					Multisplit		26 700
					Peruspaketti		23 200

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Taulukko 7.4, Teiskon sähköaseman laitehankintojen kustannukset.

1.kerros / Multisplit	Ulkoyksikkö	Sisäyksikkö 1	Sisäyksikkö 2	Sisäyksikkö 3	hinta yht, €
Laite	MXZ-4A71VA	MSZ-GE 35VA	MSZ-GE 35VA	MSZ-GE 25 VA	
Hinta	2 600	1 230	1 230	1 100	6 160
Kellari / Multisplit	Ulkoyksikkö	Sisäyksikkö 1	Sisäyksikkö 2		hinta yht, €
Laite	MXZ-4A71VA	MSZ-GE 25 VA	MSZ-GE50		
Hinta	2 600	1 100	1 600		5 300
1.kerros / peruspaketti	Paketti 1	Paketti 2	Paketti 3		hinta yht, €
Laite	MSZ-GE25VAH	MSZ-GE25VAH	MSZ-GE35VAH		
Hinta	1 500	1 500	2 200		5 200
Kellari / peruspaketti	Paketti 1	Paketti 2			hinta yht, €
Laite	MSZ-GE25VAH	MSZ-GE25VAH			
Hinta	1 500	2 200			3 700
				Multisplit	11 460
				Peruspaketti	8 900

7.3 Investointien takaisinmaksuun kuluva aika

Tapa 1. Takaisinmaksuajan menetelmä;

Investoinnin takaisinmaksuaika on se aika, jonka kuluttua investoinnista saadut tulot ovat yhtä suuret kuin investoinnin aiheuttamat menot. Yksinkertaisimmillaan takaisinmaksuaika saadaan jakamalla investoinnin hankintameno saatavilla vuosituloilla. Tällöin korkoa ei oteta lainkaan huomioon. Mikäli korko otetaan huomioon ja vuosittainen tulo oletetaan vakioksi, voidaan takaisinmaksuaika laskea seuraavalla kaavalla:

$$\frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{H}{q}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)} \quad (\text{kaava 7.})$$

, jossa H on investoinnin hankintameno, q on vuosittainen tulo ja i on laskentakorkokanta. Laitteelle voidaan arvioida laskentakorkokannaksi 5 %:a, sillä tuota prosenttia suurempaa korkoa ei todennäköisemmin ainakaan ole laitehankinnoissa.

Takaisinmaksuajan menetelmässä on se heikkous, ettei se ota lainkaan huomioon sitä mitä tapahtuu takaisinmaksuajan jälkeen. Takaisinmaksuajan menetelmä on kuitenkin käyttökelpoinen silloin, kun arvostellaan investoinnin maksuvalmiutta ja epävarmuutta. Tässä käytössä se onkin yleinen.

Mikäli korkokanta jätetään huomioimatta, sama lasku lasketaan $\frac{H}{q} = x \text{ vuotta}$.

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

Tapa 2. Hankinnan takaisinmaksuajan määrittäminen Veijo Piikkilän tuntimateriaalin, ”kompensointi”, mukaan.

Lämpöpumpuille voidaan laskea takaisinmaksuaika, kun tunnetaan lämpöpumpun käytöstä saatava vuotuisen hyödyn määrä T_1 , hankintahinta K_0 , sekä pääomalle laskettava vuotuinen korko p . Takaisinmaksuaika saadaan, kun ratkaistaan yhtälöstä τ :

$$K_0 = T_1 * \frac{100}{p} * \left(1 - \frac{1}{\alpha^\tau}\right) \quad (\text{kaava 8})$$

Yhtälössä esiintyvä α saadaan laskettua korkoprosentista seuraavan kaavan mukaisesti:

$$\alpha = 1 + \frac{p}{100}$$

Jos pääomalle lasketaan 5 prosentin korko, α :ksi tulee 1,05.

Laitehankintojen kustannukset Teiskon sähköasemalla on noin 8900 € asennuskustannuksineen, joten hankintahinta K_0 on 8900 € ja vuodessa saatava hyöty T_1 on edellä esitetyn laskelmien mukaan 900 €. Takaisinmaksuaika voidaan laskea:

$$8900 = 900 * \frac{100}{5} * \left(1 - \frac{1}{1,05^\tau}\right) \Rightarrow \tau \approx 14 \text{ vuotta}$$

Kummatkin menetelmät antavat saman tuloksen, joten kumpaa tahansa laskentatapaa voidaan käyttää työssä hyväksi.

Seuraavaksi laskettiin kaavan 7. mukaisesti koron kanssa ja ilman korkoa kiinteistöjen takaisinmaksuajat. Tulokset on taulukoitu kiinteistö ja rakennuskohtaisesti.

Taulukko 7.5, Hervannan sähköaseman laitehankintojen takaisinmaksuaika.

Hervannan sähköasema	Saatu säästö / a	Kustannushinta	Takaisinmaksuaika, korko 5 %	Takaisinmaksuaika, ei korkoa
Toimisto	1 100	6 700	~ 7a 6kk	~ 6a 1kk
Autotalli	100	17 600	luku liian suuri	~ 185a 3kk
Koko laitteisto	1 200	24 300	luku liian suuri	~ 20a 3kk

Taulukko 7.6, Alasjärven sähköaseman laitehankintojen takaisinmaksuaika.

Alasjärven sähköasema	Saatu säästö / a	Kustannushinta	Takaisinmaksuaika, korko 5 %	Takaisinmaksuaika, ei korkoa
Toimisto	1 320	6 000	~ 5a 4kk	~ 4a 7kk
Autotalli	180	17 200	luku liian suuri	~ 94a
Koko laitteisto	1 500	23 200	~ 30a 5kk	~ 7a 6kk

Taulukko 7.7, Teiskon sähköaseman laitehankintojen takaisinmaksuaika.

Teiskon sähköasema	Saatu säästö / a	Kustannushinta	Takaisinmaksuaika, korko 5 %	Takaisinmaksuaika, ei korkoa
Toimisto	820	5 200	~7a 9kk	~ 6a 4kk
Autotalli	80	3 700	luku liian suuri	~ 47a 5kk
Koko laitteisto	900	8 900	~ 14a	~ 9a 11kk

Ilmalämpöpumpun realistinen käyttöikä on noin 10–15 vuotta, joten laitteiden tulisi maksaa itsensä takaisin noin 10 vuodessa, jotta laitehankinnat toisivat rahallista säästöä.

8. PÄÄTELMÄT

Tampereen Kaupungin Tilakeskuksen hallitsemissa sähköasemissa Hervannassa, Alasjärvellä ja Teiskossa tutkittiin keinoja kiinteistöjen lämmityksistä syntyvien kustannusten alentamiseksi. Lämmitykseen kuluvat kilowattitunnit saatiin laskemaan selvästi alemmalle tasolle ilmalämpöpumpuilla, sillä niiden käyttämällä energialla, COP-luvusta riippuen, saadaan 3-5 -kertainen määrä lämpöenergiaa lämmityksen käyttöön, kuin perinteisellä suoralla sähkölämmityksellä.

Työn tuloksissa tuli ottaa huomioon laskelmien epätarkkuus. Epätarkkuutta syntyi rakenteiden vahvuutta laskettaessa, mikä vaikutti kaikkeen työssä laskettavaan lämmönjohtumiseen ja energiankulutukseen. Toinen merkittävä epätarkkuutta aiheuttava tekijä oli ilmasto, sillä jokainen vuosi on erilainen lämmitystarpeiltaan. Laskelmien mukaan Hervannan ja Alasjärven uudet lämmitettävät alueet eivät vieneet saatavia säästöjä aivan tyhjiin asti, vaan laitteet säästävät vuosittain yli 1000 €/kiinteistö lämmityskuluissa. Vastaavasti Teiskon laitteisto tuottaa säästöä noin 900 euroa. Näin ollen laitteet kuolettavat omia hankintakulujaan.

Tehdyn työn perusteella kiinteistöjen toimistorakennuksiin olisi kannattavaa hankkia ilmalämpöpumput tukemaan jo olemassa olevaa lämmityslaitteistoa, näissä tiloissa takaisinmaksuajat ovat kohtuulliset ja laitteet tuovat selkeää säästöä lämmityskuluissa. Hankintoja Hervannan ja Alasjärven sähköasemien autotallien kohdalla kannattaa tutkia lisää. Työssä autotalleille käytetyt PEAD/PUHZ-laitteet ovat kalliita hankintakuluiltaan, eikä niistä saatava hyöty lämmityksessä maksa itseään suoraan säästöjen kautta takaisin. Hankintoja tehtäessä tuleekin huomioida paljonko maksaa muiden lämmitysmuotojen asentaminen autotallien kylmänä olevien osien muuttamiseen puolilämpimiksi tai lämpimiksi tiloiksi ja verrata lämmitystapojen aiheuttamia kustannuksia keskenään.

Kokonaisuudessa työn tavoitteisiin lämmityskulujen vähentämiseksi ei siis päästy, mutta toimistorakennusten osalta lämmityksessä säästyvät kustannukset kuolettavat hankintakustannukset tavoiteajassa, eli selkeästi ennen kun laitteiden käyttöikä tulee vastaan. Autotallien osalta työtä pitäisi jatkaa ja etsiä tehokkaampia sekä edullisempia laitteita lämmitykseen. Energiatehokkuus kohteissa kasvaa laitehankinnoilla selkeästi, jonka seurauksena lämmitykseen kuluva lämmitysenergian tarve vähenee tuhansilla kilowattitunneilla.

Tulevia energiansäästökeinoja harkittaessa olisi syytä aloittaa kulutusseuranta kussakin työn alueeseen kuuluneessa kiinteistössä. Tällä hetkellä kiinteistöissä joudutaan turvautumaan kulutuksissa arvioihin. Energiankulutusseuranta voitaisiin toteuttaa esimerkiksi rakennusautomaatiolla, jolloin ainakin lämmitykseen ja käyttöveden kuluva energia saataisiin erotettua muusta kiinteistön sähkön käytöstä. Tarkemman seurannan ja mittausten avulla

Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka
Rauno Rantanen

pystyttäisiin tarttumaan suoraan kiinteistöjen todellisiin ongelmakohtiin ja tiedostettaisiin entistä tarkemmin mihin sähköä kiinteistöissä kuluu.

LÄHTEET

- /1/ VTT TIEDOTTEITA 2413, ToVa-käsikirja
- /2/ VLT® HVAC -taajuusmuuttajan suunnitteluopas
- /3/ http://www.ekopower.fi/ilmalampopumput_energiansaasto.html 06.04.09
- /4/ VTT-S-090606-08e Ilmalämpöpumpun Mitsubishi MSZ-FD25VA + MUZ-FD25VABH toimintakoe matalissa ulkoilman lämpötiloissa ja sulatusjaksot sisältävä lämpökerroin.
- /5/ Mitsubishi Electrics -esitteet
- /6/ Veijo Piikkilän kurssin ”Kiinteistön sähköverkko” tuntimateriaalista ”Kompensointi” s. 15–17.
- /7/ Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.
Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto lokakuu 2007.
- /8/ Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. Lämmöneristys.
Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto kesäkuu 2003.

LIITTEET

- Liite 1. Hervanta Laskentataulukot
- Liite 2. Alasjärvi Laskentataulukot
- Liite 3. Teisko Laskentataulukot
- Liite 4. Hervannan kiinteistön lämmitettävät alueet
- Liite 5. Alasjärven kiinteistön lämmitettävät alueet
- Liite 6. Teiskon kiinteistön lämmitettävät alueet
- Liite 7. Kulutustietoja