

Valo Lankinen

# Säilyketehtaan öljylämmityksen vaihtoehdot ja ylijäämäenergian hyödyntämismahdollisuudet

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Energiatekniikka

2022



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Valo Lankinen
Työn nimi	Säilyketehtaan öljylämmityksen vaihtoehdot ja ylijäämäenergian hyödyntämismahdollisuudet
Toimeksiantaja	Vähäsarja Oy
Vuosi	2022
Sivut	64 sivua, liitteitä 2 sivua
Työn ohjaaja(t)	Hannu Sarvelainen, Henna Lohtander

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoite oli etsiä vaihtoehtoisia lämmitystapoja korvaamaan säilyketehtaan öljylämmitys ja tapoja hyödyntää säilöntäprosessissa syntyvää ylijäämäenergiaa. Ylijäämäenergian lähde oli autoklaavin kuuma poistovesi. Opinnäytetyössä arvioidaan myös säilyketehtaan energiatehokkuutta lämmityksen suhteen ja ehdotetaan mahdollisia muutoksia, joilla kohteen lämpöhäviöitä voitaisiin vähentää.

Tutkimus aloitettiin selvittämällä säilyketehtaan nykyinen lämmönkulutus, lämmönjakama ja lämmityskustannukset. Autoklaavin ylijäämäenergia arvioitiin mittaamalla yhden keitoksen poistoveden määrä ja lämpötila minuutin välein. Energiatehokkuustoimet määriteltiin tarkastelemalla kohteen lämmönjakamaa ja lämmöneristystä.

Sopivan vaihtoehtoinen lämmitysmuodon määrittämisessä huomioitiin paikalliset sääolosuhteet, ympäristön suojelu ja maaperän laatu. Paikallista lämpöpumpputyrittäjää konsultoitiin valitun lämmitysmuodon toteutuksesta ja investointikustannuksista. Opinnäytetyön viimeisessä vaiheessa laskettiin energia- ja päästölaskelmat ja arvioitiin takaisinmaksuaika ehdotetulle uudelle lämmitysmuodolle.

Tutkimuksen tuloksena todettiin, että maalämpöpumppu olisi sopivin vaihtoehto öljylämmitykselle. Selvisi myös, että autoklaavin vuotuinen ylijäämäenergiapotentiaali oli noin puolet säilyketehtaan vuotuisesta lämmönkulutuksesta.

Opinnäytetyö antaa toimeksiantajalle ajankohtaista tietoa olemassa olevista vaihtoehtoisista lämmitysmuodoista, öljylämmityksestä luopumisen hyödyistä, ylijäämäenergian talteenoton toteutusmahdollisuuksista, säilyketehtaan energiatehokkuuden parannusmahdollisuuksista, investointikustannuksista ja odotettavissa olevista takaisinmaksuajoista. Tehty tutkimus auttaa toimeksiantajaa tekemään päätöksiä, jotka ovat taloudellisia ja säästävät ympäristöä.

**Avainsanat:** lämmitystapamuutos, ylijäämälämpö, lämpöpumput

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Valo Lankinen
Thesis title	Alternative heating options to replace oil and possibilities of excess energy utilization at a food canning factory
Commissioned by	Vähäsarja Oy
Time	April 2022
Pages	64 pages, 2 pages of appendices
Supervisor	Hannu Sarvelainen, Henna Lohtander

## ABSTRACT

The objective of the thesis was to define alternative heating options to replace oil heating and determine ways to utilize excess energy at a food canning factory. The main source of excess energy was an autoclave's discharge water. The thesis also examined the factory's energy efficiency regarding heating and aimed to suggest improvements that could be feasibly made to reduce heat losses in the factory.

First the factory's current heating consumption, heat distribution and heating expenses were assessed. The amount of the autoclave's excess energy was assessed by measuring every minute the volume and the temperature of the discharge water of a singular preservation process. Possible improvements in energy efficiency were determined by examining the heat distribution and the heat isolation in the building.

A suitable alternative heating system was determined with consideration to the influence of the local climate, conservation of environment and quality of the bedrock. A local heat pump entrepreneur was consulted regarding the feasibility and investment costs of the alternative heating system. The last step of the process was to make energy and emission calculations and estimate the repayment period for the proposed new heating system.

As a result of the thesis, it was found that a geothermal heat pump would be the most feasible alternative heating system to replace oil heating. It was also found that the yearly excess energy potential from the autoclave's discharge water was equivalent to half of the yearly heat consumption of the factory.

The thesis provides the commissioner with up-to-date data on the available alternative heating systems, benefits of renouncing oil as source of energy, feasibility of the excess energy recovery possibilities, energy efficiency of the factory and ways to improve it, estimates of the investment costs and expected repayment periods. All this will help the commissioner to make decisions that are both economically viable and environmentally sustainable.

**Keywords:** alternatives to oil heating, excess energy utilization, heat pump

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LÄMMITYSMUODON MUUTTAMINEN.....	7
2.1	Öljylämmityksen korvaamisen hyödyt ja haasteet .....	7
2.2	Lämmitystehon ja energiankulutuksen määrittäminen .....	10
3	VAIHTOEHTOISET LÄMMITYSMUODOT .....	13
3.1	Ilma-vesilämpöpumppu.....	13
3.2	Poistoilmalämpöpumppu .....	18
3.3	Maalämpö ja maaviileä .....	19
3.4	Kaukolämpö.....	24
3.5	Kaasulämmitys .....	26
3.6	Puupohjaiset lämmitysmuodot.....	27
3.7	Jäähdytysjärjestelmät .....	28
3.8	Uusiutuva piensähköntuotanto .....	30
4	KOHTEEN ENERGIANKÄYTÖN NYKYTILANNE .....	34
4.1	Kohteen kuvaus .....	34
4.2	Lämpöenergian käyttö .....	36
4.3	Nykyiset lämmityskustannukset.....	40
5	KOHTEEN ENERGIATEHOKKUUS .....	40
5.1	Energiatehokkuutta parantavat toimet .....	40
5.2	Energiatehokkuuden parantamisella saavutettavat säästöt.....	42
6	YLIJÄÄMÄENERGIAN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET .....	42
6.1	Autoklaavin ylijäämäenergia .....	42
6.2	Ylijäämäenergian hyödyntäminen.....	44
7	ÖLJYN KORVAUSMAHDOLLISUUDET.....	48
7.1	Mitoittava lämmitystehon tarve .....	48
7.2	Kohteeseen sopivat lämmitysratkaisut.....	49
7.3	Uusi lämpöenergiankulutus ja lämmityskustannukset.....	51

7.4	Lämmitystapamuutoksen investointi ja takaisinmaksuaika .....	53
7.5	Business Finland -energiatuki.....	57
8	YHTEENVETO .....	58
	LÄHTEET.....	60

#### LIITTEET

Liite 1. Lämpöenergian kulutuksen jakauma 2020

Liite 2. Autoklaavin mittaustiedot

## 1 JOHDANTO

Suomen tavoite on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja ensimmäinen fossiilivapaa hyvinvointiyhteiskunta. Fossiilisen öljyn käytöstä lämmityksestä halutaan luopua asteittain ja hallitus haluaa kannustaa öljylämmitteisiä kiinteistöjä siirtymään muihin lämmitysmuotoihin erilaisten toimenpideohjelmien avulla. Tässä opinnäytetyössä selvitetään eri lämmitysmuotojen sopivuutta korvaamaan toimeksiantajan kohteen öljylämmitys.

Opinnäytetyö tehdään Kalajoella sijaitsevalle Vähäsarja Oy:n säilyketehtaalle. Vähäsarja Oy haluaa vaihtaa nykyisen öljylämmityksen ympäristöystävällisempään ja taloudellisempaan vaihtoehtoon ja tarjosi opinnäytetyön aihetta Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululle.

Opinnäytetyössä selvitetään kohteen nykytilanne: tämänhetkinen energiankulutus, lämmönjakauma ja lämmitystehontarve, joiden perusteella mitoitetaan uusi lämmitystapa. Lisäksi käydään läpi energiatehokkuutta lämmitysenergian kannalta ja selvitetään autoklaavin ylijäämäenergiapotentiaali, sekä ideoidaan tapoja hyödyntää tätä ylijäämäenergiaa. Opinnäytetyössä käydään läpi myös kiinteistön jäähdytystä ja uusiutuvaa sähköntuotantoa.

Tavoitteena on antaa opinnäytetyön toimeksiantajalle tietoa rakennuksen nykytilanteesta sekä olemassa olevista lämmitysvaihtoehdoista. Opinnäytetyössä suositellaan kohteelle parhaiten sopivaa lämmitysratkaisua, ylijäämä-  
lämmöntalteenottoa ja mahdollisia energiatehokkuustoimia.

Toimeksiantaja saa opinnäytetyön myötä ajantasaista tietoa lämmitysratkaisuista ja keinoista parantaa kohteen energiatehokkuutta. Opinnäytetyössä esitellään vaihtoehtoja nykyiselle lämmitysmuodolle, sekä näiden taloudellisuutta ja päästövähennyksiä. Opinnäytetyön myötä toimeksiantajalla on hyvä kuva siitä, millaisia toimenpiteitä kohteessa voisi tehdä lämmityskustannuksien ja päästöjen vähentämiseksi. Opinnäytetyössä on myös arvioitu investointien suuruutta, lämmitystapamuutokseen saatavilla olevia tukimuotoja ja investointien takaisinmaksuaikoja.

## 2 LÄMMITYSMUODON MUUTTAMINEN

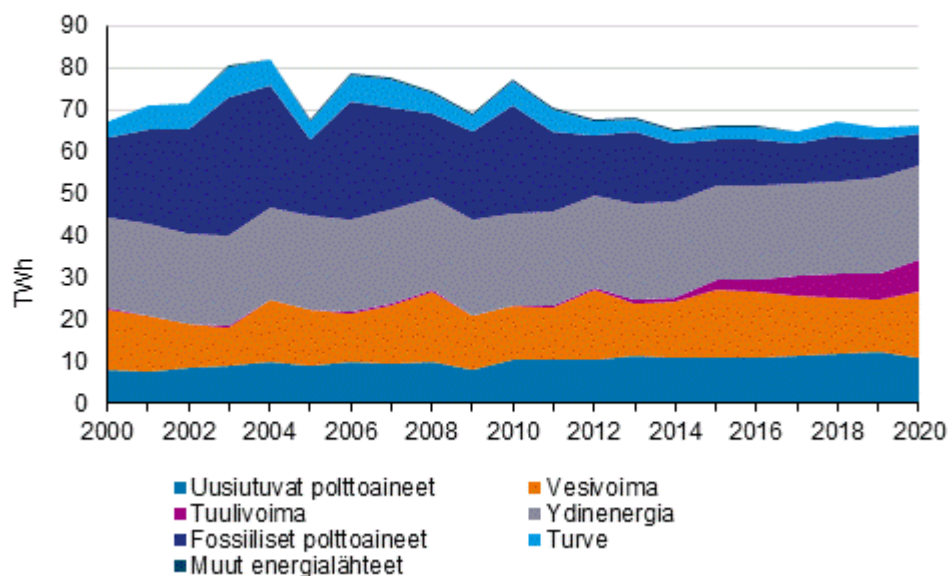
Tässä luvussa käydään läpi öljylämmityksestä luopumisen hyödyistä ja haasteista, kuten rakennuksen energiatehokkuuden, käyttöiän ja kunnan vaikutukseen lämmitysmuodon muuttamisessa. Luvussa kerrotaan myös, kuinka lämmitysmuodon muutokseen tarvittavat lähtötiedot voidaan selvittää.

### 2.1 Öljylämmityksen korvaamisen hyödyt ja haasteet

Öljy on fossiilinen polttoaine, jota ei ole saatavilla loputtomasti. Koska öljynpumpaus on sidonnaista esiintymien maantieteelliseen sijaintiin, vaikuttaa maailmanpoliittinen tilanne polttoöljyn saatavuuteen ja täten sen hintaan. Tämän vuoksi öljyn hintakehitystä on vaikea ennustaa.

Sähköenergiaa voidaan tuottaa sijainnista riippumatta, ja vaikka sähkön hintakehitys riippuu myös tuotannossa käytettyjen polttoaineiden saatavuudesta, on sähkön hintakehityksen ennustaminen helpompaa. Fossiilisten polttoaineiden osuus Suomen sähköntuotannossa on laskenut viime vuosina. Kuvassa 1 nähdään Suomen sähköntuotannon energialähteet vuosina 2000–2020. Uusiutuvilla energialähteillä tuotettiin yli puolet Suomen sähköntuotannosta vuonna 2020. (Tilastokeskus 2021.)

**Sähkön tuotanto energialähteittäin 2000-2020**



Kuva 1. Sähkön tuotanto energialähteittäin 2000–2020 (Tilastokeskus 2021)

Öljykattiloiden palamishyötysuhde on noin 90 %. Nykyaikaisissa kondenssiöljykattiloissa hyötysuhde on korkeampi, jopa 98 % (Atlantic Suomi 2022). Öljykattila ei kuitenkaan kykene maksamaan itseään takaisin. Erilaiset lämpöpumput kykenevät tuottamaan enemmän lämpöenergiaa kuin ne käyttävät, jonka vuoksi ne ovat suosittu lämmitysmuoto. Lämpöpumppuratkaisuilla voidaan laskea lämmityskustannuksia ja päästöjä jo pelkästään sillä, että ostoenergiaa tarvitaan vähemmän kattamaan sama lämmitystarve.

Uusiutuvien energianlähteiden käyttö ja toiminnan ympäristövaikutuksista välittäminen yleisesti ottaen parantaa yrityksen imagoa ja sitä voi hyödyntää yrityksen markkinoinnissa. Yhä useampi kuluttaja on kiinnostunut omien kulutusvalintojensa vaikutuksesta ympäristöön. Yritykset pystyvät suoraan vaikuttamaan asiakkaiden kulutustottumuksiin tarjoamalla ympäristöystävällisesti tuotettuja tuotteita ja palveluita.

Rakennuksen maantieteellinen sijainti vaikuttaa eri lämmitysmuotojen saataavuuteen, soveltavuuteen ja hyötysuhteisiin. Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen, joiden perusteella mitoitusulkolämpötilat määräytyvät.

Öljylämmitys korvataan usein jollakin lämpöpumpulla. Suomen olosuhteissa ulkoilmalämpöpumpuilla ei kyetä tuottamaan kaikkea tarvittavaa lämpöä, sillä niiden teho laskee ulkolämpötilan laskiessa, eivätkä ne toimi kovimmilla pakkasilla. Pohjoisemmissa sijainneissa ulkoilmalämpöpumppujen hyötysuhteet ovat huonompia kylmempien sääolosuhteiden vuoksi.

Ulkolämpötilan vaihtelu ei vaikuta maalämpöpumpun tehontuottoon maaperän ympärivuotisen tasaisen lämpötilan vuoksi. Maalämpökaivo on investointina muita lämpöpumppuja suurempi, eikä lämpökaivon poraaminen tai vaakakeräysputkiston sijoittaminen ole mahdollista kaikkialle. Pohjavesialueet ovat yleisin este lämpökaivon poraamiselle. Vaakakeräysputkisto taas vaatii enemmän tilaa ja soveltuvan maaperän; hiekkaisesta maasta saadaan vähemmän lämpöä kuin kosteasta savimaasta ja kivinen maaperä voi jopa vaurioittaa vaakakeruuputkistoa. (Tom Allen Senera 2022b.)

Kovimmat pakkastehot, joita ei ulkoilmalämpöpumpulla pystytä kattamaan, kätetään omakotitalon suuruusluokassa usein sähkövastuksella. Suuremmissa



kiinteistöissä tämä ei välttämättä ole taloudellisesti kannattavaa, sillä suuren lämmitystehon vaativissa rakennuksissa sähköliittymän kokoa joudutaan todennäköisesti kasvattamaan sähkövastusta varten. Mikäli pelkkä pääsulakekoon kasvattaminen ei riitä, joudutaan myös liityntäkaapelin kokoa kasvattamaan. Tämä voi nostaa investoinnin hintaa huomattavasti. Tällaisissa koh-teissa voi olla taloudellisesti kannattavampaa jättää vanha öljykattila varaläm-mönlähteeksi. Vaikka öljylämmityksestä ei päästä kokonaan eroon, on öljyn kulutus jatkossa vain murto-osa aiempaan verrattuna.

Uuden lämmitysmuodon käyttöhyötysuhteeseen vaikuttaa oleellisesti lämmön-jakojärjestelmän kunto ja yhteensopivuus uuden lämmitysmuodon kanssa. Lattialämmityksellä saadaan yleisesti ottaen parhaat hyötysuhteet lämpö-pumpputekniikan kanssa. Vesikiertoisen patterijärjestelmän käyttöhyötysuhde on pienempi, mutta samalla tavalla yhteensopiva lämpöpumppujärjestelmien kanssa. Lämmitysmuotoa vaihtaessa tarkastetaan vanhojen vesipatterien kunto. Mikäli vanhojen patterien toiminnassa on ongelmia, on niiden vaihtami-nen uusiin edullisempaa kuin lattialämmityksen rakentaminen, ja silti saavute-taan uusi parempi hyötysuhde. 1980-luvulla ja aiemmin asennetut patterit kan-nattaa vaihtaa uusiin; vaihtamalla patterit ja termostaatit voi lämmitysenergian kulutus laskea jopa 20 %. (Motiva 2021a.)

Muita haasteita asettavat rakennuksen energiatehokkuus, käyttöikä ja kunto. Ennen lämmitysjärjestelmän vaihtamista on syytä tarkastella rakennuksen energiatehokkuutta. Energiatehokkuustoimien pyrkimys on vähentää raken-nuksen energiankulutusta niin, ettei se vaikuta käyttömukavuuteen. Kun talon energiankulutus on mahdollisimman alhainen, ovat myös lämmityskustannuk-set matalammat. Suuremmalla energiankulutuksella esimerkiksi lämpöpump-puinvestoinnille saadaan lyhyempi takaisinmaksuaika, mutta pienempi energi-ankulutus säästää kustannuksissa kokonaisuutta tarkastellessa.

Energiatehokkuustoimet voivat olla uudemmissa rakennuksissa esimerkiksi il-mastoinnin käyntiaikojen tai tulolämpötilojen säätöä. Vanhemmissa rakennuk-sissa energiatehokkuustoimet voivat vaatia fyysisiä muutoksia, kuten ikkunoi-den vaihtamista, pattereiden vaihtamista tai lämpöeristyksen parantamista. Rakennuksen kunnosta ja aiemmista saneerauksista riippuen voi energiate-hokkuuden parantaminen vaatia hieman suurempaa investointia, mutta

energiatehokkuutta parantamalla säästetään tulevaisuuden energiakustannuksissa. Mikäli rakennus ei ole vielä käyttökänsä päässä, on energiatehokkuuteen sijoittaminen useimmiten taloudellisesti kannattavaa.

## 2.2 Lämmitystehon ja energiankulutuksen määrittäminen

Lämmitysmuotoa vaihdettaessa määritetään mahdollisimman tarkasti rakennuksen lämmitysenergian tarve. Mikäli kuukausittaista öljynkäyttöä ei ole dokumentoitu, kuukausittaisen lämmöntarpeen saa myös selville laskennallisesti pelkän polttoöljyn vuosikulutuksen perusteella. Vuosittainen kulutus jaetaan kuukausille ilmatieteenlaitoksen lämmitystarvelukujen perusteella kaavan 2 mukaan, jotka on korjattu oikealle paikkakunnalle kaavan 1 mukaan. Koska lämpimän käyttöveden lämmitystarve ei ole riippuvainen ulkolämpötilasta, täytyy sen osuus erottaa vuoden kulutuksesta ennen lämmitystarpeen jakamista. Kuukausittaiset lämmitystarveluvut ja korjauskertoimet löytyvät ilmatieteenlaitoksen sivuilta.

$$S_{kunta} = \frac{S_{vpkunta}}{K_1} \quad (1)$$

jossa	$S_{kunta}$	paikkakunnan lämmitystarveluku	[°Cd]
	$S_{vpkunta}$	vertailupaikkakunnan LTL	[°Cd]
	$K_1$	korjauskerroin 1	[-]

$$Q_{kk} = \frac{S_{kk}}{S_{vuosi}} \cdot (Q_{vuosi} - Q_{LKV\ vuosi}) + Q_{LKV\ kk} \quad (2)$$

jossa	$Q_{kk}$	kuukauden lämmitystarve	[kWh]
	$S_{kk}$	kuukauden lämmitystarveluku	[°Cd]
	$S_{vuosi}$	vuoden lämmitystarveluku	[°Cd]
	$Q_{vuosi}$	vuoden lämmitystarve	[kWh/a]
	$Q_{LKV\ vuosi}$	LKV vuoden lämmitystarve	[kWh/a]
	$Q_{LKV\ kk}$	LKV kuukauden lämmitystarve	[kWh]

Mikäli lämpimän käyttöveden energiankulutusta ei ole mitattu erikseen, se voidaan laskea kaavalla 3. Yhden vesikuution lämmittämiseen vaadittava energia

laskettu kaavalla 4. Mikäli lämpimän käyttöveden määrää ei ole mitattu erikseen, sen voi olettaa asuinrakennuksissa olevan 40 % ja muissa rakennuksissa 30 % kokonaisvedenkulutuksesta. Mikäli käyttöveden määrää ei ole mitattu, voi sen arvioida rakennustyyppin ja bruttoalan perusteella Motivan laatimien oletusarvojen mukaan. (Motiva 2022b.)

$$Q_{LKV} = 58,33 \text{ kWh/m}^3 \cdot V_{LKV} \quad (3)$$

jossa	$Q_{LKV}$	LKV lämmitystarve vuodessa	[kWh/a]
	$V_{LKV}$	kulutettu käyttövesi	[m <sup>3</sup> /a]

$$\frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot (55^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C})}{3600 \text{ s/h}} \quad (4)$$

$$= 58,33 \text{ kWh/m}^3$$

### Kulutuksen normitus

Lämmitysenergian normitettu kulutus mahdollistaa saman rakennuksen eri kuukausien ja vuosien lämmitysenergiankulutuksien vertailun keskenään. Normitettua kulutusta voidaan myös verrata eri paikkakunnilla sijaitsevien rakennusten energiankulutukseen. (Motiva 2022a.)

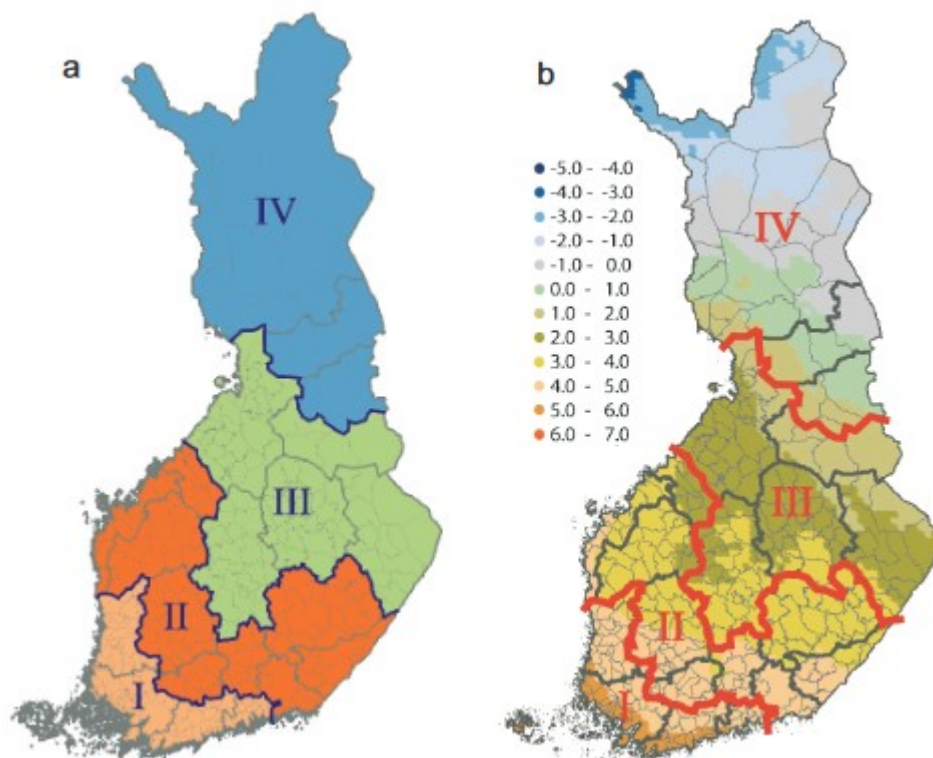
Kulutuksen normitus tapahtuu myös lämmitystarvelukujen perusteella kaavan 5 mukaan. Koska laskentatapa perustuu lämmityksen energiankulutuksen verrannollisuuteen sisä- ja ulkolämpötilan erotukseen, lämpimän käyttöveden osuus erotetaan normitettavasta kulutuksesta. (Motiva 2022a.)

$$Q_{norm} = \frac{S_{N \text{ vpkunta}}}{S_{T \text{ vpkunta}}} \cdot (Q_T - Q_{LKV}) + Q_{LKV} \quad (5)$$

jossa	$Q_{norm}$	normitettu kulutus	[kWh]
	$S_{N \text{ vpkunta}}$	normaali lämmitystarveluku	[°Cd]
	$S_{T \text{ vpkunta}}$	toteutunut lämmitystarveluku	[°Cd]
	$Q_T$	toteutunut lämmitysenergiankulutus	[kWh]

## Lämmitysteho

Mitoittavalla ulkolämpötilalla tarkoitetaan sitä ulkolämpötilaa, johon rakennuksen lämmitysteho mitoitetaan. Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen, joiden perusteella mitoittava ulkolämpötila määräytyy. Säävyöhykkeet (kuva 2) on määritetty vuosien 1980–2009 säähavaintoasemien mittauksien perusteella. Säävyöhykkeiden mitoittavat ulkolämpötilat ovat näkyvillä taulukossa 1.



Kuva 2. a) Säävyöhykkeet Suomen kartalla b) Säävyöhykkeet Suomen kartalla, taustakarttana keskimääräinen vuosikeksilämpötila välillä 1980–2009 (Jylhä ym. 2011).

Taulukko 1. Eri säävyöhykkeiden mitoittavat ulkoilman lämpötilat (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012).

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

Tarvittava lämmitysteho voidaan arvioida muodostamalla sovite kuukauden keskiulkolämpötilojen ja kuukauden keskimääräisten tehojen perusteella. Keskimääräisen tehontarve lasketaan jakamalla kuukauden lämmitysenergiankulutus kuukauden tunneilla. Sovitteessa x-akselille asetetaan kuukauden keskilämpötilat ja y-akselille keskimääräiset tehontarpeet, joille luodaan lineaarinen trendiviiva, jonka yhtälöllä voidaan määrittää laskennallinen tehontarve  $y$  ulkolämpötilassa  $x$ .

Tulosten tarkkuuden varmistamiseksi sovite on suositeltavaa tehdä useammalle vuodelle. Mikäli kulutustiedot ovat saatavilla vain yhdelle vuodelle, voi soviteen muodostaa normitetulle ja toteutuneelle kulutukselle. Normitetun kulutuksen keskitehontarpeelle voi käyttää lämmitystarveluvuista laskettua keskilämpötilaa ja toteutuneelle kulutukselle saman vuoden toteutuneita keskilämpötiloja.

### **3 VAIHTOEHTOISET LÄMMITYSMUODOT**

Luku käsittelee Suomessa tavallisia öljylämmityksen vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja ja niiden toimintaa, käytön vaatimuksia ja mitoitusperusteita. Lämmityksen lisäksi luvussa kerrotaan myös jäähdytysjärjestelmistä ja uusiutuvasta piensähköntuotannosta.

#### **3.1 Ilma-vesilämpöpumppu**

Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP, joskus myös vesi-ilmalämpöpumppu, VILP) ottaa lämmitysenergiaa ulkoilmasta ja siirtää sen rakennuksen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan lämmittää sekä tilat että lämmin käyttövesi, mutta Suomen olosuhteissa se vaatii rinnalleen täydelle lämmitysteholle mitoitettun varajärjestelmän. Varajärjestelmänä voidaan käyttää esimerkiksi sähkövastusta. Öljylämmityksestä pois siirryttäessä öljykattila voidaan jättää varalle kattamaan talven pakkashuippujen lämmitystehtäviön; tällöin puhutaan ns. hybridijärjestelmästä. (Motiva 2021b.)

Sekä ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde että teho laskevat ulkolämpötilan laskiessa. Ilma-vesilämpöpumpun teho on  $-20\text{ °C}$ :n ulkolämpötilassa noin 50 % pienempi kuin laitteelle ilmoitettu nimellisteho. Nimellisteho ilmoitetaan tavallisesti  $7\text{ °C}$ :n ulkolämpötilassa. Koska ilma-vesilämpöpumpun

energiatehokkuus riippuu ulkolämpötilasta, on se kannattavampi vaihtoehto Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa. (Motiva 2021b.)

Ilma-vesilämpöpumppu vaatii Suomen olosuhteissa rinnalleen varajärjestelmän, sillä sen teho laskee pakkasen kiristyessä ja sen matalin toimintaulkolämpötila on alhaisempi kuin lämmityksen mitoitusulkolämpötila. Matalin toimintaulkolämpötila on -20 ja -28 °C:n välillä, riippuen mallista ja valmistajasta.

Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan kattaa suurin osa vuotuisesta lämmitystarpeesta, sillä varajärjestelmää tarvitaan ainoastaan kovien pakkashuippujen aikana. Mikäli varajärjestelmänä käytetään sähkövastusta, voivat lämmityskustannukset nousta matalimpien pakkasjaksojen aikana, jolloin myös sähkön hinta on usein korkeampi. Ilma-vesilämpöpumpulla lämmittäminen on kuitenkin näiden pakkasjaksojen ulkopuolella edullista.

Ilma-vesilämpöpumppu kykenee tuottamaan tavallisesti 50–60 asteista lämmitys- ja käyttövettä. Markkinoilla on nykyisin myös laitteita, joilla veden lämpötila voidaan nostaa yli 70 °C lämpötilaan. (Pennanen 2019, 10.)

### **Ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate**

Ilma-vesilämpöpumpussa on kaksi lämmönvaihdinta; höyrystin ja lauhdutin. Ulkoyksikön puhallin kierrättää höyrystimen läpi ulkoilmaa, jonka lämpö muuttaa höyrystimessä olevan kylmäaineen kaasuksi. Tämän jälkeen kompressori puristaa kaasun korkeampaan paineeseen, nostaen kaasun jopa 100 °C lämpötilaan. Kuuma kaasu johdetaan lauhduttimeen, joka siirtää kaasun lämmön lämmönjakojärjestelmän veteen. Luovutettuaan lämmön lämmönjakojärjestelmään, kaasun lämpötila laskee ja se lauhtuu takaisin nesteeksi. Nestemäinen kylmäaine palaa paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimeen. (Pennanen 2019, 7.)

### **Split-laitteet**

Split-mallinen ilma-vesilämpöpumppu on jaettu ulko- ja sisäyksikköön, joiden välillä kylmäaine kiertää. Ulkoyksikössä ovat höyrystin, höyrystinpuhallin ja kompressori, jolloin lauhdutin jää sisäyksikköön. Split-laitteet ovat yleensä

teholuokaltaan 6–20 kW. Yksi split-laite riittää kattamaan lämmitystehontarpeen pienemmissä kohteissa, mutta esimerkiksi kerrostaloissa split-laitteita täytyy asentaa useampia rinnakkain tarvittavan lämmitystehon saavuttamiseksi. (Pennanen 2019, 11.)

### **Monoblock-laitteet**

Monoblock-mallisessa ilma-vesilämpöpumpussa kaikki tekniikka on sijoitettu ulkoyksikköön, eli ulkoyksikön ja varaajan välisissä putkissa kiertää ainoastaan lämmityspiirin vesi. Suomen olosuhteissa putkisto täytyy eristää ja pinnoittaa, jottei putkistossa virtaava vesi pääse jäätymään pakkasella. Jäätymistä voi estää myös käyttämällä pelkän veden sijasta vesi-glykoliseosta. (Pennanen 2019, 12.)

Monoblock-laitteet ovat teholuokaltaan suurempia kuin split-laitteet, yltäen jopa yli 200 kW tehoon. Monoblock-laitteiden asennuskustannukset ovat pienemmät suuren lämmitystehon vaativissa kohteissa verrattuna vastaavan tehon split-laitteisiin, koska laitteita täytyy asentaa vähemmän, eikä laitteen asennuksessa tehdä kylmäaineluvan alaisia töitä. Monoblock-laitteissa kylmäaineluvan vaativat työt ja kytkennät on tehty valmiiksi tehtaalla, joten asennuskohteessa tarvitsee vain kytkeä vesiputkisto ja tehdä tarvittavat sähkökytkennät. (Pennanen 2019, 13.)

### **Ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde**

Pakkasella ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde laskee, eli suurempi osa lämpöenergiasta tuotetaan sähköllä. Hyötysuhdetta voidaan ilmaista useammalla eri arvolla.

### **COP**

*Coefficient Of Performance*, eli kuinka tehokkaasti kulutettu sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi. Tämä arvo muuttuu ulkolämpötilan perusteella. Esimerkiksi COP 3 tarkoittaa, että 1 kilowatilla sähköenergiaa saadaan tuotettua 3 kilowattia lämpöenergiaa. COP-luvut ilmoitetaan tavallisesti useammalle eri ulkolämpötilalle. Näiden välille jäävät COP-arvot voi arvioida interpoloimalla. (Nilan s.a.)

## SCOP

*Seasonal Coefficient of Performance*, eli koko lämmityskauden hyötysuhde, eli vuosihyötysuhde, joka on laskettu EN 14825 standardin mukaan. Suomessa myynnissä olevien lämpöpumppujen SCOP-lukemien tulee olla laskettu Helsingin ilmasto-olosuhteissa. (Nilan s.a.)

## SPF

*Seasonal Performance Factor*, Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuisen sähkönkulutukseen (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012, 4). Mikäli laitevalmisajan määrittämiä SPF-lukuja ei ole saatavilla, voidaan käyttää arviointiin säävyöhykkeiden mukaisia yleisiä lukuja (taulukko 2).

Taulukko 2. Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012)

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

Mitä matalampi lämmönjakojärjestelmän menoveden lämpötila on, sitä paremmalla hyötysuhteella se toimii. Siksi patterilämmityksen hyötysuhde on huomionpäättävämpi kuin lattialämmityksen, jonka tuloveden lämpötilaksi riittää matalampi lämpötila kuin patteriverkoston.

Koska käyttövesi täytyy lämmittää korkeampaan lämpötilaan kuin lämmönjakoverkossa kiertävä vesi, laskee käyttöveden lämmitys järjestelmän hyötysuhdetta. Pientaloissa ilma-vesilämpöpumpulla on saavutettu suurimmat



energiansäästöt silloin, kun lämpöpumpulla lämmitettiin pääasiassa lattialämmityspiirin vettä, ja käyttövesi lämmitettiin erikseen sähköllä. (Motiva 2021b.)

### **Ilma-vesilämpöpumpun tehomitoitus**

Ilma-vesilämpöpumpuilla on minimitehoraja, joka on yleensä noin 40 % laitteen nimellistehosta. Tämä on pienin laitteesta ulosmitattava teho jatkuvassa käynnissä. Tätä pienemmät tehot siirtyvät katkokäynnille, joka laskee hyötysuhdetta ja aiheuttaa lämpötilan heiluntaa vesikiertoon. Tämän vuoksi ylitehoinen laite on käynnissä vain hyvin lyhyitä aikajaksoja, eteenkin kesäkuukausina. (Lämpötilamestarit s.a.)

Mitoituksella pyritään kattamaan suurin osa vuotuisesta lämmitysenergiantarpeesta, jotta varajärjestelmää tarvitaan ainoastaan kovimmilla pakkasilla. Ilma-vesilämpöpumppu voidaan esimerkiksi mitoittaa niin, että se kykenee tuottamaan  $-20\text{ °C}$ :n ulkolämpötilassa puolet vaaditusta lämmitystehosta. Näin ilma-vesilämpöpumpulla voidaan kattaa noin 90–95 % vuotuisesta lämmitysenergiantarpeesta. Mitoitustilanteessa on otettava huomioon, että  $-20\text{ °C}$ :n ulkolämpötilassa laitteen teho on noin 50 % pienempi kuin laitteen nimellisteho. (Järvinen 2018, 42.)

Säävyöhyke ja rakennuksen energiankulutus vaikuttavat myös mitoitettavaan teho-osuuteen. Pohjoisella lämmitysvyöhykkeellä kannattaa ilma-vesilämpöpumppu mitoittaa suuremmalle teho-osuudelle kuin Etelä- ja Keski-Suomessa, sillä matalien lämpötilojen osuus on siellä suurempi. Suuren energiankulutuksen kiinteistöissä ilma-vesilämpöpumppu kannattaa mitoittaa pienemmälle teho-osuudelle, kuin pienen energiankulutuksen kiinteistöissä. (Järvinen 2018, 42.)

Ilma-vesilämpöpumpun voi mitoittaa monella tavalla. Mikäli halutaan kasvattaa pakkastehoa, voidaan asentaa ns. ylitehoinen laite. Vuositasolla ylitehoisella laitteella ei ole hyötysuhde-etua, sillä pienempitehoisella laitteella on parempi hyötysuhde kovien pakkasjaksojen ulkopuolella. Ylitehoinen laite ei pääse koskaan käymään täydellä teholla, sillä kovimmilla pakkasilla sen tehontuotto on matalampi.

### 3.2 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) käyttää hyväkseen ilmanvaihtoputkiston kautta poistettavan ilman lämmitysenergiaa, joten sen käyttö edellyttää tuuloilma- ja poistoilmakanaviston. Järjestelmän toiminta vaatii, että rakennuksen ilmaa vaihdetaan riittävästi: 0,5 kertaa talon ilmatilavuus tunnissa. Poistoilmalämpöpumppu sopii parhaiten kiinteistöihin, joiden sisätilavuus on suuri suhteessa lämmitystehontarpeeseen. (Motiva 2022e.)

Poistoilmalämpöpumpulla korvataan varsinainen ilmanvaihtokone. Se huolehtii huonetilojen lämmityksestä, ilmanvaihdosta ja lämpimän käyttöveden tuottamisesta. Poistoilmalämpöpumpun lämmönlähde on tasainen vuoden ympäri, toisin kuin ulkoilmasta lämmön ottavilla lämpöpumpuilla, se pystyy tuottamaan lämpöä vakioteholla vuodenajasta ja ulkolämpötilasta riippumatta. (Motiva 2022e.)

Poistoilmalämpöpumpulla ei voida tuottaa kaikkea kiinteistön tarvitsemaa energiaa, joten korkeimman lämmitystarpeen aikana osa tarvittavasta energiasta tuotetaan poistoilmalämpöpumpun sähkövastuksilla. (Motiva 2022e.)

#### Poistoilmalämpöpumpun hyötysuhde

Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin on parempi, mitä kylmemmäksi jäteilma pystytään jäädyttämään. Taulukossa 3 poistoilmalämpöpumpuille yleisiä hyötysuhteita.

Taulukko 3. Poistoilmalämpöpumpun tilojen ja käyttöveden lämmityksen SPF-lukuja (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012)

Poistoilmalämpöpumppu	SPF-luku
Jäteilman min. lämpötila	
-3	2,4
1	2,1
3	2
5	1,9

### 3.3 Maalämpö ja maaviileä

Maalämpöpumppu (MLP) kerää maaperään, kallioon tai veteen varastoitunutta lämpöä. Muutoin se toimii samalla periaatteella kuin muutkin lämpöpumput.

#### Lämpökaivo

Lämpökaivo on syvä porakaivo, johon lasketaan lämpöpumpun keruuputkisto, joka siirtää kallioperään varastoitunutta lämpöä rakennuksen lämmityskäyttöön. Porakaivon tavallinen syvyys on 100–300 metriä. (Tom Allen Senera 2022b.)

Lämpökaivo on täynnä pohjavettä, jonka välityksellä lämpö siirtyy kallioperästä lämmönkeruuputkistoon. Mikäli kallioperä kaivon kohdalla on niin ehjä, ettei kaivoon valu pohjavettä halkeamia pitkin, voidaan kaivo täyttää vesijohtovedellä. Veden huonomman lämmönjohtokyvyn vuoksi keruuputket sijoitetaan niin lähelle kaivon kallioseinämää kuin mahdollista. Nykyisten porakaivojen halkaisija on yleensä 115 mm. Aiempiin 140 mm:n porakaivoihin verrattuna putkisto saadaan nykyisissä kaivoissa lähemmäs kallioseinämää. Vanhempien kaivojen suurempi halkaisija johtuu siitä, että ennen lämpökaivot porattiin samalla tekniikalla kuin vesikaivot. (Tom Allen Senera 2022b.)

Kaivojen syvyys ja määrä riippuu rakennuksen lämmitystarpeesta. Useampi lämpökaivo kytketään rinnakkaisiksi putkisilmukoiksi. Muita lämpökaivojen määrään vaikuttavia muuttujia ovat maa- ja kallioperän ominaisuudet ja lämpötila. (Lappi 2013, 17.)

#### Vaakaputkisto

Mikäli kallioperä on erittäin syvällä maakerroksen alla, ei lämpökaivon poraaminen ole kannattavaa. Jos käytössä on riittävän suuri tontti, maalämpöä on mahdollista kerätä vaakaputkiston avulla. Vaakaputkiston hankintahinta on hieman edullisempi kuin porakaivon. Vaakaputkisto soveltuu parhaiten saviseen maaperään, sillä hiekkaisesta maasta saadaan vähemmän lämpöä sen kuivuuden vuoksi. Kivinen maaperä ei sovellu vaakaputkistolle, sillä roudan

liikuttamat kivet voivat vahingoittaa asennettua lämmönkeruuputkistoa. (Tom Allen Senera 2022b.)

Vaakaputkisto asennetaan noin metrin syvyyteen ja putkien välille jätetään etäisyyttä noin 1,5 metriä. Yksi rakennuskuutio vaatii 1–2 metriä putkea, ja yksi metri putkea vaatii noin 1,5 m<sup>2</sup> tilaa. Kulkureittien tai pihateiden alle asennettu putkisto on suojattava roudalta, joten niistä kohdista ei saada kerättyä lämpöä, eikä putkistoa suositella siksi asennettavaksi niiden alle. Putkisto ei muutoin haittaa pihan käyttöä. (Motiva s.a.)

### **Lämmönkeruupiiri vesistöissä**

Koska vesistö sitoo hyvin lämpöä, saadaan vesistöön sijoitetusta lämmönkeruupiiristä parhaassa tapauksessa saman verran lämpöenergiaa kuin hyvästä porakaivosta. Lämmönkeruuputkistolle soveltuvia vesistöjä ovat lammet, järvet ja merenrannat. Yleisin toteutustapa on asentaa vaakakeruupiiri samaan tapaan kuin maaperään. Keruupiiri voidaan joko ankkuroida irti pohjasta, upottaa vapaasti vesistön pohjalle tai upottaa pohjasedimenttiin. Pohjasedimentillä tarkoitetaan vesistön pohjalle kerrostunutta maa-ainesta, jonka joki tai tulva-vesi on sinne kuljettanut. (Lappi 2013, 27.)

Vesistöstä tuleva putki tulee lämpöeristää rannasta lämmitettävään rakennukseen asti, etenkin jos meno- ja paluuputket ovat samassa kaivannossa. Muutoin osa kerätystä lämmöstä menee hukkaan siirtovaiheessa. On myös tärkeää merkitä lämmönkeruuputkiston sijainti selkeästi kyltillä, jotta vältetään ankkuroivien veneiden aiheuttamilta vaurioilta. (Lappi 2013, 27.)

Vesistön syvyyden on oltava vähintään 2 metriä jo rannan läheisyydessä. Riittävä syvyys on tärkeää siksi, että putket voidaan viedä veteen routarajan alapuolella, etteivät jäät pääse vahingoittamaan putkistoa ja etteivät vedenpinnan tason vaihtelut vaikuta järjestelmän suorituskykyyn. Vesistön lämpökapasiteetti määräytyy vesistön syvyyden ja virtauksen mukaan. Mitä pienempi lämpökapasiteetti vesistöllä on, sitä enemmän lämpöpumppu vaikuttaa sen lämpötilaan. (Lappi 2013, 27.)

Keruupiiriä ei suositella virtaaviin vesiin, sillä virtaavasta joesta ei saada veden kylmyyden vuoksi yhtä paljon energiaa kuin esimerkiksi järvestä. Lisäksi vuodenajat vaikuttavat jokien virtauksiin ja vedenpinnan tasoihin huomattavasti enemmän kuin järvissä tai meressä. Suurin ongelma vesistöön asetetuissa lämmönkeruupiireissä on talvikauden alhainen lämpötila, joka on alle 4 °C, matalissa vesissä jopa alle 2 °C. (Lappi 2013, 27.)

### **Maaviileä**

Maalämpöjärjestelmää voi hyödyntää myös kiinteistöjen jäähdyttämisessä, sillä kesällä maa- ja kallioperä ovat viileämmät kuin ulkoilma. Maaviileälaitteiston asentaminen edellyttää, että maalämpöjärjestelmän energiakaivo on riittävän syvä. Vaakaputkisto tai vesistöön asennettu lämmönkeruupiiri eivät sovellu maaviileän käyttöön, sillä niistä ei saada riittävästi jäähdytysenergiaa. (Tom Allen Senera 2022c.)

Maaviileä sopii sekä pieniin että suuriin kiinteistöihin. Liikekiinteistöissä jäähdytysenergian ja -tehon tarve voi olla yhtä suuri kuin lämmitysenergian ja -tehon, jolloin lämmityksen ja jäähdytyksen yhdistäminen maalämpökaivolla on usein taloudellisesti kannattavaa. (Tom Allen Senera 2022c.)

Viilennys voidaan toteuttaa esimerkiksi johtamalla keruupiirin neste ilmanvaihtokoneen tuloilmaa viilentävään jäähdytyspatteriin. Mikäli kohteessa on lattia-lämmitys, voidaan erillisessä lämmönvaihtimessa jäähdyttää lämmityspiiriin menevää vettä: tällöin puhutaan lattiaviilennyksestä. Jäähdytyksen voi myös toteuttaa rakentamalla erillinen vesikiertoinen jäähdytyspiiri passiivi- tai puhallinkonvektorilla. Tällöin puhallinkonvektorin lämmönkeruunesteeseen siirtyy huoneilmasta lämpöä, jolloin huonetila jäähtyy. Lämmönkeruuneste vie kerätyn lämmön energiakaivoon, tai sitä voidaan hyödyntää käyttöveden lämmityksessä. Erillisellä vesikiertoisella jäähdytyspiirillä saadaan aikaan tehokkain jäähdytys, jolla huonelämpötilaa voidaan laskea jopa 6–8 °C. (Motiva s.a.)

Kesällä huoneilman ylijäämälämmön johtaminen maaperään lämmittää lämpökaivon ympäristöä, mikä parantaa maalämpöpumpun hyötysuhdetta talviaikaan, jolloin lämpöä johdetaan maaperästä pois. Maaviileän käytöllä voidaan

ikään kuin ladata kesän lämpöä maaperään myöhempää käyttöä varten. (Tom Allen Senera 2022c.)

### **Lämpökaivojen ja keruupiirien luvanvaraisuus**

Sekä uudisrakentamisessa että lämmitysjärjestelmän vaihdoksessa lämpökaivo ja vaakaputkisto lämmitysjärjestelmänä vaativat toimenpideluvan. Toimenpidelupaan vaadittavien asiakirjojen vähimmäisvaatimuksena on yleensä hallintaoikeusselvitys, Väestörekisterikeskuksen rakennushankeilmoitusta koskeva lomake RH1 ja asemapiirros, johon kaivon paikka on merkitty. Asemapiirros täytyy laatia riittävän yksityiskohtaiselle kartalle. Kunnan rakennusvalvontaviranomainen antaa tarkemmat ohjeet vaadittavista asiakirjoista. (Juvonen ym. 2013.)

Mikäli kohde sijaitsee pohjavesialueella, vedenottamon suoja-alueella tai kyseessä on vesistöön sijoitettava putkisto, tarvitaan vesilain mukainen lupa, eli vesilupa, jonka myöntää aluehallintovirasto. Aluehallintovirasto käsittelee kaikki hakemukset tapauskohtaisesti. Vesitalousluvan myöntämisen edellytyksiä arvioidaan vesilain 3 luvussa säädetyn intressivertailun perusteella. Luvan haku maksaa aina, vaikka päätös olisi kielteinen. Vesistöön asennettavalle putkistolle tarvitaan myös vesialueen omistajan lupa. (Juvonen ym. 2013, 16.)

### **Maalämpöpumpun hyötysuhde**

Kuten vesi-ilmalämpöpumpun, on myös maalämpöpumpun lämpökerroin parempi, mitä pienempi lämpötilaero lämmönlähteen ja rakennuksen lämmönjakojärjestelmässä kiertävän veden välillä on. Maalämpöpumppujen yleisiä SPF-lukuja taulukossa 4.

Taulukko 4. Maalämpöpumppujen SPF-lukuja (Lämpöpumppujen laskentaopas 2012)

Maalämpöpumppu max. lämpötila (menovesi), °C	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
	-3	+3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

### Maalämpöpumpun mitoitus

Ulkolämpötilan vaihtelu ei vaikuta maalämpöpumpun toimintaan ja koska maaperän lämpötila vaihtelee vain vähän, on maalämpöpumpun tuotto tasaista vuoden ympäri. Maalämpöpumpun voi siis myös Suomen olosuhteissa mitoittaa joko täydelle- tai osateholle. Osatehoinen järjestelmä tuottaa 60–80 % tarvittavasta tehosta ja kattaa 90–98 % vuosittaisesta lämmitysenergiasta. Kovimmilla pakkasilla tarvittava lisälämmitys tuotetaan esimerkiksi lämpöpumpun sisäisellä sähkövastuksella. (Kilpijärvi 2015, 13.)

### Lämpökaivon mitoitus

Lämmitysenergian tarve määrittelee lämpökaivon syvyyden ja kaivojen lukumäärän. Uudisrakennusten lämpökaivot mitoitetaan laskennallisen lämmitysenergian kulutuksen mukaan, vanhoissa rakennuksissa käytetään toteutunutta lämmitysenergian kulutusta. Lämpökaivon mitoituksessa käytettäviä säävyöhykkeiden mukaisia raja-arvoja esillä taulukossa 5. (Kilpijärvi 2015, 8.)

Taulukko 5 Lämpökaivon mitoituksen raja-arvot (Kilpijärvi 2015)

Lämpökaivo	1 alue	2 alue	3 alue	4 alue
kWh/m	150	140	130	120
W/m	42–43	38–41	34–38	30–35
Liuksen keskilämpötila, °C	-2,5 ...+1	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1

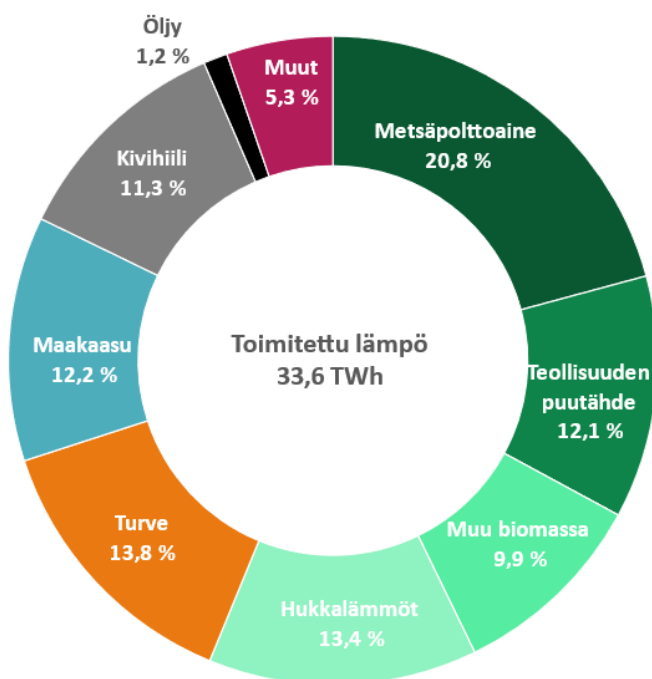
Lämpökaivon alimitoituksessa vaarana on lämpökaivossa olevan veden jäätyminen. Paikallisesti alkava jäätyminen jättää jäätyneiden alueiden väliin sulia osuuksia, joiden paine kasvaa jäätyneiden edetessä. Kaivon virtaus heikkenee tai estyy kokonaan, kun kaivoon syntynyt paine alkaa painaa kollektoria kasaan. Tällöin joudutaan asentamaan uusi kollektori. Mikäli kollektorin poistaminen ei kasaan painumisen vuoksi onnistu, on ainoa vaihtoehto porata uusi lämpökaivo. (Kilpijärvi 2015, 9.)

Reilusti alimitoitettu kaivo voi johtaa kollektorivaurioon jo ensimmäisenä talvena, mutta alimitoitettu kaivo voi alkaa jäätyä vasta 5–10 vuoden jälkeen. Kaivon hidaskäyttäminen on vaikea havaita. Liuoslämpötila ei laske, sillä jään lämmönjohtavuus on jopa kolminkertainen kaivon kylmään veteen verrattuna. Jäätyneen voi havaita lähinnä liuoskierron vähittäisestä heikentymisestä. (Kilpijärvi 2015, 9.)

### 3.4 Kaukolämpö

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto, jota tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa ja lämpölaitoksissa. Yhteistuotantolaitoksissa otetaan talteen turbiineissa sähköntuotannon yhteydessä syntyvä ylijäämälämpö. Kaukolämmön hankinnan energialähteistä Suomessa vuonna 2020 olivat hiilidioksidineutraaleja 56 % ja fossiilisia tuontipolttoaineita 20 % (Energiateollisuus 2022.)





Kuva 3 Kaukolämmön hankinnan energialähteet Suomessa 2020 (Energiateollisuus 2022)

Kaukolämpö on suosittu lämmitysmuoto monesta syystä: kaukolämpölaitteet vievät vain vähän tilaa ja niiden käyttö ja huolto on yksinkertaista. Kaukolämpölaitteet ovat myös pitkäikäisiä. Kaukolämpö on energiatehokas ja toimitusvarma lämmitysmuoto. Muihin lämmitysmuotoihin verrattuna kaukolämpö on käyttäjälleen huoleton ratkaisu.

Vaikka Suomessa on kattava kaukolämpöverkko, siihen liittyminen on harvoin mahdollista syrjäisimmissä sijainneissa. Kaukolämpöverkko rakennetaan sijainteihin, joissa sillä on mahdollisimman paljon asiakkaita, joten se keskittyy tiheille asutusalueille ja paikkoihin, joissa on muita suuria kuluttajia.

### Kaukolämmön kustannukset

Kaukolämmön kustannukset koostuvat liittymismaksusta, perusmaksusta ja energiamaksusta. Liittymismaksu maksetaan kaukolämpöverkkoon liittyessä. Eri kaukolämmöntarjoajat määrittelevät liittymismaksut kutakuinkin samoin perustein. Yleisiä määrääviä muuttujia ovat sopimusvesivirta, liittymisjohdon pituus ja kiinteistön etäisyys lämpölaitoksesta. Sopimusvesivirta määräytyy kiinteistön lämmitystehontarpeen mukaan. Liittymismaksu maksetaan kerran kaukolämpöverkkoon liityttäessä.

Perusmaksu on kiinteä vuotuinen kustannus, joka määräytyy myös sopimusvesivirran mukaan. Energiamaksu määräytyy kulutetun kaukolämpöenergian ja kaukolämpöyhtiön energianhinnan mukaan.

### **3.5 Kaasulämmitys**

Kaasulämmityksen ja öljylämmityksen laitteisto on hyvin samantapainen, mutta käytössä on kaasulle tarkoitettu kattila ja kaasupoltin. Monia polttoöljylle tarkoitettuja kattiloita voidaan käyttää myös kaasulla. Kaasu toimitetaan asiakkaille kaasuputkea pitkin, eikä sitä siis varastoida kiinteistössä polttoöljyn tapaan. Tämän vuoksi kaasulämmitys on kaukolämmön tavoin mahdollinen ainoastaan kaasuverkon palvelualueilla. Kaasun käyttövarmuus on samaa luokkaa kuin kaukolämmön.

### **Maakaasun ympäristöystävällisyys**

Maakaasu on fossiilinen polttoaine öljyn tapaan. Sen poltossa muodostuu kuitenkin vähemmän päästöjä kuin polttoöljyn: sen hiilidioksidipäästöt ovat noin neljänneksen vähemmän kuin polttoöljyn. Maakaasu on myös rikitön ja sen hiukkaspäästöt ovat vähäiset. (Motiva 2022c.)

### **Biokaasu**

Biokaasu on uusiutuva energianmuoto, jota voidaan valmistaa liki mistä tahansa eloperäisestä jätteestä. Biokaasun poltosta ei synny hiukkaspäästöjä, eikä se sisällä rikkiä tai raskasmetalleja. Biokaasun ja maakaasun oleellinen ero on syntytavassa ja niiden koko elinkaaren päästöissä. (Biovoima s.a.)

### **Vetykaasu**

Vetykaasun tuotanto vaatii paljon sähköenergiaa, mutta vety on polttoaineena houkutteleva, sillä sen polttamisesta ei synny ollenkaan päästöjä. Vedyn polttamisen ainoa sivutuote on vesihöyry, jota sitäkin voidaan käyttää esimerkiksi sähköntuotantoon. Vety on kiinnostava myös energian varastoinnin kannalta; silloin kun on saatavilla runsaasti aurinko- ja tuulivoimaa, voisi sähköisellä

elektrolyysillä tuottaa vetyä, joka varastoitaisiin myöhempää käyttöä varten. (Fortum s.a.)

## **Kaasuvoima Euroopassa ja Suomessa**

Suomessa maakaasun käyttö on vähäisempää kuin Keski-Euroopassa, jossa kaasulla lämmitetään noin puolet kodeista ja maakaasu toimii energianlähteenä suurelle osalle teollisuutta. Suomessa maakaasua käytetään eniten kaukolämmön ja sähkön yhteistuotannossa sekä prosessiteollisuudessa.

Kaasua käytetään Euroopassa enemmän kuin sähköä, ja sitä käytetään myös energianlähteenä sähköntuotannossa. Kaasuvoimaloilla voidaan tuottaa nopeasti sähköä, jonka vuoksi se on ollut hyvä varaenergianlähde aurinko- ja tuulivoimalle, joiden tuotanto on riippuvainen sääolosuhteista. Joustavien kaasuvoimaloiden vuoksi myös aurinko- ja tuulivoimaloita voidaan rakentaa enemmän. (Fortum s.a.)

### **3.6 Puupohjaiset lämmitysmuodot**

Puu on edullinen kotimainen energianlähde. Se lasketaan uusiutuvaksi energianlähteeksi, vaikka sitä polttaessa syntyykin hiilidioksidia. Puun status uusiutuvana energiana perustuu siihen, että poltetun puun tilalle kasvaa uusi puu, joka taas sitoo hiilidioksidin. Luonnossakin puu vapauttaa hiilidioksidia lahoessaan; lahoaminen on hidasta palamista, josta syntyvää hiilidioksidia ympärillä kasvavat puut sitovat. Puuta voidaan käyttää polttoaineena lämmityskattiloissa monissa muodoissa, kuten klapeina, hakkeena tai pelletteinä.

#### **Pellettilämmitys**

Pelletit ovat puusepän- ja sahateollisuuden sivutuotteina syntyvistä kutterinpuuruista, sahajauhoista ja hiontapölystä puristettuja tiiviitä sylintereitä. Pellettien lämpöarvo on noin 4,7 kWh/kg. Pellettejä käytetään sekä pientalojen, maatilojen ja suurien kiinteistöjen lämmitykseen. Pellettilämmityksellä voidaan korvata öljylämmitys kokonaan, ja se sopii sekä vesikiertoiseen että ilmakiertoiseen lämmönjakojärjestelmään. (Motiva 2022f.)

Pellettilämmitys vaatii kattilan, polttimen, varastosilon ja ruuvikuljettimen, joka asennetaan silon pohjalle. Siirtoruuvi siirtää pelletit silosta polttimelle. Jos pellettejä joudutaan siirtämään pitkiä matkoja, voidaan siirtoon käyttää myös imuritekniikkaa. Polttimen ohjausyksikkö ohjaa pellettien kuljetusta, palamisilmapuhallinta ja poltinta lämmöntarpeen mukaan. Pellettikattila nuohotaan ja tuhkat täytyy poistaa säännöllisesti. Kattilan, polttimen ja palopesän säännöllinen puhdistus pienentää hiukkaspäästöjä ja pitää kattilan hyötysuhteen hyvänä. (Motiva 2020.)

Pelletit tulee suojata kosteudelta, joten niiden oikeanlainen varastointi on tärkeää. Pellettejä voidaan säilyttää sisätiloissa siilossa. Ulkosäilytyksessä voidaan käyttää säkkejä. Ilmankosteus tai kylmyys eivät pilaa pellettejä, mutta lämpötilan vaihteluista syntyvä vesi hajottaa pellettien rakenteen ja tekee niistä käyttökelvottomia. Lämmitystapaa valitessa täytyy myös huomioida, että pellettien säilytys vaatii enemmän tilaa kuin polttoöljyn. (Motiva 2020.)

### **Pellettilämmityksen päästöt**

Pellettilämmityksen pienhiukkaspäästöt ovat pienemmät kuin perinteisen polttopuun. Vähäisiin päästöihin vaikuttavat pellettien kuivuus (alle 10 % vettä tilavuuspainosta), pellettien tasalaatuisuus sekä laitteiston tasainen pellettien anostelu. Myös polttimet säätävät korvausilman määrää tarpeen mukaan. Palamista voidaan parantaa myös lämmönvaihtimilla, palamistavalla ja suodattimilla. (Bioenergia s.a.)

### **3.7 Jäähdytysjärjestelmät**

Suomen sääolosuhteissa lämmitystarve on suurempaa kuin jäähdytystarve, mutta ilmaston lämpenemisen ja kuumien kesien myötä rakennuksien jäähdytykselle on kysyntää. Esimerkiksi maalämpöpumppuja voidaan käyttää sekä lämmitykseen että jäähdytykseen, joten lämpöpumppuinvestoinnin yhteydessä kannattaa myös tarkastella rakennuksen jäähdytystarvetta.

## **Keskitetty jäähdytysjärjestelmä**

Keskitetyllä jäähdytysjärjestelmällä jäähdytetään rakennuksen tuloilmaa. Sillä on mahdollista jäähdyttää koko rakennus tai vain jotakin tiettyä osaa. Keskitettyjä jäähdytysjärjestelmiä on kahden tyyppisiä: suora ja välillinen.

Suora keskitetty jäähdyttää tuloilman keskitetysti suorahöyrystyspatterilla, joka saa kylmän kompressorilauhduttimelta. Suorahöyrystyspatterin voi sijoittaa joko tuloilmakoneeseen tai tuloilmakanavaan. Tämä hankintahinnaltaan edullisempi vaihtoehto sopii kohteisiin, jossa jäähdytyksen säädölle ei ole suuria vaatimuksia ja jäähdytystehontarve on alle 70 kW.

Välillinen keskitetty kierrättää vedenjäähdytyskoneella tehtyä nestettä tuloilmakoneiden jäähdytyspattereissa. Välillinen keskitetty jäähdytysjärjestelmä on kalliimpi, mutta sillä saadaan tarkka jäähdytyksen säätö ja suurempi jäähdytysteho. (Matinlompolo 2018, 10.)

## **Paikallinen jäähdytysjärjestelmä**

Paikallinen jäähdytysjärjestelmä toteutetaan asentamalla jäädytyslaitteet niihin tiloihin, joissa jäähdytystä tarvitaan. Tällainen laite voi olla esimerkiksi puhallinkonvektori, joka jäähdyttää ilman kierrättämällä sitä lamellipatterin läpi, jossa virtaa kylmä vesi. Puhallinkonvektori voi olla kondensoiva tai ei-kondensoiva. Kondensoivan puhallinkonvektorin veden lämpötila on huonelämpötilan kastepistettä matalampi, jolloin kondensaatiota tiivistyy lamellipatterin pintaan. Tällöin tarvitaan kondessiviemärointi. Ei-kondensoivassa veden lämpötila on korkeampi kuin kastepistelämpötila, eikä kondenssiviemärointiä tarvita. (Matinlompolo 2018, 10, 11.)

Paikallisen jäähdytyksen voi toteuttaa myös ilmastointipalkilla tai jäähdytyspaneelilla. Ilmastointipalkki sopii hyvin suurien lämpökuormien kuiviin tiloihin, joissa ei vaadita suuria ilmavirtoja. Jäähdytyspaneelin etu on sen tekninen yksinkertaisuus, vedottomuus ja äänettömyys. Sen jäähdytysteho ei kuitenkaan yllä ilmastointipalkin tasolle. (Matinlompolo 2018, 10, 11.)

## **Yötuuletus**

Yötuuletus käyttää hyödykseen huoneilmaa viileämpää ulkoilmaa, johtamalla sitä rakennukseen yöllä. Tällöin ilmaa ei tarvitse jäähdyttää ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterilla. (Matinlompolo 2018, 14.)

### **3.8 Uusiutuva piensähköntuotanto**

Tekniikan kehittyessä ja laitteiden ostohintojen laskiessa on uusiutuvasta piensähköntuotannosta tullut houkuttelevaa. Esimerkiksi useat elintarvike- ja kaupan alan yritykset ovat sijoittaneet aurinkosähkön tuotantoon, jolla eteenkin kesäisin voidaan kattaa osa kylmälaitteiden sähkönkulutuksesta ja säästää ostoenergian kustannuksissa.

#### **Aurinkosähkön tuotanto**

Aurinkoenergia syntyy, kun vety fuusioituu heliumiksi auringon ytimessä vapauttaen samalla energiaa. Tämä fuusioreaktio vapauttaa sähkömagneettista säteilyä, eli Auringon säteilyä. Aurinkopaneelien avulla Auringon säteilyenergiaa voidaan kerätä ja hyödyntää sähköenergiana. Aurinkopaneelit rakennetaan aurinkokennoista, jotka keräävät ja muuttavat säteilyenergian tasasähköksi. Invertteri muuttaa tasasähkön vaihtosähköksi, jota kiinteistön sähkölaitteet voivat hyödyntää. (Laivoranta 2021, 9, 12.)

Aurinkosähköjärjestelmä voi olla joko off-grid järjestelmä, jota ei ole kytketty yleiseen sähkönjakeluverkkoon, tai yleiseen sähköverkkoon kytketty on-grid järjestelmä. Off-grid järjestelmät sijaitsevat yleensä saarissa ja muissa kohteissa, joissa jakeluverkkoon liittyminen ei ole mahdollista tai kannattavaa. On-grid järjestelmä voi syöttää sähköenergiaa yleiseen sähkönjakeluverkkoon, jos sähköenergian tuotanto ylittää kiinteistön sähköenergian tarpeen. Tällöin ylimääräinen energia voidaan myydä sähköverkkoon. (Laivoranta 2021, 12, 13.)

## Aurinkopaneelityypit

Aurinkopaneeleja on markkinoilla useaa eri tyyppiä. Tavallisimpia ovat pii-aurinkopaneelit, joilla on toteutettu noin 90 % koko maailman sähköntuotannosta. Piikennot jaetaan yksi- ja monikidekennoiksi. Yksikidekennot valmistetaan puhtaasta piistä ja kennon rakenne on yhtä kokonaista kidettä, kun taas monikidekennoissa on monia kiteitä. Yksikidekennojen hyötysuhde on hieman parempi, mutta uusissa paneeleissa hyötysuhde-erot ovat vain muutamia prosenttiyksikköjä. Piikennopaneeleissa hyötysuhdetta tärkeämpi tekijä on pitkäikäisyys ja laadukas valmistus. (Heikkilä 2020, 14.)

Bifacial-aurinkopaneeli hyödyntää säteilyä paneelin molemmilla puolilla, eli se pystyy vastaanottamaan enemmän auringonsäteilyä. Paneelien takana olevan materiaalin heijastavuus vaikuttaa niiden tuottoon; taakse halutaan mahdollisimman vaalea ja heijastava materiaali. Bifacial-paneelien hyötysuhde on parempi kuin piikennopaneelin, mutta ne ovat kalliimpia. (Heikkilä 2020, 15.)

Ohutkalvopaneelit valmistetaan energia-aukon puolijohteesta, joka mahdollistaa fotonien absorboitumisen lyhyemmällä matkalla. Näin voidaan valmistaa erittäin ohuita, vain mikrometrien paksuisia ohutkalvokennoja. Ohutkalvokennoja käytetään julkisivuissa, ne voidaan integroida kattorakenteeseen ja niitä voidaan käyttää myös ikkunoissa. Ohutkalvopaneelin hyötysuhde on kuitenkin huomattavasti matalampi kuin muiden paneelityyppien. (Heikkilä 2020, 16.)

Half cut -paneelit on halkaistu kahtia, jolloin toinen puoli paneelista voi toimia nimellisteholla myös silloin, kun toinen puoli paneelista on varjossa. Perinteisissä aurinkopaneeleissa teho laskee merkittävästi, jos osa paneelista on varjossa. Half cut -paneelit ovat myös pienempiä, sillä niiden kennot voidaan sijoittaa lähemmäs toisiaan. (Heikkilä 2020, 17.)

Moniliitosaurinkokennoissa pn-liitokset on tehty useista eri materiaaleista, jolloin jokainen pn-liitos tuottaa sähköä eri aallonpituusalueella. Tällöin päällimmäisessä kerroksessa absorboidaan suurienergiset fotonit ja seuraavassa kerroksessa seuraavaksi suurienergiset. Tämä nostaa paneelin hyötysuhdetta huomattavasti. Moniliitoskennot ovat myös huomattavasti kalliimpia kuin muut kennot. Moniliitoskennoilla on mahdollista saavuttaa sama teho

pienemmällä pinta-alalla, minkä vuoksi niitä käytetään keksittävässä aurinkovoimaloissa ja esimerkiksi avaruusteollisuudessa. (Heikkilä 2020, 17, 18.)

### **Aurinkopaneelin ihanneolosuhteet**

Ulkoiset olosuhteet, kuten säteilyintensiteetti, lämpötila ja ilmassa, vaikuttavat aurinkopaneelin tuottamaan tehoon suuresti. Parhain suorituskyky saadaan tilanteessa, jossa on korkea säteilyintensiteetti, alhainen lämpötila ja ilmassa olisi yksi. Ilmassa ollessa yksi, aurinko paistaa zenitissä, eli kohtisuoraan paneelin yläpuolella. (Heikkilä 2020, 13.)

### **Aurinkosähkön taloudellinen kannattavuus**

Aurinkosähköä ei kannata tuottaa yli kiinteistön sähköenergian tarpeen, mikäli halutaan paras taloudellinen hyöty ja mahdollisimman lyhyt takaisinmaksuaika järjestelmälle. Sähköverkkoon syötetystä aurinkosähköstä maksetaan tavallisesti pohjoismaisen sähköpörssin tuntikohtaisen Spot-hinnan mukaan, joka on tavallisesti alle puolet vastaavan ostosähkön hinnasta aurinkosähkön tuotantohuipun aikaan. (Laivoranta 2021, 17.)

Aurinkosähkö sopii parhaiten kohteisiin, joissa sähkön kulutus ajoittuu samaan hetkeen aurinkosähkön tuotantohuipun kanssa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi liike-, toimisto- ja teollisuuskiinteistöt. Aurinkosähkö sopii hyvin kattamaan tällaisten kiinteistöjen suuritehoisten sähkölaitteiden sähkönkulutuksen. Tällaisia voivat olla esimerkiksi jäähdytys- tai kylmälaitteet. (Laivoranta 2021, 17.)

### **Aurinkopaneelien luvanvaraisuus**

Vuodesta 2017 asti aurinkopaneelien asentaminen ei yleisesti ottaen vaadi asennus tai toimenpidelupaa. Lupa tarvitaan niissä tapauksissa, joissa asennuskohde on historiallisesti, maisemallisesti tai muuten kaupungille merkittävä, tai aurinkopaneelien asennus vaikuttaisi merkittävästi kaupunkikuvaan (Radiki 2018). Voi siis olla, että aurinkopaneelien asentaminen on kokonaan kielletty, tai rakennusvalvonta vaatii toimenpideluvan, toimenpideilmoituksen



tai kaupunkikuva-arkkitehdin hyväksynnän. Vaaditut luvat kannattaa tarkastaa kunnan rakennusvalvonnasta ennen laitteiston hankintaa. (Motiva 2021c.)

Jos aurinkojärjestelmä halutaan kytkeä sähköverkkoon, tarvitaan paikallisen verkkoyhtiön lupa ja laitteiston on täytettävä verkkoon kytkemisen tekniset vaatimukset. Verkkoyhtiöön tulee olla yhteydessä ennen järjestelmän hankintaa. Verkkoon kytkennän saa tehdä ainoastaan pätevä sähköurakoitsija. (Motiva 2021c.)

### **Pientuulivoima**

Pientuulivoimaloiksi määritellään voimalat, joiden potkurin pyyhkäisypinta-ala on alle 200 m<sup>2</sup>. Tällaisten tuulivoimaloiden nimellisteho on alle 50 kW. Pientuulivoimalalla voidaan tuottaa sähköä niin kesämökillä, omakotitalossa kuin isommissakin kiinteistöissä. Tuulivoimaa voi hyödyntää akkujen lautaukseen tai suoraan sähköntuotantoon rakennuksen sähköverkkoon. (Motiva 2022d.)

### **Tuulivoimalatyypit**

Tuulivoimalat voivat toimia kahdella eri periaatteella. Yleisempi voimalatyyppi on kolmilapainen potkurivoimala, jota kutsutaan myös vaakakseliseksi voimalaksi. Sen toiminta perustuu lapoihin syntyvään aerodynaamiseen voimaan, joka pyörittää potkuria, jonka mekaanisen energian generaattori muuttaa sähköenergiaksi. (Eklund 2011, 4.)

Harvinaisempi voimalatyyppi on pystyakselinen voimala, jonka toiminta perustuu mallista riippuen joko tuulen työntävään vaikutukseen, aerodynaamiseen voimaan, tai näiden yhdistelmiin. Tunnetuimpia pystyakselisiä voimalatyyppejä ovat suomalainen Savonius-roottori voimala, sekä ranskalainen Darrieus-roottori. (Eklund 2011, 4.)

### **Pientuulivoiman luvanvaraisuus**

Rakennuslupa tai toimenpidelupa vaaditaan, kun rakennetaan tuulivoimala. Tuulivoimalat rinnastetaan useimmiten rakennuslupaa edellyttäviin rakennuksiin, toimenpideluvalla voidaan toteuttaa yksityisen kotitarvekäytön

pientuulivoimaloita. Tuulivoimalan rakentaminen vesistöön edellyttää vesilain mukaista vesilupaa. Maa-alueelle rakennettava tuulivoimala vaatii myös vesiluvan, mikäli rakentamisella on vaikutuksia vesistöön. Luvan myöntää aluehallintovirasto. (Motiva 2021f.)

Suomen ilmatila jaetaan valvottuun ja valvomattomaan. Valvottua ilmatilaa ovat lentoasemien ympärille muodostetut suoja-alueet. Valvomattomassa ilmatilassa tuulivoiman rakentamiseen kohdistuu vähemmän rajoituksia. Suomen ilmailulaki lukee teolliset tuulivoimalat määritellyiksi lentoesteiksi korkeutensa puolesta. Mikäli tuulivoimalan suunniteltu sijainti on ilmailulain määrittelmän etäisyyden päässä lentopaikasta, kevytlentopaikasta tai varalaskupaikan kiitotiestä, niiden rakentamista varten täytyy hakea lentoestelupa Liikenne- ja viestintävirasto Traficomilta. Kaikki yli 30 metriä korkeat rakennelmat lähellä lentoasemia ja yli 60 metriä korkeat rakennelmat kaikkialla Suomessa vaativat lentoesteluvan hakemista. (Motiva 2021f.)

### **Pientuulivoiman taloudellinen kannattavuus**

Pientuulivoima on saman teholuokan aurinkopaneeleihin verrattuna suurempi investointi. Piensähköntuotanto on tavallisesti kannattavampaa toteuttaa aurinkopaneeleilla kuin tuulivoimalalla.

## **4 KOHTEEN ENERGIANKÄYTÖN NYKYTILANNE**

Tämä luku keskittyy kohteeseen. Luvussa kuvaillaan kohteen nykytilannetta, lämmitysjärjestelmää, lämpöenergian kulutusta ja sen jakautumista eri kulukskohteiden kesken, sekä lämmityskustannuksia.

### **4.1 Kohteen kuvaus**

Kohde on meren rannalla sijaitseva säilyketehdas, jonka rakennusvuosi on 1976. Rakennusta on myöhemmin laajennettu. Rakennuksen kokonaispinta-ala on 1060 m<sup>2</sup>, tilavuus ei ole tiedossa. Säilyketehtaan tilat jakautuvat toimisto- ja sosiaalityötiloihin sekä tuotantotiloihin. Toimisto- ja sosiaalityötilojen ala on noin 150 m<sup>2</sup>. Rakennuksen ikkunat ovat alkuperäiset kaksilasiset ikkunat. Ikkunapinta-ala on yhteensä 89,4 m<sup>2</sup>.

Tehtaalla valmistetaan kala-, liha- ja kasviproteiinisäilykkeitä. Opinnäytetyön aloitushetkellä tehtaalla on kaksi tuotantopäivää viikossa, mutta tavoitteena on nostaa tuotantopäivien määrä viiteen uusien tuotteiden myötä.

## **Lämmitys**

Kohdetta lämmitetään öljykattilalla. Lämmönjakoverkosto on vesikiertoinen. Toimisto- ja sosiaalityötiloissa lämmönjako tapahtuu vesikiertoisilla pattereilla, tuotantotiloissa vesilämmitteisillä puhaltimilla. Öljykattila lämmittää myös ilmastointikoneiden lämmityspattereita ja yhtä lämminvesivaraajaa. Lämpimän käyttöveden riittävyyden kanssa on ollut ongelmia, joten tuotantotiloihin on asennettu toinen sähkölämmiteinen käyttövesivaraaja. Tehtaalla on myös kaksi ilmalämpöpumppua, joista toinen on sosiaalityötiloissa, ja toinen tuotantotiloissa.

## **Autoklaavi**

Eniten käyttöväettä kohteessa käyttää autoklaavi, eli paineistettu pata, jossa säilykkeet kuumennetaan säilöntäprosessin päätteeksi. Autoklaavi täytetään vedellä, jonka laitteen sähkövastukset kuumentavat höyryksi. Paine autoklaavissa on 1,3–1,5 baaria ja korkein lämpötila noin 118 °C. Säilykkeet kuumenevat paineessa 114 °C lämpötilaan, jonka jälkeen säilykkeet jäädytetään 27–29 °C lämpötilaan. Jäädytysprosessi kestää 25–35 minuuttia jäädytettävästä tuotteesta riippuen. Tänä aikana autoklaaviin lasketaan kylmää vettä, johon säilykkeet luovuttavat lämpöä, ja tämä vesi lasketaan suoraan viemäriin. On mahdollista, että keiton aikana säilykepurkki menee rikki, eikä padasta poistuva vesi siten ole välttämättä puhdasta, joten padassa käytettyä vettä ei voi käyttää uudelleen käyttövetenä. Autoklaavilla tehdään 4–5 keitosta viikossa. Yksi keitos käyttää vettä kokonaisuudessaan noin 3 m<sup>3</sup> ja yhteen keitokseen mahtuu 1750 säilykepurkkia.

## **Ilmanvaihto**

Tehtaassa on kaksi käytössä olevaa ilmanvaihtokonetta, jotka ovat alkuperäiset vuodelta 1976. Ilmanvaihtokoneisiin ei ole asennuksen jälkeen tehty

muutoksia, eikä niissä ole lämmöntalteenottoa. Toinen ilmanvaihtokone palvelee työsalia, toinen sosiaali- ja toimistotiloja.

Ilmanvaihtokoneita ohjataan manuaalisesti kaksiasentosäädöllä. Ilmanvaihtokoneet ovat poissa käytöstä marraskuusta huhtikuuhun pakkasten vuoksi. Kennostoon on laitettu villat estämään jäätymistä. Kesällä ilmanvaihtoa pidetään päällä 3–5 päivänä viikossa, 2–8 tuntia päivässä.

### **Jäähdytys**

Tuotantotila halutaan pitää viileänä elintarvikehygienian vuoksi. Talvisin tämä on helppoa, mutta kesällä tuotantotila ei pysy tarpeeksi viileänä. Tällä hetkellä tuotantotiloja jäähdytetään sähkökäyttöisillä puhaltimilla, sekä yhdellä ilmalämpöpumpulla.

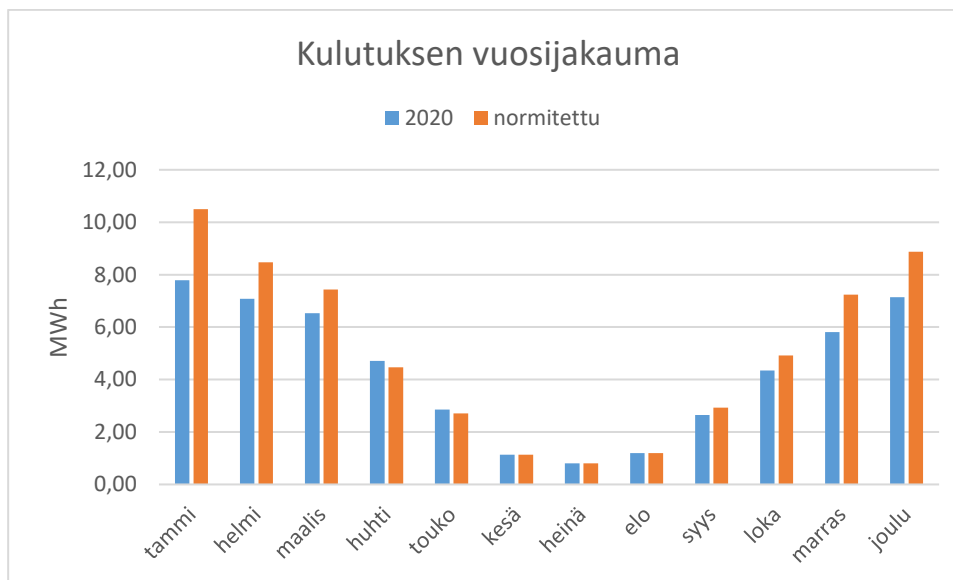
## **4.2 Lämpöenergian käyttö**

### **Vuosikulutus**

Yritys kertoi polttoöljyn vuosikulutuksen olleen edellisenä vuotena 5700 litraa. Aiempien vuosien kulutusta ei saatu selville, joten lämpöenergian kulutus ja jakauma on laskettu vain edellisen vuoden kulutuksen perusteella kolmen edeltävän vuoden sijasta. Kattilan palamishyötysuhteeksi on oletettu 90 %, tarkempien mittaustietojen puuttuessa. Vuoden 2020 kuukausittainen kulutus taulukoituna liitteessä 1. Alla olevassa taulukossa 6 vuoden 2020 lämpöenergiankulutus. Kuvassa 4 näkyy lämpöenergian vuosijakauma.

Taulukko 6. Todellinen ja normitettu lämpöenergiankulutus vuonna 2020

Lämpöenergian kulutus	Todellinen [MWh/a]	Normitettu [MWh/a]
2020	52	60



Kuva 4. Kulutuksen vuosijakauma, 2020 toteutunut ja normitettu

## Lämmin käyttövesi

Kohteen lämpimän käyttöveden kulutusta ei ole mitattu erikseen. Sen osuuden kaikesta käyttövedestä on arvioitu olevan 10 %. Käyttöveden suurin kuluttaja kohteessa on autoklaavi, joka käyttää kylmää vettä. Vuositasolla autoklaavi kuluttaa 60 % kaikesta käyttövedestä, jos keitoksia lasketaan olevan yksi neljänä päivänä viikossa, 52 viikkoa vuodessa. Lämpimän käyttöveden osuus autoklaavin kulutuksen ulkopuolelle jäävästä vedestä on noin 37 %.

Mikäli lämpimän käyttöveden kulutusta ei mitata, Motivan ohjeistuksen mukaan sen arvioidaan olevan asuinrakennuksissa 40 % ja muissa rakennuksissa 30 %. Tässä kohteessa lämpimän käyttöveden osuus on arvioitu ohjeistusta suuremmaksi sen perusteella, että alkuperäinen lämminvesivaraaja oli koettu riittämättömäksi, joten kohteeseen on lisätty myös toinen. Tämän lisäksi kohteen tuotantotiloissa valmistetaan elintarvikkeita, joten tilojen ja laitteiden puhtaudesta huolehditaan tarkasti. Tilojen ja laitteiden pesuun käytettävä vesi on tavallisesti lämmintä käyttövettä, joten suurempi lämpimän

käyttöveden osuus on todennäköisesti suurempi kuin esimerkiksi toimistorakennuksissa.

Koska kohteen käyttöveden kulutusta ei seurata kuukausitasolla, laskennan kannalta vuoden kokonaisvedenkulutus ja lämpimän käyttöveden kulutus jaettu tasan eri kuukausille. Veden kulutus taulukossa 7.

Taulukko 7. Kohteen vedenkulutus

Vedenkulutus	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /kk
Käyttövesi yhteensä	1000	83
Lämmin käyttövesi	150	13
Autoklaavin vedenkulutus	601	50

### Kiertojohtohäviö

Kiertojohtohäviö on energiahäviötä, jonka aiheuttaa lämpimän käyttöveden kierrätys lämminvesivaraajalta vesipisteille. Kiertojohtohäviön osuus on määritetty lämmönkulutuksen vuosijakauman matalimman kulutuksen kuukauden perusteella. Tavallisesti tämä kuukausi on heinäkuu. Silloin voidaan olettaa, että ainoa lämmitettävä kohde on käyttövesi. Kuukauden käytetystä lämpöenergiasta erotetaan käyttöveden osuus, jolloin jäljelle jäävä lämpöenergia on kiertojohtohäviötä. Kiertojohtohäviö voidaan olettaa samansuuruiseksi kaikille kuukausille. Kohteen laskennallinen kiertojohtohäviö on 77 kWh kuukaudessa.

### Ilmanvaihto

Kohteessa on kaksi ilmanvaihtokonetta, jotka ovat päällä toukokuusta lokakuuhun, 2–8 tuntia päivässä, 3–5 päivää viikossa. Koska ilmanvaihtokoneiden ohjaus on manuaalinen, tarkkoja käyntiaikoja ei ole saatavilla. Laskennassa koneiden oletettu olevan päällä 8 tuntia päivässä, 5 päivänä viikossa. Tuloilmamääräksi on tarkemman tiedon puutteessa oletettu laiteluetteloön kirjatut täyden tehon ilmamäärät. Tarkemman tiedon puutteessa puhalluslämpötilaksi on oletettu 17 °C. Ilmanvaihdon energiankulutus on laskettu ilmatieteenlaitoksen laskemien säävyöhykkeen II ulkoilman lämpötilan pysyvyyssarvojen perusteella niinä kuukausina, joina ilmanvaihto on käytössä. Ilmanvaihdon energiankäyttö ja laskennassa käytetyt arvot taulukossa 8.

Taulukko 8. Ilmanvaihdon asetusarvot ja lämpöenergian kulutus

<b>IV-koneet</b>	<b>Työsali</b>	<b>Sosiaalitilat</b>	
Puhalluslämpötila	17	17	°C
Tuloilma	1,25	0,89	m <sup>3</sup> /s
Käyntiaika	40	40	h/w
Energia	7,97	5,67	MWh/a

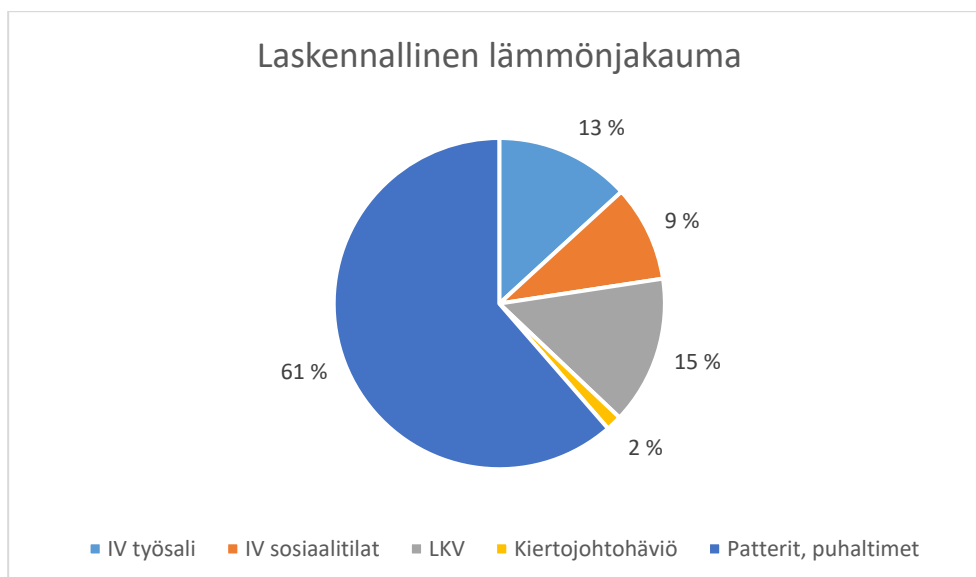
### **Kulutusjakauma**

Laskennallinen kulutusjakauma muodostetaan erottamalla vuoden lämpöenergiatarpeesta kaikki mahdolliset erilliset lämmönkuluttajat. Jäljelle jäävä lämpöenergia on lämmityksen itsensä käyttämä energia. Lämmönjakauma riippuu rakennuksen käyttötarkoituksesta, energiatehokkuudesta ja teknisistä ratkaisuista.

Kohteen suurin lämmönkuluttaja on tilojen suoraan lämmittämiseen käytetyt laitteet, eli vesipatterit ja puhaltimet. Vaikka ilmanvaihto on pois käytöstä talvi-kuukausina, sen lämmönkulutuksen osuus on noin neljännes koko vuoden lämmönkulutuksesta. Tämä johtuu siitä, ettei ilmanvaihtokoneissa ole lämmöntalteenottoa, joka laskisi tuloilman lämmitykseen tarvittavaa energiamäärää. Kulutusjakauma energiana taulukossa 9 ja prosentiosuuksina kuvassa 5.

Taulukko 9. Vuoden 2020 toteutuneen kulutuksen laskennallinen lämmönjakauma

<b>Laskennallinen lämmönjakauma</b>	<b>MWh/a</b>
Ilmanvaihto työsali	8,0
Ilmanvaihto sosiaalitilat	5,7
Lämmin käyttövesi	8,7
Kiertojohtohäviö	0,9
Patterit, puhaltimet	28,7
<b>Yhteensä</b>	<b>52,0</b>



Kuva 5. Toteutuneen kulutuksen lämmönjakauma vuonna 2020

### 4.3 Nykyiset lämmityskustannukset

Vuoden 2020 polttoöljyn kustannukset (taulukko 10) yrityksen ilmoittaman tiedon mukaan. Normitetut lämmityskustannukset on laskettu yrityksen ilmoittaman polttoöljyn ostohinnan mukaan, 0,89 €/l, alv 0 %.

Taulukko 10. Polttoöljyn kulutus ja lämmityskustannukset

	<b>2020</b>	<b>Normitettu</b>	
Polttoöljyn kulutus	5782	6097	l/a
Lämmityskustannukset	5146	5426	€/a

## 5 KOHTEEN ENERGIATEHOKKUUS

Tässä luvussa käsitellään kohteen mahdollisia energiatehokkuustoimia, joilla voitaisiin vähentää kohteessa syntyviä lämpöhäviöitä.

### 5.1 Energiatehokkuutta parantavat toimet

#### Ikkunoiden vaihtaminen

Vuoden 1977 ikkunoiden lämmönläpäisykerroin (U-arvo,  $W/(m^2K)$ ) on 2,8  $W/(m^2K)$ , kun taas nykypäivänä uudisrakennuksiin asennettavien ikkunoiden lämmönläpäisykerroin on 0,98  $W/(m^2K)$ . U-arvo ilmaisee rakenneosan läpi johdettavan lämpövuon alaa kohti, kun ulko- ja sisälämpötilan ero on yksi aste. Mitä



pienempi U-arvo rakennusosalla on, sitä paremmin se eristää lämpöä, eli sitä energiatehokkaampi se on.

Kohteessa on alkuperäiset kaksilasiset ikkunat, joiden vaihtaminen voisi olla ajankohtainen energiatehokkuustoimenpide. Kohteen ikkunapinta-ala on yhteensä 89,4 m<sup>2</sup>. Mikäli nämä ikkunat vaihdettaisiin uusiin, ikkunoiden johtumis-häviöt laskisivat huomattavasti.

### **Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenotto**

Kohteen ilmanvaihtokoneet ovat alkuperäiset, eikä niissä ole lämmöntalteenottoa. Lämmöntalteenotto siirtää osan poistoilman lämmöstä tuloilmaan, jolloin jälkilämmityspatterit käyttävät vähemmän energiaa tuloilman lämmittämiseen. Lämmöntalteenoton toteutus vaatii, että poisto- ja tuloilmaputket ovat vieretysten. Kohteessa ei kuitenkaan ole poistoilmakonetta, vaan paikallispoistoja, jolloin poistoilmaputkea ei ole. Jotta ilmanvaihtokoneisiin voitaisiin asentaa lämmöntalteenotto, täytyisi koko ilmanvaihto uudistaa.

Tällä hetkellä kohteen ilmanvaihdon koetaan palvelevan tarkoitustaan, joten sen uudistaminen ei ole kannattavaa. Mikäli ilmanvaihto olisi käytössä ympäri-vuotisesti, olisi tilanne todennäköisesti toinen. Ilman lämmöntalteenottoa talvi-kuukausina ilmanvaihdon energiankulutus olisi kohtuuttoman suurta ja lämpö-energiaa menisi hukkaan huomattavia määriä. Vaikka tämänhetkisessäkin tilanteessa lämmöntalteenotosta voitaisiin hyötyä, eivät siitä saatavat taloudelliset säästöt ole sitä luokkaa, että ilmanvaihdon saneeraus olisi kannattavaa.

Ilmanvaihdon energiankulutukseen voidaan vaikuttaa myös käyntiaikojen muuttamisella niin, että ne palvelevat paremmin rakennuksen käyttötarkoitusta. Koska tässä kohteessa ilmanvaihtoa ohjataan manuaalisesti tarpeen mukaan, ei automaatioon ohjelmoitujen käyntiaikojen muuttamiselle ole tarvetta.

## 5.2 Energiat ehokkuuden parantamisella saavutettavat säästöt

### Ikkunoiden vaihtaminen

Alla olevassa taulukossa esitetyt arvot on laskettu säävyöhykkeen II ulkolämpötilan pysyvyyssarvojen perusteella. Koska rakennuksen tarkka sisälämpötila ei ole tiedossa ja sisälämpötila ei todennäköisesti ole sama koko rakennuksessa, on laskennassa sisälämpötilana käytetty 19 °C, joka on hieman tavallisia asuinhuoneistoja matalampi. Rahallisen säästön arviointi (taulukko 11) on laskettu kohteen tämänhetkisellä sähköenergian hinnalla 81,36 €/MWh (alv 0 %).

Taulukko 11. Ikkunoiden johtumishäviöt ja laskennallinen säästö vuositasona

	MWh/a	€/a
<b>Vanhat ikkunat</b>	25,2	2048
<b>Uudet ikkunat</b>	8,8	717
<b>Säästö</b>	16,4	1331

Muut laskennassa käytetyt arvot:

Ikkunoiden yhteisala	89,4 m <sup>2</sup>
Vuoden 1977 ikkunoiden U-arvo	2,8
Uusien ikkunoiden U-arvo	0,98

## 6 YLIJÄÄMÄENERGIAN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET

Luvussa kerrotaan, kuinka kohteessa suureksi ylijäämäenergian lähteeksi havaitun autoklaavin poistoveden ylijäämäenergiapotentiaali on määritetty, ja kuinka sitä voitaisiin hyödyntää lämmönlähteenä.

### 6.1 Autoklaavin ylijäämäenergia

Autoklaavi on kohteen selkeä ylijäämäenergian lähde. Ylijäämäenergia syntyy, kun autoklaavissa kuumennetut säilykkeet jäädytetään laskemalla prosessissa käytetty kuuma vesi ulos ja tilalle kylmää vettä, johon säilykkeiden lämpö siirtyy. Kaikki tämä lämmin vesi lasketaan tällä hetkellä suoraan viemäriin, sillä sitä ei voida käyttää uudelleen talousvetenä kontaminaatiovaaran vuoksi. Veteen sitoutunutta lämpöenergiaa kuitenkin on mahdollista käyttää hyödyksi.

Autoklaavin ylijäämäenergiapotentiali on määritetty yhden keitoksen perusteella. Keiton ylijäämäenergian määrä voi vaihdella keitettävän tuotteen mukaan. Ylijäämäenergiaa määrittäessä otettiin aikaa ja luettiin autoklaavista poistuvan veden lämpötila sekä vesimittarin lukema minuutin välein, kunnes säilykkeet olivat jäähtyneet tavoitelämpötilaan. Näistä lähtötiedoista sai selville autoklaavista poistuvan veden massavirran, jonka perusteella voi määrittää ylijäämäenergiasta saatavilla olevan tehon ja energian kaavoilla 6 ja 7. Mittaustulokset saatavilla liitteessä 2.

$$\Phi = q_m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (6)$$

jossa	$\Phi$	teho	[kW]
	$q_m$	massavirta	[kg/s]
	$c_p$	veden ominaislämpökapasiteetti	[kJ/(kg°C)]
	$\Delta T$	lämpötilaero	[°C]

$$Q = \Phi \cdot t \quad (7)$$

jossa	$Q$	energia	[kWh]
	$\Phi$	teho	[kW]
	$t$	aika	[h]

Tehoa laskiessa on oletettu, että kuuma vesi jäähdytetään takaisin 5 °C lämpötilaan, jolloin vesi poistuisi prosessista samassa lämpötilassa kuin se siihen tulee. Ylijäämäenergian määrä (taulukko 12) on laskettu olettamalla, että vuodessa on 220 työpäivää, joista jokaisena tehdään yksi keitto.

Taulukko 12. Autoklaavin ylijäämäenergia

	Yksi keitos	Vuodessa	
<b>Ylijäämäenergia</b>	0,15	32,27	MWh

Ylijäämäenergian potentiaalinen talteenotto on siis vuositasolla noin puolet kohteen normitetusta vuoden lämpöenergian kulutuksesta. Jos vertailukohteena käytetään tämänhetkistä sähköenergian ostohintaa 0,081 €/kWh,

menee tällä hetkellä hukkaan menevän lämpöenergian arvo noin 2600 € vuodessa.

## **6.2 Ylijäämäenergian hyödyntäminen**

Hyödyntämismahdollisuuksiin vaikuttaa ylijäämäenergian saatavuus. Tällä hetkellä autoklaavilla tehdään neljä keitosta viikossa, eli ylijäämäenergiaa ei ole jatkuvasti saatavilla. Jotta ylijäämäenergiaa voidaan käyttää parhaiten hyödyksi, olisi hyvä lämmitysenergian tarpeen ja ylijäämäenergian saatavuuden kohdata ajallisesti. Autoklaavista saatava energian voisi priorisoida ensisijaiseksi lämpöenergianlähteeksi silloin, kun sitä on saatavilla.

Ylijäämäenergiasta saataisiin suurin hyöty, mikäli sen energia siirrettäisiin rakennuksen lämmityspiiriin, josta kaikki lämmityskohteet pystyvät käyttämään sitä. Tällöin energian tarve ja saatavuus kohtaavat suurimmalla todennäköisyydellä.

### **Autoklaavin veden esilämmitys**

Kohteessa oli mietitty ylijäämäenergian hyödyntämistä jo ennen opinnäytetyön alkua. Alkuperäinen idea oli, että autoklaavin vedellä voitaisiin esilämmittää autoklaavin seuraavan keitoksen vettä. Autoklaavi tulovesi on noin 5 °C:n lämpöistä talousvettä, jonka autoklaavi lämmittää keittoa varten sisäisellä sähkövastuksella. Mikäli autoklaaviin menevää vettä esilämmitettäisiin, laskisi autoklaavin sähköenergian kulutus. Tällaisen lämmöntalteenoton voi toteuttaa varaajalla ja lämmönvaihtimella. Autoklaavin tuloveden esilämmitykseen lisäksi ylijäämäenergiaa kannattaa käyttää muuhunkin lämmitykseen.

### **Vapaajäähdytys, veden ja maalämpöpumpun esilämmitys**

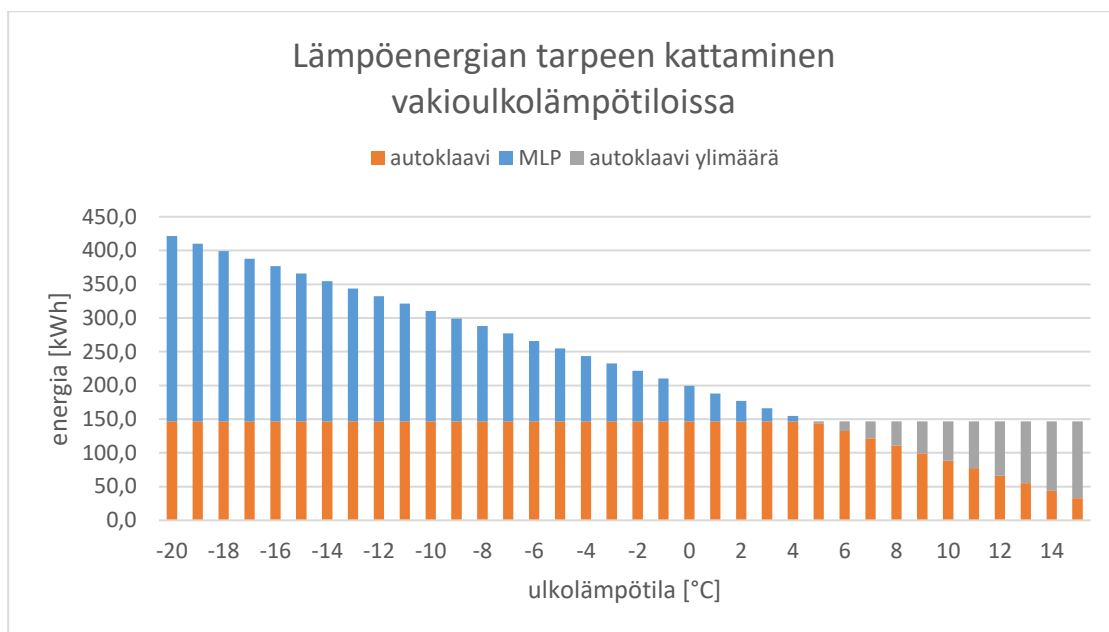
Koska autoklaavista saatavan veden lämpötila on korkea, sitä voisi ajatella yhtenä erillisenä lämmönlähteenä, joka on saatavilla rajoitettuna aikoina. Silloin kun autoklaavin ylijäämäenergiaa on saatavilla, sen energiaa käytettäisiin ensisijaisena lämmönlähteenä. Korkean lämpötilan vuoksi autoklaavin vedellä voisi aluksi lämmittää lämmönjakopiirin vettä suoraan vapaajäähdytyksellä, ja kun veden lämpötila on laskenut alle 70 °C:n, voisi sen ohjata

esilämmittämään autoklaavin tulovettä ja lämpöpumppua. Tämä parantaisi myös lämpöpumpun hyötysuhdetta. Tällä tavalla autoklaavilta saatava vesi voitaisiin jäähdyttää jopa 5 °C lämpötilaan ja mahdollisimman suuri osuus veden lämpöenergiasta saataisiin käytettyä hyödyksi.

Tästä huolimatta eteenkin kesäkuukausina on mahdollista, että lämpöenergian saatavuus ja tarve eivät aina kohtaa, sillä kesäisin lämmitystarve kohdistuu pelkkään lämpimään käyttöveteen. Mikäli ylijäämäenergialle ei ole muuta käyttökohdetta, voi sitä siirtää maalämpökaivoon vapaajäähdytyksellä ja ns. ladata lämpöenergiaa maahan syksyä varten. Tällöin lämmityskauden alkaessa on maan lämpötila korkeampi ja maalämpöpumppu toimii paremmalla hyötysuhteella.

### **Autoklaavin ylijäämäenergia lämmityksessä**

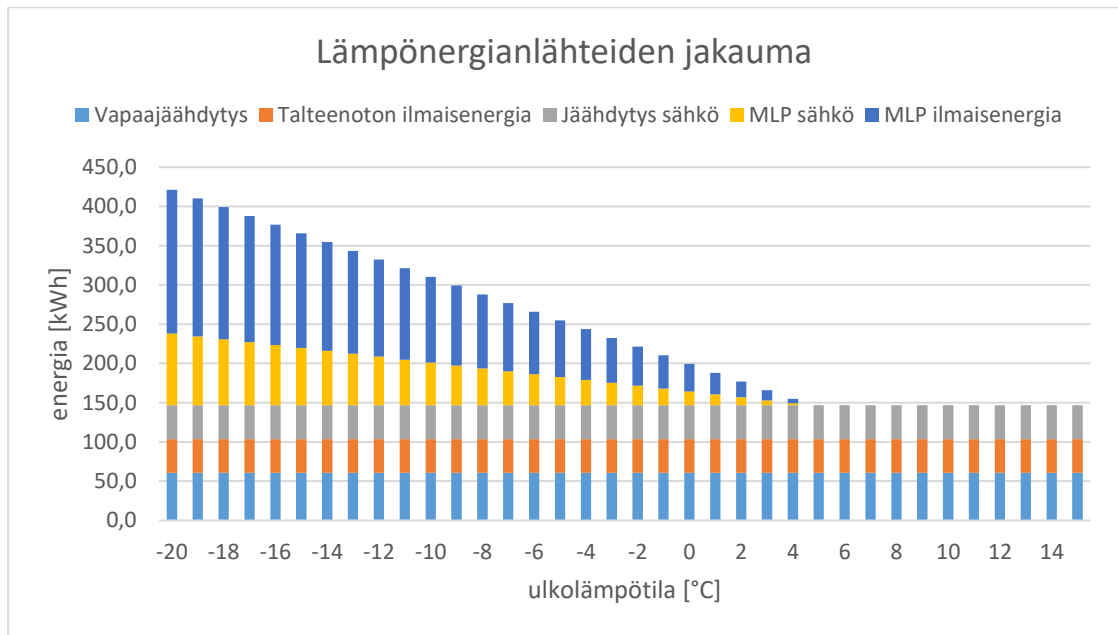
Kuva 6 havainnollistaa vuorokauden lämpöenergian tarpeen kattamista eri va-kioulkolämpötiloissa silloin, kun ylijäämäenergiaa on saatavilla. Pohjalla on autoklaavin ylijäämäenergia, jota tässä skenaariossa käytetään ensisijaisesti kohteen lämmitystarpeen kattamiseen. Loppu lämmitystarve katetaan maalämpöpumpulla. Yli 4 °C:n ulkolämpötilassa kohteen koko lämmitystarve voidaan teoriassa kattaa autoklaavin ylijäämäenergialla. Korkeammassa ylijäämäenergiaa jää yli, jolloin sitä voidaan käyttää autoklaavin tuloveden esilämmitykseen tai sillä voidaan ladata maalämpökaivoa.



Kuva 6. Vuorokauden lämpöenergian tarpeen kattaminen eri vakioulkolämpötiloissa

Kaikki ylijäämäenergia ei kuitenkaan ole ns. ilmaisenergiaa. Veden vapaa-jäähdytys 70 °C lämpötilaan vaatii vain vähän energiaa, joten sitä voidaan pitää kokonaan ilmaisenergiana. Lämpöpulla lämmittäminen vaatii sähköenergiaa ja myös veden jäähdyttäminen lämpöpumpulla vaatii sähköenergiaa kylmäkertoimen EER (energy efficiency ratio) mukaan.

Yhden keitoksen potentiaalisesta talteen otettavasta ylijäämäenergiasta on ilmaisenergiaa noin 70 %, lopun ollessa ostoenergiaa. Kuva 7 havainnollistaa lämpöenergianlähteiden jakaumaa päivätasolla eri vakioulkolämpötiloissa. Jakaumaa laskiessa lämpöpumpun vuosihyötysuhteeksi (SCOP) on oletettu 3 ja vuosikylmäkertoimeksi (SEER) 2. Nämä lukemat ovat laskennan luotettavuuden vuoksi arvioitu hieman alakanttiin. Tavallisesti patterilämmitystaloissa saavutettava vuosihyötysuhde on hieman tätä korkeampi.



Kuva 7. Lämpöenergianlähteiden jakauma

### Ylijäämäenergia ja ilma-vesilämpöpumppu

Mikäli kohteen uudeksi lämmitysmuodoksi valittaisiin maalämmön sijasta ilma-vesilämpöpumppu, voisi autoklaavin ylijäämäenergiaa käyttää samalla tavalla hyödyksi siirtämällä lämpöenergiaa suoraan lämmönjakoverkoston vapaajäähdytyksellä, mutta ilma-vesilämpöpumpun esilämmittäminen ei ole yhtä helposti toteutettavissa, sillä ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämpönsä ulkoilmasta. Kompressorin on sisäänrakennettu ilma-vesilämpöpumpun ulkoyksikköön, eikä siis kompressorille tulevaa kylmää ainetta voida esilämmittää samaan tapaan kuin maalämpöpumpun tapauksessa. Autoklaaviin tulevalle vedelle voisi kuitenkin asentaa lämmönvaihtimen, johon ylijäämälämpöä voitaisiin myös siirtää.

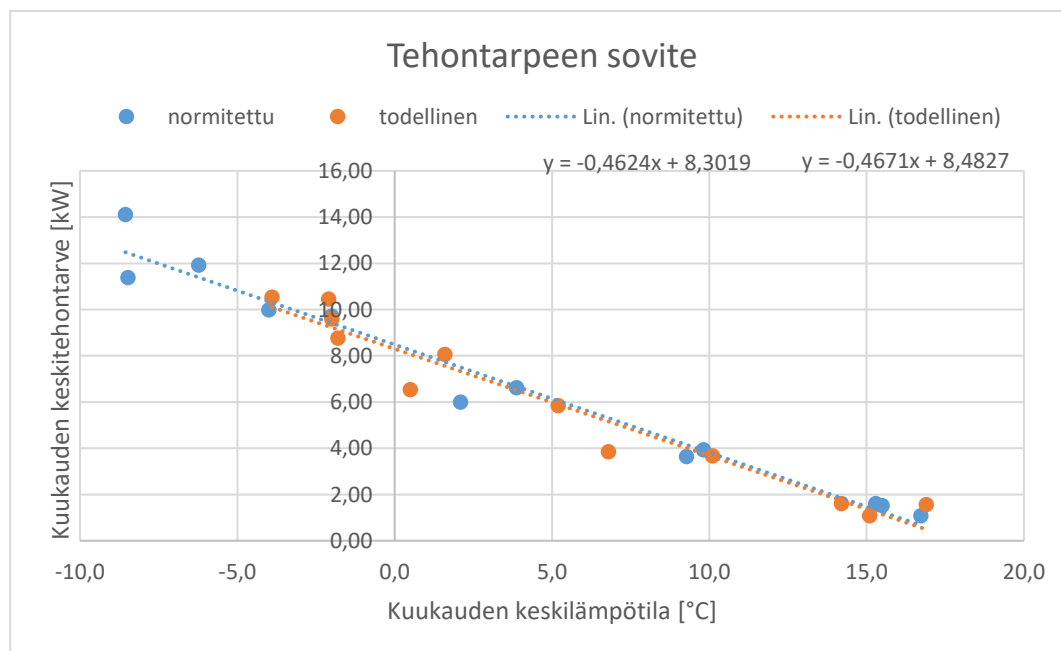
Tässä tapauksessa autoklaavin poistovettä ei välttämättä saataisi jäähdytettyä yhtä matalaan lämpötilaan. Lämpötila riippuisi siitä, mihin lämpötilaan autoklaavin tulovesi halutaan esilämmittää. Jos oletetaan että vesi saadaan jäähdytettyä 25 °C lämpötilaan ennen poistoa, saadaan yhdestä keitoksesta talteen noin 90 kWh ja vuositasolla 20 MWh. Jos sitä verrataan sähköenergian ostohintaan 0,081 €/kWh (alv 0 %), on talteen saatavan energian arvo noin 1600 € vuodessa.

## 7 ÖLJYN KORVAUSMAHDOLLISUUDET

Tässä luvussa esitellään kohteen lämmitystehontarve ja sopivimmaksi todettu vaihtoehto öljylämmitykselle. Luku sisältää uuden lämmitysmuodon vuotuisen energiankulutuksen, lämmityskustannukset, sekä investointikustannuksen ja odotettavan takaisinmaksuajan. Luvussa kerrotaan myös mahdollisista tuista, joita voi hakea lämmitystavanmuutokseen.

### 7.1 Mitoittava lämmitystehon tarve

Mitoittava lämmitystehontarve selvitettiin vuoden 2020 kuukausittaisista keskilämpötiloista ja tehontarpeista. Sovite (kuva 8) tehtiin sekä normitetun lämmitystarpeen perusteella lasketusta keskitehontarpeesta ja Kalajoen lämmitystarvelukujen mukaisista keskilämpötiloista, että toteutuneen lämmitystarpeen mukaan lasketuista keskitehontarpeista ja toteutuneista keskilämpötiloista. Toteutuneina keskilämpötiloina käytettiin Oulun 2020 ilmatieteenlaitoksen mukaisia keskilämpötiloja, koska Kalajoen toteutuneet keskilämpötilat eivät olleet helposti saatavilla.



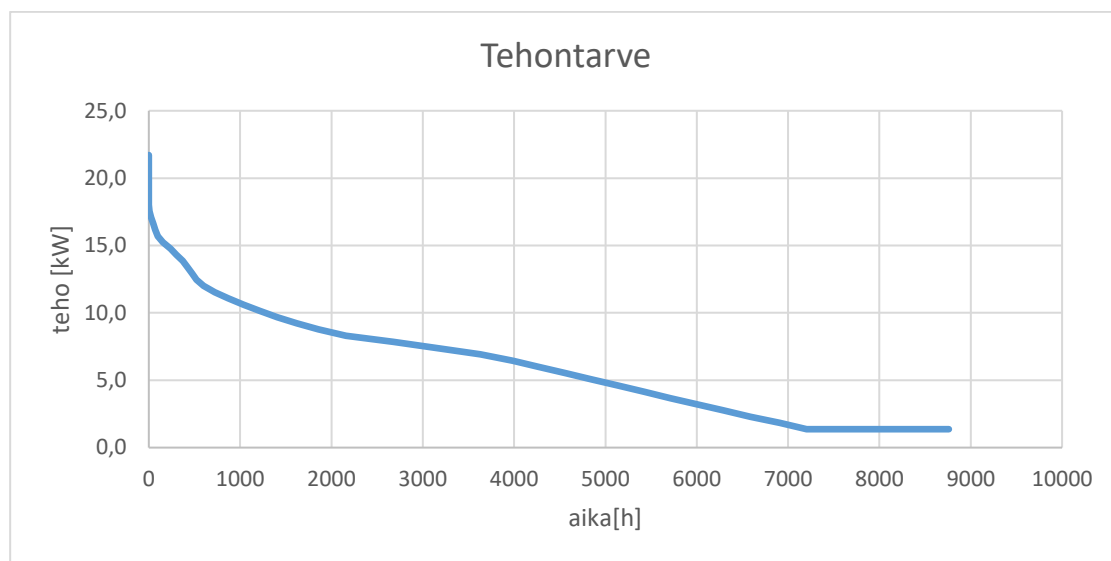
Kuva 8. Tehontarpeen sovite

Sovitteen perusteella määritettiin rakennuksen tarvittava lämmitysteho eri ulkolämpötiloissa mitoitusulkolämpötilaan  $-29\text{ °C}$  saakka. Molempien sovitteiden mukaan mitoittavaksi tehontarpeeksi saatiin noin 22 kW. Sovitteiden antamien tehontarpeiden erot eri ulkolämpötiloissa olivat 300 W:n luokkaa.



Mitoituksessa on käytetty normitetun kulutuksen sovitteen mukaisia arvoja.

Kuva 9 havainnollistaa kuinka monta tuntia tehontarvetta on vuodessa.



Kuva 9. Kohteen tehontarve vuoden tunneilla

## 7.2 Kohteeseen sopivat lämmitysratkaisut

Eri lämmitysratkaisujen toteuttamismahdollisuuksiin ja sopivuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lämmitystehontarve, energiantarve, lämmönjakojärjestelmä, lämmitysjärjestelmälle käytettävissä oleva tila kiinteistössä, sekä sijainti. Tässä kohteessa suurin lämmitysratkaisuja pois rajaava tekijä on sen sijainti, jonka vuoksi esimerkiksi kaukolämpöverkkoon liittyminen ei ole mahdollista. Sijainti mahdollistaisi maalämpöpiirin sijoittamisen vesistöön, mutta rannan syvyys on melko matala ja rannan veneliikenne voisi vahingoittaa lämmönkeruupiiriä, joten sitä ei voida pitää parhaimpana ratkaisuna.

### Maalämpö

Maalämpö valikoitui tarkastelussa parhaimmaksi vaihtoehdoksi. Maalämpö on suosittu vaihtoehto eteenkin kylmemmissä sijainneissa, joissa esimerkiksi pohjavesialue tai huono maaperä ei ole lämpökaivon poraamisen esteenä.

Lämmitysvaihtoehtoja selvittäessä konsultoitiin tutkimustiedon lisäksi myös paikallista lämpöpumppuja myyvää, asentavaa ja huoltavaa yritystä. Ammattilaisen näkemys oli, että maalämpö on Kalajoen alueella parhaiten toimiva ratkaisu. Kalajoella kallio on lähellä pintamaata, joka sopii hyvin lämpökaivolle.

Vaikka alueella talvet vaihtelevatkin leudoista kylmempiin, ovat pitkät pakkasjaksot yleisiä. Pakkasten aikana lämpökaivo on tasainen ja energiatehokas lämmönlähde, kun taas ulkoilmalämpöpumppujen käyttöhyötysuhde on matalimmillaan silloin, kun lämpöä tarvitaan eniten.

Maalämpökaivo on investointina suurempi, mutta koska kohde on verrattain pieni, on hintaero ilma-vesilämpöpumppuun marginaalisen pieni. Maalämmön investointia alemmas tuo myös energiatuki, jota Business Finland myöntää. Ammattilaisen mielestä maalämmön laitteisto on myös ilma-vesilämpöpumpua toimintavarmempi.

Maalämpö olisi kohteeseen hyvä valinta myös kohteen ominaispiirteiden vuoksi. Autoklaavilta saatavan kuumen veden käyttäminen lämpöpumpulle lämpökaivosta tulevan nesteen esilämmittämiseen nostaisi lämpöpumpun hyötysuhdetta. Olisi myös mahdollista tehdä kytkentä, jolla lämpöpumpun tulo- nesteettä lämmitettäisiin pelkästään autoklaavin vedellä silloin kun sitä on saatavilla. Lämpökaivoa voisi käyttää myös jäähdyttämiseen; jos ilmanvaihtokoneisiin asennettaisiin jäähdytyspatterit, voisi kesällä ilmanvaihtokoneiden tuloilman lämpöä siirtää lämpökaivoon. Näin ilmanvaihtokoneiden tuloilma on viileää ja kaivoon siirretty lämpö ns. lataa maaperää, jolloin maalämpöpumpun tuloneste on lämmityskauden alussa lämpimämpää ja lämpöpumpun hyötysuhde entistä parempi.

Kohteeseen riittäisi ns. omakotitaloluokan lämpöpumppu, joka on suurempia lämpöpumppuja edullisempi investointi. 17 kW:n lämpöpumppu riittäisi lämmitämään rakennuksen kokonaan vielä noin -19 °C:n ulkolämpötilassa, ja tätä matalammissa ulkolämpötiloissa lämmitystehoa lisättäisiin lämpöpumpun sisäisellä vastuksella.

### **Ilma-vesilämpöpumppu**

Ilma-vesilämpöpumppu on investoinniltaan edullisempi kuin maalämpö, mutta sen hyötysuhde on pakkasilla huonompi. Ilma-vesilämpöpumppu sopii parhaiten Etelä-Suomeen, jossa pakkasjaksot ovat tavallisesti lyhyempiä. Se on myös hyvä vaihtoehto silloin, kun maalämpö ei ole sijainnin puolesta mahdollinen.

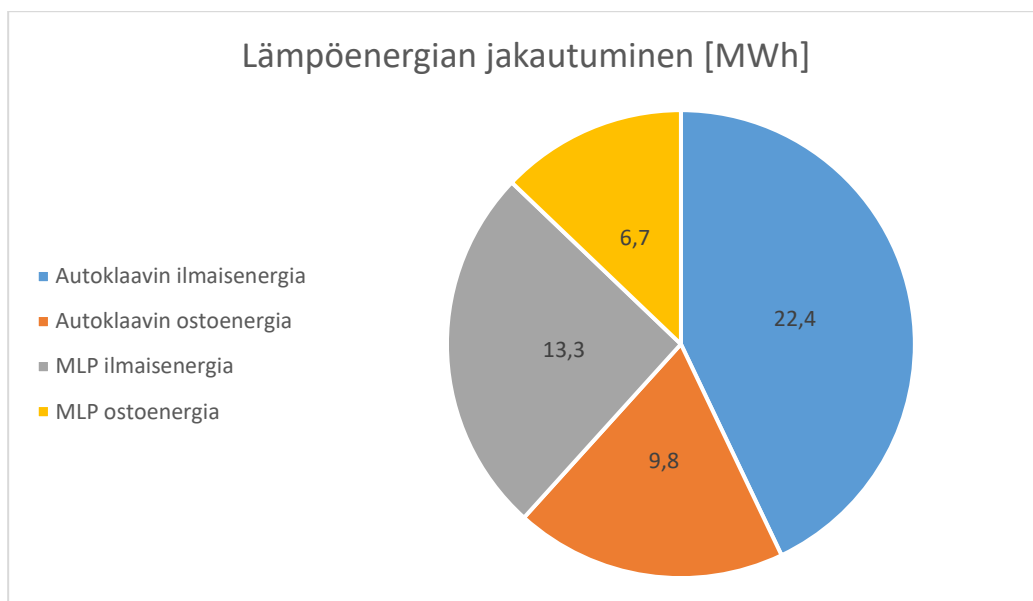
### 7.3 Uusi lämpöenergiankulutus ja lämmityskustannukset

Uudeksi lämmitysmuodoksi valittiin maalämpö, johon yhdistetään autoklaavin ylijäämälämmön talteenotto vapaajähdytyksellä ja lämpöpumpulla. Uusi lämpöenergiankulutus ja lämmityskustannukset on laskettu tähän tilanteeseen. Vertauskohteena käytetään kohteen vuoden 2020 polttoöljyn toteutunutta kulutusta ja kustannuksia.

Vuotuinen lämpöenergiankulutus on laskettu ilmatieteenlaitoksen ulkolämpötilan pysyvyysarvojen säävyöhykkeellä II ja rakennuksen eri ulkolämpötilojen laskennallisen lämmitystehontarpeen mukaan. Autoklaavin ylijäämäenergiaa on oletettu olevan tarjolla 147 kWh 220 päivänä vuodessa. Asennettavan maalämpöpumpun teho on 17 kW, jolla voidaan kattaa rakennuksen lämmitystarve kokonaan -19 °C:n ulkolämpötilaan asti, jota matalammissa lämpötiloissa tarvittava lisäteho katetaan maalämpöpumpun sisäisillä vastuksilla. Yli 14 °C:n ulkolämpötilassa lämmitystarpeen on oletettu kohdistuvan pelkästään lämpimään käyttöveteen. Laskennassa maalämpöpumpun vuosihyötysuhde on 3 ja kylmäkerroin 2. Uuden lämmitysmuodon lämmitysenergian jakautuminen maalämpöpumpulle ja autoklaavin ylijäämäenergialle taulukossa 13 ja visuaalisesti havainnollistettuna kuvassa 10.

Taulukko 13. Lämpöenergian jakautuminen vuositasolla

Lämpöenergian jakautuminen	MWh/a	MWh/a	MWh/a
	Ilmaisenergia	Ostoenergia	Yhteensä
<b>Autoklaavin ylijäämäenergia</b>	21,5	8,9	30,5
<b>Maalämpöpumppu</b>	13,3	6,7	20,0
<b>Yhteensä</b>	34,8	15,6	50,5



Kuva 10. Lämpöenergian jakautuminen vuositasolla

Ulkolämpötilan pysyvyyssarvoilla laskettu lämmönkulutus on hieman matalampi kuin vuoden 2020 toteutunut tai normitettu kulutus, koska pysyvyyssarvot ovat yleistävä esimerkki lämpötilojen jakautumisesta, ja koska pysyvyyssarvojen alin ulkolämpötila on  $-21\text{ °C}$ , johon sisältyy myös sitä matalammat lämpötilat. Tällä perusteella lasketusta vuotuisesta lämmönkulutuksesta autoklaavin ylijäämäenergiasta jäi ylimäärää 1,8 MWh.

Lämmitysmuodonvaihdoksella säästettäisiin ostoenergian kulutuksessa noin 70 % ja hiilidioksidipäästöissä noin 73 % öljylämmitykseen verrattuna. Luemat näkyvillä taulukossa 14. Lämmityskustannukset (taulukko 15) laskisivat noin 73 % entiseen verrattuna.

Taulukko 14. Ostoenergian kulutus ja hiilidioksidipäästöt

Ostoenergian kulutus ja päästöt	MWh	MWh	kg/a
	Öljy	Sähkö	CO <sub>2</sub>
<b>Ostoenergia 2020</b>	57,8		14758,0
<b>Uusi ostoenergia</b>		16,5	2167,5
<b>Vähennä</b>	57,8		12590,5

Taulukko 15. Lämpöenergian kustannukset

Lämpöenergian kustannukset	€/a	€/a	€/a
	Öljy	Sähkö	Yhteensä
<b>Kustannukset 2020</b>	5146		5146
<b>Uudet kustannukset</b>		1346	1346
<b>Säästö</b>			3800

Laskennassa käytetyt arvot:

- Korpelan Energian sähköntuotannon päästökerroin: 232,41 kg/CO<sub>2</sub>/MWh
- Kevyen polttoöljyn päästökerroin: 255,24 kg/CO<sub>2</sub>/MWh (Tilastokeskus)
- Polttoöljyn ostohinta 2020: 0,89 €/l
- Sähkön ostohinta: 0,08136 €/kWh (alv 0 %)

#### 7.4 Lämmitystapamuutoksen investointi ja takaisinmaksuaika

##### Reaalikorko

Takaisinmaksuaikaa laskiessa huomioidaan energian hinnan reaalinous, joka on laskettu kaavan 8 mukaan. Taulukosta 16 ilmenevät laskennassa käytetty inflaation suuruus ja energian hinnan nimellinen nousu. Laskennassa käytetyt prosenttiosuudet ovat melko maltillisia, jotta laskelmat olisivat luotettavimmat pidemmällä aikavälillä. Euroalueen keskipitkän aikavälin tavoite on pitää inflaatiovauhti kahdessa prosentissa, jota on käytetty näissä laskelmissa.

Taulukko 16. Energian hinnan reaalinous

Sähkön hinnan reaalinous [%]	
Inflaation suuruus	2
Energian hinnan nimellinen nousu	3
Reaalikorko	0,980392157
Polttoöljyn hinnan reaalinous [%]	
Inflaation suuruus	2
Energian hinnan nimellinen nousu	5
Reaalikorko	2,941176471

$$r = \frac{i - f}{1 + f} \quad (8)$$

jossa	r	reaalikorko, energian hinnan reaalinous	[-]
	i	nominaalikorko, energian hinnan nimellinen nousu	[-]
	f	inflaation suuruus	[-]

## Maalämpökaivo ja ylijäämäenergian talteenotto

Laskennassa käytetyt hinta-arviot (taulukot 17, 19 ja 21) ovat paikallisen lämpöpumppuyrittäjän antamia suuntaa antavia hintoja, joita voidaan pitää tarpeeksi tarkkoina takaisinmaksuaikojen arviointiin. Laskennassa huomioitujen järjestelmän vuotuiset huoltokustannukset ovat arvioitu olevan 2 % järjestelmän hankintahinnasta.

Business Finland myöntää energiatukea hankkeisiin, jotka edistävät vähähiilistä energijärjestelmää pitkällä aikavälillä. Lämpöpumppuhankkeille tätä tukea on mahdollista saada 15 %. Energiatuen ehdoista tarkemmin luvussa 7.5. Koska Business Finland energiatukea voi pitää melko varmana, laskennassa on oletettu, että lämpöpumpulle saadaan 15 %:n energiatuki.

Taulukko 17. Hankintahinta-arvio maalämpö ja lämmöntalteenotto

Maalämmön verollinen hankintahinta	30 000	€
Lämmöntalteenoton hankintahinta	10 000	€
Huoltokustannukset	800	€/a
Business Finland energiatuki lämpöpumpulle	15	%
Hankintahinta tuen kanssa	35 500	€

Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa merkittävästi ostoenergian hinta. Taulukossa 18 havainnollistaa takaisinmaksuajan muuttumista energian hinnan mukaan. Vertailussa on kolme tilannetta. Ensimmäinen on 2022 tilanne, jossa polttoöljyn ostohinta on 31.03.2022 veroton yrityshinta ja sähkön ostohinta on yrityksen tämänhetkinen alv 0 % ostohinta, joka koostuu siirtomaksusta, sähköverosta (2 veroluokka) ja energiamaksusta. Perusmaksuja, tehomaksuja ja loistehomaksuja ei ole huomioitu. Toisessa tilanteessa polttoöljyn ostohinta on yrityksen 2020 veroton ostohinta, joka ei nykytilanteessa ole realistinen. Kolmannessa tilanteessa sähkön hinta on 50 % korkeampi kuin yrityksen tämänhetkinen ostohinta. Takaisinmaksuaika on laskettu kaavan 9 mukaan.

Taulukko 18. Ostoenergian hinnan vaikutus takaisinmaksuaikaan

Tilanne	Polttoöljyn hinta	Sähkön hinta	Takaisinmaksuaika
	€/l	€/kWh	a
2022	1,42	0,08136	6,1
2020	0,89	0,08136	12,6
Sähkön hinta + 50 %	1,42	0,12204	6,8

$$T = \frac{\ln\left(\frac{S}{S - Hr}\right)}{\ln(1 + r)} \quad (9)$$

jossa	T	takaisinmaksuaika	[a]
	S	saavutettu vuosittainen säästö	[€]
	H	hankintahinta	[€]
	r	reaalikorko	[-]

### Maalämpö

Pelkän maalämpöjärjestelmän laskentaperusteet ovat samat kuin maalämmön ja lämmöntalteenoton, ilman lämmöntalteenoton investoinnin osuutta. Hankintahinta ja huoltokustannukset alla olevassa taulukossa 19.

Taulukko 19. Hankintahinta-arvio maalämpö

Maalämmön verollinen hankintahinta	30 000	€
Huoltokustannukset	600	€/a
Business Finland energiatuki	15	%
Hankintahinta tuen kanssa	25 500	€

Pelkän maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuajan laskennassa (taulukko 20) on käytetty samoja tilanteita kuin edellä maalämmön ja talteenoton takaisinmaksuajan laskennassa: vuosi 2022, vuosi 2020 ja sähkön hinnan 50 % nousu.

Taulukko 20. Ostoenergian hinnan vaikutus maalämpöjärjestelmän takaisinmaksu-aikaan

Tilanne	Polttoöljyn hinta	Sähkön hinta	Takaisinmaksu-aika
	€/l	€/kWh	a
<b>2022</b>	1,42	0,08136	4,4
<b>2020</b>	0,89	0,08136	9,3
<b>Sähkön hinta + 50 %</b>	1,42	0,12204	5,1

### Lämmöntalteenotto

Mikäli lämmöntalteenottoon investoitaisiin pelkältään tai esimerkiksi ilma-vesi-lämpöpumpun kanssa, siitä vuositasolla saatava energiamäärä on pienempi kuin mitä se olisi maalämpöpumpun kanssa. Laskennassa on oletettu, että autoklaavin vesi jäädytetään ensin vapaajäädytyksellä 70 °C:n lämpötilaan ja seuraavaksi se jäähtyy autoklaavin tulovettä esilämmittävässä lämmönvaihtimessa 25 °C:n lämpötilaan, jonka jälkeen se lasketaan viemäriin. Näin yhdestä keitosta saadaan talteen 90 kWh energiaa ja vuodessa 19,7 MWh, jos tehdään yksi keitos 220 päivänä vuodessa. Laskennassa ei ole huomioitu kiertovesipumppujen sähkönkulutusta.

Lämmöntalteenottolaitteistolle ei voi saada Business Finland energiatukea, jos yritys ei kuulu energiatehokkuussopimukseen tai vaihtoehtoisesti toteuta investointia ESCO-palveluna. Laskenta on tehty ilman energiatuen osuutta. Huoltokustannuksien on oletettu olevan 2 % hankintahinnasta. Hankintahinta-arvio ja vuotuiset huoltokustannukset taulukossa 21.

Taulukko 21. Lämmöntalteenoton hankintahinta-arvio ja vuotuiset huoltokustannukset

Hankintahinta-arvio	10 000	€
Huoltokustannukset	200	€/a

Takaisinmaksuaika on laskettu vuosittain talteen otettavan energian rahallisen arvon perusteella, josta on vähennetty vuosittaiset huoltokustannukset. Takaisinmaksuaika (taulukko 22) on laskettu sekä polttoöljyn ostohinnan että sähkön ostohinnan mukaan, koska lämmöntalteenoton energian voi olettaa korvaavan osan polttoöljystä tai sähköenergiasta ja vähentävän näin ostoenergian kustannuksia.



Taulukko 22. Lämmöntalteenoton takaisinmaksuaika

	Polttoöljy	Sähkö
Ostoenergian hinta	1,42 €/l	0,08136 €/kWh
Takaisinmaksuaika	4,0 a	7,6 a

### ELY-keskuksen investointituki

Mikäli maalämpöön päädytään investoimaan ylijäämäenergian talteenoton kanssa, voisi investoinnista tehdä hankkeen, esimerkiksi ”kohti vähähiilistä tuotantoa”, ja hakea tukea ELY-keskukselta. Hankkeeseen voisi yhdistää myös rakennuksen energiatehokkuutta edistävän ikkunoiden vaihdon. Tällaiselle hankkeelle tukiprosentti olisi 30–35 % kokonaisinvestoinnista. ELY-keskukselta tuen saaminen on hankekohtaista ja epävarmempaa kuin Business Finland energiatuki, eikä tälle investoinnille ole siksi laskettu takaisinmaksuaikaa. ELY-tukea voisi kuitenkin hakea ensin ja jos päätös on kielteinen, hakea sen jälkeen Business Finland energiatukea.

### 7.5 Business Finland -energiatuki

Business Finland (2022) kertoo energiatuesta sivuillaan seuraavaan: energiatuen tavoitteena on edistää uusien ja innovatiivisten ratkaisujen kehittämistä energiajärjestelmän muuttamiseksi vähähiiliseksi pitkällä aikavälillä. Energiatuella tuetaan myös tavanomaisen teknologian hankkeita harkitusti.

Energiatukea voivat saada kaiken kokoiset yritykset, sekä ammatin- ja liikkeenharjoittajat ja toiminimet, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Kohteen toimiala on elintarviketukkukauppa, jolle tuen myöntäminen on mahdollista. Energiatukea myönnettäessä arvioidaan myös yrityksen maksukykyisyyttä, projektisuunnitelman tarkkuutta ja muuta olemassa olevaa investoinnin edellyttämää rahoitusta.

Energiatukea voidaan myöntää investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät:

- 1) **uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä** ja jossa
  - edistetään uutta teknologiaa ja sen kaupallista hyödyntämistä
  - investoidaan uuteen laitokseen tai
  - kyse on sellaisesta korvausinvestoinnista, jolla lisätään merkittävästi uusiutuvan energian tuotantomäärää tai saavutetaan muu merkittävä myönteinen tavoitteen mukainen energiavaikutus
- 2) **energiansäästöä tai energian tuotannon tai käytön tehostamista** ja
  - jonka tarkoituksena ei ole pakollisen ympäristövelvoitteen saavuttaminen
  - kyse ei ole energiatehokkuuslain (1429/2014) mukaisesta yritykselle pakollisesta energiakatselmuksesta
- 3) **muutoin energiajärjestelmän muuttumista vähähiiliseksi.**

Energiatuen myöntäminen on harkinnanvaraista ja tuen myöntämisessä etusijalla ovat uuden teknologian hankkeet. Myös tavanomaisen teknologian hankkeita voidaan tukea harkitusti ja etusijalla ovat hyvin valmistellut hankkeet ja huolellisesti laaditut tukihakemukset.

Tukea ei myönnetä hankkeille, jotka on käynnistetty ennen tukipäätöstä. Lisäksi tukea voidaan myöntää aikaisintaan rahoituspäätöspäivästä alkaen aiheutuviin kustannuksiin. Tuella on oltava merkittävä vaikutus hankkeen käynnistämiseen.

## 8 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli löytää toimeksiantajalle uusi öljylämmityksen korvaava taloudellisin ja rakennuksen lämmitystarvetta parhaiten palveleva lämmitysmuoto. Toisena tehtävänä oli ideoida autoklaavin poistoveden ylijäämälämpöpotentiaalia ja talteenottotapoja. Työssä tarkasteltiin myös energiatehokkuutta lämmityksen osalta.

Sopivimmaksi lämmitysmuodoksi valikoitui maalämpö. Kohteen sijainti on hyvä maalämmölle ja se on alueella hyväksi todettu ja suosittu lämmitysmuoto. Kohteen lämmitystehontarpeelle riittäisi 17 kW:n lämpöpumppu, joka

ns. omakotitaloluokan lämpöpumpuna on suurempitehoisia edullisempi investointi. Se soveltuisi hyvin yhteen autoklaavin ylijäämälämmön talteenoton kanssa, jolloin kesällä ylimääräistä lämpöä voisi myös ladata maaperään. Maalämpökaivoa voisi käyttää myös kesäisin jäähdytykseen, jos ilmanvaihtokoneisiin asennettaisiin tuloilmalle jäähdytyspatterit, jotka siirtäisivät tuloilman lämpöä maalämpökaivoon lataamaan maaperää.

Autoklaavin poistoveden potentiaalinen ylijäämäenergian talteenotto olisi noin 32 MWh vuodessa, jos poistovesi jäähdytetään 5 °C lämpötilaan. Tämä on noin puolet kohteen normitetusta vuotuisesta lämmöntarpeesta. Poistoveden voisi laskea lämmönvaihtimelliseen varaajaan, josta sen lämpöenergiaa voisi siirtää suoraan lämmönsiirtopiiriin. Kun poistoveden lämpötila on laskenut niin alas, ettei sillä enää voida lämmittää lämmönsiirtopiiriä suoraan, voisi sen johdattaa esilämmittämään autoklaavin tulovettä ja lämpöpumppua. Poistovettä ei voida käyttää talousvetenä säilöntäprosessin kontaminaatiovaaran vuoksi, joten jäähtymisen jälkeen se johdetaan viemäriin.

Maalämpöinvestoinnille on mahdollista saada Business Finlandin energiatukea, jonka kanssa maalämmölle ja autoklaavin lämmöntalteenotolle saatiin 6–7 vuoden takaisinmaksuaika. Mikäli investoinnista voisi tehdä esimerkiksi vähähiilisyteen pyrkivä hanke, voisi ELY-keskukselta voisi saada investointitukea 30–35 %. Tällöin hankkeeseen voisi yhdistää myös energiatehokkuustoimia, kuten ajankohtaisen alkuperäisten ikkunoiden vaihdon.

Opinnäytetyön pääobjektiivin ulkopuolisena huomiona kohteessa voisi olla potentiaalia aurinkosähkön tuotantoon. Sen sijainti on melko avoin ja katolla olisi paljon tilaa aurinkopaneeleille. Sähkönkulutusprofiililtaan kohteen kaltaiset tuotantolaitokset ovat ihanteellisia aurinkosähkölle, sillä sähkön kulutuspiikki on samaan aikaan kun aurinkosähköä on eniten tarjolla. Aurinkosähköjärjestelmälle saataisiin todennäköisesti hyvä takaisinmaksuaika ja kohde voisi hyötyä aurinkosähköjärjestelmästä myös imagollisesti.

## LÄHTEET

Atlantic Suomi. 2022. Kondenssiöljykattilat. WWW-julkaisu. Saatavilla: <https://atlantic.fi/kondenssioljykattilat/> [viitattu 28.3.2022].

Bioenergia. s.a. Pellettienergia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bioenergia.fi/tietopankki/pellettienergia/> [viitattu 16.3.2022].

Biovoima. s.a. Biokaasu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://biovoima.com/biokaasu> [viitattu 13.3.2022].

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012\\_Suomi.pdf](https://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf) [viitattu 20.11.2021].

Eklund, E. 2011. Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön. Kodin vihreä energia Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/6010/Joka\\_miehen\\_opas\\_pientuulivoiman\\_kayttoon.pdf](https://www.motiva.fi/files/6010/Joka_miehen_opas_pientuulivoiman_kayttoon.pdf) [viitattu 9.2.2022].

Energiateollisuus ry. 2022. Kaukolämpötilasto 2020. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://energia.fi/files/6804/Kaukolampotilasto\\_2020.pdf](https://energia.fi/files/6804/Kaukolampotilasto_2020.pdf) [viitattu 23.1.2022].

Energiatuki. 2022. Business Finland. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki> [viitattu 5.12.2021].

Fortum. s.a. Miksi Euroopan polku puhtaaseen energiaan kulkee kaasun kautta? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/puhtaampi-maailma/miksi-euroopan-polku-puhtaaseen-energiaan-kulkee-kaasun-kautta?vtab=accordion-item-97197> [viitattu 2.3.2022].

Heikkilä, H. 2020. Aurinkosähköjärjestelmän tuottavuuden parantaminen. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Sähkö- ja automaatiotekniikka. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202005026788> [viitattu 17.1.2022].

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo – maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4) [viitattu 23.11.2021].

Jylhä, K., Kalamees, T., Tietäväinen, H., Ruosteenoja, K., Jokisalo, J., Hyvönen, R., Ilomets, S., Saku, S. & Hutila, A. 2011. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista. Ilmatieteenlaitos. Raportteja. PDF-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.sitra.fi/app/uploads/2017/02/Selvityksia53-3.pdf> [viitattu 14.11.2021].

Järvinen, J. 2018. Vesi-ilmalämpöpumpun mitoitus. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Talotekniikka. PDF-dokumentti. Saatavissa:

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018121020797> [viitattu 16.11.2021].

Kilpijärvi, A. 2015. Maalämpöpumppujen mitoituksien vertailu. Oulun Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Talotekniikka. PDF-dokumentti. Saatavissa:

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201504244976> [viitattu 25.11.2021].

Laivoranta, L. 2021. Aurinkosähköjärjestelmien toteutus- ja kunnossapitoperiaatteet. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Talotekniikka. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202104245648> [viitattu 17.1.2022].

Lappi, J. 2013. Maalämpöpumpun lämmönkeräysjärjestelmän kehittäminen pientalokohteessa ja maalämpöjärjestelmien teknistaloudellinen vertailu. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Ympäristötekniikka. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013061013640> [viitattu 25.11.2021].

Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 2012. PDF-dokumentti. Saatavissa:

[https://www.motiva.fi/files/16485/Lampopumppujen\\_energiaskentaopas.pdf](https://www.motiva.fi/files/16485/Lampopumppujen_energiaskentaopas.pdf) [viitattu 15.11.2021].

Lämpötilamestarit. s.a. Ilma-vesilämpöpumput saneerauskohteiden tarpeisiin. WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://www.lampotilamestarit.fi/vesi-ilmalampopumppu/pieni-vesi-ilmalampopumppu.php> [viitattu 14.11.2021].

Matinlompola, A. 2018. Jäähdytysjärjestelmän mitoitus ja valinta yliopistorakennukseen. Oulun Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Talotekniikka. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018060512638> [viitattu 7.12.2021].

Motiva. 2020. Pelletin säilytys ja siirto. WWW-dokumentti. Päivitetty 6.8.2020. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/puulammitys\\_kiinteistoissa/pelletit\\_ja\\_briketit/pelletin\\_sailytys\\_ja\\_siirto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteistoissa/pelletit_ja_briketit/pelletin_sailytys_ja_siirto) [viitattu 16.3.2022].

Motiva 2021a. Huonelämpötilat, patterit ja termostaatit. WWW-dokumentti. Päivitetty 9.11.2021. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/remontoi\\_ja\\_huolla/energiatehokas\\_sahkolammitys/huonelampotilat\\_patterit\\_ja\\_termostaatit](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/energiatehokas_sahkolammitys/huonelampotilat_patterit_ja_termostaatit) [viitattu 12.11.2021].

Motiva. 2021b. Ilma-vesilämpöpumppu, IVLP. WWW-dokumentti. Päivitetty 23.9.2021. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentamisen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu\\_ivlp](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentamisen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_ivlp) [viitattu 13.11.2021].

Motiva. 2021c. Lupa-asiat, paneelien asentaminen. WWW-dokumentti. Päivitetty 20.8.2021. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/ennen\\_jarjestelman\\_hankintaa/lupa-asiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat) [viitattu 19.1.2022].

Motiva. 2021d. Lupamenettelyt. WWW-julkaisu. Päivitetty 8.11.2021. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/lupamenettelyt](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/lupamenettelyt) [viitattu 29.2.2022].

Motiva. 2021e. Milloin tarvitaan lentoeste-lupa? WWW-julkaisu. Päivitetty 17.6.2021. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/lupamenettelyt/milloin\\_tarvitaan\\_lentoestelupa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/lupamenettelyt/milloin_tarvitaan_lentoestelupa) [viitattu 3.3.2022].

Motiva. 2021f. Milloin tarvitaan vesilupa? WWW-julkaisu. Päivitetty 17.6.2021. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/lupamenettelyt/milloin\\_tarvitaan\\_vesilupa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/lupamenettelyt/milloin_tarvitaan_vesilupa) [viitattu 29.2.2022].

Motiva. 2022a. Kulutuksen normitus. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.1.2022. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/kulutuksennormitus> [viitattu 18.2.2022].

Motiva. 2022b. Laskukaavat: lämmin käyttövesi. WWW- julkaisu. Päivitetty 29.3.2022. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energiankaytto/kulutuksen\\_normitus/laskukaavat\\_lammin\\_kayttovesi](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi) [viitattu 18.2.2021].

Motiva. 2022c. Maakaasu. WWW-dokumentti. Päivitetty 23.3.2022. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/maakaasu](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maakaasu) [viitattu 2.3.2022].

Motiva. 2022d. Pientuulivoima. WWW-dokumentti. Päivitetty 7.3.2022. Saatavissa: [www.motiva.fi/pientuulivoima](http://www.motiva.fi/pientuulivoima) [viitattu 2.3.2022].

Motiva. 2022e. Poistoilmalämpöpumppu. WWW-dokumentti. Päivitetty 23.3.2022. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu) [viitattu 8.12.2021].

Motiva. 2022f. Öljylämmityksen vaihtajalle. WWW-dokumentti. Päivitetty 19.4.2022. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/oljylammituksen\\_vaihtajalle](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/oljylammituksen_vaihtajalle) [viitattu 16.3.2022].

Motiva. s.a. Lämpöä omasta maasta. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf) [viitattu 27.11.2021].

Nilan. s.a. COP VS. SCOP – hyötysuhteiden erot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nilan.fi/energiansaasto/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/> [viitattu 22.11.2021].

Pennanen, P. 2019. Selvitys monoblock-ilma-vesilämpöpumpun mahdollisuuksista. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Energiatekniikka. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019062417507> [viitattu 14.11.2021].

Radiki. 2018. Aurinkopaneelien hankkiminen – mitä lupia tarvitaan? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.radiki.fi/component/content/article/2-uutiset-2018/29-aurinkopaneelien-hankkiminen-mita-lupia-tarvitaan> [viitattu 17.1.2022].

Tilastokeskus. 2021. Yli puolet Suomen sähköstä tuotettiin uusiutuville energiälähteillä vuonna 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.stat.fi/til/salatuo/2020/salatuo\\_2020\\_2021-11-02\\_tie\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/salatuo/2020/salatuo_2020_2021-11-02_tie_001_fi.html) [viitattu 28.3.2022].

Tom Allen Senera. 2022a. Ilma-vesilämpöpumppu (VILP). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tomallensenera.fi/ilma-vesilampopumppu> [viitattu 13.11.2021].

Tom Allen Senera. 2022b. Maalämpö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tomallensenera.fi/maalampo> [viitattu 27.11.2021].

Tom Allen Senera. 2022c. Maaviileä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tomallensenera.fi/maalampo/maaviilea> [viitattu 27.11.2021].



## Lämpöenergian kulutuksen jakauma 2020

## Liite 1

2020	vesi	LKV	LKV energia	kiertojohtohäviö	kiertojohtohäviö	LKV energia	öljy	öljy	hyötyenergia	hyöty - LKV	hyöty - LKV - kiertojohto	päästöt	LTL	LTL 2020	normitettu	kesk. tehon-tarve norm.	kesk. te-hon-tarve tod.
Tammi	83,3	12,50	0,73	0,08	1,0	9,4	0,86	8,65	7,78	7,05	6,98	2207	792	570	10,50	14,11	10,46
Helmi	83,3	12,50	0,73	0,08	1,1	10,3	0,79	7,87	7,08	6,35	6,27	2008	713	584	8,48	11,39	10,54
Maalis	83,3	12,50	0,73	0,08	1,2	11,2	0,72	7,25	6,52	5,80	5,72	1850	651	562	7,43	9,99	8,77
Huhti	83,3	12,50	0,73	0,08	1,6	15,5	0,52	5,23	4,71	3,98	3,90	1336	447	477	4,47	6,00	6,54
Touko	83,3	12,50	0,73	0,08	2,7	25,5	0,32	3,18	2,86	2,13	2,05	811	239	259	2,71	3,64	3,84
Kesä	83,3	12,50	0,73	0,08	6,8	64,4	0,13	1,26	1,13	0,40	0,33	321	45	0	1,13	1,52	1,57
Heinä	83,3	12,50	0,73	0,08	9,6	90,4	0,09	0,90	0,81	0,08	0,00	229	9	11	0,81	1,08	1,08
Elo	83,3	12,50	0,73	0,08	6,4	60,8	0,13	1,33	1,20	0,47	0,39	340	53	54	1,19	1,60	1,61
Syys	83,3	12,50	0,73	0,08	2,9	27,5	0,29	2,94	2,65	1,92	1,84	751	215	187	2,93	3,94	3,68
Loka	83,3	12,50	0,73	0,08	1,8	16,8	0,48	4,83	4,35	3,62	3,54	1234	407	350	4,92	6,62	5,85
Marras	83,3	12,50	0,73	0,08	1,3	12,6	0,65	6,45	5,81	5,08	5,00	1646	570	443	7,24	9,73	8,06
Joulu	83,3	12,50	0,73	0,08	1,1	10,2	0,79	7,93	7,14	6,41	6,33	2025	720	565	8,88	11,93	9,60
Vuosi	1000	150	8,75	0,92	1,8	16,8	5,8	57,8	52,0	43,29	42,36	14758	4863	4061	60,40		
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	MWh	MWh	%	%	m <sup>3</sup>	MWh	MWh	MWh	MWh	kg(CO <sub>2</sub> )	°Cd	°Cd	MWh	kW	kW

## Autoklaavin mittaustiedot

## Liite 2

Aika	Vesi Klaavissa	Vesi Ulos	Vesimittarin Lukema	Vesi	Vesi	Tilavuusvirta	Massavirta
0	118		22351,863	0			
1		116,2	22351,987	0,124	124	0,0021	2,0667
2	117	116,3	22352,01	0,023	23	0,0004	0,3833
3	100	116	22352,125	0,115	115	0,0019	1,9167
4	58	115,7	22352,245	0,12	120	0,0020	2,0000
5	37	114,6	22352,363	0,118	118	0,0020	1,9667
6	29	110	22352,482	0,119	119	0,0020	1,9833
7	24	91	22352,602	0,12	120	0,0020	2,0000
8	20	64	22352,735	0,133	133	0,0022	2,2167
9	18	52	22352,855	0,12	120	0,0020	2,0000
10	15	43	22352,978	0,123	123	0,0020	2,0500
11	15	36,6	22353,187	0,209	209	0,0035	3,4833
12	14	31	22353,207	0,02	20	0,0003	0,3333
13	14	28,5	22353,327	0,12	120	0,0020	2,0000
14	14	25,4	22353,447	0,12	120	0,0020	2,0000
15	13	23,4	22353,565	0,118	118	0,0020	1,9667
16	13	21,8	22353,685	0,12	120	0,0020	2,0000
17	13	20,4	22353,805	0,12	120	0,0020	2,0000
18	13	19,4	22353,925	0,12	120	0,0020	2,0000
19	13	18,5	22354,048	0,123	123	0,0020	2,0500
20	13	17,8	22354,168	0,12	120	0,0020	2,0000
21	13	17,2	22354,287	0,119	119	0,0020	1,9833
22	13	16,7	22354,407	0,12	120	0,0020	2,0000
23	13	16,3	22354,53	0,123	123	0,0020	2,0500
24	13	15,9	22354,646	0,116	116	0,0019	1,9333
25	13	15,6	22354,751	0,105	105	0,0017	1,7500
min	°C	°C	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	l	m <sup>3</sup> /s	kg/s