

Janne Huhta

LEIRIKESKUKSEN LVI-JÄRJESTELMIEN KANNATTAVUUSLASKELMA

LEIRIKESKUKSEN LVI-JÄRJESTELMIEN KANNATTAVUUSLASKELMA

Janne Huhta
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Janne Huhta
Opinnäytetyön nimi: Leirikeskuksen LVI-järjestelmien kannattavuuslaskelma
Työn ohjaaja: Mikko Niskala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018 Sivumäärä: 48

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla Oulun alueella sijaitsevan leirikeskuksen LVI-järjestelmäratkaisuja. Työssä laskettiin leirikeskuksen käyttöveden, lämmityksen ja ilmanvaihdon tehontarpeet. Eri järjestelmäratkaisuja ja niiden energiankulutuksia vertailtiin sekä eri vaihtoehtoista tehtiin kannattavuuslaskelmat.

Tarvittavat dokumentit saatiin työn tilaajalta. Työ aloitettiin mallintamalla kohde MagiCAD Room -sovelluksella. Tietokantaan luotiin todellisuutta vastaavat rakenteet, ovet sekä ikkunat. Jokaiseen tilaan mitoitettiin tarvittavat ilmamäärät, ja näiden avulla saatiin laskettua jokaisen tilan lämmitys-järjestelmän lämpötehon tarve. Kohteen malli vietiin Granlund Oy:n Riiska-ohjelmaan, jonka avulla laskettiin tilojen lämpötekniistä käyttäytymistä erilaisissa kuormitus- ja sääolosuhteissa.

Työssä vertailtiin kaukolämpöä, maalämpöä, ilma-vesilämpöpumppua, suoraa sähkölämmitystä ja sähkölämmityksen rinnalla käytettävää ilma-ilmalämpöpumppua. Edullisin lämmitysjärjestelmä oli kaukolämpö, mutta kaukolämpöä ei voida toimittaa kohteeseen. Toiseksi edullisin vaihtoehto oli maalämpö. Maaperässä oleva kallio on kuitenkin liian syvällä eikä alueella ole lähellä vesistöjä. Myöskään vaakaputkiston rakentaminen ei ole mahdollista, joten maalämmön käyttäminen kohteessa olisi mahdotonta. Maalämmön jälkeen kannattavin vaihtoehto oli ilma-vesilämpöpumppu, joka olisi myös mahdollista rakentaa kohteeseen. Ilma-vesilämpöpumpun jälkeen edullisin oli ilma-ilmalämpöpumppu, jota käytetään sähköisen lattialämmityksen tukena. Kallein lämmitysjärjestelmä oli suora sähkölämmitys.

Asiasanat: lämmitysjärjestelmä, kannattavuuslaskelma, energiankulutus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
SANASTO	5
1 JOHDANTO	9
2 KOHDE	10
3 LÄMMITYSMUODOT	11
3.1 Suora sähkölämmitys	11
3.2 Maalämpö	11
3.3 Kaukolämpö	12
3.4 Poistoilmalämpöpumppu	12
3.5 Ilma-vesilämpöpumppu, ULVP	13
4 LÄMMÖNJAKOJÄRJESTELMÄT	14
4.1 Vesikeskuslämmitys	14
4.1.1 Vesikiertoinen patterilämmitys	14
4.1.2 Vesikiertoinen lattialämmitys	14
4.2 Huonekohtainen sähkölämmitys	15
4.2.1 Patterilämmitys	15
4.2.2 Lattialämmitys	15
5 LÄMMITYSTEHO	16
5.1 Rakennuksen lämmitystehon tarve	16
5.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho	16
5.3 Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve	18
5.4 Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve	20
5.5 Korvausilman lämpenemisen lämpötehon tarve	20
5.6 Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin teho	20
5.7 Käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve	23
6 LÄMMITYSENERGIAN JA SÄHKÖENERGIAN KULUTUS	26
6.1 Kaukolämpö	26
6.1.1 Patterilämmitys	26
6.1.2 Lattialämmitys	27
6.2 Maalämpö	28

6.2.1	Patterilämmitys	28
6.2.2	Lattialämmitys	29
6.3	Suora sähkölämmitys	30
6.3.1	Patterilämmitys	31
6.3.2	Lattialämmitys	32
6.3.3	Ilma-vesilämpöpumppu	33
6.3.4	Ilma-ilmalämpöpumppu	37
7	KUSTANNUSLASKELMAT	40
7.1	Kaukolämpö	40
7.2	Maalämpö	42
7.3	Suora sähkölämmitys	43
7.4	Ilma-vesilämpöpumppu	43
7.5	Ilma-ilmalämpöpumppu	43
7.6	Vertailu	43
8	YHTEENVETO	46
	LÄHTEET	47

SANASTO

A_i	rakennusosan i pinta-ala, m ²
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m ²
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m ²
C_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/ (kg K)
C_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/ (kg K)
L	liittymisjohdon pituus, m
l_k	viivamaisen kylmäsilan pituus, m
n_{50}	rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
P_{apu}	lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, kW
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ / (h m ²)
$Q_{\text{lisälämmitys, lkv}}$	lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, kWh.
$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$	tilojen lisälämmityksen energiantarve, kWh
$Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$	lämpöpumpun tuottaman sähköenergian osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta, -
$Q_{LP, \text{lämmitys, lkv}}$	lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh
$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}}$	lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde, -.
$q_v, \text{korvausilma}$	korvausilmavirta, m ³ /s
q_v, lkv	lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, m ³ /s
$q_v, \text{lkv, kierto}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon mitoitusvesivirta, 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
R	tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan, -
SPF_{lkv}	lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä, -
SPF_{tilat}	lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä, -
t_{ep}	kaukolämpöveden paluulämpötila, °C
t_{et}	kaukolämpöveden tulolämpötila, °C

T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{lkv} , kierto, paluu	lämpimän käyttöveden kiertojohdon paluuveden lämpötila, °C
$T_{lto, mit}$	lämmön talteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila mitoitustilanteessa, °C
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
$T_{u, mit}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C
T_{up}	ulospuhallusilman lämpötila, °C
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/ (m ² K)
V	rakennuksen ilmatilavuus, m ³
$W_{lisälämmitys}$	tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä tarvittavan lisälämmityksen sähköenergian tarve ($Q_{lisälämmitys, tilat} + Q_{lisälämmitys, lkv}$), kWh.
$W_{LP, apu}$	lämpöpumpun apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh
$W_{LP, lämmitys}$	lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeammille rakennuksille 15
Δt	apulaitteiden käyttöaika laskentajaksolla
$\eta_{p, mit}$	lämmön talteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitustilanteessa, -
$\eta_{t, mit}$	lämmön talteenoton tuloilman lämpötilasuhde mitoitustilanteessa, -
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
$\phi_{alapohja}$	johtumislämpöteho alapohjien läpi, W
ϕ_{ikkuna}	johtumislämpöteho ikkunoiden läpi, W
ϕ_i	johtumislämpöteho rakennusosan i läpi, W
ϕ_{iv}	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
ϕ_{joht}	johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi, W
$\phi_{korvausilma}$	korvausilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W
$\phi_{kylmäsililat}$	johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, W
ϕ_{vh}	tuntinen käyttöveden lämmitysteho, kW.
ϕ_{lkv}	käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve, W
ϕ_{lkv} , kiertohäviö, omin	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho, W/m
ϕ_{lkv} , kiertohäviö	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt, kW

ϕ_{LPn}/ϕ_{tila}	lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitustehon suhde, -
ϕ_{muu}	johtumislämpöteho tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, W
ϕ_{ovi}	johtumislämpöteho ulko-ovien läpi, W
ϕ_{tila}	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
$\phi_{tuloilma}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W
$\phi_{ulkoseinä}$	johtumislämpöteho ulkoseinien läpi, W
$\phi_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W
$\phi_{yläpohja}$	johtumislämpöteho yläpohjien läpi, W
Ψ_k	viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, W/ (m K)
3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m ³ /h yksikköön m ³ /s

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Sweco Talotekniikka Oy. Yrityksen toimipiste sijaitsee Oulussa. Sweco Talotekniikka Oy kuuluu ruotsalaiseen Sweco AB asiantuntijayritykseen, jonka kotipaikka sijaitsee Tukholmassa. Sweco AB:lla on toimipaikkoja ja tytäryhtiöitä 12 maassa, ja projekteja toteutetaan kaikkiaan 70 eri maassa.

Tämän opinnäytetyön tavoite on vertailla leirikeskuksen mahdollisia LVI-järjestelmäratkaisuja. Työssä vertailtavat lämmitysjärjestelmät ovat kaukolämpö, maalämpö, ilma-vesilämpöpumppu, suora sähkölämmitys ja ilma-ilmalämpöpumppu sähkölämmityksen rinnalla. Työssä lasketaan leirikeskuksen käyttöveden, lämmityksen sekä ilmanvaihdon tehontarpeet. Eri järjestelmäratkaisuja ja niiden energiankulutuksia vertaillaan sekä eri vaihtoehtoista tehdään kannattavuuslaskelmat.

2 KOHDE

Kohde on Oulun alueella sijaitseva leirikeskus. Kohteen kerrosala on 917 m² ja bruttoala 1 100,3 m². Leirikeskuksesta löytyy muun muassa 12 majoitushuonetta, kokous-/opetustilat, sauna, keittiö sekä ruokailutilat. Ullakolla on konehuoneet ilmanvaihtokoneille. Leirikeskus on käytössä viikoilla 1, 10, 22–32 ja 43 sekä viikonloppuisin. Käyttöaika on 5088 tuntia vuodessa. Kohteessa on tällä hetkellä käytössä suora sähkölämmitys.

Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot saatiin opinnäytetyön toimeksiantajalta. U-arvoja käytettiin rakennuksen lämmitystehon tarpeen laskemiseen. Rakenteiden U-arvot on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Rakenteiden U-arvot

Rakenne	U-arvo (W/ m ² K)
Alapohja	0,16
Välipohja	0,60
Yläpohja	0,083
Ulkoseinä 1	0,15
Ulkoseinä 2, märkätila	0,15
Ikkunat	1,40
Ulko-ovet	1,40

3 LÄMMITYSMUODOT

Lämmitysjärjestelmiä on useita erilaisia. Suosituimmat lämmitysjärjestelmämuodot ovat sähkölämmitys, kaukolämpö, maalämpö, poistoilmalämpöpumppu ja ilma-vesilämpöpumppu. Lämmitysmuodon valintaan vaikuttavat useat tekijät kuten hinta, energiantarve sekä kohteen koko.

3.1 Suora sähkölämmitys

Sähkölämmitteisessä rakennuksessa lämmitys voidaan toteuttaa suoralla tai vesikiertoisella sähkölämmityksellä. Suoraa sähkölämmitystä käytettäessä aurinkolämpöä voi hyödyntää vain passiivisesti. Käyttövettä voi lämmittää aktiivisesti aurinkoenergialla. Aurinkoenergialla lämmitettyyn käyttöveteen käytetään aurinkokierukalla varustettua käyttövesivaraajaa tavanomaisen varaajan sijaan. Vesikiertoisien sähkölämmitykseen aurinkoenergia soveltuu hyvin. Järjestelmä sisältää luonnostaan aurinkolämpöjärjestelmän keskeisen elementin eli vesivaraajan. (1.)

Pientaloissa yleinen lämmitysmuoto on sähkölämmitys. Sähkölämmitystä varten ei tarvitse tehdä kalliita investointeja, eikä se vaadi suuritöisiä huoltoja. Täysin sähkölämmitteiseen uudiskohteeseen on vaikea saada rakennuslupaa, joten sähkölämmitteisen kohteen energiatehokkuutta tulee parantaa ekologisella lämmitysratkaisulla. Tätä edellyttävät tällä hetkellä voimassa olevat energiatehokkuusluokitukset. (2.)

3.2 Maalämpö

Maalämpö on vaivaton ja helppokäyttöinen lämmitysmuoto. Maalämpöpumppu ei vaadi paljoa huolto- ja tarkistustoimia. Maalämmöstä on tullut yksi suosituimmista lämmitysmuodoista. Maalämpöpumpun käyttökustannukset ovat edulliset. Investointikustannukset taas ovat kohtalaisen suuret.

Maalämpöjärjestelmässä maalämpöpumppu kerää auringon lämpöä joka on varastoitunut maaperään, kallioon tai veteen. Keruuputkistossa kiertää jäätymätön neste. Neste lämpenee muutaman celsiusasteen matkan aikana ja nesteestä saatava lämpö höyrystää lämpöpumpussa kiertävän kyl-

määineen. Kompressor nostaa höyrystyneen kylmäaineen painetta, jolloin kylmäaineen lämpötila-kin nousee. Lauhduksessa kylmäaine lauhduu nesteeksi, jolloin se luovuttaa lämpöä lämmönjakoverkkoon ja lämpimään käyttöveteen. (3.)

3.3 Kaukolämpö

Suomen yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö, jolla tuotettiin 46 prosenttia Suomen lämmitysenergiasta vuonna 2012. Suomessa on 311 kuntaa, joissa kaukolämpöverkko on 166:ssa, joten kaukolämpöä toimitetaan noin puoleen Suomen kunnista. Kaukolämmön tuotto tapahtuu yhteistuotantolaitoksissa sekä erillisissä lämpölaitoksissa. Kaukolämmön polttoaineita ovat puu, maakaasu, kivihiili, turve, sekundäärilämpö ja öljy. Näistä merkittävimmät ovat puu, maakaasu ja kivihiili, jotka käsittivät 81 prosenttia vuoden 2013 kaukolämmön polttoaineista. (4.)

Kaukolämpö toimitetaan asiakkaille kaukolämpöverkkoa pitkin. Menoputkessa kuuma menovesi vie lämmön asiakkaille ja paluuputkessa jäähtynyt lämpöä luovuttanut vesi palaa laitokselle, jossa se voidaan lämmitellä uudelleen. Kaukolämpöverkon putket ovat yleensä terästä, ja ne on kaivettu noin 0,5–1 metrin syvyyteen maahan. Kaukolämpöverkoston vesi on puhdistettu ja siitä on poistettu happi korroosion ehkäisemiseksi. Vuotojen havaitsemista helpottamaan veteen lisätään usein väriainetta.

Kaukolämpöverkostossa tuleva kuuma vesi tulee talon lämmönjakokeskukseen. Lämmönjakokeskuksessa on omat lämmönsiirtimet lämmitykselle sekä käyttövedelle. Lämmitysjärjestelmissä kaukolämpöä käytetään yleensä patteri- ja lattialämmityksessä, mutta kaukolämpöä voidaan käyttää myös ilmalämmityksessä sekä ilmanvaihtolämmityksessä. (5.)

3.4 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumpun lämmitysenergia otetaan talon poistoilmasta. Lämpö siirretään pumpun avulla tuloilmaan, patteri- tai lattialämmitysjärjestelmään tai lämpimään käyttöveteen. Sisäilmaa voidaan myös viilentää poistoilmalämpöpumpulla. Poistoilmalämpöpumppu toimii parhaiten uudessa matalaenergia- tai passiivitalossa. Sisätilavuuden ollessa suuri lämmitystehontarpeeseen verrattuna on poistoilmalämpöpumpun hankinta kannattavinta.

Kovien pakkasien aikana kannattaa polttaa puuta, jotta ostettavan sähköenergian määrää voidaan pienentää. Poistoilmalämpöpumpun etu on sen helppohoitoisuus asukkaan näkökulmasta, sillä ai-noastaan suodattimet tulee puhdistaa ja vaihtaa laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti. (6.)

3.5 Ilma-vesilämpöpumppu, ULVP

Ilma-vesilämpöpumppu eli ulkoilma-vesilämpöpumppu (UVLP) on uusiin lämmitysmuoto, joka hyödyntää lämpöpumpputekniikkaa. UVLP siirtää ulkoilmasta otettavan lämmitysenergian vesikiertoi-seen lämmitysjärjestelmään. Koko talon lämmitystarve voidaan hoitaa ilma-vesilämpöpumpulla, mutta varajärjestelmä tarvitaan kylmempiä jaksoja varten. Kun ulkolämpötila laskee myös ilma-vesilämpöpumpulla saatava lämmitysenergian määrä sekä hyötysuhde laskevat. Varajärjestel-mänä toimii ilma-vesilämpöpumpun omat sähkövastukset, jotka kattavat kovempien pakkasten lämmitystarpeet. Puiden polttaminen kylminä aikoina on tehokas tapa vähentää ostettavan sähkö-energian määrää.

Ilma-vesilämpöpumpun hankintahinta on halvempi kuin maalämpöpumpun, ja UVLP voidaan asen-taa kohteisiin, joihin maalämpöpumppua ei ole mahdollista asentaa. Ilma-vesilämpöpumpun voi myös asentaa rakennukseen jälkikäteen vanhan lämmitysjärjestelmän tilalle tai rinnalle. (7.)

4 LÄMMÖNJAKOJÄRJESTELMÄT

4.1 Vesikeskuslämmitys

Vesikeskuslämmitys toteutetaan patterilämmityksenä, lattialämmityksenä tai näiden yhdistelmänä. Vesikeskuslämmityksessä lämmitysenergian lähde on helppo vaihtaa, mutta vaihtaminen aiheuttaa lisäkustannuksia. Vesikiertoisessa järjestelmässä voidaan käyttää myös rinnakkain eri energialähteitä, kuten puuta ja sähköä tai öljyä ja aurinkoenergiaa. (8.)

4.1.1 Vesikiertoinen patterilämmitys

Yksi tapa toteuttaa vesikiertoinen lämmönjako on patterilämmitys. Yleensä meno- ja paluuedellä on omat putkistonsa, jota kutsutaan kaksiputkijärjestelmäksi. Nykyaikaisessa järjestelmässä putkitus tapahtuu alajakaisena. Tämä tarkoittaa, että putket sijoitetaan rakenteisiin, jolloin putket jäävät näkymättömiin. Suuremmissa rakennuksissa asennukset tehdään pinta-asennuksena ylä- tai alajakaisena. Jokaiseen patteriin menee saman lämpöistä vettä, ja veden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Termostaattiventtiileillä toteutetaan lämmityksen hienosäätö. Patterilämmityksen lämpötilataso on korkea, mikä heikentää lämpöpumppujen kannattavuutta. (8.)

4.1.2 Vesikiertoinen lattialämmitys

Uusissa pientaloissa yleisin lämmönjakotapa on vesikiertoinen lattialämmitys. Lattialämmityspotket asennetaan lattiarakenteeseen, ja putkistossa kiertää korkeintaan +40 °C:n vesi. Lattialämmitys sopii lähes kaikille pintamateriaaleille sekä kaikille huonetiloille. Lattialämmityspotkistossa kiertävän veden lämpötila säädetään ulkolämpötilan mukaan, ja hienosäätö tapahtuu jakotukin säätöventtiilin avulla. Lattialämmitys on niin sanottu matalalämpötilajärjestelmä, joka sopii hyvin myös lämpöpumpuille. (8.)

4.2 Huonekohtainen sähkölämmitys

Huonekohtaisen sähkölämmityksen lämmönjakotapoja ovat patterilämmitys, lattialämmitys, katto-
lämmitys ja ikkunalämmitys. Huonekohtaisen sähkölämmityksen hankintahinta on edullinen muihin
lämmitysjärjestelmiin verrattuna, joskin lämmitysenergian hinta on korkea. Huonekohtainen sähkö-
lämmitys onkin suosittu pienissä omakotitaloissa, joissa lämmitystarve on pieni. Huonekohtaista
sähkölämmitystä valittaessa kannattaa panostaa rakennuksen ilmatiiveyteen ja eristämiseen. Näin
lämmitysenergian tarvetta saadaan pienennettyä. (9.)

4.2.1 Patterilämmitys

Yleisin asennuspaikka sähköpattereille on ikkunoiden alla. Sähköpatterit reagoivat lämmöntarpeen
vaihteluun nopeasti, ja elektronisilla termostaateilla huonelämpötila saadaan tarkasti haluttuun ar-
voon. Koska lämpö tuotetaan tilassa, jossa sitä tarvitaan, on patterilämmityksen hyötysuhde hyvä.
(9.)

4.2.2 Lattialämmitys

Lattialämmitys toteutetaan varaavana tai jatkuvatoimisena. Jatkuvatoimista lattialämmitystä käyte-
tään yleensä pesutiloissa, ja parketin alle asennettu lattialämmitys voidaan toteuttaa varaavana tai
jatkuvatoimisena. Varaava lattialämmitys on päällä yösähkön aikaan, jolloin sähkön hinta on pie-
nempi. Lattialämmitys reagoi hitaammin lämmöntarpeen muutoksiin kuin patterilämmitys. (9.)

5 LÄMMITYSTEHO

Rakennuksen lämmitystehon tarve lasketaan yleensä tilakohtaisesti. Näin tilakohtaiset lämmityslaitteet voidaan mitoittaa ja valita. Pääasiassa rakennuksen lämmitystehon tarve koostuu rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, ilmanvaihdesta ja ilmanvuodoista. Rakennuksen lämmitystehon tarve on laskettu ympäristöministeriön ohjeen ”Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta” kaavoilla. (10, s. 64.)

5.1 Rakennuksen lämmitystehon tarve

Rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarpeen laskentaan otetaan huomioon johtumishäviöt rakennusvaipan läpi, vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, teho tuloilman lämmittämiseen tilassa sekä teho korvausilman lämmittämiseen tilassa. Finvac ry:n uudessa ”Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet” loppuraportissa käyttötilanteen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat mitoitetaan yleensä yhtä suuriksi, jolloin korvausilmaa ei ole. Lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve lasketaan kaavalla 1. (10, s. 65.)

$$\phi_{\text{tila}} = \phi_{\text{joht}} + \phi_{\text{vuotoilma}} + \phi_{\text{tuloilma}} + \phi_{\text{korvausilma}}$$

KAAVA 1

jossa

ϕ_{tila}	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
ϕ_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, W
$\phi_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen tehontarve, W
ϕ_{tuloilma}	teho tuloilman lämmittämiseen tilassa, W
$\phi_{\text{korvausilma}}$	teho korvausilman lämmittämiseen tilassa, W.

$$\phi_{\text{tila}} = 17972,43 \text{ W} + 5469,6 \text{ W} + 7347,8 \text{ W} + 0 \text{ W} = 30789,6 \text{ W}$$

5.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho lasketaan kaavalla 2 (10, s. 65).

$$\phi_{\text{joht}} = \phi_{\text{ulkoseinä}} + \phi_{\text{yläpohja}} + \phi_{\text{alapohja}} + \phi_{\text{ikkuna}} + \phi_{\text{ovi}} + \phi_{\text{muu}} + \phi_{\text{kylmäsillat}}$$

KAAVA 2

jossa

ϕ_{joht}	johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi, W
$\phi_{\text{ulkoseinä}}$	johtumislämpöteho ulkoseinien läpi, W
$\phi_{\text{yläpohja}}$	johtumislämpöteho yläpohjien läpi, W
ϕ_{alapohja}	johtumislämpöteho alapohjien läpi, W
ϕ_{ikkuna}	johtumislämpöteho ikkunoiden läpi, W
ϕ_{ovi}	johtumislämpöteho ulko-ovien läpi, W
ϕ_{muu}	johtumislämpöteho tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, W
$\phi_{\text{kylmäsillat}}$	johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, W.

$$\phi_{\text{joht}} = 5468,75 \text{ W} + 3952,69 \text{ W} + 1724,49 \text{ W} + 2689,0 \text{ W} + 1945,52 \text{ W} + 2191,97 \text{ W} = 17972,42 \text{ W}$$

Jokaiselle rakennusosalle i lasketaan lämpöhäviöt rakennusosien läpi kaavalla 3 (10, s. 66).

$$\phi_i = \sum U_i A_i (T_s - T_{u, \text{mit}})$$

KAAVA 3

jossa

ϕ_i	johtumislämpöteho rakennusosan i läpi, W
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/ (m ² / K)
A_i	rakennusosan i pinta-ala, m ²
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u, \text{mit}}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C.

Lämpöhäviötehot kylmäsiltojen läpi lasketaan kaavalla 4 (10, s. 66).

$$\phi_{\text{kylmäsillat}} = \sum l_k \psi_k (T_s - T_{u, \text{mit}})$$

KAAVA 4

jossa

$\phi_{\text{kylmäsillat}}$	johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, W
l_k	viivamaisen kylmäsilan pituus, m
ψ_k	viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, W/ (m K)

T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u, mit}$	mitoittava ulkolämpötila, °C.

Eri liitosten viivamaisten kylmäsiltojen pituudet ja lisäkonduktanssit on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Viivamaisten kylmäsiltojen pituudet ja lisäkonduktanssit

Liitos	Ψ_k (W/ m K)	l_k (m)
Ulkoikkunan liitos	0,04	106
Ulko-oven liitos	0,04	70,2
Ulkoseinän ja yläpohjan liitos	0,05	314,8
Ulkoseinän ja välipohjan liitos	0	103,8
Ulkoseinän ja alapohjan liitos	0,1	161,6
Ulkoseinä, nurkka ulospäin	0,04	65,8
Ulkoseinä, nurkka sisäänpäin	-0,04	5,6

$$\begin{aligned} \phi_{kylmäsilto} = & \left(106m \times 0,04 \frac{W}{mK} + 70,2m \times 0,04 \frac{W}{mK} + 314,8m \times 0,05 \frac{W}{mK} \right. \\ & + 103,8m \times 0 \frac{W}{mK} + 161,6m \times 0,1 \frac{W}{mK} + 65,8m \times 0,04 \frac{W}{mK} \\ & \left. + 5,6m \times (-0,04) \right) \times (21^\circ C - (-32^\circ C)) = 2191,97 W \end{aligned}$$

5.3 Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve

Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve lasketaan kaavalla 5 (10, s. 67).

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

KAAVA 5

jossa

$\phi_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/ (kg K)

$q_{v, \text{ vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u, \text{ mit}}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C.

$$\phi_{\text{vuotoilma}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \times 0,087 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times (21^\circ\text{C} - (-32^\circ\text{C})) = 5469,6 \text{ W}$$

Vuotoilmavirta $q_{v, \text{ vuotoilma}}$ lasketaan kaavalla 6 (10, s. 21).

$$q_{v, \text{ vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{\text{vaippa}} \quad \text{KAAVA 6}$$

jossa

$q_{v, \text{ vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ / (h m ²)
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m ²
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeimmille rakennuksille 15 kerroskorkeuden ollessa noin 3 m; vain maapinnan yläpuoliset kerrokset otetaan huomioon.
3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m ³ /h yksikköön m ³ /s.

$$q_{v, \text{ vuotoilma}} = \frac{3,306 \frac{\text{m}^3}{\text{h m}^2}}{3600 \times 24} \times 2275,16 \text{ m}^2 = 0,087 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} voidaan laskea ilmanvuotoluvusta n_{50} kaavalla 7 (10, s. 21–22).

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{\text{vaippa}}} \times V \quad \text{KAAVA 7}$$

jossa

q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ / (h m ²)
n_{50}	rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
V	rakennuksen tilavuus, m ³

A_{vaippa}

rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m³.

$$q_{50} = \frac{3 \frac{1}{h}}{2275,16 m^2} \times 2507 m^3 = 3,306 \frac{m^3}{h m^2}$$

5.4 Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve

Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve lasketaan kaavalla 8 (10, s. 67).

$$\phi_{tuloilma} = \rho_i c_{pi} q_{v, tulo} (T_s - T_{sp})$$

KAAVA 8

jossa

$\phi_{tuloilma}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v, tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C

$$\phi_{tuloilma} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 1000 \frac{J}{kg K} \times 2,041 \frac{m^3}{s} \times (21^\circ C - 18^\circ C) = 7347,6 W$$

5.5 Korvausilman lämpenemisen lämpötehon tarve

Korvausilman lämpenemisen lämpötehon tarvetta ei tarvitse laskea, sillä ilmanvaihto on suunniteltu tasapainoiseksi ja ilmavirrat ovat saman suuruiset.

5.6 Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin teho

Ilmavirrat mitoitettiin Finvac ry:n ympäristöministeriön hankkeiden loppuraportin ”Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet” mukaan. Rakennuksen ilmanvaihto toteutettiin kahdella ilmanvaihtokoneella, majoitustilat omalla ilmanvaihtokoneella ja yhteiset tilat omalla ilmanvaihtokoneella. Molemmille

palvelualueille tuotettiin koneellinen tulo- ja poistoilmavaihto. Majoitustilojen kokonaistuloilmavirraksi mitoitettiin 209 dm³/s ja kokonaispoistoilmavirraksi 209 dm³/s. Yhteisien tilojen kokonaistuloilmavirraksi mitoitettiin 1 832 dm³/s ja kokonaispoistoilmavirraksi 1 832 dm³/s. Koko rakennuksen tuloilmavirraksi saatiin 2 041 dm³/s ja poistoilmavirraksi 2 041 dm³/s.

Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin tehontarpeen laskennassa käytetään suunnitelmien mukaisia ilmavirtoja. Lämmityslaitteiston tehoa ei tarvitse mitoittaa lyhytaikaisten tehostustilanteiden mukaisesti. Ilmanvaihtojärjestelmän tarvitsema lämmitysteho lasketaan ilmanvaihtokoneittain kaavalla 9. (10, s. 68.)

$$\phi_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v, tulo} (T_{sp} - T_{lto, mit})$$

KAAVA 9

jossa

ϕ_{iv}	ilmanvaihdon lämmityspatterin teho, W
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 kJ/ (kg K)
$q_{v, tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
$T_{lto, mit}$	lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila mitoitustilanteessa, °C.

Majoitustiloissa

$$\phi_{iv} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 1000 \frac{J}{kg K} \times 0,209 \frac{m^3}{s} \times (18^\circ C - (-11^\circ C)) = 7273,2 W$$

Yhteisissä tiloissa

$$\phi_{iv} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 1000 \frac{J}{kg K} \times 1,832 \frac{m^3}{s} \times (18^\circ C - (-11^\circ C)) = 63753,6 W$$

Koko rakennuksessa

$$\phi_{iv} = 7273,2 W + 63753,6 W = 71026,8 W$$

Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila lasketaan kaavalla 10 (10, s. 68).

$$T_{lto, mit} = T_{u, mit} + \eta_{t, mit} (T_s - T_{u, mit})$$

KAAVA 10

jossa

$T_{lto, mit}$	lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila mitoitusilanteessa, °C
$T_{u, mit}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C
$\eta_{t, mit}$	lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde mitoitusilanteessa, -
T_s	sisäilman lämpötila, °C.

Majoitustiloissa

$$T_{lto, mit} = -32^{\circ}\text{C} + 0,396 \times (21^{\circ}\text{C} - (-32^{\circ}\text{C})) = -11^{\circ}\text{C}$$

Yhteisissä tiloissa

$$T_{lto, mit} = -32^{\circ}\text{C} + 0,396 \times (21^{\circ}\text{C} - (-32^{\circ}\text{C})) = -11^{\circ}\text{C}$$

Lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde mitoitusilanteessa lasketaan kaavalla 11 (10, s. 68–69).

$$\eta_{t, mit} = \frac{\eta_{p, mit}}{R}$$

KAAVA 11

jossa

$\eta_{t, mit}$	lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde mitoitusilanteessa, -
$\eta_{p, mit}$	lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitusilanteessa, -
R	tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan, -.

Majoitustiloissa

$$R = \frac{0,209 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,209 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 1,0$$

$$\eta_{t, mit} = \frac{0,396}{1,0} = 0,396$$

Yhteisissä tiloissa

$$R = \frac{1,832 \frac{m^3}{s}}{1,832 \frac{m^3}{s}} = 1,0$$

$$\eta_{t,mit} = \frac{0,396}{1,0} = 0,396$$

Lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitustilanteessa lasketaan kaavalla 12 (10, s. 69).

$$\eta_{p,mit} = \frac{T_s - T_{up}}{T_s - T_{u,mit}}$$

KAAVA 12

jossa

$\eta_{p,mit}$	lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitustilanteessa, -
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_{up}	ulospuhallusilman lämpötila, °C
$T_{u,mit}$	ulkoilman lämpötila mitoitustilanteessa, °C.

$$\eta_{p,mit} = \frac{21^{\circ}C - 0^{\circ}C}{21^{\circ}C - (-32^{\circ}C)} = 0,396$$

5.7 Käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve

Käyttöveden lämmityksen tehontarve lasketaan kaavalla 13 (10, s. 69).

$$\phi_{lkv} = \rho_v c_{pv} q_{v, lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) + \phi_{lkv, kiertohäviö}$$

KAAVA 13

jossa

ϕ_{lkv}	käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve, kW
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/ (kg K)
$q_{v, lkv}$	lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, m ³ /s
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
$\phi_{lkv, kiertohäviö}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöt, kW.

$$\begin{aligned}\phi_{lkv} &= 1000 \frac{kg}{m^3} \times 4,2 \frac{kJ}{kg K} \times 0,00089 \frac{m^3}{s} \times (58^\circ C - 10^\circ C) + 0,717 kW \\ &= 180,14 kW\end{aligned}$$

Energiatallisuuden laatiman määräyksien ja ohjeiden julkaisun K1/2013 mukaan käyttöveden lämmityksen lämpöteho lasketaan ilman kiertojohtojen lämpöhäviöitä. Lämpimän käyttöveden lämpötehon tarve lasketaan lämpimän käyttöveden lämpötilan ollessa 58 °C:tta ja lämpimän käyttöveden kiertojohto veden lämpötilan ollessa vähintään 55 °C:tta. (11, s. 12.)

Käyttöveden lämmityksen tarvitsemaan tehoon lasketaan tarvittaessa mukaan lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöiden aiheuttama lämmitystehon tarve kaavalla 14 tai 15 (10, s. 70).

$$\phi_{lkv, kiertohäviö} = \phi_{lkv, kiertohäviö, omin} A_{netto}$$

KAAVA 14

$$\phi_{lkv, kiertohäviö} = \rho_v c_{pv} q_{v, lkv, kierto} (T_{lkv} - T_{lkv, kierto, paluu})$$

KAAVA 15

jossa

$\phi_{lkv, kiertohäviö}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöt, kW
$\phi_{lkv, kiertohäviö, omin}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöiden ominaisteho, kW/m ²
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m ²
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/ (kg K)
$q_{v, lkv, kierto}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtojen mitoitusvesivirta, m ³ /s
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{lkv, kierto, paluu}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtojen paluuvien lämpötila, °C.

$$\phi_{lkv, kiertohäviö} = 0,04 \frac{kW}{m} \times 0,02 \frac{m}{m^2} \times 896 m = 0,717 kW$$

Käyttöveden tuntinen teho arvioitiin Suomen Kaukolämpö ry:n suosituksen K15/1998 taulukosta. Käyttöveden tuntinen teho arvioitiin olevan 29,5 kW (12, s. 26).

Koko rakennuksen lämmitystehon tarve on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Rakennuksen lämmitystehon tarve

	Lämmitystehon tarve (W)
ϕ_{tila}	30 789,6
ϕ_{iv}	71 026,8
ϕ_{kv}	180 141
$\phi_{\text{lämmitys}}$	305 394,1

6 LÄMMITYSENERGIAN JA SÄHKÖENERGIAN KULUTUS

Kohteen lämmitysenergian ja sähköenergian kulutukset laskettiin Granlund Oy:n olosuhde- ja energiasimulointiohjelma Riuskalla. Työssä vertailtiin kaukolämmön, maalämmön, ilma-vesilämpöpumpun, suoran sähkölämmityksen ja suoran sähkölämmityksen rinnalla käytettävän ilma-ilmalämpöpumpun energiankulutuksia. Jokaisesta lämmöntuottotavasta laskettiin energiankulutukset, kun lämmönjakotapoina olivat patteri- ja lattialämmitys.

6.1 Kaukolämpö

Käytettäessä kaukolämpöä lämmitysmuotona rakennuksen energiamuotokerroin on 0,50 (13).

6.1.1 Patterilämmitys

Kaukolämpöjärjestelmässä, jonka lämmönjako toteutettiin patterilämmityksenä, lämmitysenergian tarve oli 171,7 MWh vuodessa. Lämmitysenergian tarpeeseen sisältyy ilmanvaihtokoneen lämmityksen lämpöenergian tarve, tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve. Sähköenergian kulutus oli vuodessa 40,6 MWh, joka sisältää valaistuksen, kuluttajalaitteet, ilmanvaihtokoneen puhaltimet, lämmityksen apulaitteet ja käyttöveden kierto-pumppu. Energiankulutukset on esitetty kuvassa 1.

	MWh	kWh/m ²	kWh/m ³
Ostoenergia:			
• Lämmitysenergia:	171,7	191,7	68,5
• Jäähdytysenergia:	0,0	0,0	0,0
• Sähköenergia:	40,6	45,4	16,2
• Lämmityssähkö:	0,0	0,0	0,0
• Jäähdytys­­sähkö:	0,0	0,0	0,0
• LVI, muu sähkö:	20,1	22,5	8,0
• Valaistussähkö:	15,0	16,8	6,0
• Laitesähkö:	5,5	6,1	2,2
Uusiutuva omavaraisenergia:	0,0	0,0	0,0
Lämmitysenergian tarve:	171,7	191,7	68,5
✓ • Simuloitu, IV-kone:	67,1	74,9	26,7
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✓ • Simuloitu, tilalaitteet:	78,5	87,7	31,3
• Häviöenergia:	8,7	9,7	3,5
✓ • Lämmin käyttövesi:	9,9	11,0	3,9
• Häviöenergia:	7,5	8,4	3,0
✗ • Muu:	0,0	0,0	0,0
Jäähdytysenergian tarve:	0,0	0,0	0,0
✗ • Simuloitu, IV-kone:	4,8	5,3	1,9
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✗ • Simuloitu, tilalaitteet:	0,0	0,0	0,0
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✗ • Muu:	0,0	0,0	0,0
LVI, muu sähkön tarve:	20,1	22,5	8,0
✓ • Simuloitu, puhaltimet:	18,2	20,4	7,3
✓ • Muu:	1,9	2,1	0,8
Valaistussähkön tarve:	15,0	16,8	6,0
✓ • Tilat:	15,0	16,8	6,0
✓ • Rakennus:	0,0	0,0	0,0
Laitesähkön tarve:	5,5	6,1	2,2
✓ • Tilat:	5,5	6,1	2,2
✓ • Rakennus:	0,0	0,0	0,0

KUVA 1. Kaukolämpöjärjestelmän patterilämmityksen energiankulutukset

6.1.2 Lattialämmitys

Lattialämmityksessä lämmitysenergian tarve oli 182,6 MWh vuodessa. Sähköenergian tarve oli 40,6 MWh vuodessa. Energiankulutukset on esitetty kuvassa 2.

käytetty lämpökerroin oli 2,5 ja käyttöveden tuotannossa 2,3. Energiankulutukset on esitetty kuvassa 3.

	MWh	kWh/m ²	kWh/m ³
Ostoenergia:			
• Lämmitysenergia:	0,0	0,0	0,0
• Jäähdytysenergia:	0,0	0,0	0,0
• Sähköenergia:	112,2	125,3	44,7
• Lämmityssähkö:	71,5	79,9	28,5
• Jäähdytys sähkö:	0,0	0,0	0,0
• LVI, muu sähkö:	20,1	22,5	8,0
• Valaistussähkö:	15,0	16,8	6,0
• Laitesähkö:	5,5	6,1	2,2
Uusiutuva omavaraisenergia:	100,1	111,8	39,9
Lämmitysenergian tarve:	171,7	191,7	68,5
✓ • Simuloitu, IV-kone:	67,1	74,9	26,7
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✓ • Simuloitu, tilalaitteet:	78,5	87,7	31,3
• Häviöenergia:	8,7	9,7	3,5
✓ • Lämmin käyttövesi:	9,9	11,0	3,9
• Häviöenergia:	7,5	8,4	3,0
✗ • Muu:	0,0	0,0	0,0
Jäähdytysenergian tarve:	0,0	0,0	0,0
✗ • Simuloitu, IV-kone:	4,8	5,3	1,9
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✗ • Simuloitu, tilalaitteet:	0,0	0,0	0,0
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✗ • Muu:	0,0	0,0	0,0
LVI, muu sähkön tarve:	20,1	22,5	8,0
✓ • Simuloitu, puhaltimet:	18,2	20,4	7,3
✓ • Muu:	1,9	2,1	0,8
Valaistussähkön tarve:	15,0	16,8	6,0
✓ • Tilat:	15,0	16,8	6,0
✓ • Rakennus:	0,0	0,0	0,0
Laitesähkön tarve:	5,5	6,1	2,2
✓ • Tilat:	5,5	6,1	2,2
✓ • Rakennus:	0,0	0,0	0,0

KUVA 3. Maalämpöjärjestelmän patterilämmityksen energiankulutukset

6.2.2 Lattialämmitys

Lattialämmityksessä lämmityssähkön energiankulutus oli 68,9 MWh vuodessa. Uusiutuva omavaraisenergia oli 113,7 MWh vuodessa. Lämmityksessä käytetty lämpökerroin oli 3,0 ja käyttöveden tuotannossa 2,3. Energiankulutukset on esitetty kuvassa 4.

	MWh	kWh/m ²	kWh/m ³
Ostoenergia:			
• Lämmitysenergia:	0,0	0,0	0,0
• Jäähdytysenergia:	0,0	0,0	0,0
• Sähköenergia:	109,5	122,3	43,7
• Lämmityssähkö:	68,9	76,9	27,5
• Jäähdytys­­sähkö:	0,0	0,0	0,0
• LVI, muu sähkö:	20,1	22,5	8,0
• Valaistussähkö:	15,0	16,8	6,0
• Laitesähkö:	5,5	6,1	2,2
Uusiutuva omavaraisenergia:	113,7	126,9	45,3
Lämmitysenergian tarve:	182,6	203,9	72,8
✓ • Simuloitu, IV-kone:	67,1	74,9	26,7
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✓ • Simuloitu, tilalaitteet:	78,5	87,7	31,3
• Häviöenergia:	19,6	21,9	7,8
✓ • Lämmin käyttövesi:	9,9	11,0	3,9
• Häviöenergia:	7,5	8,4	3,0
✗ • Muu:	0,0	0,0	0,0
Jäähdytysenergian tarve:	0,0	0,0	0,0
✗ • Simuloitu, IV-kone:	4,8	5,3	1,9
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✗ • Simuloitu, tilalaitteet:	0,0	0,0	0,0
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✗ • Muu:	0,0	0,0	0,0
LVI, muu sähkön tarve:	20,1	22,5	8,0
✓ • Simuloitu, puhaltimet:	18,2	20,4	7,3
✓ • Muu:	1,9	2,1	0,8
Valaistussähkön tarve:	15,0	16,8	6,0
✓ • Tilat:	15,0	16,8	6,0
✓ • Rakennus:	0,0	0,0	0,0
Laitesähkön tarve:	5,5	6,1	2,2
✓ • Tilat:	5,5	6,1	2,2
✓ • Rakennus:	0,0	0,0	0,0

KUVA 4. Maalämpöjärjestelmän lattialämmityksen energiankulutukset

6.3 Suora sähkölämmitys

Suoran sähkölämmityksen energiamuotokertoimena käytettiin arvoa 1,20 (13).

6.3.1 Patterilämmitys

Sähköllä toimivan patterilämmityksen sähköenergian kulutus oli 207,7 MWh vuodessa. Energiankulutukset on esitetty kuvassa 5.

	MWh	kWh/m ²	kWh/m ³
Ostoenergia:			
• Lämmitysenergia:	0,0	0,0	0,0
• Jäähdytysenergia:	0,0	0,0	0,0
• Sähköenergia:	207,7	232,0	82,8
• Lämmityssähkö:	167,1	186,6	66,6
• Jäähdytys­sähkö:	0,0	0,0	0,0
• LVI, muu sähkö:	20,1	22,5	8,0
• Valaistussähkö:	15,0	16,8	6,0
• Laitesähkö:	5,5	6,1	2,2
Uusiutuva omavaraisenergia:	0,0	0,0	0,0
Lämmitysenergian tarve:	167,1	186,6	66,6
✓ • Simuloitu, IV-kone:	67,1	74,9	26,7
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✓ • Simuloitu, tilalaitteet:	78,5	87,7	31,3
• Häviöenergia:	4,1	4,6	1,6
✓ • Lämmin käyttövesi:	9,9	11,0	3,9
• Häviöenergia:	7,5	8,4	3,0
✗ • Muu:	0,0	0,0	0,0
Jäähdytysenergian tarve:	0,0	0,0	0,0
✗ • Simuloitu, IV-kone:	4,8	5,3	1,9
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✗ • Simuloitu, tilalaitteet:	0,0	0,0	0,0
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✗ • Muu:	0,0	0,0	0,0
LVI, muu sähkön tarve:	20,1	22,5	8,0
✓ • Simuloitu, puhallimet:	18,2	20,4	7,3
✓ • Muu:	1,9	2,1	0,8
Valaistussähkön tarve:	15,0	16,8	6,0
✓ • Tilat:	15,0	16,8	6,0
✓ • Rakennus:	0,0	0,0	0,0
Laitesähkön tarve:	5,5	6,1	2,2
✓ • Tilat:	5,5	6,1	2,2
✓ • Rakennus:	0,0	0,0	0,0

KUVA 5. Suoran sähkölämmityksen patterilämmityksen energiankulutukset

6.3.2 Lattialämmitys

Sähköllä toimivan lattialämmityksen sähköenergian kulutus oli 217,5 MWh vuodessa. Energiankulutukset on esitetty kuvassa 6.

	MWh	kWh/m ²	kWh/m ³
Ostoenergia:			
• Lämmitysenergia:	0,0	0,0	0,0
• Jäähdytysenergia:	0,0	0,0	0,0
• Sähköenergia:	217,5	242,8	86,7
• Lämmityssähkö:	176,8	197,4	70,5
• Jäähdytys­­sähkö:	0,0	0,0	0,0
• LVI, muu sähkö:	20,1	22,5	8,0
• Valaistussähkö:	15,0	16,8	6,0
• Laitesähkö:	5,5	6,1	2,2
Uusiutuva omavaraisenergia:	0,0	0,0	0,0
Lämmitysenergian tarve:	176,8	197,4	70,5
✓ • Simuloitu, IV-kone:	67,1	74,9	26,7
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✓ • Simuloitu, tilalaitteet:	78,5	87,7	31,3
• Häviöenergia:	13,9	15,5	5,5
✓ • Lämmin käyttövesi:	9,9	11,0	3,9
• Häviöenergia:	7,5	8,4	3,0
✗ • Muu:	0,0	0,0	0,0
Jäähdytysenergian tarve:	0,0	0,0	0,0
✗ • Simuloitu, IV-kone:	4,8	5,3	1,9
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✗ • Simuloitu, tilalaitteet:	0,0	0,0	0,0
• Häviöenergia:	0,0	0,0	0,0
✗ • Muu:	0,0	0,0	0,0
LVI, muu sähkön tarve:	20,1	22,5	8,0
✓ • Simuloitu, puhaltimet:	18,2	20,4	7,3
✓ • Muu:	1,9	2,1	0,8
Valaistussähkön tarve:	15,0	16,8	6,0
✓ • Tilat:	15,0	16,8	6,0
✓ • Rakennus:	0,0	0,0	0,0
Laitesähkön tarve:	5,5	6,1	2,2
✓ • Tilat:	5,5	6,1	2,2
✓ • Rakennus:	0,0	0,0	0,0

KUVA 6. Suoran sähkölämmityksen lattialämmityksen energiankulutukset

6.3.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpulla tuotettava tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia lasketaan ottamalla lisälämmityksen tarvittava energiankulutus huomioon kaavoilla 16 ja 17 (10, s. 53).

$$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = Q_{\text{lämmitys, tilat}} - Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$$

KAAVA 16

jossa

$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}}$	lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$	tilojen lisälämmityksen energiantarve, kWh.

$$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 98149 \text{ kWh} - 9814,9 \text{ kWh} = 88334,1 \text{ kWh}$$

$$Q_{LP, \text{lämmitys, lkv}} = Q_{\text{lämmitys, lkv}} - Q_{\text{lisälämmitys, lkv}}$$

KAAVA 17

jossa

$Q_{LP, \text{lämmitys, lkv}}$	lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{lisälämmitys, lkv}}$	lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, kWh.

$$Q_{LP, \text{lämmitys, lkv}} = 17376 \text{ kWh} - 1737,6 \text{ kWh} = 15638,4 \text{ kWh}$$

Tilojen ja käyttöveden lämmityksessä tarvittava lisälämmityksen energiantarve lasketaan kaavalla 18 ja 19 (10, s. 53).

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = (1 - Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}) Q_{\text{lämmitys, tilat}}$$

KAAVA 18

jossa

$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$	tilojen lisälämmityksen energiantarve, kWh
$Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$	lämpöpumpun tuottaman sähköenergian osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta, -
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh.

$$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} = (1 - 0,90) \times 98149 \text{ kWh} = 9814,9 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lisälämmitys, lkv}} = (1 - Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}) Q_{\text{lämmitys, lkv}}$$

KAAVA 19

jossa

$Q_{\text{lisälämmitys, lkv}}$	lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, kWh
$Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$	lämpöpumpun tuottaman sähköenergian osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta, -
$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh.

$$Q_{\text{lisälämmitys, lkv}} = (1 - 0,90) \times 17376 \text{ kWh} = 1737,6 \text{ kWh}$$

Lämpöpumpun tuottama sähköenergian osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta arvioidaan taulukosta 4 (10, s. 76).

TAULUKKO 4. Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta

ϕ_{LPn}/ϕ_{tila}	$\frac{Q_{lämmitys, tilat}}{Q_{lämmitys, lkv}}$	Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) kattama osuus tilojen ja lämpimän- käyttöveden lämpöenergiasta ($Q_{LP}/Q_{lämmitys, tilat, lkv}$)											
		Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		T_{mv} °C				T_{mv} °C				T_{mv} °C			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,30	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28	0,28	0,28	0,28
	1,00	0,39	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33
	2,00	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44	0,40	0,39	0,39	0,38
	4,00	0,56	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41
0,40	0,50	0,44	0,44	0,44	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38
	1,00	0,52	0,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44
	2,00	0,63	0,61	0,60	0,58	0,60	0,58	0,57	0,56	0,52	0,51	0,50	0,49
	4,00	0,68	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51
0,50	0,50	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,52	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47
	1,00	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,55	0,54	0,54	0,53
	2,00	0,73	0,71	0,69	0,68	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,60	0,58	0,57
	4,00	0,78	0,75	0,72	0,70	0,74	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
0,60	0,50	0,64	0,64	0,64	0,64	0,62	0,62	0,62	0,61	0,55	0,55	0,55	0,55
	1,00	0,75	0,74	0,72	0,72	0,72	0,70	0,69	0,69	0,64	0,63	0,62	0,61
	2,00	0,82	0,79	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65	0,64
	4,00	0,84	0,82	0,80	0,77	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
0,70	0,50	0,73	0,73	0,73	0,73	0,70	0,70	0,70	0,70	0,63	0,63	0,63	0,63
	1,00	0,83	0,81	0,80	0,78	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,69	0,68	0,67
	2,00	0,87	0,85	0,83	0,82	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69
	4,00	0,89	0,87	0,85	0,83	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70
0,80	0,50	0,81	0,80	0,80	0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,72	0,71	0,71	0,70
	1,00	0,88	0,87	0,85	0,84	0,86	0,85	0,84	0,82	0,77	0,76	0,74	0,73
	2,00	0,90	0,89	0,88	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
	4,00	0,91	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
0,90	0,50	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,77	0,76	0,76	0,75
	1,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
	2,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,90	0,89	0,88	0,87	0,81	0,80	0,79	0,77
	4,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
1,00	0,50	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79
	1,00	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	2,00	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	4,00	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79

Taulukossa

$Q_{LP}/Q_{lämmitys, tilat, lkv}$

ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta, -

ϕ_{LPn}/ϕ_{tila}

lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitustehon suhde, -

$Q_{lämmitys, tilat}/Q_{lämmitys, lkv}$

tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde, -.

Lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitustehon suhde oli 1,0. Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde on suuri, joten taulukkoa luettaessa käytettiin suurinta arvoa 4,0. Lämpöpumpun kattamaksi osuudeksi tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeeksi luettiin taulukosta 0,90.

Lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla 20 (10, s.54-55).

$$W_{LP, \text{lämmitys}} = Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} / SPF_{\text{tilat}} + Q_{LP, \text{lämmitys, lkv}} / SPF_{\text{lkv}} + W_{\text{lisälämmitys}} \quad \text{KAAVA 20}$$

jossa

$W_{LP, \text{lämmitys}}$	lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}}$	lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh
SPF_{tilat}	lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä, -
$Q_{LP, \text{lämmitys, lkv}}$	lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh
SPF_{lkv}	lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä, -
$W_{\text{lisälämmitys}}$	tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä tarvittavan lisälämmityksen sähköenergian tarve ($Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} + Q_{\text{lisälämmitys, lkv}}$), kWh.

$$\begin{aligned} W_{LP, \text{lämmitys}} &= \frac{88334,1 \text{ kWh}}{2,5} + \frac{15638,4 \text{ kWh}}{1,6} + (9814,9 \text{ kWh} + 1737,7 \text{ kWh}) \\ &= 56660,14 \text{ kWh} \end{aligned}$$

SPF-luvut tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä valittiin taulukosta 5 (10, s. 55).

TAULUKKO 5. Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja

Taulukko 7.8 Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja.

Ulkoilmalämpöpumput: menoveden korkein lämpötila, °C	SPF-luku		
	Säävyöhykkeet		
	I-II	III	IV
Ilma-ilma	2,8	2,8	2,7
Ilma-vesi (tilojen lämmitys)			
30	2,8	2,8	2,7
40	2,5	2,5	2,4
50	2,3	2,3	2,2
60	2,2	2,1	2,0
Ilma-vesi (käyttöveden lämmitys)			
60	1,8	1,6	1,3

Lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutus lasketaan kaavalla 21 (10, s. 56).

$$W_{LP,apu} = P_{apu} \Delta t$$

KAAVA 21

jossa

$W_{LP,apu}$ lämpöpumpun apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh

P_{apu} lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, kW

Δt apulaitteiden käyttöaika laskentajaksolla

$$W_{apu} = 0,376 \text{ kW} \times 5088 \text{ h} = 1913,09 \text{ kWh}$$

6.3.4 Ilma-ilmalämpöpumppu

Suoran sähkölämmityksen rinnalle valittiin ilma-ilmalämpöpumppu. Työssä ilma-ilmalämpöpumpun arvioitiin tuottavan 30 prosenttia rakennuksen lämmitysenergiasta. Lämpöpumpulla tuotettava tilojen lämmitysenergia lasketaan ottamalla lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus huomioon kaavalla 22. (10, s. 53).

$$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = Q_{\text{lämmitys, tilat}} - Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$$

KAAVA 22

jossa

$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}}$ lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh

$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$ tilojen lisälämmityksen energiantarve, kWh.

$$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 98149 \text{ kWh} - 48093,01 \text{ kWh} = 50055,99 \text{ kWh}$$

Tilojen lämmityksessä tarvittava lisälämmityksen energiantarve lasketaan kaavalla 23 (10, s. 53).

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = (1 - Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}) Q_{\text{lämmitys, tilat}} \quad \text{KAAVA 23}$$

jossa

$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$ tilojen lisälämmityksen energiantarve, kWh

$Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$ lämpöpumpun tuottaman sähköenergian osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta, -

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh.

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = (1 - 0,51) \times 98149 \text{ kWh} = 48093,01 \text{ kWh}$$

Lämpöpumpun tuottama osuus tilojen lämpöenergian tarpeesta valittiin taulukosta 6 (10, s. 54).

TAULUKKO 6. Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-ilma) tuottama osuus tilojen lämpöenergian tarpeesta

ϕ_{LPn}/ϕ_{tila}	$Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat}}$		
	Säävyöhyke I ja II	Säävyöhyke III	Säävyöhyke IV
0,3	0,54	0,51	0,44
0,4	0,66	0,62	0,53
0,5	0,75	0,71	0,61
0,6	0,81	0,78	0,68
0,7	0,85	0,83	0,73

Lämpöpumpun tuottamaksi osuudeksi tilojen lämpöenergian tarpeeksi valittiin 0,51.

Lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla 24 (10, s. 54–55).

$$W_{LP, \text{lämmitys}} = Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} / SPF_{\text{tilat}} + W_{\text{lisälämmitys}} \quad \text{KAAVA 24}$$

jossa

$W_{LP, \text{lämmitys}}$	lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}}$	lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh
SPF_{tilat}	lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä, -
$W_{\text{lisälämmitys}}$	tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä tarvittavan lisälämmityksen sähköenergian tarve ($Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$), kWh.

$$W_{LP, \text{lämmitys}} = \frac{50055,99 \text{ kWh}}{2,8} + 48093,01 \text{ kWh} = 65970,15 \text{ kWh}$$

SPF-luku tilojen lämmitykseen valittiin taulukosta 4.

Lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutus lasketaan kaavalla 25 (10, s, 56).

$$W_{LP, \text{apu}} = P_{\text{apu}} \Delta t$$

KAAVA 25

jossa

$W_{LP, \text{apu}}$	lämpöpumpun apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh
P_{apu}	lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, kW
Δt	apulaitteiden käyttöaika laskentajaksolla

$$W_{LP, \text{apu}} = 0,364 \text{ kW} \times 5088 \text{ h} = 1852,03 \text{ kWh}$$

7 KUSTANNUSLASKELMAT

Työssä vertailtiin eri lämmitysjärjestelmien energiankulutuksia, joista tehtiin kannattavuuslaskelmat. Vertailuun otettiin lämmitysmuodoista kaukolämpö, maalämpö ja suora sähkölämmitys. Jokaisesta lämmitysmuodosta tehtiin laskelmat, kun lämmönjakotapana oli patteri- ja lattialämmitys. Kustannuksiin laskettiin vuosikustannukset ja kustannukset 20 vuoden ajalta.

7.1 Kaukolämpö

Kaukolämmön kustannuslaskelmissa otettiin huomioon kaukolämmön liittymismaksu, perusmaksu, energiamaksu ja lämmönjakokeskuksen kustannukset. Kaukolämpöliittymän hinta lasketaan kaavalla 26. (15.)

$$359,60\text{€} + (7675,60\text{€} \times V) + (173,60\text{€} \times L) \quad \text{KAAVA 26}$$

jossa

V sopimusvesivirta, m³/h
L liittymisjohdon pituus, m.

Liittymisjohdon pituutena laskennassa käytettiin 30 metriä, sillä todellinen liittymisjohdon pituus ei ole tiedossa.

$$359,60\text{€} + \left(7675,60\text{€} \times 0,11 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) + (173,60\text{€} \times 30) = 6411,92 \text{ €}$$

Sopimusvesivirta lasketaan kaavalla 27 (15, s. 5).

$$V = \frac{\phi}{c_p \times \rho \times (t_{et} - t_{ep})} \quad \text{KAAVA 27}$$

jossa

V tehoa vastaava kaukolämpöveden tilavuusvirtaus, dm³/s
 ϕ sopimusteho, kW

c_p	veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/ kg °C
ρ	veden tiheys, kg/ dm ³
t_{et}	kaukolämpöveden tulolämpötila, °C
t_{ep}	kaukolämpöveden paluulämpötila, °C.

Kaukolämpöveden tulolämpötilan arvioitiin olevan 115 °C ja paluulämpötila 33 °C.

$$V = \frac{131,3 \text{ kW}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times (115^\circ\text{C} - 33^\circ\text{C})} = 0,381 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Kaukolämpöliittymän hintaa laskettaessa sopimusvesivirta tulee muuttaa yksikköön m³/ h, jolloin

$$V = 0,11 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Sopimusteho lasketaan kaavalla 28

$$\phi = \phi_{tila} + \phi_{iv} + \phi_{vh}$$

KAAVA 28

jossa

ϕ	sopimusteho, kW
ϕ_{tila}	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
ϕ_{iv}	ilmanvaihdon lämmityspatterien teho, W
ϕ_{vh}	tuntinen käyttöveden lämmitysteho, kW.

$$\phi = 30,8 \text{ kW} + 71,0 \text{ kW} + 29,5 \text{ kW} = 131,3 \text{ kW}$$

Kaukolämmön perusmaksu lasketaan kaavalla 29 (17).

$$2,71 \times (34\text{€} + 520\text{€} \times V) \times 1,24$$

KAAVA 29

jossa

V	sopimusvesivirta, m ³ / h.
---	---------------------------------------

$$2,71 \times \left(34\text{€} + 520\text{€} \times 0,11 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times 1,24 = 306,4\text{€/a}$$

Kaukolämpöenergian hinta oli 47,08 €/MWh (16). Patterilämmitysjärjestelmässä lämmitysenergian kulutus oli 171,7 MWh vuodessa, jolloin lämmitysenergian hinta on 8 083,64 € vuodessa. Lattia-
lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian kulutus oli 182,6 MWh vuodessa ja lämmitysenergian hinta 8 596,81 € vuodessa. Lisäksi kustannuksiin lisättiin perusmaksu, joka oli 306,47 € vuodessa. Vuositasolla kustannukset olivat patterilämmitysjärjestelmässä 8 390,11 € ja lattialämmitysjärjestelmässä 8 903,28 €. Lisäksi alkuinvestointeihin kuuluivat kaukolämmön liittymismaksu ja lämmönjakokeskuksen kustannukset. 20 vuoden laskenta-ajalla patterilämmitysjärjestelmän kustannukset olivat 171 996 € ja lattialämmitysjärjestelmissä 182 259,40 €. Lämmönjakokeskuksen hinnaksi arvioitiin 5 000 € ja liittymismaksu oli 6 411,92 €.

7.2 Maalämpö

Patterilämmitysjärjestelmässä lämmityssähkön energiankulutus oli 71,5 MWh vuodessa ja lattialämmitysjärjestelmässä 68,9 MWh vuodessa. Sähkön hinnaksi arvioitiin 10 senttiä/ kWh, joka sisältää sähkön hinnan sekä sähkön siirtohinnan (19). Patterilämmitysjärjestelmässä kustannukset olivat 7 195,20 € vuodessa ja lattialämmitysjärjestelmässä 6 931,90 € vuodessa. Kustannuksiin on lisätty perusmaksu, joka on 3,50 €/kk (19). 20 vuoden laskenta-ajalla patterilämmitysjärjestelmän kustannukset olivat 143 904 € ja lattialämmitysjärjestelmässä 138 638 €.

Alkuinvestointeihin kuului maalämpöpumppu, lämminvesivaraaja ja porakaivon teko. Maalämpöpumpun hinnaksi arvioitiin 15 000 €. Porakaivon syvyyden laskemisessa käytettiin arvoa, jossa yksi metri porakaivossa luovuttaa 100 kWh/a energiaa sekä uusiutuvaa omavaraisenergiaa. Patterilämmitysjärjestelmässä uusiutuva omavaraisenergia oli 114,5 MWh vuodessa, jolloin porakaivon syvyys oli 1 145 metriä ja lattialämmityksessä uusiutuva omavaraisenergia oli 121,7 MWh vuodessa, jolloin porakaivon syvyys oli 1 217 metriä. Tässä tapauksessa porakaivot toteutettaisiin useampana 200 metrin syvyisenä porakaivona. Porakaivon hinnaksi oletettiin 30 €/m, jolloin patterilämmitysjärjestelmässä porakaivon hinta oli 34 350 € ja lattialämmitysjärjestelmässä 36 510 €. Lämminvesivaraajan hinnaksi arvioitiin 4 000 €.

7.3 Suora sähkölämmitys

Sähkön hinnaksi arvioitiin 10 senttiä/kWh, joka sisältää sähkön hinnan sekä sähkön siirtohinnan (18). Lisäksi hintaan lisättiin perusmaksu, joka on 3,50 €/kk (19). Patterilämmitysjärjestelmän sähköenergiankulutus oli 167,1 MWh vuodessa, jolloin kustannukset vuodessa olivat 16 710 €. Tähän lisättiin perusmaksu, jolloin vuosikustannukset olivat 16 752 €. Lattialämmitysjärjestelmässä sähköenergiankulutus oli 176,8 MWh. Kustannukset olivat 17 680 €, ja perusmaksun lisäyksen jälkeen kustannukset olivat 17 722 €. 20 vuoden laskenta-ajalla patterilämmitysjärjestelmän kustannukset olivat 335 040 € ja lattialämmitysjärjestelmän 354 440 €.

7.4 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpun sähköenergian kulutus oli 56,7 MWh vuodessa ja apulaitteiden sähköenergiankulutus 1,91 MWh vuodessa. Yhteensä sähköenergian kulutus oli 58,6 MWh vuodessa. Sähkön hinnaksi arvioitiin 10 senttiä/kWh ja perusmaksu oli 3,50 €/kk. Käyttökustannukset olivat vuodessa 5 857,30 €. Lisäksi ilmanvaihdon lämmitysenergia tuotetaan sähköllä. Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus oli 67,1 MWh vuodessa, jolloin vuosikustannukset olivat 6 705 € vuodessa. Näin vuosikustannukset olivat 12 562,30 € ja 20 vuoden laskenta-ajalla kustannukset olivat 251 246 €. Ilma-vesilämpöpumpun hinnaksi arvioitiin 18 000 €.

7.5 Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumpun sähköenergian kulutus oli 65,98 MWh vuodessa ja apulaitteiden kulutus oli 1,85 MWh vuodessa. Lisäksi lämpimän käyttöveden sekä ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus oli 84,5 MWh vuodessa. Sähkön hinnaksi arvioitiin 10 senttiä/kWh ja perusmaksu oli 3,50 €/kk. Käyttökustannukset olivat vuodessa 15 229,82 € ja 20 vuodessa 304 595,40 €. Ilma-ilmalämpöpumppujen hinnaksi arvioitiin 4 000 €.

7.6 Vertailu

Edullisimmaksi lämmitysmuodoksi valikoitui kaukolämpö. Toiseksi edullisimmaksi järjestelmäksi valikoitui maalämpöpumppu. Vaikka maalämpöjärjestelmän alkuinvestoinnit olivat suurimmat, tuli-

sivat yhteiskustannukset 20 vuoden laskenta-ajalla selvästi halvemmaksi kuin suoran sähkölämmityksen, ilma-vesilämpöpumpun ja ilma-ilmalämpöpumpun. Maalämmön jälkeen edullisin oli ilma-vesilämpöpumppu. Ilma-ilmalämpöpumpun käyttö sähkölämmityksen tukena oli hieman halvempi kuin suora sähkölämmitys. Kustannusvertailuissa ei huomioitu huoltokustannuksia. Eri lämmitysjärjestelmien kustannukset on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Lämmitysjärjestelmien kustannukset

Lämmitysjärjestelmä	Alkuinvestoinnit (€)	1 vuoden kustannukset (€)	20 vuoden kustannukset (€)	Kustannukset yhteensä (€)
Kaukolämpö, patterilämmitys	11 412	8390	167 802	179 214
Kaukolämpö, lattialämmitys	11 412	8 903	178 066	189 478
Maalämpö, patterilämmitys	53 350	7 195,20	143 904	197 254
Maalämpö, lattialämmitys	55 510	6 931,90	138 638	194 148
Suora sähkölämmitys, patterilämmitys	-	16 752	335 040	335 040
Suora sähkölämmitys, lattialämmitys	-	17 722	354 440	354 440
Ilma-vesilämpöpumppu	18 000	12 562,30	251 246	269 245
Ilma-ilmalämpöpumppu	4 000	15 229,82	304 595,40	308 595

Kannattavimmaksi lämmitysmuodoksi valikoitui kaukolämpö. Kaukolämpöä ei kuitenkaan voida toimittaa kohteeseen. Kaukolämmön jälkeen kannattavin lämmitysjärjestelmä oli maalämpöpumppu. Kohteeseen ei kuitenkaan ole mahdollista asentaa maalämpöpumppua, koska kallioperä on liian syvällä, eikä alueella ole lähellä vesistöä. Myöskään vaakaputkiston rakentaminen ei ole mahdol-

lista. Maalämmön jälkeen kannattavin vaihtoehto oli ilma-vesilämpöpumppu, joka olisi myös mahdollista rakentaa kohteeseen. Ilma-vesilämpöpumpun jälkeen edullisin oli ilma-ilmalämpöpumppu, jota käytetään sähköisen lattialämmityksen tukena. Kallein lämmitysjärjestelmä oli suora sähkölämmitys.

Kaukolämmön CO₂-päästökertoimenä käytettiin 188 kg CO₂/ MWh ja sähkön CO₂-päästökertoimenä 164 kg CO₂/ MWh (20). Hiilidioksidipäästölaskemissa huomioitiin vain lämmityksessä käytettävän energian kulutukset. Eri lämmitysjärjestelmien hiilidioksidipäästöt on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Lämmitysjärjestelmien hiilidioksidipäästöt

Lämmitysjärjestelmä	Energiankulutus (MWh)	CO ₂ -päästökerroin (kg CO ₂ / MWh)	CO ₂ -päästöt (kg CO ₂)
Kaukolämpö patterilämmitys	171,7	188	32 167
Kaukolämpö patterilämmitys	182,6	188	34 329
Maalämpö patterilämmitys	71,5	164	11 726
Maalämpö lattialämmitys	68,9	164	11 093
Suora sähkölämmitys patterilämmitys	167,1	164	27 404
Suora sähkölämmitys lattialämmitys	176,8	164	28 995
Ilma-vesilämpö- pumppu	58,6	164	9 610
Ilma-ilmalämpö- pumppu	84,5	164	13 858

8 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli vertailla Oulun alueella sijaitsevan leirikeskuksen LVI-järjestelmäratkaisuja energiankulutuksen kautta sekä tehdä kannattavuuslaskelmat eri vaihtoehdoista. Työssä laskettiin leirikeskuksen käyttöveden, lämmityksen ja ilmanvaihdon tehontarpeet. Eri järjestelmäratkaisuja ja niiden energiankulutuksia vertailtiin sekä eri vaihtoehdoista tehtiin kannattavuuslaskelmat.

Työssä vertailtiin kaukolämpöä, maalämpöä, vesi-ilmalämpöpumppua, suoraa sähkölämmitystä ja sähkölämmityksen rinnalla käytettävää ilma-ilmalämpöpumppua. Kannattavin lämmitysmuoto oli kaukolämpö. Kaukolämpöä ei kuitenkaan voida toimittaa kohteeseen. Kaukolämmön jälkeen kannattavin lämmitysjärjestelmä oli maalämpöpumppu. Kohteeseen ei kuitenkaan ole mahdollista asentaa maalämpöpumppua kallioperän ollessa liian syvällä, eikä alueella ole lähellä vesistöä. Myöskään vaakaputkiston rakentaminen ei ole mahdollista. Maalämmön jälkeen kannattavin vaihtoehto oli ilma-vesilämpöpumppu, joka olisi myös mahdollista rakentaa kohteeseen. Ilma-vesilämpöpumpun jälkeen edullisin oli ilma-ilmalämpöpumppu, jota käytetään sähköisen lattialämmityksen tukena. Kallein lämmitysjärjestelmä oli suora sähkölämmitys.

Lämmitysjärjestelmien kokonaiskustannukset ovat arvioituja. Tarkempia kustannuksia oli mahdoton laskea, koska kaikkia tarvittavia tietoja ei ollut saatavilla. Kaukolämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset olivat patterilämmitysjärjestelmässä 179 214 € ja lattialämmitysjärjestelmässä 189 478 €, kun laskenta-aika oli 20 vuotta. Maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset 20 vuoden laskenta-ajalla olivat patterilämmitysjärjestelmässä 197 254 € ja lattialämmitysjärjestelmässä 194 148 €. Vesi-ilmalämpöpumpun kokonaiskustannukset olivat 269 245 € 20 vuoden laskenta-ajalla. Ilma-ilmalämpöpumpun kustannukset 20 vuoden ajalta sähköisen lattialämmityksen rinnalla olivat 308 595 €. Suoran sähkölämmitysjärjestelmän kokonaiskustannukset 20 vuoden laskenta-ajalla olivat patterilämmitysjärjestelmässä 335 040 € ja lattialämmitysjärjestelmässä 354 440 €.

LÄHTEET

1. Sähkölämmitys. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/kytkenta_muihin_lammitysjarjestelmiin/sahkolammitys. Hakupäivä 25.5.2018
2. Fakta 18: Talon lämmitys – esittelyssä eri lämmitysjärjestelmät ja niiden hinnat. 2017. Lämpö-Ykkönen. Saatavissa: <https://lampoykkonen.fi/100faktaa/fakta-18-uudisrakentaja-tunnetko-taman-hetken-suosituimmat-lammitysmuodot/>. Hakupäivä 30.1.2018.
3. Maalämpöpumppu, MLP. 2018. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp. Hakupäivä 25.5.2018.
4. Kaukolämpö. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo. Hakupäivä 20.3.2018
5. Lämpöä kotiin verkosta. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/lampoa_kotiin_verkosta. Hakupäivä 20.3.2018.
6. Poistoilmalämpöpumppu. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu. Hakupäivä 20.3.2018.
7. Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP. 2018. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_uvlp. Hakupäivä 20.3.2018.
8. Vesikeskuslämmitys. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot/vesikeskuslammitys. Hakupäivä 23.5.2018
9. Huonekohtainen sähkölämmitys. 2016. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot/huonekohtainen_sahkolammitys. Hakupäivä 23.5.2018
10. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta. 2018. Ympäristöministeriö. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus. Hakupäivä 21.3.2018.
11. Julkaisu K1/2013. Rakennuksen kaukolämmitys. 2013. Määräykset ja ohjeet. Saatavissa: https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf. Hakupäivä 29.5.2018

12. Suositus K15/1998. 1998. Tilausteho ja -vesivirta. Määrittäminen ja tarkistaminen. Suomen Kaukolämpö ry. Saatavissa: <http://docplayer.fi/3804437-Tilausteho-ja-vesivirta-maaritys-ja-tarkistaminen.html>. Hakupäivä 29.5.2018
13. Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertomien lukuarvoista. 2017. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170788>. Hakupäivä 24.5.2018
14. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. 2017. Loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista. Selvitys muiden kuin asuinrakennuksen tilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja tilakohtaisista ohjearvoista ja selvitys asuinrakennuksen asuntotilojen ja yhteistilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja tilakohtaisista ohjearvoista. 2017. Helsinki: FINVAC ry. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/no-name/%7B59DC42F9-7C8A-4CBE-817E-1E2DBB67E02E%7D/133706>. Hakupäivä 3.5.2018
15. Kaukolämmön liittymän hinta. 2018. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/lampopalvelut/hinnasto/kaukolampoliittymän-hinta>. Hakupäivä 24.5.2018
16. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. 2014. Energiatieteellisyys. Saatavissa: https://energia.fi/files/586/Teho_ ja_ vesivirta_ SuositusK15_ 2014.pdf. Hakupäivä 24.5.2018
17. Laskentakaavat. 2018. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/lampopalvelut/kaukolampo/kaukolampohinnasto/kaukolammon-energia-ja-perusmaksut/laskentakaavat>. Hakupäivä 24.5.2018
18. Kaukolämmön energia- ja perusmaksut. 2018. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/lampoa-kotiin/kaukolampohinnasto/kaukolammon-energia-ja-perusmaksut>. Hakupäivä 24.5.2018
19. Sähkön hinta. 2018. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/sahkon-hinta>. Hakupäivä 25.5.2018
20. CO₂-päästökertoimet. 2018. Motiva. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian-kaytto-suomessa/co2-laskentaohje-energiankulutuksen-hiilidioksidipäästöjen-laskentaan/co2-paastokertoimet>. Hakupäivä 28.5.2018