



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Eemil Tamminen

Kauko- ja maalämpöjärjestelmien vertailu uudisasuinkerrostalossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

20.4.2020

Tekijä Otsikko	Eemil Tamminen Kauko- ja maalämpöjärjestelmien vertailu uudisasuinkerrostalossa
Sivumäärä Aika	107 sivua + 14 liitettä 20.4.2020
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Jukka Yrjölä LVI-suunnittelupäällikkö Ismo Metsälä
<p>Opinnäytetyön aiheena oli lämmitysjärjestelmien vertailu uudisasuinkerrostalossa. Työn tavoitteena oli tutkia uuden asuinkerrostalon kaukolämmitystä sekä täys- ja osateholle mitoitettuja maalämpöjärjestelmiä ja niiden kannattavuutta elinkaarikustannusvertailuilla Suomen neljälle eri säävyöhykkeellä. Maalämpöä tarkasteltiin lattia- (+35/+30 °C) ja patterilämmityksen (+45/+30 °C) lämmönjakotavoilla, joissa molemmissa huomioitiin käyttöveden esilämmitys.</p> <p>Teoriaosuudessa perehdyttiin rakennusten energiatehokkuuteen, lämmitystehon tarpeeseen sekä kauko- ja maalämpöjärjestelmiin. Niillä on keskeinen asema sekä kestävässä kehityksessä että ilmastonmuutoksen torjunnassa.</p> <p>Tutkimusosuudessa kaukolämpöjärjestelmän lämpimän käyttöveden tehon tarve selvitettiin vesikalusteiden normivirtaamien mukaan lasketun mitoitusvirtaaman perusteella ja maalämpöjärjestelmään tämä teho puolestaan selvitettiin lämpimän käyttöveden vuorokaudessa edellyttämän nettoenergian perusteella. Ilmanvaihdon tehon tarvetta selvitettyä käytettiin IV-laitetoimittajan ilmoittamia tehoarvoja. Rakennuksen huonetilakohtaiset lämpöhäviöt ja LVI-järjestelmien vuotuinen energian tarve laskettiin alan laskentaohjelmistojen avulla. Saatujen tulosten perusteella mitoitettiin eri lämmitysjärjestelmät. Näille laadittiin investointi- ja käyttökustannuslaskelmat.</p> <p>Tämän ohella tutkimusosuudessa laskettiin kauko- ja maalämmön elinkaarikustannukset Suomen neljällä säävyöhykkeellä 25 ja 50 vuoden laskentajaksoilla. Tätä varten laadittiin laskentataulukko, jossa huomioitiin investointi- ja energiakustannusten lisäksi huolto- ja uusimiskustannukset, reaalikorko sekä arvioitu sähkön ja lämmön reaalin hinnannousu. Lämmitysjärjestelmien kokonaiskustannusten nykyarvo vaihteli 50 vuoden tarkastelujakson aikana 1 177 000–1 583 000 €. Havaittiin, että maalämpöjärjestelmän kannattavuus verrattuna kaukolämpöön paranee siirryttäessä etelästä kohti pohjoisempia ilmastovyöhykkeitä, lämmönjakotavan ollessa lattialämmitys patterilämmityksen sijaan tai mitoituksen ollessa täystehomitoitus osatehomitoituksen sijasta. Maalämpöjärjestelmien elinkaarikustannukset alittavat kaukolämmön elinkaarikustannukset näistä tekijöistä riippuen 13–19 vuoden kohdalla.</p>	
Avainsanat	asuinkerrostalo, elinkaarikustannus, kaukolämpö, lämmitysjärjestelmien vertailu, maalämpö

Author Title	Eemil Tamminen Comparing District and Geothermal Heating Systems in New Apartment Buildings
Number of Pages Date	107 pages + 14 appendices 20 April 2020
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer Ismo Metsälä, Planning Manager
<p>The aim of the thesis was to compare the heating systems available for new apartment buildings. The final year project was done by comparing the life-cycle cost-effectiveness of new-built apartment buildings heated with district heating and with either full and partial power geothermal systems in four weather zones in Finland.</p> <p>The thesis studied the energy efficiency of buildings, the need for heating power, and district and geothermal systems. Based on the findings, different heating systems were dimensioned for an apartment building. The investment and operating costs, as well as life cycle costs were calculated for the alternatives for the four weather zones for both 25 and 50 year periods.</p> <p>The total costs of the heating systems varied from 1,177,000 to 1,583,000 € over a 50-year period. It was established that the profitability of a geothermal system compared to district heating improved when moving from the south to the northern climate zones when floor heating instead of radiator heating was used for heat distribution, or when full power instead of partial power was dimensioned. The life-cycle costs of geothermal systems with these conditions were below those of the life-cycle costs of district heating at a point between 13 to 19.</p>	
Keywords	apartment building, life cycle cost, district heating, heating systems comparison, geothermal

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

Symbolit

1	Johdanto	1
2	Rakennusten energiatehokkuus ja lainsäädäntö	4
2.1	Direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta (EPBD)	5
2.2	Direktiivi uusiutuvan energian käytöstä (RES / REDII)	6
2.3	Direktiivi energiatehokkuudesta (EED)	6
2.4	Rakennusten energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit	7
3	Rakennuksen LVI-järjestelmien lämmitystehontarve ja vuotuinen energian tarve	8
3.1	Huonetilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve	11
3.1.1	Rakennusvaipan johtumislämpöhäviö	12
3.1.2	Vuotoilman lämpenemisen tehontarve	15
3.1.3	Huonetilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen tehon tarve	16
3.1.4	Huonetilassa tapahtuvan korvausilman lämpenemisen tehon tarve	17
3.2	Lämpimän käyttöveden lämmitysteho ja lämmitysenergian nettotarve	17
3.2.1	Lämpimän käyttöveden lämmitysteho	17
3.2.2	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve	19
3.3	Ilmanvaihdon lämmitystehon tarve	21
3.4	Rakennuksen LVI-järjestelmien vuotuinen energiatarve	24
4	Kaukolämpö	25
4.1	Kaukolämpö rakennusten lämmityksessä	25
4.2	Kaukolämpölaitteet	29
4.2.1	Kaukolämmön mittauskeskus	30
4.2.2	Kaukolämmön lämmönjakokeskus	31
4.3	Kaukolämmön investointi- ja käyttökustannukset	33
4.4	Kaukolämpölaitteiden käyttöikä ja huolto	35
4.5	Kaukolämmön ekologisuus	36
5	Lämpöpumput	38

5.1	Toimintaperiaate ja fysikaaliset perusteet	39
5.1.1	Kylmätekkinen kierto-prosessi	39
5.1.2	Log p, h -tilapiirros	41
5.2	Maalämpöjärjestelmä	42
5.2.1	Maalämmön siirto-putkisto ja keruujärjestelmät	42
5.2.2	Lämmönkeruuneste	51
5.2.3	Maalämpöpumppu	51
5.2.4	Varaajat	57
5.2.5	Maalämpöjärjestelmän tekninen tila	59
5.3	Maalämmön investointi- ja käyttökustannukset	60
5.4	Maalämpölaitteiden käyttöikä ja huolto	60
5.5	Lainsäädäntö	61
5.6	Muut lämpöpumpputyypit	62
5.6.1	Ilmalämpöpumppu (ILP)	62
5.6.2	Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP)	63
5.6.3	Poistoilmalämpöpumppu (PILP)	63
5.7	Lämpöpumppujen lämpökertoimet	63
6	Elinkaarikustannuslaskenta	64
6.1	Inflaatio, hyperinflaatio ja deflaatio	65
6.1.1	Inflaatio	65
6.1.2	Hyperinflaatio	66
6.1.3	Deflaatio	67
6.2	Nimelliskorko	67
6.3	Reaalikorko	67
6.4	Takaisinmaksuaika	68
6.5	Nykyarvomenetelmä	68
7	Tutkimuskohde	69
7.1	Tehon tarpeen määrittäminen	70
7.1.1	Lämmitys	70
7.1.2	Lämmin käyttövesi	71
7.1.3	Ilmanvaihto	74
7.2	Yhteenveto tehon tarpeista	76
7.3	Vuotuisen energiatarpeen määrittäminen	76
8	Tutkimuskohteen kannattavuuslaskelmat	79

8.1	Kaukolämpöjärjestelmä	80
8.1.1	Mitoitus	80
8.1.2	Investointikustannukset	80
8.1.3	Käyttö- ja huoltokustannukset	82
8.2	Maalämpöjärjestelmä	83
8.2.1	Mitoitus	83
8.2.2	Investointikustannukset	89
8.2.3	Käyttö- ja huoltokustannukset	90
8.3	Lähtökohdat tarkastelulle	93
8.4	Elinkaarikustannuslaskelmat eri säävyöhykkeillä	94
8.5	Nykyarvot eri säävyöhykkeillä	96
8.6	Päätelmät kannattavuuslaskelmista	98
9	Pohdinta	99
10	Yhteenveto	100
	Lähteet	102

Liitteet

Liite 1. Veden ja kuivan ilman ominaisuuksia

Liite 2. Jakojohtojen mitoitusvirtaama asuin-, toimisto-, koulu- tms. rakennuksissa

Liite 3. Maalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia

Liite 4. Kohteen asuinhuoneiden lukumäärä eri kerroksissa

Liite 5. Kohteen vesikalusteet eri kerroksissa

Liite 6. Kohteen lämpötehon tarve huonetilaan (asunto 1, makuuhuone 1)

Liite 7. Kohteen ilmapirrret sekä lämpöhäviöt eri säävyöhykkeillä

Liite 8. Kohteen IV-koneen (TK01) jälkilämmityspatterin tehon laskeminen

Liite 9. Kohteen LVI-järjestelmien vuotuiset energiatarpeet eri säävyöhykkeillä

Liite 10. Gebwell Gemini lämpöpumpun tekniset tiedot

Liite 11. Kohteen investointikustannukset maalämpöjärjestelmälle

Liite 12. Kohteen kaukolämmön periaatekaavio

Liite 13. Kohteen maalämmön ja lattialämmityksen periaatekaavio

Liite 14. Kohteen maalämmön ja patterilämmityksen periaatekaavio

Lyhenteet ja käsitteet

CH ₄	Metaani. Yksinkertaisin hiilivety ja alkaani. Metaani on hiilidioksidin ohella yksi merkittävimmistä kasvihuonekaasuista. Metaanin osuus kaikista kasvihuonekaasujen yhdistetyistä lämmitysvaikutuksista on noin 20 %.
CO ₂	Hiilidioksidi. Fossiilisten polttoaineiden palaessa vapautuu hiilidioksidia (CO ₂), joka puolestaan toimii kasvihuonekaasuna ja on keskeisimpiä syitä ilmaston muutokseen.
COP	Coefficient Of Performance. Lämpökerroin kertoo, kuinka tehokkaasti sähköenergiaa saadaan muutettua lämpöenergiaksi. Ilmalämpöpumppujen laitevalmistajat ilmoittavat COP-arvon yleensä +7 °C lämpötilassa, mikä on korkein standardissa SFS-EN 14511 määritetty COP-testausarvo.
D3	Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Vuonna 2017 Ympäristöministeriön asetus (1010/2017) korvasi tämän määräyksen ja ohjeen.
D5	Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystarpeen laskenta, Ohjeet 2012, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Ympäristöministeriön 1.1.2018 voimaan tullut ohje on korvannut tämän ohjeen.
EED	Energy Efficiency Directive. Energiatehokkuusdirektiivi.
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi.
Fossiilinen polttoaine	Eloperäisestä materiaalista pitkän ajan kuluessa kovassa paineessa syntynyt ja muuntunut polttoaine, joka on varastoitunut maaperään.

Höyrystin	Lämmönsiirrin, jossa kylmäaine kiehuu (höyrysty). Kiehuminen saadaan aikaiseksi ennen lämmönsiirrintä olevan painaventtiin välityksellä, jolla kylmäaineen paine saadaan laskettua ja samalla aineen lämpötila laskee.
IVLP	Ilma-vesilämpöpumppu.
Kaukolämpö	Kaukolämmön tuotantolaitoksessa lämmennyt vesi pumpataan kaukolämpöverkostoa pitkin asiakkaan luokse, josta jäähtynyt vesi palautuu uudelleen tuotantolaitokseen lämmitettäväksi.
Lauhdutin	Lämmönsiirrin, johon johdetaan kaasuntunut kylmäaine. Laite luovuttaa höyrytimessä sidotun höyrytimislämmön lauhduttimen toisiopiirissä kiertävään aineeseen, yleensä veteen, jolla lämmitetään rakennuksen LVI-järjestelmät. Lauhduttimessa kylmäaine nesteytyy (lauhtuu).
Lämmöntalteenotto	Laitteisto, jonka avulla saadaan siirrettyä poistoilmasta lämpöä tuloilmaan taikka lämmitysjärjestelmään ja näin ollen alennettua rakennuksen lämmitysenergian kulutusta.
Lämmönsiirrin	Laitteen avulla siirretään lämpöä eri nesteiden tai paineistettujen järjestelmien välillä.
Lämpökaivo	Maahan tuleva porakaivo, josta pumpataan kallioperään varastoitunutta aurinkolämpöä lämpöpumpun liuospiirin välityksellä. Kesäaikana kaivo soveltuu rakennuksen jäähdytykseen.
Maalämpö	Auringosta peräisin oleva maahan tai veteen sitoutunut lämpöenergia siirretään lämpöpumpun kompressorin välityksellä matalammasta korkeammaksi. Kompressoriin tarvitaan ulkopuolista energiaa, yleensä sähköenergiaa.

LCC	Life Cycle Cost. Elinkaarikustannus.
MLP	Maalämpöpumppu.
PILP	Poistoilmalämpöpumppu.
REDII	Renewable Energy Directive II. Uusiutuvan energian direktiivi.
RES	Renewable Energy Sources Directive. Uusiutuvan energian käytön edistämisdirektiivi.
SCOP	Seasonal Coefficient Of Performance. Lämmityskauden lämpökerroin. Ottaa huomioon vain rakennuksen lämmityksen (lämpimän veden energiantarve laskettava erikseen).
SPF	Seasonal Performance Factor. Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin. Laskelmassa huomioidaan lämmityksen lisäksi lämpimän käyttöveden lämmitys.
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin ($W/(K\text{m}^2)$). Kuvaa, kuinka paljon tehoa tarvitaan pinta-alaa kohti, jotta saavutettaisiin yhden K-asteen lämpötilaero eristerakenteen yli.

Symbolit

A_i	Rakennusosan i pinta-ala (m^2).
c_{pi}	Ilman ominaislämpökapasiteetti ($J/(kgK)$).
c_{pv}	Veden ominaislämpökapasiteetti ($kJ/(kgK)$).
l_k	Viivamaisen kylmäsillan pituus (m).
n_{50}	Vuotoilmaluku (1/h).
$\eta_{p, mit}$	Lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitustilanteessa (-).
$\eta_{t, mit}$	Lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde mitoitustilanteessa (-).
$n_{vuotoiv}$	Vuotoilmakerroin (1/h).
ρ_i	Ilman tiheys (kg/m^3).
ρ_v	Veden tiheys ($(kg/dm^3) / (kg/m^3)$).
$Q_{v, korvausilma}$	Korvausilmavirta (m^3/s).
$Q_{v, lkv, kierto}$	Kiertovesijohdon virtaama (dm^3/s).
$Q_{v, poisto}$	Poistoilmavirta (m^3/s).
$Q_{v, tulo}$	Tuloilmavirta (m^3/s).
$Q_{v, vuotoilma}$	Vuotoilmavirta (m^3/s).
$Q_{lkv, netto}$	lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve (kWh).
$Q_{lkv, varastointi}$	Varaajan lämpöhäviö (kWh/a).
R	Tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan (-).
T_{et}	Kaukolämpöveden tulolämpötila ($^{\circ}C$).
T_{ep}	Kaukolämpöveden paluulämpötila ($^{\circ}C$).
$T_{jäte}$	Jäteilman lämpötila ($^{\circ}C$).
T_{kv}	Kylmän käyttöveden lämpötila ($^{\circ}C$).
T_{lkv}	Lämpimän käyttöveden lämpötila ($^{\circ}C$).
$T_{lkv, kierto, paluu}$	Lämpimän käyttöveden kiertopiirin paluueden lämpötila ($^{\circ}C$).
$T_{lto, mit}$	Tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen ($^{\circ}C$).
T_s	Sisälämpötila ($^{\circ}C$).
T_{sp}	Sisäänpuhalluslämpötila ($^{\circ}C$).
$T_{u, mit}$	Mitoittava ulkoilman lämpötila ($^{\circ}C$).
T_{up}	Ulospuhalluslämpötila ($^{\circ}C$).
U_i	Rakennusosan i lämmönläpäisykerroin ($W/(Km^2)$).
\dot{V}	Käyttöveden mitoitusvirtaama (dm^3/s) / Tehoa vastaava kaukolämpöveden tilavuusvirtaus (dm^3/s).

V	Ilmatilavuus (m^3).
ϕ_{ap}	Johtumislämpöteho alapohjien läpi (W).
ϕ_i	Johtumislämpöteho rakennusosan i läpi (W).
ϕ_{iv}	Ilmanvaihdon lämmityspatterin teho (W).
ϕ_{ik}	Johtumislämpöteho ikkunoiden läpi (W).
ϕ_{iv}	Ilmanvaihdon teho (kW).
ϕ_{joht}	Johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi (W).
$\phi_{korvausilma}$	Teho korvausilman lämmittämiseen tilassa (W).
ϕ_{kv}	Käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve (kW).
$\phi_{kylmäsilta}$	Johtumislämpöteho kylmälämpösiltojen läpi (W).
$\phi_{lkv, kierto}$	Lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöt (kW).
ϕ_{lm}	Lämmitysteho (kW).
ϕ_{lv}	Lämpimän käyttöveden lämmitysteho (kW).
ϕ_{lvk}	Käyttövesipiiriin liitettyjen lämmityslaitteiden teho (kW).
ϕ_{lvh}	Käyttöveden tuntinen lämmitysteho (kW).
ϕ_{muu}	Johtumislämpöteho tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta (W).
ϕ_{ovi}	Johtumislämpöteho ulko-ovien läpi (W).
$\phi_{putkisto}$	Lämminvesi- ja kiertojohtojen lämpöhäviöt (W).
ϕ_T	Kaukolämmön sopimusteho (kW).
ϕ_{tila}	Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve (W).
$\phi_{tuloilma}$	Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve (W).
ϕ_{us}	Johtumislämpöteho ulkoseinien läpi (W).
$\phi_{vuotoilma}$	Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve (W).
ϕ_{yp}	Johtumislämpöteho yläpohjien läpi (W).
Ψ_k	Viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi ($W/(Km)$).

Huom! Lämpötilan muutos celsius-asteina ($^{\circ}C$) on yhtä suuri kuin kelvinasteina ($\Delta t = \Delta T$). Tämän vuoksi laskelmissa voidaan käyttää suoraan lämpötilan yksikkönä Celsius-asteita.

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana on toiminut *Sitowise Oy*, joka on suurin suomalaisomisteinen talo- ja infrarakennusalan asiantuntijayritys. Se työllistää noin 1700 infra- ja talorakentamisen asiantuntijaa tarjoten rakennettuun ympäristöön liittyviä suunnittelu-, asiantuntija- ja digitaalisia palveluja. Projektiosaamisellaan ja laadukkaalla palveluntarjonnallaan *Sitowise Oy* luo ratkaisuja, joilla rakennetaan kestävää tulevaisuutta. [36.]

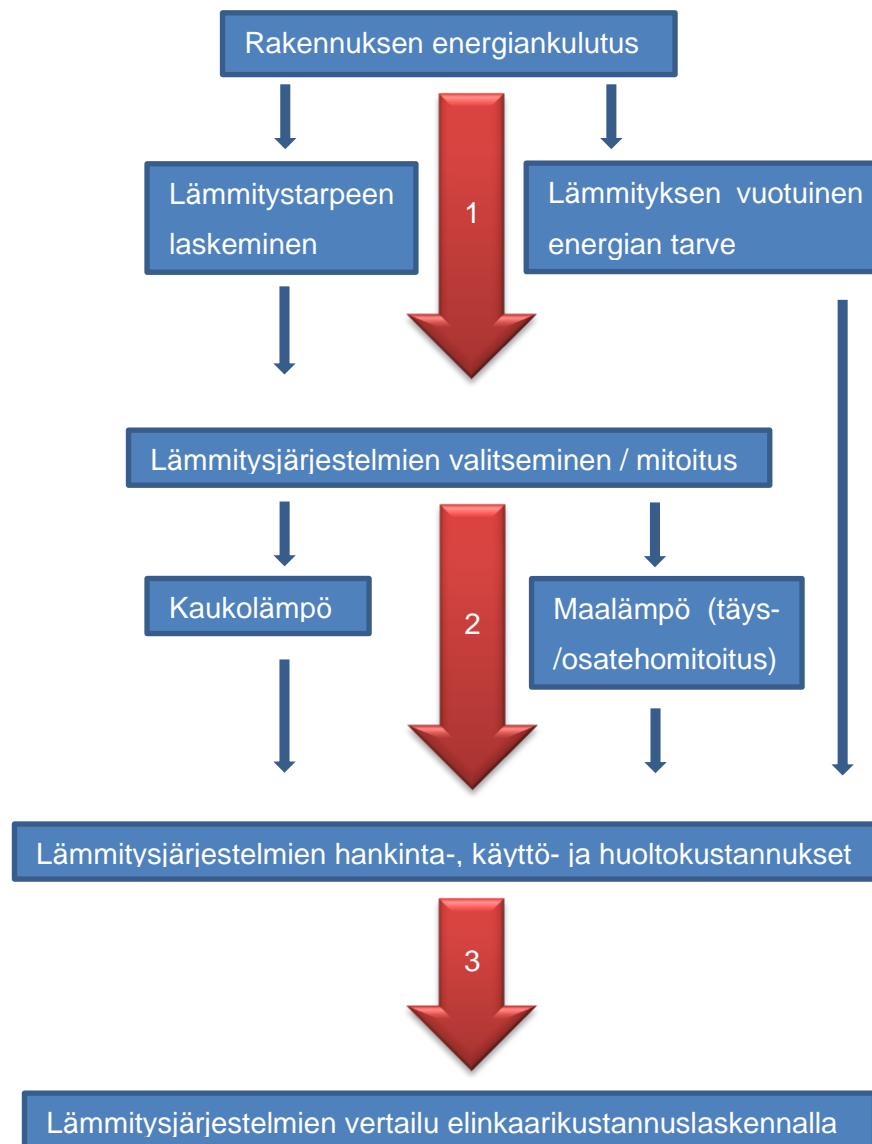
Opinnäytetyön tavoitteena on luoda *Sitowise Oy*:lle kattava ohjeistus uudisasuinkerrostalon maa- ja kaukolämpöjärjestelmien vertailuun sekä antaa lähtökohdat näiden lämmitysjärjestelmien suunnitteluun ja mitoitukseen. Työssä tutkittiin lämmitysjärjestelmien kannattavuutta Suomen neljän eri säävyöhykkeen elinkaarikustannuslaskelmilla, joissa on käytetty 25 ja 50 vuoden tarkastelujaksoja.

Opinnäyteyössä perehdytään niin ikään rakennuksen energiatehokkuuteen ja energian kulutukseen, joilla on keskeinen asema kestävässä kehityksessä ja ilmastonmuutoksen torjunnassa. Lämmitystarpeen laskeminen vaikuttaa merkittävästi lämmitysjärjestelmän valitsemiseen ja mitoitukseen. Väärin tehtynä mitoitus johtaa herkästi lämmitysjärjestelmien yli- tai alimitoituksiin. Ne lisäävät hankinta- ja käyttökustannuksia sekä synnyttävät käytön aikana mahdollisia ongelmia ja reklamaatiotilanteita, mikäli huonetilat eivät esimerkiksi lämpene tarpeeksi.

Tarkasti lasketuilla lämmityksen vuotuisilla energiatarpeilla puolestaan pystytään selvittämään elinkaarikustannukset eri lämmitysjärjestelmille, kun niiden mitoitus on tehty oikeaoppisesti vastaamaan rakennuksen todellista lämmitystehon tarvetta. Laskemia vertaamalla oli mahdollista selvittää käytössä olevien lämmitysjärjestelmien kannattavuutta elinkaarikustannusten perusteella.

Tässä opinnäytetyössä lämmitysjärjestelmien tutkimusprosessi eteni kuvan 1 mukaisesti. Rakennuksen energiakulutuksessa laskettiin eri LVI-järjestelmien (lämmin käyttövesi, ilmanvaihdon lämmitys ja tilalämmitys) tehon tarpeet ja näiden vuotuiset energiatarpeet. Kulutuslaskelmien perusteella on suoritettu lämmitysjärjestelmien valitsemisen/mitoituksen, johon ovat valikoituneet kaukolämpö- ja täys- ja osateholla toimivat

maalämpöjärjestelmät. Tarkoilla laitevalinnoilla ja lämmityksen vuotuisella energiatarpeella näille lämmitysjärjestelmille pystyttiin laskelmaan hankinta-, käyttö- ja huoltokustannukset. Niiden selvittyä on tehty elinkaarikustannuslaskelmat eri lämmitysjärjestelmille ja suoritettu niiden vertailu.



Kuva 1. Opinnäytetyön tutkimusprosessi.

Työn rajaukset

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan ainoastaan uusien asuinkerrostalojen lämmitysjärjestelmien vertailua. Vertailussa päädyttiin kauko- ja maalämpöön, koska ne ovat yleisimmin käytetyt lämmönlähteet uudisasuinkerrostaloissa.

Maalämmön käyttö Suomessa on lisääntynyt energian hinnan nousun seurauksena sekä paineesta siirtyä käyttämään uusiutuvia energialähteitä. Maalämpöön on sitä kannattavampaa investoida mitä suurempi rakennus ja energiankulutus on kyseessä. Energian hinnan noustessa maalämmöstä tulee kannattavampi vaihtoehto myös pienemmissä taloissa. Kuluttajien valintaa ohjannee myös huoli ilmastonmuutoksesta. [1, s. 12.]

Poistoilmalämpöpumpun (PILP) käyttö ei sovellu uudisasuinkerrostaloihin, koska rakennusten ilmanvaihtokone(et) on varustettu tehokkaalla lämmöntalteenottolaitteistolla. Pellettien tai hakkeen poltto puolestaan aiheuttaa alueelle herkästi pienhiukkasia ja öljylämmitys kasvattaa energiatodistuksen E-luvun niin, että se on este rakennusluvan myöntämiselle. Fossiilisten polttoaineiden käyttö on omiaan aiheuttamaan paheksuntaa kuluttajien keskuudessa.

Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP) rajattiin tässä työssä vertailun ulkopuolelle, koska sen ulkoyksikkö aiheuttaa melua kerrostalon lähialueille. Ulkolämpötilan laskiessa alle -15°C :n lämpöpumpun lämpökerroin pienenee niin paljon, ettei ulkoilmasta otetun lämmön käyttö ole enää perusteltua. Näin ollen lämmitysjärjestelmän rinnalle tarvittaisiin jokin toinen lämmitysjärjestelmä, jonka teho riittäisi yksistään kovilla pakkasilla lämmittämään talon. [15, s. 95.]

Opinnäytetyön pitäminen kohtuullisissa mittasuhteissa edellytti, että siinä ei myöskään tutkittu kauko- ja maalämpöjärjestelmien yhteislämmitysjärjestelmää, ns. hybridijärjestelmää eikä lämmitysjärjestelmien vaikutusta energiatodistuksen E-lukuun.

2 Rakennusten energiatehokkuus ja lainsäädäntö

Rakennukset Suomessa käyttävät lähes 40 % kaikesta kulutettavasta energiasta aiheuttaen päästöistä yli 30 %. Liikenteen ja rakennetun ympäristön osuus Suomen energian käytöstä on 60 % ja näistä syntyy päästöjä yli 55 %. Energiankulutuksen ja päästöjen ollessa näin suuria niiden pienentämiseksi kohdistuu suuria paineita ja odotuksia. Eräs kustannustehokkaimmista keinoista ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on parantaa energiatehokkuutta rakennetussa ympäristössä. Niin ikään jo olemassa olevassa rakennuskannassa on suurta potentiaalia energiatehokkuuden parantamiseksi. Kansalliset energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset uudis- ja korjausrakentamiselle asettaa Euroopan unioni ja rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD). Suomessa uudisrakentamiseen liittyviä energiamääräyksiä on kiristetty nopealla aikataululla vuosina 2003, 2008, 2010 ja 2012. [22.] Taulukko 1 havainnollistaa energiamääräysten tiukentumisen vuoden 2003 jälkeen.

Taulukko 1. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet rakennusluvun vireilletulovuonna, W/(Km²) [24, s. 9].

Rakennusosa	Rakennusluvun vireilletulovuosi								
	-1969	1969–	1976–	1978–	1985–	10/2003	2008–	2010–	2012–
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätillainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Puolilämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26	0,26
Maanvarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintätillainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,4	1,4
Ikkuna	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	1,8	1,4	1,4

Uudis- ja korjausrakentamisessa koko rakennukselle on määritetty ensimmäistä kertaa energiatehokkuusvaatimukset vuonna 2012. Tämä on mahdollistanut suunnitteluun lisää vapauksia. Siihen liittyvät ratkaisut on voitu toteuttaa sekä edullisuutta että toimivuutta korostaen. Rakennusosien osalta on säilytetty kuitenkin vuoden 2010 määräykset rakennusosakohtaisista vaatimuksista (U-arvovaatimukset). Rakennuksen kokonaisenergiakulutusta laskettaessa on otettava huomioon voimassa olevat energiamääräykset sekä lämpimän käyttöveden, ilmanvaihdon, lämmityksen, jäähdytyksen, valaistuksen ja eri laitteiden käyttämä energia. [22.]

Ilmastonmuutoksen torjuminen ohjaa nykyään kohti lähes nollaenergiarakentamista (nZEB). Näissä rakennuksissa tuotetaan lähes saman verran energiaa kuin kulutetaan. Lisäksi isompi osa energiasta on uusiutuvaa, kuten maalämpöä tai aurinkoenergiaa. Vuonna 2013 Rakennusteollisuus (RT) on käynnistänyt Ympäristöministeriön ja LVI-talotekniikkateollisuuden kanssa FinZEB-hankeen (Finnish nearly zero energy buildings). Sen tavoitteena on luoda näkemys siitä, mitä Suomessa lähes nollaenergiarakentamisella tarkoitetaan ja minkälaiset kansalliset energiatehokkuusvaatimukset eri rakennustyypeille tulisi asettaa. [22.]

2.1 Direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta (EPBD)

Vuonna 2018 voimaan tulleen rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (EPBD, 2010/31/EU) muutosten lähtökohtana on ollut parantaa rakennusten energiatehokkuutta ilmastonmuutosta hilliten. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi nopeutetaan vanhojen rakennusten kustannustehokkaita peruskorjauksia pyrkien samalla lisäämään älyteknologiaa rakennuksissa. [37.]

Direktiivi on edellyttänyt, että vuoden 2019 alusta lähtien kaikkien uusien julkisten rakennusten tulisi olla lähes nollaenergiarakennuksia. Vuoden 2020 päättyessä tämä vaade laajenee koskemaan myös muita uusia rakennuksia. [12, s. 18–19; 23.]

Lähes nollaenergiarakentamisen määrittäminen on sisällytetty kansallisiin suunnitelmiin siitä, miten niissä tulisi huomioida paikalliset olosuhteet ja normit (ilmasto, rakennusperinne ja käyttäjien toiminta). Suomessa E-luvulla on ilmaistu energiatehokkuuden tasot

(rakennuksen kokonaisenergiankulutus). Lähes nollaenergiarakentamisen kansallisissa määritelmässä nämä energiatehokkuustasot ovat yksi lähtökohta. [23.]

2.2 Direktiivi uusiutuvan energian käytöstä (RES / REDII)

Vuoden 2009 alussa voimaan tulleen uusiutuvan energian käytön direktiivissä (RES) Euroopan unionin jäsenvaltioiden tavoitteena oli nostaa uusien energialähteiden osuus 20 %:iin EU:n loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Direktiivissä asetettiin myös jäsenvaltiokohtaiset tavoitteet. Suomelle tavoitteeksi kirjattiin 38 %, lähtötason ollessa 28,5 %. Vuoteen 2014 mennessä Suomi saavutti tavoitteensa. Vuonna 2017 Suomessa päästiin jo noin 40 %:iin loppukulutuksesta. [67.]

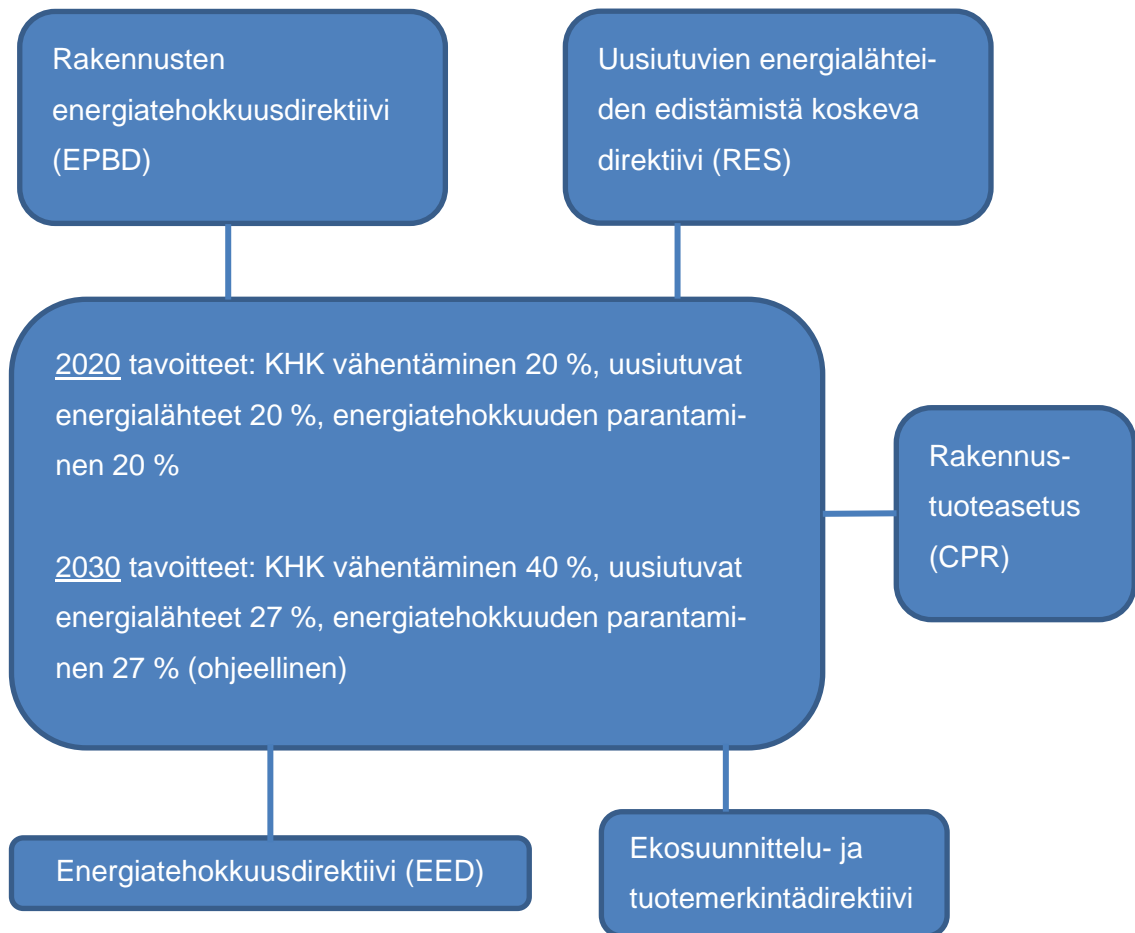
Syksyllä 2016 Euroopan komissio ehdotti uutta uusiutuvan energian direktiiviä (REDII). Sen tarkoituksena oli selventää kasvihuonekaasupäästöjen ohjeistusta, tunnistaa muutokset RES -direktiiviin verrattuna sekä tarkastella mahdollisia laskentaohjeeseen liittyviä epäselvyyksiä. REDII -direktiivi tuli voimaan 24.12.2018. Siinä ei enää aseteta EU:n jäsenvaltioille maakohtaisia tavoitteita vaan heidän tulee yhdessä varmistaa, että vuoteen 2030 mennessä päästään uusiutuvilla energialähteillä yhteisesti 32 % tavoitteeseen. Direktiivi kuitenkin edellyttää jäsenvaltioiden säilyttävän RES-direktiivin vaatimat vuoden 2020 tavoitetasonsa. [67, 68.]

2.3 Direktiivi energiatehokkuudesta (EED)

Energiatehokkuusdirektiivi (EED) edellyttää strategiaa rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta pidemmällä aikavälillä koskien erityisesti rakennusten peruskorjausta. Direktiivi vaikuttaa myös uudisrakentamiseen. E-lukutasojen määrittelyyn vaikuttaa puolestaan kaukolämmön, -jäähdytyksen ja yhteistuotannon edistäminen. [23.]

2.4 Rakennusten energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit

Joukko direktiivejä ja standardeja säätelee rakennuksen energiatehokkuutta. Kuvassa 2 on esitetty rakennuksen energiatehokkuutta ohjaavat EU:n tavoitteet ja säädökset [12, s. 18].



Kuva 2. Energiämääräysten tiukentamisen puitteet EU:ssa [12, s. 18].

3 Rakennuksen LVI-järjestelmien lämmitystehontarve ja vuotuinen energian tarve

Rakennuksen energiakulutus koostuu lämmitys-, jäähdytys- ja sähköenergian kulutuksesta. Lämmitysenergian kulutus muodostuu tilalämmityksestä ($T_s = 21\text{--}24\text{ °C}$), ilmanvaihdon lämmityksestä ($T_{sp} = 16\text{--}18\text{ °C}$) ja käyttöveden lämmityksestä ($T_{LV} = 55\text{ °C}$). [15, s. 45.]

Rakennuksen LVI-järjestelmien energiakulutus on voitu määrittää hanke- ja ehdotussuunnitteluvaiheessa käyttämällä samantyyppisten rakennusten vertailuarvoja ($\text{kWh/m}^3 / \text{kWh/m}^2$) ja mahdollisesti tavoite-energiakulutuksen mukaisia tunnuslukuja. Yleis- ja toteutussuunnitteluvaiheessa on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskemisen mukaisia tai vastaavia menetelmiä (esim. dynaamista energialaskentaohjelmaa). [7.]

Mitoituslämpötilat ovat yleensä lämmityksen ja jäähdytyksen tehontarpeen laskennan lähtökohtana. Talviaikana on totuttu käyttämään yleensä huonelämpötilan mitoitusarvona $+21\text{ °C}$:tta. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017) määrittelee käytettäväksi eri rakennusten käyttötarkoituksiluokille huonelämpötilan lämmitysraajat (taulukko 2). Kesäaikana käytettävästä mitoitusarvosta tulee sopia hankekohtaisesti, käyttämällä apuna esimerkiksi Sisäilmastoluokituksen sisäilma- luokkia S1-S3. [46; 15, s. 50.]

Taulukko 2. Eri käyttötarkoituksiluokkien huonelämpötilan lämmitysrajoja [46, s. 3 & 6].

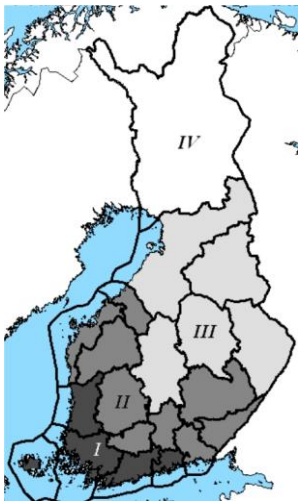
Käyttötarkoitukseluokka	Lämmitysraja
Luokka 1) Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	21,0 °C
Luokka 2) Asuinkerrostalo	21,0 °C
Luokka 3) Toimistorakennus	21,0 °C
Luokka 4) Liikerakennus	18,0 °C
Luokka 5) Majoitusrakennus	21,0 °C
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkot	21,0 °C
Luokka 7) Liikuntahalli	18,0 °C
Luokka 8) Sairaala	22,0 °C

Sisäilmasto jaetaan laatuluokkiin, jotka on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Sisäilman lämpötilan ja laadun suunnittelu- ja tavoitearvoja [47, s. 6].

	SIY2018 S1	SIY2018 S2	YM 1009/17	STM 545/2015
Lämmityksen suunnitteluarvo	21,5 °C	21,5 °C	21 °C	18 °C
Lattian pintalämpötila vähintään	19 °C	19 °C	-	19 °C

Rakennuksen huonetilojen lämmöntehontarpeeseen vaikuttavat pääasiassa rakenteiden johtumislämpöhäviö, ilmavuoto ja ilmanvaihto. Lämmitystehontarpeen laskennassa käytetään paikkakunnan mitoittavaa ulkoilman lämpötilaa. Suomi on jaettu neljään eri säävyöhykkeeseen (kuva 3). [30, s. 64; 25, s. 29.]



Kuva 3. Säävyöhykkeet Suomessa [31, s. 56].

Taulukossa 4 on esitetty Suomen eri säävyöhykkeiden mitoittavat ulkolämpötilat, vuoden keskimääräiset ulkoilman lämpötilat sekä lämmityskauden keskimääräiset ulkoilman lämpötilat [25, s. 29; 31, s. 56].

Taulukko 4. Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä [30, s. 17; 31, s.56].

Säävyöhyke	Mitoittava ulko- lämpötila	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila	Lämmityskauden keskimää- räinen ulkoilman lämpötila
I	-26 °C	+5,3 °C	+1 °C
II	-29 °C	+4,6 °C	0 °C
III	-32 °C	+3,2 °C	-1 °C
IV	-38 °C	-0,4 °C	-5 °C

Yleensä rakennuksen lämmitystehon tarpeen laskenta tehdään tilakohtaisesti, jolloin tilaan lasketaan tarvittava lämmitysteho ja sen mukaan mitoitetaan ja valitaan tilaan tulevat lämmityslaitteet. Tilakohtaisessa lämmitystehon tarpeessa on otettava huomioon ilmanvaihdon lämmitys, mikäli se tuodaan suoraan tai osittain ulkoa tai tuloilman lämpötila on alhaisempi huoneilman lämpötilaan verrattuna. [30, s. 64.]

Ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterin mitoituksessa on otettava huomioon ilmanvaihtokoneessa tapahtuva tuloilman jälkilämmitys. Rakennuksen lämmitystehon tarve saadaan laskettua, kun rakennuksen tilakohtaiset lämmitystehon tarpeet summataan ja tähän lisätään ilmavaihtojärjestelmästä riippuen mahdollinen tuloilman lämmitystehon tarve sekä lämpimän käyttöveden lämmityksen samanaikainen tehon tarve. [30, s. 64.]

Lämmitystehon tarpeen laskeminen edellyttää vähintään seuraavia tietoja: [30, s. 64.]

- rakennusosien pinta-alat ja lämmönläpäisykertoimet
- rakennuksen ilmatilavuus
- ilmanvaihdon ilmavirrat ja lämmöntalteenoton lämpötilasuhteet mitoitustilanteessa
- lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamat
- lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet.

Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) kuvaa rakennuksen eri rakennusosien lämmöneristyskykyä. Lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan lämpöhäviölaskelmissa on käytettävä rakennusosien lämmönläpäisykertoimina taulukon 5 mukaisia arvoja. [12, s.17; 46, s. 11.]

Taulukko 5. Rakennuksen vaipan lämpöhäviöissä käytettäviä lämmönläpäisykertoimia lämpimälle tilalle tai jäähdytettävälle kylmälle tilalle [46, s. 11].

Rakennusosa	U-arvo (W/(Km ²))
Ulkoseinä	0,17
Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm	0,40
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16
Ikkuna, kattoikkuna, kattovalokupu, savunpoisto- ja uloskäyntiluukku	1,0
Ovi	1,0

Siirtokelpoisen rakennuksen sekä puolilämpimän tilan rakennuksen lämpöhäviölaskelmissa on käytettävä rakennusosien lämmönläpäisykertoimia seuraavia arvoja:

Taulukko 6. Siirtokelpoisen rakennuksen sekä puolilämpimän tilan rakennuksen vaipan lämpöhäviöissä käytettäviä lämmönläpäisykertoimia [46, s. 11–12].

Rakennusosa:	U-arvo (W/(Km ²))
Ulkoseinä	0,26
Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm	0,60
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,14
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,26
Maata vasten oleva rakennusosa	0,24
Ikkuna, kattoikkuna, kattovalokupu, savunpoisto- ja uloskäyntiluukku	1,6
Ovi	1,6

Lämmitystehontarpeen laskennassa ei ole huomioitu auringosta tulevaa säteilylämpöä. Sisäisten lämmönlähteiden vaikutusta ei myöskään oteta huomioon tehontarpeessa, mikäli ne ei eivät ole merkittäviä ja jatkuvia. Rakenteiden lämpökapasiteetti on huomioitava epäjatkevassa lämmityksessä mitoituslämmitystehoa laskettaessa. [30, s. 64.]

3.1 Huonetilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve

Kaavalla 1 lasketaan lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve huonetiloissa [30, s. 65].

$$\phi_{tila} = \phi_{joht} + \phi_{vuotoilma} + \phi_{tuloilma} + \phi_{korvausilma} \quad (1)$$

- ϕ_{tila} = tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve (W)
- ϕ_{joht} = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi (W)
- $\phi_{vuotoilma}$ = vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve (W)
- $\phi_{tuloilma}$ = teho tuloilman lämmittämiseen tilassa (W)
- $\phi_{korvausilma}$ = teho korvausilman lämmittämiseen tilassa (W).

3.1.1 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviö

Kaavalla 2 lasketaan johtumislämpöhäviöteho rakennusvaipan läpi 2 [30, s. 65].

$$\phi_{\text{joht}} = \phi_{us} + \phi_{yp} + \phi_{ap} + \phi_{ik} + \phi_{ovi} + \phi_{muu} + \phi_{kylmäsillat} \quad (2)$$

ϕ_{joht}	= johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi (W)
ϕ_{us}	= johtumislämpöteho ulkoseinien läpi (W)
ϕ_{yp}	= johtumislämpöteho yläpohjien läpi (W)
ϕ_{ap}	= johtumislämpöteho alapohjien läpi (W)
ϕ_{ik}	= johtumislämpöteho ikkunoiden läpi (W)
ϕ_{ovi}	= johtumislämpöteho ulko-ovien läpi (W)
ϕ_{muu}	= johtumislämpöteho tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta (W)
$\phi_{kylmäsillat}$	= johtumislämpöteho kylmälämpösilttojen läpi (W).

Kaavan 2 termissä ϕ_{muu} huomioidaan tilakohtaisessa lämmitystehon laskennassa viereiseen tiloihin johtuva lämpöhäviö. Kaavalla 3 puolestaan lasketaan viereisiin tiloihin johtuva lämpöteho käyttämällä laskennassa tilojen välisten rakennusosien lämmönläpäisykertoimia sekä tilojen sisälämpötilojen eroa. [30, s. 66.]

Lämpöhäviötehot lasketetaan rakennusosien läpi jokaiselle rakennusosalle i kaavalla 3 [30, s. 66].

$$\phi_i = \sum U_i A_i (T_s - T_{u,mit}) \quad (3)$$

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

Kun lämmönjohtuminen alapohjasta tapahtuu pääasiassa ulkoilmaan, voidaan johtumistehtö alapohjan läpi laskea kaavan 3 avulla. Mikäli alapohjan alla oleva lämpötila pysyy samana kuin ulkoilman lämpötila, käytetään mitoituksessa ulkoilman lämpötilaa. [30, s. 66.]

Mikäli alapohjan alla on osittain suljettu ryömintätila ja siellä tuuletusaukkoja on enintään 0,8 % alapohjan pinta-alasta, silloin mitoittavan lämpötilana käytetään vuotuisia mitoittavia keskilämpötilan arvoja, joita vähennetään 2 °C:lla. Teho voidaan laskea kaavan 3

avulla. Alapohjan U-arvo lasketaan ilman maan ja ryömintätilan lämmönvastusta. [30, s. 66.]

Maanvaraisessa alapohjassa teho lasketaan niin ikään kaavalla 3. Alapohjan U-arvona käytetään maaperän ja rakenteen yhteenlaskettua lämmönläpäisykerrointa. Mitoittavana ulkolämpötilana käytetään vuotuista mitoittavaa keskilämpötilaa, johon lisätään 2 °C. Pinta-alana käytetään alapohjan pinta-alaa, joka on välittömässä kosketuksessa maan kanssa. [30, s. 66.]

Rakennuksen ulkovaipan lämmöneristyksen heikentyessä paikallisesti syntyy kylmäsilta. Niistä yleisimpiä ovat: runkorakenteet, jotka läpäisevät eristyskerroksen tai ohentavat sitä, parvekkeiden kannatusdetaljit, leukapalkit, ikkunasyvennykset, betonielementtien tukisiteet, ankkurointihaarat tiiliseinässä ja seinärakenteen liittyminen sokkeliin. Kylmäsilat aiheuttavat lämpövirran kasvun eristyksen huononemisen vuoksi ja rakenteen sisäpinnassa lämpötila voi laskea. Tästä voi seurata lämpöviivyyshaitta tai kosteuden tiivistyminen sisäpinnoille seurausvaikutuksineen. Ulkoseinän halkeamia voi muodostua kylmäsiltojen kohdalle lämpöjännityksen vuoksi. [2, s. 85.]

Kylmäsiltojen läpi menevä lämpöhäviöteho lasketaan kaavalla 4 [30, s. 66].

$$\phi_{\text{kylmäsilat}} = \sum l_k \psi_k (T_s - T_{u, \text{mit}}) \quad (4)$$

$\phi_{\text{kylmäsilat}}$	= johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi (W)
l_k	= viivamaisen kylmäsilan pituus (m)
ψ_k	= viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi (W/(Km))
T_s	= sisäilman lämpötila (°C)
$T_{u, \text{mit}}$	= mitoittava ulkoilman lämpötila (°C).

Taulukoissa 7–9 on esitetty viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssiarvoja rakennuksen eri kohdissa.

Taulukko 7. Ohjearvoja kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille Ψ_k (W/(°Cm)) ulkoseinän ja ylä- väli- ja alapohjan eri runkomateriaaleille [30, s. 19].

Ulko- seinä- materiaali	Lisäkonduktanssi, Ψ_k (W/(°Cm))									
	Yläpohjan (ulkonurkka) runkomateriaali			Välipohjan runkomateriaali			Alapohjan runkomateriaali			
	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni, maan- vast.	betoni, ryöm. tila	kevyt- betoni, ryöm. tila	puu, ryöm. tila
betoni	0,08		0,04	0,00			0,24	0,28		
kevyt- betoni	0,18	0,06	0,04	0,10	0,00		0,09	0,08	0,03	
kevyt- sora- betoni	0,13		0,04	0,07			0,15	0,11		
tiili	0,08		0,04	0,00			0,17	0,06		
puu			0,05			0,05	0,10			0,06
hirsi			0,04			0,00	0,11			0,09

Taulukko 8. Ohjearvoja kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille Ψ_k (W/(°Cm)) ulkoseinän välisissä liitoksissa sekä ikkuna- ja oviliitoksissa [30, s. 19].

Liitos	Lisäkonduktanssi, Ψ_k (W/(m°C))					
	Ulkoseinän runkomateriaali:					
	betoni	kevyt- betoni	kevytso- rabetoni	tiili	puu	hirsi
ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
ikkuna- ja oviliitos, lämmöneristeen kohdalla *)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
ikkuna- ja oviliitos muussa tapauksessa	0,15	0,07	0,10	0,10	0,07	0,07

*) Karmi peittää lämmöneristeen kokonaispaksuudesta vähintään 40 %.

Taulukko 9. Ohjearvoja kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille Ψ_k (W/(°Cm)) liitoksissa, joille ei ole annettu erillisiä arvoja taulukoissa 8 ja 9. Laskennasta voidaan jättää muut rakenteen väliset liitokset huomioimatta [30, s. 19].

Liitos	Lisäkonduktanssi, Ψ_k (W/(°Cm))
Ulkoseinän ja yläpohjan liitos	0,3
Ulkoseinän ja alapohjan liitos	0,5
Ulkoseinän ja välipohjan liitos	0,2
Ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,1
Ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,1
Ikkuna- ja oviliitos	0,2

3.1.2 Vuotoilman lämpenemisen tehontarve

Tuulesta ja lämpötilaerojen synnyttämästä paine-eroista syntyy vuotoilmavirta. Sen suuruuteen vaikuttavat rakennusvaipan ilmanpitävyys, rakennuksen sijainti ja korkeus, ilmanvaihtojärjestelmä ja sen käyttötapa. [30, s. 22.]

Vuotoilmakerroin tulee määrittää ennen kuin voidaan laskea vuotoilmavirta, jota tarvitaan vuotoilman lämpenemiseen tehontarpeessa. Vuotoilmaluku muodostuu 50 Pa:n paine-erolla rakennuksen vaipan yli. Mikäli vuotoilmalukua (n_{50}) ei tiedetä, suunnittelussa käytetään arvoa 4,0 1/h, joka vastaa vuotoilmakertoimen ($n_{vuotoilma}$) arvoa 0,16 1/h. Taulukossa 10 on esitetty tyypillisiä vuotoilmalukuja erilaisille rakennuksille. [12, s. 17; 54, s. 11.]

Taulukko 10. Tyypillisiä vuotoilmalukuja erilaisille rakennuksille rakentamis- ja toteutustavasta riippuen [30, s. 22].

Ilmapitävyys:	Yksityiskohdat:	Rakennustyyppi:	Tyypilliset n_{50} -luvut (1/h)	Tyypilliset q_{50} -luvut ($m^3/(hm^2)$)
Hyvä	Saumojen ja liitosten ilmapitävyyteen on kiinnitetty huomiota	Pientalot	1,0...3,0	1,0...3,0
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus	0,5...1,5	1,0...4,0
Keskimääräinen	Ilmapitävyys on huomioitu tavanomaisesti	Pientalot	3,0...5,0	3,0...5,0
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus	1,5...3,0	4,0...8,0
Heikko	Ilmapitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota	Pientalot	5,0...10,0	5,0...10
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus	3,0...7,0	8,0...20,0

Vuotoilmakerroin lasketaan kaavalla 5 [54, s. 11].

$$n_{vuotoIV} = \frac{n_{50}}{25} \quad (5)$$

$n_{vuotoiv}$ = vuotoilmakerroin (1/h)
 n_{50} = vuotoilmaluku (1/h).

Vuotoilmavirta lasketaan kaavan 6 avulla [54, s. 11].

$$q_{vuotoIV} = \frac{n_{vuotoIV}V}{3600} \quad (6)$$

$q_{vuotoIV}$	= vuotoilmavirta (m ³ /s)
$n_{vuotoIV}$	= vuotoilmakerroin (1/h)
V	= ilmatilavuus (m ³)
3600	= aikayksikön muunnos (s/h).

Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve lasketaan kaavalla 7 [30, s. 66–67].

$$\phi_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{vuotoIV} (T_s - T_{u,mit}) \quad (7)$$

$\phi_{vuotoilma}$	= vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve (W)
ρ_i	= ilman tiheys (kg/m ³)
c_{pi}	= ilman ominaislämpökapasiteetti (J/(kgK))
$q_{vuotoIV}$	= vuotoilmavirta (m ³ /s)
T_s	= sisäilman lämpötila (°C)
$T_{u,mit}$	= mitoittava ulkoilman lämpötila (°C).

Vuotoilmavirta on arvioitava erikseen, mikäli on perusteltua syytä olettaa, että rakennus on poikkeuksellisen tiivis tai epätiivis. Rakennuksen keskellä olevissa tiloissa ja maan- alaisissa kellaritiloissa ei yleensä tarvitse ottaa huomioon vuotoilmaa. [30, s. 67.]

3.1.3 Huonetilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen tehon tarve

Huonetilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen tehontarve lasketaan kaavalla 8 [30, s. 67].

$$\phi_{tuloilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \quad (8)$$

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

3.1.4 Huonetilassa tapahtuvan korvausilman lämpenemisen tehon tarve

Korvausilman lämpenemisen tehontarve lasketaan kaavalla 9 [30, s. 67].

$$\phi_{korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v, korvausilma} (T_s - T_{u, mit}) \quad (9)$$

$\phi_{korvausilma}$	= korvausilman lämpenemisen lämpötehon tarve (W)
ρ_i	= ilman tiheys (kg/m^3)
c_{pi}	= ilman ominaislämpökapasiteetti ($\text{J}/(\text{kgK})$)
$q_{v, korvausilma}$	= korvausilmavirta (m^3/s)
T_s	= sisäilman lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{u, mit}$	= mitoittava ulkoilman lämpötila ($^{\circ}\text{C}$).

3.2 Lämpimän käyttöveden lämmitysteho ja lämmitysenergian nettotarve

3.2.1 Lämpimän käyttöveden lämmitysteho

Lämmin käyttövesijärjestelmä olisi suunniteltava siten, että lämpimän käyttöveden lämpötila on vähintään $+55^{\circ}\text{C}$ legionellabakteerin lisääntymisen estämiseksi. Käyttöturvallisuuden kannalta se ei kuitenkaan saa nousta yli $+65^{\circ}\text{C}$:n. Mikäli käyttöveden lämpötilaa alennetaan alle $+55^{\circ}\text{C}$:n, tulisi legionellabakteerin leviämisen estämiseksi lämpötila kohottaa aika ajoin $+60\dots+70^{\circ}\text{C}$:n tasolle. [10, s. 213; 12, s. 119.]

Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaaman määrittäminen aloitetaan valitsemalla vesipisteiden normivirtaamat taulukon 11 avulla, jonka jälkeen lasketaan lämpimän veden normivirtaamien summa vesipisteiden määrän mukaisesti (q_{vmit}).

Taulukko 11. Vesikalusteiden normivirtaamat [14, s. 35].

Vesipiste	Normivirtaamat q_N	
	Kylmä vesi (dm^3/s)	Lämmin vesi (dm^3/s)
Astianpesuallas	0,2	0,2
Astianpesukone kotitaloudessa	0,2	(0,2)
Pesuallas	0,1	0,1
Suihku	0,2	0,2
Kylpyamme	0,3	0,3
WC-istuin	0,1	-
Pesukone kotitaloudessa	0,2	-
Pesukone talopesulassa tai vastaavassa	0,4	-
Vesiposti pientaloudessa, DN15	0,2	-
Vesiposti kerrostalossa, DN20	0,4	-
Laskuhana, tasapohja-allas	0,2	0,2
Pesuistuin	0,1	0,1
Urinaali huuhteluventtiili	0,4	-
Urinaali huuhteluhana	0,2	-
Ryhmäpesuallas (n kpl)	0,07+0,03 n	0,07+0,03 n
Sarjaan kytketyt urinaalit (n kpl)	0,14+0,06 n	-
Ryhmäsuihku (n kpl)	0,14 n	0,14 n
Teollisuus- ym. laitteet	Laskettava erikseen	

n = kappale määrä

Tiedettäessä normivirtaamien summa määritetään mitoitusvirtaama suurimman vesikalusteen normivirtaaman määrän perusteella liitteessä 2 olevan taulukon avulla.

Pienempiä kiinteistöjä lukuun ottamatta kiinteistöt varustetaan lämpimän käyttöveden kiertovesijohdolla. Vesi kiertää kiertojohdossa jatkuvasti, jolloin lämpötila on helpompi pitää vakiona. Samalla estetään veden lämpötilaa laskemasta mikrobikasvustoa suosivalle tasolle. Lämpimän veden odotusaika ei saa ylittää 20 sekuntia. Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistossa (1047/2017) estää käyttämästä uusissa rakennuksissa lämpimän käyttöveden kiertojohdossa lämmönluovuttimia ja lattia-lämmitystä. [10, s. 213; 18, s. 3–4.]

Taulukon 12 mukaisia arvoja käytetään kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteholle. Lämpöhäviön ominaisteho on riippuvainen lämpimän käyttöveden kiertojohdon eristystasosta. Eristystasossa on ilmoitettu eristyspaksuus kiertojohdon halkaisijaan (D) suhteutettuna [24, s. 13].

Taulukko 12. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon ominaistehot eri eristystasoilla [24, s. 13].

Eristystaso	Kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho $\phi_{lkv,kierto,omin}$
Ei tietoa	40 W/m
0,5D	10 W/m
1,5D	6 W/m
Suojaputki	15 W/m
Suojaputki + 0,5D	8 W/m
Suojaputki + 1,5D	5 W/m

Käyttöveden pitkissä lämminvesiputkistoissa lämpöhäviö on suuri energiakulutustekijä. Energiatehokkaissa rakennuksissa lämmityskauden ulkopuolinen aika on yli puoli vuotta, jolloin hukkalämpö on haitallista lisäten sisätiloihin lämpökuormaa aiheuttaen samalla yllilämpöä. Näin ollen putkistot tulisi suunnitella mahdollisemman lyhyiksi ja hyvillä lämpöeristeillä. [12, s. 119.]

Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaaman (ϕ_{lv}) sekä kiertojohtoon lämpöhäviöiden selvityä voidaan sen vaatima lämmitysteho laskea kaavan 10 avulla [30, s. 69].

$$\phi_{lv} = \rho_v c_{pv} q_v (T_{lv} - T_{kv}) + \phi_{lkv, kiertohäviö} \quad (10)$$

ϕ_{lv}	= lämpimän käyttöveden lämmitysteho (kW)
ρ_v	= veden tiheys (kg/m ³)
c_{pv}	= veden ominaislämpökapasiteetti (J/(kgK))
q_v	= lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama (l/s)
T_{lv}	= lämpimän veden lämpötila (°C)
T_{kv}	= kylmän veden lämpötila (°C)
$\phi_{lkv, kiertohäviö}$	= lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöt (kW).

3.2.2 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

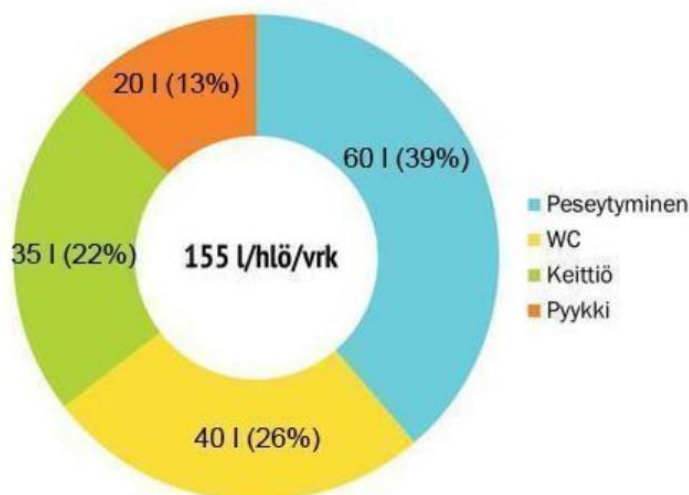
Lämmöntuottolaitteistot voidaan mitoittaa poikkeavasti lasketusta lämmöntehteen tarpeesta. Jo muutamissa tunneissa voidaan tuottaa vuorokautinen lämpöenergia varajaan. Tällöin tehon tarve on moninkertainen verrattuna jatkuvaan lämmitystehon tarpeeseen nähden. Toisaalta käyttöveden lämmityksen hetkelliset suuret tehohiiput voidaan ottaa varaajasta. Tässä tarkoituksessa sitä voidaan lämmittää pienellä teholla hitaasti. [30, s. 70.]

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeeseen vaikuttaa sekä henkilömäärä että lämpimän veden kulutus henkilöä kohden. Kerrostaloissa tehokkain tapa pienentää

käyttöveden kulutusta on varustaa jokainen asunto asuntokohtaisella vedenkulutuksen määrittäyksellä. Laskutus määräytyy kulutuksen mukaan huoneistokohtaisesti, lasien veden kulutusta 10–30 %. Huoneistokohtainen vedenmittausjärjestelmä vaatii syöttöputkistojen reitittämistä siten, että huoneiston vesimäärä voidaan mitata yhdestä pisteestä. [12, s. 117 & 119.]

Asuinkerrostalossa lämpimän käyttöveden osuus veden kokonaiskulutuksesta on noin 40 %. Mittausten perusteella asuinhuoneistoissa kulutetaan käyttövettä keskimäärin 40–60 % suihkussa, 20–30 % keittiössä ja 20–35 % WC:ssä. [2, s. 247–248.]

Kerrostalo-yhtiöissä, joista huonekohtaiset vesimittarit puuttuvat, kuluu vettä keskimäärin 155 litraa vuorokaudessa asukasta kohden (kuva 4). Veden kulutuksen vaihteluväli on asukkaasta riippuen 60–270 litraa vuorokaudessa. Tavoitekulutus asukasta kohden on 130 litraa vuorokaudessa. [15, s. 48.]



Kuva 4. Käyttöveden kulutuksen jakautuminen kerrostalo-yhtiössä, josta huonekohtaiset vesimittarit puuttuvat [19].

Taloyhtiössä, josta puuttuu vedenmittausjärjestelmä ja sen kulutus on keskimäärin 155 litraa asukasta kohden vuorokaudessa. Jos vettä säästetään vedenmittausjärjestelmällä keskimäärin 20 % ja kylmän/lämpimän veden osuus on 60/40 %, muodostuu veden kulutus taulukon 13 mukaisesti.

Taulukko 13. Veden kulutus asuinkerrostalossa.

	Taloyhtiö, josta vesimittarit puuttuvat (dm ³ /hlö/vrk)	Taloyhtiö, jossa huoneistokohtaiset vesimittarit (dm ³ /hlö/vrk)
Kylmä vesi	93	74,4
Lämmin vesi	62	49,6
Yhteensä	155	124

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistosta (1047/2017) velvoittaa käyttämään rakennuksessa huoneistokohtaisia vesimittareita kylmän ja lämpimän veden mittaamiseen siten, että laskutuksen perusteena on mahdollista käyttää mittareiden osoittamaa vedenkulutustietoa. Niiden tulee olla paikassa, johon ne on helppo asentaa. Myös huollon ja lukemisen suhteen tulee pyrkiä helppokäyttöisyyteen. [18, s. 4.]

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavan 11 avulla, kun lämpimän käyttöveden määrä on tiedossa [30, s. 26].

$$Q_{lkv, netto} = \frac{\rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv})}{3600} \quad (11)$$

$Q_{lkv, netto}$	= lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve (kWh)
ρ_v	= veden tiheys (kg/m ³)
c_{pv}	= veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kg°C))
V_{lkv}	= veden kulutus (m ³)
T_{lkv}	= lämpimän käyttöveden lämpötila (°C)
T_{kv}	= kylmän käyttöveden lämpötila (°C)
3600	= yksikkömuunnoskerroin, jolla suoritetaan muunnos kilowattitunneiksi (s/h).

3.3 Ilmanvaihdon lämmitystehon tarve

Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin tehontarpeessa käytetään IV-suunnitelmien mukaisia ilmavirtoja, jotka täyttävät Ympäristöministeriön asetukset uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2018). Asetuksissa on määritelty, että tulo- ja poistoilmavirtoja on voitava ohjata joko rakennus- tai asuntokohtaisesti siten, että niitä voidaan tehostaa 30 % suuremmaksi kuin suunnitellun käyttöajan ilmavirrat. IV-koneen lämmityspatteri tulee mitoittaa tämän mukaisesti [13, s. 4].

Lämmityspatterille tulevan tuloilman jälkeinen lämpötila riippuu IV-koneen lämmöntalteenottolaitteistosta. Laitteiston jäätyminen estetään ohittamalla lämmöntalteenotto. Ensisijaisesti käytetään laitevalmistajan ilmoittamaa varmennettua arvoa ulospuhalluksen mitoittavana lämpötilana. Mikäli sitä ei ole laitevalmistajalta saatavilla, voidaan käyttää tehontarpeen laskennassa jäätyminenestön ulospuhallusilman rajoituslämpötilana kuivissa toimistotiloissa 0 °C ja tavanomaisissa asuintiloissa +5 °C, mikäli jäätymissuojauks ja käyttöolosuhteet sen sallivat. [30, s. 69.]

Tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen lasketaan kaavan 12 avulla [30, s. 68].

$$T_{lto, mit} = T_{u, mit} + \eta_{t, mit} (T_s - T_{u, mit}) \quad (12)$$

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

Lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde määritetään kaavan 13 mukaisesti [30, s. 68–69.]

$$\eta_{t, mit} = \frac{\eta_{p, mit}}{R} \quad (13)$$

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

Tuloilman suhde poistoilmavirtaan lasketaan kaavan 14 mukaisesti.

$$R = \frac{q_{v, tulo}}{q_{v, poisto}} \quad (14)$$

R	= tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan (-)
$q_{v, tulo}$	= tuloilmavirta (m ³ /s)
$q_{v, poisto}$	= poistoilmavirta (m ³ /s).

Lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde lasketaan kaavan 15 mukaisesti [30, s. 69].

$$\eta_{p,mit} = \frac{T_s - T_{up}}{T_s - T_{u,mit}} \quad (15)$$

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

Kun kaavaan 12 sijoitetaan kaavat 13–15, niin tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen voidaan laskea kaavan 16 avulla:

$$T_{lto,mit} = T_{u,mit} + \eta_{t,mit} (T_s - T_{u,mit}) = T_{u,mit} + \frac{\eta_{p,mit}}{R} (T_s - T_{u,mit}) \quad (16)$$

$$= T_{u,mit} + \frac{\eta_{p,mit} * (T_s - T_{u,mit})}{R} = T_{u,mit} + \frac{\frac{T_s - T_{up}}{T_s - T_{u,mit}} * (T_s - T_{u,mit})}{R}$$

$$= T_{u,mit} + \frac{T_s - T_{up}}{R} = T_{u,mit} + \frac{T_s - T_{up}}{\frac{q_{v,tulo}}{q_{v,poisto}}}$$

Ilmanvaihdon lämmityspatterin teho lasketaan kaavan 17 avulla, kun tiedetään patterille tuleva ilmavirta ($q_{v,tulo}$) ja lämpötila ($T_{lto,mit}$) sekä patterilta lähtevä sisänpuhalluslämpötila (T_{sp}).

$$\phi_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_{sp} - T_{lto,mit}) \quad (17)$$

ϕ_{iv} = ilmanvaihdon lämmityspatterin teho (W)
 ρ_i = ilman tiheys (kg/m³)
 c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti (J/(kgK))
 $q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta (m³/s)
 T_{sp} = sisänpuhalluslämpötila (°C)
 $T_{lto,mit}$ = lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila mitoitustilanteessa (°C).

Kaavaan 17 kun sisällytetään kaava 16, voidaan ilmanvaihdon lämmityspatterin teho laskea myös kaavan 18 avulla:

$$\phi_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v, tulo} \left(T_{sp} - \left(T_{u, mit} + \frac{T_s - T_{up}}{q_{v, poisto}} \right) \right) \quad (18)$$

ϕ_{iv}	= ilmanvaihdon lämmityspatterin teho (W)
ρ_i	= ilman tiheys (kg/m ³)
c_{pi}	= ilman ominaislämpökapasiteetti (J/(kgK))
$q_{v, tulo}$	= tuloilmavirta (m ³ /s)
T_{sp}	= sisäänpuhalluslämpötila (°C)
$T_{u, mit}$	= mitoittava ulkoilman lämpötila (°C)
T_s	= sisäilman lämpötila (°C)
T_{up}	= ulospuhallus lämpötila (°C)
$q_{v, poisto}$	= poistoilmavirta (m ³ /s).

3.4 Rakennuksen LVI-järjestelmien vuotuinen energiatarve

Uudisrakennukselle määritetään hankesuunnitteluvaiheessa energiatarvitavoitteet energiatodistusta varten. Sen avulla pystytään vertailemaan rakennusten energiatehokkuutta, jolla puolestaan saadaan tietoa rakennuksen energiankulutuksesta. [12, s. 27–28.]

Uudisrakentamisessa dynaaminen simulointi on erityisen hyvä työkalu seuraavien tekijöiden arviointiin. [56, s. 7.]

- rakennuksen laskennallinen energiakulutus
- rakennuksen laskennallinen jäähdytys- ja lämmitystehontarve
- huonelämpötilojen hallinta kesäaikana
- tuloilman kostutustarve talviaikana
- suurten tilojen yöaikaisella ilmanvaihdolla toteutetun lisätuuletuksen toimivuuden arviointi.

Taulukossa 14 on esitetty kaukolämmitteisten eri vuosikymmeniltä olevien asuin kerrostalojen energiatarpeet lämmitettyä nettoalaa kohti vuodessa. nZEB-rakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia, joilla on korkea energiatehokkuus ja vähäinen energiatarve, joka katetaan laajalti ($\geq 10\%$) uusiutuvilla energioilla. Kun uusiutuvan energian

osuus on vähintään 40 %, muuttuu nZEB-rakennus A-luokan rakennukseksi. [12, s. 18–19.]

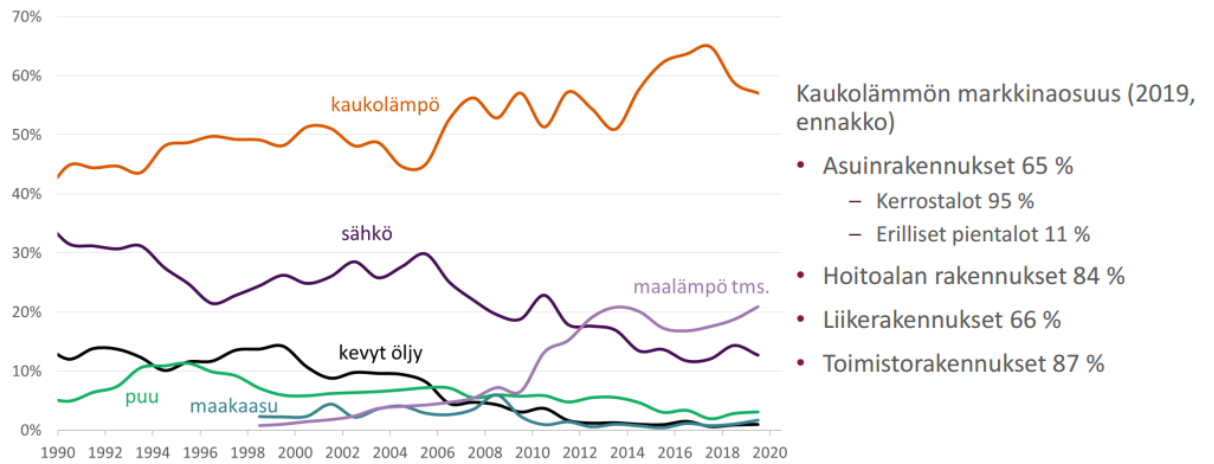
Taulukko 14. Asuinkerrostalon lämpöenergian tarpeet 1940-luvulta alkaen [12, s. 29].

	Talot 1940– 1959 (kWh/m ² ,a)	Talot 1960– 1975 (kWh/m ² ,a)	Talot 1975– 2011 (kWh/m ² ,a)	Määräys- ten 2012 mukainen talo (kWh/m ² ,a)	nZEB-eh- dotuksen mukaiset talot (kWh/m ² ,a)	A-luokan talo (kWh/m ² ,a)
Lämpö- energian tarve	140–200	110–150	80–110	70–85	45–70	45–65
Tilojen lämmitys	100–150	80–120	45–70	35–45	25–40	25–35
Käyttöve- den lämmi- tys	40–50	35–40	35–40	35–40	20–30	20–30
Uusiutuvan energian osuus				≥ 0 %	≥ 10 %	≥ 40 %

4 Kaukolämpö

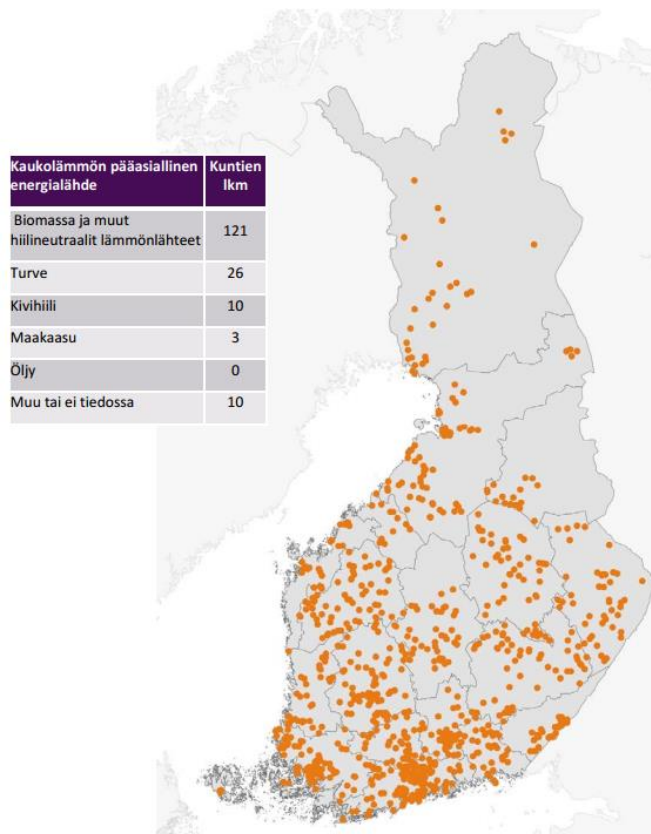
4.1 Kaukolämpö rakennusten lämmityksessä

Kaukolämmitys aloitettiin Suomen suurimmissa kaupungeissa 1950- ja 1960-luvuilla ja toiminta laajeni 1970-luvulla öljykriisin myötä. Kaukolämpö on tällä hetkellä Suomen yleisin lämmitysmuoto. Se kattaa noin 50 % maamme lämmitysmarkkinoista. Sillä lämmitetään 90 % kerrostaloista, 50 % rivitaloista sekä suurin osa maamme julkisista rakennuksista ja liikerakennuksista. Sitä on tarjolla Suomen kaupungeissa ja taajamissa. Vuonna 2018 sillä lämmitettävissä taloissa asui 2,92 miljoonaa suomalaista. Kuvassa 5 käy ilmi Suomen lämmitystapojen markkinaosuudet. [2, s. 263; 7, s. 6; 26, s. 19–20.]



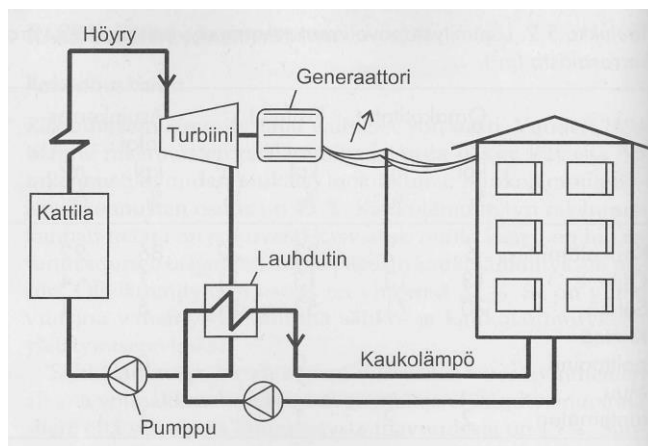
Kuva 5. Lämmitystapojen markkinaosuudet [26, s. 20].

Kaukolämpöyritykset jakoivat lämpöä 170 Suomen kunnassa vuonna 2018. Kuvassa 6 on esitetty ne Suomen kunnat/kaupungit, joissa kaukolämpöä on saatavilla [7, s. 8].



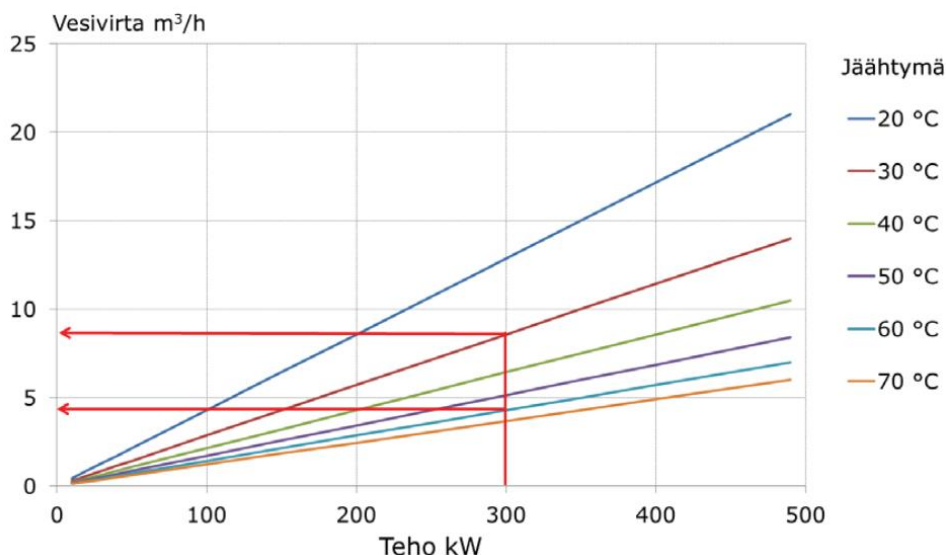
Kuva 6. Kaukolämmön tuotantolaitokset Suomessa vuonna 2018 [7, s. 8].

Kaukolämmityksellä saavutetaan suurimmat energiataloudelliset edut silloin, kun sama voimalaitos tuottaa sekä sähköä että lämpöä. Tällaista voimalaitosta kutsutaan vastapainevoimalaitokseksi (kuva 7), koska turbiinin jälkeenkin vesihöyry on vielä normaalia ilmanpainetta korkeammassa paineessa. Sähkön tuotannosta lauhdutettavan vesihöyryn lauhtumislämpö johdetaan kaukolämpöverkoston, jolloin pystytään käyttämään yhteensä 85 %:n osuus polttoaineen lämpötilasisällöstä hyödyksi. Pelkästään sähköä tuotettavan voimalaitoksen lauhtelämpö johdetaan ympäristöön joko jäähdytystorneihin tai vesistöihin. Tämän tyyppinen voimalaitos pystyy hyödyntämään vain 40 %:n osuuden polttoaineen lämpötilasisällöstä. [2, s. 263.]



Kuva 7. Vastapainevoimalaitoksen periaatekuva. Kaukolämmityksessä käytetään hyödyksi sähkötuotannosta syntyvä jätelämpö, joka johdetaan lauhduttimen kautta kaukolämpöverkoston [10, s. 96.]

Kaukolämpöverkoston siirtokapasiteetti on riippuvainen siitä, kuinka paljon lämpöenergiaa saadaan johdettua vesivirtayksikköä kohden. Huono jäähtymä asiakkaiden lämmönsiirtimissä johtaa virtausnopeuden ja painehäviöiden kasvamiseen verkostossa, mikä puolestaan heikentää kaukolämmön energiasiirtopotentiaalia. Tämän seurauksena kaukolämpöverkoston pumppauksen sähköenergiamäärä kasvaa saman lämpöenergiamäärän siirtämiseksi. [20, s.15.] Kuvassa 8 käy ilmi, miten kaukolämmön jäähtymä vaikuttaa vesivirtaan. Kaukolämpöveden jäähtymän kaksinkertaistuessa vesivirta vastaavasti puolittuu. Esimerkiksi 300 kW:n teholla jäähtymän parantuessa 60 °C:sta 30 °C:seen vesivirta puolittuu 8,6 m³/h:sta 4,3 m³/h:iin.

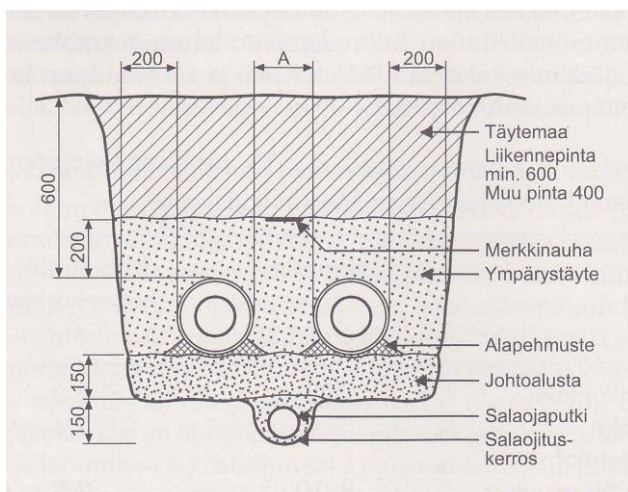


Kuva 8. Vesivirta tehon ja veden jäähtymän funktiona [20].

Vesivirtapohjaisella maksuperusteella (jäähtymällä) on vahva ohjaava vaikutus asiakkaiden maksujen suuruuteen. Tämä puolestaan motivoi asiakasta ylläpitämään laitteiston toimintakunnossa [20, s. 15].

Vastapainevoimalaitoksessa sähkön tuotantomäärään vaikuttaa kaukolämpöverkostosta palaavan veden lämpötila. Mikäli kaukolämmön paluuvesi ei jäähdy kaukolämpöverkostossa tarpeeksi, täytyy lämpötilaa alentaa lauhduttamalla lämpöä esimerkiksi vesistöön. Paluuveden lämpötila vaikuttaa lisäksi voimalaitoksissa ja erillistuotantolaitoksissa savukaasujen lämmöntalteenottolaitteiden toimivuuteen ja hyötysuhteeseen. [20, s. 15.]

Voimalaitoksessa tuotettu lämpö siirretään kuluttajalle vetenä tai höyrynä. Euroopassa lämmönsiirto tapahtuu pääasiassa kuumalla vedellä. Pohjois-Amerikassa kaukolämmitys tehdään höyryllä, jolloin menetetään lähes kokonaan voimalaitoksen yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon edut. Voimalaitokselta kaukolämpö johdetaan asiakkaille kaukolämpöverkostolla, joka koostuu meno- ja paluuputkesta (kuva 9). Ne asennetaan yhdensuuntaisina maan alle. Joissakin tapauksissa putkia on viety rakennusten sisällä, maan päällä sekä yhdistetty muihin rakenteisiin, esimerkiksi siltoihin. [2, s. 271; 6, s. 51.]



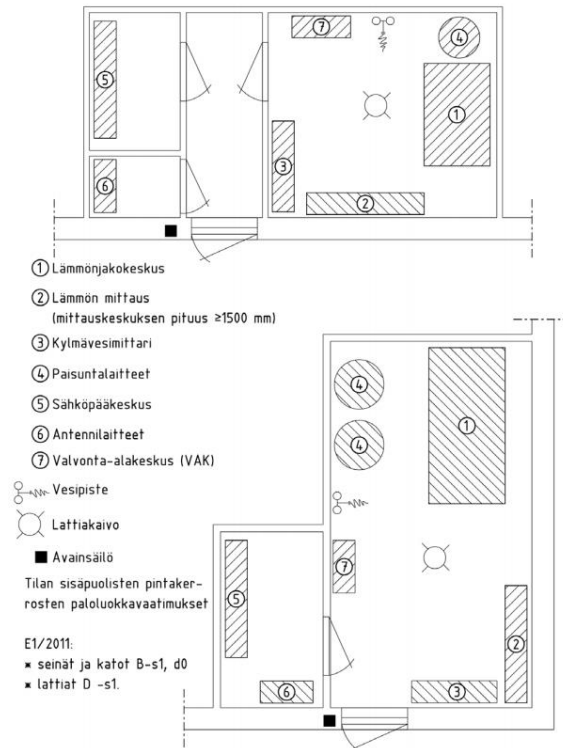
Kuva 9. Maahan asennettavien kaukolämpöputkien asennusperiaatekuva [10, s. 98].

Rakennuksessa olevat lämmitysverkostot kytketään kaukolämpöön kahdella eri tavalla johtamalla ne joko suoraan tai lämmönsiirtimien välityksellä lämmitysverkostoon. Tämä ensimmäinen, ns. suora liittymistapa asettaa suuria vaatimuksia rakennuksen lämmitysverkoston laitteille (paineenkesto, tiiviys ym.) toimiakseen hyvin. Siihen liittyy lisäksi korrosio- ja säätöongelmia. Investointikustannuksiltaan menetelmä on halvempi vaihtoehto kuin lämmönsiirtimillä tapahtuva lämmitystapa, ns. epäsuora kytkentä. Suoraa kytkentätapaa käytetään Venäjällä, Itä-Euroopan maissa ja joissakin Saksan kaupungeissa. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa on poikkeuksetta käytössä lämmönsiirtimillä tapahtuva lämmönsiirto. [2, s. 271.]

4.2 Kaukolämpölaitteet

Kaukolämpölaitteisiin kuuluvat kaukolämpötoimittajan mittauskeskus ja rakennuksen omistajan/haltijan omistuksessa oleva lämmönjakokeskus. Ne sijoitetaan rakennuksen tekniseen laitetilaan, jossa sisälämpötilan tulee olla yli +10 °C:n eikä saa nousta yli +35 °C:seen. Lämpötilan nousu pyritään estämään putkistojen ja laitteiden lämmöneristyksen avulla. Tilaa suunniteltaessa sinne tulee huomioida riittävä ilmanvaihto. Lisäksi se varustetaan viemäroinnillä sekä kylmä- ja lämminvesikalusteella, joka on varustettu letkuliittimellä. [2, s. 271; 5, s. 5.]

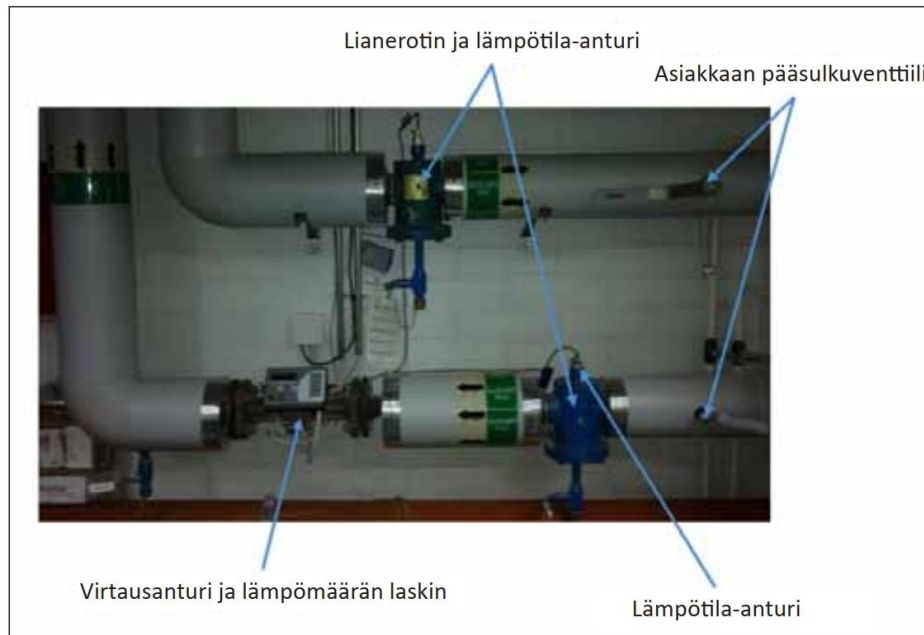
Mittauskeskus tulee sijoittaa liittymisjohdon kannalta edullisimpaan paikkaan. Sille on varattava 800 mm:n vapaa huoltotila eteen ja sen kohdalla huonekorkeutta tulee olla vähintään kaksi metriä. Lämmönjakokeskuksen sivuille huomioidaan vähintään 600 mm vapaa huoltotila. Kuvassa 10 esimerkki, miten lämmönjako- ja sähkölaitteet voidaan sijoittaa tekniseen laitetilään kerrostalossa. [5, s. 5.]



Kuva 10. Kerrostalon tekninen laitetilä [5, s. 63].

4.2.1 Kaukolämmön mittauskeskus

Kaukolämpöenergiaa mitataan asiakkaan mittauskeskukselta, joka sijaitsee asiakkaan teknisessä laitetilassa. Lämpölaitoksen toimittaman lämmön hankinta- ja vastuuraja päättyy mittauskeskukseen. Mittarin jälkeen asennettavista lämmityslaitteiden hankinnoista vastaa kiinteistön omistaja/asiakas. Mittauskeskus muodostuu meno- ja paluuputkesta, sulkuventtiileistä, virtaus- ja lämpötila-antureista sekä lämpömäärän laskurista ja lianerottimesta (kuva 11). Se mitoitetaan asiakkaan tarvitseman lämpötehon mukaan. [2, s. 271, 287.]



Kuva 11. Kaukolämmön mittauskeskus [6, s. 18].

Kaukolämmönenergiamittaus suoritetaan mittauskeskuksella, jossa laskennallisesti yhdistetään kaukolämpöveden määrä (virtaus) sekä meno- ja paluuveden lämpötilamittaukset. Kaukolämpöenergian mittauksessa on omat haasteensa: kaukolämpöveden virtausmäärien vaihtelut ja ennen kaikkea pienet virtaamat ovat virtausanturin kannalta ongelmallisia. Ongelmia tuottavat myös paluuputkessa lämpötilojen vaihtelut, sillä kaukolämmön mittauksessa käytettävät lämpötila-anturit eivät reagoi nopeasti lämpötilan muutoksiin. Tästä syystä pienten lämpötilaerojen mittaaminen on vaikeaa. [6, s. 107–108.]

4.2.2 Kaukolämmön lämmönjakokeskus

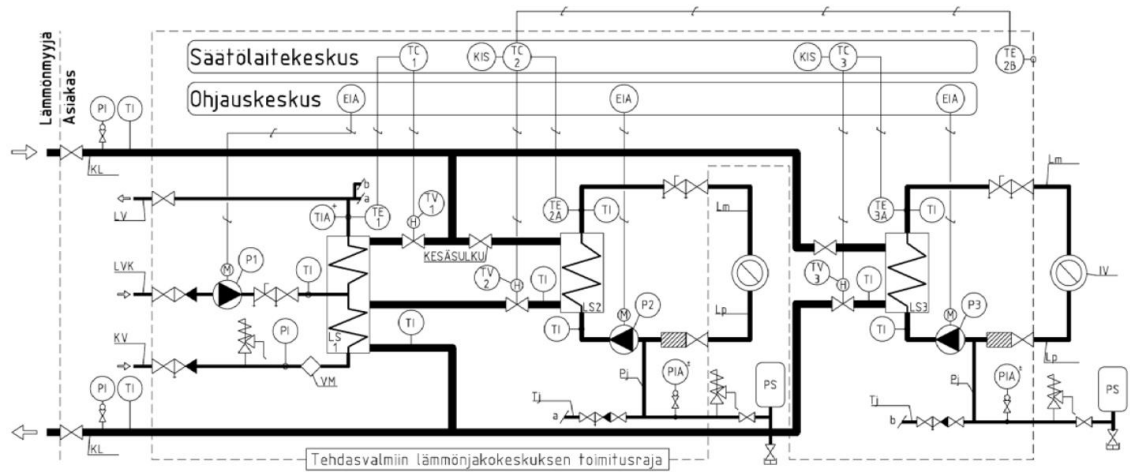
Suomessa kaukolämmön alkuaikoina lämmönjakokeskukset koottiin toimiviksi kokonaisuksiksi rakennusten lämmönjakohuoneissa. 1970-luvun loppupuolella Lämpölaitosyhdistys ry:n suositukset ja alan standardoituminen mahdollistivat lämmönjakokeskuksen valmistamisen tehtaalla. Valmis lämmönjakokeskus nopeuttaa asennustyötä ja laitteiden uusiminen voidaan suorittaa jopa keskellä talvea. Tehdasvalmisteisten lämmönjakokeskusten hankintakustannukset ovat alentuneet, jolloin lämmönjakokeskuksia ei enää kannata kasata paikan päällä. Lämmönjakokeskus sisältää käyttövesi- ja lämmitysverkoston lämmönsiirtimet, säätö- ja pumppauslaitteet, venttiilit ja varusteet sekä tarvittavat

putkistot (kuva 12). Lämmönjakokeskukseen liitetään rakennuksen käyttövesi- ja lämmitysverkostot sekä lämmitysverkoston paisuntalaitteet. [2, s. 271; 48, s. 1.]



Kuva 12. . Lämmönjakokeskus [27].

Lämmönsiirtimet kytketään Suomessa kaukolämpöön ns. epäsuoralla kytkennällä (kuva 13). Tämän kytkentätavan etuja ovat: hyvä kaukolämpöveden jäähtyminen, kaukolämpöasiakkaisen mahdolliset vuodot sekä syöpymät toisioverkostossa eivät häiritse kaukolämpöverkoston toimintaa, lämpölaitoksen ja rakennuksen välisten vesipiirien erilaiset painetasot ovat helpommin hallittavissa. Tällä saavutetaan myös hyvä turvallisuus. Vesilämmitysjärjestelmässä veden tilavuus vaihtelee verkoston lämpötilan mukaan, aiheuttaen lämpölaajenemista, josta seuraa paineen vaihtelua. Lämmityslaitteet ja putkistot eivät laajene samalla tavalla kuin siellä kiertävä vesi, joten vesilämmitysjärjestelmät varustetaan veden laajenemiseen vastaanottavalla paisuntalaitteistolla. [2, s. 200, 271.]



Kuva 13. Kaukolämmön kytkentä [5, s. 86].

4.3 Kaukolämmön investointi- ja käyttökustannukset

Kaukolämpöyhtiö perii liittymismaksun asiakkaan liittyessä kaukolämpöön. Tätä ennen asiakkaan edustaja (LVI-suunnittelija/vastaava) laatii suunnitelmat, joissa määritetään rakennuksen tehontarve. Tilojen lämmittämisen tehontarve ja käyttöveden lämmitysteho rakennuksessa tulee mitoittaa siten, että ne täyttävät ympäristöministeriön asettamat vaatimukset. [20, s. 2.]

Asiakas tekee kaukolämpötoimittajan kanssa lämpösopimuksen. Siihen kirjataan yksilöllinen, rakennuksen tehontarpeeseen perustuva kaukolämmön sopimusteho tai sopimusvesivirta, jonka perusteella liittymismaksu määräytyy. Sopimustehona käytetään tyypillisesti rakennuksen tarvitsemaa tuntista tehontarvetta mitoitusulkolämpötilassa ja sopimusvesivirta lasketaan sopimustehon ajankohdan mukaisella kaukolämpöveden jäähtymällä. [20, s. 2–3.]

Asuinrakennuksen käyttöveden tunnissa käyttämän lämmitystehon osuus kaukolämmön sopimustehossa otetaan huomioon käyttövesisiirtimen mitoituskehossa taulukossa 15 esitetyin prosenttiosuuksin [20, s. 8].

Taulukko 15. Tuntisen käyttöveden lämmitystehon arvioiminen asuinrakennuksessa asuntojen lukumäärän perusteella [20, s. 8].

Asuntojen lukumäärä	Osuus käyttövesisiirtimen mitoitustehosta
1	10 %
2...5	15 %
6...100	20 %
101...	25 %

Kaukolämmön sopimusteho (ϕ_T) saadaan laskettua sopimustekijöiden summasta kaavalla 19 [20, s. 17].

$$\phi_T = \phi_{lm} + \phi_{iv} + \phi_{lvh} + \phi_{lvk} \quad (19)$$

ϕ_T	= kaukolämmön sopimusteho (kW)
ϕ_{lm}	= lämmitysteho (kW)
ϕ_{iv}	= ilmanvaihdon teho (kW)
ϕ_{lvh}	= käyttöveden tuntinen lämmitysteho (kW)
ϕ_{lvk}	= käyttövesipiiriin liitettyjen lämmityslaitteiden teho (kW).

Kaukolämmön sopimusvesivirta saadaan laskettua kaavan 20 avulla [20, s. 4].

$$\dot{V} = \frac{\phi_T}{c_{pv}\rho_v(T_{et}-T_{ep})} \quad (20)$$

ϕ_T	= kaukolämmön sopimusteho (kW)
c_{pv}	= veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)
ρ_v	= veden tiheys (kg/m ³)
T_{et}	= kaukolämpöveden tulolämpötila (°C)
T_{ep}	= kaukolämpöveden paluulämpötila (°C).

Kaukolämpöjärjestelmän hankintakustannukset muodostuvat lämmönjakokeskuksen hankinnasta ja asennuksesta sekä kaukolämmön liittymismaksusta. Käytön aikaiset kustannukset tulevat asiakkaalle kaukolämpölaskuista. Ne koostuvat energiakäyttöön perustuvasta energiamaksusta ja tehoon tai vesivirtaan sidotusta tehomaksusta. Käytetyt polttoaineet ja lämmönhankinnan muuttuvat kustannukset vaikuttavat niin ikään kaukolämmön energiamaksuihin. Tehomaksulla katetaan pääosin lämmönhankinnan ja -siirron kiinteitä kustannuksia. Sen osuus asiakkaan vuotuisesta kaukolämpölaskusta on keskimäärin 10–50 %. [20, s. 3.]

Laskutuksen perusteena käytettävä teho tai vesivirran arvo määritellään samoilla perusteilla kuin liittymisvaiheessa tai perustuen käytön aikana todettuun arvoon. Kaukolämpötoimittajan tulee esittää avoimesti ja läpinäkyvästi laskutuksen määräytymisperusteet. Kaukolämpöyhtiöillä voi olla toisistaan poikkeavia hinnoittelutapoja. [20, s. 3.]

4.4 Kaukolämpölaitteiden käyttöikä ja huolto

Keskimääräinen kaukolämpölaitteiden tekninen käyttöikä on 20–25 vuotta. Sen jälkeen ne kannattaa uusida kerralla. Käyttöikään vaikuttavia tekijöitä ovat: laitteiden laatu, suunnitelmassa ja asennuksissa esitettyjen määräysten ja ohjeiden noudattaminen, säätölaitteiden viritys, veden laatu, laitteille kohdistuvat rasitus- ja käyttöolosuhteet sekä käyttöaikana tehtävien huolto- ja hoitotoimenpiteiden noudattaminen. [48, s. 4; 49, s. 1–18.]

Laitteiston tarkastus- ja huoltoväli perustuu sen käyttöikänsä. Alle 10 vuotta vanhalle laitteistolle tarkastus on syytä tehdä vuosittain. 10–20 vuotta vanhalle kaukolämpölaitteistolle se tulee tehdä neljän kuukauden välein. Tämän jälkeen suositus tarkastukselle on kuukausittainen. [49, s. 13.]

Taulukossa 16 on esitetty kaukolämpölaitteiden keskimääräiset tekniset käyttöiät, tarkastus- ja huoltovälit sekä kunnossapitajaksot.

Taulukko 16. Kaukolämpölaitteiden keskimääräiset tekniset käyttöiät [49, s. 15–17].

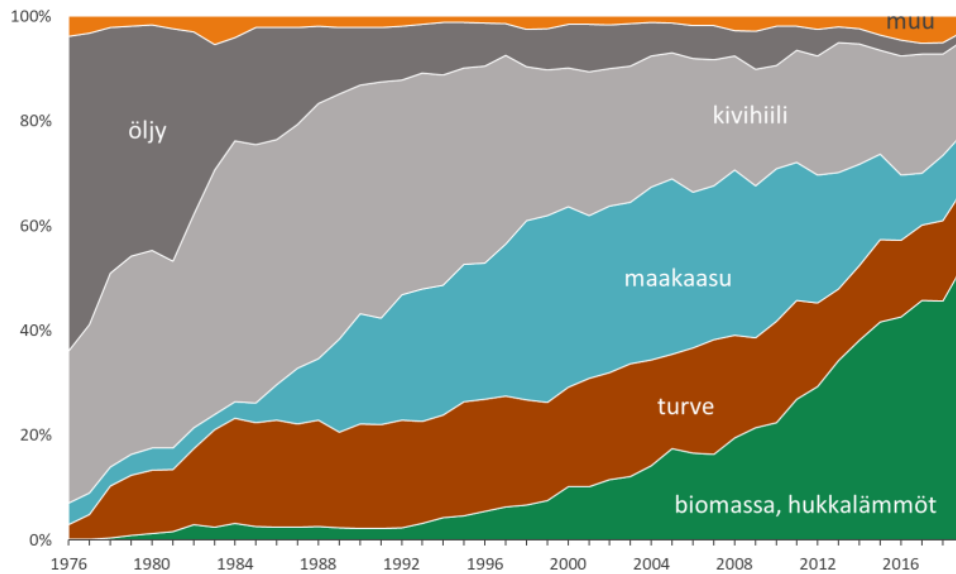
LVI-järjestelmä:	Laitteisto:	Keskimääräinen tekninen käyttöikä:	Tarkastus- / huoltoväli:
Lämmönjakokeskus	HST-levylämmönsiirrin	20 v	12 kk, kun ikä < 10 v, 4 kk, kun ikä 10–20 v, 1 kk, kun ikä > 20 v
	Kupariputkilämmönsiirrin		
Pumput		20–25 v	12 kk
Venttiilit		20–25 v	12 kk
Paisunta- ja varolaitteet		20–25 v	12 kk
Putkistovarusteet		Uusitaan tarvittaessa	12 kk

4.5 Kaukolämmön ekologisuus

Kaukolämmön ekologisuutta voidaan tarkastella voimalaitoksissa käytettävillä energialähteillä, joilla kaukolämpöä tuotetaan. Niissä fossiilisten polttoaineiden käyttö muodostaa palaessaan hiilidioksidia (CO_2), joka puolestaan toimii kasvihuonekaasuna ja on keskeisimpiä syitä ilmaston muutokseen. Maakaasulla on öljyä ja kivihiiltä korkeampi lämpöarvo, joten sen poltosta syntyy ilmakehään vähemmän hiilidioksidia. Se on toisaalta lähes kokonaan metaanista (CH_4) koostuvaa kaasua, joka on 20-kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Ilmakehään arvioidaan vuotavan vuosittain maakaasun tuotannosta yli 3 %. Sillä voidaankin sanoa olevan sama vaikutus ilmastonmuutokseen kuin öljyllä ja kivihiilellä. Viimeksi mainittujen polttamisesta syntyy pienhiukkasia, jotka aiheuttavat elimistössä verenkiertosairauksia ja syöpää. [59.]

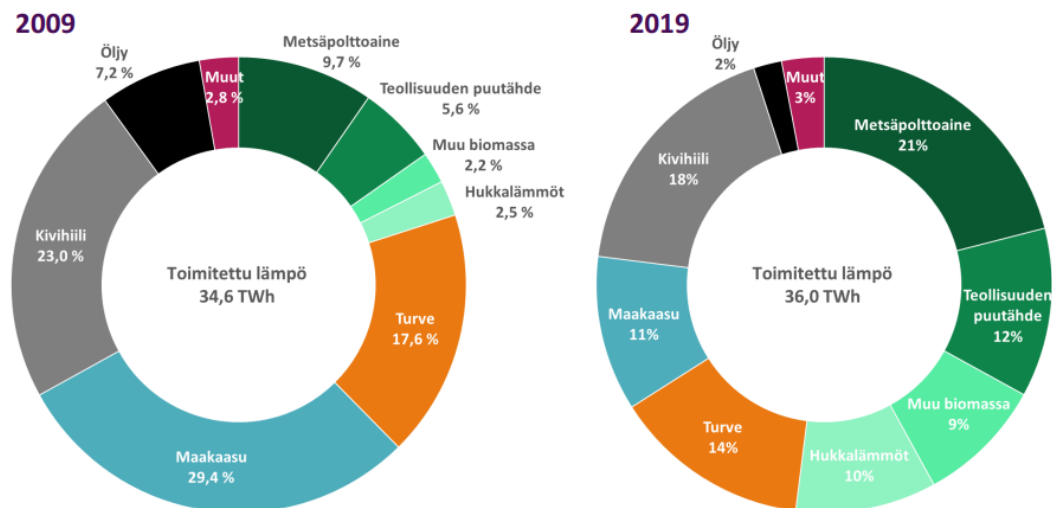
Erilaiset biomassat (puu, peltokasvit ja bioperäinen jäte) parantavat kaukolämmön ekologisuutta huomattavasti. Niitä polttamalla vapautuu bioenergiaa, joka on puhdasta ja ympäristöystävällistä hiilidioksidineutraalia energiaa, joka ei lisää hiilidioksidipäästöjä. Pitkällä aikavälillä poltossa vapautuva hiili sitoutuu takaisin kasvavaan biomassaan. Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biomassalla vähentää kasvihuonepäästöjä ja hidastaa näin ollen ilmastonmuutosta. [60.]

Biomassan hyödyntäminen kaukolämmön energialähteenä aloitettiin Suomessa 1970-luvun lopulla. Maatamme 1990-luvulla riivannut lama hidasti sen käyttöä, mutta sittemmin se on kasvanut tasaisesti. Kohti 2020-lukua mentäessä biomassan käyttö kattaaakin jo lähes puolet kaukolämmön energiatarpeesta (kuva 14).



Kuva 14. Kaukolämmön energialähteet 1976–2019 [26, s. 7].

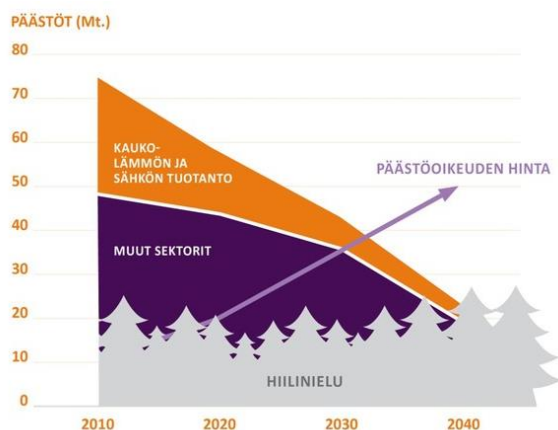
Kuvan 15 perusteella voidaan todeta, että viimeisen 10 vuoden aikana kaukolämmössä uusiutuvien energialähteiden käyttö on kasvanut 24,5 % (17,5 % → 42 %) ja hukkalämpöä hyödynnetään neljä kertaa enemmän kuin vuosikymmen sitten.



Kuva 15. Kaukolämmön energialähteet 2009 ja 2019 [26, s. 6].

Hiilineutraaliudella tarkoitetaan tilannetta, jossa päästöt ja nielut ovat tasapainossa. Tämä voidaan saavuttaa päästöjä vähentämällä ja nieluja kasvattamalla. Energia-ala on

arvioinut vähentävänsä 2030-lukuun mennessä sähkö- ja kaukolämpötuotantojen päästöt minimiin, jolloin se osaltaan toteuttaa hiilineutraaliustavoitteen. Sitä varten lämmöntuotantoon kehitetään ei-polttavia ratkaisuja. Unohtaa ei sovi, että metsätaloudella on edelleen merkittävä rooli energiatuotannossa. Kuvassa 16 on esitetty Suomen kaukolämmön hiilineutraalisuustavoite 2040-luvulle mentäessä. [61.]



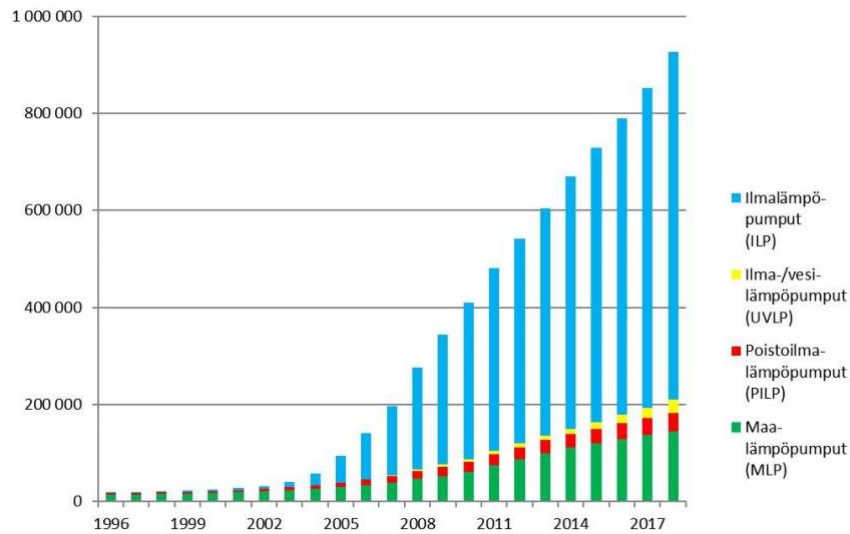
Kuva 16. Kaukolämmön hiilineutraalisuustavoite 2040-luvulle [61].

5 Lämpöpumput

Jo vuonna 1824 ranskalainen fyysikko Sadi Carnot esitti termodynaamisen kiertoprosessin, johon nykyiset lämpöpumput perustuvat. Muutama vuosi sen jälkeen englantilainen fyysikko William Thomson esitteli prosessiin perustuvan lämpöpumpun toimintaperiaatteen. Ensimmäiset lämpöpumput rakennuksiin kuitenkin asennettiin vasta 1920-luvulla. Sveitsin ajaututtua hiilipulaan toisen maailmansodan aikana lämpöpumput yleistyivät siellä kohtalaisen laajalle käytölle. Sodan jälkeen ne kuitenkin unohdettiin ja vasta toisen öljykriisin (1979–1980) aikana niistä kiinnostuttiin uudelleen. Öljyn hinnan laskettua kiinnostus kuitenkin hiipui. Vasta viime vuosina kiinnostus lämpöpumppuihin on taas nousut johtuen öljyn ja muiden energiamuotojen hinnan noususta. [28, s. 27.]

Suomessa lämpöpumppujen suosio on jatkuvassa kasvussa eteenkin meneillään olevalla vuosituhannella (ks. kuva 17), johtuen niiden investoinnin kannattavuudesta. Olosuhteista ja lämpöpumpusta riippuen lämmityksen hinta vaihtelee 0,03–0,06 €/kWh.

Sähköllä tai öljyllä lämmittäminen maksaa 0,12–0,18 €/kWh. Lisäksi rakennuksen arvo nousee useimmiten enemmän kuin mitä lämpöpumppuinvestoinnit on maksaneet. [62.]



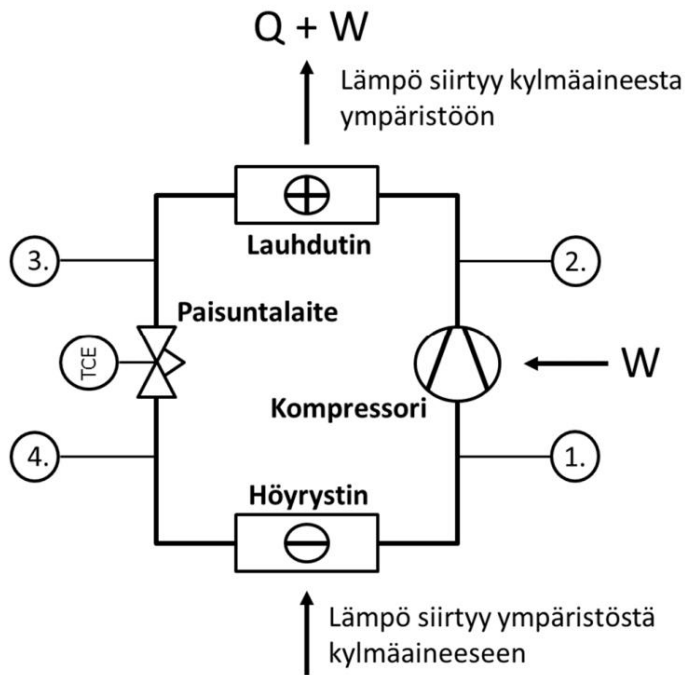
Kuva 17. Suomessa käytössä olevat lämpöpumput 1996–2018 [63, s. 1].

Rakennuksissa lämpöpumpputyypit jaetaan niiden lämmönlähteiden ja lämmönluovutustavan perusteella ilmalämpöpumppuihin (ILP), maalämpöpumppuihin (MLP), ilma-vesilämpöpumppuihin (IVLP) ja poistoilmalämpöpumppuihin (PILP). [28, s. 32.]

5.1 Toimintaperiaate ja fysikaaliset perusteet

5.1.1 Kylmätekniinen kiertoprosessi

Lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmätekniiseen kiertoprosessiin, jossa tehdyn työn avulla lämpöä siirretään matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Kylmäaine toimii työaineena, joka saa aikaan höyrystymisen ja lauhtumisen eri painetasoissa. Tähän perustuu koko kiertoprosessin toiminta. Sen pääkomponentit ovat höyrystin, lauhtutin, kompressori ja paisuntalaite. [8, s. 17.] Kuvassa 18 on esitetty kylmätekniisen kiertoprosessin periaate sekä sen pääkomponentit.



Kuva 18. Kylmätekniinen kiertoprosessi [9, s. 17].

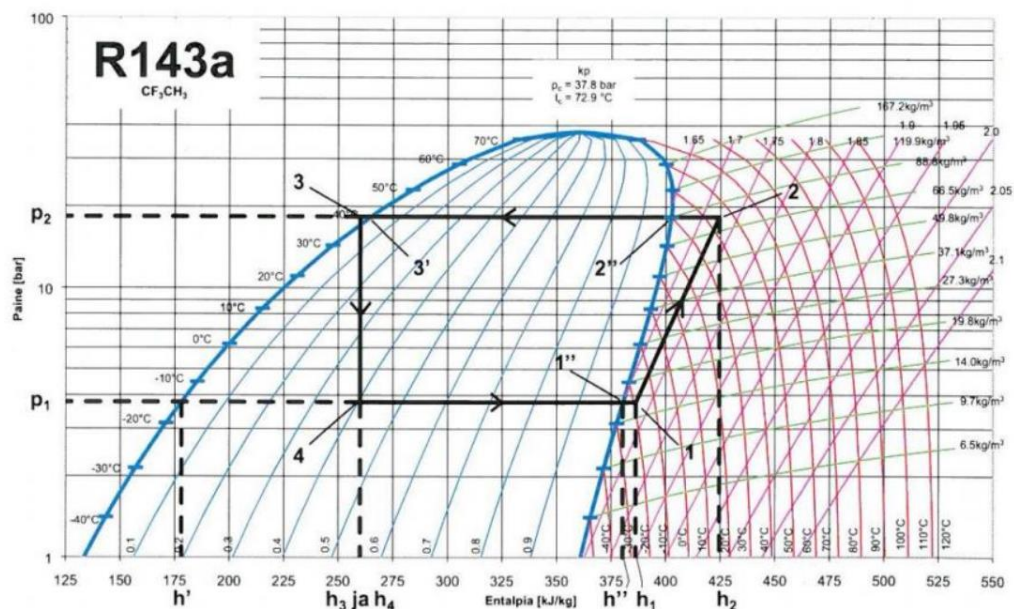
Kylmätekniisen kiertoprosessin periaatteet on katsottavissa kuvasta 18. Numeroiduissa kohdissa kiertoprosessi toimii seuraavasti: 4.–1. höyrystimessä matalapaineinen kylmäaine sitoo ympäristöstä lämpöä ja höyrystyy. 1.–2. kompressori imee höyrystyneen kylmäaineen, missä se puristuu korkeampaan paineeseen. Tämän seurauksena kylmäaine tulistuu ja lämpötila kasvaa suureksi. 2.–3. kohdassa puolestaan kompressorin jälkeen kylmäaineen korkeapaineinen ja lämpötilainen höyry johdetaan lauhduttimeen, jossa se lauhdetaan luovuttaen lämpöä ympäristöön. 3.–4. kohdassa kylmäaine johdetaan lauhduttimelta paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat ja osa kylmäaineesta höyrystyy jo ennen höyrystintä. Tämän jälkeen kiertoprosessi alkaa taas alusta. Siinä kylmäaineen olomuoto muuttuu seuraavasti: matalapaineinen höyry (1) → korkeapaineinen höyry (2) → korkeapaineinen neste (3) → osittain höyrystynyt matalapaineinen neste (4). [9, s. 17–18.]

Lämpötila siirtyy luonnostaan korkeammasta matalampaan termodynamiikan 2. pääsäännön mukaisesti. Mikäli lämpöä halutaan siirtää matalammasta lämpötilasta korkeampaan, täytyy systeemin tehdä työtä. Kylmätekniisessä prosessissa sen suorittaa

sähköenergialla toimiva kompressori, jonka ottama sähköenergia muutetaan lämpöenergiaksi. [8, s. 17.]

5.1.2 Log p, h -tilapiirros

Kylmätekninen kierto prosessi voidaan esittää jokaiselle kylmäaineelle paine-, entalpia-tilapiirroksen avulla (kuva 19). Piirroksessa x- ja y-akselilla on esitetty entalpian (h) ja paineen (p) arvot. Logaritmisena asteikolla on määritelty paineen (p) arvot piirustuksen tarkkuuden säilyttämiseksi. Log p, h -tilapiirroksessa käytetään kirjallisuudessa myös nimitystä Mollier-diagrammi. [8, s. 17.]



Kuva 19. R143-kylmäaineen häviötön kierto prosessi log p, h -tilapiirroksessa [8, s. 26].

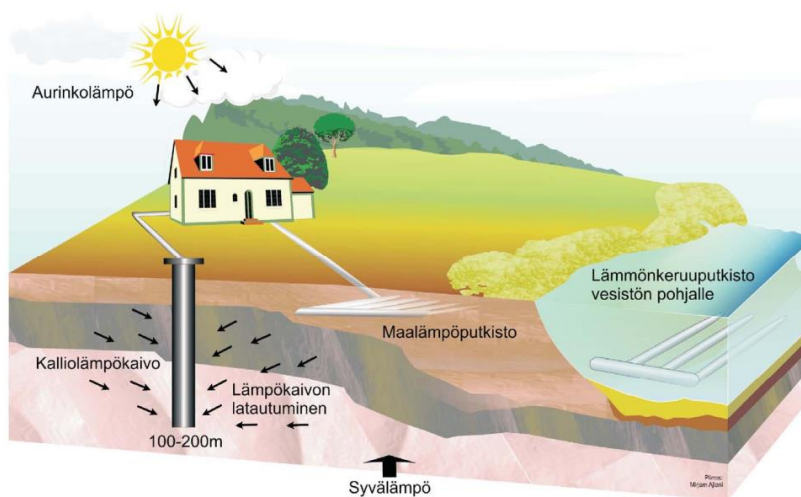
Häviöitä syntyy todellisessa kierto prosessissa höyrystimessä, kompressorissa, lauhduttimessa ja putkistossa. Ne aiheuttavat poikkeamia häviöttömään kierto prosessiin verrattuna. Tämän esittäminen log p, h -tilapiirroksella edellyttää mitattua tietoa prosessin paineista ja lämpötiloista. Mikäli tiedot ovat selvillä, kierto prosessi voidaan mallintaa erittäin tarkasti. Tästä puolestaan on hyötyä erilaisten ongelmatilanteiden selvittämiseen. [9, s. 29–30.]

5.2 Maalämpöjärjestelmä

Maalämpöjärjestelmä koostuu lämpöpumpuista, niihin liittyvistä siirtoputkistoista ja keruupiireistä. Näiden ohella tarvitaan varaaja(t) sekä siihen liitettävien lämmitysjärjestelmien eri laitteet. Maalämpöjärjestelmä on mahdollista mitoittaa täys- ja osatehomitoituksella. Täystehomitoituksella tuotetaan rakennukseen kaikki sen tarvitsema lämmitysenergia vuoden kylmimpinäkin ajanjaksoina. 60–85 % osatehomitoituksella katetaan liki 100 % (90–98 %) rakennuksen vuosittaisesta lämpöenergian kulutuksesta. Osatehomitoituksessa tarvitaan lisälämmitystä kovimmilla pakkasilla. Tämä on mahdollista tuottaa esimerkiksi sähkövastuksilla. [1, s. 10, 31.]

5.2.1 Maalämmön siirtoputkisto ja keruujärjestelmät

Maalämpöpumpun ja keruujärjestelmän välillä meneviä putkia kutsutaan siirtoputkistoiksi. Keruujärjestelmän kasvaessa käytetään jakokaivoja ja niihin asennettavia jakotukkeja, jotka vähentävät siirtoputkiston määrää. Maalämmön keruupiiri asennetaan maaperään, kalliin porattavaan reikään (lämpökaivoon) tai vesistöön. Maalämpöä voidaan hyödyntää myös paaluasennuksessa, jossa lämmönkeruuputket asennetaan rakennuksen paalujen sisään. Näitä kutsutaan myös energiapaaluiksi. Kuvassa 20 on esitetty eri lämmönlähteet, jotka ovat hyödynnettävissä maalämmössä. [17, s. 7–8; 1, s. 8–9.]

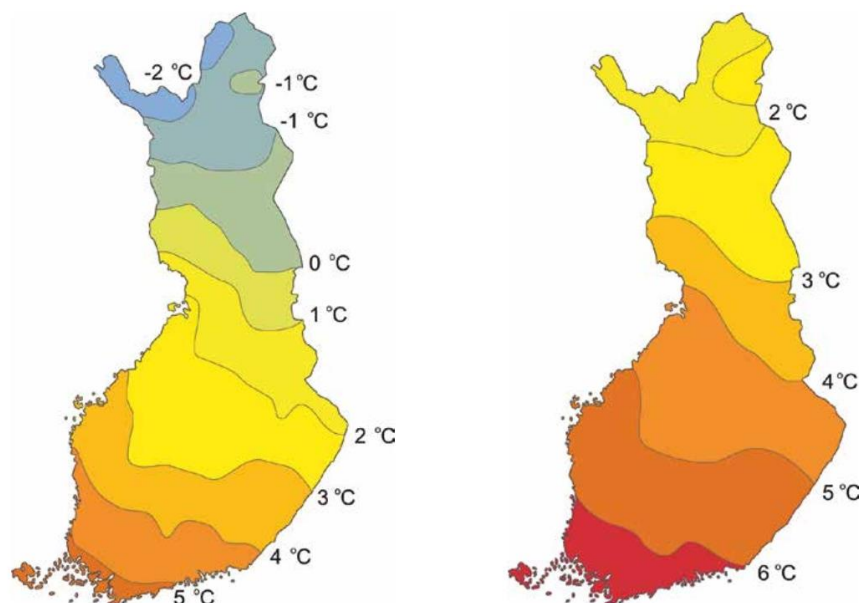


Kuva 20. Maalämmön hyödyntäminen eri lähteistä [32, s. 6].

Maahan tai veteen varastoitunutta lämpöä kerätään talteen upotettujen putkikilkkien avulla, jossa lämpöpumpun höyrystimen jäähdyttämä neste lämpenee. Hyödynnettäessä maaperää lämmönlähteenä, se ennättänee lämmitä kesän aikana normaalilämpötilaan, mikäli sen lämpötilaa ei ole liikaa laskettu. Kesäisin keruupiiriä voidaan hyödyntää rakennuksen jäähdyttämiseen. Näin ollen sillä voidaan samalla parantaa energiakaivon talvista antoisuutta siirrettäessä huoneilman lämpö kallioperään. [16, s. 183; 10, s. 144; 1, s. 10.]

Lämpökaivo

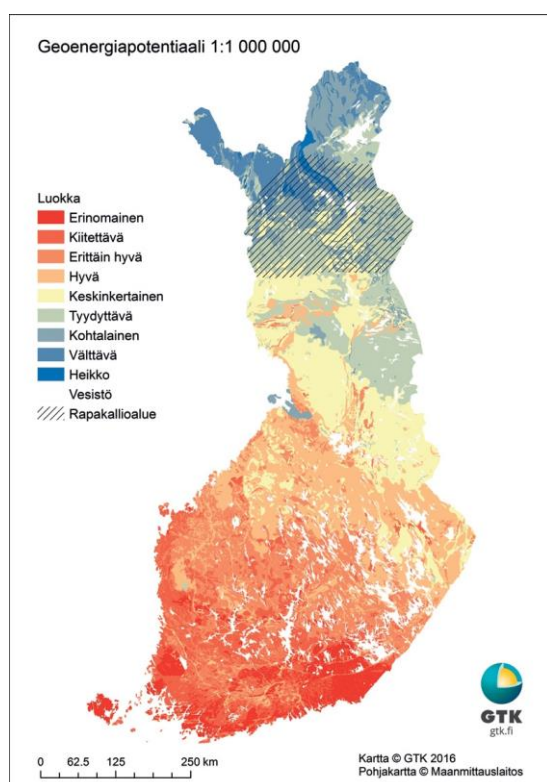
Maapallon pintaosiin varastoitunut lämpöenergia on lähes kokonaan peräisin auringosta ja vähäisessä määrin geotermisestä energiasta. Syvemmillä kallioperässä oleva lämpöenergia on käytännössä kokonaan geotermistä energiaa. Sitä syntyy maan sisuksissa tapahtuvan radioaktiivisen hajoamisen seurauksena. Suomessa maa- ja kallioperän pintaosien vuotuinen keskilämpötila vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan, joka on noin +2 °C astetta korkeampi verrattuna alueella mitattuun ilman vuotuisen keskilämpötilaan. Kuvassa 21 on esitetty Suomen maantieteellisen sijainnin mukaan ilmalämpötilan ja maanpinnan vuotuiset keskiarvovaihtelut. [1, s. 7.]



Kuva 21. Kuvassa vasemmalla ilmalämpötilan vuotuinen keskiarvo vertailukaudelta 1971–2000. Oikealla puolestaan maanpinnan lämpötilan vuotuinen keskiarvo [1, s. 7].

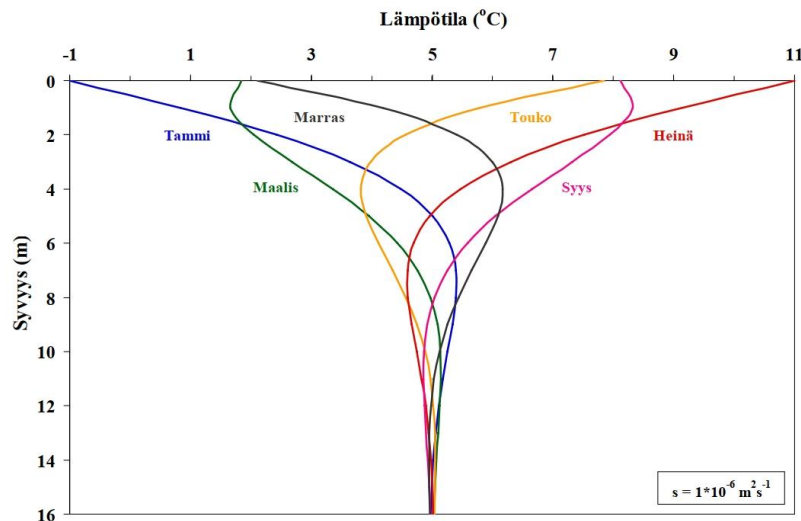
Maa- ja kallioperän lämpötiloissa on alueellisia eroja. Rakennetuilla alueilla lämpötila on useita aseitea korkeampi kuin luonnontilaisessa metsässä. Maanpinnan lämpötila vakiintuu maan eteläosissa. Etelä-Suomessa maaperän lämpötila on noin $+5...+6\text{ °C}$ (14–15 m) syvyydessä. Syvemmällä mentäessä geoterminen energia nostaa kallioperän lämpötilaa noin $+0,5...+1\text{ °C} / 100\text{ m}$. Etelä-Suomessa kallioperän lämpötila voi olla 300 metrin syvyydessä $+6,5...+9\text{ °C}$. [1, s. 7.]

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on julkaissut Suomen geoenergiapotentialikartan (kuva 22), joka kuvaa energiakaivoista saatavaa aluekohtaista potentiaalia. Se riippuu kivilajien lämmönjohtavuudesta, maapeitteen paksuudesta sekä maanpinnan keskilämpötilästä. Pohjois- ja Etelä-Suomen geoenergiapotentialissa on selkeitä eroja, jotka johtuvat pääosin maankamaran lämpötilaerosta. [33.]



Kuva 22. Suomen geoenergiapotentialia [33].

Maan pintalämpötila vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Niiden merkitys katoaa 15 metrin syvyydessä kuvan 23 mukaisesti [32, s. 4].



Kuva 23. Maaperän lämpötila 0–16 metrin syvyydessä eri vuodenaikoina [32, s. 4].

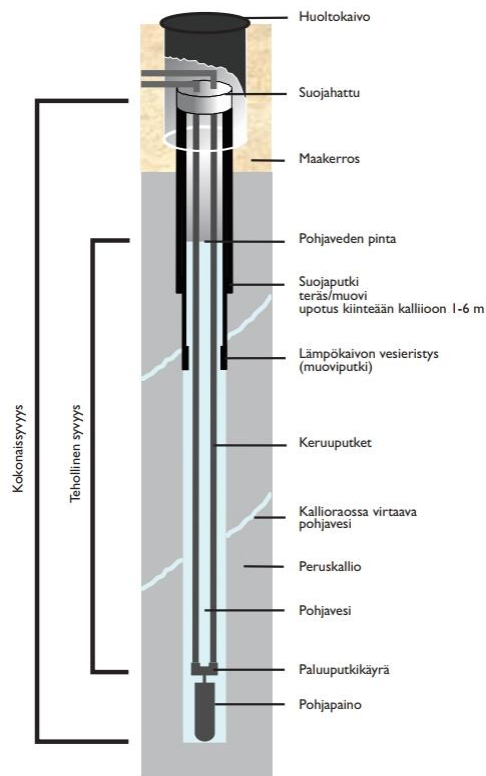
Kallioperän koostumus, sen rikkonaisuus ja pohjaveden liikkeet vaikuttavat kallioperän lämpöominaisuuksiin. Lämmön siirtymistä kallioperästä tehostavat pohjavesi sekä kallioperän rikkonaisuus. [1, s. 7.]

Maa- ja kallioperässä olevaa lämpöenergiaa käytetään ympärivuotisesti lämpöpumpputekniikan avulla rakennuksen ja käyttöveden lämmittämiseen. Samaa laitteistoa voidaan käyttää myös rakennuksen viilentämiseen. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi IV-koneeseen asennettavalla tuloilman jäähdytyspatterilla tai huonetilaan sijoitettavalla puhallinkonvektorilla, jossa maapiirin keruuneste kiertää. Vaihtoehtoisesti voidaan jäähdyttää lattia- tai patteriverkostossa kiertävä kiertovesi erillisellä lämmönsiirtimellä, johon on johdettu maapiirin keruuneste. Jäähdytystä suunniteltaessa tulee huomioida kosteuden tiivistymisen vaikutus. [1, s. 8; 28, s. 60.]

Lämpökaivon rakenne

Porareikien määrä ja lämpökaivojen syvyys riippuu rakennuksen lämmöntarpeesta ja tontin koosta. Syvyys vaihtelee välillä 150–300 metriä ja halkaisija välillä 105–165 mm. Kaivon yläosaan asennetaan suojaputki 1–6 metrin matkalle kiinteään kallioon. Sen tehtävänä on estää irtoaineksen sekä pinnalta valuvien vesien pääsy kaivon yläosan kautta pohjaveteen. Kaivo vesieristetään muovisella eristysputkella vähintään 6 metrin syvyyteen. Pohjavesialueella oltaessa vesieriste asennetaan kallioon asti. Lämpökaivo

täytetään vedellä porauksen jälkeen, mikäli se ei täyty itsestään. Muovisessa keruuputkessa oleva lämmönsiirtoaine yhdessä keruuputken kanssa ovat vettä kevyempiä, joten ne eivät pysy paikallaan ilman pohjapainoa. Sen avulla lämmönkeruuputkisto lasketaan kaivon pohjalle. Kaivon päähän asennetaan vesitiivis suojahattu, joka estää irtoaineksen ja pintavesien pääsyn kaivoon sekä kaivon paineellisen veden purkautumisen ulos. Lämpökaivon rakenne on esitetty kuvassa 24. [1, s. 33, 35.]



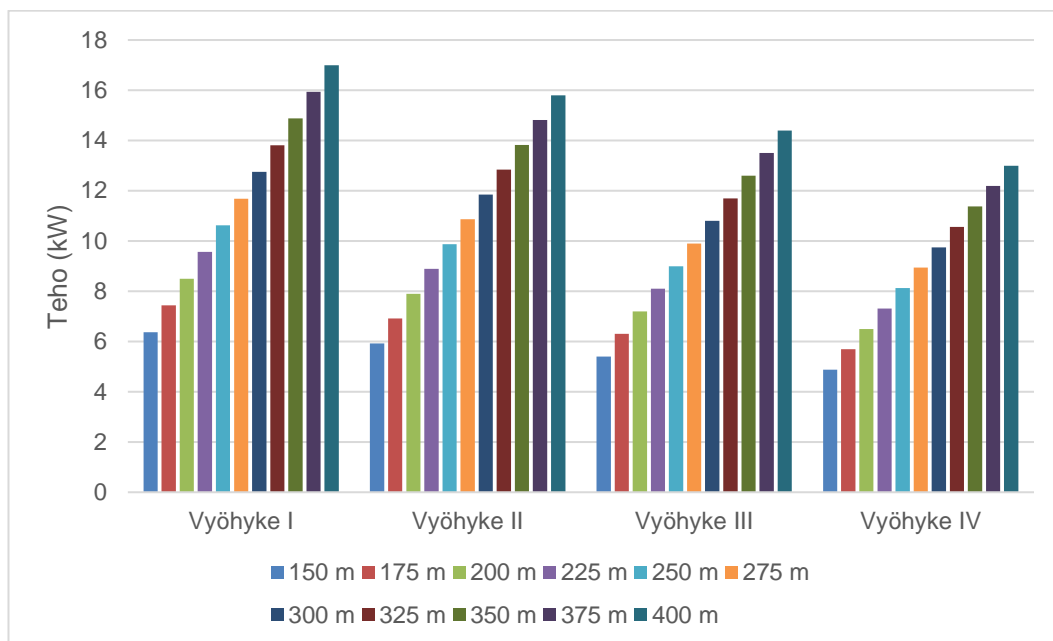
Kuva 24. Lämpökaivon rakenne [1, s. 35].

Lämpökaivon mitoituksen raja-arvot ilmenevät taulukossa 17.

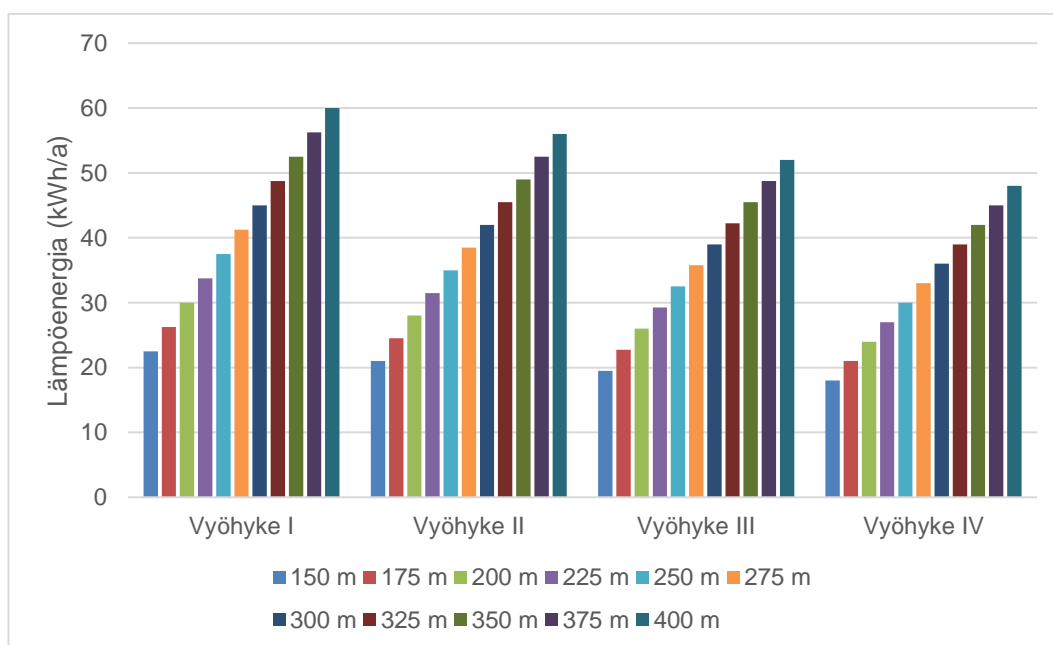
Taulukko 17. Lämpökaivon mitoituksen raja-arvot [35, s. 18].

	Säävyöhyke:			
	Vyöhyke I	Vyöhyke II	Vyöhyke III	Vyöhyke IV
Teho	42–43 W/m	38–41 W/m	34–38 W/m	30–35 W/m
Vuotuinen lämpöenergia	150 kWh/m	140 kWh/m	130 kWh/m	120 kWh/m
Liuoksen keskilämpötila	–2,5...+1 °C	–2,5...+1 °C	–2,5...+1 °C	–2,5...+1 °C

Kuvissa 25 ja 26 on esitetty lämpökaivoista saatava lämpöteho sekä vuotuinen lämpöenergia eri syvyyksissä. Laskelmat on suoritettu taulukon 17 perusteella. Teholaskelmassa on käytetty keskimääräistä tehoa säävyöhykkeellä.



Kuva 25. Eri syvyyksistä lämpökaivoista saatava lämpöteho (kW) Suomen eri säävyöhykkeillä.



Kuva 26. Eri syvyyksistä lämpökaivoista saatava lämpöenergia (kWh/a) Suomen eri säävyöhykkeillä.

Kun maalämpöjärjestelmää varten porataan useita energiakaivoja, puhutaan energia-kentästä. Tässä yhteydessä olisi suositeltavaa käyttää erilaisia mitoitus- ja mallinnusohjelmia energiakaivojen määrän ja riittävän syvyyden varmistamiseksi. Tämä puolestaan takaa energiakaivojen lämpötilatason halutulla aikajaksolla sekä lämpötilan tason kehittymisen tarkastelujakson aikana. Mitoitus- ja mallinnusohjelma huomioi kallioperään vaikuttavat ominaisuudet: lämmönsiirrot, energiakaivojen etäisyyksien vaikutukset ja niiden muodostaman konfiguraation sekä kaivoista ladattavan ja sieltä otettavan lämpöenergian. [17, s. 5.]

Lähtökohtana energiakaivojen mitoituksessa on järjestelmään liitettävän rakennuksen todellinen lämpöteho ja -energian tarve, tulevan maalämpöjärjestelmän koko sekä vuosihyötysuhde (SCOP). Näiden tietojen pohjalta voidaan arvioida energiakaivoista otettavaa huippukuormaa eli suurinta hetkellistä tehoa sekä vuosittaista lämpöenergiaa. [17, s. 5.]

Suosittelvat minimietäisyydet yksittäisestä energiakaivosta muuhun kohteeseen käyvät ilmi taulukossa 18.

Taulukko 18. Energiakaivon porareian suositellut minimietäisyydet eri kohteisiin [17, s. 6].

Kohde:	Suosittelu minimietäisyys:
Energiakaivo	15 m*
Kallioporakaivo	40 m*
Rengaskaivo	20 m
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5**
Kiinteistökohtaisen jäteveden puhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, harmaat vedet 20 m
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket) – 5 m (muiden putket)***
Tunnelit ja luolat	25, etäisyys selvittävä tapauskohtaisesti

* porareian ollessa pystyssä

** porareian ollessa pystysuora, voidaan naapurin luvalla porata lähemmäksi

*** etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivuusyvydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Vaakaputkisto

Kallioperän pinta saattaa joskus olla jopa 100 metrin syvyydessä maakerroksen alla. Silloin lämpökaivon poraaminen maakerroksen läpi ei ole kannattavaa. Ratkaisu tilanteeseen on vaakaputkisto, kunhan käytössä oleva tontti on asennuksille riittävän suuri. [55.]

Syksyllä tai alkutalvella maalämpöpiirissä lämpöä keräävä neste jäädyttää maata. Putken alkupäässä oleva kostea maa jäätyy edeten talven aikana putken loppupäätä kohti. Oikein mitoitettussa järjestelmässä jäätyminen etenee lähelle putken loppupäätä. Mikäli keruupiiri on mitoitettu liian lyhyeksi, se ennättää jäätymään ennen kevättä heikentäen lämmöntuottokykyä. Vastaavasti ylimitoitettussa keruupiirissä putken ympärillä oleva maa on sulana vielä keväällä pitkältä matkalta. [28, s. 60.]

Noin metrin syvyyteen asennettava keruuputkisto ottaa lämmön maasta ja siinä olevasta kosteudesta. Saatava lämpöenergiämäärä riippuu maaperän laadusta. Kuivasta maaperästä energiaa saadaan heikommin kuin kosteasta savimaasta. Tämä ilmenee taulukosta 19. [1, s. 8;34, s. 21.]

Taulukko 19. Viitteellisiä arvoja maakeruuputkistosta saatavasta vuotuisesta lämpöenergiasta ja tehosta [34, s. 21].

Sijainti	Savi:		Hiekka	
	Lämpöenergia	Teho	Lämpöenergia	Teho
Etelä-Suomi ¹	50–60 kWh/m	20 W/m	30–40 kWh/m	14 W/m
Keski-Suomi	40–45 kWh/m	18 W/m	15–20 kWh/m	10 W/m
Pohjois-Suomi ²	30–35 kWh/m	14 W/m	0–10 kWh/m	5 W/m

¹⁾ Kokkola-Savonlinna eteläpuoli

²⁾ Lappia lukuun ottamatta

Vesistö

Rakennuksen lähellä oleva vesistö on erinomainen lämmönlähde, koska lämmityskautena veden lämpötila on ilman lämpötilaa korkeampi. Näin ollen sillä saadaan hyvä lämpökerroin, jota edesauttaa veden lämpötilan vaihteluvälin pienuus. Muovinen kerääjäputki upotetaan pohjaan sitomalla painoja kahden metrin välein. Matalilla rannoilla, joissa putket joudutaan upottamaan pohjan alapuolelle, toimenpide voi aiheuttaa vesistön

väli aikaista samentumista ja ravintoaineiden vapautumista. Jos putkia on paljon, ja järvi on pieni, on se omiaan vaikuttamaan vesistön lämpö- ja happitalouteen: putkiston vaikutuksesta vesistö lämpenee kesällä ja jäähtyy talvella. Vesistöön tulevan putkiston mitoituksen raja-arvot on esitetty taulukossa 20. [16, s. 187; 1, s. 9; 35, s.18.]

Taulukko 20. Vesistöön asennettavan putkistomitoituksen raja-arvot [35, s. 18].

	Sävyöhyke:			
	Vyöhyke I	Vyöhyke II	Vyöhyke III	Vyöhyke IV
Lämpöenergia	90 kWh/m	80 kWh/m	70 kWh/m	50 kWh/m
Teho	20 W/m	20–25 W/m	15–20 W/m	15–20 W/m
Liuoksen keskilämpötila	+1...+2 °C	+1...+2 °C	+1...+2 °C	+1...+2 °C

Asennetuissa putkissa on omat ongelmansa: ne vaikeuttavat kalastusta, estävät veneiden ankkuroinnin ja vesialueen ruoppaamisen. Putkiston merkitseminen vesistössä vaikuttaa puolestaan vesimaisemaan. Tämän lisäksi putkistojen asennus vesistöön on yleensä työlästä. Sitä varten kotimainen *GeoPipe GP Oy* on kehittänyt vesistövaihtimen, WHCEP mini (kuva 27). Se kerää vesistöstä energiaa, jota lämpöpumpun avulla pystytään hyödyntämään lämmityksessä. [1, s. 9; 64.]



Kuva 27. WHCEP Mini vesistövaihdin / GeoPipe GP Oy [64].

Vesistövaihtimella on seuraavanlaisia etuja [64.]:

- edullinen (50 % lämpökaivon hinnasta)
- helppo ja nopea asennus
- betonilla täytettävät runkoputket toimivat painona, jolloin erillisiä painoja ei tarvita vaihtimessa
- energian kerääminen on tehokkaampaa, kun putket ovat aidosti vedessä eivätkä pohjamudassa
- vedessä (+4 °C) nimellisteho 9,6 kW
- sopii käytettäväksi viilennykseen
- asennus onnistuu talvella.

5.2.2 Lämmönkeruuneste

Lämmönkeruunesteenä käytetään yleensä 28–30 massaprosentin vesietanoliliuoksia. Keruupiiristä riippumatta sitä voidaan käyttää alimmillaan –17 °C:n käyttölämpötilassa. Lämmönkeruunesteen lämpötila voi käydä alle 0 °C:n alapuolella. Tuolloin etanoli toimii jäänestoaineena. Liuoksessa on mahdollista käyttää lisäaineita, esim. korroosioinhibiittejä. Eri valmistajien lämmönkeruuliuosten sekoittamista keskenään ei suositella, koska tuolloin ei voida varmistua käyttöturvallisuustiedotteen paikkansa pitävyydestä eikä arvioida, millä tavalla liuos käyttäytyy ympäristössä mahdollisen vuodon tapahtuessa. [17, s. 7.]

5.2.3 Maalämpöpumppu

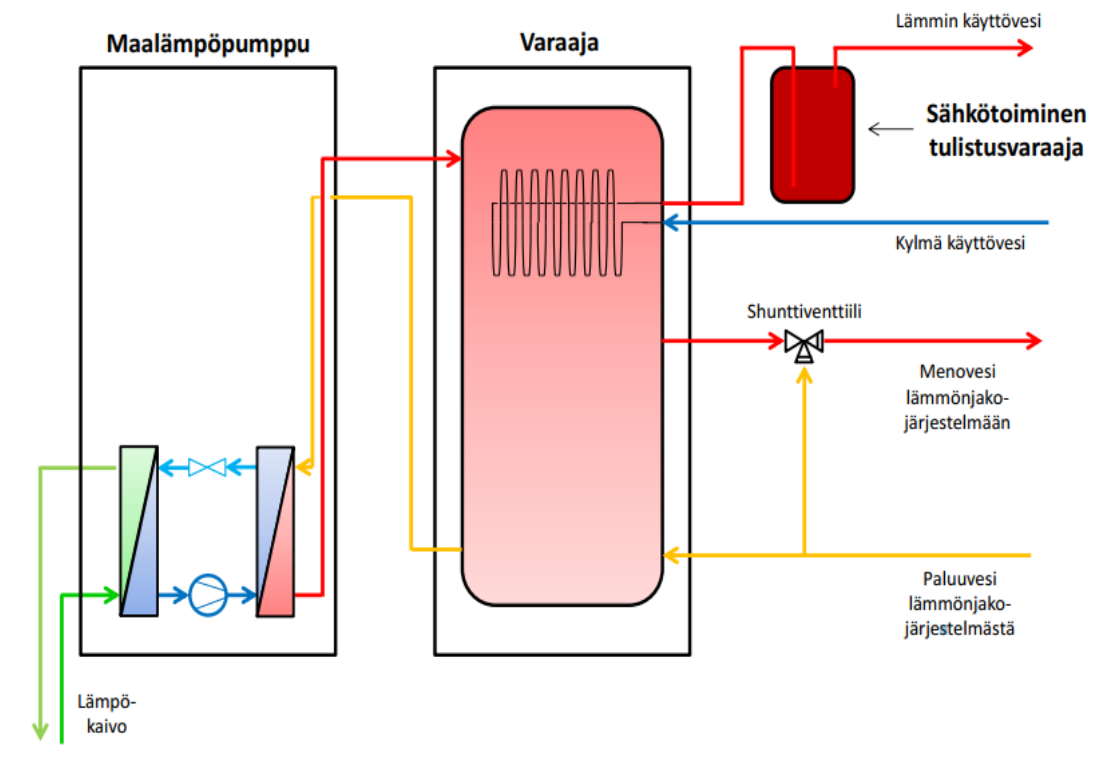
Keruupiirin putkilenkeissä kiertävä lämmennyt neste menee maalämpöpumpun höyrystimeen, jossa lämpö nostetaan korkeampaan lämpötilaan sähkön avulla. Lauhduttimelta lämpö (noin +60 °C) siirretään vesivaraajaan. Tässä lämpöpumpputyypissä keruu ja luovutus ovat kaikkein tehokkaimmillaan. [16, s. 183; 28, s. 32; 1, s. 10.]

Maalämpöpumppu soveltuu hyvin matalan lämpötilan lämmönjakojärjestelmien lämmönlähteeksi, esimerkiksi vesikiertoiseen säteily-, lattia- ja mahdollisesti radiaattorilämmitykseen. Viimeksi mainitussa pattereiden kokoja joudutaan suurentamaan tai lukumäärää

lisäämään matalan lämpötilan tarvitseman suuremman patteripinta-alan vuoksi. Perustoimintaperiaate eri lämpöpumpputyypeissä on samankaltainen. Suurimmat erot niiden välille syntyvät lämpöpumpputyypin tavasta ohjata maalämmöllä lämmitettyä vettä niin tilojen kuin niiden tarvitseman käyttövedenkin lämmitykseen. Jokaisella lämpöpumpputyypillä on luonnollisesti omat vahvuutensa ja heikkoutensa, jotka puoltavat niiden valintaa. Oikeanlaisen lämpöpumpputyypin valinnalla on suuri merkitys tulevaan sähkönkulutukseen, käyttömukavuuteen ja toimintavarmuuteen. [12, s. 107;1. s. 10; 50, s. 6.]

Kiinteän lauhtumislämpötilan maalämpöpumppu

Tässä lämpöpumpputyypissä (kuva 28) lämmennyt vesi johdetaan suoraan erilliseen varaajaan, josta lämpöä ohjataan käyttöveteen ja lämmitykseen. Suuri varaaja takaa pumppulle pitkät käyntijaksot, jolloin kompressori käynnistyy harvakseltaan, joka lisää puolestaan sen käyttöikä. [50, s. 6.]



Kuva 28. Kiinteän lauhtumislämpötilan maalämpöpumpun periaatekytkentä [50, s. 6].

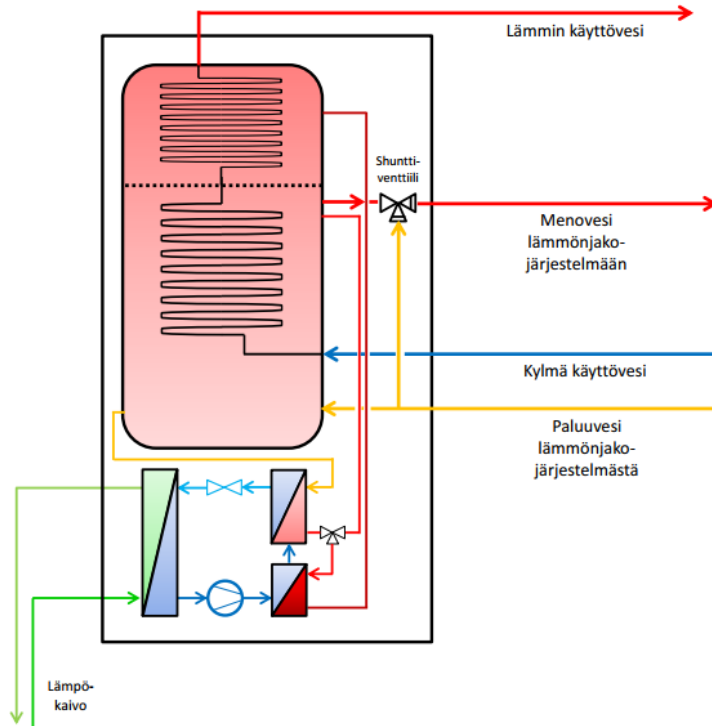
Lämpöpumppua ohjataan yleensä käyttöveden lämmitysvaatimusten mukaan, jotta varaajassa riittäisi kuumaa vettä lämpimän käyttöveden saannin turvaamiseksi siksi lämpöpumpun lauhtumislämpötilan on oltava korkea. Kuuman veden jatkuva tuotto aiheuttaa muita pumpputyyppejä suuremman sähkön kulutuksen. [50, s. 7.]

Maalämpöpumpun käynnistyminen sekoittaa varaajan lämpökerrostuman: yläosan lämpimään veteen sekoittuu varaajan alaosan viileämpi vesi. Sekoittumisen seurauksena käyttövesikierukan ympärille ei saada riittävästi lämpöä. Tämän takia järjestelmässä käytetään usein pientä sähkötoimista käyttövesivaraajaa, jolla varmistetaan käyttövedestä puuttuva lämpö. [50, s. 7.]

Tulistusmaalämpöpumppu

Tässä lämpöpumpputyypissä (kuva 29) lämpöä tuotetaan tavanomaisen lämpöpumpun tapaan. Yhden lämmönsiirtimen sijasta käytetään kahta lämmönsiirrintä, joiden kautta ohjataan kompressorilla tuotettu lämpö talon ja käyttöveden lämmittämiseen. Ensimmäistä heti kompressorin jälkeen sijaitsevaa lämmönsiirrintä kutsutaan tulistuksen poistolämmönsiirtimeksi. Kompressorin tuottamasta kuumasta kaasusta otetaan heti pieni määrä lämpöä (+70...+90 °C) talteen siirtämällä lämpöenergia lauhduttimella esilämmitettyyn veteen. Tulistimen poistolämmönsiirtimestä jäljelle jäänyt lämpö ohjataan lauhduttimeen, josta se siirretään tilojen lämmitykseen. [50, s. 7.]

Lämminvesivaraajassa tulistimen poistolämmönsiirtimestä lämpö ohjataan varaajan yläosaan ja lauhduttimelle lämpö alaosaan. Niiden väliin tulee varaajaan reikälevy, joka mahdollistaa veden liikkumisen osien välillä kuitenkin niin, että lämpötilat pysyvät niissä erilaisina. [50, s. 8.]



Kuva 29. Tulistusmaalämpöpumpun periaatekytkentä [50, s. 6].

Järjestelmästä saatava vesi on sitä kuumempaa, mitä vähemmän lauhduttimesta ohjataan esilämmennettyä vettä tulistimeen. Tilojen lämmittämiseen sen sijaan saadaan vähemmän lämpöä lauhduttimesta, mitä enemmän tulistimen poistolämmönsiirrin luovuttaa lämpöä käyttöveteen. [50, s. 8.]

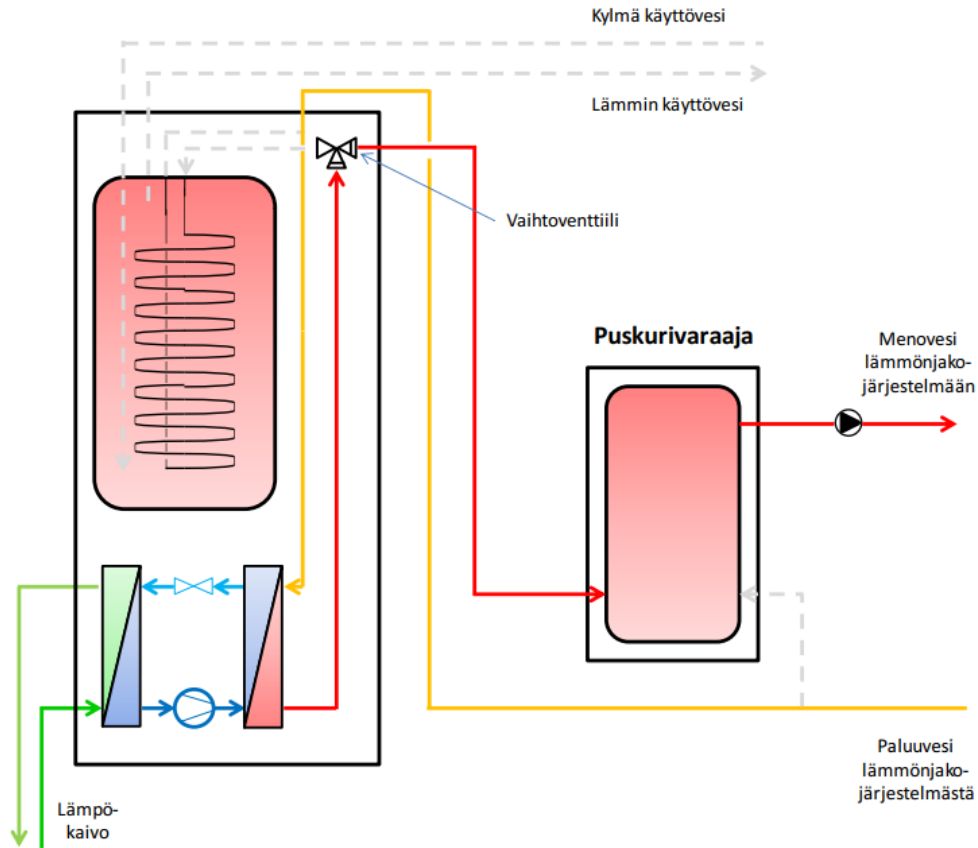
Tulistimen poistolämmönsiirtimen teho kompressorin tehosta on noin 15–20 %. Käyttöveden lämmittäminen on hidasta ja se tuo pitkiä käyntiaikoja kompressorille. Tuolloin suurin osa tehosta ohjautuu lauhduttimeen. Talvisin tästä lämmöstä päästään helposti eroon. Toisin kuin kesällä, jolloin tulistimen poistolämmönsiirtimestä syntynyt hyöty vähenee. Rinnakkaistoimivuutta voitaneen pitää tulistusmaalämpöpumpun heikkoutena. Lämpöä syntyy samanaikaisesti käyttöveteen, kun tiloja lämmitetään. Käyttövettä lämmittäessä saadaan lämpöä varaajan alaosaan. Sitä tuotetaan helposti yli tarpeen, kun käyttäjien tarpeet käyttöveden osalta eivät välttämättä istu lämpöpumpun käyntirytmihin. Rinnakkaistoimivuuden haittoja on mahdollista pienentää käyttämällä isompaa varaajaa. [50, s. 8.]

Vaihtuvan lauhdutuslämpötilan maalämpöpumppu

Tämä lämpöpumpputyyppe (kuva 30) mahdollistaa lämmön tuottamisen joko käyttöveden tai tilojen lämmittämiseen. Sen koko teho kohdistetaan hetkellisesti käyttövesivaraajassa olevaan kierukkaan, joka lämmittää käyttöveden nopeasti tavoitelämpötilaan. Lämmintä vettä saadaan tarvittaessa tuotettua nopeasti. [50, s. 9.]

Lämpöpumpun tuottama lämpimän veden suunta kääntyy vaihtoventtiilin avulla talon lämmitysverkostoon päin, kunhan käyttövesivaraajan lämpötila on saavuttanut tavoitearvonsa. Ulkolämpötilan ohjaamana tuotetaan lämpö suoraan lämpöverkkoon oikean lämpöisenä. Koska kovat pakkaset ovat lämmityskaudella harvinaisia, lämpöpumpulla tuotetaan matalalämpöistä vettä pitkiä ajanjaksoja. Sen tuottaminen tarpeen mukaan taanneenkin lämpöpumpulle hyvän vuosilämpökertoimen. Sähkökulutus tässä lämpöpumpputyypissä on pienempi saavutettuun energiamäärään nähden, kun sitä verrataan kiinteä lauhtumislämpötilan maalämpöpumppuun ja tulistusmaalämpöpumppuun. [50, s. 9.]

Lämpöpumppujen käyttöikäen vaikuttaa käyntikertojen määrä. Pumpun käydessä lämpimänä tapahtuu voitelu laitteistossa automaattisesti ja näin ollen käyminen ei juurikaan kuluta laitteistoa. Kylmän laitteiston voitelu toimii heikommin käynnistymisen jälkeen, jolloin kuluminen laitteistossa on suurempaa. Oikean kokoinen puskurivaraaja lisää verkostoon vesimassaa. Se pidentää pumpun käyntiaikaa parantaen näin pumpun lämpökerrointa. Samalla laitteiston käyttöikä kasvaa. [50, s. 9–10.]



Kuva 30. Vaihtuvan lauhdutuslämpötilan maalämpöpumpun ja puskurivaraajan periaatekytkentä [50, s. 9].

Inventteriohjattu maalämpöpumppu

Inventteriohjattu maalämpöpumppu vastaa tekniikaltaan vaihtuva lauhdutuslämpötilan maalämpöpumppua. Tosin laitteistossa säädetään kompressoria ja kiertovesipumppuja portaattomasti tehon tarpeen mukaan. Laitteisto käy kaikissa olosuhteissa oikealla teholla, joka taanneen sille hyvän lämpökertoimen. Sähkön kulutus voi pienentyä 15 % tavanomaiseen vaihtuvan lauhdutuslämpötilan maalämpöpumppuun nähden. [50, s. 11.]

Inventteriohjattua maalämpöpumppua käytetään käytännössä täystehomitoitettuna. Kovilla pakkasilla lämpöpumppu nostaa maalämpötehoaan eikä kytke sähkövastuksia päälle tavanomaisen lämpöpumpun tapaan. Keruupiiristä on löydettävä lämpöteho kattamaan kovimmatkin lämmitystarpeet. Tämä lämpöpumpputyypin on hivenen kalliimpi tavanomaisiin lämpöpumppuihin verrattuna. Myös täystehomitoitusta varten tarvittava suurempi keruujärjestelmä kasvattaa investoinnin hankintahintaa. [50, s. 12.]

5.2.4 Varaajat

Maalämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia siirretään varaajan veteen. Sillä voidaan lämmittää käyttövettä ja lämmitysverkostoja. Lisäksi varaajan avulla saadaan lisättyä lämmitysjärjestelmän vesitilavuutta, mikä vakauttaa lämmitysjärjestelmää. Samalla lämpöpumpun käyntijaksot pidentyvät, mikä lisää sen käyttöikä. Kuvassa 31 on esitetty maalämpöjärjestelmän energiavaraaja. [16, s. 183; 58.]



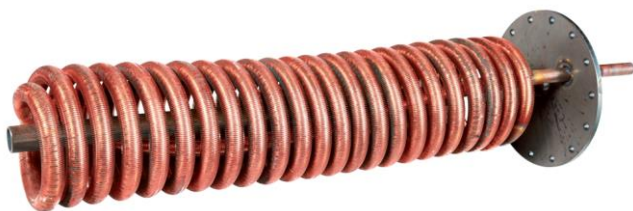
Kuva 31. Maalämpöjärjestelmän energiavaraaja [58].

Varaajan lämpöhäviöön vaikuttaa sen tilavuus sekä sen ympärillä oleva eristeen paksuus. Taulukossa 21 on esitetty näistä osatekijöistä riippuva varaajan vuotuinen lämpöhäviö.

Taulukko 21. Varaajan vuotuiset lämpöhäviöt [30, s. 45].

Varaajan tilavuus (l)	Varaajan lämpöhäviö, Q_{kv} , varastointi (kWh/a)	
	40 mm eriste	100 mm eriste
50	440	220
100	640	320
150	830	420
200	1000	500
300	1300	650
500	1700	850
1000	2100	1100
2000	3000	1500
3000	4000	2000

Käyttöveden lämmitys toteutetaan varaajaan asennettavilla käyttövesikierukoilla. Kuvassa 32 on esitetty varaajaan asennettava käyttövesikierukka [57].



Kuva 32. Varaajaan asennettava käyttövesikierukka [57].

Taulukossa 22 on esitetty *Gebwell Oy:n* lämminvesikierukoiden tekniset tiedot.

Taulukko 22. *Gebwell Oy:n* lämminkäyttövesikierukan tekniset tiedot [57].

Malli:	Maksimi virtaama (l/s)	Kupari-putken pituus (m)	Lämmönsiirtopinta-ala (m ²)	Yhde DN/UK	Laipan halkaisija (mm)	Sovelta- vuus säiliön tilavuus (l)
LK35 kierukka	0,5	9	2,1	20	200	501–5000
LK45 kierukka	0,5	12	2,8	20	200	500–5000
LK55 kierukka	1,0	2x6	2,8	32	200	1000–5000
LK65 kierukka	1,0	2x9	4,2	32	200	2000–5000
LK90 kierukka	1,0	2x12	5,7	32	200	2000–5000
LK110 kierukka	1,5	3x9	6,4	40	300	2000–5000

Maalämpöjärjestelmään tulee monesti puskuri- ja energiavaraajien lisäksi sähköinen käyttövesivaraaja, jolla lämmitetään energiavaraajasta tuleva lämmin käyttövesi +55 °C:sta +58 °C:seen.

Varaajat varustetaan yhdellä tai useammalla sähkövastuksella, joilla varmistetaan varaajan toiminta silloin kun maalämmitysjärjestelmä kytkeytyy pois päältä tai siihen tulee toimintahäiriö. Sähkövastukset on varustettu termostaateilla ja rajoitinyksiköllä. Kuvassa 33 on *Gebwell Oy:n* sähkövastus. [57.]



Kuva 33. Gebwell Oy:n sähkövastus [57].

Taulukossa 23 on esitetty *Gebwell Oy:n* eri vastustyyppien tekniset tiedot.

Taulukko 23. Gebwell Oy:n sähkövastusten tekniset tiedot [57].

Malli:	Teho (kW)	Materiaali	Yhde	Pituus (mm)	Upotussyvyys (mm)	Kylmäosa (mm)
Sähkövastus 2 kW	2,0	AISI 316 L	2"	254	240	95
Sähkövastus 3 kW	3,0	AISI 316 L	2"	269	255	95
Sähkövastus 5 kW	5,0	AISI 316 L	2"	399	385	95
Sähkövastus 6 kW	6,0	AISI 316 L	2"	399	385	95
Sähkövastus 9 kW	9,0	AISI 316 L	2"	455	441	95
Sähkövastus 10 kW	10,0	AISI 316 L	2"	455	441	95
Sähkövastus 12 kW	12,0	AISI 316 L	2"	530	516	95

5.2.5 Maalämpöjärjestelmän tekninen tila

Maalämpöpumppu ja sen laitteisto pyritään sijoittamaan sellaiseen tekniseen tilaan, jossa sen huolto ja ylläpito on mahdollisimman helppoa. Maalämpöpumpuista syntyy aina ääntä niiden ollessa käynnissä. Suunnittelussa tulee näin ollen aina huomioida laitteistosta tulevat käynti- ja runkoäänet. Äänien kulkeutumista rakenteeseen voidaan vähentää käyttämällä tärinänvaimennusta ja liikuntasauvoja rakenteissa. Äänieristystä lisäämällä voidaan parantaa ilmääänien eristävyttä rakenteisiin käyttämällä putkistoissa joustavia liittimiä ja ääntä vaimentavia kannakkeita. Laitteistoa ei kannata sijoittaa tilaan, joka halutaan pitää täysin hiljaisena. [17, s. 5; 1. s. 10.]

Mikäli lämmönkeruuliuosta on teknisessä tilassa suuria määriä, tulee ilmanvaihto suunnitella ja toteuttaa siten, että höyrystyvän etanolin pitoisuus ei ylitä syttymisrajaa mahdollisessa vuototilanteessa. Ilmanvaihdon mitoituksessa tulee huomioida myös tilan

lämpökuormat sekä viranomaisarvot. 3D-suunnittelun avulla varmistetaan riittävät asennus- ja huoltotilat maalämpöjärjestelmien kaikille laitteille. [17, s. 5.]

5.3 Maalämmön investointi- ja käyttökustannukset

Maalämpöjärjestelmän hankintakustannukset muodostuvat keruuputkijärjestelmästä, maalämpöpumpuista, paisunta- ja täyttösäiliöstä, lämmönvaraajista sekä käyttöveden, IV- ja lattialämmityspiirin säätöryhmistä. Lisäksi järjestelmä liitetään rakennusautomaatiojärjestelmään, josta on mahdollista suorittaa järjestelmän edellyttämät säädöt ja mitaukset.

Maalämmön käyttökustannukset muodostuvat maalämpöjärjestelmän käyttämästä sähköenergiasta. Järjestelmän lämpökertoimella on vaikutusta sähkönkulutukseen. Matalalämpöjärjestelmissä lämpökerroin on 4–5 ja käyttöveden valmistuksessa vastaavasti noin 3. Maalämpöjärjestelmän lämpökerroin saadaan sitä korkeammaksi mitä matalammalla lämpötilalla rakennuksen lämmitysjärjestelmä toimii. Siksi se soveltuu erityisen hyvin kohteisiin, joissa on matalalämpöinen lämmönjakotapa, kuten säteily- tai lattialämmitys. [12, s. 86.]

5.4 Maalämpölaitteiden käyttöikä ja huolto

Maalämpöjärjestelmässä keskimääräinen tekninen käyttöikä on noin 25–30 vuotta. Lämpöpumpun kompressorissa se on tätä lyhyempi, jonka vuoksi se joudutaan vaihtamaan 10–15 vuoden välein. Rakennuksen ulkopuolisen keruupiirin käyttöikä on yhtä pitkä rakennuksen käyttöiän kanssa. Maalämpöjärjestelmän suositeltu tarkastus- ja huoltoväli on kerran kuukaudessa. Maalämpölaitteiden keskimääräiset tekniset käyttöiät, tarkastus- ja huoltovälit sekä kunnossapitajakset on esitetty taulukossa 24. [49, s. 15.]

Taulukko 24. Maalämpölaitteiden keskimääräiset tekniset käyttöiät [49, s. 15–17].

LVI-järjestelmä:	Laitteisto:	Keskimääräinen tekninen käyttöikä:	Tarkastus- / huoltoväli:
Lämpöpumppu (maalämpö)	Maalämpöpumppu	25–30 v	1 kk
	Kompressori	10–15 v	1 kk
	Maapiiri	Rakennuksen ikä	1 kk
Pumput		20–25 v	12 kk
Venttiilit		20–25 v	12 kk
Paisunta- ja varolaitteet		20–25 v	12 kk
Putkistovarusteet		Uusitaan tarvittaessa	12 kk

5.5 Lainsäädäntö

Maalämpöjärjestelmän keruuputkiston asentaminen on aina luvanvaraista. Maanalaiset rakenteet ja pohjavesialueet sekä suojellut alueet voivat asettaa rajoituksia keruuputkiston toteutukselle. Tästä syystä rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa paikkakunnan rakennusvalvonnasta on syytä varmistaa mahdollisten lupien tarve. Uudiskohteissa rakennusluvan yhteydessä tulee hakea lupa myös energiakaivojen rakentamiseen. I- ja II-luokitetuille pohjavesialueille tulevat energiakaivot voivat vaatia vesilain mukaisen luvan. Nämä luvat käsittelee aluehallintovirasto (AVI). Maalämpöjärjestelmän keruuputkiston toteutuksen mahdollisia lainsäädännöllisiä seikkoja ovat [17, s. 3.]:

- maankäytön ja rakennuksen lait ja asetukset sekä näiden lakien muuttaminen
- vesilaki
- kiinteistömuodostamislaki
- ympäristösuojelulaki
- kemikaalilaki
- muinaismuistolaki
- terveydensuojelulaki
- erilaiset ympäristöministeriön asetukset
- kuntien ympäristösuojelumääräykset ja rakennusjärjestys.

5.6 Muut lämpöpumpputyypit

Maalämpöpumpun lisäksi on olemassa muita lämpöpumpputyyppejä, jotka on esitetty seuraavaksi.

5.6.1 Ilmalämpöpumppu (ILP)

Ilmalämpöpumppu kerää ulkoilmasta lämpöenergian luovuttaen sen rakennuksen sisäilmaan. Se on rakenteeltaan pumpputyypeistä yksinkertaisin, ja sen voi käytännössä asentaa helposti jälkeinpäin jokaiseen rakennukseen. Heikkoutena ilmalämpöpumpussa on se, että sen lämmöntuotantokyky on ristiriidassa rakennuksen lämmöntarpeen kanssa. Leudolla säällä se tuottaa runsaasti lämpöä, jolloin rakennuksen lämmön tarve on kuitenkin vähäinen. Vastaavasti pakkaskeleillä, jolloin lämmölle olisi käyttöä, ilmalämpöpumppu saa ulkoilmasta energiaa vähiten irti. Tästä syystä se ei sovellukaan ainoaksi lämmönlähteeksi Suomen sääoloissa. [28, s. 32.]

Ilmalämpöpumppu koostuu tavallisimmin ulko- ja sisäyksiköstä. Ensin mainittu sisältää ilmasta lämpöä ottavan patterin (höyrystimen), kompressorin sekä automatiikan. Höyrystinpatterin matala pintalämpötila saa ulkoilman sisältämän kosteuden huurtumaan patterin pintaan. Se on voimakkaimmillaan ulkolämpötilan ollessa noin 0 °C:ssa haitaten ulkoyksikössä lämmön siirtymistä ja ilman virtausta. Tästä syystä huurre on ajoittain poistettava sulattamalla. Pohjoismaihin suunnitelluissa lämpöpumpuissa sulatus toimii automaattisesti. Sisäyksikössä on puhallinpatteri (lauhdutin), joka kierrättää lämmitettävää ilmaa huonetilassa. Puhaltimessa on yleensä useita tehoportaita, joiden tarkoituksena on vähentää puhaltimen ääntä pienen lämmöntarpeen aikana. [15, s. 95.]

Ilmalämpöpumpun ominaisuudet ovat parhaimmillaan silloin, kun sisä- ja ulkolämpötilojen lämpötilaero on mahdollisimman pieni. Ulkolämpötilan laskiessa ilmalämpöpumpun lämpökerroin laskee nopeasti. Kovemmissa pakkasilla ulkolämpötilan ollessa –25...–30 °C COP-arvo saattaa olla jo alle 1, jolloin lämmitysenergia on järkevämpää tuottaa muilla keinoin. [28, s. 32.]

5.6.2 Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP)

Ilma-vesilämpöpumppu kerää lämpöenergian ulkoilmasta ja luovuttaa sen rakennuksen lämmitykseen vesikierron avulla. Järjestelmä on investointikustannuksiltaan maalämpöjärjestelmä edullisempi, koska se ei vaadi erillistä keruupiiriä. Ulkoyksikön lämmönkeruukyky on samanlainen ilmalämpöpumpun kanssa. Tämä lämmitysjärjestelmä sopii silti varauksin rakennuksen ainoaksi lämmönlähteeksi, sillä kovilla pakkasilla se voi tuottaa lämmön sähkövastuksilla tai ennestään talossa olevalla lämmönlähteellä. Kuvassa 34 on esitetty ilma-vesilämpöpumppu. [12, s. 87–88; 28, s. 32.]



Kuva 34. Ilma-vesilämpöpumppu [28, s. 37].

5.6.3 Poistoilmalämpöpumppu (PILP)

Tämä lämpöpumpputyyppe kerää poistoilmasta lämpöenergian poistoilmavirtaan asennettavalla lämmönsiirtimellä. Lämpö siirretään lämpöpumpun höyrystimelle liuosputkistolla. Lämpöpumpun tuottama lämpö johdetaan rakennuksen lämmitykseen vesikierron avulla. Poistoilmavirta määräytyy ilmanvaihtotarpeesta eikä poistoilma voi huurtumisen takia jäädyttää alle +0 °C:n, mikä rajoittaa laitteistosta saatavaa tehoa. Järjestelmä sopii täydentämään hyvin rakennuksen muita lämmitysjärjestelmiä. Näin ollen se on omiaan alentamaan kiinteistön vuosittaisia lämmityskustannuksia. [28, s. 32.]

5.7 Lämpöpumppujen lämpökertoimet

Lämpöpumppujen COP-arvona käytetään laitevalmistajan antamia arvoja. Taulukossa 25 on esitetty keskimääräisiä lämpökertoimia lämpöpumpuille eri käyttötilanteissa.

Taulukko 25. Lämpöpumppujen keskimääräiset lämpökertoimet lämmityskaudella ja käyttöveden valmistuksessa [12, s. 117].

Lämpöpumpun tyyppi:	Lämmitys- kauden läm- pökerroin ²	Lämpökertoimet [-] eri ulkolämpötiloissa °C ja osatehoilla, %			
		-15 °C/	-7 °C/	2 °C/	7 °C/
		100 %	100 %	50%	50%
Maalämpöpumppu, lattialämmitys 40 °C/33 °C tai 35 °C/30 °C	3,5				
Maalämpöpumppu, patterilämmitys 50 °C/35 °C	3,0				
Maalämpöpumppu, lämpimän käyttöveden valmistus	2,7				
Poistoilmalämpö- pumppu ³	4,0				
Ilmalämpöpumppu ⁴		2,0	2,4	3,0	4,0
Ilma-vesilämpöpumppu, lattialämmitys ⁴		1,7	2,1	2,7	3,5
Ilma-vesilämpöpumppu, lämpimän käyttöveden valmistus	2,3				
¹	Lämpökertoimeen huomioitu kompressorin, kiertopumpun ja apulaitteiden ottama sähköteho				
²	Lämpimän käyttöveden valmistuksen vuosihyötysuhde				
³	Poistoilman lämpötilaero 16 °C (21 °C–5 °C), käyttöveden valmistukseen käytetään osa lämpöpumpun tehosta				
⁴	Ulkolämpötila vaikuttaa oleellisesti lämpöpumpun tehoon ja lämpökertoimeen				

6 Elinkaarikustannuslaskenta

Rakennus on luokiteltavissa teknilliseksi tuotteeksi, joten vuosien saatossa sen rakennusosat kuluvat ja vanhenevat. Teknistaloudellisessa mielessä rakennuksen keskimääräinen ikä on 50–60 vuotta. Käyttöikä voidaan periaatteessa jatkaa loputtomasti rakennusosia uusimalla. Ulko- ja sisäpinnat sekä talotekniikka uusitaan keskimäärin 25–50 vuoden välein. Rungon käyttöikä rakennuksessa vaihtelee sadasta tuhanteen vuoteen, sen kustannusosuus on kuitenkin vain noin 30 %. 50–60 vuoden välein rakennus

joudutaan rakentamaan lähes uudelleen rahoitusmielessä (70 %), mikäli sen käyttöä halutaan jatkaa. [51, s. 11.]

Elinkaarikustannuslaskelmilla (LCC, Life Cycle Cost) arvioidaan järjestelmän kannattavuutta sekä kustannuksia, joita syntyy elinkaaren aikana. Niitä varten selvitetään investointien kulut ja niistä saatavat säästöt. Kiinteistötekniikassa elinkaarikustannukset koostuvat investoinneista, käyttökustannuksista ja käytöstäpoistokuluista. Investoinnilla tarkoitetaan laitehankintaa, jonka jälkeen tehdään tarvittavat asennustyöt ja tämän jälkeen käyttö alkaa. Käyttökustannukset sisältävät energia- ja ylläpito-/huoltokustannukset. Niistä muodostuu yleensä suurin kustannus laitteen elinkaaren aikaisista kustannusmuodoista. Käytöstäpoistokuluilla tarkoitetaan laitteen eliniän päätyttyä siitä aiheutuneita työ- ja kierrätyskustannuksia. [29; 42.]

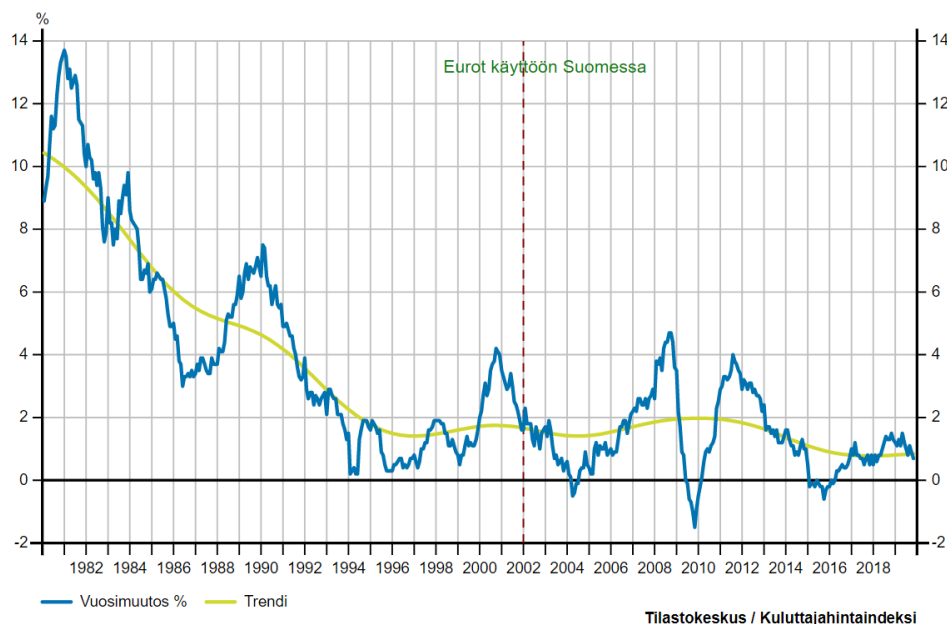
6.1 Inflaatio, hyperinflaatio ja deflaatio

Rahan arvo muuttuu ajan kuluessa sekä inflaation että deflaation seurauksena.

6.1.1 Inflaatio

Inflaatiolla tarkoitetaan rahan arvon heikentymistä ja hintatason nousua, joka vaikuttaa kuluttajatuotteiden hintojen nousuun. Sama rahamäärä ei riitä tuotteiden/palvelujen ostamiseen entiseen tapaan ja rahamääräiset säästötkin menettävät arvoaan. Vastaavasti reaaliomaisuudessa esimerkiksi kiinteistöissä niiden nimellinen arvo kasvaa. Inflaatiota voidaan mitata: kuluttaja-, tuottaja- ja elinkustannusindeksillä. [41.]

Suomessa inflaation nousu on ollut toistaiseksi suurimmillaan sotien aikana ja niiden jälkeen. Vuonna 1918 (sisällissota) hinnat lähes kolminkertaistuivat. Toisen maailmansodan jälkeen (1946) inflaatio oli 60 %, jolloin markka devalvoitiin peräti kolmesti vuoden aikana. Inflaatio pysyi Suomessa yli 10 %:n tasolla 1980-luvun alkuun asti, sen jälkeen se on laskenut. Vuonna 2002 tapahtuneen euron käyttöönoton jälkeen hintojen nousu on ollut tilastollisesti hyvin pientä. Kuvassa 35 on esitetty kuluttajahintaindeksin muutokset vuosina 1980–2019. [43.]



Kuva 35. Kuluttajahintaindeksin vuosimuutokset 1980–2019 [65].

6.1.2 Hyperinflaatio

Inflaation kasvaessa erityisen voimakkaasti puhutaan hyperinflaatiosta. Se on seurausta valtion huonosta talouden pidosta, joka pahimmassa tapauksessa voi johtaa kokonaisen valtion talouden kaatumiseen. Hyperinflaatiosta aiheutuva valtion heikko taloudellinen tilanne on omiaan luomaan epävakautta ja tyytymättömyyttä koko vallitsevaan yhteiskuntajärjestelmään. 1900-luvun aikana muutamat maat Euroopassa ovat kohdanneet hyperinflaation. Tunnetuin esimerkki tästä löytyy Saksasta. Ensimmäisen maailmansodan jälkeen (1923) inflaatio siellä nousi huikeaan 854 miljardiin prosenttiin. Rahan arvo tippui maassa niin nopeasti, että palkat jouduttiin maksamaan jopa kolmesti päivässä. Hyperinflaatio oli yksi merkittävimmistä osatekijöistä 1920-luvun Saksassa kansallissosialistisen työväen puolueen (NSDAP) nousuun ja Adolf Hitlerin suosioon. Tästä aiheutuneet seuraukset ovat kaikkien tiedossa. Viimeisin hyperinflaatio Euroopassa on toistaiseksi koettu Neuvostoliiton hajottua 1990-luvulla. Pahimmillaan hinnat nousivat siellä yli 5 000 % vuodessa. [41; 43; 70.]

6.1.3 Deflaatio

Deflaatio on inflaation vastakkainen ilmiö. Siinä rahan arvo nousee ja hintataso laskee, joka puolestaan vaikuttaa kuluttajatuotteiden hinnan laskuun. [41.]

6.2 Nimelliskorko

Nimelliskorolla tarkoitetaan korkoa, jonka velanottaja maksaa pankille lainasopimuksessa merkityllä korolla. Yksityiset lainanottajat joutuvat maksamaan pankeille myös koromarginaalin. Nimelliskorossa ei huomioida inflaation vaikutusta. Valtionkonttorin ilmoittama vuoden 2019 laskelmissa käytettävä korkokustannus vuodelle 2020 on 0,0 %. Suomen muuttuneet korkokustannukset vuosina 2010–2019 on esitetty taulukossa 26. [38; 39.]

Taulukko 26. Valtionkonttorin ilmoittamat ja käytettäväksi tarkoitetut lainanoton korkokustannukset vuosina 2010–2019 [39].

Vuosi:	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nimellis-korko (%)	1,8	1,8	2,1	1,2	0,8	0,6	0,2	0,0	0,0	0,3

6.3 Reaalikorko

Reaalikorossa inflaation vaikutus poistetaan. Samoin tapahtuu investointilaskelmissa rahan arvon muutoksille. Inflaation vaikutus otetaan reaalikorossa huomioon, joka laskeaan nimelliskorosta kaavalla 21. [39; 40, s. 20.]

$$r = \frac{i-f}{1+f} \quad (21)$$

r = reaalikorko
i = nimelliskorko (%/100)
f = inflaatio (%/100).

6.4 Takaisinmaksuaika

Korottoman ja korollisen takaisinmaksuajan tarkoituksena on laskea aika, jonka kuluessa hankkeesta saatavat tuotot ovat yhtä suuret siihen tehtyjen investointien kanssa [40, s. 11].

Koroton takaisinmaksuaika on laskettavissa kaavalla 22 [11].

$$n = \frac{H}{T} \quad (22)$$

n = koroton takaisinmaksuaika (a)
 H = investoinnin hankintahintojen erotus (€)
 T = investoinnin vuotuisten kustannusten erotus (€/a).

Korollinen takaisinmaksuaika lasketaan kaavan 23 avulla [11].

$$n = \frac{\ln\left(\frac{T}{T-Hi}\right)}{\ln(1+i)} \quad (23)$$

n = korollinen takaisinmaksuaika (a)
 T = investoinnin vuotuisten kustannusten erotus (€/a)
 H = investoinnin hankintahintojen erotus (€)
 i = korko (%/100).

6.5 Nykyarvomenetelmä

Investointivaiheen elinkaarikustannuksia laskettaessa tulee huomioida rahan arvon muuttuminen vuosien kuluessa. Tältä osin arviointi onnistuu nykyarvomenettelyllä, jossa tulevaisuuden rahavirrat diskontataan nykyarvoon kaavalla 24 [11]:

$$NA = H + K \quad (24)$$

NA = nykyarvo (€)
 H = hankintahinta (€)
 K = tulevien vuosittaisten kustannusten nykyarvo (€).

Tulevina vuosina tapahtuvat keskenään saman suuruisten vuosittaisten kustannusten nykyarvo lasketaan kaavalla 25 [11].

$$K = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} q \quad (25)$$

K = tulevien vuosittaisten kustannusten nykyarvo (€)
 i = laskentakorko (%/100)
 n = laskentajakson pituus (a)
 q = vuotuiset käyttökustannukset (€/a).

Erisuuruisten ja eri vuosina tapahtuvien maksujen nykyarvo lasketaan kaavalla 26 [11].

$$k = \frac{1}{(1+i)^n} h \quad (26)$$

k = erisuuruisten ja eri vuosina tapahtuvien maksujen nykyarvo (€)
 i = laskentakorko (%)
 n = tarkasteluvuosi (a)
 h = tulevan maksun suuruus (€).

7 Tutkimuskohde

Tutkimuskohteeksi valittiin *Sitowisellä Oy:n* Jyväskylässä suunnittelussa olevan 5-kerroksinen uudisasuinkerrostalo. Sen rakennuspinta-ala on 1 700 m² ja rakennustilavuus 4 420 m³. Kohde koostuu 1. kerroksen yhteisistä tiloista (väestösuoja- ja varastotiloista), 1.–5. kerroksen hissistä ja porrashuoneesta sekä näissä kerroksissa olevista asuinhuoneista. Taulukossa 27 on eritelty asuinhuoneet eri kerroksissa. Tiedot on kerätty liitteestä 4.

Taulukko 27. Asuinhuoneiden lukumäärä kerrostalossa

Kerros:	Asuinhuoneet		
	Yksiöiden lkm:	Kaksiöiden lkm:	Kolmiöiden lkm:
1.kerros	4 kpl	- kpl	1 kpl
2.kerros	4 kpl	2 kpl	2 kpl
3.kerros	4 kpl	2 kpl	2 kpl
4.kerros	4 kpl	2 kpl	2 kpl
5.kerros	4 kpl	2 kpl	2 kpl
Yhteensä	20 kpl	8 kpl	9 kpl

Asuinhuoneita on 37, ja ne muodostuvat yksiöistä (20), kaksiöistä (8) ja kolmioista (9). Huoneistotyyppien perusteella kerrostalossa tulee asumaan enimmillään 63 asukasta.

Lämmönjakohuone sijaitsee 1. kerroksessa lähellä pääsisäänkäyntiä. Sekä yhteisille tiloille että rakennuksessa oleville asunnoille tulee yhteinen keskitetty ilmanvaihtokone (TK01), joka sijaitsee ullakolla/vesikatolla. Tämä IV-kone on varustettu LTO-järjestelmällä ja vesijälkilämmityspatterilla (+50 °C/+30 °C). Porrashuoneelle tulee oma IV-kone (TK02), jossa on myös LTO-järjestelmä. Sillä on sähköllä toimiva jälkilämmityspatteri. Huonetilojen lämmitykseen on valittu hyvää hyötysuhdetta ajatellen matalalla lämpötilatasolla oleva vesikiertoinen lattialämmitysjärjestelmä (+35/+30 °C).

Kohteen ilmanvaihdon suunnittelussa käytettiin ympäristöministeriön asetuksia: Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017) sekä Ympäristöministeriön asetus rakennuksen paloturvallisuudesta (848/2017).

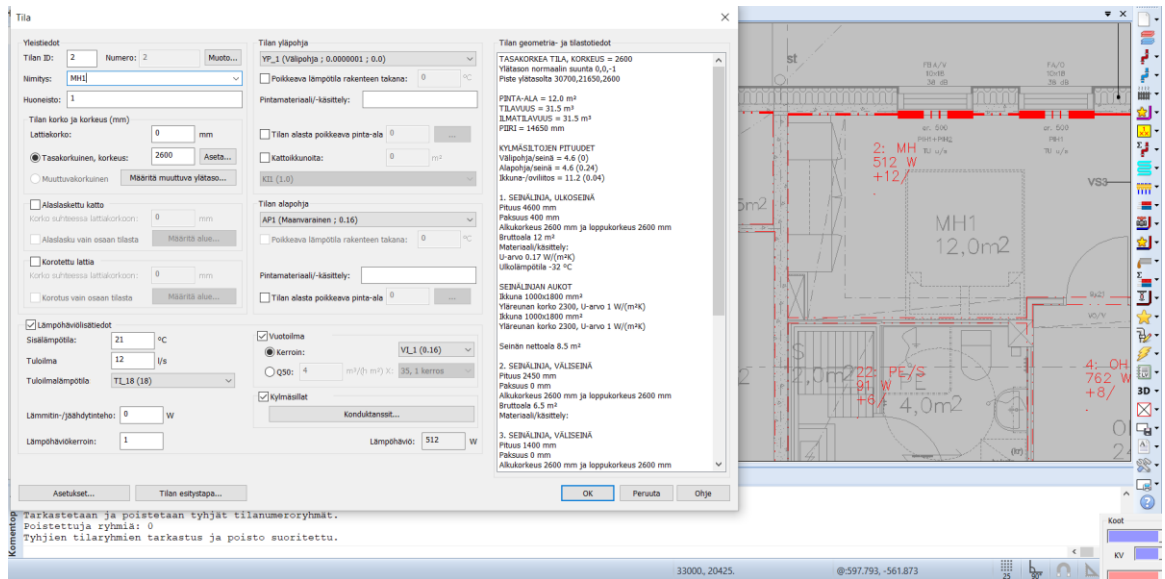
7.1 Tehon tarpeen määrittäminen

7.1.1 Lämmitys

Kohteen lämmitystehon tarpeen määrittämistä varten laskettiin jokaiseen huonetilaan lämpöhäviöt. Lämpöhäviölaskelmissa käytettiin ympäristöministeriön asetuksen (1010/2017) mukaisia, voimassa olevia U-arvoja; vuotoilmalukua ja kylmäsiltojen lisäkonduktanssiarvoja. (taulukko 5, sivulla 10 & taulukot 7–9, sivulla 14).

Huonetilojen sisälämpötiloina käytettiin: asunnoissa +21 °C, sos. tiloissa +19 °C ja käytävä- ja varastotiloissa +19 °C. Tilojen ilmavirtoina hyödynnettiin ympäristöministeriön asetuksissa olevia arvoja.

Tässä työssä lämpöhäviöt on laskettu CADMATIC HVAC-ohjelmiston avulla. Liitteessä 6 esitetään vaihtoehtoinen tapa lämpöhäviöiden laskemiseen. Se voidaan suorittaa esimerkiksi Microsoft Excel-taulukkolaskentaa hyödyntäen. Ohjelmistoon verrattuna se tosin on työläämpi laskentatapa ja siinä on olemassa omat riskinsä esimerkiksi laskentatulosten vääristymiseen. Ohjelmiston antama lämpöhäviöarvo (512 W) asunnon makuuhuoneeseen (kuva 36) oli samaa suuruusluokkaa vaihtoehtoisen laskentatavan kanssa (516 W), joten ohjelmiston luotettavuus ei muodostunut tässä kohdin ongelmaksi.



Kuva 36. Makuuhuoneeseen tehty lämpöhäviölaskelma CADMATIC HVAC-ohjelmistolla.

Lämmitystehontarpeen laskelmissa käytettiin kosteiden tilojen osalta (WC, sauna sekä pesuhuone) suurempia tehoja. Näin varmistutaan lattian nopeasta kuivumisesta: siellä on kosteuskuormaa ja lisäksi klinkkerilattian lämpimämmät lattiapinnat ovat kylmiä lattiapintoja miellyttävämmät jalkapohjille. Liitteessä 7 esitetään laskelmissa saadut lämmitystehontarpeet eri tiloille ja kerroksille. Taulukossa 28 on esitetty lämmön tehon tarpeet eri säävyöhykkeillä sekä lämmitystehon tarve lattianeliometriä koti lattiapinta-alan ollessa 1 700 m².

Taulukko 28. Kohteen lämpöhäviöt ja lämmitystehot lattia-alaa kohti eri säävyöhykkeillä.

Säävyöhyke	Lämpöhäviöt:	Lämmitysteho:
I	47 590 W = 47,6 kW	28,0 W/m ²
II	49 663 W = 49,7 kW	29,2 W/m ²
III	51 758 W = 51,8 kW	30,5 W/m ²
IV	56 018 W = 56,0 kW	33,0 W/m ²

7.1.2 Lämmin käyttövesi

Käyttöveden lämmityksen tehontarvetta varten laskettiin kohteessa olevien lämmintä käyttövettä tarvitsevien vesipisteiden yhteismäärät. Liitteessä 5 on esitetty kohteen vesikalusteet eri kerroksissa niiden yhteismäärien osalta.

Vesipisteiden määrän (liite 5) ja niiden normivirtaamien (taulukko 11, s. 18) perusteella laskettiin normivirtaamien summat sekä kylmän että lämpimän veden verkostoille. Ne on esitetty taulukossa 29.

Taulukko 29. Kohteessa olevien vesipisteiden lukumäärät, kalusteiden normivirtaamat sekä näiden yhteis- ja kokonaisnormivirtaama(t).

Vesipiste:	Määrä:	Normivirtaama q_N / kpl		Normivirtamat (Q)	
		KV (dm ³ /s)	LV (dm ³ /s)	KV (dm ³ /s)	LV (dm ³ /s)
Kettiöhana (astianpesu) /aputilahana	39 kpl	0,2	0,2	7,8	7,8
Pesuallashana	37 kpl	0,1	0,1	3,7	3,7
Suihku	37 kpl	0,2	0,2	7,4	7,4
WC-istuin	37 kpl	0,1	-	3,7	-
Vesiposti	1 kpl	0,4	-	0,4	-
Normivirtaaminen summa (Q)				23,0	18,9

Lämpimän käyttöveden normivirtaamien summan (Q) laskemisen jälkeen, määritettiin mitoitusvirtaama suurimman normivirtaaman (q_{N1}) perusteella liitteen 2 taulukon avulla. Kun $Q_{LV}=18,9$ dm³/s ja $q_{N1}=0,2$ dm³/s, saadaan mitoitusvirtaamaksi (q_{IV}) 1,22 dm³/s.

Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt

Kohteen lämpimälle käyttövedelle tuli lämminvesikiertojohto alkaen 1. kerroksen lämmönjakohuoneesta ja päättyen ylimpään 5. kerrokseen. Jokaisesta kerroksesta otettiin kerroskohtainen haara, jolla tehtiin kerroskohtainen lämminvesikierto asunnoille, kuitenkin niin, ettei asunnon vesikalusteille muodostunut liian pitkää (max. 20 sekunnin) odotusaikaa. Lämpöhäviöt laskettiin sekä lämpimän käyttöveden jakojohdoille että kiertojohdoille. Yhteisputkipituus niin lämpimän veden kuin kiertojohdonkin osalta on esitetty taulukossa 30.

Taulukko 30. Lämpimän veden ja lämminvesikierron putkipituudet kerroksittain tutkimuskohteessa.

	Sisäinen putkitus (m)	Nousujen putkitus (m)	Yhteensä (m)
1. kerros	52	4	56
2. kerros	68	5	73
3. kerros	68	5	73
4. kerros	68	5	73
5. kerros	68	5	73
	324	24	348

Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö on riippuvainen putkistossa käytettävästä eristystasosta. Kohteeseen lämpimän veden jakojohdoille ja kiertojohtolle määritettiin 1,5-kertainen eristyspaksuus putkiston halkaisijaan nähden. Tällöin lämpöhäviön ominaistehoksi saatiin taulukon 12 (s. 19) mukaisesti 6 W/m. Putkistopituuden ja ominaistehon tulona laskettiin lämpimän veden kiertojäviöksi

$$\phi_{lkv, kiertojäviö} = 6 \frac{W}{m} * 348m = 2088 W \approx 2,1 kW$$

Lämpimän käyttöveden lämmitysteho

Kun mitoitusvirtaama on tiedossa, lämmitysteho lasketaan sivulla 19 olevan kaavan 10 mukaisesti:

$$\begin{aligned} \phi_{lv} &= \rho_v c_{pv} q_v (T_{lv} - T_{kv}) + \phi_{lkv, kiertojohto} \\ &= 0,944 \frac{kg}{dm^3} * 4,177 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 1,22 \frac{dm^3}{s} * (58^{\circ}C - 10^{\circ}C) + 2,1 kW \\ &\approx 233 kW \end{aligned}$$

Lämpimän käyttöveden nettotarve

Enimmillään kohteena olevassa asuinkerrostalossa asuu 63 henkilöä. Huoneistot on varustettu omilla vesimittareilla. Lämpimän veden kulutus on noin 50 dm³/hlö/vrk (taulukko 13, s. 21). Näin ollen lämmintä käyttövettä kuluu vuorokaudessa 3150 dm³.

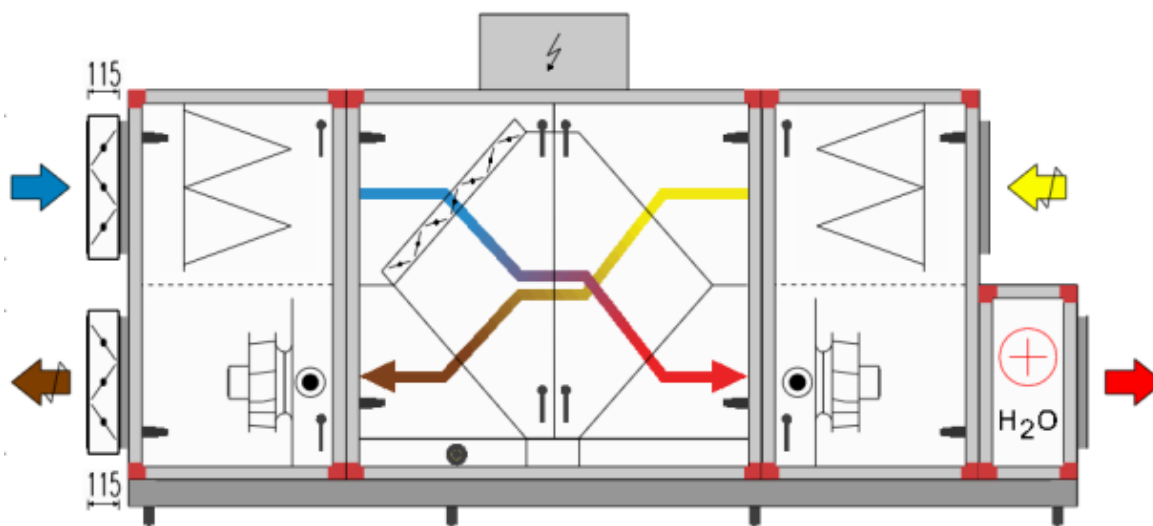
Näiden tietojen pohjalta määritettiin lämpimän käyttöveden lämmittämisen vuorokautinen nettoenergiantarve sivulla 21 olevan kaavan 11 avulla:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\rho_v * c_{pv} * V_{lkv} * (T_{lkv} - T_{kv})}{3600} \\ &= \frac{0,944 \frac{kg}{dm^3} * 4,177 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 3150 dm^3 * (55^{\circ}C - 10^{\circ}C)}{3600} \approx 155,3 kWh/vrk \end{aligned}$$

Keskiteho tuon energiamäärän tuottamiseksi saadaan jakamalla se vuorokauden tuntimäärällä (24 h). Keskitehoksi saadaan 6,5 kW. Kun tähän lisätään kiertojohdon lämpöhäviö 2,1 kW, saadaan keskitehoksi 8,6 kW.

7.1.3 Ilmanvaihto

Kohteen yhteisille tiloille ja asunnoille valittiin keskitetty ilmanvaihtokone (TK01), joka on sijoitettu ullakolle/vesikatolle. Se on varustettu vastavirtasiirtoimisella LTO-järjestelmällä ja vesikiertoisella jälkilämmityspatterilla (+50/+30 °C). Porrashuoneelle valittiin oma IV-kone (TK02), jossa on LTO-järjestelmä ja sähköllä toimiva jälkilämmityspatteri. Kuvassa 37 on esitetty yhteisille tiloille ja asunnoille valittu keskitetty ilmanvaihtokone (TK01).



Kuva 37. IV Produkt Ab:n IV-kone, joka on varustettu vastavirtasiirtimellä ja jälkilämmityspatterilla.

Ympäristöministeriön asetus (1009/2017) ohjeistaa asuinkerrostalossa asuinhuoneiden ilmavirtojen toteuttamisen siten, että tulo- ja poistoilmavirtoja on ohjattava joko rakennus- tai asuntokohtaisesti niin, että niitä voidaan tehostaa vähintään 30 % suuremmiksi kuin suunnitellun käyttöajan ilmavirrat ovat [13, s. 4]. Tulo- ja poistoilmavirrat kasvavat tehostustilanteessa 30 % rakennuksen suunnitellun käyttöajan ilmavirroista. Niiden ollessa +929/–966 l/s, jolloin tehostustilanteessa (30 %) ilmavirrat kasvavat +1208/–1256 l/s.

IV-koneen jälkilämmityspatterin teho määritellään kaavan 18 avulla. Laskelma löytyy liitteestä 8. Patterimitoituskalkelmissa käytettiin eri säävyöhykkeillä taulukon 4 mukaisia mitoittavia ulkolämpötiloja. Tilojen yläosasta poistettavan ilman lämpötilana on käytetty lämpötilakerrostuman johdosta hieman korkeampaa arvoa +22 °C, sisäänpuhalluslämpötilana +20 °C ja ulospuhalluslämpötilana +5 °C. Laskemissa saadut arvot on esitetty taulukossa 31.

Taulukko 31. IV-koneen (TK01) jälkilämmityspatterin tehot normaali- ja tehostustilanteissa Suomen eri säävyöhykkeillä.

Säävyöhyke	IV-koneen jälkilämmityspatterin teho:	
	Normaalitilanteessa	Tehostustilanteessa (30 %)
I	31,6 kW	41,1 kW
II	34,9 kW	45,4 kW
III	38,3 kW	49,8 kW
IV	45,0 kW	58,5 kW

IV-suunnitelmassa kohteeseen on valittu *IV-Produkt Ab:n* ilmanvaihtokone. Vertailun vuoksi taulukossa 32 on esitetty laitetoimittajan jälkilämmityspatterimitoitukset sekä lasketut muutosprosentti taulukon 31 laskelmissa saatuihin arvoihin.

Taulukko 32. IV-Produktin mitoitus IV-koneen jälkilämmityspatterille.

Säävyöhyke	IV-koneen jälkilämmityspatterin teho:		Muutos:	
	Normaalitilanteessa	Tehostustilanteessa (30 %)	Normaali	Tehostus
I	26,4 kW	34,9 kW	16,5 %	15,1 %
II	28,8 kW	38,1 kW	17,5 %	16,1 %
III	30,6 kW	40,5 kW	20,1 %	18,7 %
IV*	30,6 kW	40,5 kW	32,0 %	30,8 %

* IV-koneeseen tulee sähköinen etulämmityspatteri (11 kW) IV-koneen raitisilman lämmittämistä varten.

Laitetoimittajan jälkilämmityspattereiden mitoituksessa tehot ovat 5–18 kW/15–32 % pienemmät kuin laskelmissa ilmenneet tehoarvot. Tästä voidaan päätellä LTO-järjestelmän tehokkuus. IV-koneen lämmityspatterin tehon tarve pienenee varsinkin pohjoiseen päin mentäessä. Vyöhykkeellä IV tulee kuitenkin huomioida, että laitetoimittaja toimittaa IV-koneen sähköisellä etulämmityspatterilla pienentäen näin jälkilämmityspatterin tehoa. Se on saman tehoinen kuin vyöhykkeellä III (30,6 kW).

Laadukkaalla ja tehokkaalla IV-koneella maalämpöjärjestelmästä pystytään vähentämään useita lämpökaivoja sekä pienentämään lämpöpumppujen tehoja. Tämä supistaa maalämpöjärjestelmän investointikustannuksia. Kaukolämmössä puolestaan IV-tehon aleneminen pienentää tilaustehoa. Sen seurauksena kaukolämmön liittymis- ja perusmaksuja on mahdollista pienentää. On syytä muistaa, että tehokkaalla LTO-järjestelmällä varustettu IV-kone kuluttaa käytön aikana vähemmän energiaa tuloilman lämmitykseen vähentäen näin käytön aikana tulleita vuosittaisia energiakustannuksia.

7.2 Yhteenveto tehon tarpeista

Taulukossa 33 ilmenee kohteen LVI-järjestelmien tehontarpeet. Ne on koottu lämmityksen, lämpimän käyttöveden ja ilmanvaihdon tehon tarpeen määrittämisestä.

Taulukko 33. Tutkittavan kohteen LVI-järjestelmien tehon tarve Suomen eri säävyöhykkeillä.

LVI-järjestelmän tehontarve:	Säävyöhyke			
	I	II	III	IV
Lämmin käyttövesi (kW)	233,1	233,1	233,1	233,1
Lämmin käyttövesi nettotarve (kWh/vrk)	155,3	155,3	155,3	155,3
IV-lämmitys (kW)	34,9	38,1	40,5	40,5
Lämmitys (kW)	47,6	49,7	51,8	56,0

7.3 Vuotuisen energiatarpeen määrittäminen

Kohteen vuotuinen energiatarve lämpimälle käyttövedelle, ilmanvaihdon lämmitykselle ja tilojen lämmitykselle selvitettiin dynaamisen simuloinnin avulla ja siinä käytettiin Equan IDA ICE 4.8 -ohjelmistoa. Siinä hyödynnettiin Suomi-lokalisoinnin sisältämiä rakennusmääräyskokoelman (FINYMa1010Asuinkerrostalo) mukaisia lähtötietoja ja parametrejä sekä niiden lähteitä.

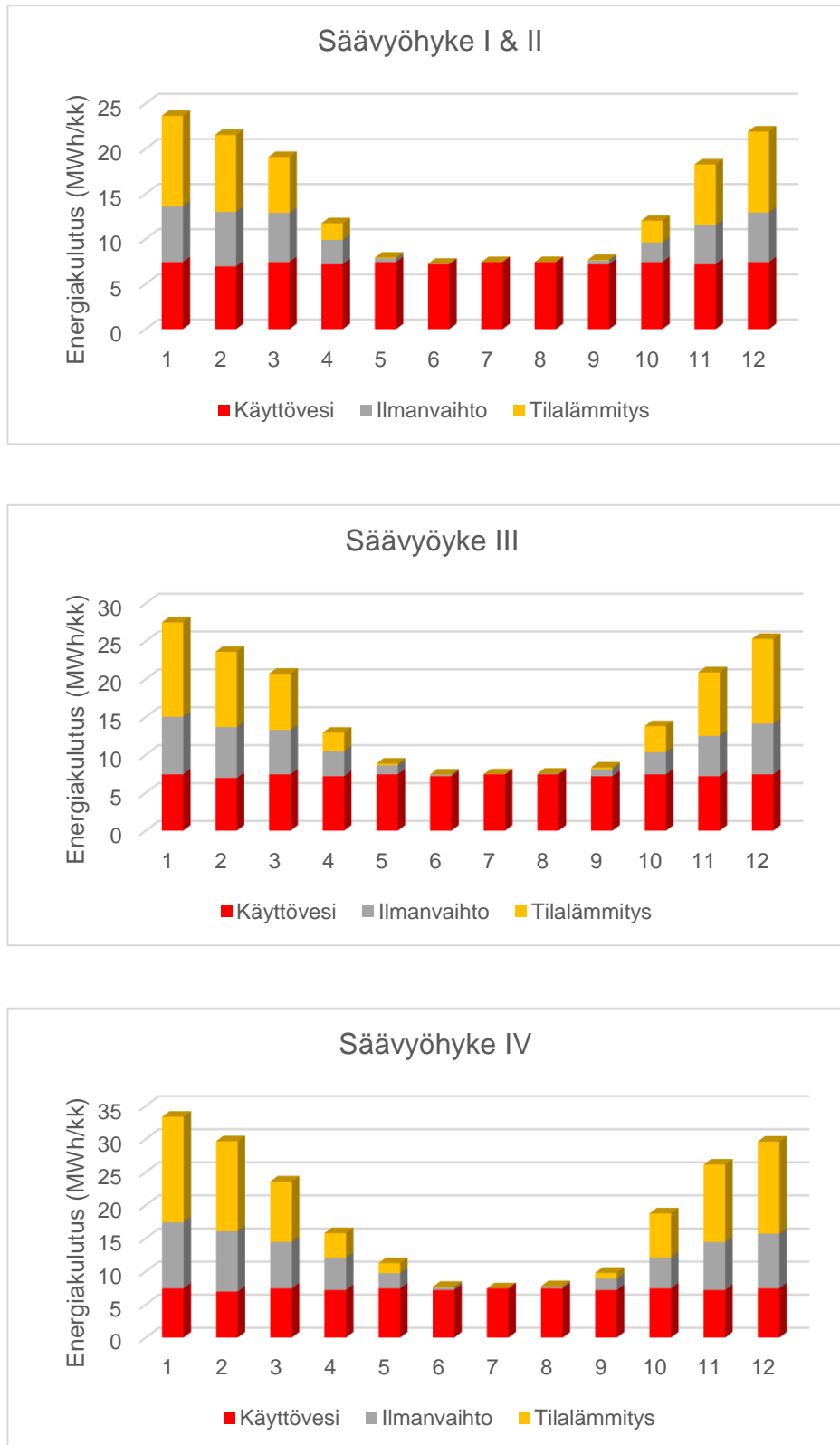
Ennen varsinaista simulointia ohjelmistolla luotiin vyöhykkeet jokaisen kerroksen ti-loista/huoneista, joihin lisättiin tarvittavat aukot (ovet/ikkunat). Kohteen oletusarvoissa käytettiin voimassa olevia U-arvoja. Kuvassa 38 on esitetty IDA ICE -ohjelmistolla luotu malli kohteesta.



Kuva 38. Tutkittavana olevan kohteen IDA ICE-malli.

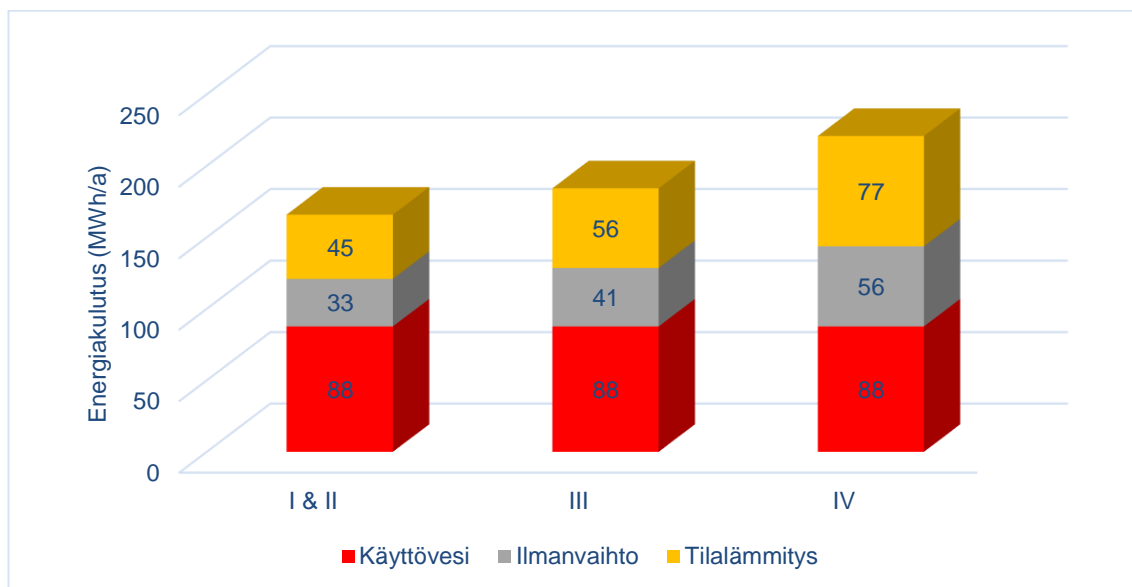
Kahden ensimmäisen vyöhykkeen (I ja II) vuotuisten keskilämpötilojen välinen ero on pienehkö, joten molemmissa vyöhykkeissä on päädytty käyttämään samaa energialaskennan testivuotta [66]. Tämä selittää miksi ohjelmistossa on käytössä Helsingin, Jyväskylän ja Sodankylän referenssivuodet (2012). Tästä syystä vyöhykkeellä II on käytössä Helsingin alueen arvot. Näitä arvoja käytettiin sijainti- ja säädätana ohjelmistossa, kun tehtiin simuloinnit eri säävyöhykkeille. Simuloinnilla saatiin selvitettyä vuotuiset energiatarpeet kohteen LVI-järjestelmille.

Kuvassa 39 on esitetty kohteen eri LVI-järjestelmien tehontarpeet kunkin kuukauden mukaan Suomen neljällä säävyöhykkeellä. Arvot on kerätty IDA ICE -ohjelmiston energiakulutuksesta ja nämä on koottu liitteeseen 9.



Kuva 39. LVI-järjestelmien energiakulutukset kuukausittain (MWh/kk) eri sävyöhykkeillä.

Rakennuksen eri LVI-järjestelmien vuosienergian tarve saadaan laskettua, kun kuukausittaiset energiatehon tarpeet lasketaan yhteen. Kohteen LVI-järjestelmien vuotuiset energiakulutukset käyvät ilmi kuvassa 40.



Kuva 40. LVI-järjestelmien vuotuiset energiakulutukset (MWh/a) eri säävyöhykkeillä.

Käyttöveden osuus LVI-järjestelmien kulutuksesta on suurehko. Tämä selittyy sillä, että ilmanvaihdossa on tehokas LTO-järjestelmä ja rakennuksen vaipasta tehdään energiatehokas, jolloin IV-lämmityksen ja tilalämmityksen vuosienergian tarve pienenee.

8 Tutkimuskohteen kannattavuuslaskelmat

Tutkimuskohteessa vertailuun päätyivät kaukolämpö sekä täys- ja osatehomitoituksen maalämpöjärjestelmät. Ennen elinkaarikustannuslaskelmia nämä järjestelmät mitoitettiin ja niille selvitettiin investointi-, käyttö- ja huoltokustannukset.

8.1 Kaukolämpöjärjestelmä

8.1.1 Mitoitus

Investointikustannusten laskeminen edellytti kaukolämpöjärjestelmän mitoitusta. Rakennuksen liittyessä kaukolämpöön mitoitettiin kaikki lämmönsiirtimet säävyöhykkeen maksimitehon tarpeen mukaan.

Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen teho pysyy vakiona kaikilla Suomen säävyöhykkeillä. Ilmanvaihdon lämmitysverkoston lämmönsiirtimen ja lattialämmityksen lämmönsiirtimen tehot kasvavat taulukon 34 mukaisesti.

Taulukko 34. Lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimien tehot eri säävyöhykkeillä.

Lämmönsiirrin	Vyöhyke I	Vyöhyke II	Vyöhyke III	Vyöhyke IV
Lämmin käyttövesi	233 kW	233 kW	233 kW	233 kW
IV-lämmitys	34,9 kW	38,1 kW	40,5 kW	40,5 kW
Lattialämmitys	47,6 kW	49,7 kW	51,8 kW	56,0 kW

Liitteessä 12 on esitetty periaatekaavio kaukolämpöjärjestelmästä.

8.1.2 Investointikustannukset

Pienet tehon lisäykset lämmönsiirtimissä eivät juurikaan nosta lämmönjakokeskuksen hintaa. Kerrostaloon asennettava kolmella lämmönsiirtimellä varustettu lämmönjakokeskus maksanee noin 12 000 €. Asennustyö maksaa lisäksi noin 5 000 €.

Sopimustehon ja sopimusvesimäärän määrittäminen

Kohteessa kaukolämmön sopimustehon ja -vesivirran määrittämisessä käytettiin Energiategollisuuden julkaisemaa suositusta (K15/2014).

Asuntojen (37) lukumäärän perusteella tuntisen käyttövesitehon (ϕ_{vh}) arvioitiin olevan 20 % lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen tehosta (taulukko 15, s. 34). Mitoitustehon ollessa 233 kW tuntinen käyttövesiteho laskettiin seuraavasti:

$$\phi_{lvh} = 20 \% * 233 \text{ kW} = 46,6 \text{ kW}$$

Kaukolämmön sopimusteho muodostuu sopimusosatekijöiden summasta. Taulukon 33 säävyöhykkeen I tehotietojen ja lämpimän käyttöveden tuntisen tehontarpeen perusteella sopimusteho laskettiin sivulla 34 olevan kaavan 19 avulla seuraavasti:

$$\begin{aligned} \phi_T &= \phi_{lm} + \phi_{iv} + \phi_{lvk} + \phi_{lvh} = 47,6 \text{ kW} + 34,9 \text{ kW} + 46,6 \text{ kW} \\ &= 129,1 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sopimustehon perusteella laskettiin kaukolämmön sopimusvesivirta sivulla 34 olevan kaavan 20 avulla.

$$\dot{V} = \frac{\phi_T}{c_p * \rho * (t_{et} - t_{ep})} = \frac{129,1 \text{ kW}}{4,192 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}} * 0,976 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} * (115 \text{ C} - 33 \text{ C})} = 0,38 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} = 1,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Kohteen kaukolämmön sopimusteho ja sopimusvesivirrat eri säävyöhykkeillä ilmenevät taulukosta 35.

Taulukko 35. Kaukolämmön sopimusteho ja sopimusvesivirrat.

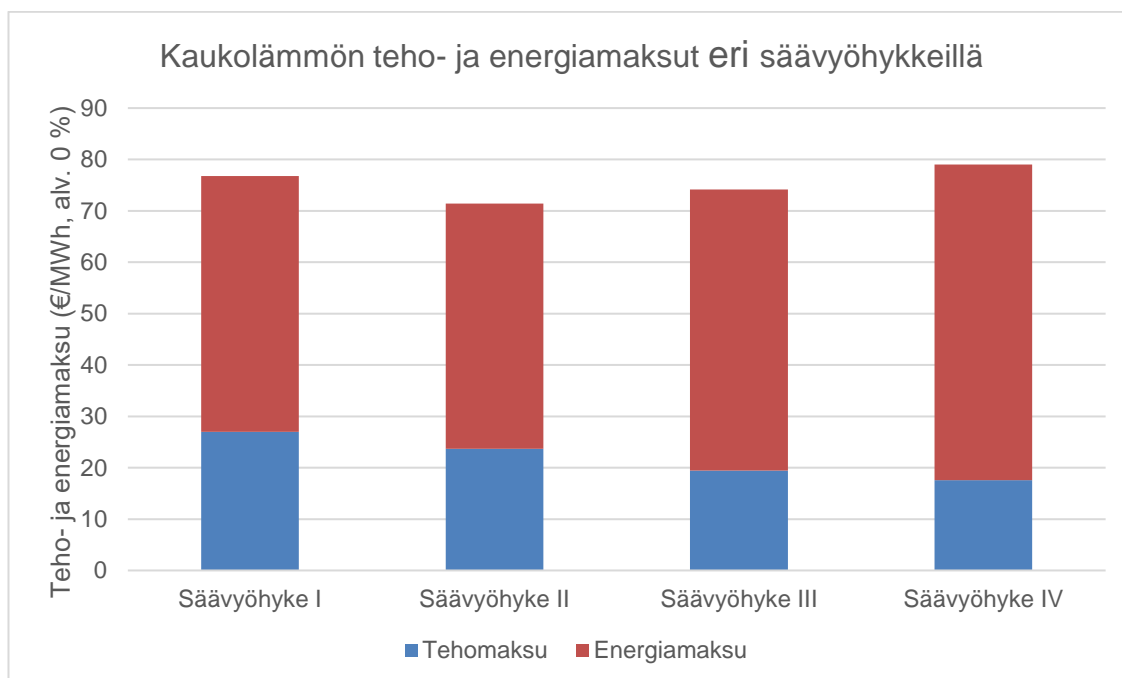
	Säävyöhyke			
	I	II	III	IV
Lämmitysteho (ϕ_{lm}):	47,6 kW	49,7 kW	51,8 kW	56,0 kW
IV-lämmitys (ϕ_{iv}):	34,9 kW	38,1 kW	40,5 kW	40,5 kW
Käyttöveden lämmitys (ϕ_{lvh}):	46,6 kW	46,6 kW	46,6 kW	46,6 kW
Sopimusteho (ϕ_T) yhteensä:	129,1 kW	134,4 kW	138,9 kW	143,1 kW
Sopimusvesivirta (\dot{V}):	0,38 dm ³ /s =1,37 m ³ /h	0,40 dm ³ /s =1,44 m ³ /h	0,41 dm ³ /s =1,49 m ³ /h	0,43 dm ³ /s =1,54 m ³ /h

Kaukolämmön liittymismaksu vaihtelee eri puolella Suomea kaukolämpötoimittajasta riippuen. Laskelmissa on päädytty käyttämään kaukolämmön liittymismaksuna 12 500 €.

Kun lämmönjakokeskuksesta ja kaukolämpöliittymisestä aiheutuneet kustannukset tiedettiin, kaukolämmön investointihinnaksi muodostui 29 500 €, joka on samansuuruinen jokaisella säävyöhykkeellä.

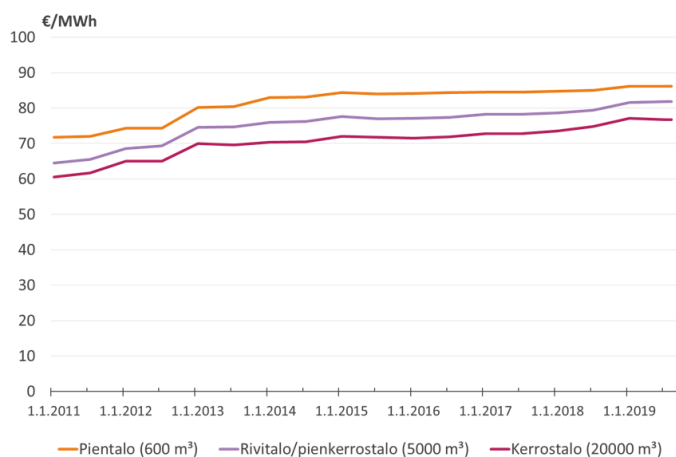
8.1.3 Käyttö- ja huoltokustannukset

Kaukolämmön vuotuiset käyttökustannukset ovat riippuvaisia kohteen vuotuisesta energiantarpeesta ja energiamaksusta. Kaukolämmön energiahintoja selvitettiin eri kaukolämpöyrittäjien verkkosivustoilla olevien hinnastojen perusteella. Toimittajasta riippuen energiamaksu vaihtelee kiinteästä maksusta kausiluonteiseen maksuun. Tehomaksunimitykset vaihtelevat niin ikään eri toimittajilla (kiinteä-, perus- tai vesivirtamaksu). Tässä työssä käytettiin kohteessa olevaa kaukolämmön sopimusvesivirtaa ja tehoa sekä rakennuksen kuukaudessa kuluttamaa energiamäärää eri säävyöhykkeillä (taulukko 35 ja liite 9). Kuvasta 41 voidaan päätellä, että kaukolämmön keskimääräinen energiahinta on noin 75 €/MWh, (alv 0 %).



Kuva 41. Kaukolämmön teho- ja energiamaksut eri säävyöhykkeillä (€/MWh, alv. 0 %).

Kaukolämmön hintakehitys vuosien 2011–2019 aikana on esitetty kuluttajatyypeittäin kuvassa 42. Kuva paljastaa hinnan nousseen nimellisesti 60 €:sta 76 €:een kahdeksan vuoden aikana. Näin ollen hinta on noussut noin 3,0 % vuodessa.



Kuva 42. Kaukolämmön hintakehitys kuluttajatyypeittäin 2011–2019 [52].

Vuoden 2019 hinta on lähes tulkoon sama kuin kuvassa 41 esitetty kaukolämpötoimittajien energiahinta. Tässä työssä huoltokustannusten osuudeksi määriteltiin 2 % kaukolämmön hankintahinnasta. Lämmönjakokeskuksen maksuissa 12 000 € huollon osuudeksi muodostui tällöin 240 €/a. Kaukolämmön käyttö- ja huoltokustannukset on esitetty taulukossa 36. Laskelmissa käytettiin kaukolämmön keskimääräisenä hintana 93 €/MWh (sis. alv 24 %).

Taulukko 36. Kaukolämmön käyttö ja huoltokustannukset

	Sävyöhyke			
	I	II	III	IV
Vuotuinen lämpöenergiantarve [MWh/a]:	165,8 MW	165,8 MW	184,3 kW	220,8 kW
Vuotuinen energiamaksu (93 €/MWh)	15 421 €/a	15 421 €/a	17 135 €/a	20 538 €/a
Huoltokustannus (2 % hankintahinnasta)	240 €/a	240 €/a	240 €/a	240 €/a

8.2 Maalämpöjärjestelmä

8.2.1 Mitoitus

Investointikustannusten laskeminen maalämpöjärjestelmässä edellytti sen mitoitusta kaukolämpöjärjestelmän tapaan. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset riippuvat paljolti siitä, onko valittu täys- tai osatehmitoitus. Lämpimän käyttöveden tehontarve on myös tässä järjestelmässä sävyöhykkeestä riippumaton, kuten kaukolämmössäkin.

Sen sijaan IV- ja lattialämmitysjärjestelmien tehon tarve vaihtelee säävyöhykkeiden mukaan. Etelästä pohjoiseen päin mentäessä mitoituslämpötila kasvaa (–26...–38 °C), joka puolestaan vaikuttaa lämmitysjärjestelmien mitoittavaan tehon tarpeeseen. Investointikustannusten laskeminen eri maalämpöjärjestelmille edellyttää täys- ja osatehon mitoittamista jokaiselle säävyöhykkeelle kulloisenkin lämmitystehon tarpeen mukaan.

Lämpimän käyttöveden mitoitus maalämpöjärjestelmässä

Ajatellaan kaikkien talon asukkaiden käyvän suihkussa klo 20–22 välisenä aikana. Heidän keskimääräinen veden kulutuksensa on noin 60 litraa/hlö. Lämpimän käyttöveden huippukulutusjakson lämmittämisen keskiteho voidaan laskea olettamalla 40 % veden kulutuksesta lämpimäksi käyttövedeksi.

$$\frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (55^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) * 63 \text{hlö} * 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{hlö}} * 0,4}{2 * 3600\text{s}} = 39,5 \text{ kW/h}$$

Mikäli tuon kulutushuipun aikana maalämpöjärjestelmä tuottaa tämän tehon lisäksi sekä IV- ja tilalämmityksen tehon tarpeen varaajaan, pysyy sen lämpötila stabiilina. Järjestelmän tehoa ei kuitenkaan kannata mitoittaa käyttöveden kulutushuipun mukaan. Tilanteessa on perusteltua hyödyntää puskuri-, energia- ja sähkövaraajia. Siten varaajiin pysytään varastoimaan lämmitysenergiaa, kun käyttöveden kulutus on vähäistä. Kun taas lämpimän käyttöveden tarpeeseen tulee kulutuspiikki, johdetaan energiaa varaajasta lämpimän käyttöveden verkostoon. Tämä varmistaa sen, että lämmintä käyttövettä riittää talon kaikille asukkaille ja maalämpöjärjestelmän keruupiiri sekä sen lämpöpumppujen teho(t) ja määrä(t) pysyvät kohtuullisina. Tämä alentaa myös investointikuluja. On myös syytä muistaa, että varaajien avulla saadaan niin ikään tasapainotettua maalämpöpumppujen käyntejä. Varaajien avulla maalämpöpumput käyvät pitempiä jaksoja ja niiden käyntikerrat vähenevät, mikä lisää pumppujen käyttöikä.

Lämpimän käyttöveden nettotarpeeksi (sivu 73) laskettiin 155,3 kWh/vrk. Kun maalämpöjärjestelmä varustetaan varaajilla, saadaan käyttöveden lämmityksen osalta teho, jonka avulla katetaan käyttöveden kulutuksen vuorokaudessa vaatima teho.

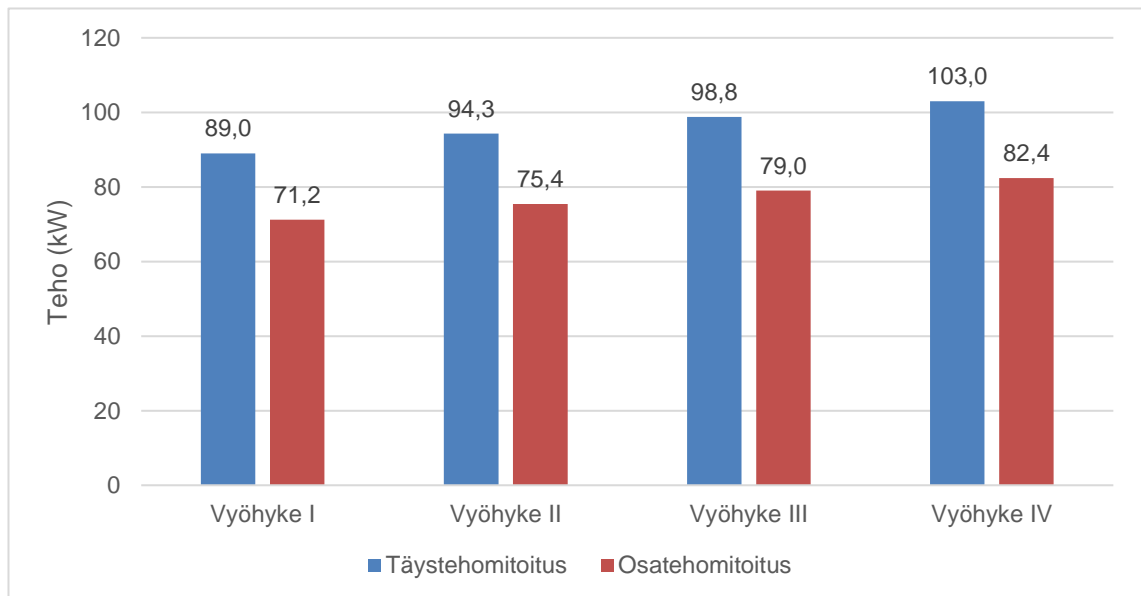
$$\frac{155,3 \text{ kWh/vrk}}{24 \text{ h/vrk}} = 6,5 \text{ kW}$$

Lämmitystehontarpeet IV- sekä lattialämmitysjärjestelmissä ovat samat maa- ja kauko- lämpöjärjestelmässä. Taulukossa 37 on määritelty maalämpöjärjestelmän tehot täys- ja osatehomoitoksessa.

Taulukko 37. Maalämpöjärjestelmän täys- ja osatehomoitus eri säävyöhykkeillä.

	Vyöhyke I	Vyöhyke II	Vyöhyke III	Vyöhyke IV
Lämmin käyttövesi	6,5 kW	6,5 kW	6,5 kW	6,5 kW
IV-lämmitys	34,9 kW	38,1 kW	40,5 kW	40,5 kW
Lattialämmitys	47,6 kW	49,7 kW	51,8 kW	56,0 kW
Täystehomoitus	89,0 kW	94,3 kW	98,8 kW	103,0 kW
Osatehomoitus (80%)	71,2 kW	77,5 kW	79,0 kW	82,4 kW

Kuvaan 43 on koottu taulukosta 37 täys- ja osatehomoituksen tehot.



Kuva 43. Maalämpöjärjestelmän täys- ja osatehomoitus eri säävyöhykkeille.

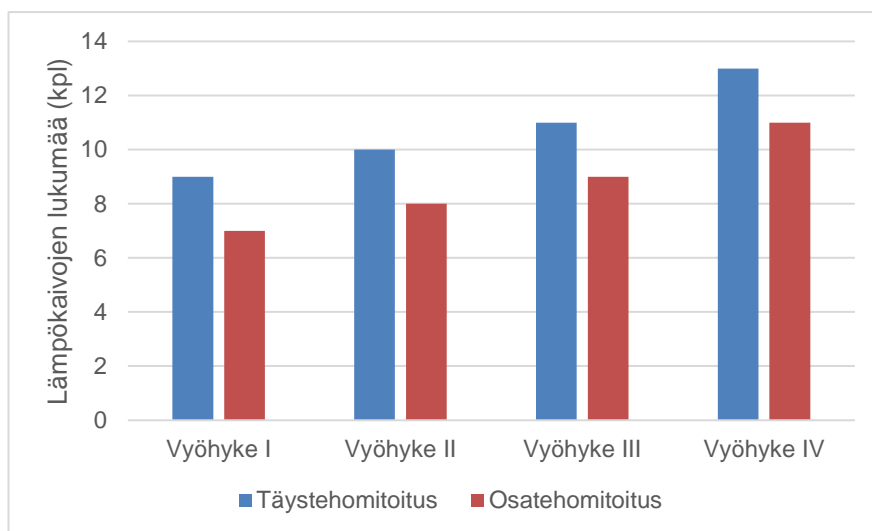
Lämpökaivojen mitoitus

Lämpökaivoista saatava teho vaihtelee 42–30 W/m ja vuotuinen keskimääräinen lämpöenergia 150–120 kWh/m/a Suomen maantieteellisen sijainnin mukaan (taulukko 17, s. 47). Tontin koosta riippuen kaivot mitoitetaan yleensä 150–300 metriä syviksi. Tässä kohteessa mitoitus on tarkasteltu 250 m syvillä lämpökaivoilla, joista saadaan tehoa 10,6–8,1 kW ja lämpöenergiaa 37,5–30,0 MWh/v maantieteellisen sijainnista riippuen (sivulla 47 olevien kuvien 25 ja 26 mukaisesti). Taulukossa 38 lämpökaivojen mitoittavana tekijänä on ollut niistä saatava teho, joka on vaikuttanut kaivomäärien valintaan. Lisäksi tarkasteltiin kaivoista saatavia energiamääriä, jotka laskelmien mukaan riittävät kattamaan hyvin rakennuksen energiatarpeen.

Taulukko 38. Tutkimuskohteen lämpökaivojen mitoitus.

		Säävyöhyke			
		Vyöhyke I	Vyöhyke II	Vyöhyke III	Vyöhyke IV
Rakennuksen energian tarve:		165,8 MWh/a		184,3 MWh/a	220,8 MWh/a
Lämpö- kaivo 250 m	Teho:	10,6 kW	9,9 kW	9,0 kW	8,1 kW
	Energiamäärä	37,5 MWh/a	35,0 MWh/a	32,5 MWh/a	30,0 MWh/a
Huipputehon tarve:		89,0 kW	94,3 kW	98,8 kW	103,0 kW
Lämpökaivojen (250 m) määrä:		9 kpl	10 kpl	11 kpl	13 kpl
Lämpökaivoista saatava teho:		95,6 kW	98,75 kW	99 kW	105,6 kW
Lämpökaivoista saatava energiamäärä:		337,5 MWh/a	350 MWh/a	390 MWh/a	390 MWh/a
Osatehon tarve:		71,2 kW	75,4 kW	79,0 kW	82,4 kW
Lämpökaivojen (250) lkm:		7 kpl	8 kpl	9 kpl	11 kpl
Lämpökaivoista saatava teho:		74,4 kW	79 kW	81 kW	89,4 kW
Lämpökaivoista saatava energiamäärä:		262,5 MWh/a	280 MWh/a	292,5 MWh/a	330 MWh/a

Kuvassa 44 ilmenee eri säävyöhykkeille tulevien kaivojen lukumäärät täys- ja osatehomoitoituksessa.



Kuva 44. Täys- ja osatehomoituksen vaikutus lämpökaivojen lukumäärään Suomen eri säävyöhykkeillä

Maalämpöpumppujen mitoitus

Maalämpöpumppu mitoitetaan lämmitystehontarpeen mukaan joko täys- tai osatehomoituksella. Asuinkerrostalossa lämmitystehontarve on yleensä suurehko, joten lämmitämiseen tarvitaan useampi lämpöpumppu. Tämä on omiaan myös lisäämään toimintavarmuutta, koska lämmitysjärjestelmä ei ole pelkästään yhden lämpöpumpun varassa. Vikatilanteessa lämmitysjärjestelmä toimii vielä jokseenkin hyvin hyvällä lämpökertoimella ja toimimattoman lämpöpumpun lämmitysteho hoidetaan varaajassa olevilla sähkövastuksilla. Suomessa lämpöpumpputoimittajia on useita. Laitteistosta riippuen niiden tehot vaihtelevat 2–100 kW. Tähän työhön valittiin *Gebwell Oy:n* Gemini-lämpöpumput. Niiltä on saatavissa kolmea eri mallia: 40, 52 ja 64, niiden teholuokkien ollessa: 45, 51 ja 69 kW. Lämpöpumppujen tehotiedot on esitetty taulukossa 39. Tarkemmat tiedot tästä pumppumallista on katsottavissa liitteestä 10.

Taulukko 39. Gemini 40, 52 ja 60 tehotiedot.

	Gemini 40	Gemini 52	Gemini 64
Lämmitysteho (0/35 ja 0/55)	45,0 kW / 40,6 kW	61,0 kW / 54,6 kW	69,2 kW / 61,8 kW
Ottoteho	10,0 kW / 15,0 kW	13,0 kW / 19,4 kW	14,4 kW / 21,6 kW
COP	4,5 / 2,7	4,7 / 2,8	4,8 / 2,9

Maalämpöpumput mitoitettiin tehon tarpeen mukaan täys- ja osateholle, kun tiedettiin kohteen tehon tarve. Molemmissa mitoitustavoissa järjestelmään valikoitui (2 kpl) maalämpöpumppuja (MLP01 ja MLP02). Kohteeseen tulevat maalämpöpumput on esitetty taulukossa 40. Ne on valittu lämmitystehon (0 °C/55 °C) perusteella sopivaksi kohteessa olevalle tehon tarpeelle. Lämmitystehossa (0 °C/55 °C) ensimmäinen luku ilmaisee lämpöpumpulle keruupiiriltä tulevan nesteen lämpötilaa ja jälkimmäinen luku kertoo lämpöpumpun tuottaman menoveden lämpötilan.

Taulukko 40. Valitut maalämpöpumput eri säävyöhykkeille.

Vyöhyke	Täystehomitoitus	Osatehomitoitus	Valitut maalämpöpumput	
			Täystehomitoitus:	Osatehomitoitus:
I	89,0 kW	71,2 kW	Gemini 40 & 52	2xGemini 40
II	94,3 kW	75,4 kW	2xGemini 52	2xGemini 40
III	98,3 kW	79,0 kW	2xGemini 52	2xGemini 40
IV	103,0 kW	82,4 kW	2xGemini 52	2xGemini 40

Gebwellin Gemini-lämpöpumppu perustuu vaihtuvan lauhdutuslämpötilan maalämpöpumpputekniikkaan: siinä lämpöä tuotetaan käyttöveden tai tilojen lämmittämiseen vaihtoventtiilin avulla. Lämpöpumpun lämpökerroin (COP-arvo) riippuu siitä, kuinka lämmintä vettä sillä tuotetaan. Veden lämpötilan ollessa +55 °C COP-arvo vaihtelee välillä 2,9–2,7. Lämmön (+35 °C) osalta vastaava COP-arvo on välillä 4,8–4,5.

Varaajat

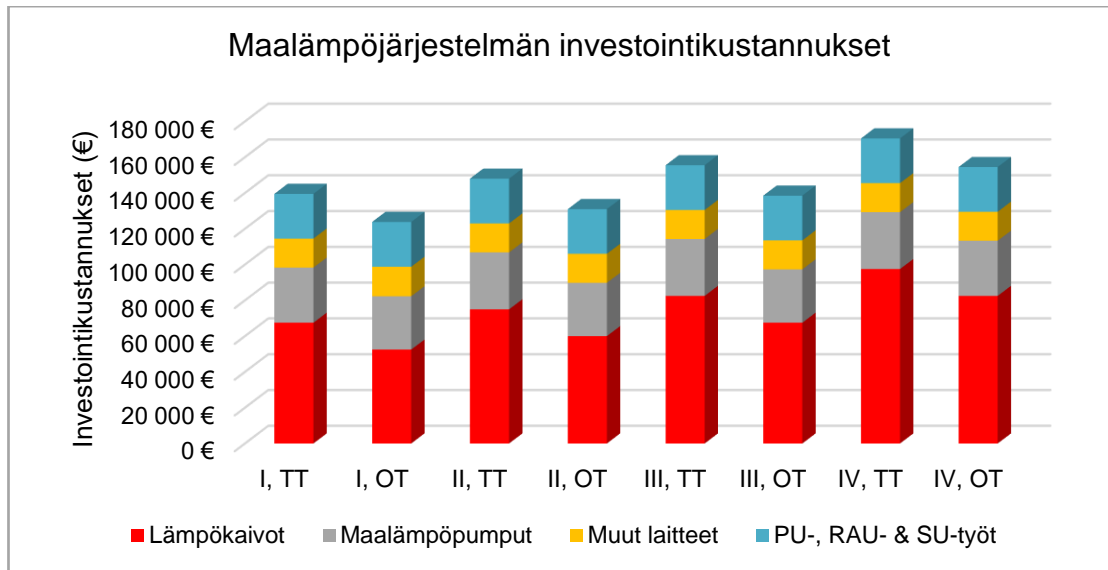
Maalämpöjärjestelmää varten kohteeseen suunniteltiin puskuri- ja energiavaraajat. Ensiksi mainitun avulla käyttövesi saadaan esilämmitettyä. Näin voidaan parantaa käyttöveden lämmityksen energiatehokkuutta sekä varmistettua sen riittävyys.

Kun lämmönjakotapana käytetään lattialämmitysjärjestelmää, lämpöpumpuista tehokain varustetaan vaihtventtiilillä, joka kytketään puskurivaraajaan (SÄ02). Siihen tuotetaan matala lämpötilaista (+35 °C) vettä, samoin kuin energiavaraajaan, johon tuotetaan vettä korkeammassa (+55 °C) lämpötilassa. Maalämpöpumppua ohjataan jompaankumpaan varaajaan vaihtventtiilin avulla, riippuen siitä, kummassa varaajassa lämpötila on laskenut alle pumpun käynnistymisen asetellun alarajan. Teholtaan pienempi maalämpöpumppu liitetään energiavaraajaan (SÄ01), koska sen tuottama lämpöteho riittää kattamaan IV:n ja käyttöveden vuorokautisen lämmityksen. Toisaalta sen lämmitysteho ei riitä tilalämmitykseen (lattialämmitysverkosto), jonka vuoksi tehokkaampi lämpöpumppu on perusteltua liittää puskurivaraajaan. Mikäli lämmönjakotapana käytetään patterilämmitysverkostoa, silloin maalämpöpumpuista tehokkaampi liitetään energiavaraajaan. Pienitehoisempi maalämpöpumppu liitetään vaihtventtiilin avulla sekä puskuri- että energiavaraajaan.

Varaajat mitoitetaan varmistamaan lämpimän käyttöveden riittävyys. Sitä varten tutkituun kohteeseen valittiin 1000 litran puskurivaraaja ja 3000 litran energiavaraaja. Yhdessä ne riittävät kattamaan kohteen lämpimän veden vuorokautisen tarpeen 3150 litraa. Puskurivaraaja varustettiin rinnan asennettavilla lämminvesikierukoilla (2 kpl LK55) ja energiavaraaja ala- ja yläosaan sarjaan tulevilla kierukoilla (2 kpl LK110). Lisäksi molemmille varaajille tulee 4x12 kW:n sähkövastukset. Liitteessä 12 ja 13 on esitetty periaatekaaviot maalämpöjärjestelmän eri lämmönjakotavoista (lattia- ja patterilämmitysverkosto).

8.2.2 Investointikustannukset

Maalämpöjärjestelmien investointikustannukset koostuvat keruupiiristä (lämpökaivoista), maalämpöpumpuista, muista maalämpölaitteista sekä putki-, sähkö- ja rakennusautomaatioista. Näihin töihin on sisällytetty mukaan sähkö- ja rakennusautomaatiokeskusten muutokset. Kuvasta 45 ilmenevät täys- ja osatehomitoidun maalämpöjärjestelmän investointikustannukset eri ilmastovyöhykkeillä. Voidaan päätellä, että keruupiirin lämpökaivot ovat järjestelmän suurin investointierä. Niiden osuus kustannuksista vaihtelee välillä 42–57 %. Hinnat eri laitteistoille on eritelty tarkemmin liitteessä 11.



Kuva 45. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset eri säävyöhykkeillä.

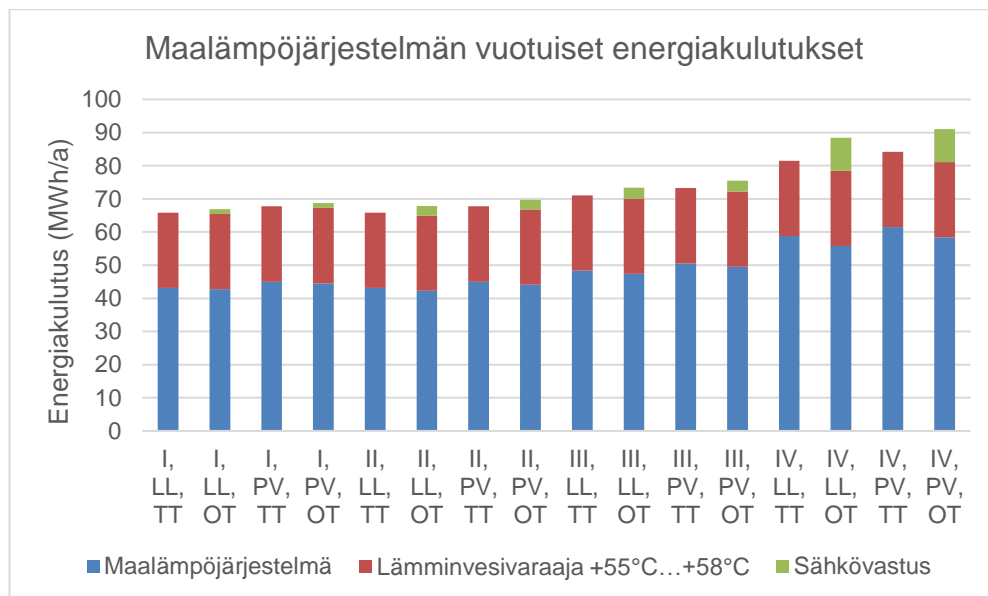
8.2.3 Käyttö- ja huoltokustannukset

Maalämpöjärjestelmän vuotuiset käyttökustannukset riippuvat lämpöpumpun kuluttamasta sähköenergiasta. Osatehomitoituksessa maalämpöjärjestelmän lisäksi sähköä kuluttavat sähkövastukset. Kohteeseen valittiin 80 %:n osatehomitoituksen maalämpöjärjestelmä. Lämpöpumppujen kattamaa vuotuisista lämpöenergian kulutusta tutkittiin liitteen 3 avulla [69]. Lämpöpumpun energiaoppaan [69] ohjeistuksesta poiketen (0/35 °C) lämpöpumppujen lämmitystehoina käytettiin 0/55 °C ja lämpöpumpun menoveden toimintapisteen lämpötilaksi määriteltiin +50 °C. Näihin arvoihin päädyttiin, koska IV-lämmitysverkosto on mitoitettu +50 C:lle ja eri lämmönluovutustavoissa se voi vaihdella välillä 35–45 °C. Taulukossa 41 on esitetty osatehomitoituksen lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia. Säävyöhykkeestä riippuen osatehomitoitus kattaa 99–95 % rakennuksen vuotuisesta lämmitysenergiatarpeesta.

Taulukko 41. Maalämpöjärjestelmän osatehomitoitus eri säävyöhykkeillä.

	Vyöhyke I	Vyöhyke II	Vyöhyke III	Vyöhyke IV
IV-lämmitys	34,9 kW	38,1 kW	40,5 kW	40,5 kW
Lattialämmitys	47,6 kW	49,7 kW	51,8 kW	56,0 kW
ϕ_{tila}	82,5 kW	87,8 kW	92,3 kW	96,5 kW
Lämpöpumput	2xGemini 40	2xGemini 40	2xGemini 40	2xGemini 40
ϕ_{ipn}	81,2 kW	81,2 kW	81,2 kW	81,2 kW
$\phi_{\text{tila}}/\phi_{\text{ipn}}$	0,98 \approx 1	0,93 \approx 0,9	0,88 \approx 0,90	0,84 \approx 0,8
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	78 MWh/a		97 MWh/a	133 MWh/a
$Q_{\text{lämmitys,LKV}}$	88 MWh/a		88 MWh/a	88 MWh/a
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitys,LKV}}$	0,89 \approx 1		1,10 \approx 1	1,51 \approx 2
Lämpöpumpun osuus:	99 %	98 %	98 %	95 %

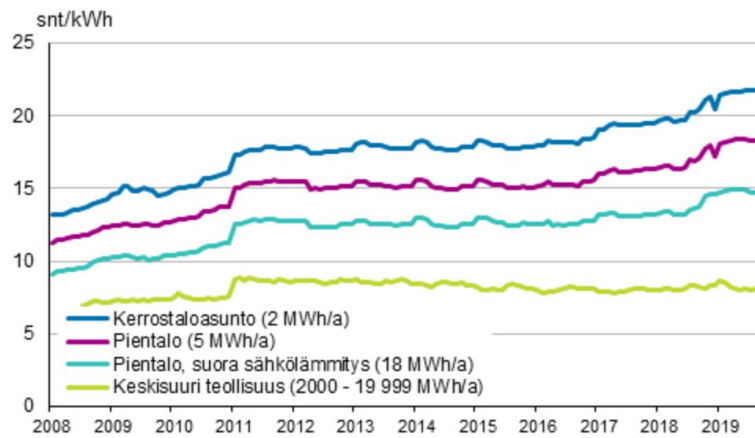
Kuvassa 46 esitetään maalämmön vuotuiset sähköenergiakulutukset. Selvyden vuoksi mainittakoon, että ensimmäinen osa on säävyöhyke (I-IV), keskimmäisen osan ollessa lämmönjakotapa (lattia- tai patterilämmitysverkosto, LL/PV). Jälkimmäinen puolestaan tarkoittaa maalämpöjärjestelmän täys- tai osatehomitoitusta (TT/OT).



Kuva 46. Maalämpöjärjestelmän vuotuiset energiakulutukset.

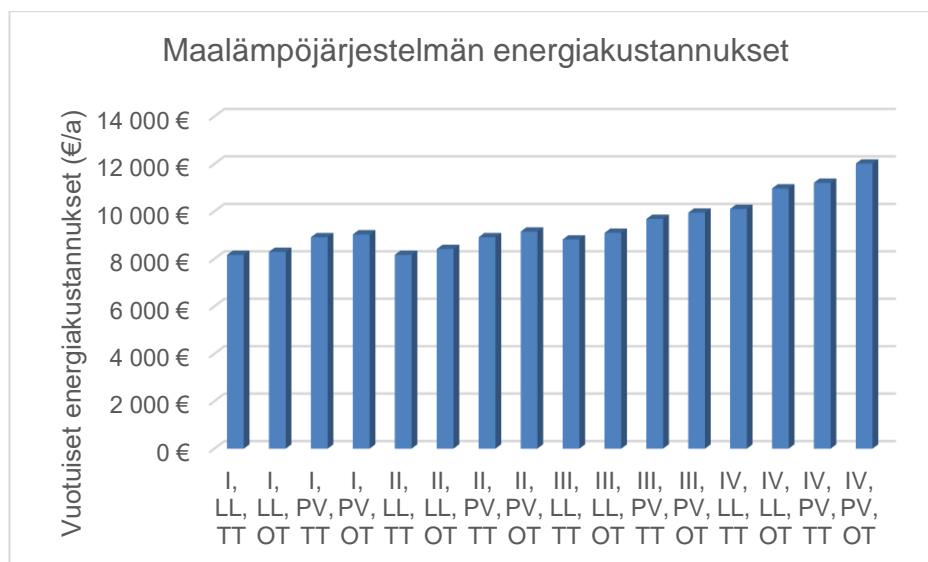
Kuvassa 46 on esitetty sähkön hintakehitys vuosien 2008–2019 aikana. 18 MWh/a vuosikulutuksella sähkön hinta on noussut 9 sentistä 15 senttiin 11 vuoden aikana: sähkön

hinta on nimellisesti noussut keskimäärin 4,75 % vuodessa. Vuonna 2019 sähkön hinta oli 150 €/MWh. Sähkön hinta on riippuvainen vuosikulutuksesta. [38]



Kuva 47. Sähkön hintakehitys kuluttajatyypeittäin 2008–2019 [53].

Tiedettäessä energian kulutus ja hinta (124 €/MWh, sis. alv 24 %) oli mahdollista laskea eri maalämpöjärjestelmille tulevat energiakustannukset. Ne käyvät ilmi kuvasta 48, jossa pylväät on nimetty samalla tavalla kuin kuvassa 46.



Kuva 48. Maalämpöjärjestelmän energiakustannukset.

Kaukolämpöön verrattuna huoltokustannusten määrä maalämpöjärjestelmässä määriteltiin kaksi kertaa suuremmaksi (480 €/a).

8.3 Lähtökohdat tarkastelulle

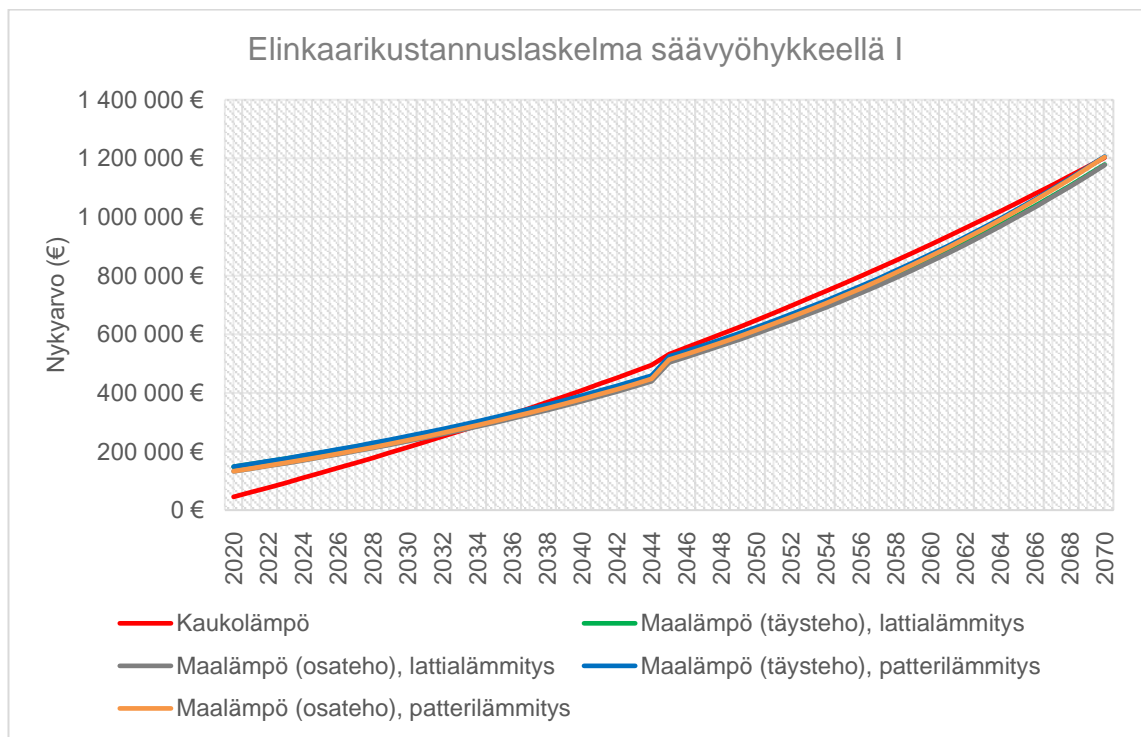
Laskelmien lähtökohdista ovat olleet seuraavat oletukset:

- 25 ja 50 vuoden tarkastelujaksojen aikana Suomessa ei synny hyperinflaatiota vaan inflaatio pysyy noin 1,0 %:ssa
- nimelliskorko 0,3 ja inflaatio 1,0 %. Reaalikorko $-0,7$ %, laskettu kaavalla 21. Laskelmissa päädyttiin kuitenkin käyttämään reaalikorkona 0,5 %, joka vastaa viimeisen 20 vuoden keskiarvoa.
- sähkö 124 €/kWh (sis. alv 24 %) ja reaalihinnan nousu: 3,56 % / vuosi
- kaukolämpö 93 €/MWh (sis. alv 24 %) ja reaalihinnan nousu: 1,94 % / vuosi
- laitteistojen asennus- ja hankintakustannusten on oletettu pysyvän reaalisesti nykyisellä tasolla
- kaikki lämpökaivot (8–15 kpl) mahtuvat tontille
- lämmönjakohuone on riittävän suuri, niin että sinne mahtuu kauko- tai maalämpölaitteet. Laskelmissa ei ole tarvinnut huomioida rakennusteknillisiä töitä
- rakennukseen tulevan käyttöveden lämpötila $+10$ °C. Maalämpöjärjestelmässä käyttöveden esilämmitys puskurivaraajassa $+25$ °C:seen, käyttöveden lämmitys energiavaraajassa $+25$... $+55$ °C. Lämminvesikierrossa käyttöveden lämpötila nostetaan $+55$ °C:sta $+58$ °C:een sähkövaraajassa (2,1 kW)
- ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatteri ($+50$ °C/ $+30$ °C) liitetään energiavaraajaan. Neljännellä säävyöhykkeellä tulevan IV-koneen raitisilman sähköistä esilämmityspatterin vaikutusta laskelmiin ei ole huomioitu
- lattialämmitys ($+35$ / $+30$ °C) liitetään puskurivaraajaan
- patterilämmitys ($+45$ / $+30$ °C) liitetään puskurivaraajaan, kasvattaen puskurivaraajan lämpötilaa
- lämmönjaon (lattia-/patterilämmityksen) vaihtoehtoisissa ei ole huomioitu näiden välistä hankintakustannuseroa
- puskurivaraajan liitetyn maalämpöpumpun COP vaihtelee arvojen 3,2–4,7 välillä riippuen lämpöpumpun mallista ja tuotetusta lämpötilasta
- energiavaraajan liitetyn maalämpöpumpun COP vaihtelee arvojen 2,7–2,8 välillä riippuen lämpöpumpun mallista ja tuotetusta lämpötilasta
- 80 % osateholla mitoitettu maalämpöjärjestelmä kattaa 99–95 % vuotuisesta lämpöenergian kulutuksesta. Puuttuva osuus (1–5 %) lämmitetään sähkövastuksilla.

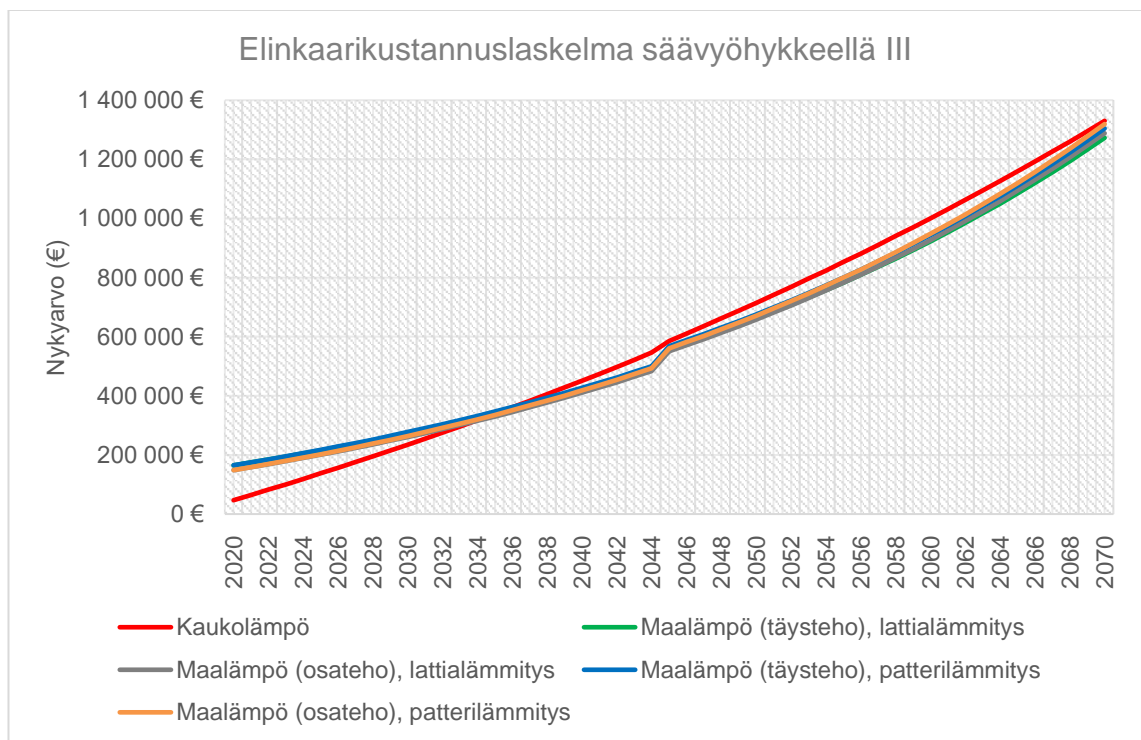
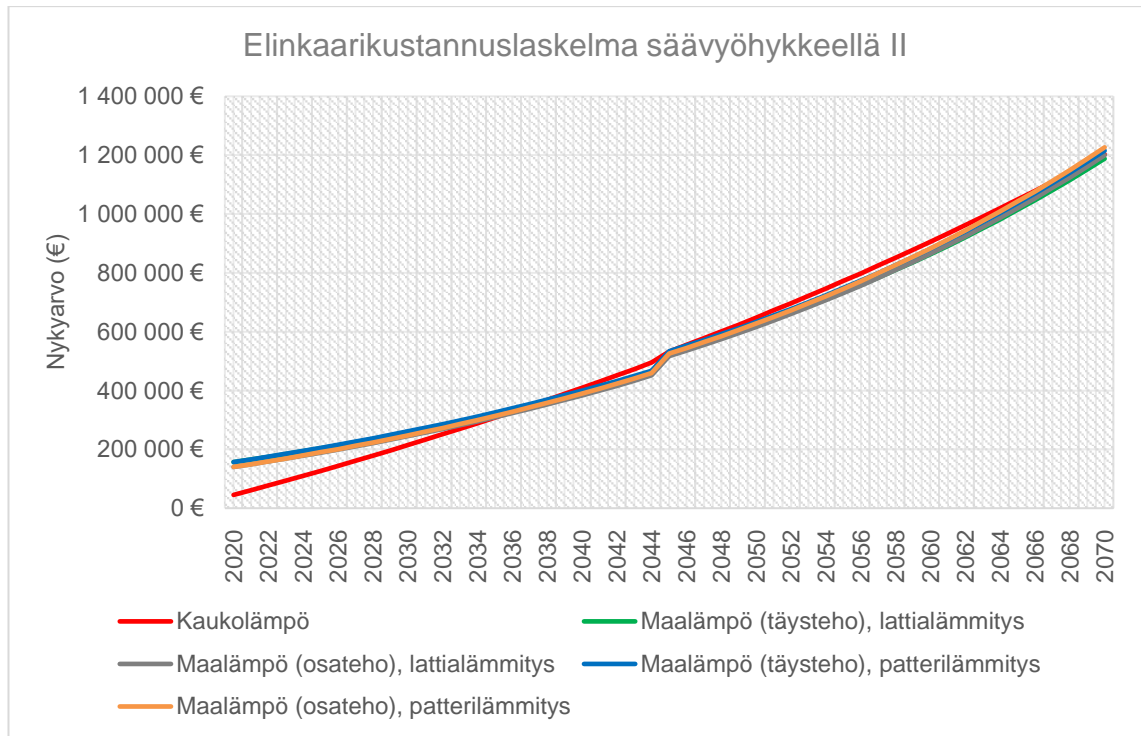
8.4 Elinkaarikustannuslaskelmat eri säävyöhykkeillä

Elinkaarikustannuslaskelmat 25 ja 50 vuoden jaksolle on suorittu Microsoft Excel-pohjaisella laskentaohjelmalla, jossa käytettiin tämän työn kuudennen luvun elinkaarikustannuslaskenta osiossa olevia kaavoja. Tässä työssä ei ole kuitenkaan sen tarkemmin avattu tämän laskentaohjelman toimintaa.

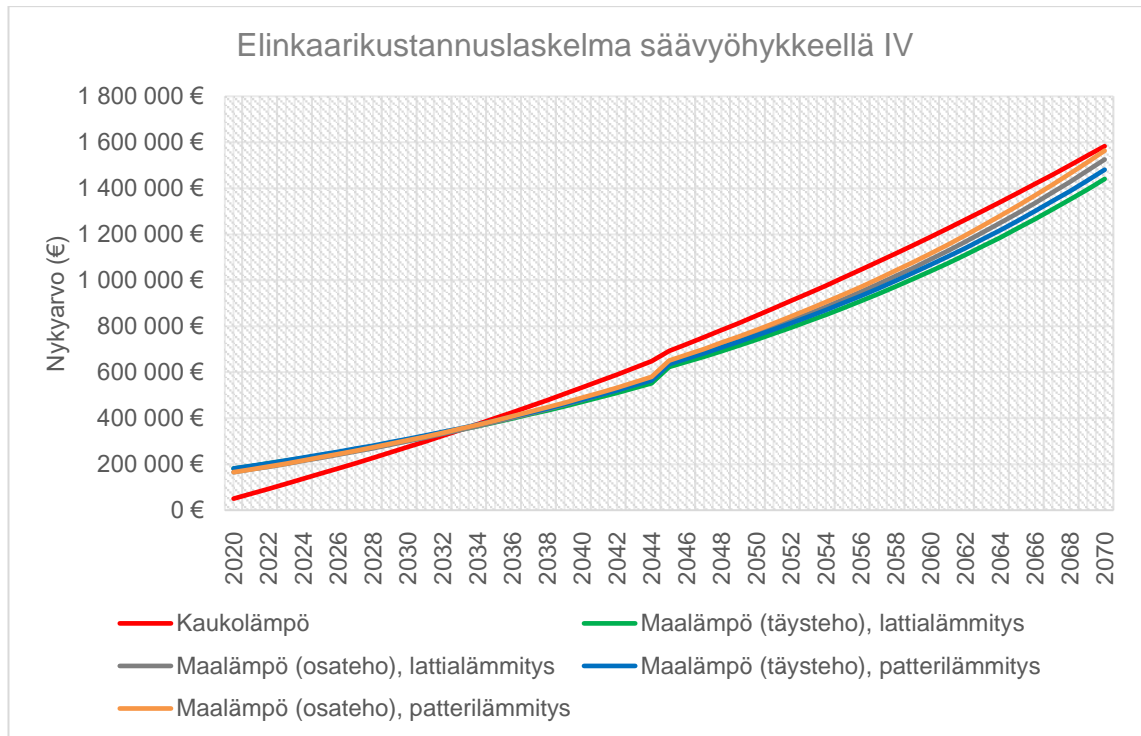
Laskelmissa verrattiin kaukolämmön sekä täys- ja osatehoisten maalämpöjärjestelmien kannattavuutta lattia- (+35/+30 °C) ja patterilämmityksillä (+45/+30 °C). Käyttöveden esilämmitys on huomioitu molemmissa lämmönjakotavoissa. Kuvissa 49–51 on esitetty elinkaarikustannuslaskelmat eri säävyöhykkeillä.



Kuva 49. Eri lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannuslaskelmat säävyöhykkeellä I.



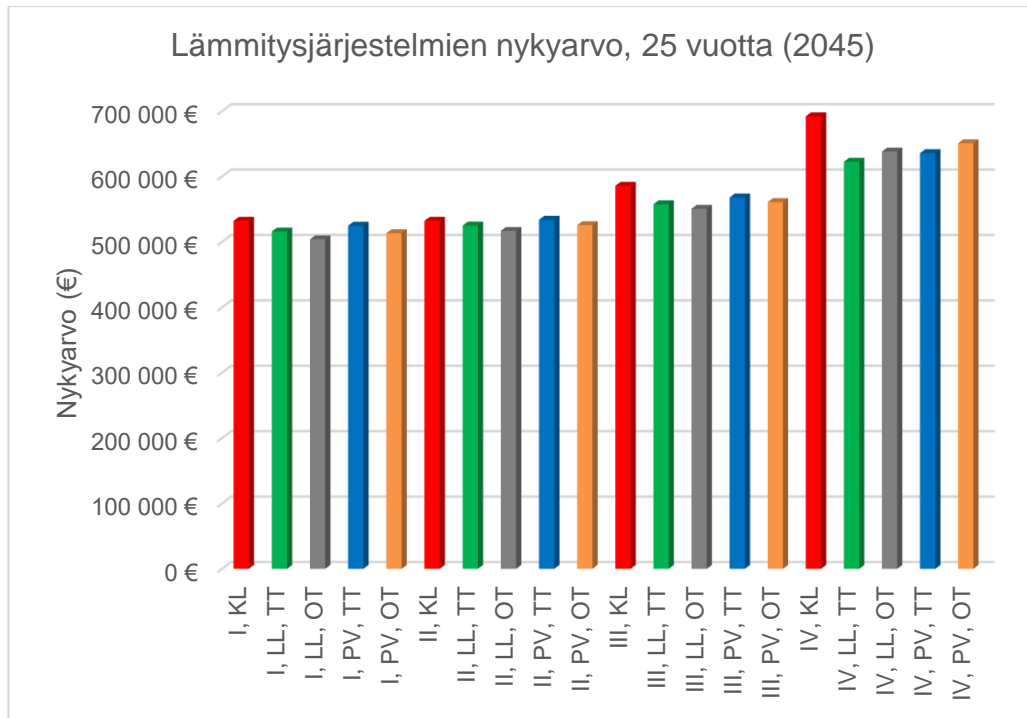
Kuva 50. Eri lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannuslaskelmat säävyöhykkeillä II ja III.



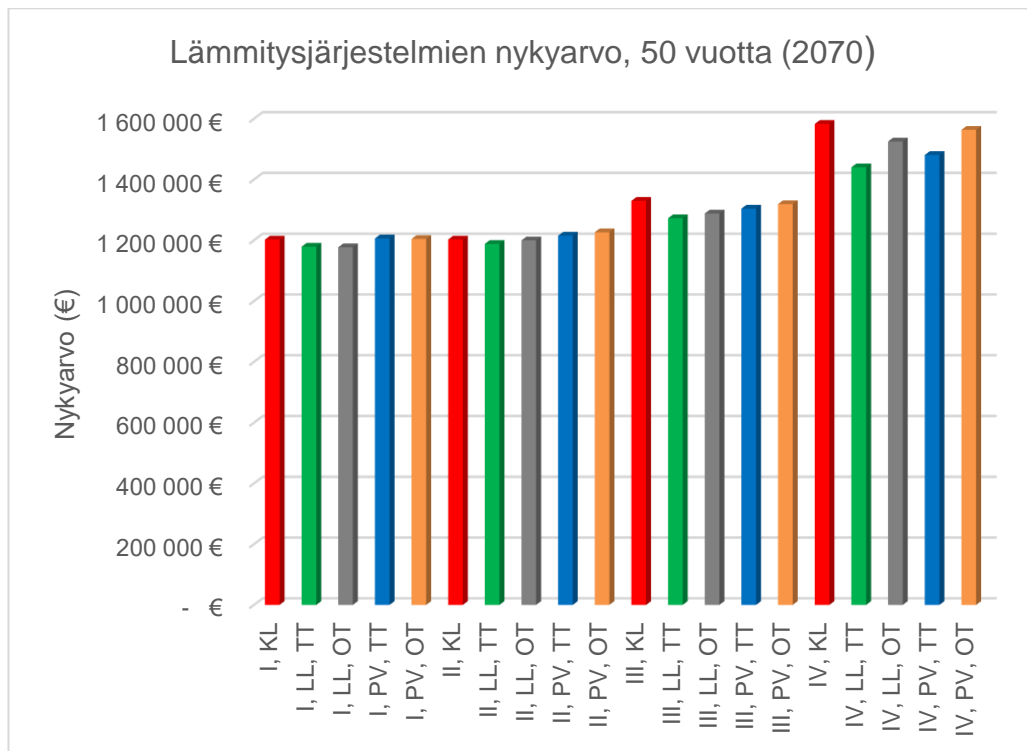
Kuva 51. Eri lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannuslaskelmat säävyöhykkeellä IV.

8.5 Nykyarvot eri säävyöhykkeillä

25 vuoden tarkastelujaksolla kaukolämmön nykyarvo vaihtelee elinkaarikustannuslaskelmissa 532 100–691 919 € välillä. Eri maalämpöjärjestelmien osalta vastaavat luvut ovat 503 880–650 653 €. 50 vuoden tarkastelussa kaukolämmön nykyarvoksi tulee 1 202 544–1 583 146 €; eri maalämpöjärjestelmissä se on vastaavasti 1 177 061–1 563 601 €. Lukemien perusteella voidaan todeta, että maalämpöjärjestelmä on investointina kaukolämpöjärjestelmää kannattavampi. 25 ja 50 vuoden eri lämmitysjärjestelmien nykyarvot on esitetty kuvissa 52 ja 53. Pylväät on nimetty samalla tavalla kuin kuvissa 46 ja 48. Selvyyden vuoksi mainittakoon että, kaukolämmön lyhenne kuvissa on KL.



Kuva 52. Lämmitysjärjestelmien nykyarvo 25 vuoden laskentajaksolla (2045).



Kuva 53. Lämmitysjärjestelmien nykyarvo 50 vuoden laskentajaksolla (2070).

Taulukossa 42 on esitetty kaukolämmön kokonaiskustannusten nykyarvo 50 vuoden tarkastelujakson aikana sekä sen vertailu maalämpöjärjestelmiin Suomen eri säävyöhykkeillä. Taulukosta ilmenee, että säävyöhykkeellä I ja II kaukolämmön nykyarvot ovat samat. Tämä johtuu siitä, että näillä säävyöhykkeillä LVI-järjestelmien vuotuiset energiatarpeet ovat samat (166 MWh/a). Taulukosta voidaan myös havaita, että maalämmön kannattavuus heikkenee säävyöhykkeellä II verrattuna säävyöhykkeeseen I. Tämä johtuu siitä, että rakennuksen lämmitystehon tarve kasvaa säävyöhykkeellä II lisäten näin maalämpöjärjestelmän investointikustannuksia.

Taulukko 42. Maalämpöjärjestelmien vertailu kaukolämmön nykyarvoon 50 vuoden tarkastelujakson aikana.

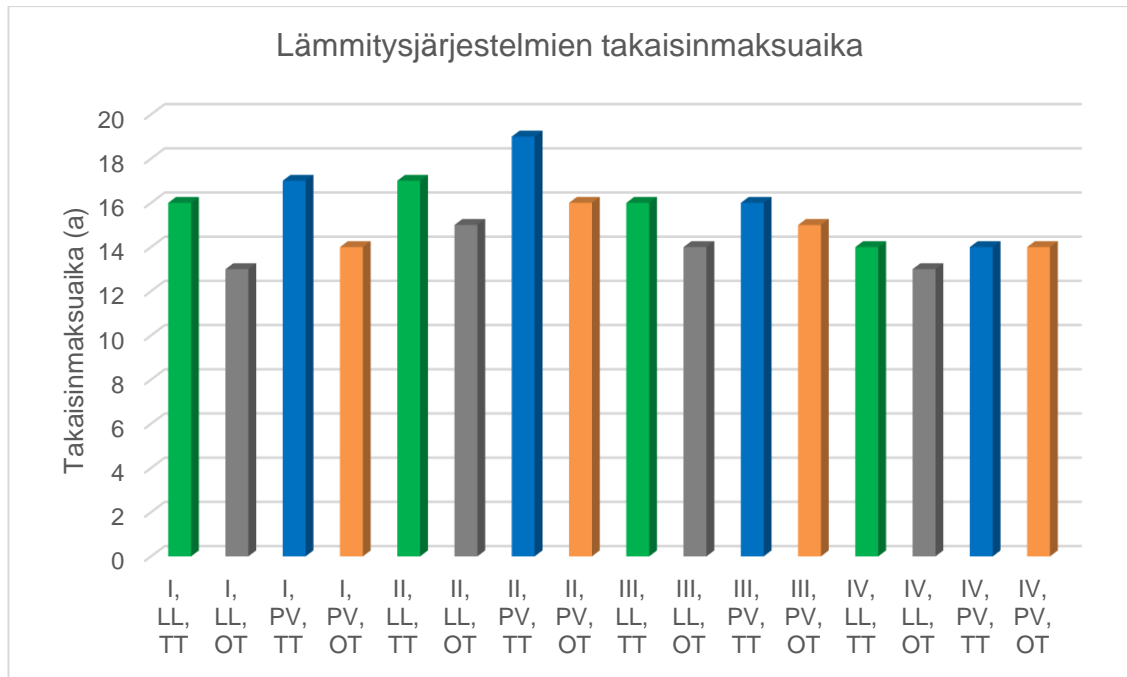
	Säävyöhyke			
	I	II	III	IV
Kaukolämpö	1 202 544 €	1 202 544 €	1 330 037 €	1 583 146 €
Maalämpö, LL (täysteho)	23 544 €	14 381 €	57 475 €	142 756 €
Maalämpö, LL (osateho)	25 483 €	2 763 €	41 966 €	57 942 €
Maalämpö, PV (täysteho)	-3 678 €	-12 840 €	25 823 €	102 338 €
Maalämpö, PV (osateho)	-1 964 €	-23 914 €	10 947 €	19 545 €

8.6 Päätelmät kannattavuuslaskelmista

Elinkaarilaskelmien perusteella oli mahdollista päätellä, että investointi maalämpöön on kannattavaa kaikilla säävyöhykkeillä, etenkin, jos valitaan käytettäväksi lämmönjakojärjestelmänä matalalla tasolla olevaa lattialämmitys (+35/+30 °C). Maalämpöön investointi on sitä kannattavampaa, mitä pohjoisemmassa kohde sijaitsee. Tätä selittää se, että pohjoisessa LVI-järjestelmien vuotuinen lämpöenergian tarve kasvaa suhteessa siihen, mitä lämmitysjärjestelmän alkuinvestointi tulee maksamaan.

Mikäli maalämpöjärjestelmään tulee patteriverkosto (+45/+30 °C), niin niitä käyttäessä sähköenergiamäärät kasvavat suurena energiakuluja. Niiden investointikannattavuus säävyöhykkeillä I ja II kaukolämpöön verrattaessa on heikko. Sitä vastoin säävyöhykkeillä III ja IV näiden kannattavuus paranee.

Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuajat suhteessa kaukolämpöön on esitetty kuvassa 54. Takaisinmaksuajat saatiin elinkaarikustannuslaskelmien perusteella (kuvat 49–51) ja ne vaihtelevat 13–19 vuoteen.



Kuva 54. Maalämpöjärjestelmien takaisinmaksuajat kaukolämpöön verrattaessa. Pylväät on nimetty samalla tavalla kuin kuvassa 46.

9 Pohdinta

Ilmastonmuutoksen johdosta sään ääri-ilmiöt ovat kasvaneet. Ne ovat puolestaan vaikuttaneet vuoden keskilämpötilan nousemiseen, talviajan pakkashuippujen madaltumiseen sekä kesäaikana hellehuippujen lämpötilojen kohoamiseen. Näillä tekijöillä tulee olemaan tulevaisuudessa vaikutusta eri rakennuskohteiden tehon tarpeeseen sekä vuotuisen lämmitysenergiamäärään. Ne puolestaan vaikuttavat järjestelmien mitoitukseen ja kannattavuuslaskelmiin. Rakennusten vuotuinen energiakulutus perustuu TRY2012 aineistoon. Ympäristöministeriön asetuksissa (1010/2017) sen sijaan käytetään mitoittavana ulkolämpötilana yhä tänäänkin vuoden 1979 arvoja (-26 °C , -29 °C , -32 °C & -38 °C), joilla on keskeinen vaikutus ilmanvaihdon ja tilalämmityksen lämmitystehoon (ks. taulukko 4, s. 9). Ympäristöministeriön tulisikin pikaisesti sekä selvittää että päivittää näille säävyöhykkeille uudet arvot. Tämä johtaisi lämmitystehon tarpeen laskemiseen rakennuskohteissa. Sillä olisi hankinta- ja käyttökustannuksia pienentävä merkitys.

Sekä kestäväää kehitystä että ilmastomuutoksen torjumista ajatellen rakennukset tulisi jatkossa suunnitella matalalämpöisellä lämmönjakotavalla. Se mahdollistaisi

myöhemmät investoinnit maalämpöjärjestelmään ja uusiutuvien energialähteiden hyödyntämisen. Ne molemmat toisivat vuosittaisia säästöjä. Matalalämpöisen lämmönjakotavan kannattavuus on todettu tämän työn elinkaarilaskelmilla.

10 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin uudisasuinkerrostalon eri LVI-järjestelmien (lämpimän käyttöveden, ilmanvaihdon ja tilalämmityksen) lämmitystehon tarpeet sekä niiden vuotuiset energiantarpeet Suomen neljällä eri säävyöhykkeellä. Lämpimän käyttöveden tehon tarve kaukolämpöjärjestelmälle selvitettiin vesikalusteiden normivirtaamista lasketun mitoitusvirtaaman perusteella. Maalämpöjärjestelmän vaatima teho laskettiin lämpimän käyttöveden vuorokaudessa edellyttämän nettoenergian perusteella. Ilmanvaihdon tehon tarpeen selvittämistä tutkittiin laskennallisesti ja laitetoimittajalta saadun IV-koneen mitoituksen perusteella. Tilojen lämmitystehon tarve laskettiin CADMATIC HVAC -sovelluksen avulla. IV- ja lattialämmitysjärjestelmien tehon tarve vaihtelee säävyöhykkeiden mukaan. Etelästä pohjoiseen päin mentäessä mitoittava ulkolämpötila laskee -26 °C :sta -38 °C :seen, mikä vaikuttaa lämmitysjärjestelmien mitoitusstehon tarpeeseen. IV:n lämmitysverkoston ja lattialämmityksen tehon tarpeet ovat samat kauko- ja maalämpöjärjestelmissä. Työssä laskettiin myös eri LVI-järjestelmien vuotuiset energian tarpeet hyödyntäen Equa IDA ICE -ohjelmistoa.

Seuraavaksi mitoitettiin ja valittiin kaukolämpölaitteet sekä täys- ja osateholla toimivat maalämpöjärjestelmät. Laitevalintojen ja vuotuisten energiamäärien perusteella laskettiin lämmöntuotantovaihtoehdoille investointi-, käyttö- ja huoltokustannukset. Näiden tietojen perusteella suoritettiin 25 ja 50 vuoden elinkaarikustannuslaskelmat Microsoft Excel-pohjaisella laskentaohjelmalla.

Tulosten mukaan maalämmön hankintakustannukset vaihtelivat eri säävyöhykkeillä 123 800–170 500 €:n välillä ja vuotuiset energiakustannukset 8 168–11 289 €:n välillä. Kaukolämmön hankintakustannukset oletettiin vakioksi 29 500 €, mutta sen käyttökustannukset vaihtelivat 15 421–20 538 €:n välillä johtuen lämpöenergiatarpeen muutoksista. Kokonaiskustannusten nykyarvo vaihteli 25 vuoden tarkastelujakson aikana 503 880–691 919 €. Vastaavasti 50 vuoden tarkastelussa se oli 1 177 061–1 583 146 €, riippuen

lämmitysjärjestelmistä ja säävyöhykkeestä. Elinkaarilaskelmien perusteella maalämpöön investointi on kannattavampaa varsinkin Keski- ja Pohjois-Suomessa. Säävyöhykkeestä ja lämmönjakotavasta riippuen maalämmön takaisinmaksuajat vaihtelivat suhteessa kaukolämpöön 13–19 vuotta.

Lähteet

- 1 Juvonen, Janne & Lapinlampi, Toivo. 2013. Ympäristöopas 2013. Energiakaivo, maalämmön hyödyntäminen pientalossa. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.suomenporakaivo.fi/pdf/ymparisto-opas-lampokaivo.pdf>>. Luettu 17.12.2018.
- 2 Seppänen, Olli. 1995. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-yhdistyksen liitto ry.
- 3 Käytä vettä järkevästi | HSY. Verkkoaineisto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut - kuntayhtymä HSY. <<https://www.hsy.fi/fi/asukkaalle/kodinvesiasiat/kaytavetta-jarkevasti/Sivut/default.aspx>>. Luettu 5.3.2019.
- 4 Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet. 2003. Helsinki: Suomen Kaukolämpö ry.
- 5 Julkaisu K1/2013, rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. 2014. Energiateollisuus ry.
- 6 Mäkelä, Veli-Matti & Tuunanen, Jarmo. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Julkaisu. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- 7 Kaukolämpötilasto. 2018. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <<https://energia.fi/files/3935/Kaukolampotilasto2018.pdf>>. Haettu 24.1.2020.
- 8 Kaappola, Esko. 2011. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- 9 Kaappola, Esko; Hirvelä Aulis; Jokela, Matti & Kianta, Jani. 2011. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- 10 Seppänen, Olli & Seppänen, Matti. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 11 Stammeier, Hanna. 2015. Elinkaarilaskelmat. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 12 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2015. Energiatehokas asuinrakennus - kohti lähes nollaenergiarakentamista. RIL 249-2015. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 13 Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <

www.ym.fi/download/noname/%7BAAD7DB92-F571-4766-A3F1-BFF63383191B%7D/133875>. Luettu 5.5.2019.

- 14 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteisto. 2007. Suomen rakentamismääräyskoelma, osa D1. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 15 Lappalainen, Markku. 2010. Energia- ja ekologia käsikirja, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 16 Harju, Pentti. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Penan Tieto-Opus Ky.
- 17 Maalämpöpumput kiinteistöjärjestelmät. 2018. LVI 11-10624. RT-kortisto. Luettu 13.11.2019.
- 18 Asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistosta 1047/2017. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/sk20171047.pdf>>. Haettu 6.5.2019.
- 19 Vedenkulutus taloyhtiössä - Motiva. 2019. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/ taloyhtiot/ energiaeksperttitoiminta/ tietoa_ energian- ja_ vedenkulutuksesta/ vedenkulutus_ taloyhtiössä> Luettu 15.12.2019.
- 20 Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. 2015. LVI 10-10558. RT-kortisto. Luettu 2.12.2019.
- 21 Rakennettu ympäristö ja ilmastonmuutos. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus RT. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaalitehokkuus/>>. Luettu 5.1.2020.
- 22 Energiatehokkuuden parantaminen vähentää päästöjä. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus RT. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Ilmasto--ja-energiapolitiikka/>>. Luettu 6.1.2020.
- 23 Rakennuksen energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus RT. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Ilmasto--ja-energiapolitiikka/Energiatehokkuus-suunnitteluvaiheessa/>>. Luettu 6.1.2020.
- 24 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://www.ym.fi/download/noname/%7BED0F67A6-AF20-4B3F-B191-7311189B65FD%7D/133978>>. Luettu 5.11.2019.

- 25 Asetus rakennusten energiatehokkuudesta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 26 Energiavuosi 2019 Kaukolämpö (Mediakuvat). 2020. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/4402/Energiavuosi2019_Kaukolampo_MEDIA-KUVAT_20200120.pdf>. Haettu 24.1.2020.
- 27 GST-lämmönjakokeskukset – HogforsGST. Verkkoaineisto. HögforsGST Oy. <<https://hogforsgst.com/fi/tuotteet/lattia-asenteiset-lammonjakokeskukset-2/lattia-asenteiset-lammonjakokeskukset/>>. Luettu 11.9.2019.
- 28 Perälä, Osmo & Perälä, Rae. 2013. Lämpöpumput. 3., uudistettu painos. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.
- 29 Lehtonen Juha-Matti. 2004. Tuotantotalous. Helsinki: WSOY.
- 30 Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitysterhontarpeen laskenta. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma, energiatehokkuus. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://www.ym.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>>. Haettu 6.2.2020.
- 31 Asetus rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitysterhontarpeen laskennasta. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 32 Geoenergian hyötykäyttö suurkohteissa ja yhdyskuntasuunnittelussa. 2009. Verkkoaineisto. GTK. <http://www2.jkl.fi/kaavakartat/uusiutuvat_energiamuodot_seminaari/jk_esitys_190809.pdf>. Luettu 7.2.2020.
- 33 Geoenergiatietoa – Geoenergiakeskus. Verkkoaineisto. Suomen Geoenergiakeskus. <<https://www.geoenergiakeskus.fi/geoenergiatietoa>>. Luettu 8.2.2020.
- 34 Leppäharju, Nina. 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geologiset tekijät. Oulun yliopisto. Fysikaalisten tieteiden laitos. Pro gradu – tutkielma. Luettu 26.12.2019.
- 35 Nibe, maalämpöpumppu opas. Verkkoaineisto. Nibe. <<https://www.nibe.eu/upload/haato/Ohjeet/NIBE%20MLP%20OPAS%201335-6.pdf>>. Haettu 8.2.2020.
- 36 Sitowise Oy. Sitowise yritys. <<https://www.sitowise.com/fi/sitowise/yritys>>. Luettu 8.2.2020.

- 37 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpano. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Maankayton_ja_rakentamisen_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Rakennusten_energiatehokkuusdirektiivin_toimeenpano>. Päivitetty 21.1.2020. Luettu 25.1.2020.
- 38 Reaalikorko ja nimelliskorko. 2016. Verkkodokumentti. Euroopan keskuspankki. <https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me/html/nominal_and_real_interest_rates.fi.html>. Päivitetty 25.5.2016. Luettu 8.2.2020.
- 39 Vuoden 2020 laskelmissa käytettäväksi tarkoitettu korkokustannus. 2020. Verkkodokumentti. Valtionkonttori. <<https://www.valtiokonttori.fi/maaraykset-ja-ohjeet/vuoden-2020-laskelmissa-kaytettavaksi-tarkoitettu-korkokustannus/>>. Luettu 8.2.2020.
- 40 Sirén, Kai. 2015. Rakennusten energiainvestointien kannattavuuden laskenta. Aalto yliopisto.
- 41 Inflaatio iskee tavallisen kuluttajan kukkaraan. Verkkoaineisto. Credigo. <<https://www.credigo.fi/sanakirja/inflaatio/>>. Luettu 25.11.2019.
- 42 Miten laitekannan modernisointi vaikuttaa kiinteistön elinkaarikustannuksiin. 2019. Verkkoaineisto. Lassikko. <<https://lassikko.lt.fi/kiinteiston-elinkaarikustannukset>>. Luettu 8.2.2020.
- 43 Hurjimmillaan satojen miljardien seteleitä. Julkaistu 1.2.2008. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/uutiset/3-5821080>>. Päivitetty 31.10.2008. Luettu 25.11.2019.
- 44 Energiatehokas asuinrakennus – kohti lähes nollaenergiarakentamista. 2015. RIL 249-2015. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 45 Sisäilmaluokitus 2018. 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. RT 07-11299. Rakennustieto Oy.
- 46 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/sk20171010.pdf>>. Luettu 7.2.2020.
- 47 Ahola Mervi & Säteri Jorma. Sisäilmastoluokitus 2018. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/content/download/3950/25442/version/1/file/Sis%C3%A4ilmastoluokitus2018-14052018.pdf>>. Haettu/luettu 11.12.2019.
- 48 Lämmitys kaukolämmöllä. 2005. RT 52-10859. Rakennustieto Oy.

- 49 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. 2008. RT 18-10922. Rakennustieto Oy.
- 50 Lehtinen, Jari. 2013. Maalämpöpumpun ja maalämmön valinta. Lämpövinkki Oy.
- 51 Myyryläinen, Leevi. 2019. Rakennusten elinkaari, energia ja kunto. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 52 Kaukolämmön hinta – Energiateollisuus. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/tilastot/kaukolampotilastot/kaukolammon_hinta>. Luettu 10.2.2020.
- 53 Tilastokeskus -.Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. 2019. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2019/03/ehi_2019_03_2019-12-11_kuv_005_fi.html>. Luettu 11.2.2020.
- 54 Asetus rakennusten energiatehokkuudesta. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 55 Maalämpö – Tom Allen Senera. Verkkoaineisto. <<https://www.tomallensenera.fi/maalampo#lampokaivo>>. Luettu 4.1.2020.
- 56 Ohjekortti, sisäliikuntatilojen LVIA-suunnittelu. 2017. LVI 06-10600. Rakennustieto Oy.
- 57 Gebwell käyttövesikierukka ja sähkövastus. 2018. Verkkoaineisto. Gebwell Oy. <<https://gebwell.fi/wp-content/uploads/2019/07/Gebwell-G-Energy-kierukka-ja-sahkovastus.pdf>>. Haettu 24.2.2020.
- 58 Energiavaraajat ja käyttövedenlämmittimet – Gebwell. Verkkoaineisto. Gebwell Oy. <<https://gebwell.fi/tuotteet/energiavaraajat-ja-kayttovedenlammitimet/>>. Luettu 5.1.2020.
- 59 Fossiilisten polttoaineiden edut ja haitat – Peda.net. Verkkoaineisto. Peda.net. <<https://peda.net/p/siiri%20siirila/tellus2/tellus2-150115/10-energi%C3%A4hteet2/eejh/fpejh>>. Luettu 22.2.2020.
- 60 Bioenergia käyttö – Motiva. 2020. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto>. Luettu 25.2.2020.
- 61 Hiilineutraali energia 2030-luvulla. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/linjaukset/hiilineutraali_energia>.Luettu 4.1.2020.

- 62 Lämpöpumput - SULPU. Verkkoaineisto. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. <<https://www.sulpu.fi/lampopumput>>. Luettu 5.1.2020.
- 63 Lämpöpumpputilasto. 2020. Verkkoaineisto. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. <<https://www.sulpu.fi/documents/184029/0/La%CC%88mpo%CC%88pumpputilasto%202019%2C%20%20kuvaajat%20FI.pdf>>. Haettu 10.2.2020.
- 64 WHCEP Mini vesistöväihdin. Verkkoaineisto. GeoPipe GP Oy. <<https://www.geopipe.fi/fi-FI/tuotteet/whcep-mini-33364312>>. Luettu 6.1.2020.
- 65 Inflaatio | Findikaattori.fi. 2020. Verkkoaineisto. Findikaattori. <<https://findikaattori.fi/fi/1>>. Luettu 16.2.2020.
- 66 Jylhä, Kirsi; Kalamees, Targo; Tietäväinen, Hanna; Ruosteenoja, Kimmo; Jokisalo, Juha; Hyvönen, Reijo; Ilomets, Simo; Saku, Seppo & Hutila, Asko. 2011. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos / Sitra. <<https://media.sitra.fi/2012/05/19145627/Selvityksia53.pdf>>. Luettu 26.2.2020.
- 67 RED II -direktiivistä suuntaviivat uusiutuvan energian edistämiseksi. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://reiluaenergiaa.fi/lainsaadanto/red-ii-direktiivistasuuntaviivat-uusiutuvan-energian-edistamiseksi/>>. Luettu 15.3.2020.
- 68 Koponen, Kati & Sokka, Laura. 2019. REDII -direktiivi: Kasvihuonekaasupäästövähenemää koskevat kestävyyskriteerit. Verkkoaineisto. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <https://cris.vtt.fi/files/26329817/REDII_raportti_p_ivitys_fi_nal.pdf>. Haettu 15.3.2020.
- 69 Eskola, Lari; Jokisalo, Juha & Sirén, Kai. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Verkkoaineisto. Helsinki: Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B10A732A6-EA2F-45F9-869C-6F909138CB26%7D/30757>>. Haettu 14.3.2020.
- 70 Toinen maailmansota väreissä. Osa 1, Nouseva myrsky. 2009. TV-dokumentti. Netflix.

Veden ominaisuuksia

Ominaisuudet on annettu 0–100 °C välillä 1 bar:n paineessa

t (°C)	p (bar)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg°C)	Λ (W/Km)
0	1	999,8	4,218	0,552
10	1	999,7	4,192	0,578
20	1	998,2	4,182	0,598
30	1	995,65	4,178	0,614
40	1	992,2	4,178	0,629
50	1	988,0	4,181	0,642
60	1	983,2	4,184	0,652
70	1	977,8	4,190	0,661
80	1	971,8	4,196	0,669
90	1	965,3	4,205	0,676
100	1,013	958,4	4,216	0,681

Kuivan ilman ominaisuuksia

Ominaisuudet on annettu 101,3 kPa:n paineessa

t (°C)	p (bar)	c_p (kJ/kg°C)	Λ (W/Km)
-50	1,534	1,007	0,0203
0	1,2930	1,006	0,0241
20	1,2045	1,007	0,0257
40	1,1267	1,008	0,0273
60	1,0595	1,009	0,0288
80	0,9998	1,011	0,0303
100	0,9458	1,012	0,0317

**Jakojohtojen mitoitusvirtaama asuin-, toimisto-, koulu-, hotelli-, sairaala
tms. rakennuksissa**

Normivirtaamien summa Q (dm ³ /s)	Mitoitusvirtaama q ¹ dm ³ /s q _{N1} (dm ³ /s)			
	0,1	0,2	0,3	0,4
0,1	0,10	-	-	-
0,2	0,16	0,20	-	-
0,3	0,18	0,26	0,30	-
0,4	0,20	0,28	0,36	0,40
0,5	0,21	0,30	0,38	0,46
0,6	0,23	0,31	0,40	0,48
0,7	0,24	0,33	0,41	0,50
0,8	0,25	0,34	0,43	0,51
0,9	0,26	0,35	0,44	0,53
1,0	0,27	0,36	0,45	0,54
1,1	0,28	0,37	0,46	0,55
1,2	0,29	0,38	0,47	0,56
1,3	0,30	0,39	0,48	0,57
1,4	0,31	0,40	0,49	0,58
1,5	0,32	0,41	0,50	0,59
1,6	0,33	0,42	0,51	0,60
1,7	0,34	0,43	0,52	0,61
1,8	0,35	0,44	0,53	0,62
1,9	0,35	0,45	0,54	0,63
2,0	0,36	0,45	0,55	0,64
2,2	0,38	0,47	0,56	0,65
2,4	0,39	0,48	0,58	0,67
2,6	0,41	0,50	0,59	0,68
2,8	0,42	0,51	0,61	0,70
3,0	0,43	0,53	0,62	0,71
3,2	0,45	0,54	0,63	0,73
3,4	0,46	0,55	0,65	0,74
3,6	0,47	0,56	0,66	0,75
3,8	0,48	0,58	0,67	0,76
4,0	0,49	0,59	0,68	0,78
4,2	0,51	0,60	0,69	0,79
4,4	0,52	0,61	0,71	0,80
4,6	0,53	0,62	0,72	0,81

Normivirtaamien summa Q (dm ³ /s)	Mitoitusvirtaama q ¹⁾ dm ³ /s q _{N1} (dm ³ /s)			
	0,1	0,2	0,3	0,4
4,8	0,54	0,63	0,73	0,82
5,0	0,55	0,64	0,74	0,83
5,5	0,58	0,67	0,77	0,86
6,0	0,60	0,70	0,79	0,89
6,5	0,63	0,72	0,82	0,91
7,0	0,65	0,74	0,84	0,94
7,5	0,67	0,77	0,86	0,96
8,0	0,70	0,79	0,89	0,98
8,5	0,72	0,81	0,91	1,00
9,0	0,74	0,84	0,93	1,03
9,5	0,76	0,86	0,95	1,05
10,0	0,78	0,88	0,97	1,07
10,5	0,80	0,90	1,00	1,09
11,0	0,82	0,92	1,02	1,11
11,5	0,84	0,94	1,04	1,13
12,0	0,86	0,96	1,06	1,15
12,5	0,88	0,98	1,08	1,17
13,0	0,90	1,00	1,10	1,19
13,5	0,92	1,02	1,11	1,21
14,0	0,94	1,04	1,13	1,23
14,5	0,96	1,06	1,15	1,25
15,0	0,98	1,08	1,17	1,27
15,5	1,00	1,09	1,19	1,29
16,0	1,02	1,11	1,21	1,30
16,5	1,03	1,13	1,23	1,32
17,0	1,05	1,15	1,24	1,34
17,5	1,07	1,17	1,26	1,36
18,0	1,09	1,18	1,28	1,38
18,5	1,10	1,20	1,30	1,39
19,0	1,12	1,22	1,31	1,41
19,5	1,14	1,24	1,33	1,43
20,0	1,16	1,25	1,35	1,45
21,0	1,19	1,29	1,38	1,48
22,0	1,22	1,32	1,42	1,51
23,0	1,26	1,35	1,45	1,55
24,0	1,29	1,39	1,48	1,58
25,0	1,32	1,42	1,51	1,61
26,0	1,35	1,45	1,55	1,64
27,0	1,38	1,48	1,58	1,67

Normivirtaamien summa Q (dm ³ /s)	Mitoitusvirtaama q ¹⁾ dm ³ /s q _{N1} (dm ³ /s)			
	0,1	0,2	0,3	0,4
28,0	1,42	1,51	1,61	1,71
29,0	1,45	1,54	1,64	1,74
30,0	1,48	1,57	1,67	1,77
32,0	1,54	1,63	1,73	1,83
34,0	1,60	1,69	1,79	1,89
36,0	1,66	1,75	1,85	1,95
38,0	1,71	1,81	1,91	2,01
40,0	1,77	1,87	1,97	2,06
45,0	1,91	2,01	2,11	2,20
50,0	2,05	2,15	2,24	2,34
55,0	2,18	2,28	2,38	2,47
60,0	2,31	2,41	2,51	2,60
65,0	2,44	2,54	2,64	2,73
70,0	2,57	2,67	2,76	2,86
80,0	2,82	2,91	3,01	3,11
90,0	3,06	3,16	3,25	3,35
100,0	3,30	3,39	3,49	3,59
110,0	3,53	3,63	3,72	3,82
120,0	3,76	3,86	3,95	4,05
130,0	3,98	4,08	4,18	4,28
140,0	4,21	4,30	4,40	4,50
150,0	4,43	4,53	4,62	4,72
160,0	4,65	4,74	4,84	4,94
170,0	4,86	4,96	5,06	5,16

¹⁾ Jakojohtoon jos liittyy vakiovirtaamia, lisätään ne sellaisenaan mitoitusvirtaamaan

Maalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia

$\Phi_{pnp}/$ Φ_{tila}	$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/$ $Q_{\text{lämmitys,LKV}}$	Säävyöhyke I-II				Säävyöhyke III				Säävyöhyke IV			
		T_m . (°C)				T_m . (°C)				T_m . (°C)			
		30	40	30	40	50	60	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	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	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	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	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,4	0,5	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	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	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	0,84	0,79	0,76	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,5	0,5	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	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	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	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,6	0,5	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	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	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	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,7	0,5	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	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	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	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,8	0,5	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	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	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	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,9	0,5	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	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	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	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,0	0,5	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	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	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	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98

Kohteen asuinhuoneiden lukumäärä eri kerroksissa

Kerros:	Asunto nro:	Huoneistoyyppi:
1.krs	As.1	Kolmio
1.krs	As.2	Yksiö
1.krs	As.3	Yksiö
1.krs	As.4	Yksiö
1.krs	As.5	Yksiö
2.krs	As.6	Yksiö
2.krs	As.7	Kolmio
2.krs	As.8	Kolmio
2.krs	As.9	Yksiö
2.krs	As.10	Yksiö
2.krs	As.11	Kaksio
2.krs	As.12	Kaksio
2.krs	As.13	Yksiö
3.krs	As.14	Yksiö
3.krs	As.15	Kolmio
3.krs	As.16	Kolmio
3.krs	As.17	Yksiö
3.krs	As.18	Yksiö
3.krs	As.19	Kaksio
3.krs	As.20	Kaksio
3.krs	As.21	Yksiö
4.krs	As.22	Yksiö
4.krs	As.23	Kolmio
4.krs	As.24	Kolmio
4.krs	As.25	Yksiö
4.krs	As.26	Yksiö
4.krs	As.27	Kaksio
4.krs	As.28	Kaksio
4.krs	As.29	Yksiö
5.krs	As.30	Yksiö
5.krs	As.31	Kolmio
5.krs	As.32	Kolmio
5.krs	As.33	Yksiö
5.krs	As.34	Yksiö
5.krs	As.35	Kaksio
5.krs	As.36	Kaksio
5.krs	As.37	Yksiö

Kohteen vesikalusteet eri kerroksissa

Kerros:	Tila/ asunto nro:	Vesikaluste:				
		Keittiö-/apu- tilahana	Pesuallashana	Suihku	WC-istuin	Vesiposti
1.krs	Ulkoseinä	-	-	-	-	1
1.krs	Siivoust.	1	-	-	-	-
1.krs	Lämmöjakoh.	1	-	-	-	-
1.krs	As.1	1	1	1	1	-
1.krs	As.2	1	1	1	1	-
1.krs	As.3	1	1	1	1	-
1.krs	As.4	1	1	1	1	-
1.krs	As.5	1	1	1	1	-
2.krs	As.6	1	1	1	1	-
2.krs	As.7	1	1	1	1	-
2.krs	As.8	1	1	1	1	-
2.krs	As.9	1	1	1	1	-
2.krs	As.10	1	1	1	1	-
2.krs	As.11	1	1	1	1	-
2.krs	As.12	1	1	1	1	-
2.krs	As.13	1	1	1	1	-
3.krs	As.14	1	1	1	1	-
3.krs	As.15	1	1	1	1	-
3.krs	As.16	1	1	1	1	-
3.krs	As.17	1	1	1	1	-
3.krs	As.18	1	1	1	1	-
3.krs	As.19	1	1	1	1	-
3.krs	As.20	1	1	1	1	-
3.krs	As.21	1	1	1	1	-
4.krs	As.22	1	1	1	1	-
4.krs	As.23	1	1	1	1	-
4.krs	As.24	1	1	1	1	-
4.krs	As.25	1	1	1	1	-
4.krs	As.26	1	1	1	1	-
4.krs	As.27	1	1	1	1	-
4.krs	As.28	1	1	1	1	-
4.krs	As.29	1	1	1	1	-
5.krs	As.30	1	1	1	1	-
5.krs	As.31	1	1	1	1	-
5.krs	As.32	1	1	1	1	-

Kerros:	Tila/ asunto nro:	Vesikaluste:				
		Keittiö-/apu- tilahana	Pesuallashana	Suihku	WC-istuin	Vesiposti
5.krs	As.33	1	1	1	1	-
5.krs	As.34	1	1	1	1	-
5.krs	As.35	1	1	1	1	-
5.krs	As.36	1	1	1	1	-
5.krs	As.37	1	1	1	1	-
Yhteensä:		39	37	37	37	1

Kohteen lämpötehon tarve huonetilaan (asunto 1, makuuhuone 1)Lähtötiedot:Ulkolämpötila: -32 °C (säävyöhyke III)Huonetilan lämpötila: $+21\text{ °C}$ Tuloilman määrä / lämpötila: $+12\text{ l/s} / +18\text{ °C}$ Huonekorkeus: $2,6\text{ m}$ Huonepinta-ala: $12,5\text{ m}^2$ Ulkoseinän pituus: $4,6\text{ m}$ Huonetilavuus (V): $2,6\text{ m} \cdot 12,5\text{ m}^2 = 32,5\text{ m}^3$ Ikkuna(t): 2 kpl $1,0\text{ m} \times 1,8\text{ m} \rightarrow$ piiri $5,6\text{ m}$ / ikkunaAlapohjan U-arvo (maanvarainen): $0,16\text{ W}/(\text{°Cm}^2)$ Yläpohja = välipohja = $0,0\text{ W}/(\text{°Cm}^2)$ Ulkoseinän U-arvo: $0,17\text{ W}/(\text{°Cm}^2)$ Ikkunan ja oven U-arvo: $1,0\text{ W}/(\text{°Cm}^2)$ Ikkunan konduktanssi (kylmäsilta): $0,04\text{ W}/(\text{°Cm}^2)$ Alapohjan/seinän konduktanssi (kylmäsilta): $0,24\text{ W}/(\text{°Cm}^2)$ Vuotoilmaluku (n_{50}): $4,0\text{ 1/h}$ Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi tilassa:Ulkovaipan pituus $4,6\text{ m}$ ja korkeus $2,6$. Ulkovaipan pinta-ala: $11,96\text{ m}^2$.Ikkunoiden pinta-ala: $A_{ikkuna1} + A_{ikkuna2} = 1,0\text{ m} \cdot 1,8\text{ m} + 1,0 \cdot 1,8 = 3,6\text{ m}^2$.Ulkoseinän pinta-ala (ikkunat ja ovet poistettuna): $11,96\text{ m}^2 - 3,6\text{ m}^2 = 8,36\text{ m}^2$.

$$\phi_i = \sum U_i A_i (T_s - T_{u,mit}) \quad (3)$$

$$\phi_{ulkoseinä} = 0,17 \frac{\text{W}}{\text{°Cm}^2} * 8,36\text{ m}^2 * (21\text{ °C} - (-32\text{ °C})) \approx 75\text{ W}$$

$$\phi_{alapohja} = 0,16 \frac{\text{W}}{\text{°Cm}^2} * 12,5\text{ m}^2 * (21\text{ °C} - (3,2\text{ °C} + 2\text{ °C})) \approx 32\text{ W}$$

$$\begin{aligned} \phi_{ikkuna} &= 1,0 \frac{\text{W}}{\text{°Cm}^2} * 1,8\text{ m}^2 * (21\text{ °C} - (-32\text{ °C})) + 1,0 \frac{\text{W}}{\text{°Cm}^2} * 1,8\text{ m}^2 \\ &\quad * (21\text{ °C} - (-32\text{ °C})) \approx 191\text{ W} \end{aligned}$$

$$\phi_{\text{kylmäsillat,alapohja/seinä}} = \sum l_{k,\text{alapohja/seinä}} \psi_{k,\text{alapohja/seinä}} (T_s - T_{u,\text{mit}}) \quad (4)$$

$$= 4,6 \text{ m} * 0,24 \frac{\text{W}}{\text{°Cm}} * (21 \text{ °C} - (-32 \text{ °C})) = 59 \text{ W}$$

$$\phi_{\text{kylmäsillat,ikkunat}} = \sum l_{k,\text{ikkuna}} \psi_{k,\text{ikkuna}} (T_s - T_{u,\text{mit}}) \quad (4)$$

$$= 2 * 5,6 \text{ m} * 0,04 \frac{\text{W}}{\text{°Cm}} * (21 \text{ °C} - (-32 \text{ °C})) = 24 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \phi_{\text{kylmäsilta}} &= \phi_{\text{kylmäsillat,alapohja/seinä}} + \phi_{\text{kylmäsillat,ikkunat}} \\ &= 59 \text{ W} + 24 \text{ W} = 83 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\phi_{\text{joht}} = \phi_{\text{ulkoseinä}} + \phi_{\text{yläpohja}} + \phi_{\text{alapohja}} + \phi_{\text{ikkuna}} + \phi_{\text{ovi}} \quad (2)$$

$$+ \phi_{\text{muu}} + \phi_{\text{kylmäsilta}}$$

$$= 75 \text{ W} + 0 \text{ W} + 32 \text{ W} + 191 \text{ W} + 0 \text{ W} + 0 \text{ W} + 83 \text{ W} = 381 \text{ W}$$

Tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve tilassa:

$$\phi_{\text{tuloilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v,\text{tulo}} (T_s - T_{sp}) \quad (8)$$

$$\phi_{\text{tuloilma}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * 0,012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (21 \text{ °C} - 18 \text{ °C}) = 43 \text{ W}$$

Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve tilassa:

$$n_{\text{vuotoIV}} = \frac{n_{50}}{25} \quad (5)$$

$$n_{\text{vuotoIV}} = \frac{4,0 \text{ 1/h}}{25} = 0,16 \text{ 1/h}$$

$$q_{\text{vuotoIV}} = \frac{n_{\text{vuotoIV}}}{3600} * V \quad (6)$$

$$q_{\text{vuotoIV}} = \frac{0,16 \text{ 1/h}}{3600} * 32,5 \text{ m}^3 = 0,001444 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\phi_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{\text{vuotoIV}} (T_s - T_{u,\text{mit}}) \quad (7)$$

$$\phi_{\text{vuotoilma}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * 0,00144 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (21 \text{ °C} - (-32 \text{ °C})) = 92 \text{ W}$$

Lämmityksen lämpötehon tarve tilassa:

$$\phi_{tila} = \phi_{joht} + \phi_{vuotoilma} + \phi_{tuloilma} + \phi_{korvausilma} \quad (1)$$

$$\phi_{tila} = 381 \text{ W} + 92 \text{ W} + 43 \text{ W} + 0 \text{ W} \approx 516 \text{ W}$$

Kohteen ilmavirrat sekä lämpöhäviöt eri säävyöhykkeillä (I-IV)

1. kerros

Huone:	Pinta-ala:	Ilmavirrat:	Lämpöhäviöt vyöhykkeellä			
			I	II	III	IV
VSS	45,0 m ²	+/-16 l/s	914 W	967 W	1025 W	1148 W
Irt.var.	42,5 m ²	+/-15 l/s	1020 W	1080 W	1146 W	1282 W
Irt.var.	22,0 m ²	+/-8 l/s	462 W	489 W	518 W	580 W
Käytävä	29,0 m ²	+34 l/s	634 W	666 W	702 W	778 W
UVV	9,0 m ²	+/-4 l/s*	324 W	343 W	364 W	406 W
SPK	7,0 m ²	+/-5 l/s	80 W	84 W	89 W	99 W
Irt.var	11,5 m ²	+/-4 l/s	304 W	323 W	342 W	383 W
LJH	7,0 m ²	+/-6 l/s	83 W	87 W	91 W	101 W
Siiv.	2,0 m ²	+/-10 l/s	200 W	200 W	200 W	200 W
As.1	57,0 m ²	+34 l/s	1533 W	1622 W	1718 W	1915 W
As.1 PE/S		-35 l/s	300 W	300 W	300 W	300 W
As.2	25,0 m ²	+18 l/s	1027 W	1087 W	1150 W	1279 W
As.2 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.3	24,0 m ²	+18 l/s	525 W	554 W	585 W	649 W
As.3 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.4	21,5 m ²	+18 l/s	613 W	648 W	684 W	760 W
As.4 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.5	21,5 m ²	+18 l/s	735 W	777 W	821 W	912 W
As.5 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
Yhteensä:	324 m ²		9754 W	10277 W	10735 W	11792 W
		Yht.tilat	Asunnot	Yht.:		
IV (TK01)	TF01	+68 l/s	+106 l/s	+174 l/s		
	PF01	-68 l/s	-111 l/s	-179 l/s		
IV (TK02)	TF01	+34 l/				
	PF01					

2. kerros

Huone:	Pinta-ala:	Ilmavirrat:	Lämpöhäviöt vyöhykkeellä			
			I	II	III	IV
Käytävä	20,5 m ²	-	198 W	211 W	223 W	249 W
As.6	23,5 m ²	+18 l/s	438 W	462 W	485 W	533 W
As.6 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.7	56,5 m ²	+34 l/s	1265 W	1340 W	1413 W	1562 W
As.7 PE/S		-35 l/s	300 W	300 W	300 W	300 W
As.8	74,5 m ²	+34 l/s	1230 W	1302 W	1375 W	1519 W
As.8 PE/S		-35 l/s	500 W	500 W	500 W	500 W
As.8 WC			250 W	250 W	250 W	250 W
As.9	21,5 m ²	+18 l/s	621 W	656 W	692 W	763 W
As.9 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.10	21,5 m ²	+18 l/s	479 W	505 W	532 W	585 W
As.10 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.11	42,5 m ²	+20 l/s	997 W	1057 W	1116 W	1234 W
As.11 PE		-21 l/s	300 W	300 W	300 W	300 W
As.12	49,0 m ²	+26 l/s	830 W	878 W	926 W	1023 W
As.12 PE/S		-27 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.13	23,5 m ²	+18 l/s	417 W	440 W	462 W	507 W
As.13 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
Yhteensä:	333 m ²		9075 W	9451 W	9824 W	10575 W
		Yht.tilat	Asunnot	Yht.:		
IV (TK01)	TF01	- l/s	+186 l/s	+186 l/s		
	PF01	- l/s	-194 l/s	-194 l/s		
IV (TK02)	TF01	- l/s				
	PF01	- l/s				

3. kerros

Huone:	Pinta-ala:	Ilmavirrat:	Lämpöhäviöt vyöhykkeellä			
			I	II	III	IV
Käytävä	20,5 m ²	-	198 W	211 W	223 W	249 W
As.14	23,5 m ²	+18 l/s	438 W	462 W	485 W	533 W
As.14 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.15	56,5 m ²	+34 l/s	1265 W	1340 W	1413 W	1562 W
As.15 PE/S		-35 l/s	300 W	300 W	300 W	300 W
As.16	74,5 m ²	+34 l/s	1230 W	1302 W	1375 W	1519 W
As.16 PE/S		-35 l/s	500 W	500 W	500 W	500 W
As.16 WC			250 W	250 W	250 W	250 W
As.17	21,5 m ²	+18 l/s	621 W	656 W	692 W	763 W
As.17 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.18	21,5 m ²	+18 l/s	479 W	505 W	532 W	585 W
As.18 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.19	42,5 m ²	+20 l/s	997 W	1057 W	1116 W	1234 W
As.19 PE		-21 l/s	300 W	300 W	300 W	300 W
As.20	49,0 m ²	+26 l/s	830 W	878 W	926 W	1023 W
As.20 PE/S		-27 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.21	23,5 m ²	+18 l/s	417 W	440 W	462 W	507 W
As.21 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
Yhteensä:	333 m ²		9075 W	9451 W	9824 W	10575 W
		Yht.tilat	Asunnot	Yht.:		
IV (TK01)	TF01	- l/s	+186 l/s	+186 l/s		
	PF01	- l/s	-194 l/s	-194 l/s		
IV (TK02)	TF01	- l/s				
	PF01	- l/s				

4. kerros

Huone:	Pinta-ala:	Ilmavirrat:	Lämpöhäviöt vyöhykkeellä			
			I	II	III	IV
Käytävä	20,5 m ²	-	198 W	211 W	223 W	249 W
As.22	23,5 m ²	+18 l/s	438 W	462 W	485 W	533 W
As.22 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.23	56,5 m ²	+34 l/s	1265 W	1340 W	1413 W	1562 W
As.23 PE/S		-35 l/s	300 W	300 W	300 W	300 W
As.24	74,5 m ²	+34 l/s	1230 W	1302 W	1375 W	1519 W
As.24 PE/S		-35 l/s	500 W	500 W	500 W	500 W
As.24 WC			250 W	250 W	250 W	250 W
As.25	21,5 m ²	+18 l/s	621 W	656 W	692 W	763 W
As.25 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.26	21,5 m ²	+18 l/s	479 W	505 W	532 W	585 W
As.26 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.27	42,5 m ²	+20 l/s	997 W	1057 W	1116 W	1234 W
As.27 PE		-21 l/s	300 W	300 W	300 W	300 W
As.28	49,0 m ²	+26 l/s	830 W	878 W	926 W	1023 W
As.28 PE/S		-27 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.29	23,5 m ²	+18 l/s	417 W	440 W	462 W	507 W
As.29 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
Yhteensä:	333 m ²		9075 W	9451 W	9824 W	10575 W
		Yht.tilat	Asunnot	Yht.:		
IV (TK01)	TF01	- l/s	+186 l/s	+186 l/s		
	PF01	- l/s	-194 l/s	-194 l/s		
IV (TK02)	TF01	- l/s				
	PF01	- l/s				

5. kerros

Huone:	Pinta-ala:	Ilmavirrat:	Lämpöhäviöt vyöhykkeellä			
			I	II	III	IV
Käytävä	20,5 m ²	-34 l/s	327 W	347 W	368 W	410 W
As.30	23,5 m ²	+18 l/s	535 W	565 W	595 W	655 W
As.30 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.31	56,5 m ²	+34 l/s	1526 W	1617 W	1708 W	1890 W
As.31 PE/S		-35 l/s	300 W	300 W	300 W	300 W
As.32	74,5 m ²	+34 l/s	1561 W	1655 W	1748 W	1934 W
As.32 PE/S		-35 l/s	500 W	500 W	500 W	500 W
As.32 WC			250 W	250 W	250 W	250 W
As.33	21,5 m ²	+18 l/s	718 W	760 W	801 W	885 W
As.33 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.34	21,5 m ²	+18 l/s	572 W	605 W	637 W	702 W
As.34 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.35	42,5 m ²	+20 l/s	1201 W	1273 W	1345 W	1489 W
As.35 PE		-21 l/s	300 W	300 W	300 W	300 W
As.36	49,0 m ²	+26 l/s	1057 W	1119 W	1183 W	1308 W
As.36 PE/S		-27 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
As.37	23,5 m ²	+18 l/s	514 W	542 W	571 W	628 W
As.37 PE		-19 l/s	250 W	250 W	250 W	250 W
Yhteensä:	333 m ²		10611 W	11083 W	11551 W	12501 W
		Yht.tilat	Asunnot	Yht.:		
IV (TK01)	TF01	- l/s	+186 l/s	+186 l/s		
	PF01	- l/s	-194 l/s	-194 l/s		
IV (TK02)	TF01	- l/s				
	PF01	- 34 l/s				

Lämpöhäviöt eri säävyöhykkeillä:

Kerros:	Lämpöhäviöt vyöhykkeellä			
	I	II	III	IV
1. kerros	9754 W	10227 W	10735 W	11792W
2. kerros	9075 W	9451 W	9824 W	10575W
3. kerros	9075 W	9451 W	9824 W	10575W
4. kerros	9075 W	9451 W	9824 W	10575W
5. kerros	10611 W	11083 W	11551 W	12501W
Yhteensä:	47590 W =47,6 kW	49663 W =49,7 kW	51758 W =51,8 kW	56018 W =56,0 kW

Ilmavirrat

Kerros:	Ilmavirrat			
	IV-kone (TK01)		IV-kone (TK02)	
1. kerros	+174 l/s	-179 l/s	+34 l/s	-
2. kerros	+186 l/s	-194 l/s		
3. kerros	+186 l/s	-194 l/s		
4. kerros	+186 l/s	-194 l/s		
5. kerros	+186 l/s	-194 l/s		-34 l/s
Ullakko	+11 l/s	- 11 l/s		
Yhteensä:	+929 l/s	-966 l/s	+34 l/s	-34 l/s

IV-koneen TK01 ilmavirrat tehostustilanteessa (+30%): +1208/-1256 l/s

Kohteen IV-koneen (TK01) jälkilämmityspatterin tehon laskeminenLähtötiedot:Ulkolämpötila, säävyöhyke III ($T_{u,mit}$): -32 °C Ulospuhalluslämpötila (T_{up}): $+5\text{ °C}$ Sisälämpötila (T_s): $+22\text{ °C}$ Sisäänpuhalluslämpötila (T_{sp}): $+20\text{ °C}$ Tuloilmavirta ($q_{v,tulo}$): $+1208\text{ l/s}$ Poistoilmavirta ($q_{v,poisto}$): -1256 l/s

Kaavalla 18 laskettiin ilmanvaihdon jälkilämmityspatterin teho:

$$\phi_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left(T_{sp} - \left(T_{u,mit} + \frac{T_s - T_{up}}{\frac{q_{v,tulo}}{q_{v,poisto}}} \right) \right) \quad (18)$$

$$= 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1,208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left(20\text{ °C} - \left(-32\text{ °C} + \frac{22\text{ °C} - 5\text{ °C}}{\frac{1,208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1,256 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}} \right) \right)$$

$$= 49756,8\text{ W} \approx 49,8\text{ kW}$$

IV-koneen jälkilämmityspatterin tehot eri säävyöhykkeillä:

Säävyöhyke	Mitoittava ulkolämpötila	Lämmityspatterin teho
I	-26 °C	41,1 kW
II	-29 °C	45,4 kW
III	-32 °C	49,8 kW
IV	-38 °C	58,5 kW

Kohteen LVI-järjestelmien vuotuiset energiatarpeet eri säävyöhykkeillä

Säävyöhyke I & II

Kuukausi	Käyttövesi	Ilmanvaihto	Tilalämmitys	Yhteensä
1	7,4 MWh	6,2 MWh	10,1 MWh	23,6 MWh
2	6,9 MWh	6,0 MWh	8,5 MWh	21,5 MWh
3	7,4 MWh	5,5 MWh	6,2 MWh	19,1 MWh
4	7,2 MWh	2,7 MWh	1,8 MWh	11,7 MWh
5	7,4 MWh	0,4 MWh	0,1 MWh	7,9 MWh
6	7,2 MWh	0,0 MWh	0,0 MWh	7,2 MWh
7	7,4 MWh	0,0 MWh	0,0 MWh	7,4 MWh
8	7,4 MWh	0,0 MWh	0,0 MWh	7,4 MWh
9	7,2 MWh	0,4 MWh	0,1 MWh	7,7 MWh
10	7,4 MWh	2,2 MWh	2,4 MWh	12,0 MWh
11	7,2 MWh	4,3 MWh	6,7 MWh	18,2 MWh
12	7,4 MWh	5,5 MWh	9,0 MWh	21,9 MWh
Yhteensä:	87,7 MWh/a	33,3 MWh/a	44,9 MWh/a	165,8 MWh/a

Säävyöhyke III

Kuukausi	Käyttövesi	Ilmanvaihto	Tilalämmitys	Yhteensä
1	7,4 MWh	7,6 MWh	12,4 MWh	27,5 MWh
2	6,9 MWh	6,7 MWh	9,9 MWh	23,6 MWh
3	7,4 MWh	5,9 MWh	7,4 MWh	20,7 MWh
4	7,2 MWh	3,3 MWh	2,4 MWh	12,9 MWh
5	7,4 MWh	1,2 MWh	0,2 MWh	8,9 MWh
6	7,2 MWh	0,2 MWh	0,0 MWh	7,4 MWh
7	7,4 MWh	0,0 MWh	0,0 MWh	7,4 MWh
8	7,4 MWh	0,1 MWh	0,0 MWh	7,5 MWh
9	7,2 MWh	0,9 MWh	0,2 MWh	8,3 MWh
10	7,4 MWh	2,9 MWh	3,4 MWh	13,8 MWh
11	7,2 MWh	5,3 MWh	8,4 MWh	20,9 MWh
12	7,4 MWh	6,7 MWh	11,2 MWh	25,3 MWh
Yhteensä:	87,7 MWh/a	40,9 MWh/a	55,7 MWh/a	184,3 MWh/a

Säävyöhyke IV

Kuukausi	Käyttövesi	Ilmanvaihto	Tilalämmitys	Yhteensä
1	7,4 MWh	10,0 MWh	16,0 MWh	33,4 MWh
2	6,9 MWh	9,1 MWh	13,6 MWh	29,7 MWh
3	7,4 MWh	7,0 MWh	9,1 MWh	23,6 MWh
4	7,2 MWh	4,9 MWh	3,7 MWh	15,8 MWh
5	7,4 MWh	2,3 MWh	1,5 MWh	11,3 MWh
6	7,2 MWh	0,4 MWh	0,1 MWh	7,7 MWh
7	7,4 MWh	0,0 MWh	0,0 MWh	7,4 MWh
8	7,4 MWh	0,3 MWh	0,0 MWh	7,8 MWh
9	7,2 MWh	1,7 MWh	0,9 MWh	9,8 MWh
10	7,4 MWh	4,7 MWh	6,6 MWh	18,8 MWh
11	7,2 MWh	7,3 MWh	11,7 MWh	26,1 MWh
12	7,4 MWh	8,3 MWh	13,9 MWh	29,6 MWh
Yhteensä:	87,7 MWh	56,0 MWh	77,1 MWh	220,8 MWh

Gebwell Gemini lämpöpumpun tekniset tiedot

Gebwell GEMINI lämpöpumppu – tehokasta lämmitystä suuriin kiinteistöihin

Kahdella scroll-kompressorilla varustettu GEMINI tarjoaa ohjausautomaatiikan ansiosta toimintavarmen lämmitysratkaisun. Kaksiportainen kompressorien ohjaus takaa paremman tehonsäädön sekä pidemmän käyttöiän.

Automaatiikka huolehtii kompressorien vuorokäytön, jolloin käyntitunnit pysyvät tasaisina. Laite pystyy valmistamaan käyttövoimaa sekä lämmittämään kiinteistöä samanaikaisesti. Gebwell GEMINI lämpöpumppuja voit rinnan kytkeä kahdeksan laitetta, jolloin saavutetaan yli 500kW:n lämpöteho.

Gebwell GEMINI on liitettävissä kiinteistövalvontajärjestelmään Modbus RTU väyläkortin avulla, jolloin lämpöpumput ovat osana valvontajärjestelmää. Lämpöpumpun ohjausautomaatiikka mahdollistaa erilaiset hybridiratkaisut. Lämpöpumpun lisäksi hybridijärjestelmään voidaan liittää lisälämmönlähteenä mm. kaukolämpö, öljy, ja sähkö.

Lämmönkeruupiiriä voidaan hyödyntää myös asunon viilentämiseen, GEMINI lämpöpumpussa on sisäänrakennettu valmius viilennyksen kytkemisestä

varten. Viilennysenergian tuottamiseen tarvitaan lisäksi pelkkä kiertovesipumppu.

GEMINI lämpöpumppuja valmistetaan kolmea teholuokkaa, joiden lämmitystehot ovat 45, 61 ja 69 kW.

Gebwell GEMINI lämpöpumppuja käytetään yhdessä kiinteistön tarpeen mukaan mitoitettujen Gebwell G-Energy varaajien kanssa. Lisäksi valikoimassamme on asennusta nopeuttavia tuotteita.

- Valmistettu Suomessa
- Monipuolinen automaatiikka erilaisiin hybridijärjestelmiin
- Modbus liitäntä
- Rinnankytkettynä jopa 500 kW
- Energetiikkaa säästävät kiertovesipumput
- Erittäin hiljainen



Gebwell Gemini		40	52	64
LVI-numero		5361995	5361996	5361997
Tehotiedot:				
Lämmitysteho (0°/35° ja 0°/55°)	kW	45,0 / 40,6	61,0 / 54,6	69,2 / 61,8
Jähdytysteho (0°/35° ja 0°/55°)	kW	35,0 / 25,6	48,0 / 35,2	54,8 / 40,2
Ottoteho (0°/35° ja 0°/55°)	kW	10,0 / 15,0	13,0 / 19,4	14,4 / 21,6
COP (0°/35° ja 0°/55°)		4,5 / 2,7	4,7 / 2,8	4,8 / 2,9
SCOP (0°/35° ja 0°/55°)		4,7 / 4,0	4,9 / 4,1	5,0 / 4,2
- Tehot ilmoitettu lämpötiloissa 0°/35° ja 0°/55° SFS-EN 14511				
Järjestelmän energiatehokkuusluokka, keskimääräiset ilmasto-olosuhteet, lattialämmitys		A+++		
Lämmönkeruuneste		Denaturoitu etanoli 30 p-%		
Lämmönkeruunesteen nimellivirtaus	l/s	1,66	2,36	3,0
Suurin sallittu painehäviö nimellivirtauksella	kPa	81	70	100
Lämmitysjärjestelmän / Lämmönkeruupiirin maksimikäyttöpainne (verkoston paine huomioitava)	bar	6 / 6		
Lämmitysveden korkein menolämpötila	°C	68		
Käyttölämpötila, keruupiiri	°C	-5..+20	-5..+20	-5..+20
Kompressorit		Scroll		
Kompressorien lukumäärä		2		
Pehmokäynnistin		kyllä		
Sisäänrakennettu latauspumppu		kyllä		
Sisäänrakennettu maaliouspiirin pumppu		ei		
Sähköliitäntä		400 VAC, 50 Hz, 3-vaihe		
Sulakkeet	A	3x40	3x50	3x63
Sisältää fluorattuja kasvihuonekaasuja		kyllä		
Hermeettisesti suljettu		kyllä		
Kylmäaine		R410A		
GWP (global warming potential)		2088		
Kylmäaineen määrä	kg	2 x 3,8	2 x 3,4	2 x 3,4
CO ₂ vastaavuus	ton CO ₂ / kg	2 x 7,934	2 x 7,099	2 x 7,099
Äänitehotaso	dB	42	42	43,5
Mitat:				
Ulkomitat (syvyys x leveys x korkeus)	mm	875 x 600 x1895*		
Paino	kg	400		

* säätöjalat 20 - 40 mm

WWW.GEBWELL.FI

v2-1 12022019

7

Kohteen investointikustannukset maalämpöjärjestelmille

Vyöhyke I

	Täysteho		Osateho	
	Määrä:	Hinta:	Määrä	Hinta:
Lämpökaivo, 250 m	9 kpl	67 500 €	7 kpl	52 500€
Maalämpöpumppu 1	Gemini 40	14 900 €	Gemini 40	14 900 €
Maalämpöpumppu 2	Gemini 52	15 900 €	Gemini 40	14 900 €
Yhteensä:		98 300 €		82 300 €
Muut maalämpölaitteet		16 200 €		16 200 €
Putki-, rakennusauto- maatio- ja sähkötyöt		25 000 €		25 000 €
Kokonaiskustannus:		139 500 €		123 800 €

Vyöhyke II

	Täysteho		Osateho	
	Määrä:	Hinta:	Määrä	Hinta:
Lämpökaivo, 250 m	10 kpl	75 000 €	8 kpl	60 000€
Maalämpöpumppu 1	Gemini 52	15 900 €	Gemini 40	14 900 €
Maalämpöpumppu 2	Gemini 52	15 900 €	Gemini 40	14 900 €
Yhteensä:		106 800 €		89 800 €
Muut maalämpölaitteet		16 200 €		16 200 €
Putki-, rakennusauto- maatio- ja sähkötyöt		25 000 €		25 000 €
Kokonaiskustannus:		148 000 €		131 300 €

Vyöhyke III

	Täysteho		Osateho	
	Määrä:	Hinta:	Määrä	Hinta:
Lämpökaivo, 250 m	11 kpl	82 500 €	9 kpl	67 500€
Maalämpöpumppu 1	Gemini 52	15 900 €	Gemini 40	14 900 €
Maalämpöpumppu 2	Gemini 52	15 900 €	Gemini 40	14 900 €
Yhteensä:		121 800 €		97 300 €
Muut maalämpölaitteet		16 200 €		16 200 €
Putki-, rakennusauto- maatio- ja sähkötyöt		25 000 €		25 000 €
Kokonaiskustannus:		155 500 €		138 800 €

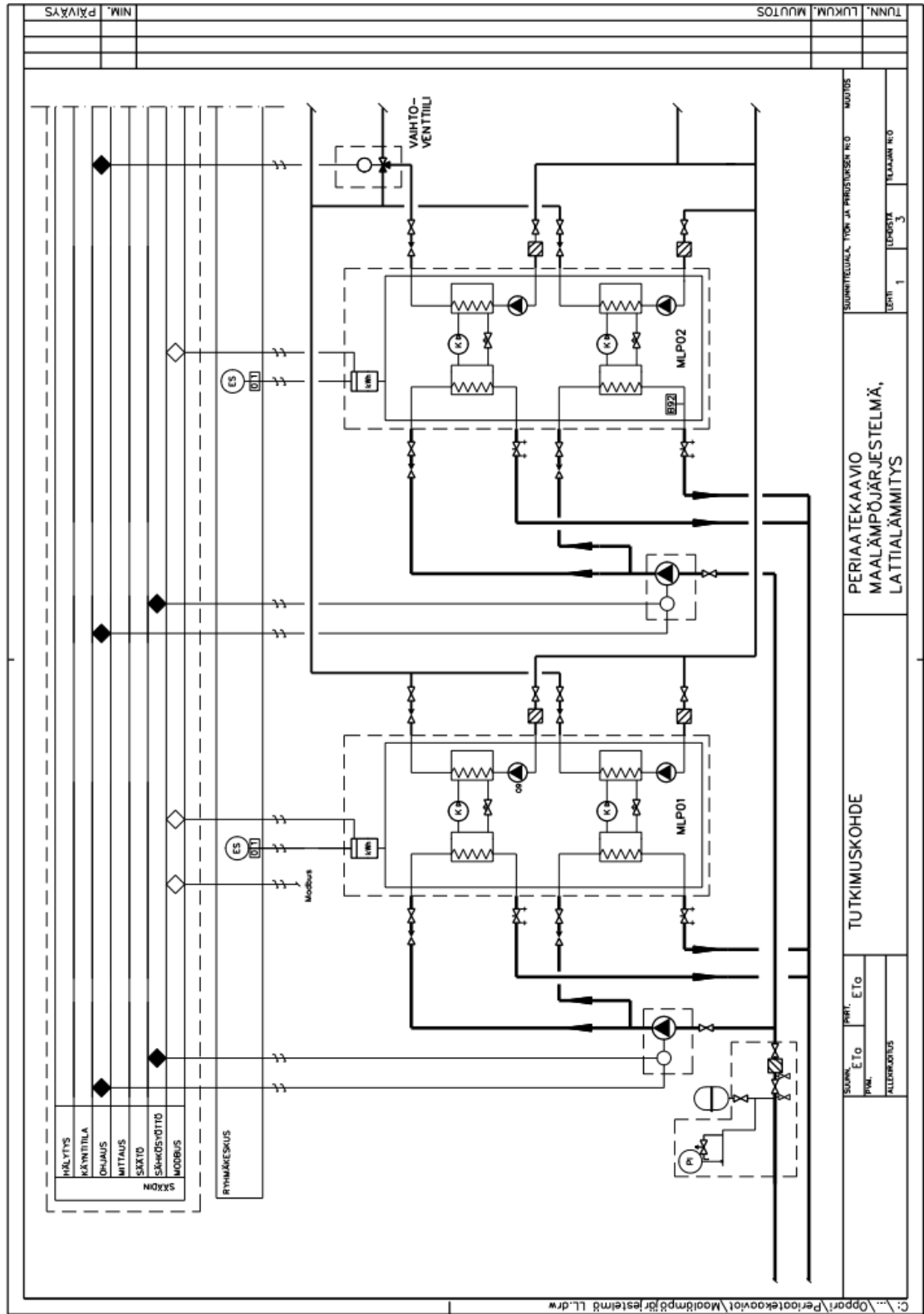
Vyöhyke IV

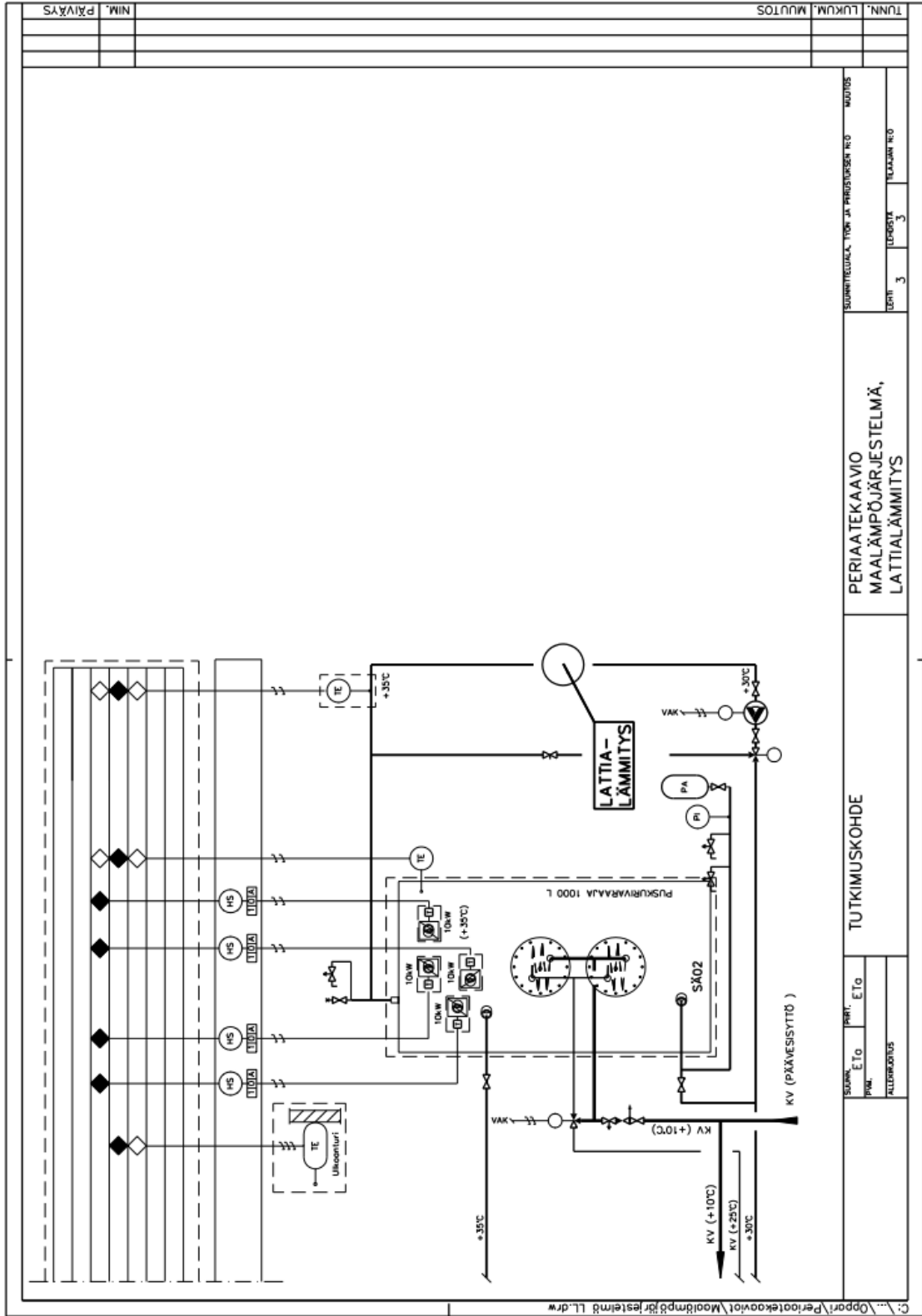
	Täysteho		Osateho	
	Määrä:	Hinta:	Määrä	Hinta:
Lämpökaivo, 250 m	13 kpl	97 500 €	11 kpl	82 500€
Maalämpöpumppu 1	Gemini 52	15 900 €	Gemini 40	14 900 €
Maalämpöpumppu 2	Gemini 52	15 900 €	Gemini 40	14 900 €
Yhteensä:		129 300 €		112 300 €
Muut maalämpölaitteet		16 200 €		16 200 €
Putki-, rakennusauto- maatio- ja sähkötyöt		25 000 €		25 000 €
Kokonaiskustannus:		170 500 €		153 500 €

Muut maalämpölaitteet

	Täysteho		Osateho	
	Määrä:	Hinta:	Määrä	Hinta:
Paisunta- ja täyttöastia	1 kpl	1 000 €	1 kpl	1 000 €
Puskurivaraaja	1000 dm ³	3 000 €	1000 dm ³	3 000 €
Energiavaraaja	3000 dm ³	3 000 €	3000 dm ³	3 000 €
Sähkövaraaja	300 dm ³	1 000 €	300 dm ³	1 000 €
Lämminkäyttövesikierukka LK55	2 kpl, 600 €/kpl	1 200 €	2 kpl, 600 €/kpl	1 200 €
Lämminkäyttövesikierukka LK110	2 kpl, 1 000 €/kpl	2 000 €	2 kpl, 1 000 €/kpl	1 000 €
Sähkövastukset puskurivaraajaan	4 kpl, 250 €/kpl	1 000 €	4 kpl, 250 €/kpl	1 000 €
Sähkövastukset energiavaraajaan	4 kpl, 250 €/kpl	1 000 €	4 kpl, 250 €/kpl	1 000 €
LV-, IV- ja LL-säätöryhmät	1000 €/kpl	3 000 €	1000 €/kpl	3 000 €
Yhteensä:		16 200 €		16200 €
Putki-, rakennusautomaatio- ja sähkötyöt		25 000 €		30 000 €
Yhteensä:		41 200 €		41 200 €

Kohteen maalämmön ja lattialämmityksen periaatekaavio





TUNN.	LUKUM.	MUUTOS

SUUNNITTELUKÄ.	TOIM. JA PARHUSSEN NÖ.	MUUTOS
3	3	3
3	3	3

PERIAATEKAAVIO
MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ,
LATTIALÄMMITYS

TUTKIMUSKOHDE

SUUNN.	PRIN.	ETG

Kohteen maalämmön ja patterilämmityksen periaatekaavio

