

Mika Jaukkuri

**SUOMEN SIEMENPERUNAKESKUKSEN KIIINTEISTÖJEN
ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN**

SUOMEN SIEMENPERUNAKESKUKSEN KIIINTEISTÖJEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Mika Jaukkuri
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Mika Jaukkuri

Opinnäytetyön nimi: Suomen siemenperunakeskuksen kiinteistöjen energiatehokkuuden parantaminen

Työn ohjaajat: Pirjo Kimari ja Rauno Holopainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017

Sivumäärä: 77 + 10 liitettä

Työssä selvitettiin Suomen siemenperunakeskuksen kiinteistöjen energiankulutus, laskettiin sen jakautuminen eri tekijöihin ja etsittiin keinoja energiatehokkuuden parantamiseksi. Lisäksi selvitettiin toimipisteiden lämmitystehontarpeet lähtöarvoiksi toista opinnäytetyötä varten.

Lämmitystehontarve selvitettiin molemmissa toimipisteissä mittausjaksolla, jonka aikana seurattiin öljynkulutusta sekä sisä- ja ulkolämpötilaa. Mittaustulosten perusteella saatiin laskettua toimipisteille konduktanssi ja lämmitystehontarve.

Energiankulutuksen jakautuminen toimipisteissä eri rakennusten kesken ja eri osiin laskettiin käyttäen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 kuu-kausitason laskentamenetelmää. Lähtötietoina laskennalle käytettiin suunniteluasiakirjoja, käyttöhenkilökunnan haastatteluja, havaintoja sekä energiankulutustietoja ja mittaustuloksia.

Laskentatuloksista selvisi, että suurimmat säästöpotentiaalit löytyvät ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksesta. Poistoilmasta ei oteta tällä hetkellä lämpöä talteen ja sen asian korjaaminen nousi energiatehokkuuden parantamisen kannalta tärkeimmäksi yksittäiseksi osa-alueeksi. Osassa rakennuksia merkittäviin energiansäästöihin päästään ilmanvaihdon käyntiaikojen muutoksella ja käytönajan ulkopuolisen ilmavirran pudottamisella osateholle.

Vaihtoehtoina lämmöntalteenoton toteutukselle tutkittiin nestekiertoisen lämmöntalteenoton rakentamista nykyisen tulo- ja poistoilmakoneen välille sekä nykyisten ilmanvaihtokoneiden uusimista ilmanvaihtokoneilla, joissa on lämmöntalteenotto.

Asiasanat: siemenperunakeskus, energiankulutus, säästöpotentiaali, ilmanvaihto, lämmöntalteenotto

ALKULAUSE

Suuren kiitoksen ansaitsee koko Suomen siemenperunakeskuksen henkilökunta. Tietonne ja avuliaisuutenne olivat korvaamattomia ja suhtautumisenne työpaikalla mittauksia tekevään ja jatkuvasti kyselevään opiskelijaan ensiluokkais- ta. Kiitos Anu Kankaalalle, joka toimi ohjaajana tilaajan puolelta.

Haluan kiittää koulun puolelta työtä ohjanneita opettajia, Pirjo Kimaria ja Rauno Holopaista sekä kieliasun tarkistanutta Pirjo Partasta. Kiitos yhteistyöstä kevääl- lä 2016 opinnäytetyönsä tehneelle Matti Töllille.

Kiitos perheelle, sukulaisille ja ystäville kaikesta tuesta, jota sain opinnäytetyön aikana. Kannustukset ovat tulleet tarpeeseen.

Haukiputaalla 5.6.2017

Mika Jaukkuri

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	15
2 PERUNAVARASTOT	17
3 ENERGIANKULUTUS	20
3.1 Energiankäyttö tulevaisuudessa	21
3.2 Kiinteistöjen energiankulutuksen laskeminen	23
3.3 Laskennan kulku	24
3.3.1 Lämmitysenergian nettotarve	25
3.3.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt	25
3.3.3 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve	27
3.3.4 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve	28
3.3.5 Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarve	29
3.3.6 Ilmanvaihdosta talteen otettu energia	29
3.3.7 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve	29
3.3.8 Laitteiden ja valaistuksen sähköenergian kulutus	30
3.3.9 Valaistuksen sähköenergian kulutus ja lämpökuormat	30
3.3.10 Lämpökuorma henkilöistä	31
3.3.11 Lämpökuorma valaistuksesta ja sähkölaitteista	31
3.3.12 Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia	31
3.4 Lämpökuormat	32
3.5 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus	33
3.5.1 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmien lämpöenergian tarve	34
3.5.2 Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve	35
3.5.3 Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus	36
3.6 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus	36
3.7 Ostoenergian kulutus	36
3.8 E-luku	37
4 KOHTEET	38

4.1 Leppiojan toimipiste	38
4.1.1 Päärakennus	39
4.1.2 Ilmanvaihto	39
4.1.3 Lisäyskasvihuoneen sosiaalitila	40
4.1.4 Huoltotilat	40
4.1.5 Lämmönjakokeskus	41
4.2 Keskikylä	42
4.2.1 Toimistorakennus	42
4.2.2 Huoltorakennus	43
4.2.3 Perunanlajittelutila Halli 1	43
4.2.4 Perunanlajittelutila Halli 2	44
5 LÄMMITYSTEHDON TARVE	46
5.1 Mittaukset	47
5.2 Öljynkulutus	47
5.3 Syötetty energia	49
5.4 Lämmitysteho	49
5.5 Ulkolämpötila	49
5.6 Sisälämpötila	49
5.7 Leppiojan toimipisteen konduktanssi	51
5.8 Keskikylän toimipisteen konduktanssi	52
6 ENERGIANKULUTUKSET	54
6.1 Lähtötiedot	54
6.2 Tulokset	55
6.2.1 Leppioja	55
6.2.2 Kasvihuoneen sosiaalitila	56
6.2.3 Huoltotilat	57
6.2.4 Lämmönjakokeskus	57
6.2.5 Päärakennus	58
6.2.6 Keskikylä	59
6.2.7 Huoltorakennus	60
6.2.8 Toimistorakennus	61
6.2.9 Perunahallin 1 perunankäsittelytila	62
6.2.10 Perunahallin 2 perunankäsittelytila	63

6.3 Käytön normeeraus ja vertaus toteutuneeseen	64
7 PARANNUSEHDOTUKSET	66
7.1 Ilmanvaihto	66
7.1.1 Poistoilmalämpöpumppu	66
7.1.2 Lämmöntalteenoton rakentaminen nykyisiin ilmanvaihtokoneisiin	66
7.1.3 Ilmanvaihtokoneiden korvaaminen uusilla, lämmöntalteenotolla varustetuilla ilmanvaihtokoneilla.	67
7.1.4 Käyntiaikojen ja tehojen tarkastus	68
7.2 Rakenteet	68
7.2.1 Yläpohjan lisäeristäminen	68
7.2.2 Ikkunoiden uusiminen	69
8 YHTEENVETO	70
LÄHTEET	74
LIITTEET	77

SANASTO

\emptyset	lämmitysteho, kW
$\Delta T_{ka,painotettu}$	toimipisteen rakennusten tilavuudella painotetun sisälämpötilan ja ulkolämpötilan välinen lämpötilaero, °C
a	numeerinen parametri, -
A_i	rakennusosan pinta-ala, m ²
$A_{ikk, valoaukko}$	ikkunan valoaukon pinta-ala, m ²
A_{ikkuna}	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m ²
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty netto-ala, m ²
$A_{netto,i}$	rakennuksen osan i lämmitetty netto-ala, jonka lämmön jakelujärjestelmä kattaa, m ² .
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala, alapohja mukaan luettuna, m ²
C_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, J/(kg K)
C_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, J/(kg K)
C_{rak}	rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K
E_{tilat}	lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutus, kWh/(m ² a)
E_{tuotto}	apulaitteiden ominaiskulutus, kWh/(m ² a)
$F_{kehä}$	kehäkerroin, -
$F_{läpäisy}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskerroin, -

$F_{\text{varjostus}}$	varjostuksen korjauskerroin, -
F_{verho}	verhokerroin, -
G	Kondutanssi, sisältää vaipan johtumishäviöt ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen ja tuloilman lämmittämiseen tarvittavan lämmitysenergian, $W/^\circ C$
g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin, -
$g_{\text{kohtisuora}}$	ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaissäteilykerroin, -
$G_{\text{säteily, pystypinta}}$	pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/m^2
H_{tila}	rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö, W/K
K_2	paikkakuntaakohtainen korjauskerroin Jyväskylään, -
l_k	viivamaisen kylmäsilan pituus, m
η_a, ivkone	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde, -
$\eta_{\text{kv,siirto}}$	lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde, -
$\eta_{\text{lämmitys, tilat}}$	laskettavan lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde, -
$\eta_{\text{lämpö}}$	lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste, -
η_{tuotto}	lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä, -
P	lämpökuorma, W/m^2
$PA_{\text{lämmitys}}$	syötetty polttoainemäärä, l

$P_{lkv,pumppu}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun sähkömoottorin ottoteho, W
P_{puh}	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen sähköteho tehonsäätölaitteineen, kW
Q	valaistuksen ja kuluttajalaitteiden vuotuinen lämpökuorma, kWh/m ²
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)
$Q_{alapohja}$	johtumislämpöhäviö alapohjan läpi, kWh
Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh tai kWh/kk
Q_{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöenergia kWh
Q_{ikkuna}	johtumislämpöhäviöt ikkunoiden läpi, kWh
Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
$Q_{iv, korvausilma}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{iv, tuloilma}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergiatarve, kWh
$Q_{jakelu, ulos}$	lämmön jakelujärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/a
Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{kulutusvuosi}$	mitattu lämpöenergiankulutus, kWh
$Q_{kylmäsilat}$	kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö, kWh
$Q_{lkv, kierto}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö, kWh/a

Q_{lkv} , kierto, kuorma	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus, kWh
Q_{lkv} , netto	lämpimän käyttöveden nettoenergian tarve, kWh
Q_{lkv} , varastointi, kuorma	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus, kWh
Q_{lkv} , varastointi	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a
$Q_{lammitys}$, energia	lämmitysjärjestelmään syötetty lämpöenergia, kWh
$Q_{lammitys}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
$Q_{lammitys}$, hyöty	hyötyksi saatu lämpöenergia, kWh
$Q_{lammitys}$, tilat	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä, kWh/a
$Q_{lammitys}$, tilat, netto	tilojen lämmitysenergian nettotarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä, kWh/a
$Q_{lammitys}$, tilat, netto	tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh/a tai kWh
$Q_{lammitys}$, lkv	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{lammitys}$, tilat	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{lämpökuorma}$	rakennuksen lämpökuorma, kWh
Q_{muu}	johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, kWh
$Q_{normitettu}$	mitattu lämpöenergiamäärä normeerattuna testivuodelle, kWh
Q_{ovi}	johtumislämpöhäviöt ulko-ovien läpi, kWh
Q_{PA} , omin.	käytetyn polttoaineen tehollinen lämpöarvo kWh/l

Q_{rakosa}	johtumislämpöhäviö rakennusoosan läpi, kWh
$Q_{\text{sis. lämpö}}$	lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh
$Q_{\text{sähk}}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh
Q_{tila}	rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$Q_{\text{ulkoseinä}}$	johtumislämpöhäviöt ulkoseinien läpi, kWh
$Q_v, \text{korvausilma}$	korvausilmavirta, m^3/s
Q_v, poisto	poistoilmavirta, m^3/s
Q_v, tulo	tuloilmavirta, m^3/s
$Q_v, \text{vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m^3/s
$Q_{\text{varastointi, ulos}}$	laskettavan lämmön jakelujärjestelmän varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{yläpohja}}$	johtumislämpöhäviö yläpohjan läpi, kWh
$S_{17\text{kulutusvuos}}$	kulutusvuoden astepäiväluku, Kd
$S_{17\text{testivuosi}}$	testivuoden astepäiväluku, Kd
SFP	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
SFP-luku	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

$t_{d, rak}$	rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa, h
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$t_{lkv, pumppu}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk
T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
$T_{maa, kuukausi}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila, °C
$T_{maa, vuosi}$	alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
$T_{u, vuosi}$	ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, °C
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
$t_{v, rak}$	rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa, d
U_{-arvo}	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
$W_{ilmanvaihto}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m ³

$W_{\text{lkv,pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
W_{tilat}	lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{tuotto,apu}}$	lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
x	kerroin joka riippuu rakennuksen korkeudesta, vain maanpäälliset kerrokset huomioiden
γ	lämpökuorman suhde lämpöhäviöön, -
Δt	ajanjakson pituus, h
$\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero, °C
$\Delta T_{\text{maa, vuosi}}$	alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero, °C
$\Delta T_{\text{puhallin}}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
$\eta_{\text{kattila,tot}}$	kattilan kokonaishyötysuhde, -
ρ_i	ilman tiheys, kg/m ³
ρ_v	veden tiheys, kg/m ³
T	rakennuksen aikavakio, h
ϕ_{Ito}	lämmön talteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W
Ψ_k	viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, W/(m K)

1 JOHDANTO

Työn tilaajana toimi Suomen Siemenperunakeskus Oy (myöhemmin SPK). SPK on siemenperunan tuotantoon erikoistunut yritys, joka on perustettu vuonna 1976. Alun alkaen SPK on ollut valtion omistama ja toiminut maatalouden tutkimuskeskuksen yhteydessä. Nykyään SPK on osakeyhtiö, joka on täysin kotimaisessa omistuksessa. Toimitilat sijaitsevat Tyrnävällä ja tärkein tuotantoalue kattaa Tyrnävän ja Limingan kunnat. SPK työllistää vakituisesti 14 ihmistä ja lajitteluajankana on lisäksi noin 20 vuokratyöntekijää. Sopimusviljelijöitä on 25–30 ja liikevaihto vuonna 2011 oli 4,2 miljoonaa euroa. (1.)

Päätoimipaikka sijaitsee Leppiojalla, jossa on toimisto-/laboratoriorakennus, kasvihuoneet, kaluston huolto- ja varastotilat, perunavarasto ja lämpökeskus. Kasvihuoneita ja varastotiloja ei lämmitetä. Lisäyskasvihuoneen yhteydessä on erillinen sosiaalitila, jota lämmitetään.

Keskikylän toimipisteessä hoidetaan perunan myynti, varastointi, lajittelu ja pakkaaminen. Keskikylällä on kaksi isoa perunavarastoa, toimistorakennus, erillinen sosiaalilarakennus ja kalustovaja. Molempien perunavarastojen yhteydessä on erillinen perunankäsittelytila, jota lämmitetään lajittelun aikana. Varastotiloja ei lämmitetä.

Molemmissa toimipisteissä on lämmöntuotanto keskitetty lämpökeskukseen, jossa tarvittava lämpö tuotetaan öljykattilalla. Rakennukset ovat rakennettu pääosin 1970–1980-lukujen vaihteessa.

Työn tavoitteena oli selvittää rakennusten laskennallinen energiankulutus ja verrata sitä toteutuneeseen. Tavoitteena oli jakaa laskennallinen energiankulutus eri osatekijöihin ja sitä kautta löytää kohteet, joissa olisi energiatehokkuuden näkökulmasta parannettavaa. Energiatehokkuuden parantamishdotuksille laskettiin takaisinmaksuajat.

Lisäksi työn yhtenä osa-alueena oli selvittää lämmitystehontarpeet toimipaikoittain alkuarvoiksi toiseen opinnäytetyöhön, jossa selvitettiin vaihtoehtoisia energiantuotantotapoja kohteeseen (17).

Lämmitystehontarpeet selvitettiin seuraamalla tuntitasolla öljynkulutusta ja ulko- lämpötiloja molemmissa toimipisteissä. Näiden lisäksi mitattiin lämmitettävien rakennusten sisälämpötiloja. Saatujen mittaustulosten avulla laskettiin konduktanssi ja lämmitystehontarve toimipisteittäin.

Laskennalliset energiankulutukset selvitettiin käyttäen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaista kuukausitason laskentamenetelmää. Työssä esitetään laskennan kulku ja keskeiset tulokset. Alkuarvoina laskennassa käytettiin alkuperäisiä suunnitelmia, mittaustuloksia, havaintoja ja henkilökunnalta saatuja tietoja.

Työn ulkopuolelle rajattiin prosessien energiankulutukset. Varastoitavan perunan tuottamaa lämpöä ei hyödynnetä tässä työssä, koska varastointikin on tarkkaan hallittu prosessi aina perunan varastoinnista siihen kun tuote lähtee tilaajalle. Työssä avataan teoreettisesti perunavarastotyyppisiä sekä lämmitysenergian kulutusta Suomessa.

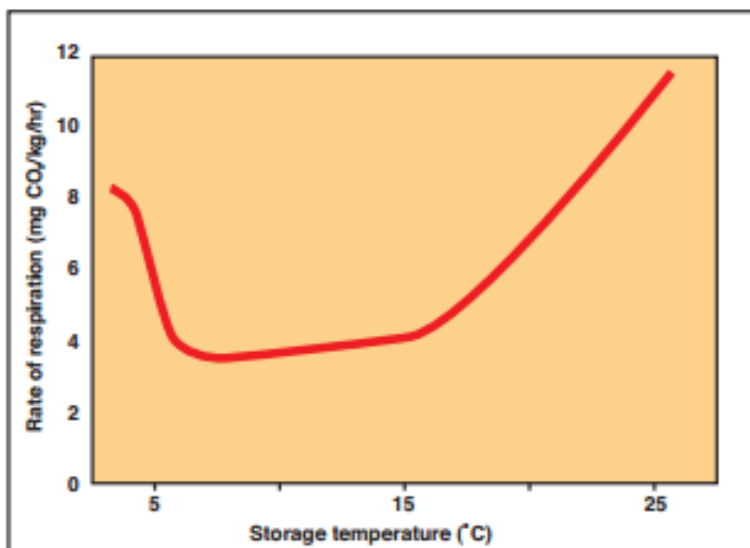
Suurimmaksi yksittäiseksi osa-alueeksi nousi ilmanvaihdon vaatima lämmitysenergian kulutus. Nykyisessä järjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa, joten sieltä löytyy myös suurin säästöpotentiaali. Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantamiselle tutkittiin kahta vaihtoehtoa. Ilmanvaihtokoneet voitaisiin korvata uusilla ilmanvaihtokoneilla, joissa on lämmöntalteenotto tai toisena vaihtoehtona nykyisiin ilmanvaihtokoneisiin rakennetaan nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä tulo- ja poistoilmakoneen välille.

Työssä tarkisteltiin ilmanvaihdon käyttöaikoja ja selvitettiin vaihtoehtona pudottaa ilmanvaihdon tehoa käytönajan ulkopuolisena aikana. Edullisimmillaan säästöjä syntyy, kun ilmanvaihdon käyttöaikoja tarkennetaan ja rakennetaan ilmanvaihtokoneille järjestelmä, jolla voidaan ohjata koneita osateholla käytönajan ulkopuolella. Tässä on kuitenkin huomioitava, että määräysten mukainen ilmanvaihtuvuus toteutuu tiloissa myös käytönajan ulkopuolella.

2 PERUNAVARASTOT

Perunan varastointi on tärkeä vaihe perunan tuotannossa, koska suuri osa perunaeristä on pidemmän aikaa varastossa kuin perunapellossa. Kyse ei ole pelkästään perunoiden säilyttämisestä, vaan perunan laatu on pidettävä moitteettomana koko varastoinnin ajan. (2, s. 3.)

Varastoitu peruna on elävää materiaalia, joka hengittäessään kuluttaa happea ja tuottaa hiilidioksidia. Liian korkea hiilidioksidipitoisuus estää perunan riittävän hapen saannin ja vaikuttaa tuotteen laatuun (3). Perunan hengitysmäärä riippuu lähinnä varaston lämpötilasta ja alhaisimmillaan se on noin +5°C:n lämpötilassa. Kuvassa 1 on esitetty lämpötilan vaikutus perunan hengitysmäärään.



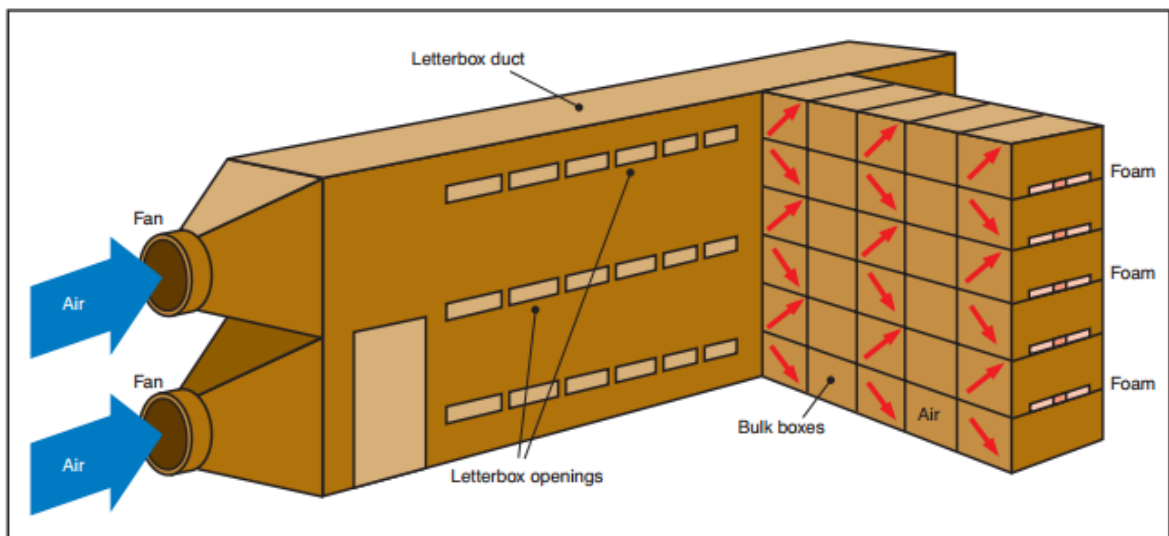
KUVA 1. Lämpötilan vaikutus perunan hengitysmäärään (2, s. 12)

Varastorakennuksen on oltava riittävän tiivis ja eristetty, jotta sato pysyy tasaisessa lämpötilassa ja hallissa ei tapahdu kondensoitumista vaihtelevista sääoloista huolimatta. Perunavaraston ilman suhteellinen kosteus pidetään 90–100 prosentissa haihtumishäviöiden minimoimiseksi. (2, s. 10.)

Ilmanvaihto on merkittävä tekijä varastoinnissa, koska sen avulla säädellään varaston olosuhteita ja sadon kosteus ja lämpötila halutuksi. Useimmat perunavarastot käyttävät ulkoilmaa jäähdytykseen, mutta myös koneellista jäähdytystä

käytetään. (2, s. 22). Syksyisin Suomen olosuhteet mahdollistavat varaston jäädytyksen kylmällä ulkoilmalla, ja perunoiden hengityksen tuottama lämpö pitää varastossa riittävän lämpötilan kovilla pakkasillakin (3). Perunavarastojen tuuletus hoidetaan seinätuuletuksella, lattiatuuletuksella, siirrettävillä puhaltimilla tai näiden yhdistelmillä (4, s. 25).

Ilmanvaihtona perunahalleissa käytetään tila- tai paineilmavaihtoa. Tilailmanvaihdossa varastoon perunamassan ympärille vaihdetaan ilmaa, johon perunamassa vapaasti luovuttaa lämpöä ja kosteutta. Voimakkain ilmavirta kulkee yleensä ylimpien laatikoiden yläpuolelta jäähdyttäen pintakerroksen mutta voi jättää lämmön perunamassan keskiosiin. Ilmanvaihdon pysähtyessä ei-toivottu lämpötilaero aiheuttaa kosteuden tiivistymistä pintakerroksessa. Paineilmavaihdossa ilma ohjataan puhallusseinän aukkojen kautta kulkemaan perunalaatikoiden väleissä ja pakotetaan ilma vaihtumaan laatikoissa. Tämä on tehokkaampi ja parempi tapa jäähdyttää, koska sato pysyy tasalämpöisenä ja jäähtyminen on nopeampaa. Puhallusseinän periaate on esitetty kuvassa 2. (2, s. 23.)



KUVA 2. Perunavaraston puhallusseinä (2, s. 25)

Perunavarastotyypit lajitellaan varastointitavan mukaan irto- ja laatikkovarastoihin. Irtovarasto on esitetty kuvassa 3 ja laatikkovarasto kuvassa 4. Varastointitapaan vaikuttaa eri perunalajikkeiden määrä. Eri lajikkeet on helpompi pitää

erillään toisista laatikkovarastossa, ja siksi laatikkovarasto on sopiva ratkaisu esimerkiksi siemenperunan tuotannossa. (5, s. 6.)



KUVA 3. Perunan irtovarasto (5, s. 7)

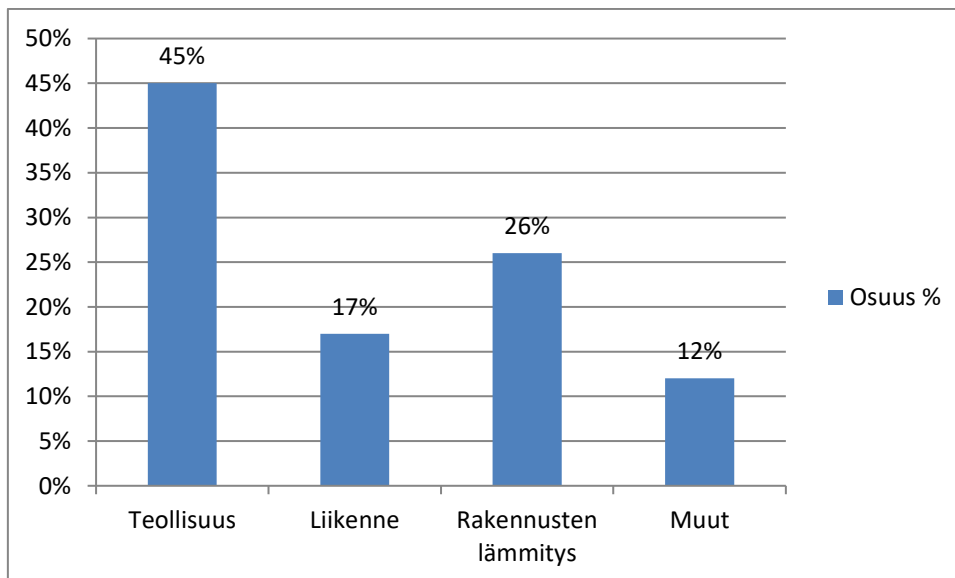


KUVA 4. Perunan laatikkovarasto (6)

3 ENERGIANKULUTUS

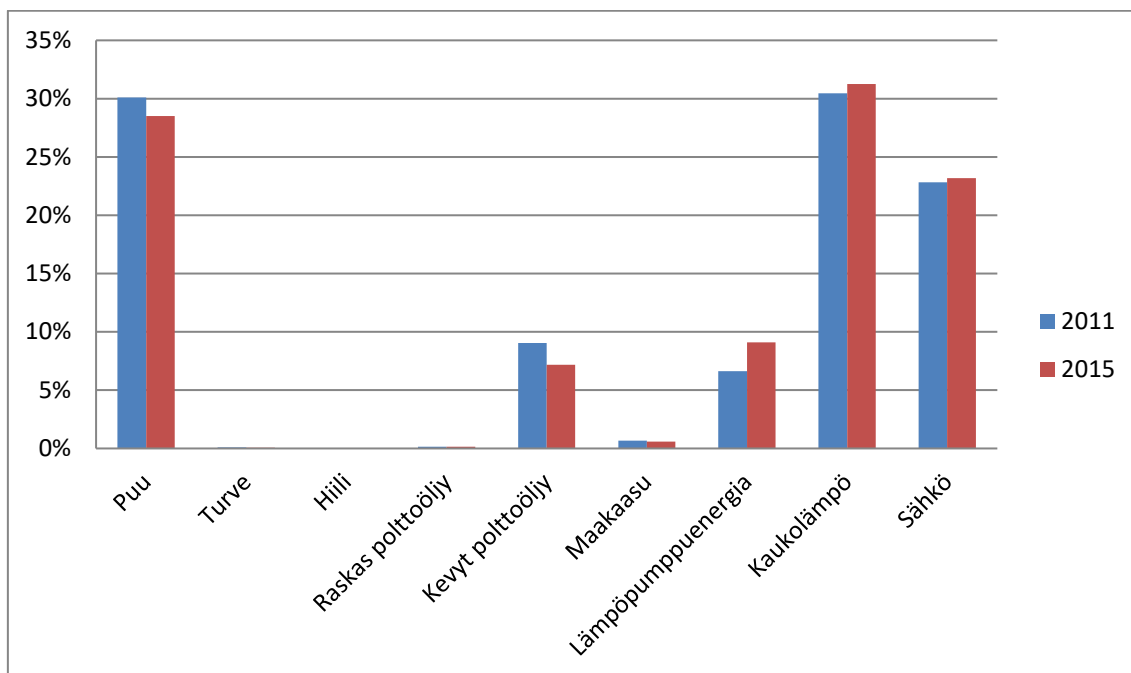
Kylmä ilmasto, pitkät etäisyydet ja melko energiavaltainen teollisuus aiheuttavat sen, että Suomessa kuluu paljon energiaa asukasta kohden (7). Energiankulutus on viisinkertaistunut vuodesta 1950 ja lähes kaksinkertaistunut vuoden 1970 jälkeen. Kulutus ei ole kasvanut enää 2000-luvulla, mikä selittyy pitkälti teollisuuden vähentyneellä energiatarpeella. (8.)

Vuonna 2016 energian loppukäyttö Suomessa oli 300 TWh, josta rakennusten lämmityksen osuus on reilu neljännes. Kuvassa 5 on esitetty energian loppukäyttö sektoreittain vuonna 2016 (9).



KUVA 5. Energian loppukäyttö sektoreittain 2016 (9)

Suomessa tilojen lämmitysenergian lähteenä toimii pääsääntöisesti kaukolämpö, puu tai sähkö, joista yksittäisenä energianlähteenä kaukolämmön osuus suurin. Öljyn osuus lämmitysenergianlähteenä vähenee ja vastaavasti lämpöpumppuenergian osuus lämmitysenergianlähteenä on kasvussa. Kuvassa 6 on esitetty tilojen lämmitysenergian energianlähteet vuosina 2011 ja 2015. (10.)



KUVA 6. Tilojen lämmitysenergian energialähde 2011 ja 2015 (10)

3.1 Energiankäyttö tulevaisuudessa

Suomen ilmastopolitiikka pohjautuu kansainväliseen ja Euroopan unionissa toteutettavaan ympäristöpolitiikkaan. Suomi on sitoutunut Euroopan unionin laatiman ilmasto- ja energiapaketin mukaisesti vuoteen 2020 mennessä vähentämään kasvihuonepäästöjä päästökaupan ulkopuolisella sektorilla vuoden 1990 tasosta 16 prosenttia ja nostamaan uusiutuvan energian osuuden loppukulutuksesta 38 prosenttiin. (11.)

EU on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään vähintään 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoteen 1990. Suomen keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma on lausuntokierroksella. Pitkällä aikavälillä Suomen ilmastolaissa asetetaan pitkän aikavälin kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteeksi 80 prosenttia vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 1990 päästötasoon. (11.)

Vaikutukset rakentamiseen

Vuoden 2021 alusta tulee voimaan Euroopan unionin direktiivi, joka kiristää edelleen energiatehokkuusvaatimuksia ja edellyttää kaikkien uusien rakennusten olevan lähes nollaenergiarakennuksia. Suomessa nollaenergiarakennuslainsäädäntö tulee voimaan vuoden 2018 alussa, jonka jälkeen viranomaisten käytössä ja omistuksessa olevien uusien rakennusten on oltava lähes nollaenergiarakennuksia. Kaikkien uusien rakennusten on täytettävä lähes nollaenergiarakennuksen vaatimukset vuoden 2021 alusta alkaen. (12.)

Suomen rakentamismääräyskokoelmaa uudistetaan parhaillaan, ja Ympäristöministeriön asetukset uuden rakennuksen energiatehokkuudesta ja rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimista ovat valmistelussa. (13.)

Energiatehokkuuden asetusluonnoksessa on 35 pykälää, ja tässä käydään läpi vain merkittävimpiä muutoksia. Asetusluonnoksessa rakennusten käyttötarkoituluokkiin tulee muutoksia ja energiamuotokertoimet poikkeavat merkittävästi nykyisistä, joten nykyinen E-luku ja asetusluonnoksen mukainen E-luku eivät ole suoraan vertailtavissa. Kaukolämmön-, kaukojäähdytyksen- sekä sähköenergiamuotojen kertoimet laskevat huomattavasti aiemmasta. Energiamuotojen kertoimet on esitetty taulukossa 1. (13.)

TAULUKKO 1. Energiamuotojen kertoimet (13; 14, s. 8)

Energiamuotojen kertoimet		
Energiamuoto	Nykyinen	Asetusluonnos
Sähkö	1,7	1,2
Kaukolämpö	0,7	0,5
Kaukojäähdytys	0,4	0,28
Fossiiliset polttoaineet	1	1
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5	0,5

Rakennusosien U-arvo vaatimukset pysyvät ennallaan laskettaessa rakennuksen vaipan lämpöhäviöiden vertailuarvoa. Varaavien tulisijojen ja ilma-

ilmalämpöpumpun laskennassa huomioitavaa energiantuoton maksimimäärää kasvatetaan. (13.)

Ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutuksen laskennassa huomioidaan jatkossa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon energiankulutusta pienentävä vaikutus. Vertailulämpöhäviön laskennassa on käytettävä rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena arvoa 55 prosenttia. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän SFP-luku saa jatkossa olla enintään $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja koneellisen poistoilmajärjestelmän SFP-luku korkeintaan $0,9 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. (13.)

Uutena kohtana asetusluonnoksessa on rakenteellinen energiatehokkuus, jonka mukaisesti rakennuksen energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset voidaan osoittaa jatkossa myös rakenteellisella energiatehokkuudella. Rakenteellisen energiatehokkuuden osoittamiselle on annettu omat vaatimukset rakenteille, tiiviydelle, lämmitysjärjestelmälle ja ilmanvaihdolle. (13.)

3.2 Kiinteistöjen energiankulutuksen laskeminen

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaista kuukausitason laskentamenetelmää voidaan käyttää lämmityksen energiatarpeen, ostoenergiankulutuksen, kokonaisenergiankulutuksen ja lämmitystehon laskentaan jäähdyttämättömissä rakennuksissa tai rakennuksissa, joissa on vain yksittäisiä jäähdytettyjä tiloja. (15, s. 3.)

Tiedossa oli öljyn- ja sähkönkulutus molemmista toimipisteistä, mutta ei tiedetty, kuinka lämmitysenergian käyttö jakautuu toimipisteissä eri rakennusten kesken. Lämmitysenergian jakautuminen selvitettiin laskemalla teoreettinen energiankulutus eri rakennuksille.

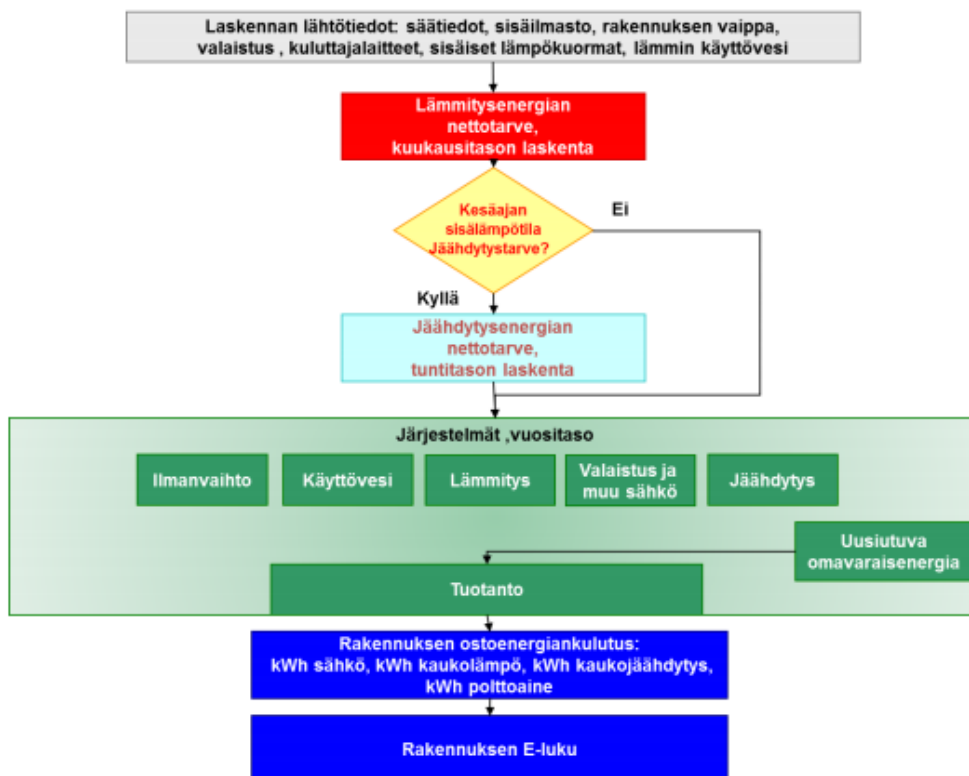
Teoreettisen energiankulutuksen lisäksi haluttiin selvittää myös E-luku, joten laskenta piti suorittaa kaksilla eri arvoilla. Laskettaessa E-lukua käytettiin ostoenergian kulutuksen laskennassa arvoina määräyksissä annettuja lähtöarvoja ja laskentasääntöjä sekä suunnitteluarvoja ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisia Helsinki-Vantaan säätietoja. Laskettaessa teoreettista energiankulutusta ja sen jakautumista eri kiinteistöjen kesken käytettiin

lähtöarvoina ostoenergian kulutuksen laskennassa ensisijaisesti todellisia mitattuja arvoja tai suunniteltuja arvoja. Teoreettisen energiankulutuksen laskennassa käytettiin säätietoina Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisia Jyväskylän säävyöhykkeen tietoja.

Kiinteistöjen energiankulutukset laskettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 energiatasemenetelmällä, jossa energian nettotarve lasketaan kuukausittain. Menetelmässä rakennuksesta poistuvana energiamääränä käytetään rakennukseen tuotavaa energiamäärää saman kuukauden aikana. Vuosikulutus on kuukausikulutusten summa. (15, s. 11.)

3.3 Laskennan kulku

Laskenta suoritetaan vaiheittain. Laskentamenetelmässä käytettävät energiankulutuksen vaiheet esitetään kuvassa 7. Rakennuksen energiantarve koostuu tilojen ja ilmanvaihdon lämmitystarpeesta, käyttöveden lämmitystarpeesta, tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytystarpeesta sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiatarpeesta.



KUVA 7. Energianlaskennan vaiheet (15, s. 12)

3.3.1 Lämmitysenergian nettotarve

Lämmitysenergian nettotarve saadaan tilojen lämmitysenergian tarpeen sekä tilojen lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien ja poistoilmasta talteenotettavan energian erotuksena. Lämmitysenergian nettotarvetta vastaava energia tuodaan lämmitysjärjestelmällä tiloihin, tuloilmaan ja käyttöveteen. Lämmitysenergian nettotarpeeseen ei vaikuta energian tuotantotapa. Lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 1. (15, s. 3.)

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad \text{KAAVA 1}$$

Lämmitysenergian nettotarpeen laskentaan tarvitaan vähintään rakennusosien pinta-alat ja U-arvot, ilmanvaihdon ilmavirrat, ilmanvaihtojärjestelmän käyntiajat ja ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (15, s. 15).

Tilojen lämmitysenergian tarve koostuu rakennusvaipan johtumislämpöhäviöistä, vuoto- ja korvausilman sekä tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisestä. Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 2. (15, s. 15.)

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv, tuloilma}} + Q_{\text{iv, korvausilma}} \quad \text{KAAVA 2}$$

3.3.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt ovat summa eri rakennusosien ja rakenneliitosten läpi johtuvista lämpöhäviöistä. Rakennusvaipan lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 3 (15, s. 15).

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsililat}}$$

$$\text{KAAVA 3}$$

Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt lasketaan rakennusosittain kaavalla 4 (15, s. 16).

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 4}$$

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Kun johtumislämpöhäviö tapahtuu rakenneosan läpi sellaiseen muuhun tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, käytetään kaavassa ulkolämpötilan tilalla tämän muun tilan suunniteltua lämpötilaa.

Rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöt lasetaan kaavalla 5. (15, s. 16).

$$Q_{\text{kylmäsilat}} = \sum I_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 5}$$

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Viivamaisen lisäkonduktanssin ohjearvot on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukoissa 3.1–3.3.

Kun johtumislämpöhäviö tapahtuu kylmäsilan kautta sellaiseen muuhun tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, käytetään kaavassa ulkolämpötilan tilalla tämän muun tilan suunniteltua lämpötilaa.

Maanvaraisen alapohjan kautta johtuva energia lasketaan kaavan 4 mukaisesti käyttämällä kaavassa ulkolämpötilan tilalla alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Kaavalla 6 lasketaan alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila (15, s. 18).

$$T_{\text{maa, vuosi}} = T_{\text{u, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, vuosi}} \quad \text{KAAVA 6}$$

Maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan erona käytetään arvoa 5 °C.

Maan kuukausittainen keskilämpötila lasketaan maan vuotuisesta keskilämpötilasta kaavalla 7. (15, s. 18).

$$T_{\text{maa, kuukausi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kuukausi}} \quad \text{KAAVA 7}$$

Maan ja ulkoilman kuukausittaisten keskilämpötilojen ero saadaan taulukosta 2. Taulukon arvoja voidaan käyttää kaikilla säävyöhykkeillä ja maalajeilla.

TAULUKKO 2. Alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero (15, s.18.)

Kuukausi	$\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}, ^\circ\text{C}$
Tammikuu	0
Helmikuu	-1
Maaliskuu	-2
Huhtikuu	-3
Toukokuu	-3
Kesäkuu	-2
Heinäkuu	0
Elokuu	1
Syyskuu	2
Lokakuu	3
Marraskuu	3
Joulukuu	2

3.3.3 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 8. Kaavassa oleva vuotoilmavirta lasketaan kaavalla 9 (15, s. 19).

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_1 c_{p1} q_{v, \text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 8}$$

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{\text{vaippa}} \quad \text{KAAVA 9}$$

3600 on kerroin, jolla vuotoilmavirta muutetaan yksiköstä m^3/h yksikköön m^3/s

rakennuksen kerrosten lukumäärästä riippuvat kertoimen x arvot on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Rakennuksen korkeudesta riippuvan kertoimen x arvot (15, s.19).

Kerrosten lukumäärä	x
1	35
2	24
3	20
4	20
5	15
yli 5	15
kerrokorkeus on noin 3 m vain maanpäälliset kerrokset huomioidaan	

3.3.4 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Tuloilman lämmitysenergian nettotarve vastaa energiaa joka tarvitaan ilmanvaihtokoneessa tuloilman lämmittämiseen. Tämä lasketaan jokaiselle ilmanvaihtokoneelle erikseen kaavalla 10 (15, s. 20).

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v, \text{tulo}} ((T_{sp} - \Delta T_{\text{puhallin}}) - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 10}$$

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Jos kaavan 10 lukuarvoksi tulee negatiivinen, käytetään ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeena nollaa.

Lämmöntalteenoton jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilmanlämpötila lasketaan kaavalla 11 (15, s. 21).

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v, \text{tulo}}} \quad \text{KAAVA 11}$$

Lämmöntalteenotolla talteenotettu teho lasketaan kaavalla 12 (15, s. 21).

$$\phi_{lto} = \eta_{a, ivkone} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v, \text{poisto}} (T_s - T_u) \quad \text{KAAVA 12}$$

Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhdetta voidaan käyttää laskennassa kaikkina kuukausina. Jos ilmanvaihto on toteutettu sellaisella lämmöntalteenotolla, joka ei siirrä poistoilmasta talteenotettua lämpöä tu-

loilmaan, tai lämmöntalteenottoa ei ole, kaavassa 10 käytetään lämmöntalteenottolaitteen jälkeisenä lämpötilana ulkoilmanlämpötilaa. (15, s.21.)

3.3.5 Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarve

Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemiseen tarvittava energia lasketaan kaavalla 13 (15, s. 23).

$$Q_{iv, \text{ tuloilma}} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v, \text{ tulo}} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 13}$$

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 14 (15, s. 23).

$$Q_{iv, \text{ korvausilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v, \text{ korvausilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 14}$$

Korvausilmavirta lasketaan kaavalla 15 (15, s. 23).

$$q_{v, \text{ korvausilma}} = \sum t_d t_v q_{v, \text{ poisto}} - \sum t_d t_v q_{v, \text{ tulo}} \quad \text{KAAVA 15}$$

Jos tuloilmavirta on suurempi tai yhtä suuri kuin poistoilmavirta, korvausilmavirtaa ei ole.

3.3.6 Ilmanvaihdosta talteen otettu energia

Ilmanvaihdosta talteen otettu energia lasketaan kaavalla 16 (15, s. 24).

$$Q_{lto} = \sum t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v, \text{ tulo}} (T_{lto} - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 16}$$

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

3.3.7 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 17 (15, s. 24).

$$Q_{lkv, \text{ netto}} = \frac{\rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv})}{3600} - Q_{lkv, LTO} \quad \text{KAAVA 17}$$

3600 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve vastaa energiaa, joka kuuluu kylmän veden lämmittämiseen haluttuun lämpimän käyttöveden lämpötilaan ilman lämmön tuoton sekä lämpimän käyttöveden varastoinnin ja siirron häviöitä. Lämpimän käyttöveden ja kylmän veden lämpötilaerona käytetään arvoa 50 °C.

3.3.8 Laitteiden ja valaistuksen sähköenergian kulutus

Laitteiden ja valaistuksen sähköenergiankulutus katsotaan samaksi kuin niiden tuottama lämpökuorma. Valaistuksen ja sähkölaitteiden aiheuttamien lämpökuormien laskennassa käytetyt lähtöarvot löytyvät rakennuksittain liitteistä 1–8. Toimistorakennusten laitteiden- ja valaistuksen aiheuttaman lämpökuorman laskennassa käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 taulukon 3 mukaisia rakennuksen standardikäytön käyttöaikoja, käyttöasteita sekä lämpökuormia. Muille rakennuksille arvioitiin parhaiten rakennuksen käyttöä vastaavat laitteiden- ja valaistuksen aiheuttamat lämpökuormat, käyttöajat ja käyttöasteet.

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden vuotuinen lämpökuorma lasketaan kaavalla 18 (14, s. 19).

$$Q=kP \frac{\tau_d \tau_v}{24 \cdot 7} \frac{8760}{1000}$$

KAAVA 18

$\frac{8760}{1000}$ on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi/vuosi

3.3.9 Valaistuksen sähköenergian kulutus ja lämpökuormat

Valaistuksen sähköenergian kulutuksen laskennassa käytetyt lähtöarvot löytyvät liitteistä 1–8 rakennuksittain. Toimistorakennuksille valaistuksen sähköenergian kulutuksen laskennassa käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 taulukon 3 mukaisia toimistorakennuksen standardikäytön käyttöaikoja, käyttöasteita sekä lämpökuormia. Muille rakennuksille arvioitiin parhaiten rakennuksen valaistuksen sähköenergian kulutusta vastaavat käyttöajat, käyttöasteet ja lämpökuormat.

3.3.10 Lämpökuorma henkilöistä

Rakennusten energiatehokkuutta koskevien määräysten vaatimuksenmukaisuuden osoittamisessa henkilöiden lämpökuormina käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 esitettyjä kuivan lämmönluovutuksen taulukkoarvoja.

3.3.11 Lämpökuorma valaistuksesta ja sähkölaitteista

Rakennusten energiatehokkuutta koskevien määräysten vaatimuksenmukaisuuden osoittamisessa valaistuksen ja laitteiden lämpökuormina käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 taulukossa 3 esitettyjä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden arvoja.

3.3.12 Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia lasketaan kaavalla 19. Säteilyenergia sisältää suoraan rakennuksen sisälle ikkunoista tulevan energian ja välillisesti ikkunaan absorboituneena lämpönä sisälle rakennukseen tulevan energian (15, s. 30).

$$Q_{aur} = \sum G_{sät\ pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad \text{KAAVA 19}$$

Auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille ja säteilyenergian muuntokerroimet ilmansuunnittain ja kuukausittain eri säävyöhykkeille esitetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3.

Mikäli ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerrointa ei tunneta, se lasketaan kaavalla 20 (15, s. 31).

$$g = 0,9g_{kohtisuora} \quad \text{KAAVA 20}$$

Ikkunan kohtisuorat auringonläpäisykerroimet on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelma D5:n taulukossa 5.1.

Kokonaiskorjauskerroin säteilyn läpäisylle lasketaan kaavalla 21 (15, s. 31).

$$F_{läpäisy} = F_{kehä} F_{verho} F_{varjostus} \quad \text{KAAVA 21}$$

Auringonsäteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskertoimena voidaan käyttää arvoa 0,75, jos varjostuksia ja pysyviä verhoja ei ole.

Kehäkerroin on valoaukon pinta-alan ja ikkuna-aukon pinta-alan suhde ja se lasketaan kaavalla 22 (15, s.31).

$$F_{\text{kehä}} = \frac{A_{\text{ikk, valoaukko}}}{A_{\text{ikk}}}$$

KAAVA 22

Kehäkertoimena voidaan käyttää arvoa 0,75, jos tarkempaa arvoa ei ole käytettävissä. Tyypilliset verhokertoimet esitetään Suomen rakentamismääräyskoelman osan D5 taulukossa 5.2

3.4 Lämpökuormat

Rakennukseen tulee lämpökuormia valaistuksesta, laitteista, ihmisistä ja ikkunoiden kautta auringon säteilyenergiasta. Lämpökuormia voidaan hyödyntää rakennuksen lämmityksessä, mikäli samaan aikaan on lämmitystarvetta ja säätölaitteisto voi vähentää lämmöntuottoa lämpökuormaa vastaavalla määrällä. (15, s. 34.)

Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin häviöistä lämpökuormaksi tuleva osuus on 50 prosenttia lasketusta häviöstä. (15, s. 34).

Lämpökuorma lasketaan kaavalla 23.

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} + Q_{\text{lkv, kierto}} + Q_{\text{lkv, varastointi, kuorma}}$$

KAAVA 23

Lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien energia lasketaan kaavalla 24 (15, s. 34).

$$Q_{\text{sis. lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}}$$

KAAVA 24

Lämpökuormien hyödyntämisaste riippuu lämpökuorman ja lämpöhäviön suhteesta sekä rakennuksen aikavakiosta, joka on rakennuksen sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin suhde ominaislämpöhäviöön. Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste lasketaan kaavalla 25. (15, s. 34.)

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}$$

KAAVA 25

Aikavakiosta riippuva numeerinen parametri lasketaan kaavalla 26 (15, s. 35).

$$a = 1 + \frac{T}{15}$$

KAAVA 26

Suhdeluku lasketaan kaavalla 27 (15, s. 35).

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}}$$

KAAVA 27

Rakennuksen aikavakio lasketaan kaavalla 28 (15, s. 35).

$$T = \frac{C_{\text{rak}}}{H_{\text{tila}}}$$

KAAVA 28

Työssä on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukossa 5.6 esitettyjä rakennuksen sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvoja ($C_{\text{rak, nom}}$) jotka on annettu rakennustypeille kalusteineen (15, s. 36).

Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 29 (15, s. 35).

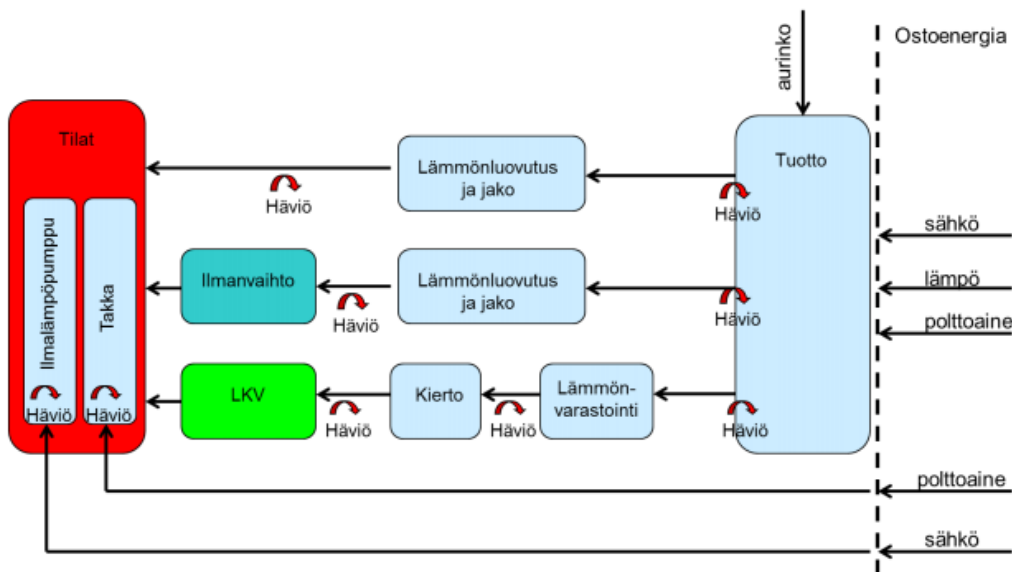
$$H_{\text{tila}} = \frac{Q_{\text{tila}}}{(T_s - T_u)\Delta_t} 1000$$

KAAVA 29

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateiksi.

3.5 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Energiankulutus lämmitysjärjestelmälle lasketaan tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeista huomioimalla lämmönluovutuksen, lämmönjaon ja lämmön varastoinnin häviöt sekä lämmöntuoton vaikutus. Lämmitysenergian tuoton vaikutus energiankulutukseen lämmitysjärjestelmässä lasketaan hyötysuhteen tai lämpökertoimen avulla. Kuvassa 8 on esitetty lämmitysjärjestelmälaskennan periaate. (15, s. 37.)



KUVA 8. Lämmitysjärjestelmälaskennan periaate (15, s. 37)

3.5.1 Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmien lämpöenergiatarve

Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve lasketaan lämmönjakojärjestelmittäin kaavalla 30 (15, s. 38).

$$Q_{\text{lämmitys, tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}}{\eta_{\text{lämmitys, tilat}}} + Q_{\text{jakelu, ulos}} + Q_{\text{varastointi, ulos}}$$

KAAVA 30

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukossa 6.2 on esitetty lämmönjaon ja -luovutuksen hyötysuhteen ohjearvoja, joita voidaan käyttää, mikäli tarkempia arvoja ei ole tiedossa. Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksen laskennassa voidaan olettaa ilmanvaihtokoneen lämmityspattereiden hyötysuhteeksi 1,0. (15, s. 38.)

Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla 31 (15, s. 39).

$$W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} A_{\text{netto},i}$$

KAAVA 31

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukossa 6.2 on esitetty apulaitteiden ominaiskulutuksen ohjearvoja.

3.5.2 Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

Lämpimän käyttöveden lämpöenergiatarve lasketaan kaavalla 32 (15, s. 41).

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv, netto}}}{\eta_{\text{lkv, siirto}}} + Q_{\text{lkv, varastointi}} + Q_{\text{lkv, kierto}}$$

KAAVA 32

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukossa 6.3 on esitetty lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhteita, jotka kattavat lämpimän käyttöveden jakojohdon häviöt (15, s. 41).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukossa 6.3b on esitetty vuotuisia lämpimän käyttöveden varastoinnin häviöitä (15, s. 42).

Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviö lasketaan kaavalla 33 (15, s. 42).

$$Q_{\text{lkv, kierto}} = (\Phi_{\text{lkv, kiertohäviö, omin}} L_{\text{lkv}} + \Phi_{\text{lkv, lämmitys, omin}} \eta_{\text{lämmityslaite}}) \frac{t_{\text{lkv, pumppu}} * 365}{1000}$$

KAAVA 33

Lämpimän käyttöveden kiertojohtojohdon lämpöhäviö voidaan laskea putkipituuden ja vakiolämpöhäviön avulla. Mikäli eristystaso tiedetään, lämpöhäviön ominais-
tehon arvot voi katsoa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukosta 6.4. Mikäli eristystasoa ei tunneta, käytetään ohjearvona 40 W/m. (15, s. 41.)

Kiertojohtoon kytkettyjen, kuivaukseen tarkoitettujen lämmityslaitteiden tehona voidaan käyttää arvoa 200 W/kpl (15, s. 41).

Lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 34 (15, s. 43).

$$W_{\text{lkv, pumppu}} = P_{\text{lkv, pumppu}} t_{\text{lkv, pumppu}} \frac{365}{1000}$$

KAAVA 34

Käyttöaikana pumpulla käytetään 24h/vrk.

3.5.3 Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus

Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus lasketaan lämmöntuottojärjestelmittäin kaavalla 35 (15, s. 44).

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys, tilat}} + Q_{\text{lämmitys, iv}} + Q_{\text{lämmitys, lkv}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad \text{KAAVA 35}$$

Lämmitysjärjestelmän sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla 36 (15, s. 45).

$$W_{\text{lämmitys}} = W_{\text{tilat}} + W_{\text{tuotto,apu}} + W_{\text{lkv,pumppu}} \quad \text{KAAVA 36}$$

Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla 37 (15, s. 46).

$$W_{\text{tuotto,apu}} = e_{\text{tuotto}} A_{\text{netto}} \quad \text{KAAVA 37}$$

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukoissa 6.6 ja 6.7 esitetään apulaitteiden ominaiskulutuksen ohjearvoja.

3.6 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus

Puhaltimien tai ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutus lasketaan kaavalla 38 (15, s. 52).

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \sum \text{SFP } q_v \Delta_t + W_{\text{iv, muut}} \quad \text{KAAVA 38}$$

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho lasketaan konekohtaisesti kaavalla 39 (15, s. 52).

$$\text{SFP} = \frac{P_{\text{puh}}}{q_v} \quad \text{KAAVA 39}$$

3.7 Ostoenergian kulutus

Rakennuksen ostoenergiankulutus koostuu lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä järjestelmien apulaitteiden, kuluttajalaitteiden ja valaistuksen

energiankulutuksesta energiamuodoittain eriteltynä. Tässä työssä ei huomioitu jäähdytystä (15, s. 14).

Ostoenergiankulutus lasketaan kaavalla 40.

$$E_{\text{osto}} = \frac{Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{lämmitys}} + W_{\text{ilmanvaihto}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} + W_{\text{valaistus}}}{A_{\text{netto}}} \quad \text{KAAVA 40}$$

3.8 E-luku

E-luku eli rakennuksen kokonaisenergiankulutus lasketaan rakennuksen ostoenergiankulutuksesta energiamuotojen kertoimia käyttäen kaavalla 41 (15, s. 14).

$$E = \frac{f_{\text{polttoöly}} Q_{\text{polttoöly}} + f_{\text{sähkö}} W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}} \quad \text{KAAVA 41}$$

Energiamuotojen kertoimina käytetään valtioneuvoston asetuksessa 9/2013 säädettyjä energiamuotojen kertoimien lukuarvoja (15, s. 14).

4 KOHTEET

Suomen Siemenperunakeskus Oy:n kiinteistöt sijaitsevat Tyrnävällä kahdessa eri toimipisteessä, Leppiojalla ja Keskikylällä. Leppiojan toimipisteessä keskitytään enemmän perunan viljelyyn ja Keskikylällä perunoiden varastointiin ja myyntiin.

4.1 Leppiojan toimipiste

Leppiojan toimipiste on rakennettu 1980-luvun alussa ja se on suunniteltu nykyistä käyttöä varten. Toimipisteessä on päärakennus, kalusto- ja traktorivaja, kalustohalli ja testi- ja lisäyskasvihuone sekä kolme erillistä kasvihuonetta.

Leppiojalla on oma lämpökeskus jossa tarvittava lämpöenergia tuotetaan nykyisin öljykattilalla. Nykyinen öljykattila on uusittu vuonna 2004, muuten lämmitysjärjestelmä on alkuperäinen. Alkujaan lämpöenergia on tuotettu hakekattilalla, joka toimii edelleen varakattilana mutta on nykyään varustettu öljypolttimella. Lämmitystehon tarve on aikojen saatossa vähentynyt, koska ympärivuotisesta kasvihuoneviljelystä on luovuttu ja kasvihuoneiden talviaikainen lämmittäminen on jäänyt pois. Alun alkaen lämpökeskuksella on tuotettu lämpöenergiaa myös Leppiojalla sijaitsevaan rivitaloon ja viljakuivaamoon. Sitten rivitalo on myyty ja eriytetty SPK:n lämpöverkosta ja viljakuivaamo purettu pois.

Laskennan kannalta päärakennus on jaettu kahteen osaan siten, että korjauspaja on huomioitu laskennassa omana rakennuksenaan. Kloonivarastoa ja testikasvihuonetta ei huomioitu laskennassa koska niitä ei lämmitetä. Lisäyskasvihuonetta ei huomioida laskennassa kuin lämmitettävän sosiaalitalan osalta.

Kalusto- ja traktorivajaa sekä kalustohallia ei lämmitetä. Kalustovajan yhteydessä sijaitseva lämpökeskus otetaan laskennassa huomioon omana rakennuksenaan.

4.1.1 Päärakennus

Päärakennus on valmistunut vuonna 1982, ja se on pinta-alaltaan 1444 m².

Pinta-alat jakautuvat seuraavasti: (16).

- kloonivarasto 286 m²
- testikasvihuone 276 m²
- tutkimustilat 231 m²
- läpikulkutilat 203 m²
- huoltotilat 150 m²
- varastotilat (lämmin) 103 m²
- hygieniatilat 71 m²
- toimistotilat 63 m²
- ruokailutilat 31 m²
- taukotilat 30 m².

Kloonivarastoa ja testikasvihuonetta ei lämmitetä, joten niitä ei huomioida laskennassa. Huoltotilat otetaan laskennassa huomioon omana rakennuksena ja sen tiedot löytyvät kohdasta huoltotilat. Huoltotilassa sijaitsee korjauspaja ja puutyöverstas.

Rakennus on rankorakenteinen ja alapohja maanvarainen. Kantavan sokkelirakenteen ja seinän liitos on toteutettu rakennusajankohdalle tyypillisesti ns. va-lesokkelirakenteella. Ulkovuori on toteutettu vaaka- ja pystypaneelilla ja profiilipellillä. Kattorakenne on pääsääntöisesti harjakatto, mutta laboratorion päässä on myös tasakattoa. Katemateriaalina toimii molemmissa pelti. Ikkunat ovat alkuperäisiä ja pääosin, kolmilasisia, kaksipuitteisia puuikkunoita, joiden sisemässä puitteessa on kaksilasinen umpiolasielementti. Aulan ikkunat ovat umpiolasielementtejä. Ulko-ovet ovat pääsisäänkäyntiä lukuun ottamatta alkuperäiset.

4.1.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtokoneet on esitetty liitteessä 9.

Lämmitys

Lämmönjakojärjestelmänä toimii vesikiertoinen radiaattorijärjestelmä ja jakojohdot on eristetty. Tuloilma lämmitetään tuloilmakoneissa vesikiertoisilla pattereilla ja rakennuksessa on lämpimän käyttöveden kierto.

4.1.3 Lisäyskasvihuoneen sosiaalitila

Lisäyskasvihuoneen yhteydessä oleva sosiaalitila on valmistunut vuonna 1982 ja se on pinta-alaltaan 17 m². Kasvihuoneen sosiaalitila on mukana laskennassa, koska sitä pidetään lämpimänä ympäri vuoden. Tila ei ole talvikäytössä, mutta siellä sijaitsee toimipisteen vesimittarit.

Rakennuksessa sijaitsee pukeutumistiloja ja WC. Rakennus on rankorakenteinen, ja siinä on maanvarainen alapohja. Kantavan sokkelin ja rungon liitos on toteutettu valesokkelirakenteella. Julkisivumateriaalina on profiilipelti. Rakennus on harjakattoinen ja katemateriaali on pelti. Ikkunat ovat alkuperäiset, kolmilasiset, kaksipuitteiset puuikkunat, joiden sisemmässä puitteessa on kaksilasinen umpiolasielementti

Ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihto on painovoimainen.

Lämmitys

Lämmönjakojärjestelmänä toimii vesikiertoinen radiaattorijärjestelmä ja jakojohdot on eristetty. Rakennuksessa on lämpimän käyttöveden kierto.

4.1.4 Huoltotilat

Huoltotilat sijaitsevat päärakennuksessa, mutta ne on ajateltu laskennassa omana rakennuksena. Huoltotiloissa sijaitsee korjauspaja ja puutyöverstas sekä sosiaalitilat. Huoltotilojen pinta-ala on yhteensä 150 m². Korjauspaja kytkeytyy länsiseinästä kloonivarastoon, joka huomioidaan laskelmissa. Rakennus on rankorakenteinen, ja siinä on maanvarainen alapohja ja kantava sokkeli. Julkisivut ovat profiilipeltiä. Rakennuksessa on harjakatto ja katemateriaali on peltiä. Ikkunat ovat alkuperäisiä, kolmilasisia, kaksipuitteisiä puuikkunoita, joiden si-

semmässä puitteessa on kaksilasinen umpiolasielementti. Nosto-ovet ovat polyuretaanieristettyjä alumiinilamellioivia. Muut ulko-ovet ovat puuta.

Korjauspajan lämpötilaksi mitattiin 12 °C ja puutyöverstaan osiolle 16 °C. Korjauspajan lämmitys hoidetaan kiertoilmakojeella tarvittaessa, puutyöverstaassa on vesikiertoiset radiaattorit. Huoltotiloissa on lämpimän käyttöveden kierto.

Korjauspajalla on useampia kohdepoistoja, mutta näiden käyttö on sen verran olematonta että niiden vaikutusta ei huomioida energiatarkastelussa. Tiloihin on myös oma tuloilmakone 407, mutta koska sitä ei käytetä, niin sitä ei laskennassa huomioida.

4.1.5 Lämmönjakokeskus

Lämmönjakokeskus sijaitsee kalustohallin yhteydessä, mutta se pitää ottaa laskennassa huomioon omana rakennuksena, koska kalustohallia ei lämmitetä. Lämmönjakokeskuksessa on lämpö alun perin tuotettu hakekattilalla ja sen hukkalämpö on riittänyt lämmittämään lämmönjakohuoneen. Nykyisin, kun lämpö tuotetaan öljykattilalla ja lämpöhäviöt ovat huomattavasti pienemmät, on tilaa jouduttu lämmittämään myös radiaattoreilla, jonka vuoksi tilan lämpöhäviöt on tarkasteltava.

Rakennuksen lattian korko on ympäröivää maanpintaa huomattavasti alempana. Perustus on nostettu maanvastaisella betonisokkelilla maanpinnan yläpuolelle ja siitä ylöspäin se on toteutettu teräsrakenteisena. Rakennuksessa on peltikatto ja julkisivut ovat profiilipeltiä. Ikkunat ovat kaksilasisia umpiolasielementtejä. Lämpökeskuksen pinta-ala on 100 m².

Ilmanvaihto

Lämpökeskuksessa ei ole koneellista ilmanvaihtoa.

Lämmitys

Tilan lämmitys hoidetaan lämmitysjärjestelmän hukkalämmöllä ja vesikiertoisilla radiaattoreilla. Tilassa sijaitsee 8 m³:n lämminvesivaraaja ja öljykattila, joista tuleva hukkalämpö hyödynnetään sellaisenaan tilan lämmityksessä.

4.2 Keskikylä

Keskikylälle on alkujaan rakennettu huoltorakennus ja perunavarasto 1 vuonna 1977. Molempia on laajennettu 1980-luvun alkupuolella, ja vuonna 1985 keskikylälle valmistui perunahalli 2, toimistorakennus ja kalustohalli.

Nykyään Keskikylän toimipisteessä sijaitsee kaksi perunavarastorakennusta, toimistorakennus, huoltorakennus ja kalustohalli. Kalustohallia ei lämmitetä ja siksi sitä ei tarkastella tässä työssä. Perunavarastoja ei tarvitse lämmittää kuin lajittelutilojen osalta, joten laskennassa lajittelutilat ajatellaan omina rakennuksina ja itse perunavarastot rajataan laskennan ulkopuolelle. Keskikylän toimipisteen perunavarastoissa varastoidaan noin 10 miljoonaa kiloa perunaa. Perunoi- ta lajitellaan ja pakataan tammi- toukokuun aikana.

Keskikylällä on oma lämmönjakokeskus, jossa lämpö tuotetaan öljykattilalla. Kattila on alun perin suunniteltu hake/halkokäyttöiseksi, mutta sitä on käytetty lähes aina öljypolttimella. Öljypoltin on uusittu viimeksi 2015.

4.2.1 Toimistorakennus

Toimistorakennuksessa sijaitsee toimisto-, laboratorio-, sosiaali- ja pukutiloja. Se on rakennettu vuonna 1985 ja sen pinta-ala on 234 m². Rakennus on rankorakenteinen ja alapohja maanvarainen. Kantavan sokkelin ja rungon liittyminen on toteutettu valesokkelirakenteella. Rakennus on harjakattoinen ja katemateriaalina on pelti. Ulkovuori on profiilipeltiä. Ikkunat ovat alkuperäisiä, kolmilasisia, kaksipuitteisia puuikkunoita, joiden sisemmässä puitteessa on kaksilasinen umpiolasielementti

Ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihto hoidetaan tuloilmakoneella 36 TK ja huippuimureilla 36 PF1, 36 PF2, 36 PF3 ja 36 PF4. Huippuimuri 36 PF4 on laboratoriotilan kohdepoisto, ja sen käyttö on niin vähäistä, ettei sitä huomioida energialaskuissa. Järjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa. Tuloilma lämmitetään vesipatterilla.

Ilmanvaihdossa on kello-ohjaus ja tarkasteluhetkellä ilmanvaihto oli käytössä arkisin klo 04–20 ja sunnuntaisin klo 6–16.

Lämmitys

Lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoiset radiaattorit. Toimistorakennuksessa on oma lämminvesivaraaja, jossa lämmin käyttövesi tuotetaan sähkövastuksella.

4.2.2 Huoltorakennus

Huoltorakennus on rakennettu alkujaan vuonna 1977 ja sitä on laajennettu perunavarasto 1:n laajentamisen yhteydessä 1980-luvun alussa. Rakennuksessa sijaitsee perunavarasto 1:n henkilökunnan pukuhuone- ja sosiaalitynit sekä työjohtajan toimistotilat. Huoltorakennuksen pinta-ala on kuvista mitattuna 92,5 m². Rakennus on rankorakenteinen ja siinä on maanvarainen alapohja. Kantavan sokkelin ja rungon liittymä on toteutettu valesokkelirakenteella. Ulkokuori on profiilipeltiä. Rakennuksessa on harjakatto, ja katemateriaali on pelti. Ikkunat ovat alkuperäisessä osassa kaksi puitteiset ja kolmilasiset ja laajennusosalla, kolmilasisia, kaksipuitteisia puuikkunoita, joiden sisemmässä puitteessa on kaksilasinen umpiolasielementti.

Ilmanvaihto

Huoltorakennuksessa on oma tuloilmakone, jossa on tuloilman lämmitys vesipatterilla. Ilmanvaihtokoneessa on ongelmia säätimen kanssa ja sitä ei käytetä sen epävarman toiminnan takia. Ilmanvaihtoa ei huomioida laskelmissa.

Lämmitys

Huoltorakennuksessa on vesiradiaattorit, ja jakojohdot on eristetty. Rakennuksessa on lämpimänkäyttöveden kierto.

4.2.3 Perunanlajittelutila Halli 1

Perunanlajittelutila on rakennettu perunavarasto 1:n laajennuksen yhteydessä 1980-luvulla. Halli on rankorakenteinen, alapohja on maanvarainen, ja siinä on kantava sokkeli. Ulkokuori on profiilipeltiä. Rakennuksessa on harjakatto, ja katemateriaali on pelti. Lajittelutila rajautuu luoteisseinästään perunavarastoon, ja se huomioidaan laskelmissa. Ikkunat ovat kaksilasisia umpiolasielementtejä. Nosto-ovet ovat polyuretaanieristettyjä alumiinilamelliovia, ja käyntiovi on puuta.

Ilmanvaihto

Käsittelyaikana tilaa lämmitetään tuloilmalla, joka lämmitetään tuloilmakoneessa olevalla vesipatterilla. Tuloilmakoneessa on mahdollisuus kierrättää osaa ilmaa. Kiertoilman osuus säädetään Oumanin ohjaimesta käsin, ulkoilman lämpötilan mukaan. Kylmällä ilmalla kierrätetään ilmaa enemmän kuin lämpimällä säällä. Alun perin poistoilma on ajateltu poistettavaksi huippuimurilla 16PF1, mutta sitä ei käytetä tällä hetkellä kuin erittäin pölyisten erien käsittelyn aikana. Yleensä lajittelun ollessa käynnissä toista nosto-ovea pidetään hiukan raollaan, ja poistoilma pyritään ohjaamaan sen kautta ulos.

Energialaskennassa ei huomioida poistoilmakonetta, koska käyttö on niin vähäistä. Laskelmat tehdään oletuksella, että tuloilmakone toimii käsittelyaikana mitoitusilmavirralla, ja tuloilmassa on tammi- ja helmikuussa kierrätysilmaa mukana 20 prosenttia. Muuna aikana ei huomioida kiertoilman osuutta. Parannuslaskelmissa oletetaan, että poistoilma voidaan poistaa hallitusti huippuimurin kautta ja siitä voidaan ottaa lämpöä talteen. Tämän toteuttamiseksi poistoilmakoneelle on rakennettava riittävä suodatus.

Lämmitys

Tila lämmitetään lajitteluajana tuloilmalla. Tuloilmakoneessa on vesikiertoinen patteri, jolla tuloilma lämmitetään. Lajitteluajan ulkopuolella lämmitys hoidetaan sähkölämmittimellä.

4.2.4 Perunanlajittelutila Halli 2

Perunanvarasto lajittelutiloineen on rakennettu vuonna 1985. Halli on rankarakenteinen, alapohja on maanvarainen, ja siinä on kantava sokkeli. Ulkovuori on profiilipeltiä. Rakennuksessa on harjakatto ja katemateriaali on pelti. Perunankäsittelytila sijaitsee keskellä varastorakennusta, ja se rajautuu koillis- ja luo- teisseiniltään perunanvarastoihin, joka huomioidaan laskelmissa. Ikkunat ovat kaksilasisia umpiolasielementtejä. Nosto-ovet ovat polyuretaanieristettyjä alumiinilamelliovia, ja kulkuovet puuvia.

Ilmanvaihto

Käsittelyaikana tilaa lämmitetään tuloilmakoneessa olevalla vesipatterilla. Tuloilmakoneessa on mahdollisuus kierrättää osaa ilmasta. Kiertoilman osuus säädetään Oumanin ohjaimesta käsin, ulkoilman lämpötilan mukaan. Kylmällä ilmalla kierrätetään ilmaa enemmän kuin lämpimällä säällä. Alun perin poistoilma on ajateltu poistettavaksi huippuimurilla 34PF1, mutta sitä ei käytetä tällä hetkellä kuin erittäin pölyisten erien käsittelyn aikana. Yleensä lajittelun ollessa käynnissä toista nosto-ovea pidetään hiukan raollaan, ja poistoilma pyritään ohjaamaan sen kautta ulos.

Energialaskennassa ei huomioida poistoilmakonetta, koska käyttö on niin vähäistä. Laskelmat tehdään oletuksella, että tuloilmakone toimii käsittelyaikana mitoitusilmavirralla, ja tuloilmassa on tammi- ja helmikuussa kierrätysilmaa mukana 20 prosenttia. Muuna aikana ei huomioida kiertoilman osuutta. Parannuslaskelmissa oletetaan, että poistoilma voidaan poistaa hallitusti huippuimurin kautta, ja siitä voidaan ottaa lämpöä talteen. Tämän toteuttamiseksi poistoilmakoneelle on rakennettava riittävä suodatus.

Lämmitys

Tila lämmitetään lajitteluajana tuloilmalla. Tuloilmakoneessa on vesikiertoinen patteri, jolla tuloilma lämmitetään. Lajitteluajan ulkopuolella lämmitys hoidetaan sähkölämmittimellä.

5 LÄMMITYSTEHON TARVE

Osana opinnäytetyötä selvitettiin lämmitystehontarpeet Leppiojan ja Keskikylän toimipisteistä alkutiedoiksi toiseen opinnäytetyöhön, jonka teki energiapuolelle suuntautunut insinööriopiskelija. Työn aiheena oli energiatuotantotavan muutoksen teknistaloudellinen selvitys. Lämmitystehontarve on muuttunut molemmissa toimipisteissä alkuperäisistä suunnitelmista poiketen, ja siksi nykyinen tehontarve oli hyvä selvittää todellisia kulutuksia seuraamalla.

Leppiojan lämmitysjärjestelmään aiemmin kuuluneet viljankuivaamo ja rivitalo on poistettu lämmitysverkosta. Viljankuivaamo on purettu ja rivitalo myynnin yhteydessä eriytetty SPK:n lämmitysjärjestelmästä. Aiemmin ympärivuotisessa käytössä olleet kasvihuoneet ovat nykyään kesäkäytöllä, joten niitä ei tarvitse talvisin lämmittää. Muutoinkin järjestelmien käyttöaikoja ja tehoja on muunneltu esimerkiksi ilmanvaihdon tehoa pudottamalla tai käyntiaikoja säättämällä energiaa säästävemmäksi alkutilanteeseen nähden.

Keskikylällä suurin yksittäinen muutos energiankäytössä on syntynyt perunankäsittelytilojen ilmanvaihdon käyttömuutoksella, jolla on saatu energiansäästöä aikaiseksi, ja se vaikuttaa suoraan myös mitoitustehontarpeeseen. Tuloilmakoneen kierrättäessä tuloilmaa on poistoilmakone käynyt edelleen samalla teholla aiheuttaen isomman alipaineen ja ottanut korvausilman raakana halliin. Nyt kun poistoilmakone ei käy, ilman kierrätyksestä saadaan irti maksimaalinen hyöty.

Lämmitystehontarve määritettiin mittausten perusteella. Lämmitystehontarpeen laskemiseksi oli selvitettävä molempien toimipisteiden konduktanssit. Tätä varten oli mitattava toimipisteen energiankulutusta ja lämpötilaeroa ulkoilman ja tilavuudella painotetun sisälämpötilan välillä. Mittauksia tehtiin Leppiojalla 8.1.–11.2.2016 ja Keskikylällä 11.2.–28.3.2016. Konduktanssi on lämmitettävien rakennusten tilavuudella painotetun sisälämpötilan ja ulkolämpötilan eron suhde tehontarpeeseen. Lasketulla konduktanssilla voidaan redusoida lämmitystehontarve mitoitustilanteessa ja laskea vuosittainen energiantarve lämpötilan pysyvyyssäyrän avulla.

5.1 Mittaukset

Mittauksessa hyödynnettiin öljypolttimelle menevässä syöttöletkussa olevaa öljynvirtausmittaria ja Leppiojalla sijaitsevan sääaseman dataa. Lämmitettävien rakennusten sisälämpötilat mitattiin käyttäen koulun databloggereita ja Q-track-mittareita. Sääasema ottaa mittauksen 4 minuutin välein, joten käytössä oli suhteellisen tarkka säädata ja sisälämpötiladata. Öljynkulutusta seurattiin tuntitasolla ja sen seurantaan viritettiin digikamera, joka otti ajastetusti valokuvan öljynkulutusmittarin lukemasta tunnin välein.

Koska erilaisia lämmitettäviä rakennuksia oli useita ja niiden käyttötarkoitus ja lämpötila oli hyvin erilainen, sisälämpötilaa mitattiin kaikista lämmitettävistä rakennuksista.

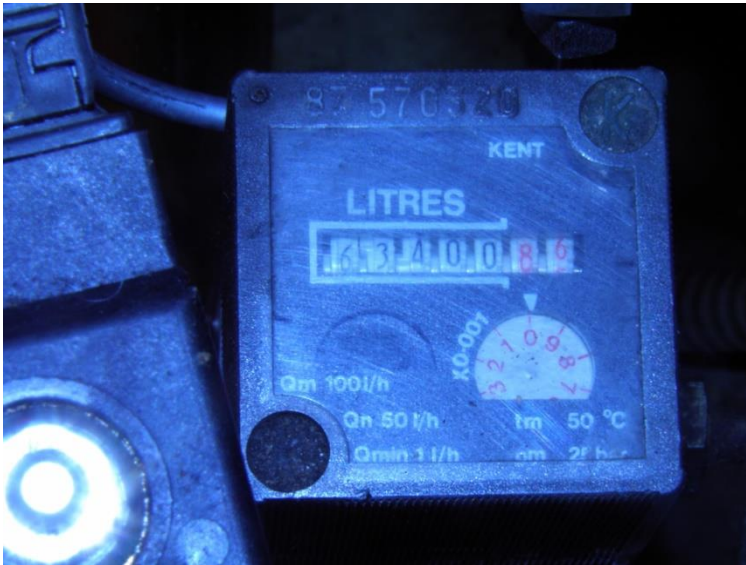
5.2 Öljynkulutus

Öljynkulutuksen seurantaan aseteltiin digitaalikamera lämmönjakuhuoneeseen. Kamera ajastettiin ottamaan valokuva öljynvirtausmittarin lukemasta tunnin välein, jolloin oli mahdollista selvittää öljynkulutus tunneittain. Kuvassa 9 on esitetty digitaalikamera aseteltuna lämmönjakuhuoneeseen kuvaamaan öljynkulutuslukemia.

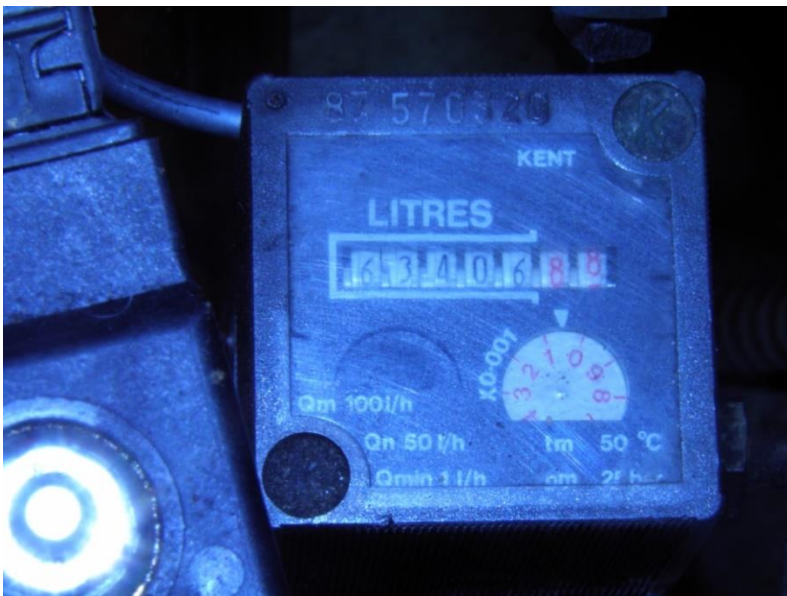


KUVA 9. Öljynkulutuksen seuranta digitaalikameralla

Kuvista saatavista öljynvirtausmittarin lukemista pystyi laskemaan aina edellisellä tunnilla kuluneen öljymäärän. Kuvassa 10 on esitetty öljynvirtausmittarin lukema ajankohdalta 13.01.2016 klo 13, ja kuvassa 11 on esitetty kulutuslukema 13.01.2016 klo 14. Näiden lukemien erotuksena saadaan tunnin kulutus. Kulutuslukema syötettiin aina kuluneelle tunnille, eli tässä tapauksessa tunnilla 13 oli kulunut öljyä 6,02 litraa.



KUVA 10. Öljynvirtausmittarin lukema 13.01.2016 klo 13



KUVA 11. Öljynvirtausmittarin lukema 13.01.2016 klo 14

5.3 Syötetty energia

Mitattu polttoaineenkulutus muutettiin lämpöenergiaksi kaavalla 42. Käytetty polttoaine on kevyttä polttoöljyä ja sen tehollisena lämpöarvona käytettiin 10 kWh:a/l (15, s. 73).

$$Q_{\text{lämmitys, energia}} = P_{\text{lämmitys}} \cdot Q_{\text{PA, omin.}}$$

KAAVA 42

5.4 Lämmitysteho

Kattilaan syötetyn polttoaineen energiamäärää ei saada täydellisesti hyödynnettyä lämmityksessä, vaan osa syötetystä energiasta kuluu kattilahäviöissä. Kattiloiden kokonaishyötysuhteeksi arvioitiin aiempien mittausten mukaisesti ja laitevalmistajan haastattelujen pohjalta olevan Leppiojalla 91 prosenttia ja Keski kylällä 85 prosenttia (16, s. 13–14).

Öljynkulutuksesta lasketusta syötetystä lämpöenergiasta laskettiin lämmitysjärjestelmään hyödyksi saatava lämpöenergia kaavalla 43 (18, s. 317).

$$Q_{\text{lämmitys, hyöty}} = Q_{\text{lämmitys}} \cdot \eta_{\text{kattila,tot}}$$

KAAVA 43

Lämmitystehoksi hyödyksi saatava lämpöenergia muutetaan kaavalla 44.

$$\varnothing = \frac{Q_{\text{lämmitys, hyöty}} [\text{kWh}]}{\Delta t [\text{h}]}$$

KAAVA 44

5.5 Ulkolämpötila

Ulkolämpötilatietoina käytettiin Leppiojan oman sääaseman tietoja. Sääasema tallentoi ulkoilman lämpötilan, kosteuden, vallitsevan tuulen nopeuden, -suunnan sekä auringon säteilyä. Konduktanssin selvittämiseksi riitti ulkolämpötilatiedot. Sääasema tallentaa säätiedot 15 kertaa tunnissa.

5.6 Sisälämpötila

Sisälämpötilaa mitattiin toimipaikoittain kaikista lämmitettävistä rakennuksista. Mittausjaksosta saatiin aina kullekin rakennukselle keskilämpötila.

Sisälämpötiloja mitattiin koulun databloggereilla, joita oli parhaillaan asetettu eri rakennuksiin yhdeksän kappaletta. Toimistotiloissa ja perunankäsittelytiloissa mittauksia tehtiin lisäksi Q-track-mittareilla, joilla saatiin mitattua samalla työkentelytilojen ilman hiilidioksidipitoisuutta, jonka avulla pystyi arvioimaan ilmanvaihdon riittävyyttä. Databloggeri on esitetty kuvassa 12 ja Q-track kuvassa 13.



KUVA 12. Databloggeri



KUVA 13. Q-track sisäilman laadun mittari.

5.7 Leppiojan toimipisteen konduktanssi

Leppiojalla mittaukset päästiin suorittamaan parhaaseen mahdolliseen aikaan ulkoilmaolosuhteiden kannalta, kun ulkolämpötila laski mittausjakson aikana lähes mitoitusolosuhteisiin. Mittausajanjakso toteutettiin Leppiojan toimipisteessä ajalla 15.1.–4.2.2016. Leppiojan tilavuuksilla painotettu sisälämpötila oli 20,2 °C. Konduktanssi lasketaan kaavalla 45. (18, s. 403).

$$G = \frac{\emptyset}{\Delta T_{ka,painotettu}}$$

KAAVA 45

Konduktanssi laskettiin keskiarvona koko mittausajalle, keskiarvona arkikäytönajalle (ma–pe, klo 8–16) ja keskiarvona yö-/viikonloppuajalle. Leppiojan konduktanssin keskiarvot on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Leppiojan konduktanssit

Leppiojan konduktanssit	
Arkikäytön aika (ma–pe, klo 7–16)	1,87 kW/°C
Keskiarvo yö/vkl	1,08 kW/°C
Keskiarvo koko ajalta	1,29 kW/°C

Ilmanvaihtojärjestelmä ei toiminut suunnitellusti mittausjakson aikana. Laboratorion ilmanvaihtokoneita ohjaava kellokytkin oli hajonnut, ja koneet eivät olleet käynnissä mittauksen aikana. Toimistotilojen ilmanvaihtokoneet olivat jääneet käymään jatkuvaa puolitehoa, vaikka niiden olisi pitänyt sammua yö- ja viikonloppuajaksi. Näiden vaikutukset konduktanssiin huomioitiin lämmitystehontarpeessa siten, että jatkuvasti puolitehoa käyvien koneiden vaatima lämmitysteho käytönajan ulkopuolella ja lisäämällä pysähdyksissä olleiden koneiden vaatima lämmitysteho käytönajan tehoihin.

Laboratorion ilmanvaihtokoneiden TK401 ja PK401 1 toimimattomuuteen kiinnitettiin huomiota, kun yhden toimistohuoneen hiilidioksidipitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia kuin muissa vastaavissa tiloissa. Toimistotilojen tuloilmakone TK406 ja poistoilmakoneiden PK4061 ja PK406 2 koneiden ohjauksen unohtuminen jatkuvalla puoliteholle selvisi tarkistettaessa Oumanin säätimeltä koneelle ohjelmoituja käyntiaikoja ja tehoja.

Energiankulutusta mitattaessa kulutuksesta puuttui viallisen kellokytkimen vuoksi pysähdyksissä olleiden ilmanvaihtokoneiden vaatima lämmitysenergiantarve. Tämän vaikutus konduktanssiin oli 0,414 kW/°C, ja se lisättiin ilmanvaihtokoneiden normaalille käyntiajalle.

Jatkuvalla puoliteholla käyneet koneet nostivat konduktanssia virheellisesti ajalla, jolloin koneet eivät normaaliasetuksilla olisi käyneet. Koneiden virheellisen käynnin vaikutus konduktanssiin oli 0,325 kW/°C, joka piti vähentää ajalta, jolloin koneet olisivat normaalitilanteessa olleet pysähdyksissä.

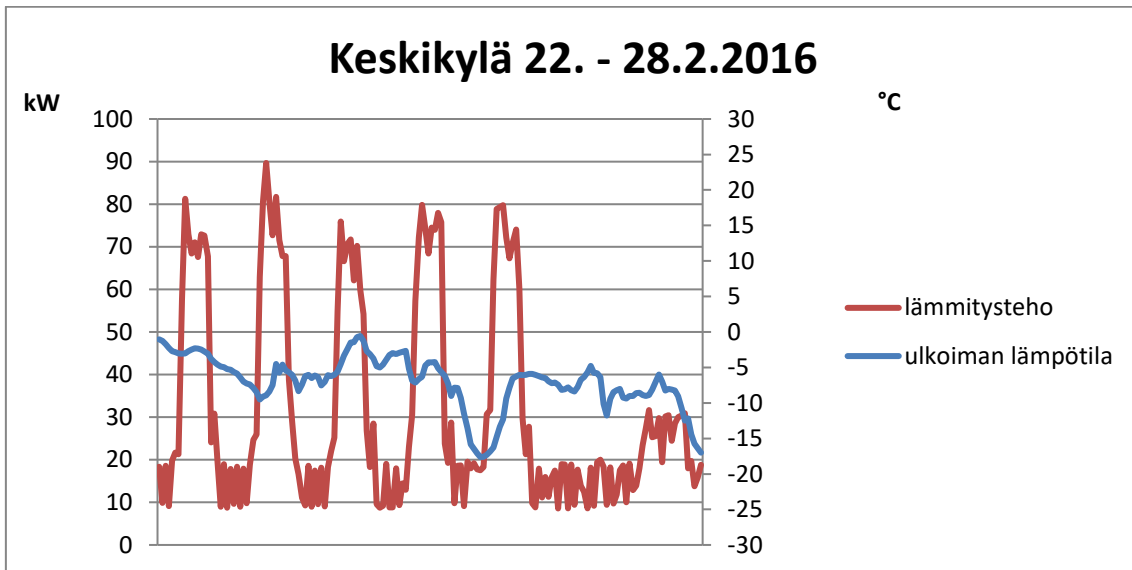
Ilmanvaihtokoneiden virheellisen toiminnan vaikutus lämmitysenergiantarpeeseen laskettiin kaavalla 46. Tuloilman lämpötilana käytettiin huoneen lämpötilaa. Näin saatiin samalla huomioitua lämmitysteho, joka kuluu tilassa tuloilman lämmittämiseen. (19, s.131.)

$$\dot{Q}_{\text{ilma}} = \rho_i q_{v,i} c_{p,i} (T_{\text{tulo}} - T_{\text{ulko}})$$

KAAVA 46

5.8 Keskikylän toimipisteen konduktanssi

Keskikylällä mittaukset toteutettiin ajalla 4.2.–27.3.2016. Mittausjaksosta tuli aika pitkä, kun toivottiin että päästään mittaamaan tilannetta, jossa ulkolämpötila laskee lähelle Tyrnävän mitoitusulkolämpötilaa. Valitettavasti näin ei käynyt. Keskikylän tilavuuksilla painotettu sisälämpötila on 13,8 °C. Mittausjaksolla alin mitattu lämpötila oli –16,4 °C, mutta se mitattiin käytönajan ulkopuolella. Keskikylän toimipisteen mitoitusteho on kovimmillaan käytönaikana, kun perunanlajittelu on käynnissä. Kuvassa 14 on esitetty kuvaaja viikon ajalta lämmitystehontarpeesta tuntitasolla. Käytönajan kulutukset näkyvät kuvaajassa selvinä piikkeinä. Vaihteleva kiertoilman määrä halleissa ja hallitsematon poistoilmanvaihto yhdessä nosto-ovien jatkuvan käytön ja avonaisena pitämisen kanssa ei anna kovin tasaista kulutuskäyrää.



KUVA 14. Keskikylän lämmitystehtotarve

Keskikylän lämmitystehtotarve on huipussaan silloin, kun perunanlajittelu on käynnissä. Keskikylän toimipisteen lämmitystehtotarve päädyttiin laskemaan koko mittausjakson arkikäytönajan konduktanssin keskiarvoa käyttäen. Arkikäytönäikainen keskikulutus oli $3,94 \text{ kW/}^{\circ}\text{C}$, ja sillä laskettuna mitoitustehoksi tuli $180,5 \text{ kW}$. Mitoitustehossa tulee huomioida, että halleissa on lisälämmittiminä yhteensä 15 kW :n edestä sähköllä toimivia lämpöpuhaltimia, joiden kulutus ei näy öljynkulutuksesta lasketussa kulutuksessa.

6 ENERGIANKULUTUKSET

Energiankulutuksen laskeminen suoritetaan luvussa 1 esitetyllä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisella kuukausitason energiatasemennelmällä käyttäen laskennassa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 Jyväskylän säätietoja sekä mitattuja ja suunnitelmista katsottuja tietoja.

Työssä on laadittu oma Excel-taulukko jokaiselle tarkasteltavalle rakennukselle, ja se on rakennettu siten, että siihen voi syöttää parannuksia. Taulukko laskee syötetyillä parannuksilla säästyneen energian määrän vuodessa ja vertaa sitä alkutilanteeseen. Taulukossa on mahdollisuus syöttää ikkunoille ja oville U-arvot, seinille ja katolle lisäeristysvahvuudet ja lämmöntalteenotolle vuosihyötysuhteet, joilla taulukko laskee tehtävän parannuksen vaikutuksen energiankulutukseen.

6.1 Lähtötiedot

Laskennassa lähtötietoina on käytetty rakennussuunnitelmia, käyttökilokunnan haastatteluja, mittauksia ja paikan päällä tehtyjä havaintoja sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osien D5:n ja D3:n mukaisia, rakennuksen kulukselle tyypillisiä arvoja ja laskettavan säävyöhykkeen ulkolämpötiloja ja aurin gon säteilyn arvoja.

Rakennusselityksistä oli paljon apua ja siellä oli esitettynä k-arvot lähes kaikille rakenteille. Niitä on käytetty U-arvona laskelmissa. Rakenteille tai rakennusosille, joille näitä ei löytynyt, on U-arvojen laskenta tehty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4:n mukaisesti tai käyttäen rakennusajankohdalle tyypillisen rakennusosan U-arvoja. Lähtöarvot on koottu rakennuksittain liitteisiin 1–8.

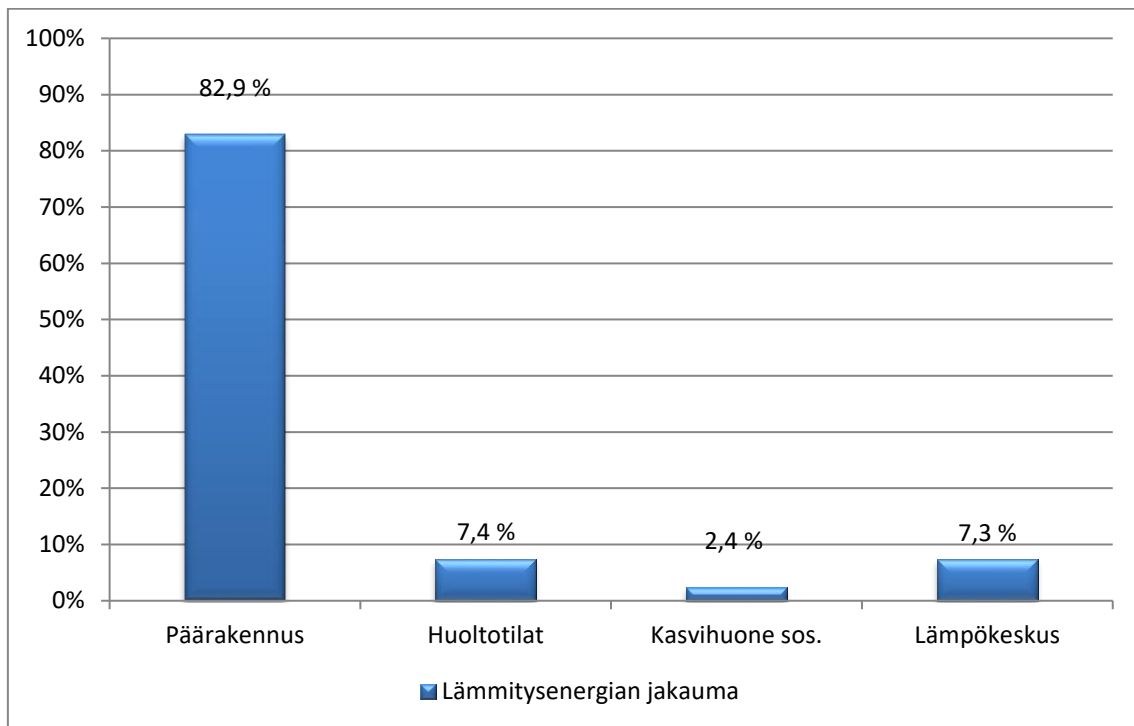
Öljyn hintana on käytetty Öljy- ja biopolttoaineala ry:n julkaisemaa kuluttajahintaseurannan mukaista kevyen polttoöljyn kuluttajahintaa. Kuluttajahinnasta on laskettu arvonverolisätön litrahinta, jota on käytetty takaisinmaksuaikoja laskettaessa. Opinnäytetyön laskelmia tehtäessä kuluttajahintaseurannan viimeinen noteeraus öljyn hinnalle on 15.3.2017 päivätty hinta, ja se on 0,87 €/l sisältäen kaikki verot. Laskelmissa on käytetty arvonlisäverottomana hintana 0,70 €/l.

6.2 Tulokset

Laskennan tulokset käydään läpi tässä osiossa toimipaikoittain ja rakennuksittain. Tuloksissa esitetään toimipaikoittain laskennallisen energiankulutuksen prosenttiosuuksia ja euromääriä.

6.2.1 Leppioja

Leppiojan toimipisteen laskennallisen energiankäytön jakauma rakennuksittain on esitetty kuvassa 15. Laskennassa on huomioitu lämpökuormien lämmityshontarvetta vähentävä vaikutus. Päärakennuksen lämmitysenergiatarve on 82,9 prosenttia koko Leppiojan toimipisteen öljynkulutuksesta.



KUVA 15. Leppiojan toimipisteen lämmitysenergian prosenttijakauma

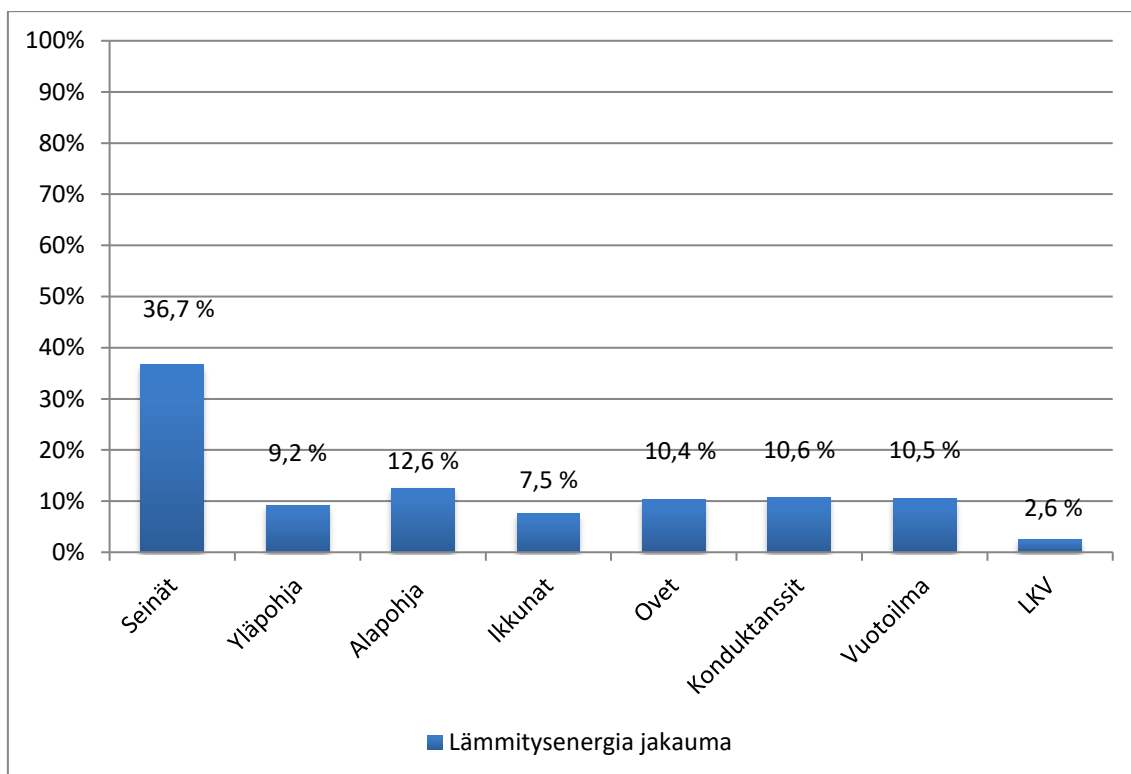
Taulukossa 5 on esitetty Leppiojan toimipisteen laskennallisen lämmitysenergiantarpeen mukaisesti eri rakennusten euromääräiset öljynkulutukset vuositasolla.

TAULUKKO 5. Leppiojan rakennusten laskennallinen vuosittainen lämmitysenergian tarve euroissa.

Rakennusten lämmitys	
Rakennus	€/a
Päärakennus	12 112 €
Huoltotilat	1 078 €
Kasvihuone sos	350 €
Lämpökeskus	1 068 €

6.2.2 Kasvihuoneen sosiaalitila

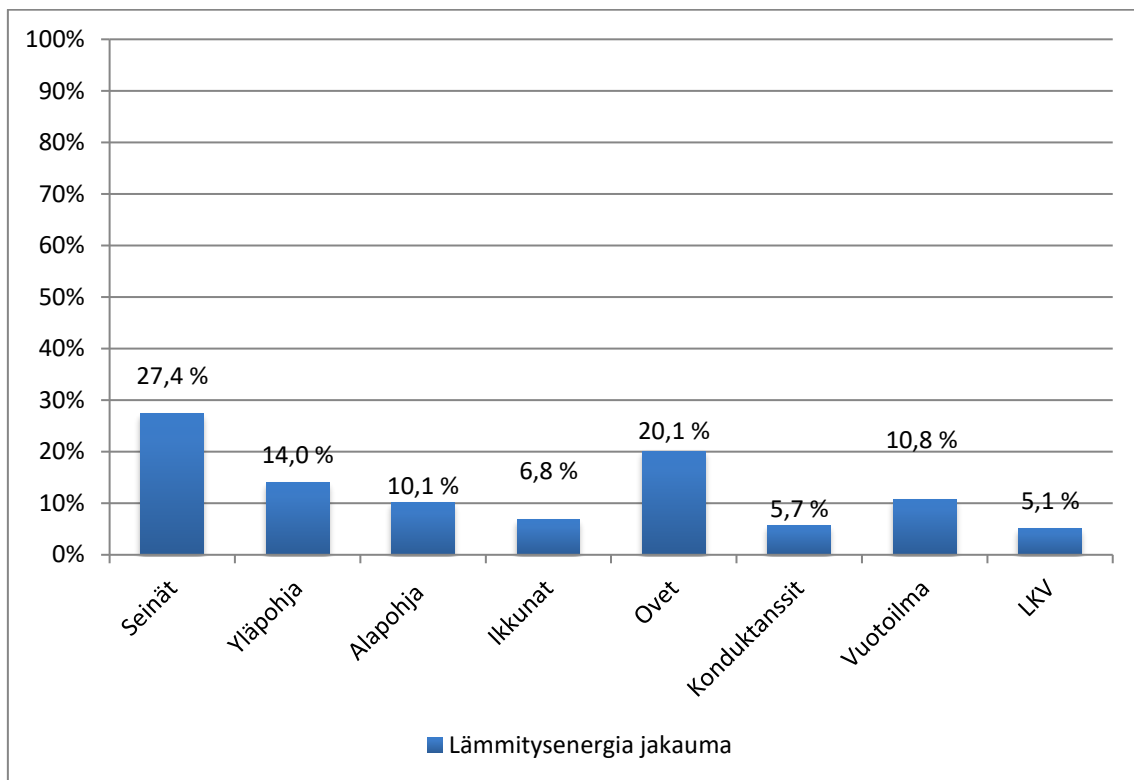
Kasvihuoneen sosiaalitalan lämmitysenergiantarpeen jakautuminen on esitetty kuvassa 16. Suurin osuus lämmitysenergiantarpeesta aiheutuu ulkoseinistä, joiden kautta johtuu 36,7 prosenttia kasvihuoneen sosiaalitalan vuosittaisesta lämmitysenergiantarpeesta. Kasvihuoneen sosiaalitalan kulutus on 2,4 prosenttia koko Leppiojan toimipisteen lämmitysenergiankulutuksesta vuositasona.



KUVA 16. Kasvihuoneen sosiaalitalan lämpöhäviöjakauma

6.2.3 Huoltotilat

Huoltotilojen laskennallinen vuosittainen lämmitysenergiantarve jakautuu kuvan 17 mukaisesti. Suurin yksittäinen lämmitysenergiantarve aiheutuu ulkoseinistä, joiden kautta johtuu 27,4 prosenttia koko rakennuksen vuosittaisesta lämmitysenergiantarpeesta. Korjauspajan suurien nosto-ovien kautta johtumalla aiheutuva lämmitysenergiantarve on myös suhteellisen suuri, 20,1 prosenttia vuosittaisesta lämmitysenergiantarpeesta. Huoltotilojen lämmitysenergiantarve on 7,4 prosenttia Leppiojan toimipisteen laskennallisesta vuosittaisesta lämmitysenergiantarpeesta.

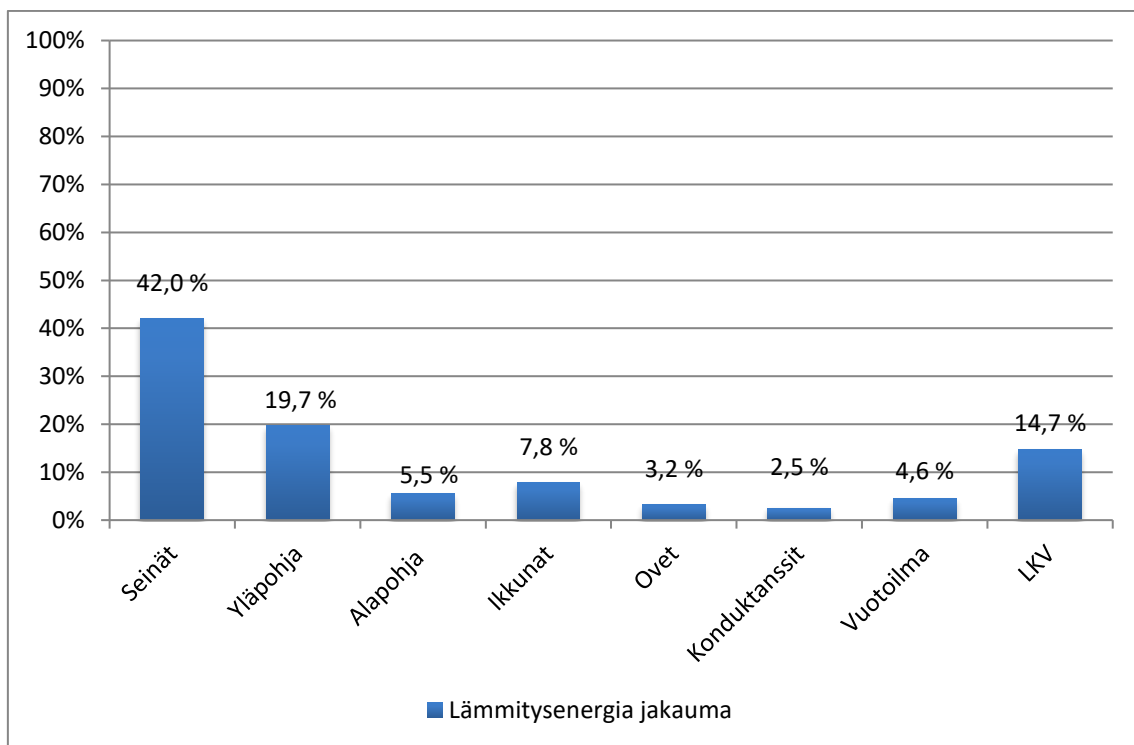


KUVA 17. Huoltotilojen lämmitysenergiantarpeen jakautuminen

6.2.4 Lämmönjakokeskus

Lämmönjakokeskuksen laskennallinen vuosittainen lämmitysenergiantarpeen jakauma on esitetty kuvassa 18. Lämmönjakokeskuksen laskennallisesta vuosittaisesta lämmitystehontarpeesta lähes puolet aiheutuu johtumalla ulkoseinien kautta, ja miltei neljäsosa johtumalla yläpohjan kautta. Lämpöenergia on alun perin tuotettu hakekattilalla, jolloin kattilan lämpöhäviöt tilaan ovat olleet niin

suuria, ettei eristykseen ole tarvinnut juurikaan panostaa. Nykyään lämpö tuotetaan öljykattilalla, ja lämpöhäviöt ovat huomattavasti pienemmät alkuperäiseen nähden, jonka vuoksi lämmönjakokeskusta on nykyään lämmitettävä. Lämmönjakokeskuksen laskennallinen lämmitysenergiankulutus on 7,3 prosenttia Leppiojan toimipisteen laskennallisesta kokonaislämpöenergiankulutuksesta vuositasolla. Korkea lämpimän käyttöveden määrä lämmönjakokeskuksessa johtuu siitä, että lämpimän käyttöveden jakautuminen muille rakennuksille on laskettu 6 kWh/m² a ja loput lämpimän käyttöveden kulutuksesta on jätetty lämmönjakokeskukselle. Lämmintä käyttövettä kuluu kasteluvetenä, mutta kasvihuoneet eivät lämmittämättöminä olleet mukana energiatarkeissa.

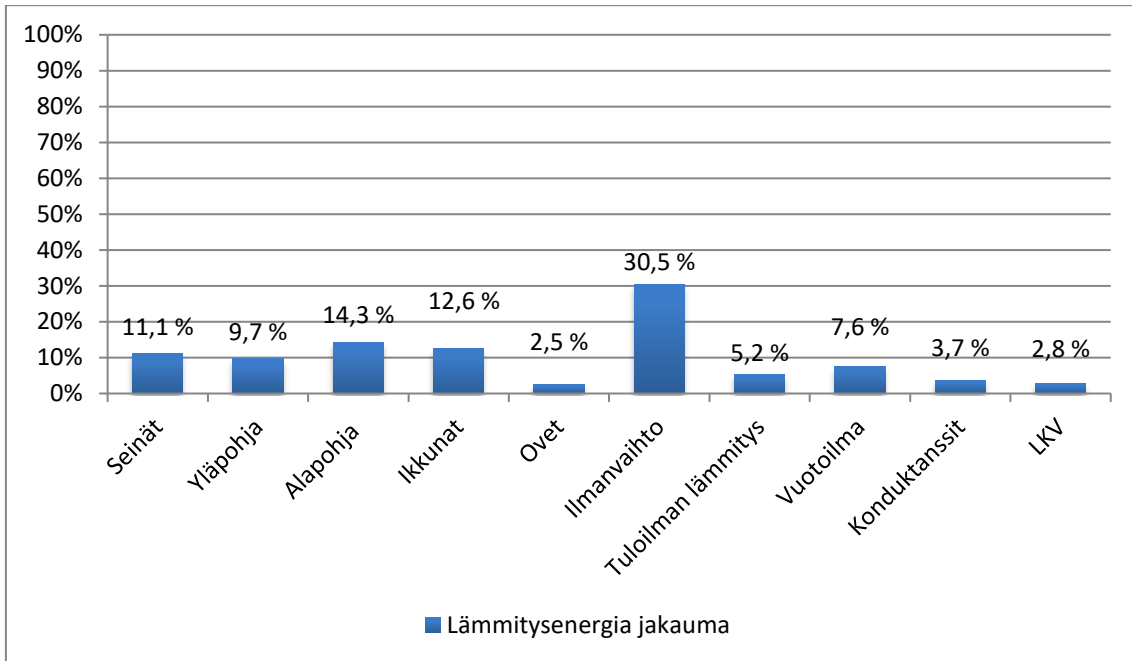


KUVA 18. Lämmönjakokeskuksen lämmitysenergiatarpeen jakautuminen

6.2.5 Päärakennus

Päärakennuksen laskennallinen lämmitysenergiatarve jakautuu kuvan 19 mukaisesti. Poiketen muista Leppiojan rakennuksista suurimmaksi lämmitysenergiankuluttajaksi nousee tuloilman lämmittäminen 31,2 prosentin osuudella. Koska päärakennus aiheuttaa 82,9 prosenttia Leppiojan kokonaislämmitysenergian-

tarpeesta, yksistään päärakennuksen tuloilman lämmittämisen osuus on reilu neljännes koko Leppiojan toimipisteen lämmitysenergiantarpeesta.

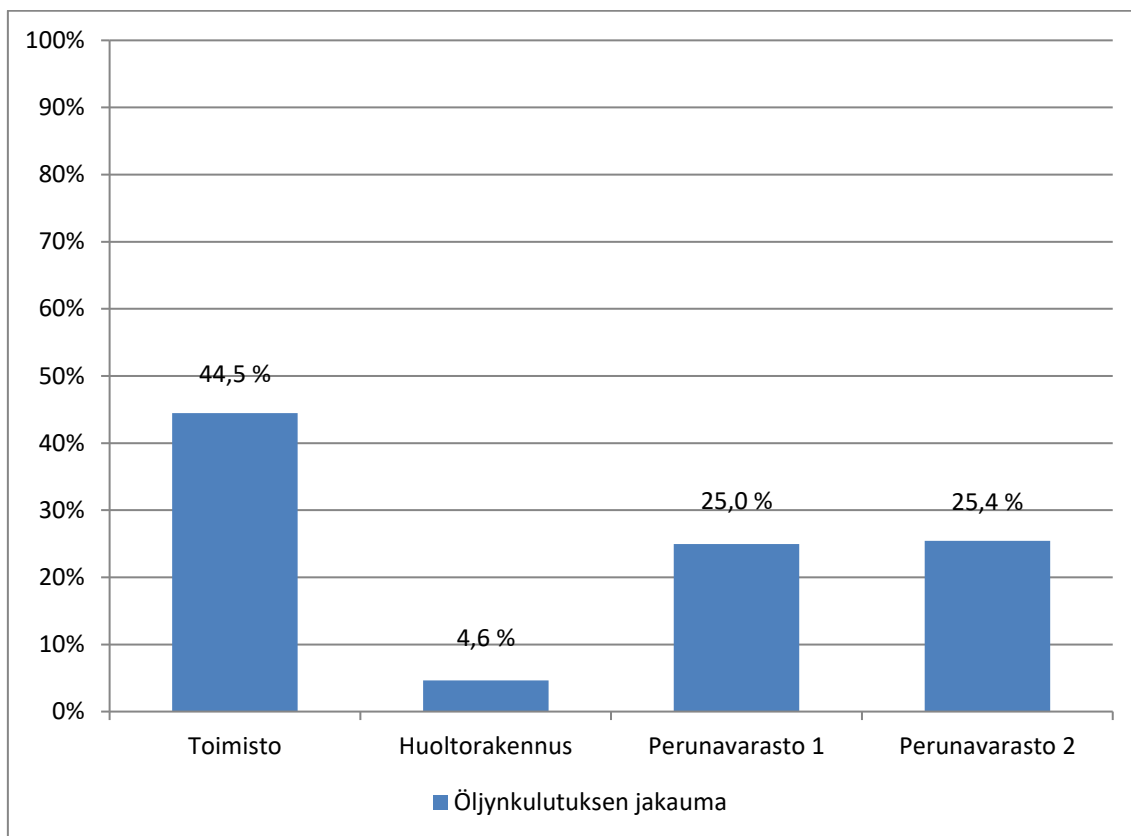


KUVA 19. Päärakennuksen lämmitysenergiantarpeen jakautuminen

6.2.6 Keskikylä

Keskikylän toimipisteen laskennallisen vuosittaisen öljynkulutuksen jakauma rakennuksittain esitetään kuvassa 20. Laskennassa on huomioitu lämpökuormien lämmitystehontarvetta vähentävä vaikutus.

Keskikylän energiankäyttö jakautuu suurimmaksi osaksi perunanlajittelutilojen ja toimistorakennuksen kesken. Suurin lämmitysenergiantarve toimipisteen vuosittaisesta lämmitysenergiantarpeesta on toimistorakennuksessa 44,5 prosenttia.



KUVA 20. Keskikylän öljynkulutuksen jakauma

Keskikylän lämmitysenergiantarpeet on esitetty euromääräisinä taulukossa 6.

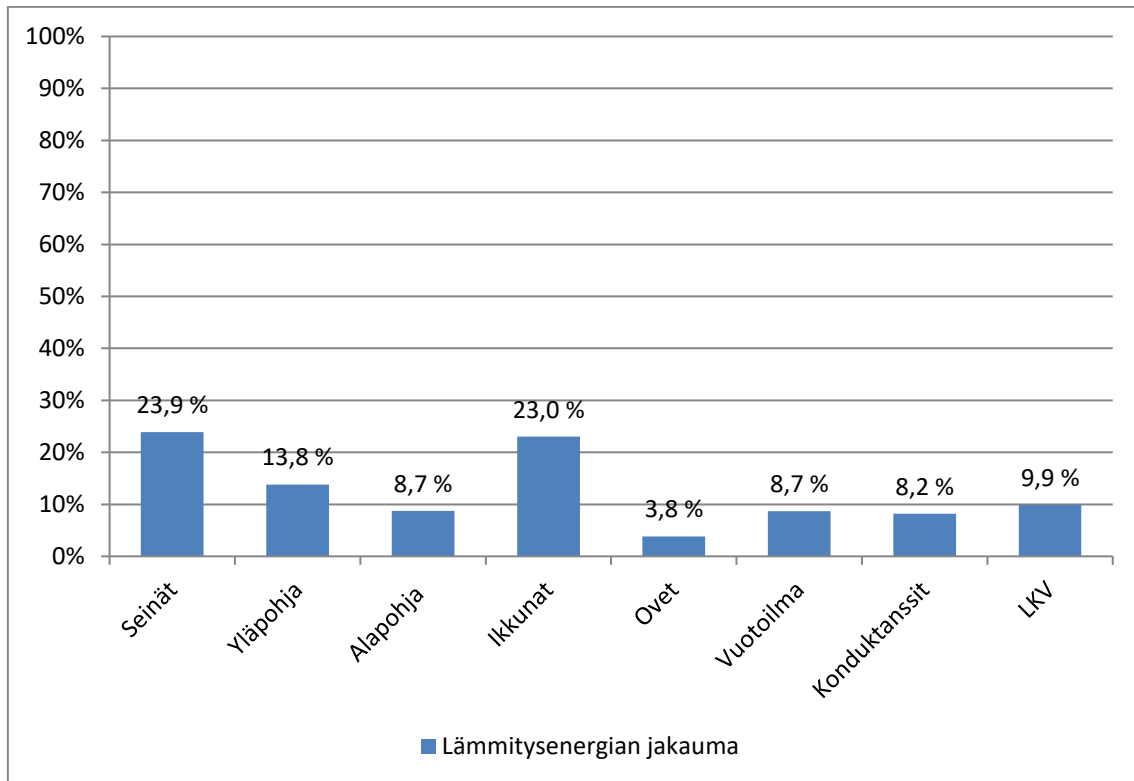
TAULUKKO 6. Keskikylän rakennusten laskennallinen vuosittainen lämmitysenergian tarve euroissa.

Rakennusten lämmitys	
Rakennus	€/a
Toimisto	6 973 €
Huoltorakennus	728 €
Perunavarasto 1	3 914 €
Perunavarasto 2	3 984 €

6.2.7 Huoltorakennus

Huoltorakennuksen lämmitysenergiantarve on 4,6 prosenttia Keskikylän toimipisteen laskennallisesta kokonaislämmitysenergiantarpeesta. Huoltorakennuksen laskennallisen lämmitysenergiantarpeen jakautuminen on esitetty kuvassa 21. Huoltorakennus on normaalilämpöisenä lajittelun aikana, ja muuna aikana

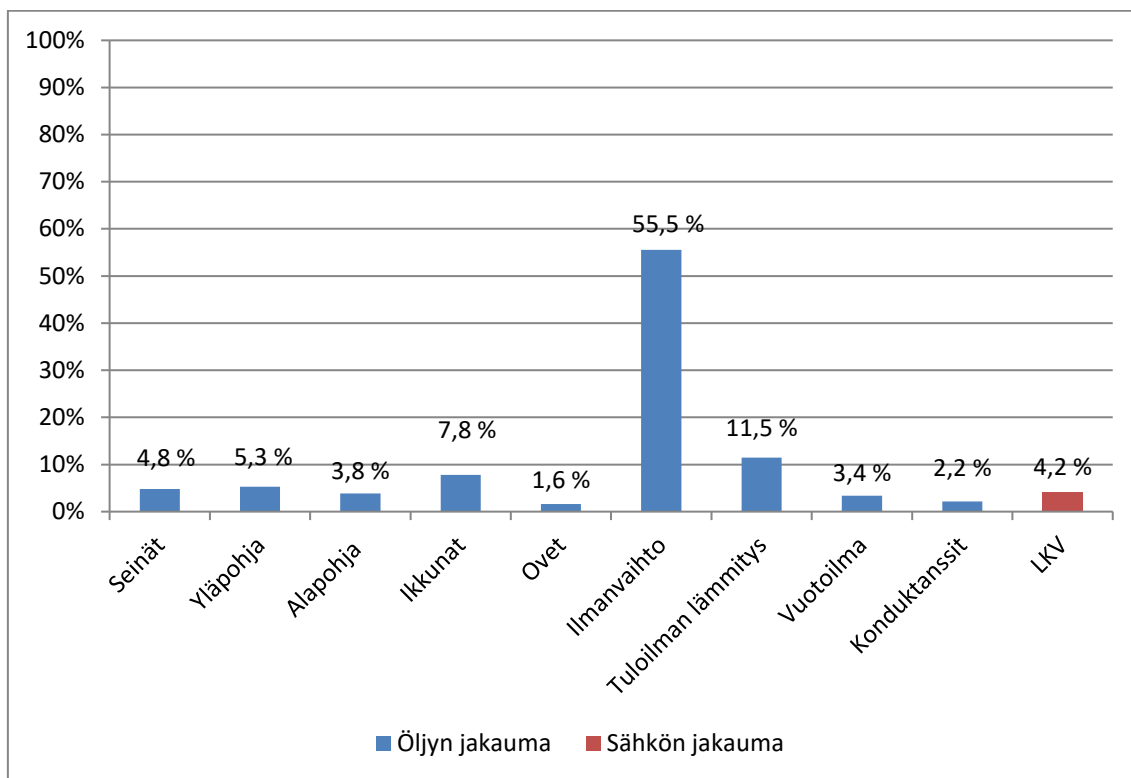
sitä pidetään peruslämmöllä. Suurin lämmitysenergiantarve aiheutuu ulkoseinistä, joiden kautta johtuu 23,9 prosenttia koko rakennuksen lämmitysenergiantarpeesta vuositasolla. Pienessä rakennuksessa on suhteellisen paljon ikkunapinta-alaa, ja siitä johtuen ikkunoiden kautta johtuva lämmitysenergiantarve on 23 prosenttia.



KUVA 21. Huoltorakennuksen lämmitysenergiantarpeen jakautuminen

6.2.8 Toimistorakennus

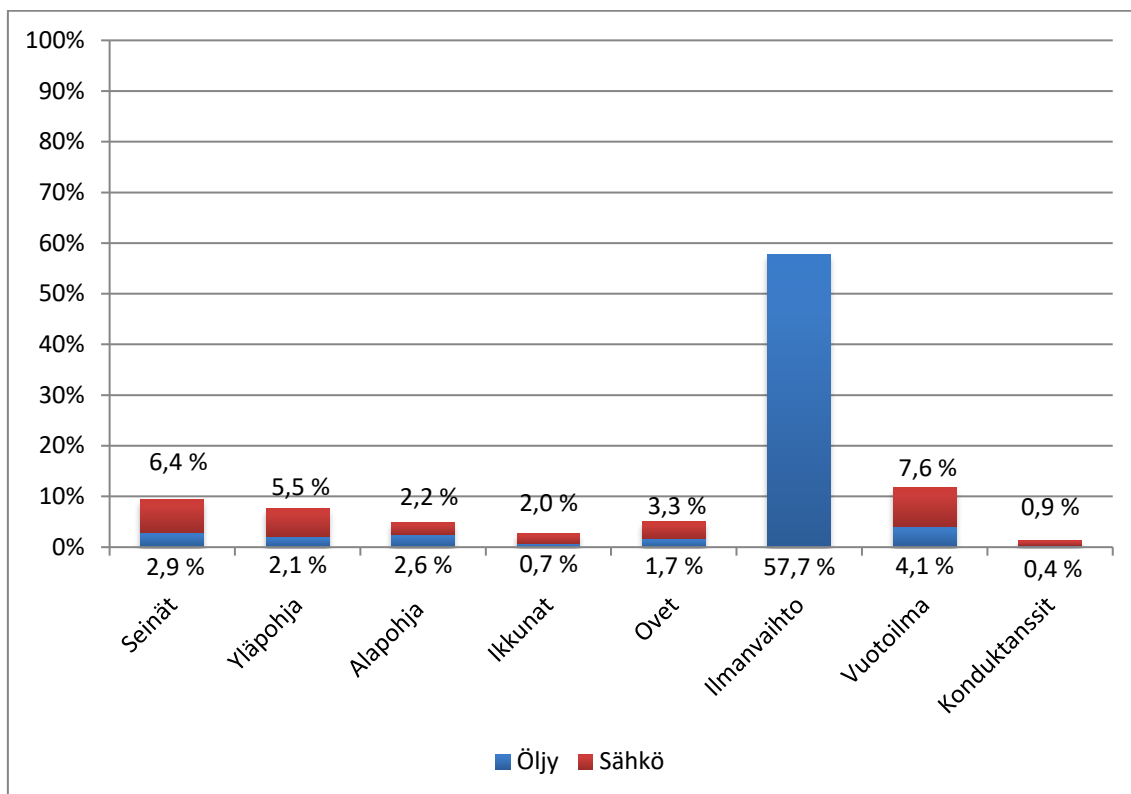
Toimistorakennuksen lämmitysenergiantarve on 44,5 prosenttia Keskikylän toimipisteen laskennallisesta lämmitysenergiantarpeesta. Toimistorakennuksen lämmitysenergiantarpeen jakautuminen on esitetty kuvassa 22. Tuloilman lämmittämiseen käytettävä lämmitysenergia on 55,5 prosenttia toimistorakennuksen laskennallisesta lämmitysenergiantarpeesta vuositasolla. Tämä tarkoittaa sitä, että toimistorakennuksen tuloilman lämmittämiseen kuluu neljännes koko Keskikylän toimipisteen lämmitysenergiantarpeesta.



KUVA 22. Toimistorakennuksen lämmitysenergiantarpeen jakautuminen

6.2.9 Perunahallin 1 perunankäsittelytila

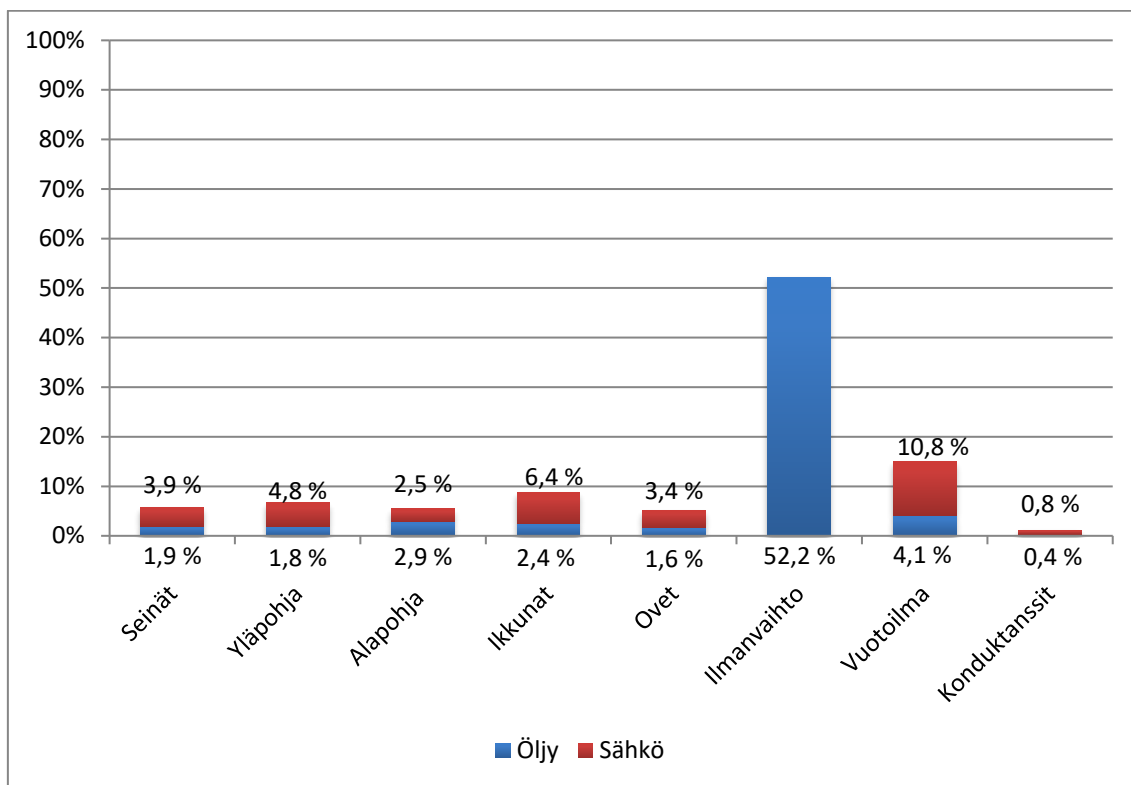
Perunahallin 1 käsittelytilaa lämmitetään tuloilmakoneen patterilla, aina kun käsittely on käynnissä. Muuna aikana ja osittain lisäksi tila lämpenee sähkölämmittimellä, jonka kulutus ei näy öljynkulutuksessa. Kuvasta 23 näkyy että, 57,7 prosenttia energiasta kuluu tuloilman lämmittämiseen. Kuvassa on esitetty öljyn ja sähkön osuudet lämmitysenergiantarpeesta.



KUVA 23. Hallin 1 perunankäsittelytilan lämmitysenergiantarpeen jakautuminen

6.2.10 Perunahallin 2 perunankäsittelytila

Perunahalli 2:n käsittelytilaa lämmitetään tuloilmakoneen patterilla, aina kun käsittely on käynnissä. Muuna aikana ja osittain lisäksi tila lämpenee sähkölämmittimellä, jonka kulutus ei näy öljynkulutuksessa. Kuvasta 24 näkyy, että 52,2 prosenttia energiatarpeesta kuluu tuloilman lämmittämiseen. Kuvassa on esitetty öljyn ja sähkön osuudet lämmitysenergiantarpeesta.



KUVA 24. Hallin 2 perunankäsittelytilan lämmitysenergiantarpeen jakautuminen

6.3 Käytön normeeraus ja vertaus toteutuneeseen

Mitatut öljynkulutukset Leppiojan toimipisteessä vuonna 2014 oli 19 773 litraa ja vuonna 2015 ja 18 362 litraa. Keskikylällä öljynvirtausmittari oli jäänyt asentamatta takaisin öljypolttimen uusimisen yhteydessä 2013, ja sen vuoksi laskennassa käytettiin aiempien vuosien kulutustietoja. Viimeisimmät kulutuslukemat kokonaisilta vuosilta löytyivät vuodelta 2010, jolloin öljynkulutus oli ollut 25 554 litraa, ja vuodelta 2011, jolloin öljynkulutus oli 21 925 litraa.

Öljyn vuosikulutukset muutettiin vastaamaan kevyen polttoöljyn sisältämää lämpöenergiaa kaavalla 42. Ennen normittamista toimipaikkojen lämpöenergiankulutuksesta vähennetään energiamäärä, joka kuluu lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Tämä energiamäärä lasketaan molemmissa toimipisteissä olettaen, että toimipisteiden vuosittaisesta vedenkulutuksesta 30 prosenttia on lämmintä käyttövettä.

Leppiojan toimipisteessä veden kulutus on 600 m³/a, ja tästä oletettiin lämpimän käyttöveden määräksi 180 m³/a. Keskikylällä veden kulutus on 70 m³/a, ja

tästä oletettiin lämpimän käyttöveden osuudeksi 21 m³/a. Lasketaan toimipisteittäin veden lämmittämiseen käytetty energia vuodessa kaavalla 17. Laskennassa käytettiin lämpimän käyttöveden- ja verkoston veden lämpötilojen erona $\Delta t = 50^\circ\text{C}$, veden ominaislämpökapasiteettina $C_{p,v} = 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ ja veden tiheytenä $\rho_v = 980 \text{ kg/m}^3$. Käyttöveden lämmittämiseen kulunut energia toimipisteittäin vähennettiin normeerauksen ajaksi lämpöenergian määrästä, ja lisättiin normeerauksen jälkeen lämpöenergian määrään.

Energiatarvetta laskettaessa ulkolämpötiloina käytettiin testivuoden 2012 Jyväskylän säätietoja. Jotta kulutuksesta saatiin vertailukelpoinen, normeerattiin tiedossa olevat energiankulutukset testivuoden kulutukseksi jyvässkylään kaavalla 47. (20.)

$$Q_{\text{normitettu}} = K_2 * \frac{S17_{\text{testivuosi}}}{S17_{\text{kulutusvuosi}}} * Q_{\text{kulutusvuosi}} + Q_{\text{LKV}} \quad \text{KAAVA 47}$$

Testivuoden ja kulutusvuosien astepäiväluvut esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Normituksessa käytetyt astepäiväluvut (21.)

Vuosi	Paikkakunta	Astepäiväluvu S17
Try 2012	Jyväskylä	4782
2010	Oulu	5605
2011	Oulu	4537
2014	Oulu	4513
2015	Oulu	4119
SN Oulu	Oulu	5057

Leppiojan toimipisteen normeerattu lämpöenergiankulutus vuonna 2014 on 207 711 kWh, ja vuoden 2015 kulutus on 210 291 kWh. Laskennallinen lämmitysenergiantarve on 212 653 kWh.

Keskikylän toimipisteen normeerattu lämpöenergiankulutus vuonna 2010 on 216 980 kWh, ja vuoden 2011 kulutus on 229 664 kWh. Laskennallinen lämpöenergiantarve on 223955 kWh. Molempien toimipisteiden laskettu energiantarve vastaa hyvin mitattuja energiankulutuksia.

7 PARANNUSEHDOTUKSET

Rakennusten laskennallisen lämmitystarpeen jakautuminen antoi hyviä viitteitä siitä, missä järjestelmissä, rakenteissa tai rakennusosissa olisi potentiaalia parantaa energiatehokkuutta. Takaisinmaksuajat ovat suuntaa antavia, koska saadut hinnat ovat hinta-arvioita, ja saadut säästöt on laskettu vain säästyneen lämmitysenergian perusteella.

7.1 Ilmanvaihto

Koneellisella ilmanvaihdolla varustettujen rakennusten laskennallisesta lämmitysenergiantarpeesta iso osa kuluu tuloilman lämmittämiseen. Tämän osion energiatehokkuuden parantamiseksi selviteltiin kolmea eri vaihtoehtoa hyödyntää poistoilman lämpöä lämmittämässä. Energiansäästöä kohteista olisi mahdollista saada myös ilmanvaihdon käyttöaikoja tarkastamalla, ja käytönajan ulkopuolisen ilmanvaihdon tehoa pudottamalla. Pitää huomioida, että käytönajan tarkastukset ja tehojen pudotukset vaikuttavat suoraan takaisinmaksuaikoihin.

7.1.1 Poistoilmalämpöpumppu

Laitetoimittaja arvioi poistoilmalämpöpumpun hankinnan kannattavuutta toimipisteisiin, ja nykyisiin järjestelmiin poistoilmalämpöpumpun asennus ei ole taloudellisesti kannattavaa. Suhteellisen pienet ilmavirrat ja ilmanvaihdon käyntiajat sekä vähäinen lämpimän käyttöveden kulutus tekevät tästä vaihtoehdosta kannattamattoman.

7.1.2 Lämmöntalteenoton rakentaminen nykyisiin ilmanvaihtokoneisiin

Nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän rakentaminen nykyiseen ilmanvaihtojärjestelmään oli yksi tutkittava vaihtoehto. Hintoja laitteistosta pyydettiin kolmelta eri laitetoimittajalta. Laitetoimittajilta saatiin hintoja järjestelmille. Näiden lisäksi hinnassa huomioitiin nestelinjojen rakentamisen kustannukset, ja mahdolliset kanavamuutostyöt. Kanavamuutostyöt aiheutuvat koneilla, joissa useampia poistoilmakoneita yhdistetään yhdelle, isommalle lämmöntalteenotolla varustettuun huippuimuriin.

Pienten ilmavirtojen ja käyttöaikojen vuoksi vaihtoehtoa ei tutkittu tarkemmin, kuin kahden koneen osalta. Koneet ovat laboratorion jatkuvasti käyvä kone 402 ja Keskikylän toimiston ilmanvaihtokone, joka käy arkisin klo 4–20 ja lauantaisin klo 6–16.

Keskikylän toimistorakennuksessa olevaan tuloilmakoneeseen asennetaan esilämmityspatteri, ja olemassa olevat huippuimurit korvataan yhdellä isommalla lämmöntalteenotolla varustetulla huippuimurilla. Keskikylän lämmöntalteenottojärjestelmällä päästään jopa 65 prosentin hyötysuhteeseen.

Leppiojalla laboratorion tuloilmakoneeseen asennetaan esilämmityspatteri, ja poistoilmakone korvataan lämmöntalteenotolla varustetulla huippuimurilla. Leppiojan lämmöntalteenottojärjestelmällä päästään 43 prosentin hyötysuhteeseen.

Liitteessä 10 on esitetty järjestelmän hankintahintoja ja takaisinmaksuaikoja laskettuina nykyisellä öljyn hinnalla sekä siten, että takaisinmaksuaikaa laskettaessa on öljynhintaa nostettu 10 prosenttia, 20 prosenttia ja 30 prosenttia.

7.1.3 Ilmanvaihtokoneiden korvaaminen uusilla, lämmöntalteenotolla varustetuilla ilmanvaihtokoneilla.

Tehokkaimpaan lämmöntalteenottoon poistoilmasta päästään uusimalla nykyiset ilmanvaihtokoneet uusilla koneilla, joissa on jo valmiiksi lämmöntalteenottojärjestelmä. Ilmanvaihtokoneiden uusiminen vaatii kaikkien koneiden osalta kanavamutostöitä, koska uudessa koneessa on poistoilmakone ja tuloilmakone päällekkäin. Kanavamutostöiden osuus on otettu takaisinmaksuajoissa huomioon. Suurin ongelma on uusien koneiden kuljettaminen nykyisiin konehuoneisiin. Uudet koneet eivät mahdu oviaukoista, joten koneiden uusimisen yhteydessä on varauduttava myös rakennusteknisiin töihin. Näiden kustannuksia ei ole huomioitu laskelmissa. Uusilla koneilla päästään lämmöntalteenotossa yli 70 prosentin hyötysuhteisiin.

Erityisesti ilmanvaihtokoneiden 402 ja 36 uusiminen voisi olla perusteltua, koska nykyisissä ilmanvaihtokoneissa ei ole ilmavirran tehonsäätömahdollisuutta ja koneet käyvät täysillä, aina kun ovat käynnissä.

7.1.4 Käyntiaikojen ja tehojen tarkastus

Yksinkertaisemmillaan säästöjä ilmanvaihdosta voi löytyä käyntiaikojen tarkastamisella. Käyntiajan muutos ei juuri kustannuksia aiheuta ja säästöjä alkaa syntyä heti.

Ilmavirtojen pienentäminen käytönajan ulkopuolella on toteutuskelpoinen energiansäästökohde, mikäli tehon pudottamiselle löytyy edellytykset. Laboratoriotilojen jatkuvasti käyvien ilmanvaihtokoneiden käytönajan ulkopuolisen ilmavirran puolittaminen tutkittiin yhtenä energiansäästövaihtoehtona.

Keskikylän toimistolle laskettiin yhtenä energiansäästövaihtoehtona malli, jossa ilmanvaihtokoneet pysähtyvät yö- ja viikonloppuaikana. Tämä on kuitenkin kyseenalainen vaihtoehto, sillä rakennuksen käytönajan ulkopuolisen ilmanvaihtovaatimukset eivät täyty. Käyntiaikojen ja tehojen muutoksissa on huomioitava, että rakennuksessa säilyy riittävä ilmanvaihto myös käytönajan ulkopuolella.

7.2 Rakenteet

Rakenteet ovat lämmöneristävyydeltään hyviä rakennusajankohtaan nähden, ja energiansäästön hakeminen rakenteita parantamalla aiheuttaa pitkiä takaisinmaksuaikoja. Yleisesti kannattavimmat parannuskohteet ovat yläpohjanlisälämmöneristäminen ja ikkunoiden uusiminen. Nämä otettiin mukaan tarkasteluun, vaikka jo lähtökohtaisesti takaisinmaksuajat venyvät liian pitkiksi. Ikkunoiden uusimisen ja yläpohjan lisälämmöneristämisen takaisinmaksuajat on esitetty liitteessä 10. Takaisinmaksuajat laskettiin nykyisellä öljynhinnalla ja vaihtoehdoilla, jossa öljyn hinta nousee 10 prosenttia, 20 prosenttia ja 30 prosenttia.

7.2.1 Yläpohjan lisäeristäminen

Yläpohjan lisälämmöneristäminen mineraalivillalla olisi toteutettavissa Leppiojan päärakennuksessa ja kasvihuoneen sosiaalitilassa sekä Keskikylällä toimistorakennuksessa ja huoltorakennuksessa ilman rakenteellisia muutoksia. Yläpohjan

lisälämmöneristäminen mineraalivillalla 100 mm:n vahvuisena maksaa 5 €/m² (22, s. 239).

7.2.2 Ikkunoiden uusiminen

Nykyiset ikkunat ovat pääosin kolmilasisia, kaksipuitteisia puuikkunoita, joiden sisemmässä puitteessa on kaksilasinen umpiolasielementti. Ikkunoiden lämmönläpäisykerroin on arviolta 1,7 W/K*m². Nykyisillä ikkunoilla päästään lämmönläpäisykertoimeen 1 W/K*m² ja jopa alle. Ikkunoiden kesikooksi laskennassa oletettiin 1,5 m². Vanhojen ikkunoiden purkamisen kustannukseksi arvioitiin 30 €/m², ja uusien ikkunoiden hankinta- ja asennushinnaksi 270 €/m². Ikkunoiden vaihtamisen hintana käytettiin 300 €/m². (22, s. 234–235.)

8 YHTEENVETO

Työn lähtökohta oli selvittää laskennallisesti tilaajalle eri rakennusten energiankulutukset ja niiden jakautuminen eri osiin, ja etsiä mahdollisia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä.

Lämmitystehontarpeen selvittämiseksi suoritettiin mittauksia molemmissa toimipisteissä kevään 2016 aikana. Mittaustulosten perusteella toimipisteille laskettiin konduktanssi, jonka avulla saatiin riittävät lähtötiedot toista energiatekniikan insinööriyötä varten.

Leppiojan toimipisteellä mittausjakson aikana sääolosuhteet olivat hyvät, ja mittauksissa ulkolämpötila laski lähelle Tyrnävän mitoituslämpötilaa. Keskikylän mittaukset menivät pitemmälle keväeseen, ja mittauksissa ei päästy lähelle paikkakunnan mitoituslämpötilaa. Keskikylän konduktanssin laskeminen oli haastavaa, koska käytönaikainen öljynkulutus vaihteli merkittävästi, vaikka ulkolämpötila oli tasainen. Kulutuksen vaihtelu johtui siitä, että mittauksen aikana tehtiin perunanlajittelua, jonka vuoksi perunahallien ulko-ovet olivat vaihtelevasti avoimena trukki liikenteen ja hallin ilmanvaihdon vuoksi. Ongelma ratkaistiin laskemalla erikseen konduktanssit käytönajalle ja käytön ulkopuoliselle ajalle, jolloin energiankäytön simuloinnissa saatiin tarkempi tulos.

Energiankulutukset laskettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti kuukausitason menetelmällä. Laskenta suoritettiin rakennuksittain Excel-ohjelmalla, ja yhteensä tutkittavia rakennuksia oli kahdeksan. Molempien toimipisteiden toimistorakennuksille laskettiin lisäksi suuntaa antava E-luku. E-luvun laskennassa ja energiankulutuksen laskennassa käytettävät lähtötiedot poikkeavat toisistaan, minkä vuoksi laskenta tuli suorittaa E-luvulle eri lähtöarvoilla. E-luku oli Leppiojan päärakennuksessa $277 \text{ kWh}_E/\text{m}^2 \text{ a}$ ja energialuokka oli F. Keskikylän toimistorakennuksen E-luku oli $335 \text{ kWh}_E/\text{m}^2 \text{ a}$, ja sen energialuokka oli G. Energian käytön mallintaminen oli haastavaa, koska tutkittavia rakennuksia oli useita, ja niiden käyttötarkoitukset olivat hyvin erilaisia. Ilmanvaihtojärjestelmiin oli aikojen saatossa tehty muutoksia ja niiden käyttö oli osittain muuttunut alkuperäisestä, mikä tuli huomioida laskelmissa.

Energialaskennasta saatuja tuloksia verrattiin mitattuihin, Jyväskylään normeerattuihin öljynkulutuksiin, koska energialaskennan säätietoina käytettiin Jyväskylän säätietoja. Lasketut tuloksen vastasivat hyvin mitattuja, normeerattuja kulutuksia, ja niistä saa hyvin kuvan siitä, miten energiankäyttö jakaantuu eri rakennusten kesken ja eri tekijöihin. Energialaskennan tuloksista oli helposti luettavissa paljon energiaa kuluttavat rakennukset ja järjestelmät.

Energialaskennan tuloksista näki, että ilmanvaihdon tuloilman lämmittämiseen kului paljon energiaa molempien toimipisteiden toimistorakennuksissa. Nykyisissä ilmanvaihtokoneissa ei ole lämmöntalteenottojärjestelmää, joten sen korjaaminen nousi tärkeimmäksi energiatehokkuuden parantamisvaihtoehdoksi. Yhtenä vaihtoehtona ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantamiseksi selvitettiin nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän rakentamista nykyisiin ilmanvaihtokoneisiin ja toisena vaihtoehtona ilmanvaihtokoneiden uusimista koneilla, joissa on lämmöntalteenottojärjestelmä. Työssä selvitettiin budjettihinnat nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän komponenteille kolmelta eri laitetoimittajalta ja uusien ilmanvaihtokoneiden budjettihinnat kahdelta eri laitetoimittajalta. Hintaero vaihtoehtojen välillä jäi pieneksi, ja uuden ilmanvaihtokoneen hankintaa tukee parempi lämmöntalteenoton hyötysuhde, järjestelmän säädettävyys ja se, että olemassa olevat ilmanvaihtokoneet ovat jo yli 30 vuotta vanhoja.

Keskikylän toimistorakennuksen ilmanvaihtokoneen uusiminen maksaa itsensä takaisin nykyisillä käyttöajoilla ja öljynhinnalla 3,6 vuodessa. Jos ilmanvaihdon käytön ulkopuolista tehoa pudotetaan, päästään jopa 3,2 vuoden takaisinmaksuaikaan. Tässä ei ole huomioitu mahdollisia rakennusteknisiä töitä, joita ilmanvaihtokoneen asentaminen aiheuttaa, joten todellisuudessa takaisinmaksuaika tulee hiukan pidemmäksi. Uudella, lämmöntalteenottojärjestelmällä varustetulla ilmanvaihtokoneella päästään lämmöntalteenotossa jopa 76 prosentin vuosihyötysuhteeseen. Vuosihyötysuhteiden laskennassa käytettiin laitetoimittajilta saatuja arvoja ja Ympäristöministeriön julkaisemaa LTO-laskin 2012-Excel-laskuria.

Nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän rakentaminen nykyiseen ilmanvaihtolaitteistoon, nykyisillä käyttöajoilla, maksaa itsensä takaisin 3,6 vuodessa. Tämä järjestelmä ei mahdollista käytön ulkopuolisen tehon laskemista ilman erillistä säätölaitteistoa. Säätölaitteiston rakentamisella ja käytönajan ulkopuolista tehoa pudottamalla puoleen nykyisestä päästään takaisinmaksuaikaan 3,8 vuotta. Nestekiertoisella lämmöntalteenottojärjestelmällä päästään 65 prosentin vuosihyötysuhteeseen.

Leppiojan puhdastiloja palvelevan, jatkuvasti käyvän ilmanvaihtokoneen uusiminen lämmöntalteenottojärjestelmällä varustetulla ilmanvaihtokoneella maksaisi itsensä takaisin 6,2 vuodessa. Käytönajan ulkopuolista tehoa alentamalla puoleen päästään 5,3 vuoden takaisinmaksuaikaan. Uudella lämmöntalteenottojärjestelmällä varustetulla ilmanvaihtokoneella päästään jopa 72 prosentin vuosihyötysuhteeseen.

Nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän rakentaminen puhdastiloja palvelevalle koneelle aiheuttaa 10,6 vuoden takaisinmaksuajan. Pieni ilmavirta huonontaa nestekiertoisen lämmöntalteenottolaitteiston hyötysuhdetta ja vuosihyötysuhteeksi tulee 43 prosenttia.

Lisäksi selvitettiin ilmanvaihdon käyttöaikoja ja käytön ulkopuolisen ajan tehojen tarkistuksia, ja säätöjärjestelmien rakentamista niille koneille, joissa tehonsääntömahdollisuutta ei vielä ole. Yksinkertaisimmillaan merkittäviä säästöjä syntyy ilmanvaihdon käyntiaikoja ja tehoja muuttamalla, mutta tässä vaihtoehdossa tulee huomioida, että rakennuksessa on riittävä käytönajan ulkopuolinen ilmanvaihto.

Käytönajan ulkopuolisen ilmanvaihdon tehon pudotus vaatii säätölaitteiston rakentamisen molemmissa ilmanvaihtokoneissa. Säätölaitteiston rakentamisella ja käytönajan ulkopuolisen tehon pudotuksella puoleen päästään Keskikylän toimistorakennuksen ilmanvaihtokoneella takaisinmaksuaikaan 1,9 vuotta ja Leppiojan puhdastilojen ilmanvaihtokoneella takaisinmaksuaikaan 1,7 vuotta.

Rakenteiden muutosten takaisinmaksuajat venyvät pitkiksi. Yläpohjan lisäeritys maksaa itsensä takaisin 11,6 vuodessa ja ikkunoiden uusiminen 27,9 vuodessa.

Budjettihintojen selvittelyssä kului paljon aikaa, koska opiskelijana joutuu odottelemaan vastauksia usein pitkään tai pahimmassa tapauksessa ei saa vastauksia ollenkaan. Työ oli melko laaja ja haastava, mutta erittäin opettavainen. Käytännön tutustuminen erilaisiin taloteknisiin järjestelmiin ja erilaiset mittaustyöt olivat parasta antia, jota opiskelija voi työstä saada.

LÄHTEET

1. Lähes 40 vuoden kokemuksella. Suomen Siemenperunakeskus Oy. Saatavissa: http://www.spk.fi/tietoa_spksta. Hakupäivä 15.4.2017.
2. Cunnington, Adrian - Pringle, Robert - Briddon, Adrian - Clayton, Robert - Crowhurst, Richard - Jackson, Kate - Jina, Ajay - Saunders, Steve - Stroud, Graeme - Pratt, Tim 2008. Store Managers Guide. Agriculture & Horticulture Development Board (AHDB), Stoneleigh Park, Kenilworth, Warwickshire. Saatavilla: https://potatoes.ahdb.org.uk/sites/default/files/publication_upload/Store%20Managers%20Guide%20Updated%2011.05.12.pdf. Hakupäivä 3.2.2017.
3. Varastointi. 2015. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/kasper/pelto/peruna/Potatonow/perunantuotanto/sato/varastointi>. Hakupäivä 15.4.2017.
4. Sariola, Juha – Leppälä, Jyrki 1993. Hellävarainen perunan kauppakunnostus. Maatalouden tutkimuskeskus. Vihti. Saatavilla: <http://docplayer.fi/9334575-Hellavarainen-perunan-kauppakunnostus.html>. Hakupäivä 15.3.2017.
5. Lötjönen, Timo – Kemppainen, Mirja – Markus, Anu – Virtanen, Elina 2013. Perunan kolhiintumisen vähentäminen varastolla ja kauppakunnostuksessa. MTT Jokioinen. Saatavilla: <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/481711/mttraportti122.pdf>. Hakupäivä 15.4.2017.
6. Lehtonen, Satu – Kankaanpää, Jaana 2014. Siemenperunan vienti Suomesta Venäjälle käynnistyi. Maaseudun tulevaisuus. Maatalous 10.3.2014. Saatavissa: <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/siemenperunan-vienti-suomesta-ven%C3%A4j%C3%A4lle-k%C3%A4ynnistyi-1.58217>. Hakupäivä 25.4.2017.

7. Energian loppukäyttö. 2017. Findikaattori. Saatavissa: <http://www.findikaattori.fi/fi/26>. Hakupäivä 28.5.2017.
8. Energiankulutus ei enää kasva. 2016. Suomen ympäristökeskus SYKE. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilmastonmuutos_ja_energia/Energiankulutus_ei_enaa_kasva\(28547\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilmastonmuutos_ja_energia/Energiankulutus_ei_enaa_kasva(28547)). Hakupäivä 24.5.2017.
9. Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/ehk/tau.html>. Hakupäivä 2.5.2017.
10. Suomen virallinen tilasto (SVT): Asumisen energiankulutus. ISSN=2323-3273. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavilla: <http://www.stat.fi/til/asen/tau.html>. Hakupäivä 4.5.2017.
11. Kansallinen ilmastopolitiikka. 2016. Ympäristöministeriö. Saatavilla: http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansallinen_ilmastopolitiikka. Hakupäivä 14.4.2017.
12. Lähes nollaenergiarakentamisen lainsäädännön valmistelu. 2017. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/lahesnollaenergiarakentaminen>. Hakupäivä 10.5.2017.
13. Lausuntopyyntö luonnoksista ympäristöministeriön asetuksiksi ja luonnoksesta valtioneuvoston asetukseksi. 2016. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Lausuntopyynnot_ja_lausuntoyhteenvedot/2016/Lausuntopyynto_luonnoksista_ymparistomin\(40554\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Lausuntopyynnot_ja_lausuntoyhteenvedot/2016/Lausuntopyynto_luonnoksista_ymparistomin(40554)). Hakupäivä 12.5.2017.
14. D3 (2012). 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus. Hakupäivä 22.5.2017.

15. D5 (2013). 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus. Hakupäivä 22.5.2017.
16. Suomen siemenperunakeskukselta saadut lähtötiedot
17. Tölli, Matti 2016. Energiantuotantotavan muutoksen teknistaloudellinen selvitys. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, energiatekniikan koulutusohjelma.
18. Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. 2. Jyväskylä: Gummerrus kirjapaino Oy.
19. Heinonen, Jarkko – Holmberg, Rolf – Hyvärinen, Kalevi – Hänninen, Reijo – Jokinen, Liisa – Kauppila, Kari – Keinonen, Pauli – Koivula, Urpo – Koskela, Hannu – Koskinen, Erkki – Kosonen, Risto – Laine, Tuomas – Liljeström, Kimmo – Lönnström, Jyrki – Mustakallio, Panu – Mäkinen, Pekka – Nykvist, Ari – Paasio, Ilkka – Pessi, Pekka – Pettersson, Henrik – Pihlajamaa, Pirkko – Railio, Jorma – Rantama, Markku – Ripatti, Harri – Sahlsten, Toivo – Sandberg, Esa – Silvan, Jari – Sundman, Tom L. – Säteri, Jorma – Tammivaara, Heikki – Valkeapää, Aki – Vuolle, Mika 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Tammerprint: Talotekniikka julkaisut Oy
20. RT 52-11172. 2014. Lämmitystarveluku. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/11172> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 20.4.2017.
21. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. 2017. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Hakupäivä 20.4.2017.
22. Haahtela, Yrjänä – Kiiras, Juhani 2015. Talonrakennuksen kustannustieto 2015. Helsinki: Haahtela kehitys Oy.

LIITTEET

Liite 1 Lähtötiedot Leppioja lämmönjakokeskus

Liite 2 Lähtötiedot Leppioja kasvihuoneen sosiaalitila

Liite 3 Lähtötiedot Leppioja huoltotilat

Liite 4 Lähtötiedot Leppioja päärakennus

Liite 5 Lähtötiedot Keskikylä huoltorakennus

Liite 6 Lähtötiedot Keskikylä perunahalli 1

Liite 7 Lähtötiedot Keskikylä perunahalli 2

Liite 8 Lähtötiedot Keskikylä toimistorakennus

Liite 9 Keskikylä päärakennus ilmanvaihtokoneet

Liite 10 Parannusehdotukset ja takaisinmaksuajat

Lähtötiedot energialaskuissa Leppioja lämpökeskus

pinta-ala 87,74 m²tilavuus 500,1 m³ C_{rak} 70 Wh/(m²K)lämpötilat sisälämpötila
13 °C

ikkunatyypit	Etelä	Lounas	Länsi	Luode	Pohjonen	Koillinen	Itä	Kaakko
A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]
MEK	-	-	-	-	-	-	14,82	-

Rakennetyyppi	pinta-ala [m ²]	U-arvo W/(m ² °C)	G W/ °C
ikkuna MEK	14,82	1,5	22,2
US betoni	42,7	0,45	19,2
US 4	128,1	0,85	108,9
VS betoni	26,01	0,57	14,8
AP RA seinä	13,55	0,36	4,9
AP RA lattia	22,75	0,8	18,2
AP SA	64,99	0,27	17,5
Ovet	9,19	1,5	13,8

Konduktanssit	pituus [m]	Ψ_k W/[m °C]	G W/°C
ulkonurkka	18,2	0,05	0,9
lattia - seinä	37,8	0,1	3,8
seinä-katto	37,8	0,05	1,9
ikkunaliitos	23,2	0,04	0,9
oviliitos	21,2	0,04	0,8

Ilmanvaihto ja vuotoilma

IV-kone	ilmavirta [m ³ /s]	käyntiaika d/7d	käyntiaika h/24h	ilmanvuotoluku q ₅₀	kerroin x ilman- vuotoluvulle
	-	-	-	4	24

Lämpökuormat

ihmiset [W/m ²]	valaistus [W/m ²]	laitteet [W/m ²]	käyttöaste	käyttöaika [h/24h]	[d/7]
1	8	1	0,05	24	7

LKV kierto läm- pöhäviö [W/m]	LKV kiertoputken pituus [m]
10	25

Lähtötiedot energialaskuissa Leppioja kasvihuoneen sosiaalitila

pinta-ala 23,9 m²
 tilavuus 63,3 m³

C_{rak} 70 Wh/(m²K)

lämpötilat sisälämpötila 21 °C
 Tuloilman lämpötila -

ikkunatyypit	Etelä	Lounas	Länsi	Luode	Pohjonen	Koillinen	Itä	Kaakko
	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]
MSE	1,7	-	-	-	-	-	-	-

Rakennetyyppi	pinta-ala [m ²]	U-arvo W/(m ² °C)	G W/ °C
ikkuna MSE	1,7	1,5	2,55
US 8	29,04	0,26	7,5504
us xx	10,09	0,5	5,045
Ovi xx	2,1	1	2,1
UO	2,1	1	2,1
AP 1 SA	8,29	0,22	1,8238
AP 1 RA	15,6	0,29	4,524
YP 8	23,9	0,14	3,346

Konduktanssit	pituus	Ψ _k	G
---------------	--------	----------------	---

	[m]	W/[m °C]	W/°C
ulkonurkka	10,6	0,05	0,53
lattia - seinä	19,58	0,1	1,958
seinä-katto	19,58	0,05	0,979
ikkunaliitos	5,29	0,04	0,2116
oviliitos	12,4	0,04	0,496

Ilmanvaihto ja vuotoilma

IV-kone	ilmavirta [m ³ /s]	käyntiaika d/7d	käyntiaika h/24h	ilmanvuotoluku q50	kerroin x ilman- vuotoluvulle
	-	-	-	4	35

Lämpökuormat

ihmiset [W/m ²]	valaistus [W/m ²]	laitteet [W/m ²]	käyttöaste	käyttöaika [h/24h]	[d/7]
2	8	1	0,1	2	5

LKV kierto läm- pöhäviö [W/m]	LKV kiertoputken pituus [m]
10	10

Lähtötiedot energialaskuissa Leppioja huoltotilat

pinta-ala	145 m ²
tilavuus	764,2 m ³
Crak	70 Wh/(m ² K)
lämpötilat	sisälämpötila puutyöverstas 16 °C
	sisälämpötila korjaamo 12 °C

Kloonivaraston lämpötilat	
tammikuu	4 °C
helmikuu	4 °C
maaliskuu	4 °C
huhtikuu	4 °C
toukokuu	4 °C
marraskuu	8 °C
joulukuu	5 °C
kesäkuu - lokakuu ulko LT	

ikkunatyypit	Etelä	Lounas	Länsi	Luode	Pohjonen	Koillinen	Itä	Kaakko
	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]
MSE	2,6	-	-	-	-	-	4,72	-

Rakennetyyppi	pinta-ala	U-arvo	G
	[m ²]	W/(m ² °C)	W/ °C
ikkuna MSE	7,32	1,5	11,0
US 8	117,95	0,27	31,8
VS9	64,08	0,3	19,2
us xx	39,8	0,27	10,7
nosto-óvet	31,5	1	31,5
henkilöóvet	4,62	1	4,6
AP 1 SA	26	0,23	6,0
AP 1 RA	11,85	0,29	3,4
AP2 SA	18,6	0,23	4,3
AP2 RA	9,75	0,35	3,4

LÄHTÖTIEDOT LEPPIOJA HUOLTOTILAT

LIITE 3/2

AP3 SA	67,93	0,23	15,6
AP3 RA	11,1	0,29	3,2
YP 1	81,5	0,2	16,3
YP 2	66,4	0,15	10,0

Konduktanssit	pituus	Ψ_k	G
	[m]	W/[m °C]	W/°C
ulkonurkka	9	0,05	0,45
lattia - seinä	48,88	0,1	4,888
seinä-katto	63,12	0,05	3,156
ikkunaliitos	17,84	0,04	0,7136
oviliitos	44,56	0,04	1,7824

Ilmanvaihto ja vuotoilma

IV-kone	ilmavirta	käyntiaika d/7d	käyntiaika h/24h	ilmanvuotoluku q50	kerroin x ilman- vuotoluvulle
	[m ³ /s]	-	-	4	24

Lämpökuormat						LKV kierto lämpöhäviö	LKV kiertoput- ken pituus
ihmiset	valaistus	laitteet	käyttöaste	käyttöaika		[W/m]	[m]
[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]		[h/24h]	[d/7]		
2	8	12	0,4	8	5	10	25

Lähtötiedot energialaskuissa Leppioja pääarakennus

pinta-ala	858,2 m ²
tilavuus	2609,3 m ³
C_{rak}	70 Wh/(m ² K)
lämpötilat	sisälämpötila 21 °C

Kloonivaraston lämpötilat	
tammikuu	4 °C
helmikuu	4 °C
maaliskuu	4 °C
huhtikuu	4 °C
toukokuu	4 °C
marraskuu	8 °C
joulukuu	5 °C
kesäkuu - lokakuu ulko LT	

ikkunapinta-ala (ei tuuletusluukkuja)

ikkunatyyppi	Etelä	Lounas	Länsi	Luode	Pohjonen	Koillinen	Itä	Kaakko
	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]
MEK	-	-	11,24	-	2,9	-	-	-
MSE	7,4		31,16	-	5,2	-	23,9	-

Rakennetyyppi	pinta-ala	U-arvo	G
	[m ²]	W/(m ² °C)	W/ °C
ikkuna MEK	14,14	1,50	21,21
ikkuna MSE	70,36	1,50	105,54
OVI	30,70	1,00	30,70
US1	363,10	0,26	94,41
US2	33,81	0,27	9,13
VS 7	52,60	0,29	15,25
VS 9	23,80	0,29	6,90
VS 10	26,80	0,53	14,20
AP1 RA	151,60	0,29	43,96

LÄHTÖTIEDOT LEPPIOJA PÄÄRAKENNUS

LIITE 4/2

AP1 SA	635,20	0,22	139,74
AP5 RA	14,40	0,35	5,04
AP5 SA	57,00	0,23	13,11
YP 3	8,70	0,14	1,22
YP 4	786,70	0,13	102,27
YP 7	40,80	0,14	5,71
YP 12	30,60	0,17	5,20

Konduktanssit	pituus [m]	Ψ_k W/[m °C]	G W/°C
ulkonurkka	51,4	0,04	2,1
sisänurkka	22,1	-0,04	-0,9
lattia - seinä	170,75	0,1	17,1
seinä-katto	226,125	0,05	11,3
ikkunaliitos	262	0,04	10,5
oviliitos	75,6	0,04	3,0

Ilmanvaihto ja vuotoilma

IV-kone	ilmavirta [m ³ /s]	käyntiaika d/7d	käyntiaika h/24h	ilmanvuotoluku q50	kerroin x ilman- vuotoluvulle
401	0,345	5	8	4	24
402	0,18	7	24		
406	0,271	5	8		

Lämpökuormat

ihmiset	valaistus	laitteet	käyttöaste	käyttöaika	
[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]		[h/24h]	[d/7]
2	8	10	0,65	13	7
LKV kierto lämpö- häviö	LKV kierto- putken pi- tuus				
[W/m]	[m]				
10	150				

Lähtötiedot energialaskuissa huoltorakennus keskikylä

pinta-ala 92,5 m²
 tilavuus 226,6 m³

C_{rak} 70 Wh/(m²K)
 sisälämpötila sisälämpötila
 lämpötilat lajittelun aikana lajittelun ulkopuolella
 21 °C 10 °C

ikkunapinta-ala								
ikkunatyyppe	Etelä	Lounas	Länsi	Luode	Pohjonen	Koillinen	Itä	Kaakko
	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]
MSE	-	2,97	-	5,27	-	3,89	-	0,61

Rakennetyyppi	pinta-ala	U-arvo	G
	m ²	W/(m ² °C)	W/°C
ikkuna MSE	14,2	1,7	24,2
OVI	2,1	1,5	3,2
US2	81,1	0,3	26,5
AP1 RA	35,0	0,2	8,4
AP1 SA	57,5	0,2	8,6
YP	92,5	0,2	15,3

Konduktanssit	pituus [m]	Ψ_k W/[m °C]	G W/°C
ulkonurkka	9,8	0,04	0,392
lattia - seinä	39	0,1	3,9
seinä-katto	39	0,05	1,95
ikkunaliitos	64,3	0,04	2,572
oviliitos	6,2	0,04	0,248

Ilmanvaihto ja vuotoilma

IV-kone	ilmavirta [m ³ /s]	käyntiaika d/7d	SFP	käyntiaikakerroin	ilmanvuotoluku q50	kerroin x ilmanvuo- toluvulle
EI KÄYTÖSSÄ	-	-	-	0	4	35

Lämpökuormat

ihmiset [W/m ²]	valaistus [W/m ²]	laitteet [W/m ²]	käyttöaste	käyttöaika [h/24h]	[d/7]
2	12	6	0,3	11	5

LKV kierto häviö	10	W/m
LKV kierto pituus	20	m
tuotto:	öljykattila	
veden kulutus	70	m ³ /a
LKV osuus:	30	%
LKV	21	m ³ /a

Lähtötiedot energialaskuissa keskikylä perunahalli 1

pinta-ala	637,26 m ²		
tilavuus	4014,7 m ³		
C _{rak}	70 Wh/(m ² K)		
	lajittelu aika		
lämpötilat	lajittelun aikana	yö/viikonloppu	tuloilman lämpötila
	13 °C	10 °C	16 °C

Perunavaraston lämpötilat	
tammikuu	4 °C
helmikuu	4 °C
maaliskuu	4 °C
huhtikuu	4 °C
toukokuu	4 °C
marraskuu	8 °C
joulukuu	5 °C
kesäkuu - lokakuu ulko LT	

Lajittelu aikana halli lämpenee tuloilmapuhaltimen patterilla
 Lajitteluajan ulkopuolella halli lämpenee sähkölämmittimellä

ikkunapinta-ala (ei tuuletusluukkuja)

ikkunatyyppe	Etelä	Lounas	Länsi	Luode	Pohjonen	Koillinen	Itä	Kaakko
	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]
MSE	-	-	-	-	-	4,84	-	14,52

Rakennetyyppi	pinta-ala	U-arvo	G
	m ²	W/(m ² °C)	W/°C
ikkuna MSE sis TL.	19,36	1,50	29,04
OVI	66,00	1,00	66,00
US2	578,60	0,31	179,37
AP1 RA	69,54	0,27	18,78
AP1 SA	567,72	0,41	232,77
YP	641,74	0,17	108,45

Konduktanssit	pituus [m]	Ψ_k W/[m °C]	G W/°C
ulkonurkka	29	0,04	1,2
lattia - seinä	105,8	0,1	10,6
seinä-katto	105,8	0,05	5,3
ikkunaliitos	70,4	0,04	2,8
oviliitos	71,84	0,04	2,9

Ilmanvaihto ja vuotoilma

IV-kone	ilmavirta [m ³ /s]	käyntiaika d/7d	käyntiaika h/24h	SFP	käyntiaikakerroin	ilmanvuotoluku q ₅₀	kerroin x ilman- vuotoluvulle
16TK	2,8	5	10	0,714	0,30	4	24

Lämpökuormat

ihmiset [W/m ²]	valaistus [W/m ²]	laitteet [W/m ²]	käyttöaste
2	12	40	0,65

Lähtötiedot energialaskuissa keskikylä perunahalli 2

pinta-ala	703 m ²		
tilavuus	4500 m ³		
C_{rak}	70 Wh/(m ² K)		
	lajittelu-aika		
lämpötilat	lajittelun aikana	yö/viikonloppu	tuloilman lämpötila
	13 °C	10 °C	16 °C

Perunavaraston lämpötilat	
tammikuu	4 °C
helmikuu	4 °C
maaliskuu	4 °C
huhtikuu	4 °C
toukokuu	4 °C
marraskuu	8 °C
joulukuu	5 °C
kesäkuu - lokakuu ulko LT	

Lajittelu-aikana halli lämpenee tuloilmapuhaltimen patterilla
Lajitteluajan ulkopuolella halli lämpenee sähkölämmittimellä

Rakennetyyppi	pinta-ala	U-arvo	G
	m ²	W/(m ² °C)	W/°C
MEK	69,8	1,5	104,7
OVI	95,7	1	95,7
US	172,7	0,23	39,7
VS	382,5	0,26	99,5
AP1 RA	44,4	1,03	45,7
AP1 SA	658,6	0,41	270,0
YP	703	0,15	105,5
	pituus	Ψ_k	G
	[m]	W/(m °C)	W/°C
Konduktanssit			
ulkonurkka	25,6	0,04	1,0
lattia - seinä	105,8	0,1	10,6

seinä-katto	105,8	0,05	5,3
ikkunaliitos	77,6	0,04	3,1
oviliitos	103	0,04	4,1

ikkunapinta-ala

ikkunatyyppe	Etelä A [m ²]	Lounas A [m ²]	Länsi A [m ²]	Luode A [m ²]	Pohjonen A [m ²]	Koillinen A [m ²]	Itä A [m ²]	Kaakko A [m ²]
MEK	-	-	-	34,9	-	-	-	34,9

Ilmanvaihto ja vuotoilma

IV-kone	ilmavirta [m ³ /s]
TK34	2,8

Lämpökuormat

ihmiset	valaistus	käyntiaika d/7d	käyntiaika h/24h	SFP	käyntiaikakerroin	ilmanvuotoluku q ₅₀
[W/m ²]	[W/m ²]	5	10	1,43	29,8 %	4
2	12					

laitteet	käyttöaste
[W/m ²]	
40	0,65

Lähtötiedot energialaskuissa keskikylä toimistorakennus

pinta-ala 250,6 m²tilavuus 701,7 m³C_{rak} 70 Wh/m²*Klämpötilat sisälämpötila
21 °C

ikkunapinta-ala (ei tuuletusluukkuja)

ikkunatyyppe	Etelä	Lounas	Länsi	Luode	Pohjonen	Koillinen	Itä	Kaakko
	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]	A [m ²]
MSE	-	7,85	-	8,72	-	7,2	-	5,46

Rakennetyyppi	pinta-ala [m ²]	U-arvo W/(m ² °C)	G W/°C
ikkuna MSE sis TL.	28,8	1,5	43,2
OVI	7,6	1	7,6
US2	150,0	0,27	40,5
AP1 RA	59,6	0,29	17,3
AP1 SA	191,0	0,2	38,2
YP	250,6	0,15	37,6

Konduktanssit	pituus [m]	Ψ_k W/(m °C)	G W/°C
ulkonurkka	11,2	0,04	0,4
lattia - seinä	63,6	0,1	6,4
seinä-katto	63,6	0,05	3,2
ikkunaliitos	112,08	0,04	4,5
oviliitos	19,8	0,04	0,8

Ilmanvaihto ja vuotoilma

IV-kone	ilmavirta [m ³ /s]	käyntiaika d/7d	käyntiaika h/24h	ma-pe 16h	la 10h	SFP	käyntiaikakerroin	ilmanvuotoluku q ₅₀	kerroin x ilmanvuotoluvulle
36TK	0,743	6	15,00			1,68	53,6 %	4	35

Lämpökuormat

ihmiset [W/m ²]	valaistus [W/m ²]	laitteet [W/m ²]	käyttöaste	käyttöaika [h/24h]	[d/7]
2	12	12	0,65	11	5

LKV

tuotto:	sähkö	
veden kulutus	260	m ³ /a
LKV osuus:	30	%
LKV käyttö/a	0,78	m ³ /a

Kone	Tyyppi	Palvelualue	Lämmitys	jäähdytys	Tehonsäätö	Ohjaus	ilmavirta m ³ /s	käyttöaika h/24h d/7d	
TK401	Tuloilmakone	Laboratorio	Vesipatteri	-	TAMU	Kello-ohjaus	0,344/1,072	8	5
PK401 1	Poistoilmakone, huip- puimuri	Laboratorio	-	-	TAMU	Kello-ohjaus	0,33/0,758	8	5
PK401 2	Poistoilmakone, huip- puimuri	Näytteiden käsittely kohdepoisto	-	-			-	-	-
PK401 3	Poistoilmakone, huip- puimuri	Höyrystyshuone	-	-			-	-	-
PK401 4	Poistoilmakone, huip- puimuri	Iv- ja kompressorihuone	-	-			-	-	-
PK401 5	Poistoilmakone, huip- puimuri	Wc-, siivous- ja varastotilat	-	-			-	-	-
PK401 7	Poistoilmakone, huip- puimuri	Myrkyvarasto	-	-			-	-	-
TK402	Tuloilmakone	Laboratorio puhdistila	Vesipatteri	-		Oumanin säädin	0,18	24	7
PK402	Poistoilmakone, huip- puimuri	Laboratorio puhdistila	-	-		Oumanin säädin	0,151	24	7
KK403	Kiertoilmakone	Juurutushuone	Sähköpatteri	X			-	-	-
KK404	Kiertoilmakone	A- huone	Sähköpatteri	X			-	-	-
KK405	Kiertoilmakone	Laboratorio puhdistila, kasvatushuone	Sähköpatteri	X			T0,195/P0,145	24	7
TK406	Tuloilmakone	Toimisto- ja sosiaalitilat	Vesipatteri	-	2- nopeuksinen	Oumanin säädin	0,271	8	5
PK406 1	Poistoilmakone	Toimisto- ja sosiaalitilat	-	-	2- nopeuksinen	Oumanin säädin	0,151/0,297	8	5
PK 406 2	Poistoilmakone	Sosiaalitilat	-	-	2- nopeuksinen	Oumanin säädin	0,167/0,347	8	5

Muutosehdotus	Hankinta hintaa €	Säästö/vuosi Öljyn hinta 0,7 €/l	Suora takai- sinmaksu- aika vuosina
Uusi IV-kone			
TKPK36	16000	4458	3,6
TKPK402	13000	2086	6,2
Uusi IV-kone + käyntiaikamuutos			
TKPK36	16000	4928	3,2
TKPK402	13000	2436	5,3
LTO nykyiseen järjestelmään			
TKPK36	14000	3865	3,6
TKPK402	13200	1246	10,6
LTO nykyiseen järjestelmään ja käyntiajan tarkistus			
TKPK36	14000	4745	3,0
LTO nykyiseen järjestelmään ja tehonsäädön rakentaminen käytönajan ulkopuolisen tehon pudotus 50 %			
TKPK36	17300	4500	3,8
TKPK402	13200	1845	7,2
Käyntiajansäätö, arkisin klo 6 - 17 100 % käytönajan ulkopuolella 0 %			
TKPK36	-	2392	-
Tehonsäätö ja käytönajan ulkopuolisen tehon pudotus 50 %			
TKPK36	3300	1708	1,9
TKPK402	1600	969	1,7
Yläpohja lisäeristys	5 €/m ²	0,43 €/m ²	11,6
Ikkunoiden uusiminen	300 €/m ²	10,7 €/m ²	27,9

Muutosehdotus	Hankinta hinta €	Säästö/vuosi Öljyn hinta 0,77 €/l	Suora takai- sinmaksu- aika vuosina
Uusi IV-kone			
TKPK36	16000	4904	3,3
TKPK402	13000	2295	5,7
Uusi IV-kone + käyntiaikamuutos			
TKPK36	16000	5421	3,0
TKPK402	13000	2680	4,9
LTO nykyiseen järjestelmään			
TKPK36	14000	4252	3,3
TKPK402	13200	1371	9,6
LTO nykyiseen järjestelmään ja käyntiajan tarkistus			
TKPK36	14000	5229	2,7
LTO nykyiseen järjestelmään ja tehonsäädön rakentaminen käytönajan ulkopuolisen tehon pudotus 50 %			
TKPK36	17300	4950	3,5
TKPK402	13200	2030	6,5
Käyntiajansäätö, arkisin klo 6 - 17 100 % käytönajan ulkopuolella 0 %			
TKPK36	-	2631	-
Tehonsäätö ja käytönajan ulkopuolisen tehon pudotus 50 %			
TKPK402	3300	1879	1,8
	1600	1066	1,5
Yläpohja lisäeristys	5 €/m ²	0,43 €/m ²	11,6
Ikkunoiden uusiminen	300 €/m ²	11,8 €/m ²	25,4

Muutosehdotus	Hankinta hinta €	Säästö/vuosi Öljyn hinta 0,84 €/l	Suora takai- sinmaksu- aika vuosina
Uusi IV-kone			
TKPK36	16000	5350	3,0
TKPK402	13000	2504	5,2
Uusi IV-kone + käyntiaikamuutos			
TKPK36	16000	5914	2,7
TKPK402	13000	2784	4,7
LTO nykyiseen järjestelmään			
TKPK36	14000	4638	3,0
TKPK402	13200	1495	8,8
LTO nykyiseen järjestelmään ja käyntiajan tarkistus			
TKPK36	14000	5704	2,5
LTO nykyiseen järjestelmään ja tehonsäädön rakentaminen käytönajan ulkopuolisen tehon pudotus 50 %			
TKPK36	17300	5400	3,2
TKPK402	13200	2215	6,0
Käyntiajansäätö, arkisin klo 6 - 17 100 % käytönajan ulkopuolella 0 %			
TKPK36	-	2870	-
Tehonsäätö ja käytönajan ulkopuolisen tehon pudotus 50 %			
TKPK402	3300	2050	1,6
	1600	1163	1,4
Yläpohja lisäeristys	5 €/m ²	0,52 €/m ²	9,7
Ikkunoiden uusiminen	300 €/m ²	12,9 €/m ²	23,3

Muutosehdotus	Hankinta hinta €	Säästö/vuosi Öljyn hinta 0,91 €/l	Suora takai- sinmaksu- aika vuosina
Uusi IV-kone			
TKPK36	16000	5796	2,8
TKPK402	13000	2712	4,8
Uusi IV-kone + käyntiaikamuutos			
TKPK36	16000	6407	2,5
TKPK402	13000	3167	4,1
LTO nykyiseen järjestelmään			
TKPK36	14000	5025	2,8
TKPK402	13200	1620	8,1
LTO nykyiseen järjestelmään ja käyntiajan tarkistus			
TKPK36	14000	6180	2,3
LTO nykyiseen järjestelmään ja tehonsäädön rakentaminen käytönajan ulkopuolisen tehon pudotus 50 %			
TKPK36	17300	5850	3,0
TKPK402	13200	2399	5,5
Käyntiajansäätö, arkisin klo 6 - 17 100 % käytönajan ulkopuolella 0 %			
TKPK36	-	3109	-
Tehonsäätö ja käytönajan ulkopuolisen tehon pudotus 50 %			
TKPK402	3300	2221	1,5
	1600	1260	1,3
Yläpohja lisäeristys	5 €/m ²	0,56 €/m ²	9
Ikkunoiden uusiminen	300 €/m ²	14 €/m ²	21,5