

Jussi-Otto Mäkinen

**KAUKOLÄMMÖN KORVAAMINEN ILMA-VESILÄMPÖPUM-  
PULLA**

# **KAUKOLÄMMÖN KORVAAMINEN ILMA-VESILÄMPÖPUM- PULLA**

Jussi-Otto Mäkinen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2017  
Energiatekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

---

Tekijä: Jussi-Otto Mäkinen

Opinnäytetyön nimi: Kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla

Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 4/2017      Sivumäärä: 51 + 11 liitettä

---

Opinnäytetyö tehtiin Vesnom Oy:n tilauksesta. Työssä tutkittiin kaukolämmön korvaamista ilma-vesilämpöpumpulla. Tavoitteena oli selvittää energiantarpeen, CO<sub>2</sub>-päästöjen sekä taloudellisuuden avulla kaukolämmön korvaamista ilma-vesilämpöpumpulla asiakkaan ja yhteiskunnan näkökulmasta.

Työn esimerkkitalolle laskettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti teoreettinen lämpö- ja sähköenergian kulutus. Esimerkkitalon lämmitysenergian tiedoilla laskettiin energialaskelmat, joissa kaukolämpö korvattiin ilma-vesilämpöpumpulla sekä ilma-vesilämpöpumppu otettiin kaukolämmön rinnalle. Referenssikaupungille rakennettiin teoreettisesti kaksi erilaista energiantuotantorakennetta. Yhteiskunnan osalta vaikutuksia tarkasteltiin referenssikaupungin avulla. Kaukolämmön korvaamista ilma-vesilämpöpumpulla tarkasteltiin nykytilanteen sekä kahden eri mallin avulla. Mallissa 1 kaukolämpöasiakkaista 10 % vaihtaa ilma-vesilämpöpumppulämmitykseen. Mallissa 2 ilma-vesilämpöpumppu on lohkaissut 20 % kaukolämmityksentarpeesta.

Mikäli kaukolämmön hinta pysyy ennallaan voi kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla olla kannattavaa. Suomen keskihinnoin laskettuna ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuajaksi tulee noin 16 vuotta. Eri skenaarioiden avulla pystyttiin havainnollistamaan kannattavuuden toteutumista. Kaukolämmön hinnan noustessa ja sähkön hinnan pysyessä vakiona ilma-vesilämpöpumppu on kannattava. Toisaalta jos kaukolämmön hinta pysyy vakiona ja sähkön hinta nousee, kaukolämpö on hieman kannattavampaa. Skenaariossa käytetty 20 % sähkön hinnan nousu saa ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hinnan lähes saman suuruiseksi. Sähkön hinta voi nousta melkein 20 %, jolloin ilma-vesilämpöpumpun investoiminen on taloudellisesti kannattavaa. Ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalla ei ole kannattava vaihtoehto millään skenaariolla. Kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla nostaa yhteiskunnan CO<sub>2</sub>-päästöjä jokaisella mallilla. Suomen tavoitteet kohti hiilineutraalimpaa yhteiskuntaa eivät toteudu työssä esitetyillä malleilla.

---

Asiasanat: ilma-vesilämpöpumppu, kaukolämpö, CHP, lämmöntuotanto, CO<sub>2</sub>-päästö

## **ALKULAUSE**

Tämä opinnäytetyö aloitettiin lokakuussa 2016 Vesnom Oy:n toimeksiannosta ja valmistui 12.4.2017.

Haluan kiittää Vesnom Oy:tä tilaisuudesta tehdä opinnäytetyö. Oulun ammatti-korkeakoulusta haluan kiittää työn ohjaajaa Veli-Matti Mäkelää asiantuntevasta ohjauksesta sekä Pirjo Partasta kirjoituksen ohjeistuksesta ja palautteesta.

Haluan kiittää avovaimoa opintojeni ja opinnäytetyöni aikana saamastani tuesta ja kannustuksesta. Lisäksi kiitokset perheelle ja ystäville, jotka jaksavat kannustaa.

Oulussa 12. huhtikuuta 2017

Jussi-Otto Mäkinen

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
ALKULAUSE	2
SISÄLLYSLUETTELO	3
1 JOHDANTO	4
2 KAUKOLÄMPÖ	5
2.1 Kaukolämmityksen perusteet	5
2.2 Kaukolämmön- ja sähköntuotanto	5
2.3 CHP-laitoksen polttoaineet	8
2.4 Asiakkaan kaukolämpölaitteet	9
3 LÄMPÖPUMPPULÄMMITYS	12
3.1 Ilma-vesilämpöpumppu	12
3.2 Huolto ja käyttöikä	19
4 KAUKOLÄMMÖN KORVAAMINEN ILMA-VESILÄMPÖPUMPULLA	21
4.1 Kaukolämpötoiminnan lopettaminen	21
4.2 Ilma-vesilämpöpumpun asennus	21
4.3 Kaukolämpötoiminnan lopettaminen yhteiskunnan näkökulmasta	22
5 ENERGIALASKELMAT	23
5.1 Esimerkkitalo	23
5.2 Teoreettinen energiankulutuksen laskentatapa	24
5.3 Ilma-vesilämpöpumppu korvaamaan kaukolämpö	25
5.4 Ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalle	27
5.5 Kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla yhteiskunnan näkökulmasta	28
6 KANNATTAVUUSTARKASTELU	36
6.1 Kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla	36
6.2 Ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalle	37
6.3 Herkkyyksianalyysilaskenta	38
6.4 Tuotantokustannukset referenssikaupungissa	40
7 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	47
LIITTEET	51

# 1 JOHDANTO

Viime vuosina kaukolämpö sekä yhteistuotanto ovat menettäneet kilpailukykyään verrattuna erilaisiin lämpöpumppuratkaisuihin. Sähkön hinnan aleneminen, lämpöpumppujen kehittyminen sekä kaukolämmön hinnan korotukset ovat vaikuttaneet ihmisten valintoihin valita lämpöpumppu lämmitysmuodoksi. Lämpöpumppuinvestointeja tehdään myös kaukolämmiteisiin pien- ja rivitaloihin, kun kaukolämpölaitteisto ja -liittymä vaativat investointeja. CHP:n eli sähkön ja lämmön yhteistuotannon lämpökuorman korvaamista lämpöpumpuilla heikentää Suomen omavaraisuutta sekä huoltovarmuutta. Tällaisessa tilanteessa sähkönkulutus kasvaa sekä CHP-tuotanto vähenee. (1, s. 40.)

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia kaukolämmön korvaamista ilma-vesilämpöpumpulla osittain sekä kokonaan. Työssä tarkastellaan kaukolämmön korvaamista ilma-vesilämpöpumpulla sekä asiakkaan että yhteiskunnan näkökulmasta. Työssä lasketaan energia- sekä kannattavuuslaskelmat kaukolämmön korvaamiselle.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Vesnom Oy. Yrityksen päätoimisto sijaitsee Kempeleessä. Vesnom Oy toteuttaa käyttövesi- ja lämpöjohtosaneeraukset sekä ilma-vesilämpöpumppujen myynnin sekä asennuksen. Vesnom Oy:n toiminta kattaa koko Suomen. (2.)

## **2 KAUKOLÄMPÖ**

Ensimmäinen kaukolämmitysverkosto rakennettiin 1940-luvulla ja se otettiin käyttöön syksyllä 1952 Helsingissä. Kaukolämmitys lämmitysmuotona levisi vähitellen ympäri Suomea. Oulussa kaukolämmitys aloitettiin vuonna 1969. (3, s.12.)

Vuonna 2015 kaukolämpöasiakkaita oli noin 146 400, joista asuintaloasiakkaita on noin 116 500. Tämä käsittää noin 2,73 miljoonaa asiakasta. (4.)

### **2.1 Kaukolämmityksen perusteet**

Kaukolämmitys on keskitetty, suurien alueiden, kuten kaupunkien keskustan, kaupungin osien sekä useiden rakennusten muodostaman ryhmän lämmöntuotanto ja -jakelujärjestelmä. Lämpöenergiaa tuotetaan lämmitysvoimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa, joista se jaetaan kaukolämpöverkoston avulla asiakkaille. Kaukolämpöjärjestelmillä on huippu- ja varalämpölaitoksia, jotka sijaitsevat strategisesti ympäri kaukolämpöverkosta. Nämä lämpökeskukset otetaan käyttöön huipputarpeen aikaan eli kovimmilla pakkasilla tai jos päälämmöntuotantolaitoksella on ongelmia lämmöntuotannossa. (3, s.11.)

Kaukolämpöverkoston pumpataan lämmöntuotantolaitokselta kuumaa kaukolämpövettä. Kiertoveden suurin lämpötila kovimmilla pakkasilla on 120 °C. Kiertoveden lämpötilaan vaikuttaa vuodenaika sekä tarvittava teho. Kuuma kaukolämpövesi siirtyy asiakkaalle menoputkea pitkin lämmönjakokeskukseen, jossa vesi jäähtyy lämmönsiirtimissä. Lämmönsiirtimissä vesi luovuttaa energiaa asiakkaan kiertoveteen, jolla lämmitetään huonetilat, ilmanvaihtoilmän lämmitys sekä lämmin käyttövesi. Asiakkaalta jäähtynyt kaukolämpövesi palaa takaisin lämmöntuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi paluuputkea pitkin. Paluuv veden lämpötila on alimmillaan 25 °C. (3, s.17–18.)

### **2.2 Kaukolämmön- ja sähköntuotanto**

Kaukolämpöä tuotetaan CHP-laitoksissa (Combined Heat and Power) sekä lämpökeskuksissa. Suomessa tuotetaan CHP-laitoksissa noin 73 % kaukolämpöenergiasta ja loput 27 % lämpökeskuksissa. (4.)

Lämpökeskukset sisältävät lämpöenergian siirtämiseen tarvittavat osat: kattilan, polttimen, polttoainevaraston, automaatio- ja savukaasujärjestelmän, tuhkan käsittelyn sekä kaukolämpöveden pumppausjärjestelmän. CHP-laitokseen kuuluu lisäksi turbiini sekä generaattori. (3, s. 24.)

Pelkästään sähköä tuottavaa laitosta sanotaan lauhdutusvoimalaitokseksi. Lauhdutusvoimalaitoksessa höyry johdetaan turbiinin jälkeen mahdollisimman matalassa paineessa lauhduttimeen. Lauhduttimessa höyry muutetaan vedeksi, jolloin vapautuva lämpö siirtyy lauhduttimen jäähdytysveteen. (5, s. 89.)

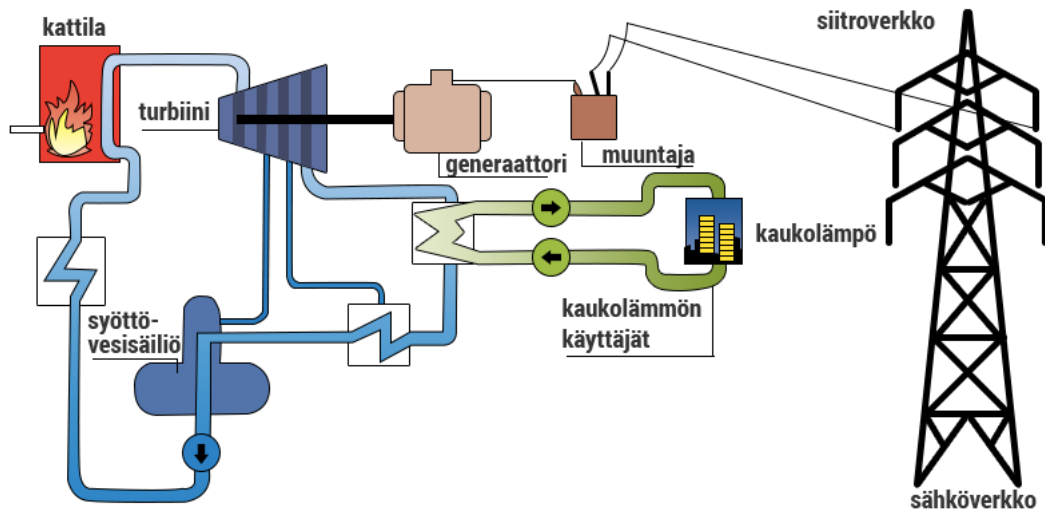
### **Yhdistetty sähkön ja lämmöntuotanto**

CHP-laitos tuottaa sähköä sekä lämpöä, jolloin polttoaineen hyödyntäminen on tehokasta. Yhteistuotantolaitoksissa polttoaine pystytään käyttämään lähes kokonaan hyödyksi, mistä seuraa pienemmät päästöt ja tuotantokustannukset. CHP-tuotanto on mahdollista usealla eri prosessivaihtoehdossa. Yleisimmät prosessit ovat höyry- sekä kaasuturbiiniprosessi. (3, s. 24)

CHP-laitoksilla päästään parhaimmillaan 93 %:n hyötysuhteeseen. Kiinteitä polttoaineita polttavissa laitoksissa käytetään arina-, kierto- ja leijupetikattiloita. Polttoaineena voidaan myös käyttää kaasua, jolloin laitos on kaasuturbiinin ja höyryvoiman yhdistävä combi-voimalaitos. Pienemmät CHP-laitokset voivat olla moottorivoimalaitoksia, joissa käytetään polttoaineena öljyä tai kaasua. (6, s.11, 19, 21.)

CHP-laitoksessa vesi höyrystetään kattilassa korkeintaan 550 °C:n lämpötilaan sekä 150 baarin paineeseen. Kattilasta höyry johdetaan turbiinin läpi. Turbiini pyörittää generaattoria, jossa mekaaninen energia muuttuu sähköenergiaksi. Turbiinin jälkeinen höyry johdetaan kaukolämmönsiirtimelle. Höyryä voidaan ottaa kaukolämmönsiirtimelle myös turbiinin välioton kautta. Kaukolämmönsiirtimellä lauhdevesi pumpataan syöttövesisäiliöön, josta syöttövesipumppu pumpkaa veden jälleen kattilaan. (Kuva 1.) (5, s. 21–22.)





KUVA 1. CHP-laitos (7)

### Erillinen sähköntuotanto

Lauhdutusvoimalaitoksen toiminta perustuu veden ja vesihöyryn kiertoprosessiin. Paineistettu syöttövesi ohjataan höyrykattilaan, jossa vesi tulistuu. Vesihöyry johdetaan turbiiniin, jossa se paisuu lauhduttimessa vallitsevaan paineeseen sekä lämpötilaan. Osa höyryn lämpöenergiasta saadaan muutettua turbiinia pyörittäväksi mekaaniseksi energiaksi. Turbiini pyörittää generaattoria, jossa mekaaninen energia muuttuu sähköenergiaksi. Lauhdutin muuttaa vesihöyryn vedeksi. (6, s. 14.)

Lauhdutusvoimalaitoksilla sähkö pyritään tuottamaan mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Prosessi suunnitellaan siten, että hyötysuhde on mahdollisimman hyvä. Hyötysuhde on parhaimmillaan noin 44 %, koska vain osa polttoaineen kemiallisesta energiasta saadaan muutettua sähköksi. (6, s.14.) Suomessa polttoaine on yleensä hiili, joka tuodaan laivoilla, siksi lauhdevoimalaitokset sijaitsevat yleensä rannikolla. Lauhdesähkön tuotannon kannattavuus riippuu Suomessa sähköpörssin kautta tarjolla olevan ostosähkön hinnasta. Suomen suurin lauhdevoiman lähde on ydinvoima. (5, s. 90.)

## 2.3 CHP-laitoksen polttoaineet

CHP-laitoksien pääpolttoaineet ovat puu, turve, sekä kivihiili. Kivihiilen käyttö polttoaineena vähentyy vuosittain. Suomi pyrkii vähentämään haitallisten kasvihuonekaasujen sekä muiden päästöjen määrää, mikä edesauttaa uusiutuvien polttoaineiden käyttöä ja valintaa CHP-laitoksen polttoaineeksi. CHP-laitoksissa voidaan käyttää yhtä tai useampaa polttoainetta. (3, s. 35–36.)

### Uusiutuvat polttoaineet

CHP-laitoksissa käytettävät puupolttoaineet voidaan jakaa kahteen kategoriaan, metsäpolttoaineisiin sekä teollisuuden tähteisiin. Metsäpolttoaineita ovat kokopuu, erilaiset hakkeet sekä kantomurske. Teollisuuden tähteisiin luetaan mm. sahanpuru, kutterilastu, puutähdehake sekä teollisuudesta poistettu puhdaspuu. (8.)

Puun ohella toinen merkittävä uusiutuva polttoaine on turve, joka luokitellaan hiitaasti uusiutuvaksi polttoaineeksi. Turvetta käytetään polttoaineena jyrsin- sekä palaturpeena. Turpeen lämpöarvo riippuu paljon kosteudesta. Turvetta käytetään usein seospoltossa puun kanssa, koska yhdessä ne palavat puhtaammin. Seospoltto säästää kattilanosia sekä vähentää rikkipäästöjä. Turve sitoo puupolttoaineessa olevaa klooria, joka vähentää korroosiota aiheuttamia kerrostumia lämmönsiirtopinnoilla. Muita uusiutuvia polttoaineita ovat mm. biokaasu, biopolttoöljy, olki sekä yhdyskuntajäte. (9.)

### Fossiiliset polttoaineet

Fossiilisia polttoaineita ovat maakaasu, hiili, kevyt polttoöljy ja raskas polttoöljy. Maakaasua saadaan kaasukentiltä, joista maakaasu erottelun sekä suodatuksen jälkeen johdetaan siirtoputkistoon. Maakaasun jakeluverkosto sijaitsee Etelä-Suomessa. Maakaasu on energialähteen tehokas sekä vähiten ympäristöä kuormittava fossiilinen polttoaine. (6, s. 32–36.)

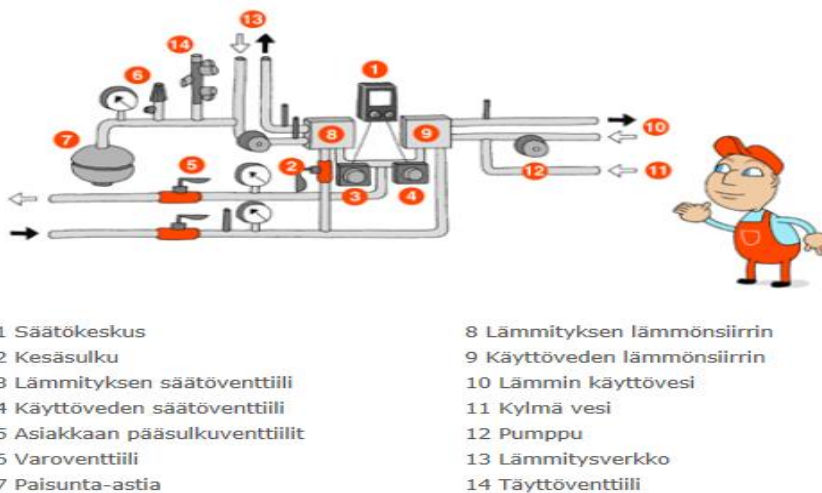
Suomessa CHP-laitoksissa poltetaan kivihiiltä, joka sisältää useita laatuja. Hiili poltetaan pölypolttona, johon soveltuu parhaiten paljon haihtuvia aineita sisältävät. (6, s. 32–33.) Hiilen käsittely on hankalaa ja tiukentuneet päästövaatimukset

rajaavat sen käyttöä ainoastaan suuriin voimalaitoksiin. Hiili tarvitsee suuret varastointitilat sekä murskainaseman voimalaitoksen yhteyteen. Hiili on edullinen ja hyvällä energiasisällöllä varustettu polttoaine. (3, s. 38.)

Polttoöljyjä (kevyt ja raskas) käytetään enää lähinnä huippu- ja varalämpökeskusten polttoaineena. Kaukolämpötoimintaa rakennettaessa käytetään siirrettäviä kevyt polttoöljy varalämpökeskuksia, kunnes varsinainen laitos on valmis. Tämä koskee ainoastaan lämpölaitostoimintaa, koska CHP-laitokset ovat isoja voimalaitoksia. (3, s. 37–38.)

## 2.4 Asiakkaan kaukolämpölaitteet

Asiakkaat ottavat vastaan kaukolämmön lämmönjakokeskuksessa, jonka asiakas omistaa. Lämmönjakokeskus sisältää mm. lämmönsiirtimet, säätöautomatiikan, pumppuja sekä muita säätölaitteita. (Kuva 2.) Lämmönjakokeskukset ovat tehdasvalmisteisia. Lämmönjakokeskus asennetaan lämmönmyyjän hyväksymään paikkaan, lähelle kaukolämpöverkkoa. Lämmönjakokeskuksessa kaukolämpövesi johdetaan lämmönsiirtimiin, joissa vesi jäähtyessään luovuttaa energiaa asiakkaan kiertoveteen, jolla lämmitetään huonetilat, ilmanvaihtoilman lämmitys sekä lämmin käyttövesi. (10.)



KUVA 2. Asiakkaan kaukolämpölaitteet (11)

Yleisimmät lämmönsiirtimet ovat levylämmönsiirtimiä. Lämmönsiirtimet ovat kestäviä, joten lämmönjakokeskuksista on mahdollista löytää erilaisia lämmönsiirtimiä. Lämmönsiirtimet kytketään vastavirtaperiaatteella, eli lämmitettävä neste virtaa lämmönsiirtopinnan toisella puolella vastakkaiseen suuntaan kaukolämpövedeen nähden. Tällä tavalla lämmönsiirtimen lämpötila saadaan tehokkaimmin käyttöön. Lämpöenergia siirtyy nesteiden välissä olevan lämmönsiirtopinnan läpi kaukolämpövedestä lämmitettävään lämmitysverkostoon tai käyttövedeen. Lämmönsiirtimien mitoituksessa tulee pyrkiä mahdollisimman suureen jäähtymään kaikissa käyttötilanteissa. (12, s. 275–276.)

Kaukolämmön taloudellisuus perustuu asiakkaan lämmönjakokeskuksen säätölaitteisiin, joilla asiakas säätää käyttämänsä tehoa. Säätöjärjestelmien oikeanlaisella toiminnalla asiakas hyötyy eniten, koska säätöjärjestelmä vaikuttaa suoraan rakennuksen sisälämpötilaan sekä käyttöveden tasaiseen lämpötilaan. Säätöjärjestelmiin investoimalla asiakas saavuttaa lyhyessä ajassa taloudellisen hyödyn. Säätöjärjestelmään kuuluu säätimet, toimilaitteet sekä anturit. (3, s. 78.)

Kiertovesipumpuilla kierrätetään eri verkostojen vettä lämmönjakokeskuksessa. Lämmityspumpuilla kierrätetään rakennuksen lämmitysverkoston kiertovettä ja ilmanvaihtopumpuilla ilmanvaihtoverkoston lämmitystä. Kiertopiiri ja käyttövesipumppu mahdollistavat lämpimän käyttöveden saannin nopeasti. Näin vältetään turhalta veden juoksutukselta. Pumput mitoitetaan vesivirtojen sekä paine-erojen mukaan. (10, s. 29.)

### **Kaukolämpölaitteiden uusinta**

Asiakkaan on hyvä tarkkailla lämmitysenergian kulutusta, lämpötiloja sekä vedenkulutusta säännöllisesti. Lämmönmyyjä seuraa kohteita kuukausitasolla. Energiankulutus sekä jäähtymä saattavat muuttua viallisen laitteen myötä. Yleensä vika johtuu vuotavasta lämmönsiirtimestä tai puutteellisesti toimivista säätölaitteista. Lämmönjakokeskuksen laitteiston toimivuuden mittarina voidaan pitää kaukolämpöveden jäähtymää eli tulo- ja paluueden lämpötilaeroa. Jäähtymä on kesällä vähintään 25 °C ja varsinaisella lämmityskaudella 40–70 °C. (12, s. 2.)

Asiakaslaitteiden vuotojen paikallistamiseksi kaukolämpövedeen lisätään vesiliukoista väriainetta, yleensä pyraniinia. Pyraniinin vihertävä väri näkyy vedessä pienilläkin pitoisuuksilla. (12, s. 3.)

Lämmönsiirtimen vuotoja voi olla ulkoisia tai sisäisiä. Ulkoiset vuodot havaitaan lämmönjakohuoneessa. Käyttöveden lämmönsiirtimisen vuotaessa sisäisesti käyttövesi vuotaa kaukolämpöverkkoon tai kaukolämpövesi käyttövesiverkkoon riippuen painesuhteesta. Lämmityksen sisäinen vuoto tarkoittaa, että lämmitysverkoston varoventtiili vuotaa. Kaukolämpöverkon paine on lämmitysverkoston painetta korkeampi. (12, s. 3.)

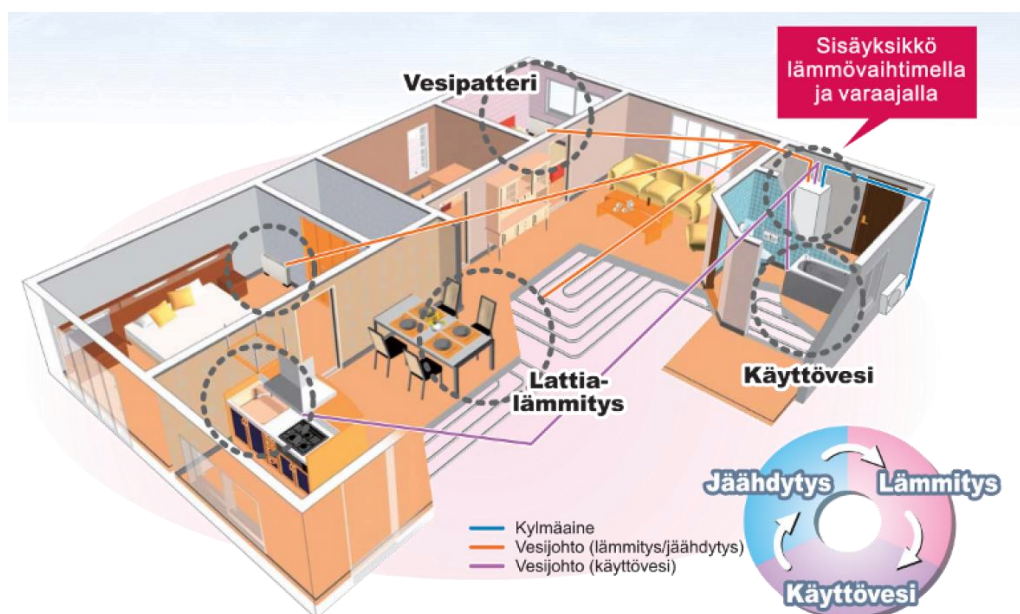
Säätöventtiilit ja kiertovesipumput ovat mekaanisia laitteita, jotka kuluvat käytössä ja erityisen paljon epäsuotuisissa toimintaolosuhteissa. Lämmönjakokeskuksen elinkaaren aikana joudutaan uusimaan säätöventtiilit, kiertovesipumput sekä lämmönsiirtimet. Uusimista miettiessä asiakkaan kannattaa miettiä laitteiston kokonaisikää. Yli 20–25 vuotta vanhoista laitteista ei kannata uusia enää osia vaan tulisi harkita koko lämmönjakokeskuksen uusimista. (12, s. 4.)

### 3 LÄMPÖPUMPPULÄMMITYS

Lämpöpumppulämmityksiä on tarjolla useita erilaisia käyttötarkoituksen mukaan. Lämpöpumppu voi lämmittää koko asunnon tai se voi olla lisälämmityksenä päälämmityksen rinnalla. Lämpöpumpuilla lämmitettävät päälämmitysmuodot ovat maalämpö, poistoilmalämpö sekä ilma-vesilämpö. Tässä työssä tarkastellaan kaukolämmön korvaamista kokonaan sekä osittain ilma-vesilämpöpumpulla.

#### 3.1 Ilma-vesilämpöpumppu

Ulkoilma-vesilämpöpumppu (ULVP) tai tutummin käytetty nimitys ilmavesilämpöpumppu on uusin lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävä lämmitysratkaisu (kuva 3). Ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa ulkoilmasta, josta lämpö siirretään vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan lämmittää lämmitys- ja käyttövesi +55 °C:seen. Lämpimän käyttöveden täytyy olla +55 °C, jotta veteen ei kerry haitallisia Legionella-bakteereja. (13, s. 73–74) Suomen terveysministeriö on säätänyt laissa lämpimän käyttöveden vaatimuksen + 55 °C.



KUVA 3. Ilma-vesilämpöpumppu (14)

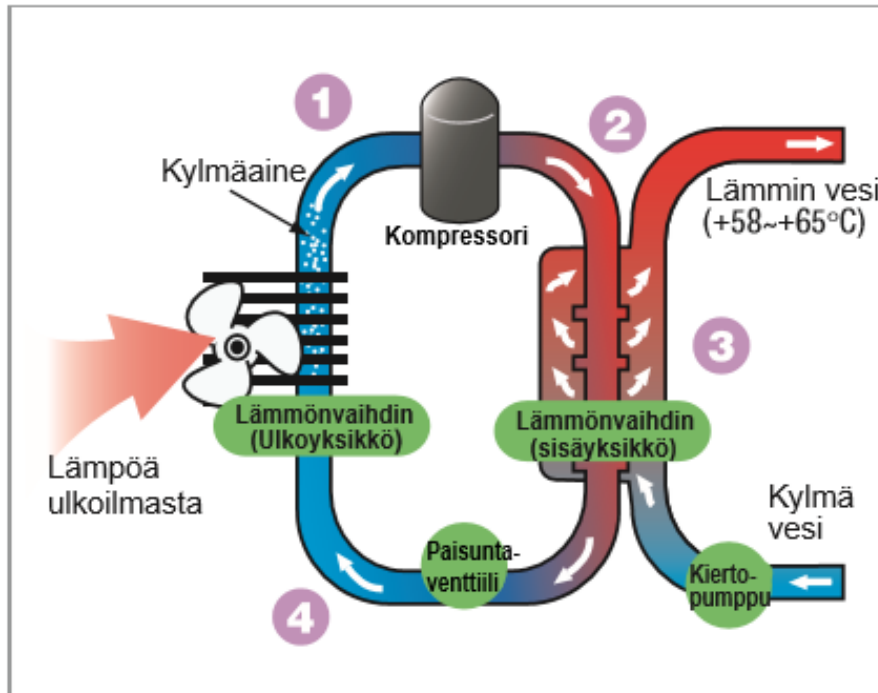
Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan kattaa koko talon lämmityksen tarve sekä lämpimän käyttöveden lämmitys. Täytyy kuitenkin huomioida, että kylmien pakkasten ajalle tarvitaan varajärjestelmä, yleensä sähkövastukset. Ulkolämpötilan laskeessa ilma-vesilämpöpumpusta saatava lämmitysenergia laskee.  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n pakkasessa ilma-vesilämpöpumpun teho laskee noin 50 % ilmoitetusta nimellistehosta. (15.)

Ilma-vesilämpöpumppu tuottaa lämmitysenergiaa vähiten silloin, kun tarve on suurin. Rinnalle tarvitaan toinen lämmitysjärjestelmä, aiemmin mainitut sähkövastukset tai varaava takka. Talvella lämmityskauden aikana on kuitenkin vähän sellaisia päiviä, jolloin ilma-vesilämpöpumppu ei riitä. Kaikkein kylmimmillä keleillä ilma-vesilämpöpumppu sammuttaa automaattisesti itsensä, jolloin rinnakkaisen lämmityksen tulee olla yhtä tehokas kuin kiinteistön suurin lämmitys- ja käyttöveden keskimääräinen tehonkulutus. Ilma-vesilämpöpumppu soveltuu olemassa oleviin taloihin, joissa on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, jolloin se voidaan asentaa vanhan lämmitysjärjestelmän rinnalle tai sillä voidaan korvata vanha lämmitysjärjestelmä. (16.)

### **Ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate**

Ilma-vesilämpöpumppu koostuu tavallisimmin kahdesta osasta, sisä- ja ulkoyksiköstä. Ulkoyksikkö sisältää höyrystimen, kompressorin sekä automatiikkaa. Sisäyksikkö koostuu lauhduttimesta sekä vesivaraajasta. Lisäksi on olemassa malleja, joissa koko laitteisto asennetaan sisätiloihin. Tällöin kiinteistön ulkoseinään täytyy tehdä ilmanotto- sekä poistoaukot. (16.)

Ilma-vesilämpöpumpun toiminta perustuu laitteessa kiertävän kylmäaineen faasimuutoksiin eli höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmitysenergiansa ulkoilmasta. Puhallin imee ulkoilmaa höyrystimeen (lämmönsiirtimeen), jossa kylmäaine höyrystyy ulkoilman lämmöstä johtuen. Sähköllä toimiva kompressori puristaa höyrystynyttä kylmäainetta, jolloin sen lämpötila nousee. Tämän jälkeen virtaus jatkuu lauhduttimeen (lämmönsiirrin), jossa kylmäaine luovuttaa lämpönsä talon lämmitysjärjestelmään. Lauhduttimessa kaasu tiivistyy nesteeksi, jolloin se pystyy höyrystymään uudelleen. (Kuva 4.) (17.)



KUVA 4. Ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate (13)

Ilma-vesilämpöpumpuissa käytetään kylmäaineena yleensä R410A:ta mutta markkinoille on tulossa uusiakin vaihtoehtoja. Uusi vaihtoehto on esimerkiksi hiilidioksidi. Hiilidioksidi vaatii korkean käyttöpaineen, noin 100 baaria, mutta se siirtää lämpöä erittäin tehokkaasti. Hiilidioksidi pystyy luovuttamaan lämmön jopa +70 °C:n lämpötilassa. (13, s. 46–47.)

Ilma-vesilämpöpumpulla lämmitettäessä hyvän lämpökertoimen saavuttamiseksi kiertoveden lämpötila tulisi pitää mahdollisimman alhaisena. Tämä onnistuu parhaiten lattialämmityksellä, jolle riittää menoveden lämpötilaksi +30 °C. Jos kiertoveden menolämpötila on +30 °C, täytyy varaajassa lämmittää käyttövesi tarpeen vaadittuun +55 °C:seen. Vesikiertoista patterilämmitystä voidaan myös hyödyntää, mutta silloin kiertoveden lämpötila tulee olla korkeampi. Kiertoveden korkea lämpötila heikentää hyötysuhdetta. Yleensä saneerauskohteissa on vesikiertoinen patterilämmitys, joissa on öljylämmitys. Markkinoiden yleisimmät ilma-vesilämpöpumput ovat split- tai monoblock-laitteita. (13, s. 74.)

Split-laitteissa lämpöpumppuprosessi on jaettu sisä- ja ulkoyksikköön. Ulkoyksikköön kuuluvat höyrystin, kompressori sekä puhallin. Puhaltimen tehtävänä on



kierrättää ulkoilmaa höyrystimen läpi, jolloin energian siirtyminen ilmasta kylmäaineeseen tehostuu. Sisäyksikössä on lauhdutin. Yksiköiden välillä kiertää kylmäaine, joka siirtää ilmasta otetun lämpöenergian sisäyksikölle, siitä lauhduttimen kautta varaajaan ja lämmitysverkostoon. (18.)

Monoblock-laitteissa kaikki tekniikka on sijoitettu ulkoyksikköön. Sisällä sijaitsevan varaajan ja ulkoyksikön välillä kiertää vain vesi, jolloin kylmäaineputkia ei tarvitse tuoda rakennuksen sisäpuolelle. Molempien laitetyyppien yksiköiden välillä olevat putket täytyy eristää hyvin sekä pinnoittaa, että putket kestävät säävaihtelut. Kesäaikaan ilma-vesilämpöpumpuilla voidaan hoitaa myös kodin viilenys, mikä tuo mukavuutta asumiseen. (18.)

### **Lämpökerroin**

Ilma-vesilämpöpumppu tarvitsee toimiakseen sähköä, mutta sen tuottama lämpöenergia on suurempi kuin kuluttama. Lämpöpumpuilla on COP-luku, jolla ilmoitetaan pumpun toiminnan tehokkuus. COP-luku ilmoittaa, kuinka moninkertaisena se tuottaa lämpöenergiaa kuluttamaansa sähköenergiaan nähden. Pumpun kuluttama energia menee lähes kokonaan kompressorin toimintaan, kun kompressori nostaa kylmäaineen lämpötilaa. Tärkeää on muistaa, missä olosuhteissa lämpöpumpun arvo on ilmoitettu. Lämpökertoimesta puhuttaessa täytyy selvittää, onko kyseessä koko lämpöpumpun vai pelkästään kompressorin lämpökerroin. Energiatase voidaan laskea kaavojen 1 ja 2 mukaisesti. Kaavassa 1 mukaan on huomioitu häviöt, kaavalla 2 saadaan teoreettinen lämpökerroin. (14, s. 30, 19, s. 224–225.)

$$Q_{pumppu} = Q_{lähde} + W - Q_{häviöt}$$

KAAVA 1

$$Q_{pumppu} = \text{pumpun tuottama energia (J)}$$

$$Q_{lähde} = \text{lämmönlähteestä saatu energia (J)}$$

$$W = \text{pumpun kuluttama sähköenergia (J)}$$

$$Q_{häviöt} = \text{pumpun energiahäviöt (J)}$$

Teoreettinen lämpökerroin lasketaan kaavalla 2, jossa ei huomioida häviöitä.

$$COP_{teor.} = \frac{Q_{pumppu}}{Q_{pumppu} - Q_{lähde}} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad \text{KAAVA 2}$$

$T_1$  = ulkoilman lämpötila

$T_2$  = kiertoveden lämpötila

Suomen ilmasto-olosuhteissa kannattaa ottaa tarkasteluun lämpökerroin termi SCOP, joka tulee englannin kielen sanoista Seasonal Coefficient Of Performance. SCOP-lämpökertoimella lasketaan lämmityskauden lämpökerroin eli vuosihyötysuhde. SCOP-lämpökerroin antaa paremman käsityksen lämpöpumpun toiminnasta, koska se huomioi kylmät talvijaksot sekä lämpimät kesäkuukaudet. SCOP ilmoitetaan tapauskohtaisesti sijaintiin perustuen. Suomessa SCOP ilmoitetaan Pohjois-Euroopan ilmaston mukaan, joka on laskettu Helsingin ilmaston mukaisesti standardin EN 14825 avulla. SCOP-lämpökerroin lasketaan kaavan 3 mukaisesti. (20.) SCOP-arvo ilma-vesilämpöpumpuille on 2–3 eli kuinka moninkertaisena ilma-vesilämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa kuluttamaansa sähköenergian nähden.

$$SCOP = \frac{Q_a}{W_a} \quad \text{KAAVA 3}$$

$Q_a$  = pumpun tuottama energia vuodessa (kWh)

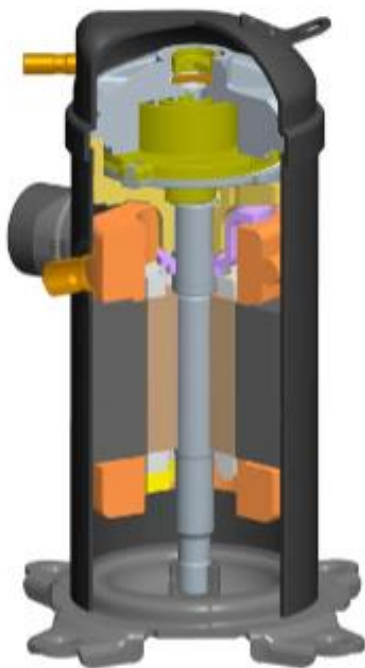
$W_a$  = pumpun kuluttama energia vuodessa (kWh)

Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan hoitaa myös jäähdytys eli talon viilennys kuumimpien kesähelteiden aikaan. Kylmäkerroin EER, Energy Efficiency Ratio ilmoittaa, kuinka paljon sähköverkosta otetulla kilowatilla saadaan tuotettua jäähdytystehoa. (20.)

### **Pääkomponentit**

Ilma-vesilämpöpumppu koostuu ainakin seuraavista komponenteista: kompresori, höyrystin, lauhtutin, puhallin, kytkentäkotelo sekä paisuntaventtiili. Pääkomponenttien lisäksi ilma-vesilämpöpumppu järjestelmään kuuluu erilaisia liittimiä, putkia, vesivaraaja sekä kiertopumppu.

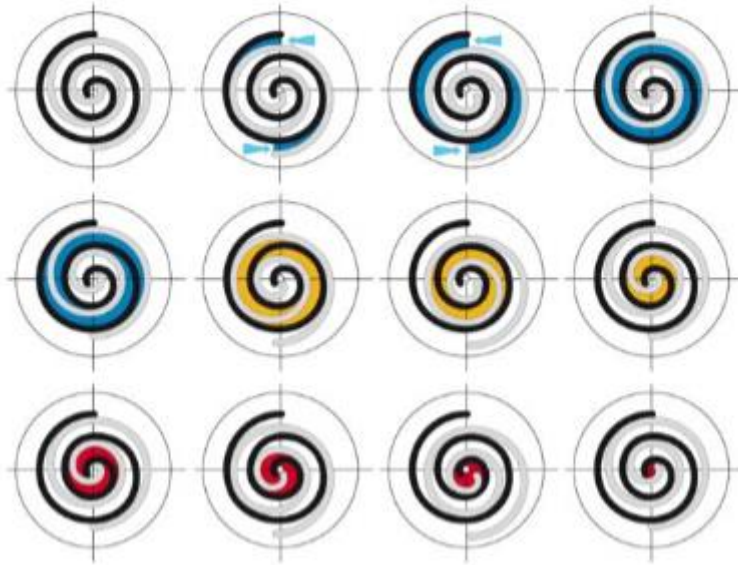
Kompressorin tehtävä on puristaa kylmäainepiirissä kiertävä kylmäaine korkeassa paineessa lauhduttimelle, jolloin paineen nousun seurauksena kylmäaineen lämpötila kasvaa voimakkaasti. Kompressoria pyörittää oikosulkumoottori, jonka käynti nopeuden määrittää vaihtosähkön taajuus (50 Hz). Kompressoria ohjataan invertterillä, jolloin kompressorin käyttö on mahdollisimman tehokasta, eikä ylimääräistä lämpöä tuoteta. Scroll-kompressorit valmistetaan hermeettisiksi, jossa kompressorin ja sähkömoottorin osat ovat tiiviiksi hitsatun suojakuoren sisällä. (Kuva 5.) (14, s. 41-42.)



*KUVA 5. Hermeettisesti suljetti Scroll-kompressori (21)*

Lämpöpumpuissa käytetään usein Scroll-kompressoria, joka puristaa kylmäaineen kokoon kahden tiivisti toistensa kanssa kosketuksessa olevan kierukan väliin jäävässä tilassa. Toinen kierukoista on asennettu kiinteästi paikoilleen, eikä toinenkaan tee muuta kuin pientä liikettä. Kuvassa 6 musta kierukka kuvaa paikallaan pysyvää osaa ja harmaa kierukka oikosulkumoottorilla liikkuvaa. Kuvassa

6 on havainnollistettu, kuinka kylmäaine puristuu pienempään tilavuuteen kierukoiden välissä liikkuen kohti keskiötä, josta kylmäainekaasu purkautuu lauhduttimeen. (14, s. 42–43.) (Kuva 6.)



*KUVA 6. Scroll-kompressorin kierukat (21)*

Ilma-vesilämpöpumpuissa höyrystin on sijoitettu ulkoyksikköön. Höyrystimessä (lämmönsiirtimessä) (kuva 7) kylmäaine on nestemäistä ja se sitoo itseensä lämpöenergiaa ulkoilmasta. Höyrystimessä kaasuuntunut kylmäaine imetään kompressoriin, jossa se puristetaan korkeaan paineeseen, jolloin myös sen lämpötila kohoaa. (14, s. 28.)



*KUVA 7. Levylämmönsiirrin (22)*

Lauhduttimessa (lämmönsiirtimessä) kaasumainen kylmäaine luovuttaa lämpöä talon lämmitysjärjestelmään, jolloin myös sen olomuoto muuttuu takaisin nesteeksi ja samalla sen paine alenee. Lauhduttimelta kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilille. (14, s. 28.)

Paisuntaventtiili laskee lauhduttimelta tulevan korkeapaineisen kylmäaineen paineen höyrystimen paineeseen, jolloin kylmäaineen lämpötila laskee ympäristön lämpötilaa alhaisemmaksi. Paisuntaventtiilejä on termostaattisia sekä elektronisia. (14, s. 28–29.)

### **3.2 Huolto ja käyttöikä**

Yksi ilma-vesilämpöpumpun eduista on, että se vaatii erittäin vähän huoltoa. Oikein asennettuna se on lähes huomamaton lämmöntuottaja. Talvella on hyvä tarkkailla ulkoyksikköä, ettei sen pinnalle pääse muodostumaan jäätä tai lunta. Ulkoyksikkö voidaan sijoittaa myös suojaisaan koteloon, kunhan huolehditaan riittävästä ilmavirtauksesta. Ilma-vesilämpöpumpuissa on automaattinen ohjausyksikkö, joka huolehtii sulattimisesta mutta hankalimmissa sääolosuhteissa jäätä saattaa kertyä reunoille sekä ulospuhallussäleikköön. Lumen ja jään voi tarvittaessa poistaa ulkoyksikön päältä varovaisesti. (16.)

Ilma-vesilämpöpumpuissa saattaa joutua uusimaan kompressorin noin 10–15 vuoden käyttöään jälkeen. Muuten komponenttien vaihto käyttöään puitteissa on vähäistä. Laadukkaan ilma-vesilämpöpumppuvalmistajan pumpuissa käyttöikä on noin 20 vuotta. (18.)

## **4 KAUKOLÄMMÖN KORVAAMINEN ILMA-VESILÄMPÖPUMPULLA**

Kaukolämpö voidaan korvata ilma-vesilämpöpumpulla esimerkiksi kaukolämmön lämmönjakokeskussaneerauksen yhteydessä. Tässä luvussa tarkastellaan kaukolämmön korvaamista ilma-vesilämpöpumpulla niin asiakkaan kuin yhteiskunnan näkökulmasta. Yhteiskunnaksi rajataan referenssikaupunki. Kulutustiedot ovat vuodessa syntyneitä kulutuksia.

### **4.1 Kaukolämpötoiminnan lopettaminen**

Kaukolämmön määräaikainen lämpösopimus päättyy määräajan umpeuduttua tai purkamisen johdosta. Asiakas voi irtisanoa toistaiseksi voimassa olevan lämpösopimuksen päättymään kuuden kuukauden irtisanomisajalla. Lämmönmyyjä eli energiayhtiö voi irtisanoa toistaiseksi voimassa olevan lämpösopimuksen kuuden kuukauden irtisanomisajalla. Lämmönmyyjällä on oikeus purkaa lämpösopimus välittömästi, jos asiakas on asetettu konkurssiin eikä konkurssipesä suostu maksamaan lämpölaskuja tai asiakas on syyllistynyt lämmön tai lämmönmyyjän omaisuuden anastamiseen, laitteiden vahingoittamiseen sekä jos asiakas on laininlyönyt lämpösopimukseen perustuvia velvollisuuksia.

Lämpösopimuksessa kerrotaan, palautetaanko liittymismaksu tai osa siitä sopimuksen päättyessä. Lämmönmyyjällä on oikeus vähentää palautettavasta liittymismaksusta lämpösopimukseen perustuvat saatavansa. Lisäksi lämmönmyyjällä on oikeus vähentää lämmöntoimitukselle välttämättömien laitteistojen ja laitteiden mahdollisesta purkamisesta ja asiakkaan verkosta erottamisesta aiheutuva kustannukset. (23)

### **4.2 Ilma-vesilämpöpumpun asennus**

Vanha lämmitysjärjestelmä eli tässä tapauksessa kaukolämmityksen asiakaslaitteet puretaan lämmönjakohuoneesta. Tilanteessa, jossa ilma-vesilämpöpumpun asennetaan kaukolämmityksen rinnalle, vanha lämmönjakokeskus jätetään lämmönjakohuoneeseen. Ilma-vesilämpöpumpun sisäyksikkö, joka sisältää vesivaraajan, asennetaan talon käyttövesi- ja lämpöverkkoon. Sisäyksikön voi sijoittaa

lämmönjakuhuoneeseen tai kodinhoituhuoneeseen. Kylmäputket asennetaan sisäyksiköstä ulkoyksikköön, joten niiden tulee sijaita lähellä toisiaan, ettei ylimääräisiä putkivetoja tarvitse tehdä. Ulkoyksikkö asennetaan tukevalle seinätelineelle. Kylmäaineputket kytketään yhteen, jonka jälkeen putkille tehdään painekoe sekä putket tyhjiöidään. Tämän jälkeen järjestelmä täytetään ja ilmataan. Lopuksi asennetaan sähköt. Ilma-vesilämpöpumpun asennuksessa kestää yleensä 1–2 työpäivää ja lämmityksen ollessa kokonaan pois käytöstä 1 työpäivän verran. (24)

### **4.3 Kaukolämpötoiminnan lopettaminen yhteiskunnan näkökulmasta**

Kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumppulämmityksellä tarkoittaa CHP-laitoksen sekä erillisten lämpökeskusten lämmöntarpeen vähentymistä. Ilma-vesilämpöpumppulämmityksen seurauksena kasvava sähkönkulutus täytyy kattaa esimerkiksi lauhdevoimalaitoksella. Vähentyneen lämmönkulutuksen seurauksena tulee tarkasteluun, kuinka kannattavia ovat CHP-laitokset. Energiayhtiön täytyy etsiä korvaavaa tulonlähdettä kaukolämmön vähentyneelle kassavirralle. Suurempi ongelma on lisääntynyt sähköntarve, joka joudutaan tuottamaan lauhdevoimalaitoksella. Lisääntyneen sähköntarpeen syynä ovat vähentynyt CHP-sähkö ja ilma-vesilämpöpumpuista johtuva lisäsähköntarve. Erillinen sähköntuotanto ei ole kuitenkaan energiayhtiölle kannattavaa liiketoimintaa.



## 5 ENERGIALASKELMAT

Energialaskelmissa käytetään esimerkkinä erästä 1990-luvulla rakennettua omakotitaloa. Yhteiskunnan tarkastelussa käytetään referenssikaupungin pienasiakaita, jotka olivat liittyneet kaukolämpöön.

### 5.1 Esimerkkitalo

Kohteena käytettiin vuonna 1995 valmistunutta, sen aikaiset rakennusmääräykset täyttävää omakotitaloa. Rakennuksen pinta-ala on 140 m<sup>2</sup> ja vaipan pinta-ala 350 m<sup>2</sup>. Talo on liitetty kaukolämpöön. Lämmönjakomuotona koko rakennuksessa on vesikiertoinen patterilämmitys. Taulukossa 1 esitetään kohteen rakenteiden U-arvot.

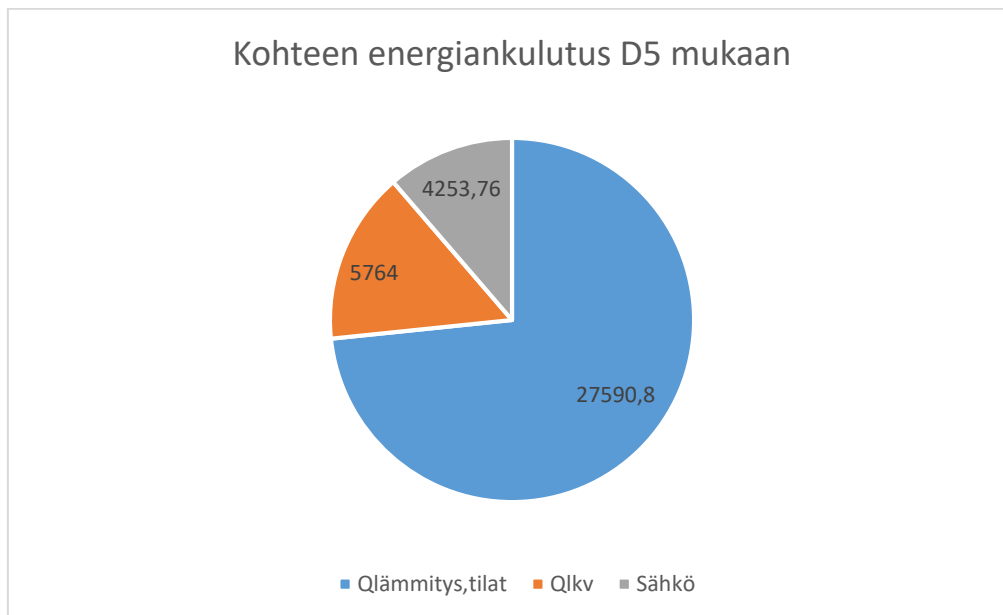
TAULUKKO 1. Kohteen U-arvot

kohde	Esimerkkitalo
Seinien U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,28
Yläpohjan U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,22
Alapohjan U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,36
Ikkunoiden U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	2,1
Ovien U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	1,4

## 5.2 Teoreettinen energiankulutuksen laskentatapa

Työssä kohteen teoreettinen energian kulutus laskettiin Excel-pohjalle tehdyllä laskentatyökalulla, joka perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osan D5 ohjeisiin. Ohjeissa esitettyä laskentamenetelmää voidaan käyttää energiankulutuksen, ostoenergiankulutuksen lämmitystehon sekä kesäaikaisen sisälämpötilan arviointiin (25.)

Kohteen lämmitysenergian kulutukseksi  $Q_{\text{lämmitys}}$  RakMK:n osan D5 mukaan laskettuna saatiin 33355,5 kWh vuodessa. Se koostuu lämpimän käyttöveden tuotannon energiantarpeesta  $Q_{\text{Ikv}} = 5764$  kWh sekä tilojen lämmityksen energiantarpeesta  $Q_{\text{lämmitys,tilat}} = 27590,8$  kWh. Laskennalliseksi sähköenergiankulutukseksi saatiin 4253,76 kWh, joka koostui kuluttajalaitteista, valaistuksesta, kaukolämpölaitteiden kulutuksesta sekä iv-koneen kulutuksesta. Kohteen energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan laskettu energiankulutus esitetään kaaviona kuvassa 8.



KUVA 8. Kohteen RakMK:n osan D5 mukaan laskettu energiankulutus

### 5.3 Ilma-vesilämpöpumppu korvaamaan kaukolämpö

Esimerkkirakennuksen lämmitystietojen avulla voitiin laskea ilmavesilämpöpumpun tehontarve. Tehontarpeeksi saatiin kaavan 3 mukaan 11 kW. Ilma-vesilämpöpumpuksi valittiin Mitsubishin malli Electric Ecodan +PUHZ-SW100YHA, jonka lämmitysteho on 5,4–14,8 kW ja nimellisteho 11,2 kW.

$$\phi_{\text{lämmitys,teho}} = Q_{\text{tilat}} - Q_{\text{lkv}} * \frac{(17-T_u)}{24*s} \quad \text{KAAVA 3}$$

$T_u$  = ulkoilman lämpötila °C

$s$  = lämmitystarveluku

Tämän jälkeen laskettiin lämpöpumppujen energialaskennalla lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergiankulutus, lämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia sekä tilojen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava lisälämmitysenergia. Ilma-vesilämpöpumpun sähkönenergian kulutus koostuu lämmitysenergian tuoton energiankulutuksesta sekä lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutuksesta. Ilma-vesilämpöpumpun sähköenergian kulutus lasketaan kausisuorituskykykertoimen (SFP-luku) avulla. (26.)

Ilma-vesilämpöpumpun tuottaman tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian sekä lisälämmitysenergian osuus voidaan arvioida liitteen 2 mukaisen taulukon avulla. Ilma-vesilämpöpumpun tuottama lämmitysenergian osuus arvioidaan myös liitteen 2 taulukosta. Lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho laskettiin kaavalla 3.

$$\frac{\phi_{\text{Lp}}}{\phi_{\text{Tila}}} = 1 \quad \text{KAAVA 4}$$

Seuraavaksi laskettiin tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergioiden suhde kaavalla 5.

$$\frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}}}{Q_{\text{lämmitys,LKV}}} \quad \text{KAAVA 5}$$

Tulokseksi saatiin 5,6. Liitteen 2 mukaan lämmitysenergioiden maksimisuhde on 4. Valitaan maksimiarvoksi siis 4. Valinta ei vaikuta laskelmiin, koska suhteen arvolla 4 saadaan suurin mahdollinen luku laskelmiin.

Litteen 2 mukaisesta taulukosta tiedossa olevilla lähtöarvoilla, säävyöhyke 3, menoveden lämpötila +60 °C, saadaan lämpötehoksi 0,88 kaavan 6 mukaisesti. Suhteellinen lämpöteho on tuolloin 1 ja lämmitysenergioiden suhde 4.

$$\frac{Q_{LP}}{Q_{\text{lämmitys,tilat+LKV}}}$$

KAAVA 6

Seuraavaksi laskettiin tilojen sekä käyttöveden lisälämmityksen tarve. Lisälämmityksen tarve laskettiin kaavoilla 7 ja 8.

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

KAAVA 7

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

KAAVA 8

Tilojen lisälämmityksen tarpeeksi saatiin 3310,9 kWh ja käyttövedelle 692 kWh. Yhteensä lisälämmitysenergiaa tarvitaan 4002,58 kWh.

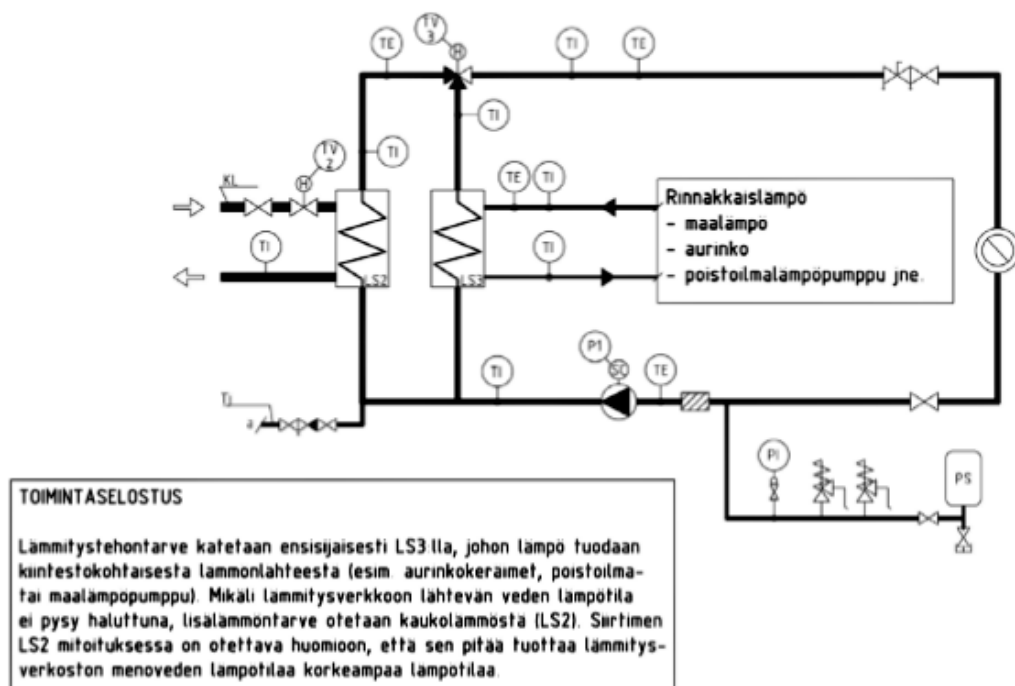
Ilma-vesilämpöpumpun tuottama lämmitysenergia esimerkki taloon oli  $Q_{LP,\text{lämmitys,tilat}} = 24279,9$  kWh sekä käyttövedelle  $Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}} = 5072$  kWh. Ilma-vesilämpöpumpun sekä apulaitteiden sähkönkulutus saatiin SFP-lukujen avulla, jotka olivat tiloille 2,6 ja käyttövedelle 2,3. Lämpöpumpun sähkönkulutukseksi saatiin  $W_{LP} = 11543,8$  kWh. Taulukossa 2 esitetään yhteenvetona saadut tulokset.

TAULUKKO 2. Ilma-vesilämpöpumpun energiatiedot

Ilma-vesilämpöpumpun tuottama lämmitysenergia (sis.Tilat+LKV)	29352 kWh
Tarvittava lisälämmitysenergia (sis. Tilat+LKV)	4002,58 kWh
Ilma-vesilämpöpumpun sekä apulaitteiden sähköenergian kulutus	11543,8 kWh

## 5.4 Ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalle

Kaukolämpölaitteistoon voidaan kytkeä rinnalle lämpöpumppu vesikiertoisen hybridilämmitysjärjestelmän toteuttamiseksi. Tästä seuraa nimi hybridilämmitys. (Kuva 9.) Lähtökohtaisesti hybridilämmitysjärjestelmä tulisi toteuttaa siten, että se käyttää mahdollisimman tehokkaasti kaukolämmön rinnalle kytkettyä ilma-vesilämpöpumppua. Kaukolämmön jäätyvyys tulee ottaa huomioon, jotta se pysyy tehokkaana. Kaukolämpö toimii hybridijärjestelmän varalämmönlähteenä, joka kattaa tehontarpeen huiput, jolloin ilma-vesilämpöpumppu ei kykene lämmöntarvetta kattamaan. Hybridilämmitysjärjestelmä voidaan toteuttaa hybridivaraajalla, jolloin tuotetun energian varastointi on mahdollista. Lisäksi varaajan avulla voidaan pidentää lämpöpumpun käyttöikä. (3, s. 90–91.)



KUVA 9. Hybridijärjestelmä tilojen lämmityksessä (27)

Esimerkkirakennuksen lämmitystietojen avulla laskettiin kaukolämmön rinnalle liitettävän ilma-vesilämpöpumpun teho. Tehoksi mitoitettiin 6 kW, johon vastasi parhaiten Mitsubishin malli PUHZ-SW50VKA. PUHZ-SW50VKA:n lämmitysteho

on 2,3–7,3 kW ja nimellisteho 6 kW. Laskenta eteni aikaisemmin esitetyn kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla mukaisesti. Ilma-vesilämpöpumppu liitetään kaukolämmön rinnalle aikaisemmin esitetyn kuvan 9 mukaan. Ilma-vesilämpöpumppu liitetään ainoastaan lämmityksen rinnalle. Lämpimän käyttöveden lämmittää kaukolämpö.

Lämpöpumpun tuotto-osuuden arvioinnissa käytettiin arvoa  $Q_{\text{lämmitys,tilat}} = 67,1$  kWh/m<sup>2</sup>. Lämpöpumpun tuottama energia tiloille oli  $Q_{\text{LP,lämmitys,tilat}} = 8638$  kWh. Ilma-vesilämpöpumpun sekä apulaitteiden sähkönkulutus saatiin SFP-luvun avulla, joka oli tiloille 2,5. Lämpöpumpun sähkönkulutukseksi saatiin  $W_{\text{LP}} = 3455,2$  kWh. Taulukossa 3 esitetään yhteenvetona saadut tulokset.

*TAULUKKO 3. Ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalle, energiatiedot*

Ilma-vesilämpöpumpun tuottama lämmitysenergia (Tilat)	8638 kWh
Tarvittava lisälämmitysenergia (Tilat)	18952 kWh
Lämpimän käyttöveden energiantarve	5764 kWh
Ilma-vesilämpöpumpun sekä apulaitteiden sähköenergian kulutus	3455,2 kWh

### **5.5 Kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla yhteiskunnan näkökulmasta**

Tässä työssä käytettiin hyväksi erään kaupungin tietoja, josta muodostettiin referenssikaupunki. Referenssikaupungin pientalojen liittymisteho on 96 MW, jonka avulla laskettiin kulutus. Referenssikaupungin kaukolämmönpöirissä on 6412 pientaloa. Kulutus on arvioitu pientalojen huipun käyttöajan mukaan. Pientalojen huipunkäyttöajaksi tässä työssä arvioitiin 2200 h/a. Referenssikaupungin nykytilanteen sähköntarve on mitoitettu ainoastaan yhteistuotannosta saatavan sähkön määrän suhteen. Referenssikaupungin lämmönkulutus laskettiin kaavalla 9.

$\text{lämmönkulutus} = \text{liittymisteho} * \text{huipun käyttöaika}$

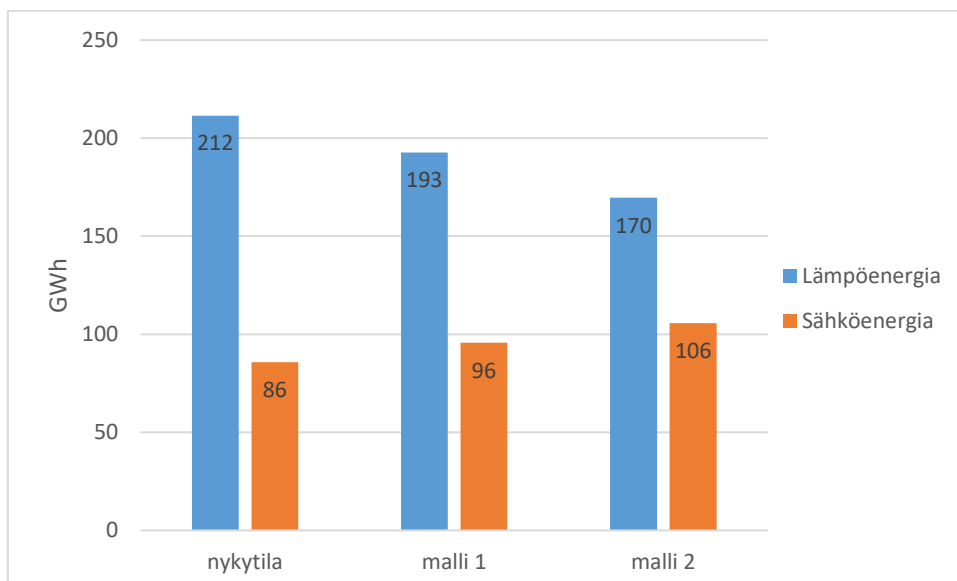
KAAVA 9

$$\text{lämmönkulutus} = 96 \text{ MW} * 2200 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 212000 \text{ MWh}$$

### **Ilma-vesilämpöpumppu referenssikaupungissa**

Tässä työssä käytetään kolmea erilaista mallia, joiden avulla hahmotellaan lämpöpumpun vaikutuksia referenssikaupungin energiantuotantoon. Nykytila kuvaa nykyistä energiarakennetta. Mallissa 1 kaukolämpöasiakkaista 10 % eli 641 asiakasta vaihtaa ilma-vesilämpöpumppulämmitykseen. Mallin 1 asiakkaiden talot, jotka vaihtavat ilma-vesilämpöpumppuun ovat samanlaisia kulutukseltaan kuin esimerkkitalon. Mallissa 2 ilma-vesilämpöpumppulämmitys on lohkaissut 20 % CHP:n kaukolämmitysenergian tarpeesta. Mallissa 2 oletetaan, että  $Q_{LKV}$ :n osuus lämpöpumppulämmityksessä on 20 %, jolloin ilma-vesilämpöpumpun lämmitys-tarve on  $Q_{tilat} = 33,9 \text{ GWh}$  ja  $Q_{LKV} = 8,48 \text{ GWh}$ .

Alla oleva kuva 10 selventää referenssikaupungin lämpö- ja sähköenergioiden tarvetta eri tapahtumahetkillä. Nykytilassa kaupunki tarvitsee lämmitysenergiaa noin 212 GWh ja sähköenergiaa 86 GWh. Malli 1 osoittaa kaupungin sähköenergian tarpeen nousevan 96 GWh:n tasolle ja lämpöenergian tarpeen laskevan noin 193 GWh:n tasolle. Mallin 1 CHP-sähköntuotanto on vähentynyt 76 GWh:n tasolle. Lauhdevoimalaitoksella täytyy tuottaa 10 GWh referenssikaupungin sähköntarpeisiin ja 10 GWh ilma-vesilämpöpumppujen sähköntarpeisiin. Mallissa 2 sähköenergian tarve on 106 GWh ja lämmitysenergian tarve 170 GWh. Mallin 2 CHP-sähköntuotanto on 65 GWh, jolloin lauhdevoimalaitoksella täytyy tuottaa 21 GWh referenssikaupungin sähköntarpeisiin ja 20 GWh ilma-vesilämpöpumppujen sähköntarpeisiin.



*KUVA 10. Referenssikaupungin lämpö- ja sähköenergian tarpeet nykytilan, mallin 1 sekä mallin 2 mukaan*

### **Referenssikaupungin tuotantorakenne**

Työssä muodostettiin kaksi laskennallista tuotantorakennetta referenssikaupungille. Ensimmäisessä vaihtoehdossa kaupungin CHP-laitos käyttää pääpolttoaineenaan haketta. Myös lämpökeskus käyttää polttoaineena haketta. Vara- ja huippukuormalämpökeskukset toimivat raskaalla polttoöljyllä. Toisessa vaihtoehdossa CHP-laitoksen sekä lämpökeskuksen polttoaineena käytetään turve/puusekoitusta. Vara- ja huippukuormalämpölaitokset toimivat raskaalla polttoöljyllä.

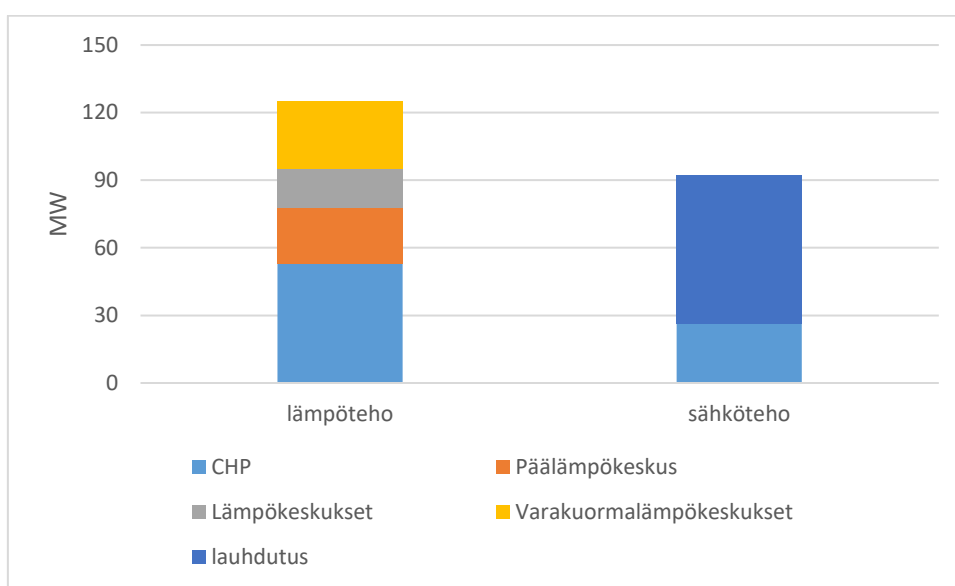
Molemmissa vaihtoehdoissa CHP-laitokseksi valittiin polttoaineteholtaan 88 MW:n vastapainevoimalaitos. Pääpolttoaineissa on eroavaisuus. CHP-laitoksen hyötysuhde on 90 %. Voimalaitoksista saadaan sähkötehoa 26,4 MW<sub>e</sub> ja lämpötehoa 52,8 MW<sub>th</sub>. CHP-laitos mitoitettiin niin, että se kattaa 50 % kaukolämmön huipputehosta. Näin saavutetaan noin 90 %:n osuus lämmitysenergian tuotannosta. CHP-laitoksen minimiteho on 20 % nettolämpötehosta. Lopusta lämmitystehontarpeesta vastaa lämpökeskus, jonka polttoainetehto on molemmissa vaihtoehdoissa 25,2 MW. (Kuva 11.)

Lämpökeskukset LK1 ja LK2 sekä varalaitokset 1–3 ovat raskaalla polttoöljyllä toimivia vara- ja huippukuormalämpölaitoksia, joiden hyötysuhteet ovat 90 %.



Polttoainetehot vaihtelevat 5–15 MW. LK1 on polttoaineteholtaan 7 MW ja LK2 10 MW. (Kuva 11.)

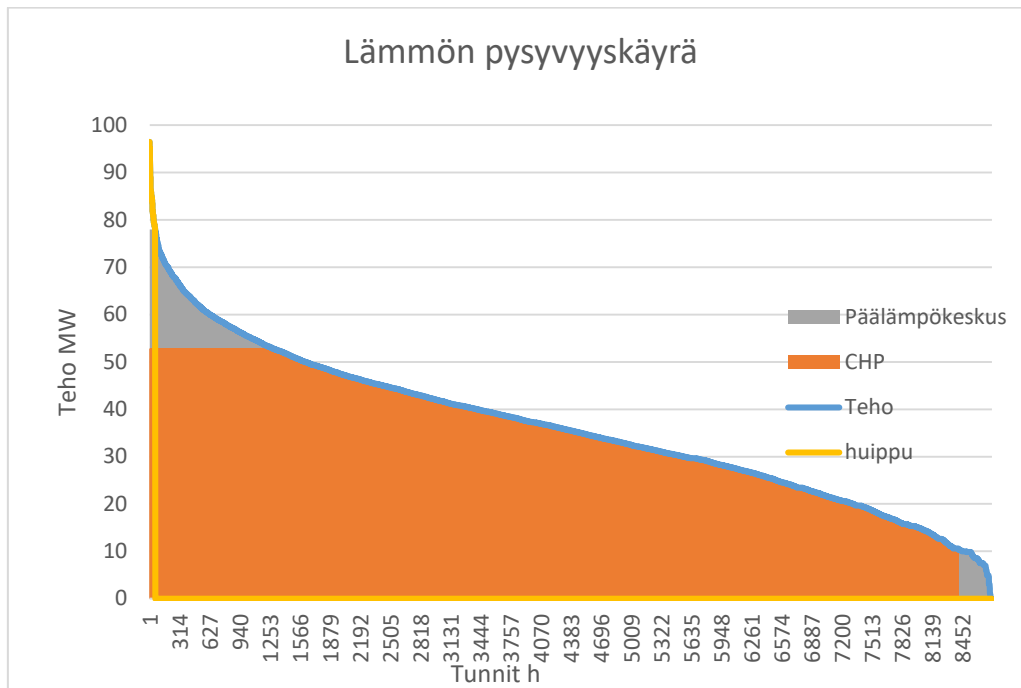
Referenssikaupungissa on mahdollisuus myös sähköntuotantoon lauhdevoimalaitoksella, jonka polttoaineena on kivihiili. Referenssikaupungin kivihiililauhdevoimalaitos on polttoaineteholtaan 165 MW:n, jonka hyötysuhde on 40 %. Nykytilanteessa CHP-laitoksen sähköntuotanto riittää kattamaan sähköntarpeen. Kivihiililauhdevoimalaitos ei ole käytössä mutta ilma-vesilämpöpumppu investointien yhteydessä sähköntarve kasvaa, jolloin kivihiililauhdevoimalaitosta tarvitaan, jotta sähköntarve saadaan tuotettua. (Kuva 11.)



*KUVA 11. Lämmön- ja sähköntuotantolaitosten tehorakennekaavio referenssikaupungissa*

Lämmityksen pysyvyyskäyrä on kuormituksen keston perustuva malli, jonka avulla voidaan kuvata energiantuotanto eri tuotantoyksiköiden kesken. CHP-laitos tuottaa pääosan vuotuisesta energiantarpeesta, jolloin sen käyttöaika suunnitellaan mahdollisimman pitkäksi. Oikein mitoitettu CHP-laitos kattaa 90 % lämmöntarpeesta, jolloin sen minimiteho on 20 % lämpötehosta. Lopun lämmityksen hoitaa päälämpökeskus, pienemmät lämpökeskukset sekä vara- ja huippulämpökuormalaitokset. (Kuva 12.) Vara- ja huippulämpökeskukset voivat sijaita missä

kohtaa verkostoa tahansa. Jotta tuotanto- ja käyttökustannukset ovat optimaaliset, on sijoituksessa huomioitava tehon- ja energiantarve. Huomioon täytyy ottaa myös pumppauskustannukset sekä verkoston rakenne. (3, s. 30–31.)



KUVA 12. Lämmityksen pysyvyyskäyrä nykytilanteessa

Kaukolämpöverkostossa syntyy siirto- ja jakeluhäviöitä sekä lämpöhäviöitä. Tyyppillinen siirto- ja jakeluhäviö on 3–5 %. Tässä työssä siirto- ja jakeluhäviön oletetaan olevan 5 %. Lämpöhäviöt kaukolämpöverkostossa ovat yleensä 5–8 % ja pienissä verkoissa jopa yli 10 %. Kaukolämpöverkoston lämpöhäviöiksi arvioitiin tässä työssä 8 %. Kaukolämmön pumppaussähköhäviöt ovat noin 10 kWh/MWh tuotettua kaukolämpöä kohden. Tässä työssä omakäytösähkön kulutus oli 3 %, mihin kuuluu pumppujen, puhaltimien sekä kuljettimien sähkön käyttö. (28.)

### Päästöt eri tuotantomalleilla

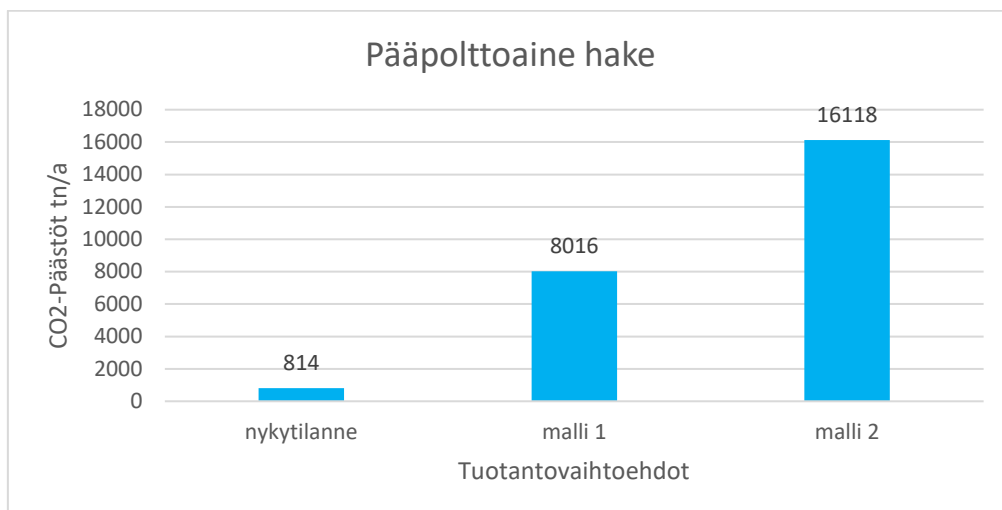
Tässä työssä tarkasteltiin CO<sub>2</sub>-päästöjä nykytilassa, mallin 1 sekä mallin 2 avulla. Kaikissa vaihtoehdoissa päälämpökeskuksen sekä vara- ja huippukuormalaitoksien käyttötunnit olivat samat, koska haluttiin tarkastella ilma-vesilämpöpumpun

vaikutusta energiantuotantoon ja sitä kautta CO<sub>2</sub>-päästöihin. Puu on biopolttoaine. Poltosta vapautuneet hiilidioksidipäästöt on määritelty kasvihuoneutraaleiksi eli niitä ei lasketa mukaan kasvihuonekaasujen kokonaispäästömäärään.

Tuotantorakenne 1, jonka pääpolttoaineena on hake, aiheutti CO<sub>2</sub>-päästöjä nykytilassa 814 tn/a. CO<sub>2</sub>-päästöjä aiheuttivat lämpökeskukset, joiden polttoaineena oli raskas polttoöljy. (Kuva 13.)

Mallissa 1, jossa 10 % kaukolämpöasiakkaista eli 641 asiakasta vaihtoi lämmitysmuodoksi ilma-vesilämpöpumppulämmityksen, syntyi CO<sub>2</sub>-päästöjä 8016 tn/a. Päästöjen suureen nousuun vaikutti erillisen lauhdevoimalan sähköntuotanto, joka tuotettiin kivihieillä. CHP-laitoksen sähköntuotanto ei riitä kattamaan yhteiskunnan sähköntarvetta, koska lämmöntarpeen vähenemisen myötä käyttötunnit CHP-laitoksella vähenivät. Lauhdevoimalaitosta piti ajaa 800 h, jotta tarvittava sähkö saatiin tuotettua yhteiskunnan tarpeisiin sekä vastaamaan lämpöpumppujen sähköntarvetta. (Kuva 13.)

Mallissa 2, jossa lämpöpumppulämmitys on lohkaissut 20 % kaukolämmitysenergiantarpeesta, CO<sub>2</sub>-päästöjä syntyi 16 118 tn/a. CO<sub>2</sub>-päästöjä syntyi kaksinkertainen verrattuna malliin 1, koska erillinen sähköntuotanto kasvoi. Tässäkään mallissa CHP-laitoksen sähköntuotanto ei riitä kattamaan yhteiskunnan sähköntarvetta. Lauhdevoimalaitosta piti ajaa 1700 h, jotta tarvittava sähkö saatiin tuotettua yhteiskunnan tarpeisiin sekä vastaamaan lämpöpumppujen sähköntarvetta. (Kuva 13.)

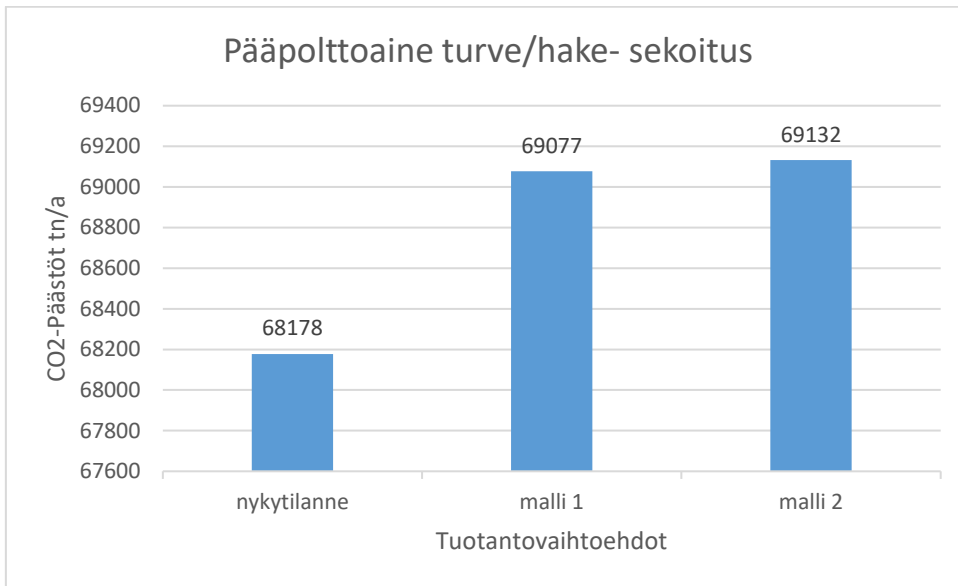


*KUVA 13. Tuotantorakenne 1:n mukaiset CO<sub>2</sub>-päästöt*

Tuotantorakenne 2, jonka pääpolttoaineena on turve/puu- sekoitus, aiheutti CO<sub>2</sub>-päästöjä nykytilassa 68 178 tn/a. CO<sub>2</sub>-päästöjä aiheuttivat turpeen käyttö polttoaineena CHP-laitoksessa sekä päälämpökeskuksissa ja lämpökeskukset, joiden polttoaineena oli raskas polttoöljy. (Kuva 14.)

Mallissa 1, jossa 10 % kaukolämpöasiakkaista eli 641 asiakasta vaihtoi lämmitysmuodoksi ilma-vesilämpöpumppulämmityksen, CO<sub>2</sub>-päästöjä syntyi 89 077 tn/a. Päästöjen maltillisempi kasvu verrattuna tuotantorakenteeseen 1 johtui siitä, että turpeen aiheuttama ominaispäästö on suuri 0,381 t/MWh. Lauhdevoimalaitosta piti ajaa 800 h, jotta tarvittava sähkö saatiin tuotettua yhteiskunnan tarpeisiin sekä vastaamaan lämpöpumppujen sähkönarvetta. (Kuva 14.)

Mallissa 2, jossa lämpöpumppulämmitys on lohkaissut 20 % kaukolämmitysenergiatarpeesta. CO<sub>2</sub>-päästöjä syntyi 69 132 tn/a. CO<sub>2</sub>-päästöt nousivat vain 55 tn/a malliin 1 verrattuna, koska turpeen ja kivihiilen ominaispäästöillä ei ole suurta eroa. Lauhdevoimalaitosta piti ajaa 1770 h, jotta tarvittava sähkö saatiin tuotettua yhteiskunnan tarpeisiin sekä vastaamaan lämpöpumppujen sähköntarvetta. (Kuva 14.)



*KUVA 14. Tuotantorakenne 2:n mukaiset CO2-päästöt*

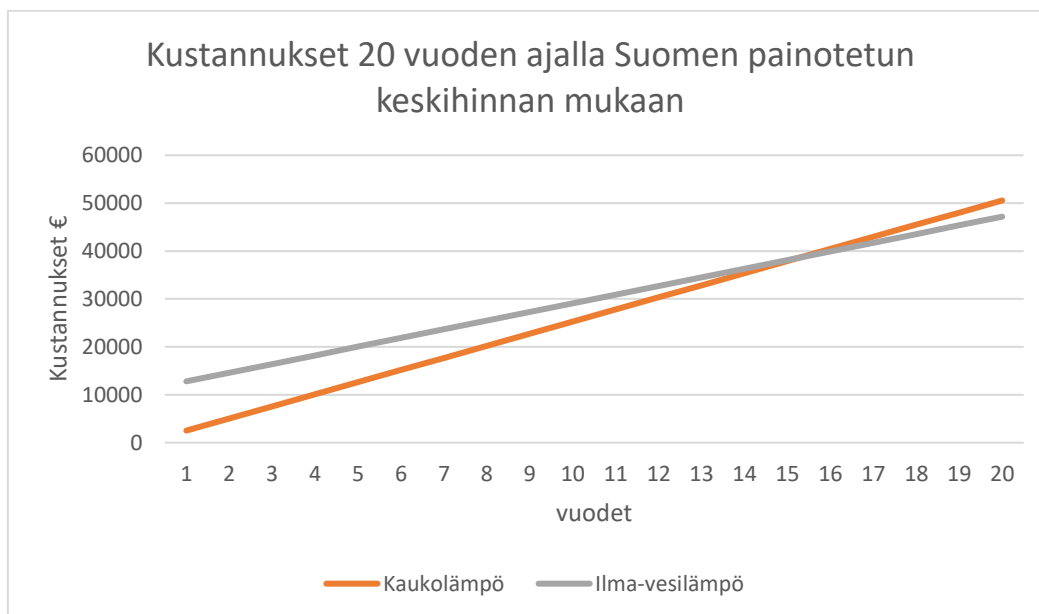
## 6 KANNATTAVUUSTARKASTELU

Eri lämmitysjärjestelmiä valittaessa on tärkeää, että investointi on kannattava. Toimijoiden välillä saattaa olla erilaisia kriteerejä, joiden perusteella kannattavuuksia arvioidaan. Yleisin tapa tarkastella investointien kannattavuuksia on takaisinmaksuaika. Mitä lyhyempi on investoinnin takaisinmaksuaika, sitä kannattavampi investointi on. Tässä työssä investoinnin kannattavuutta tarkastellaan herkkyyksianalyysin avulla asiakkaan näkökulmasta. Herkkyyksianalyysissä muodostetaan kaksi erilaista skenaariota. Referenssikaupungin kannattavuustarkastelu tehdään tuotantokustannusten avulla, jossa lasketaan polttoaineiden tuotantokustannukset aiemmin esitettyjen tuotantomallien mukaan sekä päästöoikeuden arvon muutoksilla.

### 6.1 Kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla

Esimerkkitalon lämmityksen kulutustiedoilla  $Q_{tot} = 33355,5$  kWh, jossa kaukolämpö korvattiin ilma-vesilämpöpumpulla, laskettiin kustannukset 20 vuoden ajalle, joka on laitteiden odotettu vähimmäiskäyttöikä. Ilma-vesilämpöpumpun alkuinvestointi 11 000 € sisältää asennuksen. Kuva 14 esittää Suomen painotettu keskihinta -tilaston kaukolämmön ja sähkön hinnoilla aiheutuvia kustannuksia. (4.) Laskelmassa ei otettu huomioon mahdollisia huoltokustannuksia, koska molemmilla lämmitystavoilla huoltokustannukset ovat pienet. Kaukolämmön sekä sähkön hinnan oletettiin pysyvän vakiona seuraavat 20 vuotta, mikä tuskin on todennäköistä. Laskelmassa oletettiin myös, että kulutus pysyy vakiona 20 vuoden ajan.

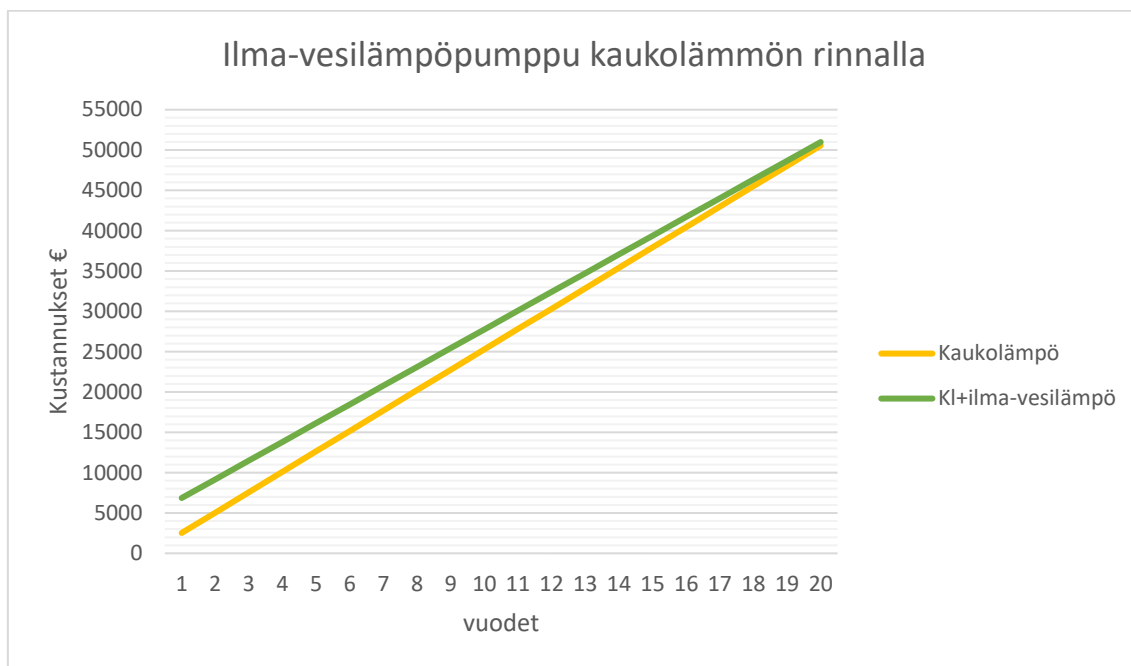
Kuvan 15 mukaan ilma-vesilämpöpumppu tulee halvemmaksi 20 vuoden tarkastelujaksolla, jos kaukolämmön sekä sähkön hinnat pysyvät vakioina ja lämpöpumppu toimii 100 % teholla 20 vuotta. 20 vuoden lämmityskustannukset kaukolämmölle ovat 50 567 € ja ilma-vesilämpöpumpulle 47 179 €. Täytyy muistaa, että lämmönmyyjällä on oikeus periä kaukolämpötoiminnan lopettamisesta aiheutuvia kuluja asiakkaalta ja jokaisella lämmönmyyjällä on oma hinnoittelu. Takaisinmaksuaika ilma-vesilämpöpumpulle on noin 16 vuotta. Säästöä syntyy 20 vuoden aikana noin 3400 €.



*KUVA 15. Kustannukset 20 vuoden aikana Suomen painotettu keskihinta -tilaston kaukolämmön ja sähkön hinnoilla*

## 6.2 Ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalle

Esimerkkitalon lämmityksen kulutustiedoilla  $Q_{\text{lämmitys}} = 27590,8 \text{ kWh}$ , jossa kaukolämmön rinnalle asennettiin ilma-vesilämpöpumppu, laskettiin kustannukset 20 vuoden ajalle, joka on laitteiden odotettu vähimmäiskäyttöikä. Ilma-vesilämpöpumppu tuottaa tarvittavasta lämmitysenergiasta 8638 kWh. Lisälämmityksen  $Q_{\text{lisälämmitys}} = 18952 \text{ kWh}$  sekä lämpimän käyttöveden  $Q_{\text{LKV}} = 5764 \text{ kWh}$  lämmittää kaukolämpö. Ilma-vesilämpöpumpun sekä apulaitteiden sähköntarve on 3455,2 kWh. Näillä kulutustiedoilla laskettuna sekä samoilla olettamilla kuin edellisessä luvussa saatiin kaukolämpö + ilma-vesilämpöpumppu eli hybridilämmityksen kokonaishinnaksi 50 983 €. Hybridilämmitys tuli noin 400 € kalliimmaksi kuin kaukolämmitys. (Kuva 16.)



KUVA 16. Ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalla

### 6.3 Herkkyysanalyysilaskenta

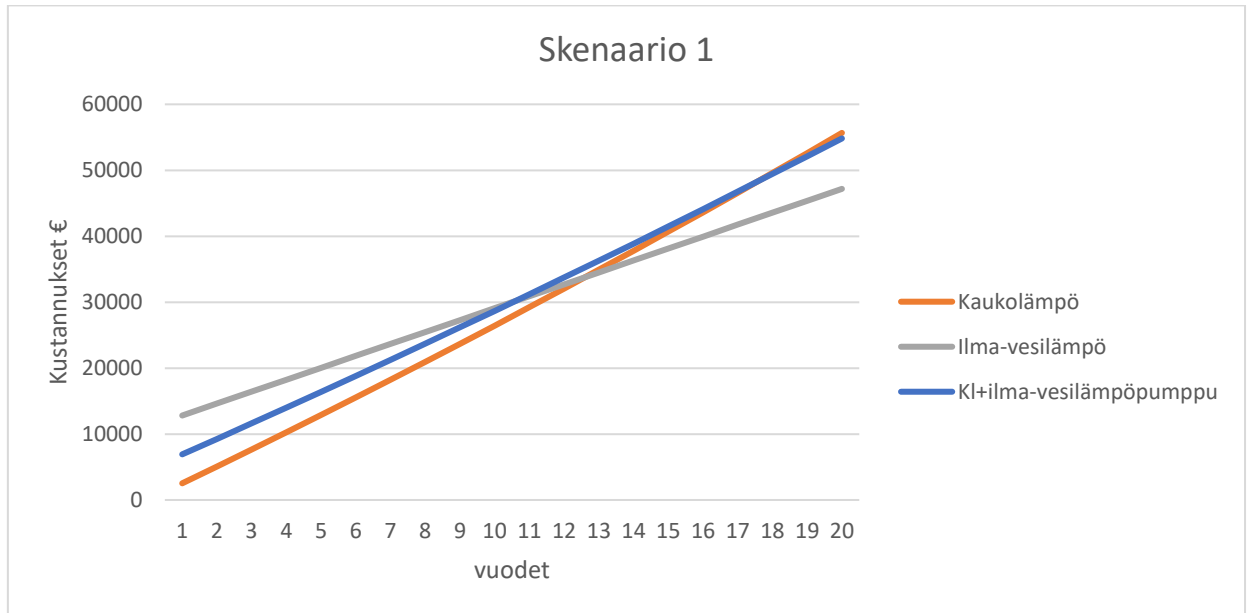
Herkkyysanalyysin avulla tutkitaan kannattavuutta, jos joitakin valittuja tekijöitä muutetaan. Tyypillisiä herkkyysanalyysin muuttujia ovat kustannukset ja hankkeen elinikään kohdistuvat muuttujat. Yleensä herkkyysanalyysi tehdään yhden muuttujan avulla. Herkkyysanalyysi voidaan tehdä myös muuttamalla useita muuttujia samanaikaisesti. Tässä työssä herkkyysanalyysi tehdään kahden eri skenaarion avulla. Skenaario 1 on vaihtoehto, jossa kaukolämmön hinta nousee 20 vuoden aikana 20 % mutta sähkön hinta pysyy vakiona. Skenaario 2 on vaihtoehto, jossa sähkön hinta nousee 20 vuoden aikana 20 % mutta kaukolämmön hinta pysyy vakiona.

#### Herkyysanalyysilaskenta skenaario 1

Skenaariossa 1 kaukolämmön hinnan arvioitiin nousevan 20 % tasaisesti seuraavan 20 vuoden aikana niin, että kaukolämmön hinta kasvaa 1 %:n vuodessa mutta sähkön hinnan oletettiin pysyvän vakiona. Kuvan 17 mukaan kaukolämpö tuli maksamaan eniten 20 vuoden aikana ja halvin lämmitysmuoto oli ilma-vesilämpöpumppu. Skenaarion 1 mukaan ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika



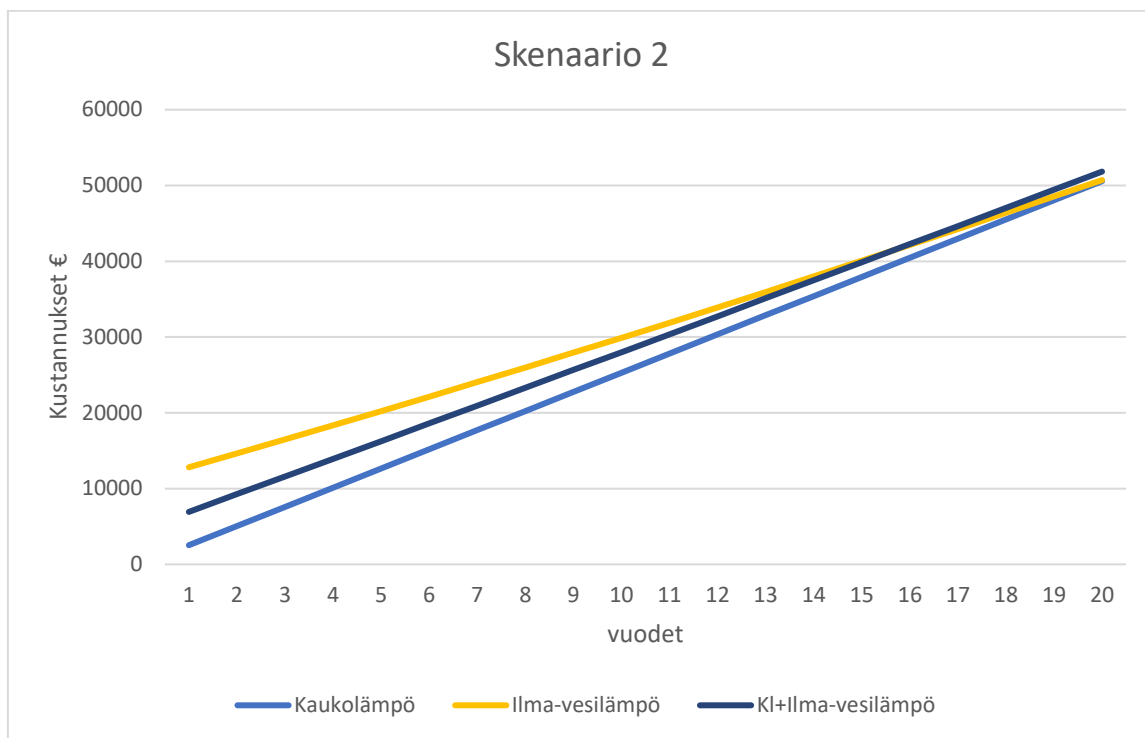
on 13 vuotta ja säästö 20 vuoden aikana on 8500 €. (Kuva 17.) Herkkyysanalyysilaskennassa ei otettu huomioon lämmönjakokeskuksen muutostyön hintaa eikä kaukolämpötoiminnan lopettamisesta aiheutuvia kuluja.



KUVA 17. Herkkyysanalyysilaskenta skenaario 1

### Herkyysanalyysilaskenta skenaario 2

Skenaariossa 2 arvioitiin sähkön hinnan nousevan 20 % tasaisesti seuraavan 20 vuoden aikana niin, että sähkön hinta kasvaa 1 %:n vuodessa mutta kaukolämmön hinnan oletettiin pysyvän vakiona. Kuvasta 18 nähdään, että kustannukset olivat lähes saman suuruiset jokaisella lämmitysmuodolla. Halvin lämmitysmuoto oli kaukolämmitys. Kokonaishinnaksi 20 vuoden aikana tuli kaukolämmölle 50 567 €, ilma-vesilämpöpumpulle 50 710 € ja hybridilämmitykselle 51 829 €. (Kuva 18.) Herkkyysanalyysilaskennassa ei otettu huomioon lämmönjakokeskuksen muutostyön hintaa eikä kaukolämpötoiminnan mahdollisesta lopettamisesta aiheutuvia kuluja, jolloin kaukolämpö erottuu suuremmalla marginaalilla edullisimmaksi vaihtoehdoksi.



KUVA 18. Herkkyysanalyysilaskenta skenaario 2

#### 6.4 Tuotantokustannukset referenssikaupungissa

Tuotantokustannukset polttoaineiden osalta referenssikaupungissa laskettiin nykytilan, mallin 1 sekä mallin 2 mukaisesti. (Taulukko 4.) Tuotantorakenteita oli kaksi erilaista, pääpolttoaineina sekä hake että hake/turve-sekoitus.

Referenssikaupungin lämmityksentarve nykytilassa oli 211,2 GWh ja sähköntarve oli 86 GWh. Nykytilan sähköntarpeen CHP-laitoksen sähköntuotanto pystyi kattamaan. Mallien 1 ja 2 tilanteissa lämmityksentarve oli 193 GWh sekä 170 GWh. Mallien 1 ja 2 mukaisissa vaihtoehdoissa tarvittiin lauhdevoimalaa tuottamaan sähköä, jotta referenssikaupungin sähköntuotanto saatiin tuotettua. Mallin 1 mukainen erillinen sähköntuotanto oli 21,2 GWh ja mallin 2 mukainen erillinen sähkön tuotanto oli 44,9 GWh.

Polttoaineiden hinta selittää tuotantokustannusten vähentymisen nykytilasta malliin 2. Hake polttoaineena maksaa noin 21 €/MWh, kun taas kivihiilen hinta on 12 €/MWh. Lauhdevoimalassa kivihiilellä tuotettu sähkö laskee tuotantokustannuk-

sia, koska se on 9 € megawattituntia kohden halvempaa kuin hake. Vaikka tuotantokustannukset ovat alhaisemmat mallien 1 ja 2 mukaan, CO<sub>2</sub>-päästöt kasvavat selvästi.

*TAULUKKO 4. Tuotantokustannukset referenssikaupunki*

	Tuotantorakenne 1 (Hake)	Tuotantorakenne 2 (Hake/ turve -sekoitus)
Nykytila	7517179 €	6456379 €
Malli 1	7075279 €	6114019 €
Malli 2	6574679 €	5639779 €

### **Päästökauppa ja sen vaikutukset**

Päästökaupasta säädetään päästökauppalaille ja -asetuksilla. Energiavirasto toimii lain mukaan Suomen kansallisena päästökauppaviranomaisena EU:n päästökauppajärjestelmässä. Energiavirasto myöntää päästölupia, valvoo velvoitteiden noudattamista, pitää yllä päästökaupparekisteriä sekä valvoo päästökauppatojentajia. Päästökauppalakia sovelletaan energia-alalla laitoksissa, joiden kokonaislämpöteho on yli 20 MW. Myös samaan kaukolämpöverkkoon kuuluvat pienemmät polttolaitokset kuuluvat päästökauppalain piiriin. Energiavirasto perii päästökaupparekisterin ylläpidosta ja tilien avaamisesta maksuja. (29.)

Hiilidioksidipäästöille muodostuu markkinahinta päästökaupassa. Energialaitoksen tulee hankkia yksi päästöoikeus jokaista päästämäänsä hiilidioksiditonna kohden. Päästöoikeuksia jaetaan huutokaupalla. Huutokaupat järjestetään EU:n yhteisellä huutokauppapaikalla. Päästöoikeuksia myydään huutokaupoissa joko 500 tai 1000 kappaleen erissä. Suomen huutokaupanpitäjänä toimii Energiavirasto (30.)

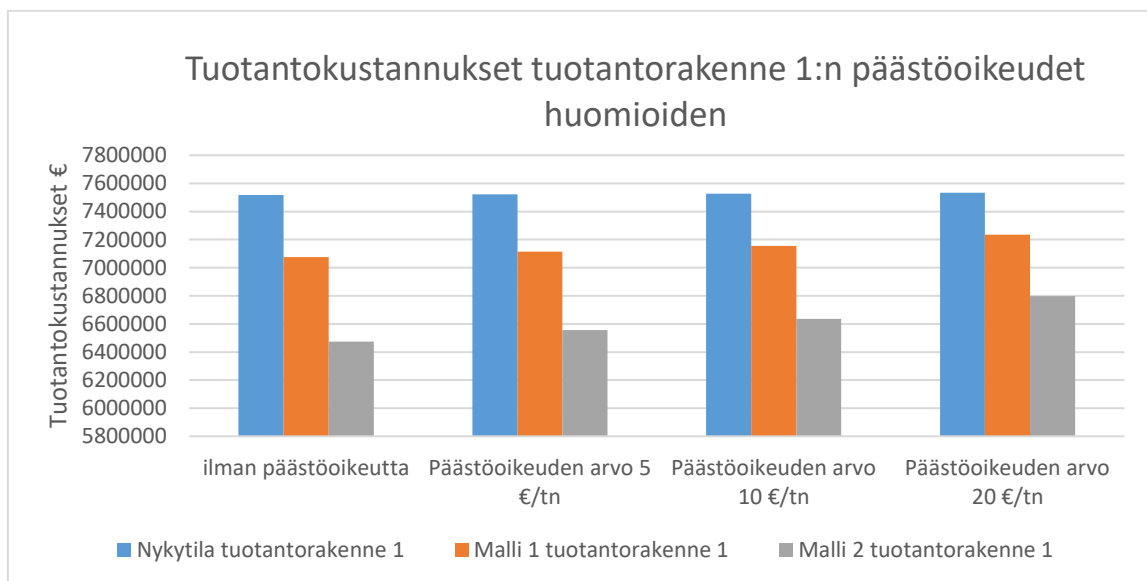
Oheisessa kuvassa 19 on esitetty päästön tuoma lisähinta eri polttoaineiden käytölle eri päästöoikeuksien hinnoilla. Puu on polttoaineena kalliimpaa kuin kivihiili,

mutta hinta tasoittuu, kun päästöoikeuden arvo nousee. Tulevaisuudessa päästöoikeuden arvo tulee nousemaan, kun tavoitellaan vähäpäästöisempää yhteiskuntaa, jolloin uusiutuvat polttoaineet ovat pääasiallisia polttoaineita. Päästöoikeuden hinta on vuosien saatossa ollut jopa yli 30 €/tn. Päästöoikeuden markkinahinta vuodelle 2017 on noin 5 €/tn. (31.)

Polttoaine	Syntyvä CO <sub>2</sub> -päästö (tn/MWh)	Veroton hinta (2016 lopussa) (€/MWh)	Lisäkustannus/päästöoikeuden arvo nykyhetki (5€/tn)	Lisäkustannus/päästöoikeuden arvo (10€/tn)	Lisäkustannus/päästöoikeuden arvo (20€/tn)
Hake	0	21	0	0	0
Turve	0,381	15	1,9	3,8	7,6
Kivihiili (vain lauhde)	0,34	12	1,7	3,4	6,8
POR	0,282	32	1,4	2,8	5,7

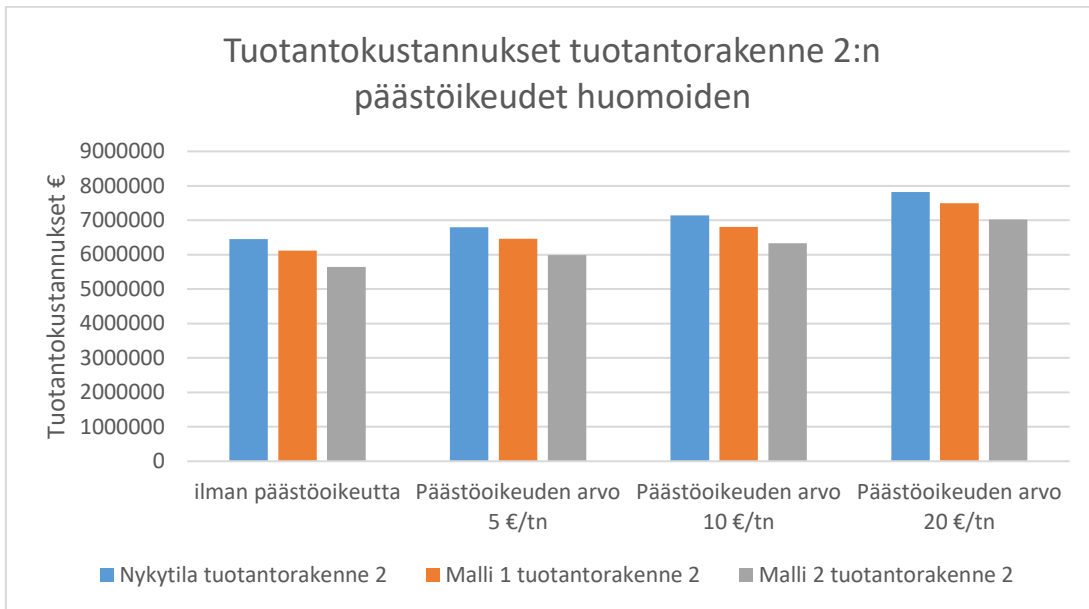
KUVA 19. Päästön tuoma lisähinta eri polttoaineille päästöoikeuksien hinnoilla

Referenssikaupungin tuotantorakenne 1:n mukaan päästöoikeuden arvolla 20 €/tn malli 2 tulisi maksamaan 737 180 € vähemmän kuin nykytila. Nykytila oli kallein tuotantotapa, koska hakkeen hinta on selvästi suurempi kuin muiden polttoaineiden. (Kuva 20.)



KUVA 20. Tuotantokustannukset tuotantorakenne 1:n mukaan eri päästöoikeuden arvoilla

Referenssikaupungin tuotantorakenne 2:n mukaan päästöoikeuden arvolla 5 €/tn, joka on tämän hetkinen päästöoikeuden arvo, malli 2 maksaa 811 805 € vähemmän kuin nykytila. Kustannuseroa selittää polttoaineiden hinta, jossa hake on selvästi kalliimpaa kuin kivihiili, jolla tuotetaan mallissa 2 sähköä 44,9 GWh. (Kuva 21.)



*KUVA21. Tuotantokustannukset tuotantorakenne 2:n mukaan eri päästöoikeuden arvoilla*

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kaukolämmön korvaamista ilma-vesilämpöpumpulla asiakkaan ja yhteiskunnan näkökulmasta. Asiakkaan näkökulmaa tarkasteltiin teoreettisen esimerkkitalon avulla, joka muodostettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan. Asiakkaan vaihtoehtoina käytettiin kaukolämmön korvaamista ilma-vesilämpöpumpulla sekä ilma-vesilämpöpumpun rinnalle asennettuna. Ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalla tuotti lämpöä ainoastaan sisätiloihin, jolloin lämpimän käyttöveden lämmitti kaukolämpö. Yhteiskuntaa eli referenssikaupunkia tarkasteltiin nykytilan, mallin 1 ja mallin 2 mukaan. Referenssikaupungin kaukolämmönkulutuksen lähtöarvot otettiin erään kaupungin kaukolämpötilastosta. Referenssikaupungille muodostettiin kaksi energiantuotantomallia perustuen Suomessa yleisesti käytettyihin tuotantolaitostyyppeihin ja polttoaineisiin.

Työssä laskettiin energialaskelma esimerkkitalolle, jossa kaukolämpö korvataan ilma-vesilämpöpumpulla sekä ilma-vesilämpöpumppu asennetaan kaukolämmön rinnalle. Esimerkkitalon energiankulutukseksi saatiin  $Q_{\text{lämmitys}} = 33355,5$  kWh, mikä kattaa myös lämpimän käyttöveden. Ilma-vesilämpöpumppu tuottaa  $Q_{\text{lämmitys}}$  tarpeesta 29352,2 kWh, jolloin lisälämmitystä sähkövastuksilla tarvitaan noin 4000 kWh. Ilma-vesilämpöpumpun sekä apulaitteiden sähköenergian kulutus oli 11544 kWh. Kaukolämmön rinnalle asennettu ilma-vesilämpöpumppu tuotti lämpöä 8636 kWh ja kulutti sähköenergiaa 3455,2 kWh. Jäljelle jäävä lämmityksen tarve 24716 kWh lämmitettiin kaukolämmöllä.

Ilma-vesilämpöpumppu referenssikaupungissa aiheutti muutoksia energiantuotannossa. Energiantuotannon muutoksia havainnollistettiin nykytilan, mallien 1 ja 2 avulla. Nykytila kuvaa nykyistä energiantuotantoa, jossa ei ole ilma-vesilämpöpumppuja, jolloin lämmityksentarve on 212 GWh ja sähköntarve 86 GWh. CHP-laitoksen sähköntuotanto oletettiin riittämään referenssikaupungin sähköntarpeeseen, jotta lämmityksen muutoksia pystyttiin tarkastelemaan. Mallissa 1 kaukolämpöasiakkaista 10 % eli 641 asiakasta vaihtoi kaukolämmön ilma-vesilämpöpumpulämmitykseen. Lämmityksentarve pieneni 19 GWh mutta sähköntarve

kasvoi 10 GWh. CHP-laitoksen vuosittaiset käyttötunnit vähentyivät, koska lämpöä ei enää tarvittu niin paljon. Seurauksena sähköntuotanto väheni, jolloin tarvittiin erillistä sähköntuotantoa. Lauhdevoimalaitoksella täytyi tuottaa sähköä noin 21 GWh, joka vaati 800 h käyttöajoa lauhdevoimalaitoksella. Lauhesähköä tuotettiin 10 GWh referenssikaupungin sähköntarpeeseen ja 10 GWh ilma-vesilämpöpumppujen sähköntarpeeseen. Mallissa 2 ilma-vesilämpöpumppulämmitys on lohkaissut 20 % kaukolämmitysenergian tarpeesta, jolloin lämmityksentarve oli 170 GWh ja sähköntarve nousi 106 GWh:n tasolle. Lauhdevoimalaitosta piti ajaa 1700 h, jotta tarvittava lisäsähkö 44,9 GWh saatiin tuotettua. Lauhesähköä tuotettiin 21 GWh referenssikaupungin sähköntarpeeseen ja 20 GWh ilma-vesilämpöpumppujen sähköntarpeeseen.

CO<sub>2</sub>-päästöjä tarkasteltiin referenssikaupungin kahden eri tuotantorakenteen avulla, mallit 1 ja 2 huomioiden. Tuotantorakenne 1 oli tuotantomalli, jossa sekä CHP-laitos että päälämpökeskus käyttivät polttoaineena haketta, vara- ja huippukuormalaitokset raskasta polttoöljyä. Vara- ja huippukuormalaitoksien käyttötunnit arvioitiin vakioiksi molemmissa tuotantorakenteissa, koska tarkastelu haluttiin tehdä pääpolttoaineiden mukaan. Tuotantorakenne 1:n mukaan CO<sub>2</sub>-päästöjä syntyi nykytilassa 814 tn/a, mikä johtui hakkeen CO<sub>2</sub>-päästön arvosta 0. Hake on biopolttoaine, minkä seurauksena sen poltosta vapautuneet hiilidioksidipäästöt on määritelty kasvihuoneneutraaleiksi. Mallissa 1 CO<sub>2</sub>-päästöt nousivat tasolle 8000 tn/a, mikä johtui lauhdevoimalaitoksen sähköntuotannosta, joka tuotettiin kivihiilellä. Mallin 2 CO<sub>2</sub>-päästöt kaksinkertaistuivat vielä malliin 1 verrattuna tasolle 16 200 tn/a. Mallissa 2 jouduttiin ajamaan lauhdevoimalaitosta 900 h enemmän kuin mallissa 1. CO<sub>2</sub>-päästötarkastelun pohjalta ilma-vesilämpöpumppulämmitys ei ollut yhteiskunnan kannalta kannattavaa päästöjen kasvaessa. Tuotantorakenne 2 oli tuotantomalli, jossa CHP-laitos ja päälämpökeskus käyttivät polttoaineena hake/turve-sekoitusta, vara- ja huippukuormalaitokset raskasta polttoöljyä. Tuotantorakenne 2:n mukaan CO<sub>2</sub>-päästöjä syntyi nykytilassa 68178 tn/a. Kasvaneeseen päästöjen määrään vaikutti turpeen käyttö polttoaineena. Turpeen ominaispäästökerroin on 0,381 tn/MWh. Mallissa 1 ja 2 CO<sub>2</sub>-päästöillä ei ollut suurta eroa (69 077 tn/a ja 69 132 tn/a.) Tämä selittyi sillä, että turpeen ja kivihiilen päästökertoimet ovat lähes yhtä suuret. CO<sub>2</sub>-päästöjen mukaan ei ole suurta eroa, miten referenssikaupunki tuottaa lämmitysenergian.

20 vuoden kannattavuustarkastelussa tarkasteltiin esimerkkitalon mukaan asiakkaan kannattavuutta vaihtaa kaukolämpö ilma-vesilämpöpumppuun tai asentaa ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalle. Kaukolämmön sekä sähkön hinnat pysyivät vakioina koko tarkastelujakson ajan. Ilma-vesilämpöpumpulla kertyi säästöä noin 3400 € verrattuna kaukolämpöön ja ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika oli noin 16 vuotta. Ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalla ei ole asiakkaan kannalta kannattava vaihtoehto. 20 vuoden tarkastelujakson ajalla kaukolämmön kokonaishinnaksi tuli 50 567 € ja ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalla 50 983 €, jolloin kaukolämpö oli 400 € edullisempi. Tässä laskelmassa ei otettu huomioon lämmönjakokeskuksen muutostyön hintaa.

Herkkyysanalyysilaskennan avulla tutkittiin kannattavuutta muutamien valittujen tekijöiden muuttamisella. Tässä työssä herkkyysanalyysi tehtiin kahden eri skenaarion avulla. Skenaario 1 on vaihtoehto, jossa kaukolämmön hinta nousi 20 % tasaisesti 20 vuoden ajan 1 %:n vuodessa ja sähkön hinta pysyi vakiona. Skenaario 1:n mukaan kaukolämpö oli kallein lämmitysmuoto. Halvin lämmitysmuoto oli ilma-vesilämpöpumppu, joka oli 8500 € halvempi kuin kaukolämpö 20 vuoden tarkastelujaksolla. Ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika on noin 13 vuotta. Skenaario 2 on vaihtoehto, jossa sähkön hinta nousi 20 % tasaisesti 20 vuoden 1 %:n vuodessa ja kaukolämmön hinta pysyi vakiona. Halvin lämmitysmuoto on kaukolämmitys. 20 vuoden aikana kokonaishinnaksi kaukolämmölle tuli 50 567 €, ilma-vesilämpöpumpulle 50 710 € ja hybridilämmitykselle 51 829 €. Herkkyyslaskennassa ei otettu huomioon lämmönjakokeskuksen muutostyön hintaa. Lämmönjakokeskuksen muutostyöt tai siihen liittyvät purkutyöt maksavat asiakkaalle, jolloin kaukolämpö erottuu suuremmalla marginaalilla edullisimmaksi vaihtoehdoksi.

Energiantuotantomallien tuotantokustannuksista oli mielenkiintoista huomata, että tuotantokustannukset pienenevät nykytilasta malliin 2. Tuotantokustannusten pienenemisen määrittä kivihiilen halvempi hinta verrattuna CHP-laitoksissa käytetyn hakkeen hinta. Hake oli 9 € kalliimpaa megawattituntia kohden kuin kivihiili. Tuotantorakenne 1:n mukaisessa energiantuotantomallissa ero oli huomattavan suuri, koska CHP-laitos ja päälämpökeskus käyttivät ainoastaan haketta polttoaineena. Tuotantorakenne 2:n mukaisessa energiantuotantomallissa nykytilan ja



mallin 2 välinen ero oli 816 600 €. Nykytila oli molemmissa tuotantorakenteissa kallein tuotantomuoto mutta samalla ympäristöystävällisin. Päästöoikeudet huomioiden tuotantorakenne 2:n mukaisessa energiantuotantomallissa kustannukset kasvoivat selvästi. Tuotantorakenteita vertaamalla huomattiin, että tuotantorakenne 1 oli tuotantokustannuksiltaan nykytilan mukaan ilman päästöoikeuden arvoa 1 060 800 € kalliimpi kuin tuotantorakenne 2. Jos päästöoikeuden arvo kasvaa, se vaikuttaa enemmän tuotantorakenne 2:n mukaan tuotettuun energiaan, jolloin energiahinnat nousevat.

Mikäli kaukolämmön hinta pysyy ennallaan voi kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla olla kannattavaa. Suomen keskihinnoina laskettuna ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuajaksi tulee noin 16 vuotta. Eri skenaarioiden avulla pystyttiin havainnollistamaan kannattavuuden luotettavuutta. Kaukolämmön hinnan noustessa ja sähkön hinnan pysyessä vakiona ilma-vesilämpöpumppu on kannattava. Toisaalta jos kaukolämmön hinta pysyy vakiona ja sähkön hinta nousee, kaukolämpö on hieman kannattavampaa. Skenaariossa käytetty 20 % hinnan nousu saa ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hinnan lähes saman suuruisiksi. Sähkön hinta voi nousta melkein 20 %, jolloin ilma-vesilämpöpumpun investoiminen on taloudellisesti kannattavaa. Ilma-vesilämpöpumppu kaukolämmön rinnalla ei ole kannattava vaihtoehto millään skenaariolla. Kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla nostaa yhteiskunnan CO<sub>2</sub>-päästöjä jokaisella mallilla. Suomen tavoitteet kohti hiilineutraalimpaa yhteiskuntaa ei toteudu työssä esitetyillä malleilla.

## LÄHTEET

1. Hurskainen, Markus – Koreneff, Görän – Koljonen Tiina – Kärki, Janne – Lehtilä, Antti – Pursiheimo, Esa – Tsupari, Eemeli. 2016. Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon hiilidioksidiveron puolituksen poiston vaikutukset. Espoo: VTT.
2. Vesnom Oy. Saatavissa: <http://www.vesnom.fi/>. Hakupäivä 22.2.2017.
3. Mäkelä, Veli-Matti – Tuunanen, Jarmo. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/97138>. Hakupäivä 1.2.2017.
4. Kaukolämpö 2015 graafeina. 2016. Energiateollisuus ry. Saatavissa: [http://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampo\\_2015\\_graafeina.html#material-view](http://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampo_2015_graafeina.html#material-view). Hakupäivä 16.11.2016.
5. Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimiä, Tuomo – Urpalainen, Samu 2013. Voimalaitostekniikka. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy.
6. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5.painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
7. Muut Energiantuotantoprosessit. 2006. Saatavissa: <http://ydinasiaa.fi/energian-tuotanto/muut-energiantuotantoprosessit/>. Hakupäivä 19.1.2017.
8. Aalto, Mikko 2015. T619503 Bioenergian tuotannon perusteet 3 op. Opintojakson luennot syksyllä 2015. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu.
9. Turve ja puu tukevat toisiaan energiankäytössä. 2017. Turveinfo. Saatavissa: <http://turveinfo.fi/kayttotavat/energiakaytto/turve-ja-puu-tukevat-toisiaan-energiakaytossa/>. Hakupäivä 23.2.2017.

10. Pietikäinen, Anita 2007. Rakennusten Lämmitysjärjestelmät. Tampere: Rakennustieto Oy.
11. Asiakkaan kaukolämpölaitteet. 2017. Energiateollisuus ry. Saatavissa: <http://188.117.57.25/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/asiakkaan-kaukolampolaitteet>. Hakupäivä 23.2.2017.
12. Kaukolämmön lämmönjakolaitteiden uusinta. 2011. Fortum. Saatavissa: <https://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Kaukolampo/Kaukol%C3%A4mm%C3%B6n%20l%C3%A4mm%C3%B6njakolaitteiden%20uusinta.pdf>. Hakupäivä 23.2.2017.
13. Perälä, Rae – Perälä, Osmo. 2013. Lämpöpumput. 3. uudistettu painos. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.
14. Lämmitysjärjestelmät. 2016. Pumpputek Oy. Saatavissa: <http://www.pumpputek.fi/index.php/fi/laemmitysjaerjestelmaet/>. Hakupäivä 28.2.2017.
15. Ilma-vesilämpöpumppu. 2016. Motiva. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/koti\\_ ja\\_ asuminen/energiatehokas\\_sahkolammitys/lampopumpun\\_hankinta/ilma-vesilampopumppu](http://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/energiatehokas_sahkolammitys/lampopumpun_hankinta/ilma-vesilampopumppu) Hakupäivä 28.2.2017.
16. Hanki hallitusti ilma-vesilämpöpumppu. 2016. Motiva. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/4765/Hanki\\_hallitusti\\_ilma-vesilampopumppu.pdf](http://www.motiva.fi/files/4765/Hanki_hallitusti_ilma-vesilampopumppu.pdf) Hakupäivä 28.2.2017.
17. Ilma-vesilämpöpumppu. 2016. NIBE Energy Systems Oy. Saatavissa: <http://www.nibe.fi/tuotteet/ilmavesilampopumput/#tab-2> Hakupäivä 28.2.2017.
18. Ilma-vesilämpöpumppu. 2016. Energiatehokas koti. Saatavissa: [http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/lammitys/ilmalampo- ja\\_ maalampopumput/ilma-vesilampopumppu](http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo- ja_ maalampopumput/ilma-vesilampopumppu) Hakupäivä 28.2.2017.
19. Hakala, Pertti – Kaappola, Esko. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu 2. tarkistettu painos. Helsinki: Gummerus kirjapaino Oy.

20. Energian säästö ja lämpökertoimet. 2016. Refgroup Oy. Saatavissa: <http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energiansaasto>. Hakupäivä 28.2.2017.
21. Kylmäsovellusten Scroll-kompressorit. 2016. Danfoss Oy. Saatavissa: <http://docplayer.fi/1415894-Kylmasovellusten-scroll-kompressorit.html>. Hakupäivä 28.2.2017.
22. Pikaopas. 2016. Scanoffice Oy. Saatavissa: [http://www.scanoffice.fi/sites/default/files/u37/pac\\_061\\_pikaopas\\_1.3.pdf](http://www.scanoffice.fi/sites/default/files/u37/pac_061_pikaopas_1.3.pdf). Hakupäivä 28.2.2017.
23. Kaukolämmön sopimusehdot, Suositus T1/2010, 2010. Energiateollisuus ry. Saatavissa: [http://energia.fi/files/869/SuositusT1\\_2010\\_KL-sopimusehdot.pdf](http://energia.fi/files/869/SuositusT1_2010_KL-sopimusehdot.pdf). Hakupäivä 28.2.2017.
24. Ilma-vesilämpöpumpun asennus, 2015. Suomen vesitekniikka Oy. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=Ft9TISKZbqg>. Hakupäivä 28.2.2017.
25. D5 (2012). 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto.
26. Eskola – Lari, Jokisalo – Juha, Siren Kari. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/name/%7B10A732A6-EA2F-45F9-869C-6F909138CB26%7D/30757>. Hakupäivä 1.3.2017.
27. K1. Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. 2013. Energiateollisuus ry.
28. Mäkelä, Veli-Matti 2016. T621206 Kaukolämmitys 6 op. Opintojakson luennot syksyllä 2016. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu.
29. Päästökauppa, Yleistä päästökaupasta. 2016. Energiavirasto. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/yleista-paastokaupasta>. Hakupäivä 19.3.2017.

30. Päästökauppa, Päästöoikeuksien huutokauppa 2013-2020. 2016. Työ- ja Elinkeinoministeriö. Saatavissa: <http://tem.fi/paastooikeuksien-huutokauppa-2013-2020>. Hakupäivä 19.3.2017.
31. Taloudelliset näkymät, Pohjoismaiset markkinat. 2017. Fortum. Saatavissa: <https://www.fortum.com/fi/sijoittajat/fortumsijoituskohteena/taloudelliset-nakymat/pages/default.aspx>. Hakupäivä 19.3.2017.
32. Voimalaitospolttoaineiden hinnat, Tilastot 2017. Tilastokeskus. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehi/2016/04/ehi\\_2016\\_04\\_2017-03-08\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2016/04/ehi_2016_04_2017-03-08_tie_001_fi.html). Hakupäivä 21.3.2017.

## LIITTEET

Liite 1 Esimerkkitalon teoreettinen energialaskelma RakMK:n osan 5D mukaan

Liite 2 Lämpöpumpun laskentataulukko

Liite 3 Kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla

Liite 4 Ilma-vesilämpöpumppu lohkaisee 20 % kaukolämmöntarpeesta

Liite 5 Referenssikaupungin tuotantorakenne 1 nykytila

Liite 6 Referenssikaupungin tuotantorakenne 1 malli1

Liite 7 Referenssikaupungin tuotantorakenne 1 malli 2

Liite 8 Referenssikaupungin tuotantorakenne 2 nykytila

Liite 9 Referenssikaupungin tuotantorakenne 2 malli1

Liite 10 Referenssikaupungin tuotantorakenne 2 malli 2

Liite 11 Voimalaitospolttoaineiden hinnat vuoden 2016 lopussa (32.)

energiamuoto	Ostoenergiakulutus				kerroin		
	Lämpö	Lämpö	Sähkö	Sähkö			
	kWh/vuosi	kWh/(m2 vuosi)	kWh/vuosi	kWh/(m2 vuosi)			
<b>Lämmitysjärjestelmä</b>							
tilojen lämmitys	27590,8	197,08					
tuloilman lämmitys	0	0,00					
Lämmin lkv valmistus	5765	41,18					
Iv sähköenergiakulutus		0,00	981,1	8	1,7	<b>Kokonaisenergiakulutus</b>	
Kuluttajalaitteet+ valaistus		0,00	3272,64	23,38	1,7	kWhe/a	kWhe/(m2a)
<b>Yhteensä lämpö</b>	33355,5	238,25	0		0,7	23348,87068	166,7776477
<b>Yhteensä sähkö</b>	0	0,00	4253,76	30,98	1,7	7231,392	51,6528

## Tilojen lämmitysjärjestelmien energiakulutus

$W_{Kl}$	$Q_{\text{lämmitys,tilat.kulutus}}$	$Q_{\text{lämmitys.lkv}}$	$W_{\text{kuluttajalaitteet+val}}$	$W_{Iv}$
	4788,7	480,3921569	270,8	83,3
	3885,7	480,3921569	244,6	75,3
	3450,9	480,3921569	270,8	83,3
	2019,1	480,3921569	262,1	80,6
	728,1	480,3921569	270,8	83,3
	465,8	480,3921569	262,1	80,6
	592,4	480,3921569	270,8	83,3
	592,8	480,3921569	270,8	83,3
	949,8	480,3921569	262,1	80,6
	2362,5	480,3921569	270,8	83,3
	3477,5	480,3921569	262,1	80,6
	4277,5	480,3921569	270,8	83,3
84,0	27590,8	5764,705882	3188,6	981,1

Taulukko 2. Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) suhteellinen lämpöenergia ( $Q_p/Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}$ ) taulukoituna suhteellisen lämpötehon ( $\varphi_{p,r}/\varphi_{l,r}$ ) suhteen, tilojen lämmitys- ja käyttövesienergioiden suhteen ( $Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitys,LKV}}$ ) ja tilojen lämmityksen menoveden max. lämpötilan ( $T_m$ ) funktiona eri säävyöhykkeillä. Lämpöpumpun nimellisteho  $Q_{p,n}$  annetaan toimintapisteessä  $T_{\text{ulko}} / T_{\text{meno}} (+7/35)$ .

$\varphi_{p,r}/\varphi_{l,r}$	$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitys,LKV}}$	Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28	0,28	0,28	0,28
	1	0,39	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33
	2	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44	0,40	0,39	0,39	0,38
	4	0,56	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41
0,4	0,5	0,44	0,44	0,44	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38
	1	0,52	0,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,63	0,61	0,60	0,58	0,60	0,58	0,57	0,56	0,52	0,51	0,50	0,49
	4	0,68	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51
0,5	0,5	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,52	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47
	1	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,55	0,54	0,54	0,53
	2	0,73	0,71	0,69	0,68	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,60	0,58	0,57
	4	0,78	0,75	0,72	0,70	0,74	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
0,6	0,5	0,64	0,64	0,64	0,64	0,62	0,62	0,62	0,61	0,55	0,55	0,55	0,55
	1	0,75	0,74	0,72	0,72	0,72	0,70	0,69	0,69	0,64	0,63	0,62	0,61
	2	0,82	0,79	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65	0,64
	4	0,84	0,82	0,80	0,77	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
0,7	0,5	0,73	0,73	0,73	0,73	0,70	0,70	0,70	0,70	0,63	0,63	0,63	0,63
	1	0,83	0,81	0,80	0,78	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,69	0,68	0,67
	2	0,87	0,85	0,83	0,82	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69
	4	0,89	0,87	0,85	0,83	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70
0,8	0,5	0,81	0,80	0,80	0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,72	0,71	0,71	0,70
	1	0,88	0,87	0,85	0,84	0,86	0,85	0,84	0,82	0,77	0,76	0,74	0,73
	2	0,90	0,89	0,88	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
	4	0,91	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74

0,9	0,5	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,77	0,76	0,76	0,75
	1	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
	2	0,92	0,91	0,90	0,89	0,90	0,89	0,88	0,87	0,81	0,80	0,79	0,77
	4	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
1,0	0,5	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79
	1	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	2	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	4	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79



<b>Ilma-vesilämpöpumppu korvaamaan kaukolämpöä</b>		
<b>Energian kulutus</b>		yksikkö
	$Q_{tilat} =$	27590,8 kWh
	$Q_{LKV} =$	5764 kWh
	$\phi$	11 kW
<b>Ilma-vesilämpöpumput nimellisteho</b>		
Mitsubishi Electric Ecodan +PUHZ-SW100		11,2 kW
<b>Lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho</b>		
	$\frac{\phi_{Lp}}{\phi_{Tila}} =$	1,0
<b>Tilojen ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhde</b>		
	$\frac{Q_{tilat}}{Q_{LKV}} =$	4,78675
		4 <--taulukon max.
<b>Lämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia</b>		
	$\frac{Q_{Lp}}{Q_{lämmitys,tilat,LKV}} =$	0,88 <-- talukosta luettu
<b>Tilojen lisälämmitysenergia</b>		
	$Q_{lisälämmitys,tilat} = \left(1 - \frac{Q_{Lp}}{Q_{lämmitys,tilat,LKV}}\right) * Q_{tilat} =$	3310,9 kWh
	$Q_{lisälämmitys,LKV} = \left(1 - \frac{Q_{Lp}}{Q_{lämmitys,tilat,LKV}}\right) * Q_{LKV} =$	691,68 kWh
<b>Lämpöpumpun tuottama energia</b>		
	$Q_{Lp,lämmitys,tilat} =$	24279,9 kWh
	$Q_{Lp,lämmitys,LKV} =$	5072,32 kWh
<b>Lämpöpumpun sekä apulaitteiden sähkönkulutus</b>		
	$SFP_{tilat} =$	2,6
	$SFP_{LKV} =$	2,3
	$W_{Lp,lämmitys} =$	11543,8 kWh
<b>Yhteenveto</b>		
Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia (sis. Tilat+lkv)		29352,2 kWh
Tarvittava lisälämmitysenergia (sis. Tilat+lkv)		4002,58 kWh
Lämpöpumpun sekä apulaitteiden sähköenergian kulutus		11543,8 kWh

<b>Ilma-vesilämpöpumppu lohkaisee 20 % kaukolämmöntarpeesta</b>			
<b>Energian kulutus</b>			yksikkö
	$Q_{tilat} =$	33,92	GWh
	$Q_{LKV} =$	8,48	GWh
	$\phi$	11	kW
<b>Ilma-vesilämpöpumput nimellisteho</b>			
	Mitsubishi Electric Ecodan +PUHZ-SW100	11,2	kW
<b>Lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho</b>			
	$\frac{\phi_{Lp}}{\phi_{Tila}} =$	1,0	
<b>Tilojen ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhde</b>			
	$\frac{Q_{tilat}}{Q_{LKV}} =$	4	
		4	<--taulukon max. suhde
<b>Lämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia</b>			
	$\frac{Q_{Lp}}{Q_{lämmitys,tilat,LKV}} =$	0,88	<-- talukosta luettu
<b>Tilojen lisälämmitysenergia</b>			
	$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} = \left(1 - \frac{Q_{Lp}}{Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}}\right) * Q_{tilat} =$	4,0704	GWh
	$Q_{\text{lisälämmitys,LKV}} = \left(1 - \frac{Q_{Lp}}{Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}}\right) * Q_{LKV} =$	1,0176	GWh
<b>Lämpöpumpun tuottama energia</b>			
	$Q_{Lp,\text{lämmitys,tilat}} =$	29,8496	GWh
	$Q_{Lp,\text{lämmitys,LKV}} =$	7,4624	GWh
<b>Lämpöpumpun sekä apulaitteiden sähkönkulutus</b>			
	$SFP_{tilat} =$	2,6	
	$SFP_{LKV} =$	2,3	
	$W_{Lp,\text{lämmitys}} =$	14,72514	GWh
<b>Yhteenveto</b>			
	Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia (sis. Tilat+lkv)	37,312	GWh
	Tarvittava lisälämmitysenergia (sis. Tilat+lkv)	5,088	GWh
	Lämpöpumpun sekä apulaitteiden sähköenergian kulutus	14,72514	GWh
	Yhteiskunnan sähköntarve	19,81314	GWh

<b>Referenssikaupungin tuotantorakenne 1</b>				
Pääpolttoaine hake				
vara ja huippulämpökeskukset raskaspolttoöljykäyttöisiä				
<b>CHP</b>			Hyötysuhde	90,00 %
Polttoaine			Hake	
tyyppi			Vastapainevoimalaitos	
Polttoaineteho			88 MW	
sähköteho			26,4 MW	30,00 %
lämpöteho			52,8 MW	60,00 %
<b>Päälämpökeskus</b>				90,00 %
Polttoaine			Hake	90,00 %
Tyyppi			Leijukerros-/arinapoltto	
Polttoaineteho			25,2 MW	
<b>Lämpökeskukset</b>				
Polttoaine			POR	90,00 %
Tyyppi			Kuumavesikattilalaitos	
Polttoaineteho				
LK1			7,0 MW	
LK2			10 MW	
Vara 1			5 MW	
Vara 2			10 MW	
Vara 3			15 MW	
<b>Vuotuiset käyttötunnit</b>				
CHP			3606 h	
Päälämpökeskus			1440 h	
Lämpökeskukset			170 h	
<b>Vuotuinen energian tarve</b>				
Vuotuinen lämpöenergian tarve			211,2 GWh	
Vuotuinen sähköenergian tarve			85,68 GWh	
			Teho %	Kok.energia (GWh)
				Lämpöenergia (GWh)
				Sähköenergia (GWh)
<b>Yhteistuotanto</b>				
CHP			100,00 %	317,3
175,2				95,20
<b>Lämmöntuotanto</b>				
Päälämpökeskus			100,00 %	36,288
Lämpökeskus 1			100,00 %	1,1934
Lämpökeskus 2			100,00 %	1,683
1,54836				
<b>Häviöt</b>				
Sähkön siirto- ja jakeluhäviöt			5,00 %	4,75992
Kaukolämpöverkoston lämpöhäviö			8,00 %	
KL-pumppaussähkö			1,9 GWh	1,9
Omakäyttösähkö			3,00 %	2,86
<b>Energiantuotanto yhteensä</b>				211,2
85,68				
<b>CO2-päästöt</b>			päästökerroin t/MWh	
			POR	0,283 t/MWh
			Hake	0 t/MWh
yht				<- uusiutuva
				814,0212 t/a

Referenssikaupungin tuotantorakenne 1, Malli 1				
Pääpolttoaine hake				
vara ja huippulämpökeskukset raskaspolttoöljykäyttöisiä				
CHP	Hyötysuhde		90,00 %	
Polttoaine	Hake/turve			
tyyppi	Vastapainevoimalaitos			
Polttoaineteho	88 MW			
sähköteho	26,4 MW		30,00 %	
lämpöteho	52,8 MW		60,00 %	
<b>Päälämpökeskus</b>				
Polttoaine	Hake/turve		90,00 %	
Tyyppi	Leijukeros-/arinapoltto			
Polttoaineteho	25,2 MW			
<b>Lämpökeskukset</b>				
Polttoaine	POR		90,00 %	
Tyyppi	Kuumavesikattilalaitos			
Polttoaineteho				
LK1	7,0 MW			
LK2	10 MW			
Vara 1				
Vara 2				
Vara 3				
<b>Vuotuiset käyttötunnit</b>				
CHP	3230 h			
Päälämpökeskus	1440 h			
Lämpökeskukset	170 h			
<b>Vuotuinen energian tarve</b>				
Vuotuinen lämpöenergian tarve	193 GWh			
Vuotuinen sähköenergian saanti CHP	76,6 GWh			
Todellinen sähköenergian tarve (sis. Lämpöpumppu)	96,0 GWh			
	Teho %	Kok.energia (GWh)	Lämpöenergia (GWh)	Sähköenergia (GWh)
<b>Yhteistuotanto</b>				
CHP	100,00 %	284,2	156,90048	85,27
<b>Lämmön tuotanto</b>				
Päälämpökeskus	100,00 %	36,288	33,38496	
Lämpökeskus 1	100,00 %	1,1934	1,097928	
Lämpökeskus 2	100,00 %	1,683	1,54836	
<b>Erillinen sähköntuotanto</b>				
Tyyppi	Lauhdustusvoimalaitos			
Polttoaine	kivihiili			
Sähköteho	66 MW			
käyttötunnit	800 h			
				sähköenergia (GWh)
				21,12
<b>Häviöt</b>				
Sähkön siirto- ja jakeluhäviöt	5,00 %			4,2636
Kaukolämpöverkoston lämpöhäviö	8,00 %			
KL-pumppaussähkö	1,9 GWh			1,9
Omakäyttösähkö	3,00 %			2,56
<b>Energiantuotanto lämpö+CHP-sähkö</b>			<b>193</b>	<b>76,55</b>
<b>Energiantuotanto sähkö</b>				<b>19,4304</b>
<b>Energiantuotanto yhteensä</b>			<b>193</b>	<b>96,0</b>
<b>CO2-päästöt</b>				
	päästökerroin t/MWh			
	Hake	0 t/MWh		<- uusiutuva
	POR	0,283 t/MWh		
yht	kivihiili	0,341 t/MWh		
		<b>8015,9412 t/a</b>		

Referenssikaupungin tuotantorakenne 1, Malli 2				
Pääpolttoaine hake				
vara ja huippulämpökeskukset raskaspolttoöljykäyttöisiä				
CHP			Hyötysuhde	90,00 %
Polttoaine			Hake/turve	
tyyppi			Vastapainevoimalaitos	
Polttoaineteho			88 MW	
sähköteho			26,4 MW	30,00 %
lämpöteho			52,8 MW	60,00 %
<b>Päälämpökeskus</b>				90,00 %
Polttoaine			Hake/turve	90,00 %
Tyyppi			Leijukeros-/arinapoltto	
Polttoaineteho			25,2 MW	
<b>Lämpökeskukset</b>				
Polttoaine			POR	90,00 %
Tyyppi			Kuumavesikattilalaitos	
Polttoaineteho				
LK1			7,0 MW	
LK2			10 MW	
Vara 1			5 MW	
Vara 2			10 MW	
Vara 3			15 MW	
<b>Vuotuiset käyttötunnit</b>				
CHP			2750 h	
Päälämpökeskus			1440 h	
Lämpökeskukset			170 h	
<b>Vuotuinen energian tarve</b>				
Vuotuinen lämpöenergian tarve			170 GWh	
Vuotuinen sähköenergian saanti CHP			64,89 GWh	
Todellinen sähköenergian tarve (sis lämpöpumppu)			106,0 GWh	
			Teho %	Kok.energia (GWh)
				Lämpöenergia (GWh)
				Sähköenergia (GWh)
<b>Yhteistuotanto</b>				
CHP			100,00 %	242,0
				133,6
				72,60
<b>Lämmöntuotanto</b>				
Päälämpökeskus			100,00 %	36,288
Lämpökeskus 1			100,00 %	1,1934
Lämpökeskus 2			100,00 %	1,683
				33,38496
				1,097928
				1,54836
<b>Erillinen sähköntuotanto</b>			100,00 %	
Tyyppi			Lauhdustusvoimalaitos	
Polttoaine			kivihiili	
Sähköteho			66 MW	
käyttötunnit			1700 h	
				sähköenergia (GWh)
				44,88
<b>Häviöt</b>				
Sähkön siirto- ja jakeluhäviöt			5,00 %	3,63
Kaukolämpöverkoston lämpöhäviö			8,00 %	
KL-pumppaussähkö			1,9 GWh	1,9
Omakäyttösähkö			3,00 %	2,18
<b>Energiantuotanto lämpö+CHP-sähkö</b>				170
<b>Energiantuotanto erillinen sähkö</b>				41,2896
<b>Energiantuotanto yhteensä</b>				170
<b>CO2-päästöt</b>			päästökerroin t/MWh	
			Hake	0 t/MWh
			POR	0,283 t/MWh
			kivihiili	0,341 t/MWh
yht				16118,1012 t/a
				<- uusiutuva

<b>Referenssikaupungin tuotantorakenne 2</b>						
Pääpolttoaine hake/turve						
vara ja huippulämpökeskukset raskaspolttoöljykäyttöisiä						
<b>CHP</b>				Hyötysuhde	90,00 %	
Polttoaine				Hake/turve		
tyyppi				Vastapainevoimalaitos		
Polttaineteho				88 MW		
sähköteho				26,4 MW	30,00 %	
lämpöteho				52,8 MW	60,00 %	
<b>Päälämpökeskus</b>					90,00 %	
Polttoaine				Hake/turve	90,00 %	
Tyyppi				Leijukerros-/arinapoltto		
Polttaineteho				25,2 MW		
<b>Lämpökeskukset</b>						
Polttoaine				POR	90,00 %	
Tyyppi				Kuumavesikattilalaitos		
Polttaineteho						
LK1				7,0 MW		
LK2				10 MW		
Vara 1				5 MW		
Vara 2				10 MW		
Vara 3				15 MW		
<b>Vuotuiset käyttötunnit</b>						
CHP				3606 h		
Päälämpökeskus				1440 h		
Lämpökeskukset				170 h		
<b>Vuotuinen energian tarve</b>						
Vuotuinen lämpöenergian tarve				211,2 GWh		
Vuotuinen sähköenergian tarve				85,68 GWh		
				Teho %	Kok.energia (GWh)	Lämpöenergia (GWh)
						Sähköenergia (GWh)
<b>Yhteistuotanto</b>						
CHP				100,0 %	317,3	175,2
95,20						
<b>Lämmön tuotanto</b>						
Päälämpökeskus				100,0 %	36,288	33,38496
Lämpökeskus 1				100,0 %	1,1934	1,097928
Lämpökeskus 2				100,0 %	1,683	1,54836
<b>Häviöt</b>						
Sähkön siirto- ja jakeluhäviöt				5,00 %		4,75992
Kaukolämpöverkoston lämpöhäviö				8,00 %		
KL-pumppaussähkö				1,9 GWh		1,9
Omakäyttösähkö				3,00 %		2,86
<b>Energian tuotanto yhteensä</b>						
					211,2	85,68
<b>CO2-päästöt</b>				päästökerroin t/MWh		
				Turve	0,381 t/MWh	
				Hake	0 t/MWh	<- uusiutuva
				POR	0,283 t/MWh	
yht					68177,8692 t/a	

Referenssikaupungin tuotantorakenne 2, Malli1				
Pääpolttoaine haketurve				
vara ja huippulämpökeskukset raskaspolttoöljykäyttöisiä				
<b>CHP</b>				
Polttoaine		Hyötysuhde		90,00 %
tyyppi		Haketurve		
Polttoaineteho		Vastapainevoimalaitos		
sähkäteho		88 MW		
lämpöteho		26,4 MW		30,00 %
		52,8 MW		60,00 %
<b>Päälämpökeskus</b>				90,00 %
Polttoaine		Haketurve		90,00 %
Tyyppi		Leijukerros-larinalpolto		
Polttoaineteho		25,2 MW		
<b>Lämpökeskukset</b>				
Polttoaine		PQR		90,00 %
Tyyppi		Kuumavesikattilalaitos		
Polttoaineteho				
LK1		7,0 MW		
LK2		10 MW		
Vara 1				
Vara 2				
Vara 3				
<b>Vuotuiset käyttötunnit</b>				
CHP		3230 h		
Päälämpökeskus		1440 h		
Lämpökeskukset		170 h		
<b>Vuotuinen energian tarve</b>				
Vuotuinen lämpöenergian tarve		193 GWh		
Vuotuinen sähköenergian saanti CHP		76,6 GWh		10,3 <-LP, sähkö
Todellinen sähköenergian tarve (sis. Lämpöpumppu)		96,0 GWh		
		Teho %	Kok.energia (GWh)	Lämpöenergia (GWh)
				Sähköenergia (GWh)
<b>Yhteistuotanto</b>				
CHP		100,0 %	284,2	156,90048
85,27				
<b>Lämmöntuotanto</b>				
Päälämpökeskus		100,0 %	36,288	33,38496
Lämpökeskus 1		100,0 %	1,1934	1,097928
Lämpökeskus 2		100,0 %	1,683	1,54836
<b>Erillinen sähköntuotanto</b>		100,0 %		
Tyyppi		Lauhdustusvoimalaitos		
Polttoaine		kivihiili		
Sähkäteho		66 MW		
käyttötunnit		800 h		
				sähköenergia (GWh)
				21,12
<b>Häviöt</b>				
Sähkön siirto- ja jakeluhäviöt		5,00 %		4,2636
Kaukolämpöverkoston lämpöhäviö		8,00 %		
KL-pumppaussähkö		1,9 GWh		1,9
Omakäyttö-sähkö		3,00 %		2,56
<b>Energiantuotanto lämpö+CHP-sähkö</b>				193
<b>Energiantuotanto erillinen sähkö</b>				19,4304
<b>Energiantuotanto yhteensä</b>				193
<b>CO2-päästöt</b>		päästökertoimen t/MWh		
Hake		0 t/MWh		<- uusiutuva
Turve		0,381 t/MWh		
PQR		0,283 t/MWh		
yht		kivihiili		0,341 t/MWh
				69076,5252 t/a

<b>Referenssikaupungin tuotantorakenne 2, Malli 2</b>				
Pääpolttoaine haketurve				
vara ja huippulämpökeskukset raskaspolttoöljykäyttöisiä				
<b>CHP</b>				
Polttoaine		Hyötysuhde	90,00 %	
tyyppi		Haketurve		
Polttoaineteho		Vastapainevoimalaitos		
sähkäteho		88 MW		
lämpöteho		26,4 MW	30,00 %	
		52,8 MW	60,00 %	
<b>Päälämpökeskus</b>			90,00 %	
Polttoaine		Haketurve	90,00 %	
Tyyppi		Leijukerros-läinapoltto		
Polttoaineteho		25,2 MW		
<b>Lämpökeskukset</b>				
Polttoaine		POR	90,00 %	
Tyyppi		Kuumavesikattilalaitos		
Polttoaineteho				
LK1		7,0 MW		
LK2		10 MW		
Vara 1		5 MW		
Vara 2		10 MW		
Vara 3		15 MW		
<b>Vuotuiset käyttötunnit</b>				
CHP		2750 h		
Päälämpökeskus		1440 h		
Lämpökeskukset		170 h		
<b>Vuotuinen energian tarve</b>				
Vuotuinen lämpöenergian tarve		170 GWh		
Vuotuinen sähköenergian saanti CHP+lauhde		64,89 GWh		
Todellinen sähköenergian tarve (sis lämpöpumppu)		106,0 GWh		
		Teho %	Kok.energia (GWh)	Lämpöenergia (GWh)
				Sähköenergia (GWh)
<b>Yhteistuotanto</b>				
CHP		100,0 %	242	133,6
				72,60
<b>Lämmön tuotanto</b>				
Päälämpökeskus		100,0 %	36,288	33,38496
Lämpökeskus 1		100,0 %	1,1934	1,097928
Lämpökeskus 2		100,0 %	1,683	1,54836
<b>Erillinen sähköntuotanto</b>		100,0 %		
Tyyppi		Lauhdustusvoimalaitos		
Polttoaine		kiivihiili		
Sähkäteho		66 MW		
käyttötunnit		1700 h		
				Sähköenergia (GWh)
				44,88
<b>Häviöt</b>				
Sähkön siirto- ja jakeluhäviöt		5,00 %		3,63
Kaukolämpöverkoston lämpöhäviö		8,00 %		
KL-pumppaussähkö		1,9 GWh		1,9
Omakäyttösähkö		3,00 %		2,18
<b>Energian tuotanto yhteensä</b>				<b>169,6</b>
<b>Energiantuotanto erillinen sähkö</b>				<b>64,89</b>
<b>Energiantuotanto yhteensä</b>				<b>41,2896</b>
<b>CO2-päästöt</b>		päästökerroin #MWh		<b>170</b>
		Hake	0 #MWh	<- uusiutuva
		Turve	0,381 #MWh	
		POR	0,283 #MWh	
		kiivihiili	0,341 #MWh	
yht			<b>69131,9652</b> t/a	



