

Jukka Takkula

**LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN VALINTA 1950-LUVUN OMAKOTI-
TALON SANEERAUKSEEN**

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN VALINTA 1950-LUVUN OMAKOTI- TALON SANEERAUKSEEN

Jukka Takkula
Opinnäytetyö
Syksy 2018
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Jukka Takkula

Opinnäytetyön nimi: Lämmitysjärjestelmän valinta 1950-luvun omakotitalon saneeraukseen

Title of thesis: Selection of Heating System for Renovation of 1950s Detached House

Työn ohjaaja(t): Martti Rautiainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2018

Sivumäärä: 60 + 6 liitettä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla eri lämmitysmuotoja 1950-luvun omakotitalossa ja löytää investointi- ja käyttökustannuksiltaan halvin lämmitysjärjestelmä.

Kohteesta ei ollut saatavilla pohjakuvia, joten työ aloitettiin piirtämällä pohjakuvat MagiCAD-suunnitteluohjelmalla. Tämän jälkeen kohde mallinnettiin MagiCAD Room-sovelluksella. Projektitietoihin luotiin todellisuutta vastaavat rakenteet, ovet ja ikkunat. Jokaiseen huonetilaan mitoitettiin lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve ja suunniteltiin patterilämmitysjärjestelmä Ventilation&Piping-sovelluksella. Kohteen vuotuinen energiankulutus laskettiin ympäristöministeriön ohjeen ”Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta” avulla.

Työssä vertailtiin kaukolämpöä, maalämpöä, ilma-vesilämpöpumppua ja suoraa sähkölämmitystä. Edullisin lämmitysjärjestelmä oli maalämpöpumppu. Maaperän ominaisuuksia ei tiedetty tarkemmin, joten ennen lopullista valintaa täytyy tehdä maaperätutkimus ja selvittää maalämpöpumpun soveltuvuus kohteeseen. Toiseksi edullisin järjestelmä oli ilma-vesilämpöpumppu. Ilma-vesilämpöpumpun jälkeen edullisin vaihtoehto oli kaukolämpö. Kalleimmaksi lämmitysjärjestelmäksi tuli sähkölämmitys.

Asiasanat: lämmitysjärjestelmä, energiankulutus, rintamamiestalo

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
SANASTO	6
1 JOHDANTO	9
2 KOHDE	10
2.1 Ulkoseinien U-arvo	12
2.2 Yläpohjan U-arvo	13
2.3 Välipohjan U-arvo	14
2.4 Alapohjan ja maanvastaisten rakenteiden U-arvo	14
2.5 Ikkunoiden ja ovien U-arvot	15
3 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	16
3.1 Kaukolämpö	16
3.2 Maalämpö	17
3.3 Öljylämmitys	17
3.4 Suora sähkölämmitys	18
3.5 Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP	18
3.6 Tukilämmitysjärjestelmät	19
3.6.1 Tulisijat	19
3.6.2 Pellettitakat	19
3.6.3 Aurinkolämmitys	20
4 LÄMMÖNJAKOJÄRJESTELMÄT	21
4.1 Vesikeskuslämmitys	21
4.1.1 Vesikiertoinen patterilämmitys	21
4.1.2 Vesikiertoinen lattialämmitys	22
4.2 Huonekohtainen sähkölämmitys	22
4.2.1 Sähköinen patterilämmitys	22
4.2.2 Sähköinen lattialämmitys	22
4.3 Ilmakiertoinen lämmönjako	22
4.3.1 Ilmanvaihtolämmitys	23
4.3.2 Ilmakiertoinen lattialämmitys	23

5 LÄMMITYSTEHO	24
5.1 Rakennuksen lämmitystehon tarve	24
5.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho	25
5.3 Painovoimaisen ilmanvaihdon lämmitystehontarpeen arviointi	28
5.4 Käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve	30
5.5 Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama	31
6 LÄMMITYSENERGIAN JA SÄHKÖENERGIAN KULUTUS	33
6.1 Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus	33
6.2 Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus	35
6.3 Kaukolämpö	36
6.3.1 Lämmitysenergian kulutus	36
6.3.2 Sähköenergian kulutus	37
6.4 Maalämpö	38
6.4.1 Lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus	38
6.4.2 Lämmityssähkön energiankulutus	41
6.5 Suora sähkölämmitys	42
6.5.1 Lämmityssähkön kulutus	42
6.5.2 Apulaitteiden sähköenergian kulutus	42
6.6 Ilma-vesilämpöpumppu	43
6.6.1 Lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus	43
6.6.2 Lämmityssähkön energiakulutus	47
7 KUSTANNUKSET	49
7.1 Kaukolämpö	49
7.2 Maalämpö	52
7.3 Suora sähkölämmitys	53
7.4 Ilma-vesilämpöpumppu	53
7.5 Kustannusvertailu	54
8 YHTEENVETO	56
LÄHTEET	57
LIITTEET	60

SANASTO

A_i	rakennusosan i pinta-ala, m^2
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m^2
A_{vaippa}	rakennuksenvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna, m^2)
C_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, $1000J / (kg K)$
C_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, $4,2kJ / (kg K)$
L	liittymisjohdon pituus, m
l_k	viivamaisen kylmäsillan pituus, m
n_{50}	rakennuksen ilmanvuotoluku $50 Pa:n$ paine-erolla, $1/h$
P_{apu}	lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, kW
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $m^3 / (h m^2)$
$Q_{lisälämmitys, lkv}$	lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energian tarve, kWh
$Q_{lisälämmitys, tilat}$	tilojen lisälämmityksen energian tarve, kWh
$Q_{LP}/Q_{lämmitys, tilat, lkv}$	lämpöpumpun tuottaman sähköenergian osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta, -
$Q_{LP, lämmitys, lkv}$	lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh
$Q_{LP, lämmitys, tilat}$	lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh
$Q_{lämmitys, lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergiantarve, kWh
$Q_{lämmitys, tilat}$	tilojen lämmityksen lämpöenergiantarve, kWh
$Q_{lämmitys, tilat} / Q_{lämmitys, lkv}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde, -
$q_v, korvausilma$	korvausilmavirta, m^3/s
q_v, lkv	lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, m^3/s
$q_v, lkv, kierto$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon mitoitusvesivirta, m^3/s
$q_v, poisto$	poistoilmavirta, m^3/s
$q_v, tulo$	tuloilmavirta, m^3/s
$q_v, vuotoilma$	vuotoilmavirta, m^3/s

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_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u, mit}$	mitoitettava ulkoilman 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, h
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_{lvh}	tuntinen käyttöveden lämmitysteho, kW
ϕ_{lkv}	käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve, W
$\phi_{lkv, \text{kiertohäviö}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon 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)

1 JOHDANTO

Työn lähtökohtana oli tutkia ja vertailla eri lämmitysratkaisuja Oulun alueella sijaitsevaan 1950-luvulla rakennettuun rintamamiestalon. Työssä vertailtavia lämmitysjärjestelmiä ovat kaukolämpö, maalämpö, suora sähkölämmitys ja ilma-vesilämpöpumppu.

Työssä lasketaan rintamamiestalon lämmityksen ja käyttöveden tehon tarpeet mitoitustilanteessa ja suunnitellaan patterilämmitys MagiCAD-ohjelmalla. Lisäksi työssä lasketaan rintamamiestalon energiankulutus ja tehdään kannattavuuslaskelmat eri lämmitysjärjestelmille.

2 KOHDE

Kohde on Oulussa sijaitseva, puolitoistakerroksinen kellarillinen v. 1953 rakennettu omakotitalo. Ulkoseinät ovat puuverhoiltuja. Vesikatto on jyrkkä harjakatto profiilipellillä. Alapohja on maanvarainen betonilaatta. (Kuva 1.)



KUVA 1 1950-luvun rintamamiestalo

Kohteessa on öljylämmitys ja lämmönjako on toteutettu vesikiertoisilla seinäpatereilla. Lisäksi kohteessa on tulisija tukemassa öljylämmitystä. Saunassa, pesuhuoneessa ja kodinhoitohuoneessa on sähköinen lattialämmitys. (Kuva 2.)



KUVA 2 ETNA öljykattila

Kohteessa on painovoimainen ilmanvaihto, joka perustuu korkeus- ja lämpötila-erojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin. Järjestelmän toimivuus riippuu ratkaisevasti sääolosuhteista. Pesuhuoneessa, saunassa ja WC:ssä on poistoilmaventtiili. Saunassa ja kodinhoituhuoneessa on korvausilmaventtiili.

Kohteesta ei ollut saatavilla pohjakuvia, joten turvauduttiin ympäristöministeriön energiatodistusoppaan liitteeseen ”Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja” rakenteiden u-arvojen määrittämisessä.

Rintamamiestaloissa ulkoseinärakenteena on yleensä käytetty sahanpurutäytteistä puuseiniä. Sahanpurutäytteisen ulkoseinän rakenne koostuu yleensä julkisivuverhouksesta, vinolaudoituksesta, pahvista, purutäytteestä, rakennuspahvista, umpilaudoituksesta ja pinkopahvista. (Kuva 3.) Seinien sisäpinnat huoneistoissa on uusittu tapetoimalla.



KUVA 3.2. kerroksen varaston ulkoseinä sisältä kuvattuna

2.1 Ulkoseinien U-arvo

Ulkoseinät ovat sahanpurutäytteisiä puuseiniä, joiden U-arvoksi valittiin 0,52 W/m²K kuvasta 4. Kellarissa on betoniperustus, jonka U-arvoksi oletettiin 0,52 W/m²K kylmällä puolella ja 0,25 W/m²K lämpimällä puolella. Kellarin lämpimän puolen seiniin on lisätty lämmöneristettä kellariremontin yhteydessä.

Ajankohta ja alue	Rakenne tms.	U W/m ² K
VTT/RIL 1949 Pohjois-Suomi	hirsiseinä, vuorattu	0,7
	hirsiseinä, vuorattu + lisäeristys	0,64
	täytteellinen puuseinä	0,52
	muu puuseinä	0,58
	Lasivillalla tai vuorivanulla lämpöeristetty tiiliseinä	0,58
	Lastuvillalevyllä lämpöeristetty tiiliseinä	0,64

KUVA 4 Ulkoseinän U-arvo-ohjeita (1, s. 4)

2.2 Yläpohjan U-arvo

Kohteen yläpohja on peltikatteellinen. Ruodelautojen alla on tuettu kattotuolirakenne ja eristyksenä on sahanpurua. Sisäkatto on lautaa. U-arvoksi valittiin 0,35 W/m²K. (Kuva 5.)

Ajankohta ja alue	Rakenne tms.	U W/m ² K
VTT/RIL 1949 Etelä-Suomi	puukatto ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vasten	0,41
	kivikatto ulkoilmaa vasten	0,58
	kivikatto lämmittämätöntä tilaa vasten	0,64
VTT/RIL 1949 Pohjois-Suomi	puukatto ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vasten	0,35
	kivikatto ulkoilmaa vasten	0,52
	kivikatto lämmittämätöntä tilaa vasten	0,58

KUVA 5 Yläpohjan U-arvo-ohjeita (1, s. 7)

2.3 Välipohjan U-arvo

Välipohja on puurunkoinen, 400 mm paksu ja sahanpurutäytteinen. Lattia ja sisäkatto ovat lautarakenteisia. U-arvoksi oletettiin 0,41 W/m²K. (Kuva 6.)

Ajankohta ja alue	Rakenne tms.	U W/m ² K
VTT/RIL 1949 Pohjois-Suomi	puurakenteinen lattia ulkoilmaa vasten	0,35
	kivirakenteinen lattia ulkoilmaa vasten	0,47
	puurakenteinen lattia lämmittämätöntä tilaa vasten	0,41

KUVA 6 Alapohjan U-arvo-ohjeita (1, s. 8 - 9)

2.4 Alapohjan ja maanvastaisten rakenteiden U-arvo

Kellarissa v. 2003 sattuneen vesivahingon jälkeen kellarin lattia uusittiin. Alapohjana on maavarainen betonilaatta. U-arvo on 0,25 W/m²K lämpimällä puolella ja 0,36 kylmällä puolella. (Kuva 7.)

Ajankohta ja alue	Rakenne tms.	U W/m ² K
2003 määräykset	lämpimän tilan ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,16
	lämpimän tilan ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,2
	lämpimän tilan maata vasten oleva rakennusosa	0,25
	puolilämpimän tilan alapohja	0,3
	puolilämpimän tilan maata vasten oleva rakennusosa	0,36

KUVA 7 Alapohjan U-arvo-ohjeita (1, s. 10)

2.5 Ikkunoiden ja ovien U-arvot

Ikkunat on uusittu vuonna 1992. Ikkunoiden ja ovien U-arvo on 1,4 W/m²K lämpimissä tiloissa ja 1,8 W/m²K puolilämpimissä tiloissa. (Kuva 8.)

Ajankohta ja alue	Rakenne tms.	U W/m ² K
2003 määräykset	lämpimän tilan ikkuna	1,4
	lämpimän tilan kattoikkuna	1,5
	lämpimän tilan ovi	1,4
	puolilämpimän tilan ikkuna	1,8
	puolilämpimän tilan ovi	1,8

KUVA 8 Ikkunoiden ja ovien U-arvo-ohjeita (1, s. 11 - 12)

3 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

Lämmitysjärjestelmäremonttia suunnittelevalla on valittavana useita vaihtoehtoja lämmitysjärjestelmäksi. Ennen valintaa kannattaa kuitenkin miettiä voidaanko rakennuksen lämmöneristystä parantaa lisäeristyksellä ja samalla pienentää rakennuksen lämmitysenergian tarvetta.

Yleisimpiä lämmitysjärjestelmävaihtoehtoja ovat kaukolämpö, maalämpö, öljylämmitys, ilma-vesilämpöpumppu ja suora sähkölämmitys. Lämmitysmuodon valintaan vaikuttavat hinta, energian tarve, kohteen koko ja kohteen sijainti.

3.1 Kaukolämpö

Suomessa yleisimmin käytettävä lämmitysmuoto on kaukolämpö, jolla tuotettiin noin 46 prosenttia Suomen lämmitysenergiasta vuonna 2012. Kaukolämpöverkko kattaa 166 kuntaa Suomessa. Kaukolämpöä tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa sähkön kanssa sekä erillisissä lämpölaitoksissa. Turbiineissa sähkön tuotannon yhteydessä syntyvä hukkalämpö otetaan talteen kaukolämpöverkoon. Pääasiassa kaukolämmön polttoaineena käytetään maakaasua, kivihiiltä, turvetta ja puuta. (2.)

Kaukolämpö toimitetaan kohteeseen kaksiputkista kaukolämpöverkkoa pitkin. Toisessa putkessa kulkee kuuma menovesi asiakkaille, ja toisessa putkessa taas lämpöä luovuttanut, viileämpi vesi, palaa takaisin lämmöntuotantolaitokselle. (3.)

Yleensä kaukolämpöputket ovat terästä ja lämpöhäviöiden minimoimiseksi ne on eristetty. Putket kaivetaan maahan noin 0,5 - 1 metrin syvyyteen. Vuotojen havaitsemisen helpottamiseksi kaukolämpövedeen on lisätty väriaineita. (3.)

Kaukolämpöverkosta lämpö tuodaan talon lämmönjakokeskukseen, jossa on oma lämmönsiirrin lämpimälle käyttövedelle ja lämmitykselle. Pientalon lämmönjakokeskus on tehtaalla valmistettu kokonaisuus, johon kuuluu lämmönsiirtimet, säätölaitteet, kiertovesipumput, paisunta- ja varolaitteet, mittarit ja sulkuventtiilit. (3.)

3.2 Maalämpö

Maalämmön etuna on vaivattomuus ja helppokäyttöisyys, sillä se ei vaadi paljoa huolto- ja tarkastustoimenpiteitä. Maalämpö on yleistynyt paljon, ja se valittiinkin vuonna 2011 lähes 50 prosenttiin uusista pientaloista. (4.)

Maalämpöpumppu kerää varastoitunutta auringon lämpöä maaperästä, kalliosta tai vedestä. Maalämmön keruuputkistossa kiertää jäätymätön neste, joka lämpeenee muutaman celsiusasteen matkansa aikana. Lämmenteestä nesteestä saatava lämpö höyrystää lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen. Höyrystyneen kylmäaineen painetta nostetaan kompressorilla, jolloin sen lämpötila nousee. Tämän jälkeen kylmäaine lauhtuu lämpöpumpun lauhtuttimessa jälleen nesteeksi, jolloin se luovuttaa lämpöä lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen. (4.)

Maalämpöpumpun lämmönjakotavaksi suositellaan vesikiertoista lattialämmitystä patterilämmityksen sijaan, sillä lattialämmitysverkkoon menevän veden ei tarvitse olla niin lämmintä kuin patteriverkossa. Alhaisempi menoveden lämpötila parantaa lämpöpumpun hyötysuhdetta. Huoltotöiden kannalta maalämpöpumppu on järkevää asentaa tekniseen tilaan, mutta se voidaan asentaa esimerkiksi myös kodinhoitohuoneeseen. (4.)

3.3 Öljylämmitys

Öljylämmitysjärjestelmä koostuu öljykattilasta, öljypolttimesta, säätölaitteista ja öljysäiliöstä. Öljylämmityksellä tuotetaan huonetilojen ja lämpimän käyttöveden tarvitsema lämpöenergia, joten erillistä lämminvesivaraajaa ei välttämättä tarvita. (5.)

Uusissa pientaloissa öljylämmityksen osuus on pieni johtuen öljyn hinnan noususta. Kehitteillä, ja osin jo käytössä, on polttoaineita, joissa osa polttoaineesta on biopohjaista. Saatavilla on myös kaksoispesäkattiloita, jolloin kattila voidaan lämmittää puulla öljyn rinnalla. (5.)

3.4 Suora sähkölämmitys

Sähkölämmitys on suosituin uudemmissa pientaloissa johtuen matalaenergia- ja passiivirakentamisesta. Sähkölämmityksen etuja ovat helppokäyttöisyys, vaivattomuus sekä hyvä hyötysuhde kohteisiin, joissa lämmitysenergian tarve on pieni. Sähkölämmitys ei vaadi suuria alkuinvestointeja eikä suuria huoltotoimenpiteitä. (6.)

Lämmitettäessä rakennusta suoralla sähkölämmityksellä voidaan aurinkolämpöä hyödyntää vain passiivisesti. Käyttövedtä kuitenkin voidaan lämmittää aurinkoenergialla aktiivisesti. Aurinkoenergiaa hyödynnettäessä käyttöveden lämmitykseen käytetään aurinkokierukalla varustettua käyttövesivaraajaa tavanomaisen varaajan sijaan. (7.)

3.5 Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP

Ilma-vesilämpöpumppu (ulkoilma-vesilämpöpumppu, UVLP) on uusin lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävä lämmitysratkaisu. Ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmitysenergiata ulkoilmasta ja siirtää sen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan kattaa koko talon lämmitystarve, mutta kylmempinä aikoina se tarvitsee varajärjestelmän. Yleensä varalämmitysjärjestelmänä käytetään ilma-vesilämpöpumpun omia sähkövastuksia, mutta puun poltto koviin pakkasten aikana on tehokas tapa vähentää ostettavan energian määrää. Ulkoilman lämpötilan laskiessa lämpöpumpulla saatava lämmitysenergian määrä ja laitteen hyötysuhde laskevat. (8.)

UVLP voidaan kytkeä myös hybridikäyttöön esimerkiksi olemassa olevan öljylämmityksen rinnalle. Tällöin öljy lämmittää vain kylmimmillä ajan jaksoilla ja tarvittaessa tukee UVLP:tä. (8.)

3.6 Tukilämmitysjärjestelmät

Omakotitalon rakentajan on hyvä miettiä jo rakennusvaiheessa tukilämmitysjärjestelmiä, joilla voidaan pienentää ostoenergian määrää ja lämmityskustannuksia. Tukilämmitysjärjestelmän tehtävänä on tukea varsinaista lämmitysmuotoa, joten koko talon lämmöntarpeen kattaminen niillä on hankalaa. (9.)

3.6.1 Tulisijat

Tulisijoilla lämmittäminen on perinteinen lämmitystapa. Uusissa pientaloissa tulisijoilla voidaan kattaa merkittävä osa lämmöntarpeesta hyvän eristystason vuoksi. Tulisija tulee tarpeeseen sähkökatkoksien tai lämmitysjärjestelmän toimintahäiriöiden aikana. (9.)

Massiivisia, varaavia tulisijoja käyttämällä lämpö siirtyy huonetiloihin pitkän aikaa pienellä teholla, eikä tällä tavoin aiheuta liian korkeita sisälämpötiloja. Riittävän kokoisella tulisijalla on mahdollista tuottaa jopa kolmannes koko talon lämmitystarpeesta. (9.)

Puuta on suositeltavaa polttaa erityisesti kovien pakkasten aikaan, jolloin lämmitystarve on suuri eikä tulisijan tuottama lämpö aiheuta sisälämpötilojen liiallista nousua. On myös huomioitava, että puulle varataan riittävästi varastotilaa. (9.)

3.6.2 Pellettitakat

Pellettitakka sopii hyvin täydentäväksi lämmitysjärjestelmäksi. Pellettitakka tarvitsee hormin lisäksi sähköliitynnän, sillä siinä on puhaltimet palamisilmalle ja lämmitetylle ilmalle. Lisäksi pellettejä syöttävä automatiikka tarvitsee sähköä. Pellettitakoissa on automaattisytytys. Pellettitakan säiliöön mahtuu usean päivän pellettitarve. (9.)

Pellettitakan merkittävä etu on se, että sen tuottamaa lämmitystehoa voidaan säätää. Takan tuottama lämpö siirretään huonetilaan puhaltimilla. Pellettitakka on kevytrakenteinen eikä vaadi massiivista perustusta kuten tavalliset takat. (9.)

Talon suunnitteluvaiheessa on tärkeää huolehtia siitä, että pelletille varataan riittävästi varastotilaa (9).

3.6.3 Aurinkolämmitys

Suomessa aurinkoenergian hyödyntäminen on mahdollista lähes koko vuoden, helmikuun alusta marraskuuhun saakka. Aurinkoenergiaa hyödynnetään tuottamalla lämpöä aurinkokerääjillä ja sähköä aurinkopaneeleilla. (9.)

Yleensä aurinkolämpöä käytetään lämpimän käyttöveden valmistukseen, mutta suurempi hyöty siitä saadaan, jos aurinkokerääjät liitetään myös vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. (9.)

Aurinkolämmöllä voidaan tuottaa noin puolet lämpimän käyttöveden valmistamiseen tarvittavasta energiasta. Jos aurinkokerääjät on kytketty lämmitysjärjestelmään, voidaan aurinkolämmöllä tuottaa jopa 25 - 35 prosenttia lämmitystarpeesta. Matala- ja passiivenergiataloissa osuus on suurempi johtuen pienemmästä lämmitystarpeesta. (9.)

Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu aurinkokeräimistä, varaajasta, pumppu- ja ohjauksyksiköstä sekä putkistosta. Aurinkokeräimet ottavat auringon säteilyenergiaa putkistossa kiertävään jäätymättömään liuokseen, joka siirtää edelleen auringon lämmittämän nesteen varaajaan. (9.)

4 LÄMMÖNJAKOJÄRJESTELMÄT

Lämmitysjärjestelmän lämpö voidaan jakaa huonetiloihin eri tavoilla. Vesikiertoisella lämmönjakojärjestelmällä lämpö jaetaan huoneisiin joko lattia- tai patterilämmitysverkolla. Huonekohtaisella sähkölämmityksellä lämpö tuotetaan huone-tilaan sähköpattereiden tai lattialämmityskaapeleiden vastuksella. Lämpö voidaan jakaa huonetiloihin myös ilmakehää pitkin. (10.)

4.1 Vesikeskuslämmitys

Vesikeskuslämmitys voidaan toteuttaa joko patterilämmityksenä, lattialämmityksenä tai niiden yhdistelmänä. Vesikeskuslämmityksen lämmitysenergian lähde voidaan vaihtaa melko helposti, mutta vaihtamisesta aiheutuu kuitenkin aina lisäkustannuksia. Lisäksi verikiertoisissa järjestelmissä on mahdollisuus käyttää eri energialähteitä rinnakkain, esimerkiksi puuta ja sähköä tai öljyä ja aurinkoenergiaa. (11.)

Lämmitysverkkoon menevän veden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Mitä kylmempää on, sitä lämpimämpää vettä kierrätetään. Oikein aseteltu säätökäyrä takaa halutun sisälämpötilan. Patteritermostaateilla ja lattialämmitystä säätävillä huonekohtaisilla termostaateilla estetään yllämpö, jos huoneeseen tulee lämpöä esimerkiksi tulisijoista, auringon säteilystä tai muista lämpökuormista. (11.)

4.1.1 Vesikiertoinen patterilämmitys

Perinteinen lämmönjakotapa on vesikiertoinen patterilämmitys. Yleisin järjestelmä on niin sanottu kaksiputki järjestelmä, jossa meno- ja paluuviedellä on oma putkistonsa. Tällä tavoin kaikille pattereille menee saman lämpöistä menovettä. (11.)

Yksiputkijärjestelmässä lämmönjakohuoneesta katsottuna ensimmäiseen lämmityspatteriin menee kuumin menovesi. Patterista palaava vesi, hieman jäähtyneenä, kulkeutuu piirin seuraavalle patterille menovetenä.

4.1.2 Vesikiertoinen lattialämmitys

Vesikiertoinen lattialämmitys on yleisin lämmönjakotapa uudemmissa pientaloissa. Lattiarakenteeseen asennetuissa putkissa kiertää korkeintaan noin 40-asteinen vesi. Vesikiertoinen lattialämmitys sopii kaikkiin huonetiloihin. Kosteisiin tiloihin kannattaa suunnitella erillinen lämmityspiiri, jotta ainoastaan näiden tilojen lämmitys onnistuu kesälläkin kosteuden poistamiseksi. (11.)

4.2 Huonekohtainen sähkölämmitys

Huonekohtaisessa sähkölämmityksessä lämpö tuotetaan huonetilassa olevassa lämmityslaitteen sähkövastuksessa. Huonekohtaisen sähkölämmityksen lämmönjakotapoja ovat patterilämmitys, lattialämmitys, kattolämmitys ja ikkunalämmitys. Huonekohtainen sähkölämmitys on suosittu uusissa pientaloissa, joissa lämmitystarve on pieni johtuen hyvin eristetyistä ja ilmatiiviistä rakenteista. (12.)

4.2.1 Sähköinen patterilämmitys

Yleensä patterit asennetaan ikkunoiden alle ja patterit reagoivat nopeasti lämmöntarpeen vaihteluihin. Patterilämmityksen hyötysuhde on erittäin hyvä, sillä lämpö tuotetaan siinä tilassa, jossa lämpöä tarvitaan. (12.)

4.2.2 Sähköinen lattialämmitys

Sähköinen lattialämmitys voidaan toteuttaa joko jatkuvatoimisena tai varaavana. Pesutiloihin asennetut lämmityskaapelit toimivat yleensä jatkuvatoimisena. Betonilaattaan esimerkiksi parketin alle asennettu lattialämmitys voidaan kytkeä toimimaan joko jatkuvatoimisena tai varaavana. Varaava lattialämmitys on päällä yösähkön aikaan. Lattialämmitys on asumisviihtyvyyden kannalta mukava, mutta hitaampi reagoimaan lämmöntarpeen muutoksiin kuin patterilämmitys. (12.)

4.3 Ilmakiertoinen lämmönjako

Ilmakiertoisissa järjestelmissä lämpö jaetaan huonetiloihin ilman avulla. Ilmanvaihtolämmitys sopii hyvin matala- ja passiivienergiataloihin. Hyvin eristetyssä talossa ei tarvita ikkunoiden alle pattereita vedon tunteen poistamiseksi. (13.)

4.3.1 Ilmanvaihtolämmitys

Ilmanvaihtolämmitys yhdistää ilmanvaihdon ja lämmityksen. Tuloilmavirta mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Huoneisiin puhallettava ilma lämmitetään ensin keskitetysti ilmanvaihtokoneessa. Huoneissa, joihin tuodaan raitista ilmaa (esim. olohuone ja makuuhuoneet), tuloilman päätelaitteen sähkövastus lämmitteää ilman huonetermostaatin ohjaamana. Tilat, joista poistetaan ilmaa (pesutilat), on lämmitettävä esimerkiksi lämmityskaapeleilla. (13.)

4.3.2 Ilmakiertoinen lattialämmitys

Ilmakanavisto ja lämmöntuottolaite asennetaan lattialaattaan. Huoneilmaa lämmitteää lattialaatta, jota lämmitetään putkistossa kiertävällä ilmalla. Lämmitysenergiana voidaan käyttää esimerkiksi sähköä, maalämpöä tai kaukolämpöä ja lämmitysenergian lähde on mahdollista vaihtaa jälkikäteen. (13.)

5 LÄMMITYSTEHO

Rakennuksen lämmitystehon tarve lasketaan yleensä tilakohtaisesti, jolloin voidaan laskea tilassa tarvittava lämmitysteho. Näin voidaan valita ja mitoittaa tilakohtaiset lämmityslaitteet. Lämmitystehon tarve rakennuksessa koostuu pääosin rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, ilmavuodoista ja ilmanvaihdosta. Rakennuksen lämmitystehon tarve laskettiin ympäristöministeriön ohjeen ”Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta” kaavoilla. (14, s. 64.)

5.1 Rakennuksen lämmitystehon tarve

Rakennuksen lämmitystehon tarve lasketaan laskemalla yhteen samanaikaiset tehontarpeet kaavalla 1 (14, s.65).

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = \frac{\Phi_{\text{tila}}}{\eta_{\text{tilalämmitys}}} + \frac{\Phi_{\text{iv}}}{\eta_{\text{iv}}} + \frac{\Phi_{\text{lkv}}}{\eta_{\text{lkv}}} \quad \text{KAAVA 1}$$

jossa

$\Phi_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmitystehon tarve, W
Φ_{tila}	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
Φ_{iv}	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
Φ_{lkv}	käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
$\eta_{\text{tilalämmitys}}$	tilalämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa. -
η_{iv}	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitus-tilanteessa, -
η_{lkv}	käyttöveden lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitus-tilanteessa, -

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = \frac{9251 \text{ W}}{0,9} + \frac{62\,469 \text{ W}}{0,9} = 80\,321 \text{ W} = 79\,689 \text{ kW}$$

Mikäli järjestelmien hyötysuhdetta mitoitus-tilanteessa ei tunneta, hyötysuhteena voidaan käyttää arvoa 0,9.

Rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve lasketaan kaavalla 2 (14, s. 65).

$$\dot{Q}_{\text{tila}} = \dot{Q}_{\text{joht}} + \dot{Q}_{\text{vuotoilma}} + \dot{Q}_{\text{tuloilma}} + \dot{Q}_{\text{korvausilma}} \quad \text{KAAVA 2}$$

jossa

\dot{Q}_{tila} tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W

\dot{Q}_{joht} johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, W

$\dot{Q}_{\text{vuotoilma}}$ vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W

$\dot{Q}_{\text{tuloilma}}$ teho tuloilman lämmittämiseen tilassa, W

$\dot{Q}_{\text{korvausilma}}$ teho korvausilman lämmittämiseen tilassa, W

$$\dot{Q}_{\text{tila}} = 8105 \text{ W} + 482 \text{ W} + 664 \text{ W} = 9251 \text{ W}$$

Kohteessa ei ole erillistä tuloilmaa, joten tämä on jätetty laskuista pois.

5.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho lasketaan kaavalla 3 (14, s. 65).

$$\dot{Q}_{\text{joht}} = \dot{Q}_{\text{ulkoseinä}} + \dot{Q}_{\text{yläpohja}} + \dot{Q}_{\text{alapohja}} + \dot{Q}_{\text{ikkuna}} + \dot{Q}_{\text{ovi}} + \dot{Q}_{\text{muu}} + \dot{Q}_{\text{kylmäsilat}} \quad \text{KAAVA 3}$$

jossa

\dot{Q}_{joht} johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi, W

$\dot{Q}_{\text{ulkoseinä}}$ johtumislämpöteho ulkoseinien läpi, W

$\dot{Q}_{\text{yläpohja}}$ johtumislämpöteho yläpohjien läpi, W

$\dot{Q}_{\text{alapohja}}$ johtumislämpöteho alapohjien läpi, W

- Φ_{ikkuna} johtumislämpöteho ikkunoiden läpi, W
 Φ_{ovi} johtumislämpöteho ulko-ovien läpi, W
 Φ_{muu} johtumislämpöteho tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkoilmasta, W
 $\Phi_{kylmäsiljat}$ johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, W

$$\Phi_{joht} = 3748 + 1468 + 271 + 1404 + 633 + 581 = 8105 \text{ W}$$

Lämpöhäviötehot rakennusosien läpi lasketaan jokaiselle rakennusosalle i kaavalla 4 (14, s. 66).

$$\Phi_i = \sum U_i A_i (T_s - T_{u,mit}) \quad \text{KAAVA 4}$$

jossa

- Φ_i johtumislämpöteho rakennusosan i läpi, W
 U_i rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/ (m² K)
 A_i rakennusosan i pinta-ala, m²
 T_s sisäilman lämpötila, °C
 $T_{u,mit}$ mitoittava ulkoilman lämpötila, °C

Eri rakenteiden lämpöhäviöt on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1 Lämpöhäviöt rakenteiden läpi

Rakenteet	Pinta-ala (m ²)	U-arvo (W/m ² K)	Lämpöhäviö (W)
US1 (sahanpuru seinä)	118,5	0,52	3254
US2 (betoniperustus)	31,8	0,52	299
US3 (betoni, lisäeristys)	29,6	0,25	195
Yläpohja (ulkoilmaa vasten)	79,1	0,35	1468
AP1 (Maavarainen lämmin)	38,9	0,25	159
AP2 (Maavarainen kylmä)	40,2	0,36	112
Ikkuna1 (lämmin)	17,9	1,4	1326

Ikkuna2 (puolilämmin)	0,90	1,8	78
Ovi1 (lämmin)	6,8	1,4	504
Ovi2 (puolilämmin)	1,6	1,8	129
			7524

Lämpöhäviötehot kylmäsiltojen läpi lasketaan kaavalla 5 (14, s. 66).

$$\Phi_{\text{kylmäsilto}} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_{u,\text{mit}}) \quad \text{KAAVA 5}$$

jossa

$\Phi_{\text{kylmäsilto}}$ johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, W

l_k viivamaisen kylmäsiltojen pituus, m

Ψ_k viivamaisen kylmäsiltojen lisäkonduktanssi, W/ (m K)

T_s sisäilman lämpötila, °C

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

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

TAULUKKO 2 Viivamaisten kylmäsiltojen pituudet ja lisäkonduktanssit

$\Phi_{\text{kylmäsilto}}$	Pituus (m)	Lisäkonduktanssi (W/mK)
Ikkuna- ja oviliitos	83,90	0,04
US1 ja YP liitos (puu/puu)	29,81	0,05
US1 ja VP liitos (puu/puu)	69,64	0,05
US3 ja AP1 (betoni/betoni)	23,45	0,24
US, nurkka ulospäin (puu/puu)	19,90	0,04
US, nurkka ulospäin (betoni/betoni)	7,20	0,06

$$\begin{aligned}
\phi_{\text{kylmäsillat}} &= \left(83,9\text{m} \times 0,04 \frac{\text{W}}{\text{mK}} + 29,81\text{m} \times 0,05 \frac{\text{W}}{\text{mK}} + 69,64\text{m} \times 0,05 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right. \\
&\quad \left. + 19,9\text{m} \times 0,04 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right) \times (21^\circ\text{C} - (-32^\circ\text{C})) \\
&\quad + \left(23,45\text{m} \times 0,24 \frac{\text{W}}{\text{mK}} + 7,2\text{m} \times 0,06 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right) \times (21^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) \\
&= 580,56 \text{ W}
\end{aligned}$$

5.3 Painovoimaisen ilmanvaihdon lämmitystehontarpeen arviointi

Painovoimaisen ilmanvaihdon lämmitystehontarpeen arvioinnissa käyttöajan ulkoilmavirtana käytettiin arvoa $0,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ lämmitettyä asuinpinta-alaa kohden (23, s. 28).

$$qV_{\text{ulkoilmavirta}} = 0,4 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}, \text{m}^2} * 165,7 \text{ m}^2 = 66,28 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Ulkoilmavirta on $0,06628 \text{ m}^3/\text{s}$ eli $238,61 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$qV_{\text{ulkoilmavirta}} = \frac{66,28 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}}{1000 \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^3}} = 0,06628 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 238,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Rakennuksen ilmanvaihtuvuus asuinhuoneistoissa voidaan laskea ulkoilmavirran ja lämmitetyn tilavuuden suhteella

$$n_{\text{vaihtoa tunnissa}} = \frac{238,61 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{324,3 \text{ m}^3} = 0,735 \frac{1}{\text{h}}$$

Kohteessa tämä vastaa noin 0,5 vaihtoa tunnissa korvausilmalle ja 0,2 vaihtoa tunnissa vuotoilmalle.

Kokonaislämpöhäviö painovoimaisessa ilmanvaihdossa, mikä pitää sisällään vuotoilman ja korvausilman on esitettyä alla.

$$\dot{Q}_{\text{ulkoilmavirta}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * 0,06628 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (21 - (-32)) = 4215,4 \text{ W}$$

Painovoimaisen ilmanvaihdon aiheuttama lämpöhäviö rakennuksen tilojen lämmitykseen mitoitusilanteessa todettiin suureksi ja päädyttiin käyttämään ilmanvaihtuvuutena arvoa 0,2 1/h. Tämän arvon käyttö laskennassa perustuu ihmisten tottumuksiin estää ulkoilmavirran pääsy rakennukseen kovimpien pakkasten aikana. Ulkoilman lämpötilan laskiessa ulkoilmavirta rakennukseen kasvaa ja lämpöhäviöt rakennuksessa muodostuvat suuriksi. Tämän vuoksi ihmisillä on vanhoissa rakennuksissa tapana estää kylmän ulkoilman pääsy rakennukseen sulkemalla korvausilmaventtiilit kokonaan tai osittain ja tarvittaessa kattaa tulisijalla osa lämmitystehon tarpeesta. Tällä toimenpiteellä pyrittiin estämään laskennallinen lämmitysjärjestelmän ylimitoitus painovoimaisessa kohteessa. Liitteessä 6 on esiteltyä rakennuksen lämpöhäviöt molemmissa tapauksissa.

Uusi ulkoilmavirta mitoitusilanteessa saadaan ilmanvaihtuvuuden ja lämmitetyn tilavuuden tulosta.

$$qv_{\text{ulkoilmavirta}} = 0,2 \frac{1}{\text{h}} * 324,3 \text{ m}^3 = 64,86 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Muutetaan ulkoilmavirta yksikköön m³/s.

$$qv_{\text{ulkoilmavirta}} = \frac{64,86 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 0,0180 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Uusi painovoimaisesta ilmanvaihdosta aiheutuva lämpöhäviö on laskettuna alla

$$\dot{Q}_{\text{ulkoilmavirta}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * 0,0180 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (21^\circ\text{C} - (-32^\circ\text{C})) = 1145,86 \text{ W}$$

Osa tästä lämpöhäviöstä on korvausilmaa ja osa rakenteiden läpi johtuvaa vuotoilmaa. Korvausilman ja vuotoilman ilmanvaihtuvuutena käytettiin arvoa 0,1 1/h, jolloin yhteenlaskettu ilmanvaihtuvuus on 0,2 1/h. Laskennat ovat esitettyä alla.

Vuotoilmaa ei huomioitu maanalaisissa kellaritiloissa, jolloin rakennuksen lämmittetyksi tilavuudeksi saatiin 272,6 m³ vuotoilman tehontarpeen osalta.

$$\begin{aligned}\Phi_{vuotoilma} &= \frac{0,1 \frac{1}{h} * 272,6 \text{ m}^3}{3600 \frac{s}{h}} * 1,2 \frac{kg}{m^3} * 1000 \frac{J}{kgK} * (21^\circ C - (-32^\circ C)) \\ &= 481,59 \text{ W}\end{aligned}$$

Tällöin korvausilman osuudeksi jää

$$\Phi_{korvausilma} = 1145,86 \text{ W} - 481,59 \text{ W} = 664,26 \text{ W}$$

5.4 Käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema teho lasketaan rakennusten vesi- ja viemärlaitteistosta annetun ympäristöministeriön asetuksen mukaisesti määritetyllä, rakennuskohtaisella lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamalla (14, s. 69).

Käyttöveden lämmitystehon tarve lasketaan kaavalla 6 (14, s. 69).

$$\Phi_{lkv} = \rho_v C_{pv} q_{v,lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) + \Phi_{lkv,kiertohäviö} \quad \text{KAAVA 6}$$

jossa

Φ_{lkv} käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve, W

ρ_v veden tiheys, 1000 kg/m³

C_{pv} veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)

$q_{v,lkv}$ lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, m³/s

T_{lkv} lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

T_{kv} kylmän käyttöveden lämpötila, °C

$\Phi_{lkv,kiertohäviö}$ lämpimän käyttöveden kiertojohtojon häviöt, kW

$$\phi_{\text{Ikv}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * 0,00031 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (58^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) = 62,496 \text{ kW}$$

Kohteessa ei ole lämpimän käyttöveden kiertojohtoa, joten lämpimän käyttöveden kiertojohdon häviötä ei ole.

5.5 Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama

Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama saatiin ympäristöministeriön Suomen rakentamismääräyskokoelman osiosta D1 ”Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot”.

Aluksi laskettiin taulukon 4 vesipisteiden normivirtaamat yhteen. Tämän jälkeen katsottiin mitoitusvirtaama taulukosta 5 normivirtaamien summan, Q (0,6 dm³/s lämpimälle käyttövedelle), ja suurimman yksittäisen normivirtaaman, qn1 (0,2 dm³/s), avulla. Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamaksi saatiin 0,31 dm³/s eli 0,00031 m³/s.

TAULUKKO 3 Normivirtaamat ja jakojohdojen mitoitusvirtaamat

Vesipiste	Normivirtaama qn dm ³ /s				
	Kylmä vesi	Lämmin vesi	kpl	kylmä	lämmin
Astianpesuallas	0,2	0,2	1	0,2	0,2
Astianpesukone	0,2		1	0,2	
Pesuallas	0,1	0,1	2	0,2	0,2
Suihku	0,2	0,2	1	0,2	0,2
WC-istuin	0,1		2	0,2	
Pesukone	0,2		1	0,2	
Vesiposti DN15	0,2		1	0,2	
Normivirtaamien summa				1,4	0,6
Jakojohdon mitoitusvirtaama dm³/s				0,4	0,31

TAULUKKO 4 Jakojohdon mitoitusvirtaama asuin-, toimisto-, koulu-, hotelli-, sairaala- tms. rakennuksissa (15, s.37).

Normi- virtaamien summa Q dm ³ /s	Mitoitusvirtaama q ¹⁾ dm ³ /s		
	q _{N1} (dm ³ /s)		
	0,1	0,2	0,3
0,1	0,1	–	–
0,2	0,16	0,2	–
0,3	0,18	0,26	0,3
0,4	0,20	0,28	0,36
0,5	0,21	0,30	0,38
0,6	0,23	0,31	0,40
0,7	0,24	0,33	0,41
0,8	0,25	0,34	0,43
0,9	0,26	0,35	0,44
1,0	0,27	0,36	0,45
1,1	0,28	0,37	0,46
1,2	0,29	0,38	0,47
1,3	0,30	0,39	0,48
1,4	0,31	0,40	0,49
1,5	0,32	0,41	0,50
1,6	0,33	0,42	0,51
1,7	0,34	0,43	0,52
1,8	0,35	0,44	0,53
1,9	0,35	0,45	0,54
2,0	0,36	0,45	0,55

6 LÄMMITYSENERGIAN JA SÄHKÖENERGIAN KULUTUS

Kohteen lämmitysenergian tarpeet laskettiin ympäristöministeriön ohjeen, ”Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta”, kaavoilla. Tilojen lämmitysenergian tarpeeksi tuli laskelmien mukaan 22 090,70 kWh vuodessa ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeeksi 2755,96 kWh vuodessa. Rakennuksen lämmitysenergian tarpeeksi tuli yhteensä 24 846,66 kWh vuodessa. Laskelmat löytyvät liitteistä 1 ja 2.

Lämpökuormista hyödynnettäväksi lämpöenergiaksi saatiin laskelmien mukaan 5724,86 kWh vuodessa. Lämpökuormissa ei ole huomioituna auringon säteilyn tuomaa lämmitysenergiaa. Laskelmat löytyvät liitteestä 3.

6.1 Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus

Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus lasketaan lämmöntuottojärjestelmittain kaavalla 7 (14, s. 48).

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,iv}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}} - Q_{\text{aurinko,lkv}} - Q_{\text{muu tuotto}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad \text{KAAVA 7}$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys,iv}}$	ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{aurinko,lkv}}$	aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimään käyttöveteen, kWh/a
$Q_{\text{muu tuotto}}$	muilla mahdollisilla tuottojärjestelmillä tuotettu energia, kWh/a

Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve lasketaan lämmönjakojärjestelmittain kaavalla 8 (14, s. 40).

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} + Q_{\text{jakelu,ulos}} + Q_{\text{varastointi,ulos}} \quad \text{KAAVA 8}$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmönjakelujärjestelmällä, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, joka katetaan laskettavalla lämmönjakelujärjestelmällä, kWh/a
$Q_{\text{jakelu,ulos}}$	lämmön jakelujärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/a
$Q_{\text{varastointi,ulos}}$	laskettavan lämmönjakelujärjestelmän varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a
$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$	laskettavan lämmönjakelujärjestelmän hyötysuhde, -

Lämmönjakelujärjestelmän lämpöhäviöt lämmittämättömään tilaan lasketaan kaavalla 9 (14, s. 40).

$$Q_{\text{jakelu,ulos}} = q_{\text{jakeluhäviöt,ulos}} \times L \quad \text{KAAVA 9}$$

jossa

$Q_{\text{jakelu,ulos}}$	lämmönjakelujärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/a
$q_{\text{jakeluhäviöt,ulos}}$	lämmönjakelujärjestelmän ominaislämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/(m a)
L	lämmönjakelujärjestelmän meno- ja paluuputkien yhteenlaskettu pituus lämmittämättömässä tilassa, m

6.2 Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus

Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 10 (14, s. 50).

$$W_{\text{lämmitys}} = W_{\text{tilat}} + W_{\text{tuotto,apu}} + W_{\text{lkv,pumppu}} + W_{\text{aurinko,pumput}} + W_{\text{LP,lämmitys}}$$

KAAVA 10

jossa

$W_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
W_{tilat}	lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{tuotto,apu}}$	lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{lkv,pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{aurinko,pumput}}$	aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{LP,lämmitys}}$	lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a

Lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 11 (14, s. 43).

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

KAAVA 11

jossa

W_{tilat}	lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
e_{tilat}	lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutus, kWh/(m ² a)
$A_{\text{netto},i}$	rakennuksen osan i lämmitetty nettoala, jonka lämmön jakelujärjestelmä kattaa, m ²

Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus lasketaan kaavalla 12 (14, s. 50).

$$W_{tuotto,apu} = e_{tuotto}A_{netto}$$

KAAVA 12

jossa

$W_{tuotto,apu}$ lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a

e_{tuotto} apulaitteiden ominaiskulutus, kWh/ (m² a)

A_{netto} rakennuksen lämmitetty nettoala, m²

6.3 Kaukolämpö

Kaukolämpöjärjestelmässä, jonka lämmönjako toteutettiin patterilämmityksenä, lämmitysenergiankulutus oli 29,9 MWh vuodessa. Lämmitysenergian tarpeeseen sisältyy tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve. Lämmityksen apulaitteiden sähköenergian kulutus oli 0,431 MWh vuodessa.

6.3.1 Lämmitysenergian kulutus

Kaukolämpöjärjestelmän lämpöenergiankulutus on esitetty alla olevissa laskuissa.

$$Q_{lämmitys} = \frac{25\,345,22 \frac{kWh}{a} + 2755,95 \frac{kWh}{a}}{0,94} = 29\,894,86 \frac{kWh}{a} = 29,9 \frac{MWh}{a}$$

Kaukolämmityksen vuosihyötysuhde on 0,94 (14, s. 49).

$$Q_{lämmitys,tilat} = \frac{22\,090,7 \frac{kWh}{a}}{0,9} + 800 \frac{kWh}{a} = 25\,345,22 \frac{kWh}{a}$$

Lämmönjaon vuosihyötysuhde on 0,90, kun käytössä on vesiradiaattori 60/40 °C ja jakojohdot on eristetty (14, s. 41).

$$Q_{jaku,ulos} = 25 \frac{kWh}{(m a)} \times 32m = 800 kWh/a$$

Lämmönjakoputkien vuotuinen ominaislämpöhäviö on 25 kWh/m vuodessa, kun pientalon jakoputket ovat puolilämpimässä tilassa eristettyjä. (14, s. 42). Jakoputkien pituudeksi saatiin 16 m + 16 m.

$$Q_{lämmitys,lkv} = \frac{2452,8 \frac{kWh}{a}}{0,89} = 2755,96 \frac{kWh}{a}$$

Lämpimän käyttöveden siirron vuosihyötysuhde on 0,89, kun ei ole lämpimän käyttöveden kiertoa ja jakojohdot on eristetty perustasolla (14, s. 44).

6.3.2 Sähköenergian kulutus

Kaukolämpöjärjestelmän sähköenergiankulutus on esitetty alla olevissa laskuissa.

$$W_{lämmitys} = 331,4 \frac{kWh}{a} + 99,42 \frac{kWh}{a} = 430,82 \frac{kWh}{a}$$

Rakennuksen lämmitetty nettoala on 165,7 m²

$$W_{tilat} = 2 \frac{kWh}{m^2 a} \times 165,7 m^2 = 331,4 kWh/a$$

Vesikiertoisen patterilämmityksen (60°C/40°C) apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutus on 2 kWh/ (m² a) (14, s. 41).

$$W_{tuotto,apu} = 0,6 \frac{kWh}{m^2 a} \times 165,7 m^2 = 99,42 \frac{kWh}{a}$$

Kaukolämpöjärjestelmän apulaitteiden sähkön ominaiskulutus on 0,60 kWh/ (m² a) (14, s. 49).

6.4 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmässä, jonka lämmönjako toteutettiin patterilämmityksenä, lämpöpumpun kattama lämmitysenergia tilojen ja käyttöveden lämmitykseen oli yhteensä 24,85 MWh vuodessa. Maasta saatavaa ilmaisenergiaa oli 16,24 MWh vuodessa ja lämpöpumpun sähköenergiankulutus oli 9,52 MWh vuodessa.

6.4.1 Lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus

Maalämpöpumpulla tuotettava tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia lasketaan ottamalla lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus huomioon kaavoilla 13 ja 14 (14, s. 53).

$$Q_{LP,lämmitys,tilat} = Q_{lämmitys,tilat} - Q_{lisälämmitys,tilat} \quad \text{KAAVA 13}$$

jossa

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

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

$Q_{lisälämmitys,tilat}$ tilojen lisälämmityksen energian tarve, kWh

$$Q_{LP,lämmitys,tilat} = 22090,7 \frac{kWh}{a} - 441,814 \frac{kWh}{a} = 21\,648,89 \frac{kWh}{a}$$

$$Q_{LP,lämmitys,lkv} = Q_{lämmitys,lkv} - Q_{lisälämmitys,lkv} \quad \text{KAAVA 14}$$

jossa

$Q_{LP,lämmitys,lkv}$ lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

$Q_{lämmitys,lkv}$ lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh

$Q_{lisälämmitys,lkv}$ lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, kWh

$$Q_{LP,lämmitys,lkv} = 2755,96 \frac{kWh}{a} - 55,11 \frac{kWh}{a} = 2700,85 \frac{kWh}{a}$$

Tilojen ja käyttöveden lämmityksessä tarvittava lisälämmityksen energiantarve lasketaan kaavalla 15 ja 16 (14, s. 53).

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

KAAVA 15

jossa

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

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

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

$$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} = (1 - 0,98) \times 22\,090,7 \frac{kWh}{a} = 441,814 \frac{kWh}{a}$$

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

KAAVA 16

jossa

$Q_{\text{lisälämmitys,lkv}}$ lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, kWh

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

$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$ lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh

$$Q_{\text{lisälämmitys,lkv}} = (1 - 0,98) \times 2755,96 \frac{kWh}{a} = 55,11 \frac{kWh}{a}$$

Maalämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitussuhde oli 1. Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde oli suurempi kuin 4, joten käytettiin taulukon suurinta arvoa. Maalämpöpumpun kattamaksi osuudeksi tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeeksi luettiin taulukosta 6 arvoksi 0,98 kun menovesi lämmityspattereille on 60 °C säävyöhykkeellä III (Oulu).

TAULUKKO 5 Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta (14, s. 74).

Φ_{LPn}/Φ_{tila}	$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta ($Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$)											
		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	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36
	1,00	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,44
	2,00	0,62	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58	0,56	0,54	0,44	0,54	0,52	0,51
	4,00	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,40	0,50	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48
	1,00	0,67	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
	2,00	0,78	0,75	0,72	0,70	0,76	0,73	0,70	0,68	0,59	0,69	0,67	0,64
	4,00	0,84	0,79	0,76	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,50	0,50	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,61
	1,00	0,82	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,76	0,74	0,77	0,74	0,73	0,71
	2,00	0,90	0,87	0,84	0,81	0,89	0,85	0,82	0,79	0,71	0,81	0,78	0,75
	4,00	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,60	0,50	0,81	0,80	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
	1,00	0,92	0,90	0,88	0,86	0,91	0,88	0,86	0,84	0,88	0,85	0,82	0,80
	2,00	0,95	0,93	0,91	0,89	0,95	0,92	0,90	0,87	0,80	0,90	0,86	0,83
	4,00	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,70	0,50	0,92	0,90	0,88	0,87	0,90	0,88	0,87	0,86	0,87	0,85	0,84	0,83
	1,00	0,97	0,95	0,94	0,92	0,96	0,95	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,88
	2,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,95	0,92	0,90
	4,00	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,80	0,50	0,97	0,96	0,95	0,94	0,97	0,95	0,94	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90
	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95	0,98	0,96	0,95	0,93
	2,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,97	0,95	0,95
	4,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,90	0,50	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95
	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96
	2,00	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
	4,00	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,00	0,50	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97
	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	2,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	4,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98

jossa

Φ_{LPn}/Φ_{tila}

lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitustehon suhde, -

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

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

$Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$

maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta, -

6.4.2 Lämmityssähkön energiankulutus

Lämmityssähkön energiankulutus maalämpöjärjestelmässä on esitetty alla olevissa laskuissa.

Lämmityskäytössä olevan maalämpöpumpun sähköenergian kulutus voidaan laskea kaavalla 17 (14, s. 54).

$$W_{LP,lämmitys} = \frac{Q_{LP,lämmitys,tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{LP,lämmitys,lkv}}{SPF_{lkv}} + W_{lisälämmitys} \quad \text{KAAVA 17}$$

jossa

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

$$\begin{aligned} W_{LP,lisälämmitys} &= \frac{21\,648,89 \frac{kWh}{a}}{2,7} + \frac{2700,85 \frac{kWh}{a}}{2,7} + \left(441,81 \frac{kWh}{a} + 55,11 \frac{kWh}{a} \right) \\ &= 9018,42 \frac{kWh}{a} + \left(496,92 \frac{kWh}{a} \right) = 9\,515,34 \frac{kWh}{a} = 9,52 \frac{MWh}{a} \end{aligned}$$

6.5 Suora sähkölämmitys

Sähkölämmitysjärjestelmässä, jonka lämpö toteutettiin huonekohtaisella patterilämmityksellä, lämmityssähkön kulutus laskelmien mukaan oli 26,0 MWh vuodessa. Lämmityssähkön tarpeeseen sisältyy tilojen lämmitysenergian tarve ja käyttöveden lämmityksen lämpöenergian tarve. Lämmityksen apulaitteiden sähköenergiankulutus laskelmien mukaan oli 0,082 MWh vuodessa.

6.5.1 Lämmityssähkön kulutus

Sähkölämmitysjärjestelmän lämmityssähkön kulutus on esitetty alla olevissa laskuissa.

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{23\,253,37 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} + 2755,96 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}}{1} = 26\,009,33 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 26,0 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$$

Huonekohtaisen sähkölämmityksen vuosihyötysuhde on 1 (14, s. 49).

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{22090,7 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}}{0,95} = 23\,253,37 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Huonekohtaisen sähköpatterilämmityksen vuosihyötysuhde on 0,95 (14, s. 41).

$$Q_{\text{lämmitys,lkv}} = \frac{2452,8 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}}{0,89} = 2755,96 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Lämpimän käyttöveden siirron vuosihyötysuhde on 0,89, kun ei ole lämpimän käyttöveden kiertoa ja jakojohdot on eristetty perustasolla (14 s. 44).

6.5.2 Apulaitteiden sähköenergian kulutus

Sähkölämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus on esitetty alla olevissa laskuissa.

$$W_{\text{lämmitys}} = 82,85 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} + 0 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 82,85 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Rakennuksen lämmitetty nettoala on 165,7 m²

$$W_{\text{tilat}} = 0,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \times 165,7 \text{ m}^2 = 82,85 \text{ kWh/a}$$

Sähköpatterilämmityksen apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutus on 0,5 kWh/ (m² a) (14, s. 41).

$$W_{\text{tuotto,apu}} = 0,0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \times 165,7 \text{ m}^2 = 0 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Huonekohtaisen sähkölämmityksen apulaitteiden sähkön ominaiskulutus on 0,0 kWh/ (m² a) (14, s. 49).

6.6 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmässä, jonka lämmönjako toteutettiin patterilämmityksenä, lämpöpumpun kattama lämmitysenergia tilojen ja käyttöveden lämmitykseen oli yhteensä 24,85 MWh vuodessa. Ulkoilmasta saatava ilmaisenergia oli 11,1 MWh vuodessa ja lämpöpumpun sähköenergiankulutus oli 13,75 MWh vuodessa.

6.6.1 Lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus

Ilma-vesilämpöpumpulla tuotettava tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia laskeaan ottamalla lisälämmityksen tarvittava energiankulutus huomioon kaavoilla 18 ja 19 (14, s. 53).

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

KAAVA 18

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 energian tarve, kWh

$$Q_{LP,lämmitys,tilat} = 22090,7 \frac{kWh}{a} - 2650,88 \frac{kWh}{a} = 19\,439,82 \frac{kWh}{a}$$

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

KAAVA 19

jossa

$Q_{LP,lämmitys,lkv}$ lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

$Q_{lämmitys,lkv}$ lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh

$Q_{lisälämmitys,lkv}$ lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, kWh

$$Q_{LP,lämmitys,lkv} = 2755,96 \frac{kWh}{a} - 330,72 \frac{kWh}{a} = 2\,425,24 \frac{kWh}{a}$$

Tilojen ja käyttöveden lämmityksessä tarvittava lisälämmityksen energiantarve lasketaan kaavalla 20 ja 21 (14, s. 53).

$$Q_{lisälämmitys,tilat} = \left(1 - \frac{Q_{LP}}{Q_{lämmitys,tilat,lkv}}\right) Q_{lämmitys,tilat}$$

KAAVA 20

jossa

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

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

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

$$Q_{lisälämmitys,tilat} = (1 - 0,88) \times 22\,090,7 \frac{kWh}{a} = 2650,88 \frac{kWh}{a}$$

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

KAAVA 21

jossa

$Q_{\text{lisälämmitys,lkv}}$ lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, kWh

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

$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$ lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh

$$Q_{\text{lisälämmitys,lkv}} = (1 - 0,88) \times 2\,755,96 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 330,72 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitussuhde oli 1,0. Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde oli suurempi kuin 4, joten käytettiin taulukon suurinta arvoa. Ulkoilmalämpöpumpun kattamaksi osuudeksi tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeeksi luettiin taulukosta 7 arvoksi 0,88 kun menovesi lämmityspattereille on 60 °C säävyöhykkeellä III (Oulu).

TAULUKKO 6 Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta (14, s. 76).

Φ_{LPn}/Φ_{tila}	$\frac{Q_{\text{lämmitys, tilat}}}{Q_{\text{lämmitys, lkv}}}$	Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta ($Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$)											
		Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_{mv}, ^\circ\text{C}$				$T_{mv}, ^\circ\text{C}$				$T_{mv}, ^\circ\text{C}$			
		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

jossa

Φ_{LPn}/Φ_{tila} lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitustehon suhde, -

$\frac{Q_{\text{lämmitys, tilat}}}{Q_{\text{lämmitys, lkv}}}$ tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde, -

$Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$ ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta, -

6.6.2 Lämmityssähkön energiakulutus

Lämmityskäytössä olevan ulkoilmalämpöpumpun sähköenergian kulutus voidaan laskea kaavalla 22 (14, s. 54).

$$W_{LP,lämmitys} = \frac{Q_{LP,lämmitys,tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{LP,lämmitys,lkv}}{SPF_{lkv}} + W_{lisälämmitys} \quad \text{KAAVA 22}$$

jossa

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

$$\begin{aligned} W_{LP,lisälämmitys} &= \frac{19\,493,82 \frac{kWh}{a}}{2,1} + \frac{2425,24 \frac{kWh}{a}}{1,6} + \left(3820,3 \frac{kWh}{a} + 330,72 \frac{kWh}{a} \right) \\ &= 13\,754,43 \frac{kWh}{a} = 13,75 \frac{MWh}{a} \end{aligned}$$

SPF-luvut tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen katsottiin taulukosta 8.

TAULUKKO 7 Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja (14, s. 55).

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

7 KUSTANNUKSET

Työssä vertailtiin eri lämmitysjärjestelmien energiankulutuksia ja tehtiin investointien ja käyttökustannuksien kustannuslaskelmat. Vertailtavia lämmitysmuotoja oli kaukolämpö, maalämpö, suora sähkölämmitys ja ulkoilma-vesilämpöpumppu.

7.1 Kaukolämpö

Kaukolämpöjärjestelmässä lämmitysenergian kulutus oli 29,9 MWh vuodessa ja apulaitteiden sähköenergiankulutus 0,431 MWh vuodessa. Kaukolämpöenergian hinta oli 50,38 €/MWh (20), ja sähkön hinnaksi arvioitiin 11 senttiä/kWh (20 ja 21), joka sisältää sähkön hinnan sekä sähkön siirron. Lisäksi käyttökustannuksiin lisättiin sähkön perusmaksu 3,5 € kuukaudessa ja kaukolämmön perusmaksu 463,74 € vuodessa. Käyttökustannukset vuodessa olivat 2059,5 €.

Alkuinvestointeihin kuuluivat kaukolämmön liittymismaksu, lämmönjakokeskuksen kustannukset ja uusittavan patterilämmitysjärjestelmän kustannukset. Kaukolämmön liittymismaksu oli 6 869,60 € ja lämmönjakokeskuksen arvioitiin olevan noin 3000 €. Uusittavan lämmitysjärjestelmän lämmityspattereiden hinnaksi arvioitiin 4000 €. Investointikustannukset yhteensä kaukolämpöjärjestelmässä olivat 13 869,60 €

Kaukolämmön liittymismaksu lasketaan kaavalla 23 (16).

$$\text{Liittymismaksu}_{\text{pientalo, vanhat alueet } 0-0,2\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 2219,6\text{€} + (186\text{€} \times L) \quad \text{KAAVA 23}$$

jossa

L liittymisjohdon pituus, m

$$2219,60\text{€} + (186\text{€} \times 25\text{m}) = 6869,60 \text{€}$$

Liittymisjohdon pituudeksi arvioitiin 25 metriä

Sopimusvesivirta lasketaan kaavalla 24 (17, s. 5).

$$V = \frac{\phi}{c_{pv} \times \rho_v \times (t_{et} + t_{ep})}$$

KAAVA 24

jossa

V tehoa vastaava kaukolämpöveden tilavuusvirtaus, dm^3/s

ϕ sopimusteho, kW

c_{pv} veden ominaislämpökapasiteetti, $\text{kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$

ρ_v veden tiheys, kg/dm^3

t_{et} kaukolämpöveden tulolämpötila, $^\circ\text{C}$

t_{ep} kaukolämpöveden paluulämpötila, $^\circ\text{C}$

$$V = \frac{16,04 \text{ kW}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \times 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times (115 ^\circ\text{C} - 43 ^\circ\text{C})} = 0,0530 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Kaukolämpöliittymän hintaa laskettaessa sopimusvesivirta tulee muuttaa yksiköön m^3/h

$$V = \frac{0,0530 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}}{1000 \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^3}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 0,191 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Kaukolämpöveden tulolämpötila on 115 °C ja paluulämpötila 43 °C patterilämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilan ollessa 60 °C ja paluuveden lämpötilan 40 °C (taulukko 9).

TAULUKKO 8 Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat olemassa oleviin rakennuksiin (18, s. 57).

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	TULO	ENSIÖ PALUU	PALUU	TOISIO MENO
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys	115	43 (max)	40 (max)	70 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys – vanhat rakennukset	115	63 (max)	60 (max)	80 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimet, lattialämmitys	115	33 (max)	30 (max)	40 (max)
Kosteiden tilojen mukavuuslattialämmitys	70	28 (max)	25 (max)	35 (max)
Ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	115	43	40	70
Huomautus		Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila		

Sopimusteho lasketaan kaavalla 25

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

KAAVA 25

jossa

ϕ sopimusteho, kW

ϕ_{tila} tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, kW

ϕ_{iv} ilmanvaihdon lämmityspatterin teho, kW

ϕ_{lvh} tuntinen käyttöveden lämmitysteho, kW

$$\phi = 9,79 \text{ kW} + 0 \text{ kW} + 6,25 \text{ kW} = 16,04 \text{ kW}$$

Arvio käyttöveden tuntisesta tehosta katsottiin taulukosta 10.

TAULUKKO 9 Käyttöveden tuntisen tehon arvioiminen asuinrakennuksissa (17, s. 13).

asuntojen lkm	osuus käyttövesisiirtimen mitoitustehosta
1	10 %
2...5	15 %
6...100	20 %
101...	25 %

$$\Phi_{lvh} = 62,46 \text{ kW} \times 10 \% = 6,25 \text{ kW}$$

Kaukolämmön perusmaksu lasketaan kaavalla 26 (19).

$$\text{Perusmaksu}_{\text{pientalo } (0-0,2\frac{\text{m}^3}{\text{h}})} = (2,71 \times 138\text{€}) \times 1,24$$

KAAVA 26

$$(2,71 \times 138\text{€}) \times 1,24 = 463,74 \text{ €/a}$$

7.2 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmässä lämmityssähkön energiankulutus oli 9,52 MWh vuodessa. Sähkön hinnaksi arvioitiin 11 senttiä/kWh (20 ja 21), joka sisältää sähkön hinnan sekä sähkön siirron. Lisäksi käyttökustannuksiin lisättiin sähkön perusmaksu 3,5 € kuukaudessa, jolloin lämmityssähkön hinnaksi saatiin 1089,2 € vuodessa.

Alkuinvestointeihin kuuluivat maalämpöpumppu lämminvesivaraajalla, porakäivon teko ja uusittavan patterilämmitysjärjestelmän kustannukset. Maalämpöpum-

pun hinnaksi arvioitiin 7500 €. Porakaivon syvyyden laskemisessa käytettiin arvoa, jossa yksi metri porakaivossa luovuttaa 100 kWh energiaa. Maalämpöjärjestelmän tuottama energia oli yhteensä 16,24 MWh, jolloin porakaivon syvyydeksi tulisi 162,4 m. Porakaivon hinnaksi arvioitiin 35 €/m, jolloin porakaivon hinnaksi tulisi 5684 €. Lämmityspattereiden hinnaksi arvioitiin 4000 €. Investointikustannukset yhteensä maalämpöjärjestelmässä olivat 17 184 €.

7.3 Suora sähkölämmitys

Sähkölämmitysjärjestelmässä lämmityssähkön energiankulutus oli 26 MWh vuodessa ja apulaitteiden energiankulutus 0,082 MWh vuodessa. Sähkön hinnaksi arvioitiin 11 senttiä/kWh (20 ja 21), joka sisältää sähkön hinnan sekä sähkön siirron. Lisäksi käyttökustannuksiin lisättiin sähkön perusmaksu 3,5 € kuukaudessa, jolloin lämmityssähkön hinnaksi saatiin 2911 € vuodessa.

Alkuinvestointeihin kuuluivat lämpimän käyttöveden varaaja, huonekohtaiset sähkölämmityspatterit, termostaatit ja kannakkeet. Investointien kokonaishinnaksi arvioitiin 5000€

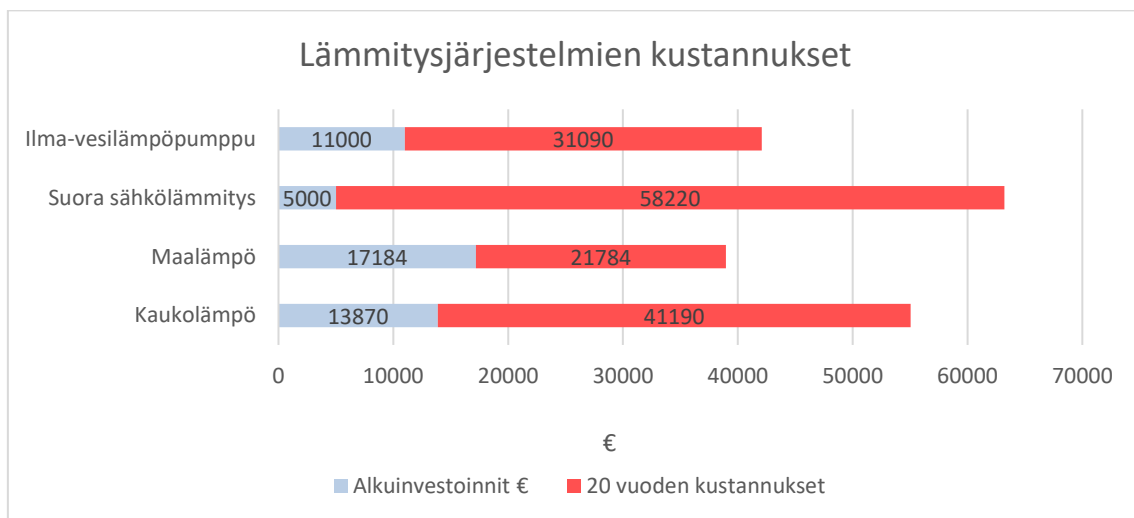
7.4 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmässä sähköenergian kulutus oli 13,75 MWh vuodessa. Sähkön hinnaksi arvioitiin 11 senttiä/kWh (20 ja 21), joka sisältää sähkön hinnan sekä sähkön siirron. Lisäksi käyttökustannuksiin lisättiin sähkön perusmaksu 3,5 € kuukaudessa, jolloin lämmityssähkön hinnaksi tuli 1554,5 € vuodessa.

Alkuinvestointeihin kuuluivat ilma-vesilämpöpumppu lämminvesivaraajalla ja uusittavan patterilämmitysjärjestelmän kustannukset. Ulkoilma-vesilämpöpumppu paketin hinnaksi arvioitiin 7000 €. Lisäksi kohteen lämmityspatterit uusittiin, joiden hinnaksi arvioitiin 4000 €, joka sisältää vesikiertoiset lämmityspatterit kannakkeineen, termostaatit, putket ja osat. Investointikustannukset yhteensä ulkoilma-vesilämpöpumppujärjestelmässä olivat 11 000 €.

7.5 Kustannusvertailu

Edullisimmaksi lämmitysjärjestelmäksi valikoitui maalämpöpumppu kokonaiskustannuksiltaan 38 968 €. Toiseksi edullisimmaksi järjestelmäksi valikoitui ulkoilma-vesilämpöpumppu kokonaiskustannuksiltaan 42 090 €. Ulkoilma-vesilämpöpumpun jälkeen edullisin vaihtoehto oli kaukolämpö kokonaiskustannuksiltaan 55 060 €. Kalleimmaksi tuli suora sähkölämmitys kokonaiskustannuksiltaan 63 220 €. Kustannusvertailut on tehty 20 vuoden laskenta-ajalla eikä kustannusvertailussa ole huomioituna lämmitysjärjestelmien huoltokustannuksia eikä asennuksia. Eri lämmitysjärjestelmien kustannukset ovat esiteltynä kuvassa 9.



KUVA 9 Lämmitysjärjestelmien kustannukset

Kannattavimmaksi lämmitysmuodoksi valikoitui maalämpöpumppu, mutta ennen lopullista valintaa on syytä tutkia kohteen maaperän ominaisuudet ja selvittää kallioperän syvyys sekä maalämmön soveltuvuus kohteeseen. Vaakakenttämitoitukselle tontti on liian pieni, jotta maalämmöllä voitaisiin kattaa koko rakennuksen tehon tarve. Maalämmön jälkeen kannattavin vaihtoehto oli ilma-vesilämpöpumppu, joka soveltuu kohteeseen. Kolmanneksi halvin vaihtoehto oli kaukolämpö. Kalleimmaksi vaihtoehdoksi todettiin suora sähkölämmitys huonekohtaisilla sähköpattereilla.

Kaukolämmön yhteistuotantoalueiden hiilidioksidipäästökertoimena käytettiin arvoa 188 kg CO₂/MWh. Sähköntuotannon hiilidioksidipäästökertoimena käytettiin arvoa 164 kg CO₂/MWh (22). Lämmitysjärjestelmien hiilidioksidipäästöt ovat esitettyinä taulukossa 11.

TAULUKKO 10 Lämmitysjärjestelmien hiilidioksidipäästöt

Lämmitysjärjestelmä	Energiankulutus (MWh)	CO ₂ -päästökerroin	CO ₂ -päästöt
Kaukolämpö	29,9	188	5621
Maalämpö	9,52	164	1561
Suora sähkölämmitys	26	164	4264
Ilma-vesilämpöpumppu	13,75	164	2255

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä vertailu rintamamiestalossa käytettävistä lämmitysjärjestelmistä ja niiden kustannuksista. Työssä laskettiin rintamamiestalon lämmityksen ja käyttöveden tehontarpeet. Eri järjestelmien energiankulutuksia vertailtiin ja tehtiin kannattavuuslaskelmat, joiden kautta voitiin arvioida sopivinta lämmitysjärjestelmää kohteeseen. Lämmitysjärjestelmien kokonaiskustannukset on tehty 20 vuoden laskenta-ajalla ja ovat osittain arvioituja.

Kannattavimmaksi lämmitysmuodoksi valikoitui maalämpöpumppu, kokonaiskustannuksiltaan 40 704 €. Ennen lopullista valintaa on syytä tutkia kohteen maaperän ominaisuudet ja selvittää kallioperän syvyys sekä maalämmön soveltuvuus kohteeseen. Vaakakenttämitoitukselle tontti on liian pieni, jotta maalämmöllä voitaisiin kattaa koko rakennuksen tehontarve.

Maalämmön jälkeen kannattavin vaihtoehto oli ilma-vesilämpöpumppu, joka soveltuu kohteeseen. Ilma-vesilämpöpumpun kokonaiskustannuksiksi saatiin laskelmien mukaan 43 960 €.

Kolmanneksi halvin vaihtoehto oli kaukolämpö, johon valinta todennäköisesti kohdistuu lähes huoltovapaan ja huolettoman käytön vuoksi. Lisäksi kaukolämpölinjat kulkevat kohteen läheisyydessä, mikä helpottaa valintaa kohteeseen. Kaukolämpöjärjestelmän kokonaishinnaksi saatiin laskelmien mukaan 55 146 €.

Kalleimmaksi vaihtoehdoksi valikoitui suora sähkölämmitys huonekohtaisilla sähköpattereilla. Kokonaiskustannuksiksi laskelmien mukaan saatiin 66 714 €.

Ennen lopullista valintaa on syytä myös miettiä mahdollista lämmöneristyksen parantamista kohteessa. Tämän avulla rakennuksen lämmöntarvetta ja lämmitysjärjestelmän käyttökustannuksia voidaan pienentää. Jos päädytään parantamaan rakennuksen eristystasoa, on huomioitava myös ilmanvaihdon riittävyys, joka painovoimaisessa kohteessa heikkenee rakenteiden paremman tiiveyden vuoksi.

LÄHTEET

1. Energiatodistusoppaan liite. Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnittelu arvoja. 2016. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://docplayer.fi/18185965-Energiatodistus-opas-liite-tyypillisia-olemassa-olevien-vanhojen-rakennusten-alkuperaisia-suunnittelu-arvoja.html>. Hakupäivä 18.9.2018.
2. Kaukolämpö. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo. Hakupäivä 25.9.2018.
3. Lämpöä kotiin verkosta. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/lampoa_kotiin_verkosta. Hakupäivä 1.10.2018.
4. Maalämpöpumppu, MLP. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp. Hakupäivä 1.10.2018.
5. Öljylämmitys. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/oljylammitys. Hakupäivä 1.10.2018.
6. Suora sähkölämmitys. Maalämpö. Saatavissa: <http://www.maalampo.fi/artikkelit/suora-sahkolammitys/>. Hakupäivä 3.10.2018.
7. Sähkölämmitys. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/kytenta_muihin_lammitysjarjestelmiin/sahkolammitys. Hakupäivä 1.10.2018.
8. Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_uvlp. Hakupäivä 1.10.2018.
9. Tukilämmitysjärjestelmät. 2016. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/tukilammitysjarjestelmat. Hakupäivä 1.10.2018.

10. Lämmönjaon vaihtoehdot. 2016. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot. Hakupäivä 3.10.2018.
11. Vesikeskuslämmitys. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot/vesikeskuslammitys. Hakupäivä 3.10.2018.
12. Huonekohtainen sähkölämmitys. 2016. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot/huonekohtainen_sahkolammitys. Hakupäivä 10.10.2018.
13. Ilmakiertoiset lämmönjakojärjestelmät. Motiva. 2016. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot/ilmakiertoiset_lammonjakojarjestelmat. Hakupäivä 10.10.2018.
14. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö. 2018. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_ rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus. Hakupäivä 19.11.2018.
15. D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitokset. Ympäristöministeriö. 2007. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_ rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Kumotut. Hakupäivä 20.11.2018.
16. Kaukolämpöliittymän hinta. Oulun energia. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/lampopalvelut/hinnasto/kaukolampoliittymän-hinta>. Hakupäivä 10.12.2018.
17. Suositus K15/2014. 2014. Teho ja -vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. Energiateollisuus. Saatavissa: https://energia.fi/ajankohdista_ ja_ materiaalipankki/materiaalipankki/suositus_k15_2014_teho_ ja_ vesivirta_kaukolammon_maksuperusteina.html#material-view. Hakupäivä 10.12.2018.

18. Julkaisu K1/2013. Rakennuksen kaukolämmitys. 2013. Määräykset ja ohjeet. Saatavissa: https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf. Hakupäivä 10.12.2018.
19. Laskentakaavat. 2018. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/lampopalvelut/kaukolampo/kaukolampohinnasto/kaukolammon-energia-ja-perusmaksut/laskentakaavat>. Hakupäivä 10.10.2018.
20. Kaukolämmön energia- ja perusmaksut. Oulun energia. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/lampoa-kotiin/kaukolampohinnasto/kaukolammon-energia-ja-perusmaksut>. Hakupäivä 12.12.2018.
21. Sähkön hinta. Oulun Energia. 2018. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/sahkon-hinta>. Hakupäivä 13.12.2018.
22. CO₂-päästökertoimet. 2018. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energian_kulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet. Hakupäivä 13.12.2018.
23. Tasauslaskentaopas 2018. Ympäristöministeriö. 2018. Maankäyttö ja rakentaminen. Lainsäädäntö ja ohjeet. Rakentamismääräyskokoelma. Energiatehokkuus. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus. Hakupäivä 20.12.2018.

LIITTEET

Liite 1 Tilojen lämmitysenergian tarve

Liite 2 Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

Liite 3 Lämpökuormat

Liite 4 Pohjakuvat

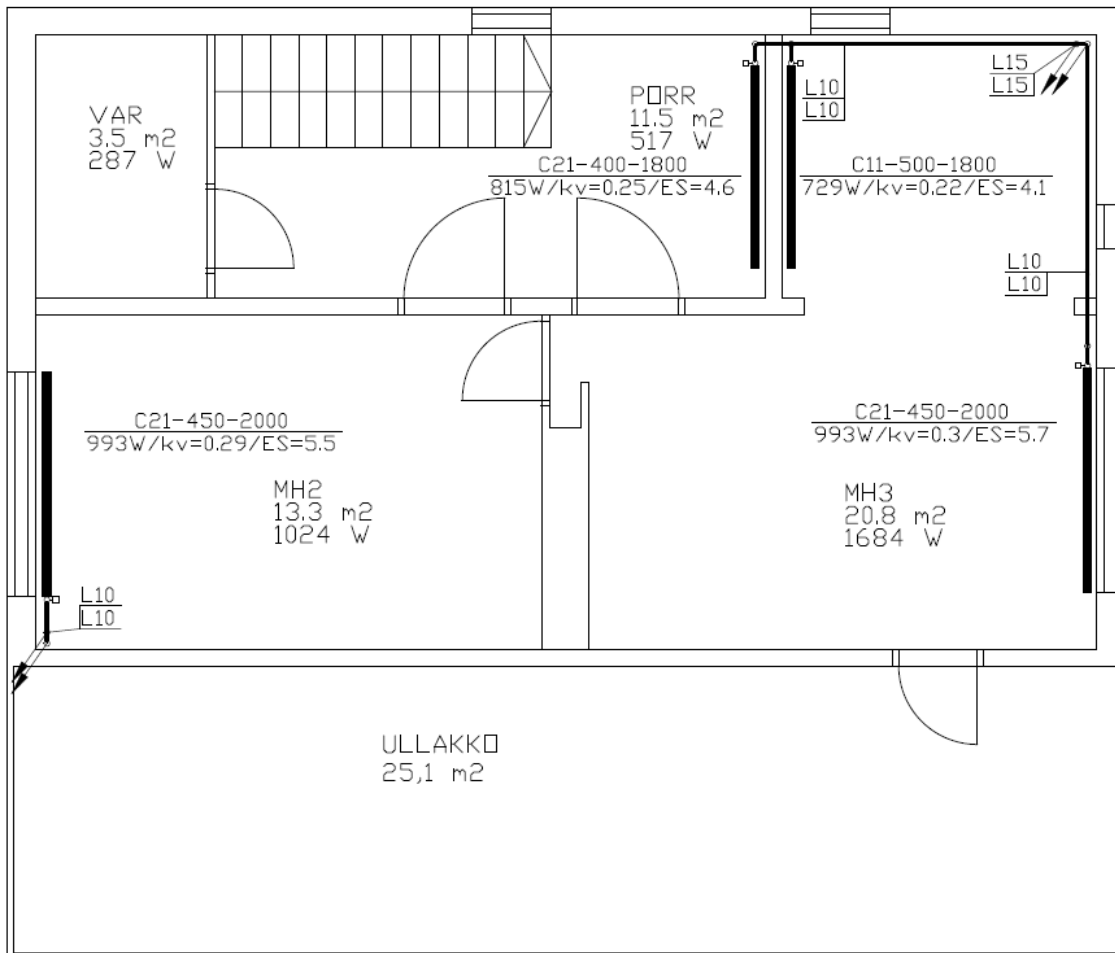
Liite 5 Lämpöhäviöraportti ja patterivalinnat

Liite 6 Paisuntasäiliön mitoitus ja varoventtiilin avautumispaine

Tilojen lämmitysenergian tarve			
Δt	8760	h/vuosi	
T_s	21	°C	
T_u , vuosi	3,43	°C	
ΔT_{maa} , vuosi	5	°C	
T_{maa} , vuosi	8,43	°C	
Anetto (lämmitetty nettoala)	165,7	m ²	
Ahum2 (huoneala)	219,4	m ²	
V (tilavuus)	458,7	m ³	
Rakenteet	Pinta-ala (m²)	U-arvo (W/m²K)	Q_{rakosa} (kWh/a)
US1 (sahanpuru seinä)	118,5	0,52	9484
US2 (betoniperustus)	31,8	0,52	590
US3 (betoni, lisäeristys)	29,6	0,25	815
Yläpohja (ulkoilmaa vasten)	79,1	0,35	4261
AP1 (Maavarainen lämmin)	38,9	0,25	1071
AP2 (Maavarainen kylmä)	40,2	0,36	516
Ikkuna1 (lämmin)	17,9	1,4	3857
Ikkuna2 (puolilämmin)	0,90	1,8	129
Ovi1 (lämmin)	6,8	1,4	1465
Ovi2 (puolilämmin)	1,6	1,8	229
Q_{rakosa} = $\sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000$			22416 kWh/a
Kylmäsilat	Pituus (m)	Lisäkonduktanssi (W/mK)	Q_{kylmäsilat} kWh/a
Ikkuna- ja oviliitos	83,90	0,04	517
US1 ja YP liitos (puu/puu)	29,81	0,05	229
US1 ja VP liitos (puu/puu)	69,64	0,05	536
US3 ja AP1 (betoni/betoni)	23,45	0,24	620
US, nurkka ulospäin (puu/puu)	19,90	0,04	123
US, nurkka ulospäin (bet./bet.)	7,20	0,06	48
Q_{kylmäsilat} = $\sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000$			2072 kWh/a
Vuotoilma + Korvausilma			
n, ilmanvaihtuvuus		0,2	1/h
Lämmitetty tilavuus		324,30	m ³
q_v, ulkoilmavirta		0,0180	[m³/s]
ρ_i , ilman tiheys		1,2	kg/m ³
C_{pi} , ilman ominaislämpökapasiteetti		1000	J/kgK
Q_{ulkoilma} = $q_v * \rho_i * C_{pi} * (T_s - T_u) \Delta t / 1000$			3327,60 kWh/a
Q_{joht} = $Q_{us} + Q_{yp} + Q_{ap} + Q_{ikk} + Q_{ovi} + Q_{kylmäsilat}$			24488 kWh/a
Q_{tila} = $Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma} + Q_{iv,korvausilma}$			27815,57 kWh/a
Q_{lämmitys, tilat, netto} = $Q_{tila} - Q_{lämpökuorma}$			
Q _{tila} , tilojen lämmitysenergian tarve		27815,57	kWh/a
Q _{lämpökuorma} , hyödynnettävät lämpökuormat		5724,86	kWh/a
Q_{lämmitys, tilat, netto}, tilojen lämmitysenergian nettotarve		22090,70	kWh/a

Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve		
$V_{lkv} = n V_{lkv, omin, henk} \Delta t / 1000$		
n, henkilömäärä	2	hlö
$V_{lkv, omin, henk}$ kulutus henk. kohti vrk.	60	(dm ³ /hlö) / vrk
Δt , ajanjakson pituus	365	vrk
V_{lkv} , lämpimän käyttöveden kulutus	43,8	m³
$Q_{lkv, netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600$		
ρ_v , veden tiheys	1000	kg/m ³
c_{pv} , veden ominaislämpökapasiteetti	4,2	kJ/kgK
V_{lkv} , lämpimän käyttöveden omin. kulutus	43,8	m ³ /a
T_{lkv} , lämpimän käyttöveden lämpötila	58	°C
T_{kv} , kylmän käyttöveden lämpötila	10	°C
kerroin, jolla suoritetaan muunnos kWh	3600	s/h
$Q_{lkv, netto}$	2452,8	kWh/a
$\eta_{lkv, siirto}$, lämpimän käyttöveden siirron vuosihyötysuhde	0,89	-
$Q_{lämmitys, lkv}$	2755,96	kWh/a

Lämpökuormat ihmisistä		
$\Delta t_{\text{oleskelu}} = \sum t_d t_v \Delta t$		
td, vuorokautinen käyttöaikasuhte arkena	0,667	16h/24h
tv, viikottainen käyttöaikasuhte, arki	0,714	5vrk/7vrk
td, vuorokautinen käyttöaikasuhte viikonloppuna	1	24h/24h
tv, viikottainen käyttöaikasuhte, vklp	0,286	2vrk/7vrk
Δt , laskentajakson pituus	8760	h
$\Delta t_{\text{oleskelu}}$, oleskeluaika	6674,29	h/a
$Q_{\text{henk}} = k n \phi_{\text{henk}} \Delta t_{\text{oleskelu}} / 1000$		
k, rakennuksen käytön aikainen käyttöaste	1,00	-
n, henkilöiden lukumäärä	2,00	-
ϕ_{henk} , yhden henkilön luovuttama kuivalämpöteho	85,00	
$\Delta t_{\text{oleskelu}}$, oleskeluaika	6674,29	h/a
Q_{henk}, henkilöiden luovuttama lämpöenergia	1134,63	kWh/a
Kuluttajalaitteiden sähkönkulutus		
Wkuluttajalaitteet		
Laiteryhmä	Pientalon kulutus	Yksikkö
Liesi	520	kWh/kpl
Mikroaaltouuni	55	kWh/kpl
Kahvinkeitin	70	kWh/kpl
Astianpesukone	250	kWh/kpl
Jääkaappi-pakastin	740	kWh/kpl
Pyykinpesukone	240	kWh/kpl
Kuivausrumpu	300	kWh/kpl
TV	200	kWh/kpl
PC	80	kWh/kpl
Huoneistos sauna	8	kWh/lämmitys
sauna lämmitetään n. 2 kertaa viikossa	832	kWh/a
Wkuluttajalaitteet, kuluttajalaitteiden säh. ene. kulutus	3287	kWh/a
Valaistuksen sähkönkulutus		
$W_{\text{valaistus}} = \sum f P_{\text{valaistus}} A_{\text{huone}} \Delta t / 1000$		
f, valaistuksen ohjaustavasta riippuva kerroin	0,9	huonekohtainen kytkin
$P_{\text{valaistus}}$	0,012	kWh/m ²
A_{huone} , huoneala	219,4	m ²
Δt , pientalo	550	tuntia vuodessa
W_{valaistus}, valaistuksen säh. ene. kulutus	1303,24	kWh/a
Q_{säh}, valaistuksen ja kuluttajalaitteiden lämpökuorma	4590,24	kWh/a
Q_{lämpökuorma} = Q_{henk} + Q_{säh} + Q_{aur} + Q_{lqv,kierto} + Q_{lqv,varastointi}	5724,86	kWh/a



KUVA 12 2. kerros

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI JA PATTERNIVALINNA

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI				Teho			Painovoimainen ilmanvaihto				Kylmäsiilat		Tilakohtainen lämpöhäviö		Patterivalinnat				
Nro	Huone	m ²	m ³	W/m ²	W/m ³	W	1/h	dm ² /s, m ²	dm ³ /s	W	W	W	W/m ²	W	W	Patteri	Teho/Patteri	Teho yht	% läm. Tarp.
2. Kerros	MH3	20,7	43,6	69,9	33,2	1446	0,2	0,117	2,422	154	83,6	81,3	1684	1684	1684	C21-450-2000 + C11-500-1800	993+729	1722	102,28
	MH2	13,3	30	65,0	28,8	864	0,2	0,125	1,667	106	53,7	77,0	1024	1024	1024	C21-450-2000	993	993	97,00
	PORR	11,5	19,8	34,9	20,3	401	0,2	0,096	1,100	70	46,5	45,0	517	804	804	C21-400-1800	815	815	101,35
	VAR	3,5	6,1	71,7	41,1	251	0,2	0,097	0,339	22	14,1	81,9	287			Lisätty PORR			
	ULLAKKO	25,1	43,2	0,0	0,0	0	0	0,000	0,000	0	0,0	0,0	0			Lämmittämätön			
1. Kerros	ET	11,4	28,5	57,9	23,2	660	0,2	0,139	1,583	101	46,1	70,8	807	841	841	VR21-1800-600	882	882	104,84
	MH1	16	40	52,7	21,1	843	0,2	0,139	2,222	141	64,6	65,6	1049	1049	1049	2x C11-400-1800	532	1064	101,44
	WC	2,3	5,8	6,1	2,4	14	0,2	0,140	0,322	20	0,0	15,0	34			Lisätty ET			
	K+ OH	41,8	104,6	56,7	22,6	2369	0,2	0,139	5,811	370	168,9	69,6	2907	2907	2907	3x C21-450-2000	993	2979	102,46
	ULKO-ET	10	22,5	0,0	0,0	0	0	0,000	0,000	0	0,0	0,0	0			Lämmittämätön			
Kellari	PU	13,4	24,1	29,6	16,5	397	0,2	0,100	1,339	85	54,1	40,0	536	684	684	C22-600-900	706	706	103,18
	KHH	5	9	19,2	10,7	96	0,2	0,100	0,500	32	20,2	29,6	148			Lisätty PU			
	PH	3,5	6,3	33,7	18,7	118	0,2	0,100	0,350	22	14,1	44,1	154	261	261	H10-600-900	271	271	
	S	3,6	6,5	19,2	10,6	69	0,2	0,100	0,361	23	14,5	29,6	106			Lisätty PH			
	LH	2,6	4,6	0,0	0,0	0	0	0,000	0,000	0	0,0	0,0	0			Lämmittämätön			
	KK	35,7	64,1	0,0	0,0	0	0	0,000	0,000	0	0,0	0,0	0			Lämmittämätön			
Lämmitetty ala		165,7	324,3			7528				1146	580		9254	9254	9254			9432	101,92
Huoneala		219,4	458,7																

KUVA 13 Mitoituksessa käytetty lämpöhäviöraportti

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI				Teho			Painovoimainen ilmanvaihto				Kylmäsiilat	Tilakohtainen lämpöhäviö	
Nro	Huone	m ²	m ³	W/m ²	W/m ³	W	1/h	dm ³ /s, m2	dm ³ /s	W	W	W/m2	W
2. Kerros	MH3	20,7	43,6	69,9	33,2	1446	0,736	0,430	8,911	567	83,6	101	2096
	MH2	13,3	30	65,0	28,8	864	0,736	0,461	6,131	390	53,7	98	1308
	PORR	11,5	19,8	34,9	20,3	401	0,736	0,352	4,047	257	46,5	61	705
	VAR	3,5	6,1	71,7	41,1	251	0,736	0,356	1,247	79	14,1	98	344
	ULLAKKO	25,1	43,2	0,0	0,0	0	0,000	0,000	0,0	0	0,0	0	0
1. Kerros	ET	11,4	28,5	57,9	23,2	660	0,736	0,511	5,825	370	46,1	94	1077
	MH1	16	40	52,7	21,1	843	0,736	0,511	8,175	520	64,6	89	1428
	WC	2,3	5,8	6,1	2,4	14	0,736	0,515	1,185	75	0,0	39	89
	K+ OH	41,8	104,6	56,7	22,6	2369	0,736	0,511	21,378	1360	168,9	93	3898
	ULKO-ET	10	22,5	0,0	0,0	0	0,000	0,000	0,0	0	0,0	0	0
Kellari	PU	13,4	24,1	29,6	16,5	397	0,736	0,368	4,926	313	54,1	57	764
	KHH	5	9	19,2	10,7	96	0,736	0,368	1,839	117	20,2	47	233
	PH	3,5	6,3	33,7	18,7	118	0,736	0,368	1,288	82	14,1	61	214
	S	3,6	6,5	19,2	10,6	69	0,736	0,369	1,328	84	14,5	47	168
	LJH	2,6	4,6	0,0	0,0	0	0,000	0,000	0,000	0	0,0	0	0
	KK	35,7	64,1	0,0	0,0	0	0,000	0,000	0,000	0	0,0	0	0
Lämmitetty ala		165,7	324,3			7528	0,736	0,400		4215	580	56	12324
Huoneala		219,4	458,7										

KUVA 14 Lämpöhäviöt, kun painovoimainen ilmanvaihto on mitoitettuna 0,4 l/s, m2

H_{verkosto}	5,5 m	V_{verkosto}	112,2 l	$\Delta V = V * L\%$ $P_{EP} = H_V + 2 m_{VP}$ $P_{AP} = P_{EP} + 0,3 \text{ bar}$ $P_{YP} = P_{VV} - 0,3 \text{ bar}$ $P_{EP} = \text{kaasun esipaine}$ $P_{AP} = \text{verkoston täyttöpaine, kun liuos on kylmää (verkoston minimipaine)}$ $P_{YP} = \text{verkoston normaali maksimipaine, kun liuos on kuumaa}$ $P_{VV} = \text{varoventtiilin avautumispaine}$
H_{varmuus}	2 m	ΔV	2,805 l	
$\Delta V\%$	2,5 %	P_{EP}	0,75 bar YP	
P_{VV}	2,5 bar	P_{AP}	1,05 bar YP	
ΔP_{AP}	0,3 bar	P_{YP}	2,2 bar YP	
ΔP_{YP}	0,3 bar	P_{EP}	1,75 bar ABS	
$\Delta P_{\text{alarajahälyt}}$	0,1 bar	P_{AP}	2,05 bar ABS	
$\Delta P_{\text{ylärajahälyt}}$	0,1 bar	P_{YP}	3,2 bar ABS	
$P_{\text{alarajahälytys}} = P_{EP} + 0,1 \text{ bar}$		$P_{\text{alarajahälytys}}$	0,85 bar YP	
$P_{\text{ylärajahälytys}} = P_{VV} - 0,1 \text{ bar}$		$P_{\text{ylärajahälytys}}$	2,4 bar YP	
		V_N	9 l	$V_N = \frac{P_{YP} * P_{AP}}{P_{EP} * (P_{YP} - P_{AP})} * \Delta V$ <p>Huom. paineet ovat absoluuttisia paineita.</p>
Hyötysuhteen pitää olla alle puoli		η	0,4531	
$\Delta V_T = \frac{V_N * (P_{AP} - P_{EP})}{P_{AP}}$		ΔV_T	1,3 l	
		Patterilämmitys Reflex N12 VV Oras DN15/2,5bar		
Kalvon kestävyuden kannalta kalvopaisuntasäiliön hyötysuhde ei saa olla suurempi kuin 0,4...0,6 säiliön rakenteesta ja koosta riippuen (7). Hyötysuhde saadaan, kun verrataan paisuntatilavuuden ja täyttötalavuuden summaa säiliön nimellistilavuuteen.				
$\eta = \frac{\Delta V_T + \Delta V}{V_N} = \frac{P_{AP} - P_{EP}}{P_{AP}} + \frac{P_{EP} * (P_{YP} - P_{AP})}{P_{YP} * P_{AP}} < 0,4 \dots \dots 0,6$				