

Jonna Mäkiollitervo

KAUKOLÄMMÖN PALUUVEDEN ENERGIAA HYÖDYNTÄVÄ LÄMPÖPUMPPU- LAITOS

Kannattavuus energiayhtiön näkökulmasta

KAUKOLÄMMÖN PALUUVEDEN ENERGIAA HYÖDYNTÄVÄ LÄMPÖPUMPPU- LAITOS

Kannattavuus energiayhtiön näkökulmasta

Jonna Mäkiollitervo
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Energiatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikka

Tekijä: Jonna Mäkiollitervo

Opinnäytetyön nimi: Kaukolämmön paluuveden energiaa hyödyntävä lämpöpumppulaitos

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Heat pump that utilize district heating return energy

Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 37 + 4 liitettä

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Oulun Energia Oy. Työn tarkoituksena on selvittää vuonna 2020 valmistuneeseen kerrostaloon asennetun hybridilämmitysjärjestelmän kannattavuutta energiyhtiön näkökulmasta. Käsiteltävä hybridijärjestelmä ottaa lämmitysenergiaa kaukolämmön paluuvdestä, josta se johdetaan keruupiiriä pitkin lämpöpumpulle lämmitettäväksi. Väliottokytkenästä, joka hyödyntää kaukolämmön paluuvettä käytetään laitevalmistajan nimitystä DHAC.

Kiinteistö ja sen hybridilämmitysjärjestelmä on osa Making City -hanketta. Hanke on EU Horizon 2020 -ohjelmaan kuuluva ja sen tarkoituksena on edistää rakennuksien ja kaupunkien energiaomavaraisuutta, muun muassa hukkalämpöjä hyödyntämällä. Oulussa hankkeeseen kuuluu Kaukovai-
nion kaupunginosa. Hankkeeseen kuuluvien rakennusten lämmitys tuotetaan esimerkiksi erilaisilla lämpöpumppujärjestelmillä. Kyseisen kohteen hybridijärjestelmä on osaksi Oulun Energia Oy:n investoima.

Kannattavuuslaskelmat tehtiin vuositasolla ja tarkasteluajankohtana oli 1.1.2021 - 31.12.2021, jolloin järjestelmä on otettu täysin käyttöön. Työssä selvitettiin kulutetun kaukolämmön, hukkalämmöistä saadun energian ja lämpöpumpun käyttämän sähkön pohjalta järjestelmän kokonaiskannattavuutta.

Kannattavuutta tutkittiin erilaisilla kannattavuuslaskenta menetelmillä. Laskelmista selvisi muun muassa lämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika. Mahdollisten hintojen nousun varalta laskelmissa käytettiin herkkyysanalyysiä. Kannattavuutta tutkittiin neljän skenaarion pohjalta, sillä paluue-
nergian jäähtymän tuoton arviointiin käytettiin neljää erilaista laskentavaihtoehtoa. Työssä todettiin, että järjestelmä on kannattava kaikilla investointilaskentamenetelmillä. Järjestelmän takaisinmaksuajaksi tuli noin 7 vuotta.

Työssä perehdyttiin myös hyötyihin, joita paremmasta paluuveden jäähtymästä seuraa. Tämä kuitenkin vaatisi työn kaltaisia kohteita eri puolille kaukolämpöverkostoa. Hyötyjä saataisiin muun muassa kaukolämpöverkoston virtaaman pienenemisenä sekä vähempinä lämpöhäviöinä. Vaikutuksia olisi myös kaukolämmön kysyntäjousto-
on sekä lämmöntuotantoon. Lämmöntuotannossa savukaasupesureiden käyttö tehostuu suuremman jäähtymän ansiosta, jolloin hukkalämpöjä saadaan enemmän talteen.

Asiasanat: kaukolämpö, hybridijärjestelmä, lämmönjakelu, lämpöpumppu, hukkalämpö, kestävä kehitys

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TYÖN LÄHTÖTIEDOT	7
	2.1 Kiinteistön lähtötiedot	7
	2.2 Making City -hanke.....	7
3	KAUKOLÄMMÖSTÄ	9
4	KOHTEEN HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄ	11
	4.1 Kaukolämmön paluuveden energian hyödyntäminen	11
	4.2 Lämpöpumppu ja lämmityspiiri	13
	4.3 Käyttöveden lämmitys	14
5	SAVUKAASUPESURIT	15
6	ENERGIAYHTIÖN KANNATTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	17
7	HYBRIDIJÄRJESTELMÄN VAIKUTUS ENERGIANTUOTANTOON	18
	7.1 Hybridijärjestelmän hyödyt kaukolämpöverkostossa	18
	7.2 Vaikutus kaukolämmön kysyntäjouktoon	18
	7.3 Hybridijärjestelmän vaikutus savukaasupesureiden toimintaan.....	19
8	HYBRIDIJÄRJESTELMÄN VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEN JAKAUTUMISEEN	20
9	HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄSTÄ SYNTYVÄT TUOTOT JA KUSTANNUKSET	22
	9.1 Tuotot	22
	9.1.1 Kaukolämmön tuotot	22
	9.1.2 Lämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian tuotot	23
	9.1.3 Paluuenergian jäähtymän tuotto	23
	9.2 Kulut	24
	9.3 Kumulatiivinen tulos	25
10	JÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUDEN TARKASTELU	27
	10.1 Takaisinmaksuaika	27
	10.2 Nettonykyarvomenetelmä	27
	10.3 Annuiteettimenetelmä	28
	10.4 Sisäinen korkokanta	29
	10.5 Vertailu	30
	10.6 Herkkyysanalyysi	31
11	YHTEENVETO	32

LÄHTEET.....	34
LIITTEET	37

1 JOHDANTO

Tässä työssä perehdytään asuinkerrostalon hybridilämmitysjärjestelmän toimintaan energiayhtiön näkökulmasta. Työssä tarkastellaan, miten kaukolämmön paluuedestä saatavaa energiaa voidaan hyödyntää rakennuksen ja sen käyttöveden lämmityksessä. Kaukolämmön jälkijäähdytyksestä voidaan käyttää termiä DHAC, joka tulee nimityksestä District Heating After Cooling. Kyseinen hybridijärjestelmä on ensimmäisiä Suomessa. Järjestelmän toimintaa selvitetään Fiksu-ohjauksijärjestelmästä ja toimeksiantajalta saatujen tietojen avulla.

Työn toimeksiantaja on Oulun Energia Oy. Työn kohteena olevaan kerrostaloon asennettu hybridijärjestelmä on osa EU:n Horizon 2020 -ohjelman Making City -hanketta, jossa Oulun Energia Oy on mukana. Hybridijärjestelmän toimittajana on HögforsGST Oy, joka on suomalainen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien toimittaja. Työn tavoitteena on tuottaa hyödyllistä tietoa hybridilämmitysjärjestelmän kannattavuudesta toimeksiantajalle.

Oulun Energia on vuonna 1889 perustettu oululainen energiantuotannon yritys, jonka perustana on sähköverkko- ja lämpöpalvelut. Sähköverkko- ja kaukolämpöpalveluiden lisäksi yrityksellä on kiertotalouspalveluita. Yrityksen tavoitteena on kehittää energiatehokkaita sekä älykkäitä energiaratkaisuja tulevaisuuden tarpeisiin. Oulun Energia Oy:n päämääränä on saavuttaa täysi hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä. Oulun Energia -konserniin kuuluvat emoyhtiön Oulun Energia Oy lisäksi Turveruukki, Oulun Energia Sähköverkko Oy ja Huoltovoima Oy. (1.)

EU:n energia- ja ilmastopolitiikkaan kuuluu energiatehokkuuden edistäminen. Sen tavoitteena on hiilidioksidipäästöjen ja energiankulutuksen pienentäminen. Energiatehokkuuden edistämällä pyritään myös turvaamaan energian saatavuus ja tuontienergian määrän vähentäminen. Näin saadaan aikaan kustannussäästöjä, mutta myös uusiutuvan energian osuutta energian tuotannossa saadaan kasvatettua. Suomessa energiatehokkuutta edistetään muun muassa sähkön ja lämmön yhteistuotannolla, energiatehokkuussopimuksilla sekä järjestettävillä energiakatselmuksilla. (2.)

2 TYÖN LÄHTÖTIEDOT

2.1 Kiinteistön lähtötiedot

Opinnäytetyön kohteena on Oulun Kaukovainiolla sijaitseva kerrostaloyhtiö. Taloyhtiössä on yhteensä 43 asuntoa, joiden asuntokoot vaihtelevat 33–66 m² välillä. Rakennus on valmistunut vuonna 2020 ja se lämpenee perinteisen kaukolämmön lisäksi kaukolämmön paluuputkesta saatavan lämmitysenergian avulla, jota lämmitetään lämpöpumpulla kiinteistön tarpeisiin sopivaksi. Rakennuksessa on asuntojen lisäksi muun muassa irtaimistovarasto, ulkoiluvälinevarasto, tekniset tilat sekä kuivaushuone. Rakennuksessa on myös kaksi liiketilaa, jotka ovat kooltaan 41 ja 77,5 m². (3.)

2.2 Making City -hanke

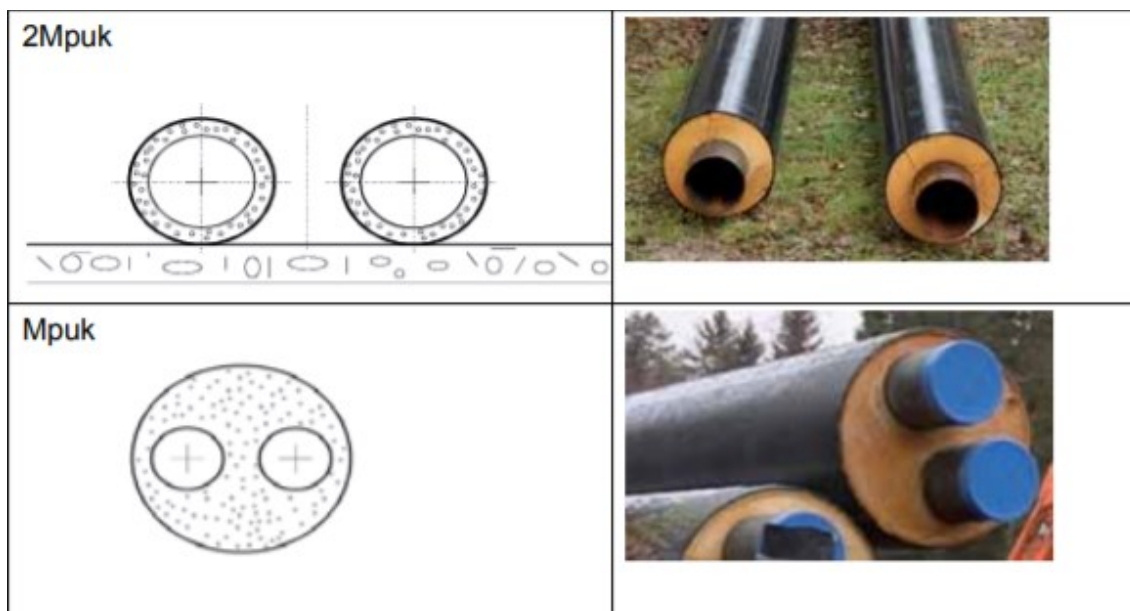
Opinnäytetyössä käsiteltävä kohde on osa Making City -hanketta. Hanke on Euroopan unionin Horizon 2020 -projektin Positive Energy District (PED) -konseptiin pohjautuva. Sen tavoitteena on suunnitella energiatehokkaita ja uudenlaisia energiajärjestelmiä. Hanke on aloitettu vuonna 2018 ja se kestää 60 kuukautta. Hankkeessa on mukana 8 kaupunkia eri puolilta Eurooppaa. (4.) Ohjelman tarkoituksena on selvittää uudenlaisten rakennuskokonaisuuksien energiaomavaraisuus, esimerkiksi hukkalämpöä hyödyntämällä (5).

Oulussa hanke toteutetaan Kaukovainion kaupunginosassa. Alueesta on tarkoitus saada lähes energiaomavarainen hukkalämmön ja uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämisen ansiosta. Alueen rakennuksien lämmittämiseen käytetään erilaisia lämpöpumppujärjestelmiä sekä hyödynnetään alueen ruokakaupan kylmäkoneista saatavaa lauhdelämpöä. (6.) Lämpöpumppujen energiasyötteenä voidaan käyttää esimerkiksi rakennuksen poistoilmasta saatavaa lämpöä tai tämän työn mukaisesti kaukolämmön paluuputkesta saatavaa lämpöenergiaa. Alla olevassa kuvassa 1 näkyy Kaukovainion PED-alueella olevien rakennusten sijainnit. Kuvan vasemmassa ylä laidassa oleva koulu on liittynyt hankkeeseen myöhemmässä vaiheessa.

3 KAUKOLÄMMÖSTÄ

Kaukolämmitystä pidetään hyvänä ja luotettavana lämmönjakelujärjestelmänä varsinkin laajoilla kaupunkialueilla. Kaukolämpövesi tuotetaan erilaisissa tuotantolaitoksissa ja lämpökeskuksissa, joista se pumpataan kaukolämmön menoputkea pitkin asiakkaille. Asiakkaan lämmönjakokeskuksissa lämpöenergia siirtyy lämmitysjärjestelmän kiertoveteen sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen. Jäähdyntynyt kaukolämpövesi palaa paluuputkea pitkin takaisin lämmöntuotantolaitokseen, jossa se lämmitetään uudelleen. (7, s.11.)

Kaukolämpöverkosto koostuu meno- ja paluuputkesta ja ne asennetaan maahan yhdensuuntaisesti. Suomessa käytetään yleisesti polyuretaanieristeisiä kiinnivaahdotettuja putkia. Putkirakenteita on kahta tyyppiä: Mpuk ja 2Mpuk. Mpuk-rakenteessa yhden muovikuoren sisällä on kaksi teräksistä virtausputkea eli meno- ja paluuputket ovat saman kuoren sisällä. 2Mpuk vastaavasti tarkoittaa kahta erillistä muovikuorellista putkea, joiden sisällä on yksi virtausputki. (7, s.58.) Yleisesti Mpuk-rakennetta käytetään talo- ja jakelujohdoissa ja 2Mpuk-rakennetta suuremmissa runkolinjoissa. Kuvassa 2 on havainnollistettu Mpuk- ja 2Mpuk-putkirakenteet. Ylempänä kuvassa on 2Mpuk-rakenne ja alempana Mpuk-rakenne.



KUVA 2. Mpuk ja 2Mpuk putkirakenteet (7, s. 57)

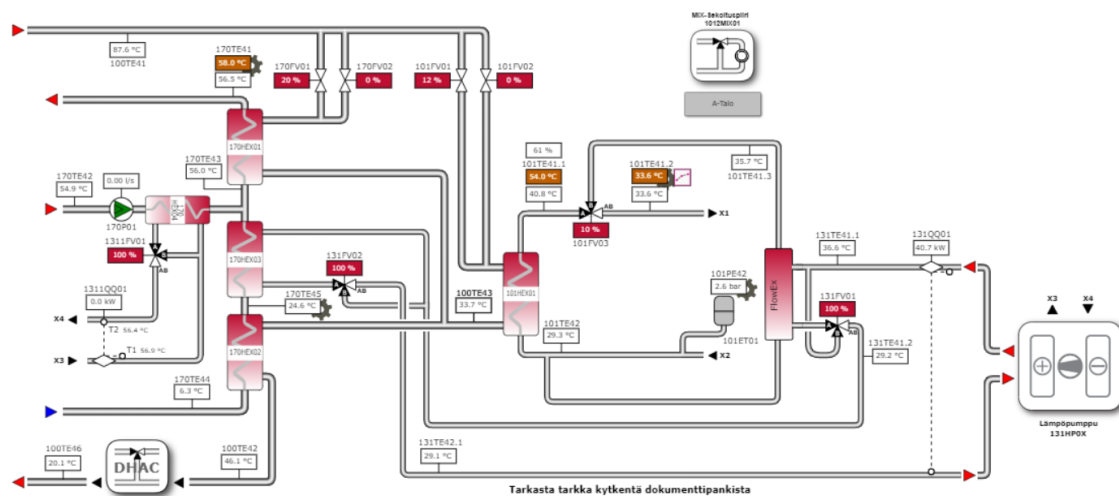
Kaukolämpöä tuotetaan erilaisissa sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa eli CHP-laitoksissa (combined heat and power) sekä lämpökeskuksissa. Kaukolämmön tuotannossa käytetään edelleen fossiilisia polttoaineita, mutta niiden määrä on vähentynyt viime vuosina huomattavasti. Vuonna 2020 uusiutuvien energialähteiden osuus oli lähes puolet (44 %) ja fossiilisten polttoaineiden sekä turpeen osuus oli 43 % tuotetun kaukolämmön määrästä. Uusiutuvien energianlähteiden lisäksi ylijäämälämpöjen hyödyntäminen on lisääntynyt suuresti, minkä vuoksi lämpöpumppuja ja savukaasupesureita käytetään lämmöntuotannossa yhä enemmän. Vuonna 2020 niiden osuus kaukolämmön tuotannosta oli 13,4 %. (8.)

Kaukolämpö mahdollistaa useamman erilaisen energiamuodon hyödyntämisen rakennuksien lämmityksessä. Tällaista lämmitysratkaisua kutsutaan hybridijärjestelmäksi. Hybridijärjestelmät vähentävät päästöjä ja tukevat kivihiilen käytön kieltävää lakia, joka astuu voimaan vuonna 2029. Tulevaisuudessa hukkalämpöjä pyritään hyödyntämään entistä enemmän. Esimerkiksi rakennus, joka tuottaa paljon hukkalämpöä voi käyttää sitä omassa lämmityksessä ja myydä ylijäämälämmön kaukolämpöverkkoon, jolloin sitä voidaan hyödyntää lähellä sijaitsevien asuintalojen lämmitykseen. (9.) Hybridijärjestelmissä kaukolämmön yhteyteen voidaan ottaa erilaisia lämmönlähteitä. Tällaisia uusiutuvia lämmitysmuotoja voivat olla esimerkiksi maalämpö, lämmöntalteenottojärjestelmät tai ilmalämpö. (10.)

4 KOHTEEN HYBRIDLÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

Kohteessa on HögforsGST:n toimittama HybridHEAT-lämmitysjärjestelmä. Kyseinen lämmitysjärjestelmä mahdollistaa useiden erilaisten lämmönlähteiden yhdistämisen yhdeksi kokonaisuudeksi. HybridHEAT-järjestelmä vastaa lämmitysenergian siirrostä kiinteistön lämmitysverkkoon ja tarvittaessa lämpimän käyttöveden lämmityksestä. Tässä kohteessa suurin osa lämpimästä käyttövedestä tuotetaan hyödyntämällä kaukolämmön menoveden lämmitysenergiaa. (10.)

Lämmitysjärjestelmää voidaan säätää sekä ohjata etänä Fiksu-ohjausjärjestelmän välityksellä. Fiksu-järjestelmä on selainpohjainen ohjelma ja se yhdistää kaikki hybridijärjestelmän laitteet yhden käyttöliittymän alle. Ohjausjärjestelmä tuottaa esimerkiksi energiansäästöä ja lämmityksen toiminnasta erilaisia raportteja, joista lämmitysjärjestelmän toimintaa on helppo seurata. (11.) Alla olevassa kuvassa 3 näkyy kohteen HybridHEAT-järjestelmän automaatiokaavio.

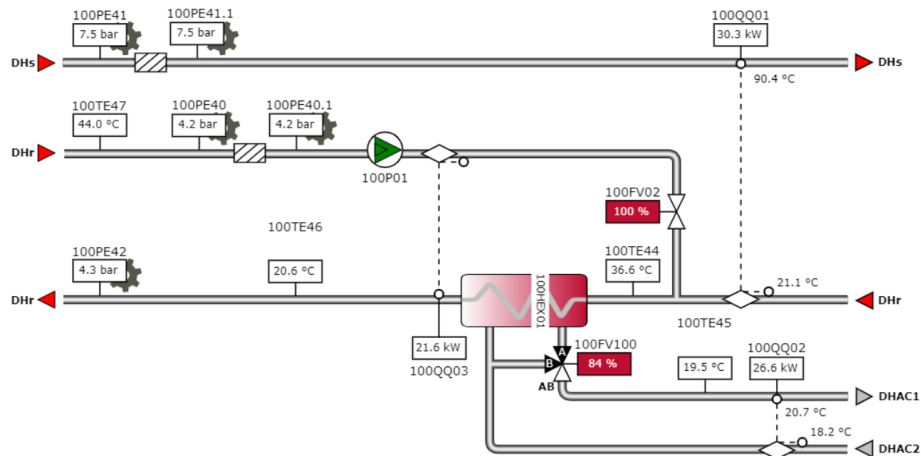


KUVA 3. Kohteen automaatiokaavio Fiksu-ohjausjärjestelmän näkömängstä (12)

4.1 Kaukolämmön paluueden energian hyödyntäminen

Kohteessa hyödynnetään kaukolämmön paluuedergiaa väliottokytkenällä, DHAC-järjestelmän avulla. Tämä ratkaisu vähentää kiinteistön ulkopuolelta tuotavan ostoenergian määrää ja edistää hukkalämpöjen hyödyntämistä. Myös lämmöntuottaja saa hyötyä kaukolämmön paluueden jää-

tymän paranemisen ansiosta. Ratkaisu hyödyntää lämpöpumpputeknologiaa, jonka avulla lämpöenergia saadaan ohjattua kaukolämmön paluuedestä takaisin kiinteistön lämmityskäyttöön. (13.) Alla olevassa kuvassa 4 on havainnollistettu kohteen DHAC-järjestelmän toiminta Fiksu-ohjausjärjestelmästä.



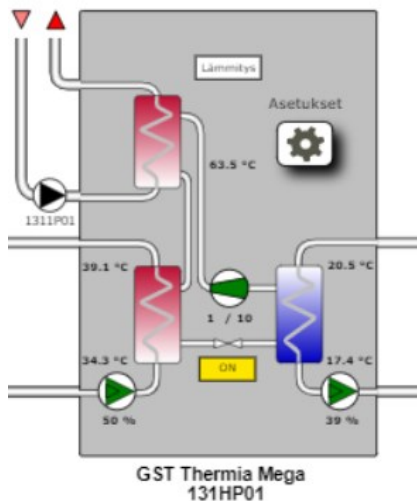
KUVA 4. Kohteen DHAC-järjestelmä (12)

Kohteeseen on rakennettu kaukolämmön paluupuolelle perinteisestä kaukolämmöstä poiketen kolme paluuputkea. Putkista kaksi on liitetty kaukolämmön runkolinjan paluuputkeen ja kolmas putki on liitetty rungosta lähtevään jakelujohtoon, johon on liitetty myös muita asuinkerrostaloja. Kolmas putki ei kuitenkaan ole välttämätön hybridijärjestelmän toiminnan kannalta. Kuvassa 4 vasemmalla näkyvän keskimmäisen DHR-putki kuljettaa runkolinjan paluuputkesta jäähtynyttä kaukolämpövedettä rakennukseen ja siitä saatua lämmitysenergiaa voidaan lämpöpumpulla lämmittämällä hyödyntää kiinteistön ja käyttöveden lämmityksessä.

Lämmönsiirrin 100HEX01 siirtää paluuedestä saatavaa lämpöenergiaa lämpöpumpun keruupiiriin. Keruupiiriin otettavaa energian virtausta säädetään 100FV100-kolmitieventtiilin välityksellä. Kuvan alimmainen putki toimii paluuputkena, joka kuljettaa jäähtyneen lämmitysveden rakennukselta takaisin kaukolämpöverkoston. Putki, joka on merkitty DHs-lyhenteellä, toimii perinteisen kaukolämpöjärjestelmän menoputkena. Siinä kulkevaa kuumaa kaukolämpövedettä voidaan käyttää lämpimän käyttöveden lämmitykseen sekä tarvittaessa rakennuksen lämmittämiseen. (12.)

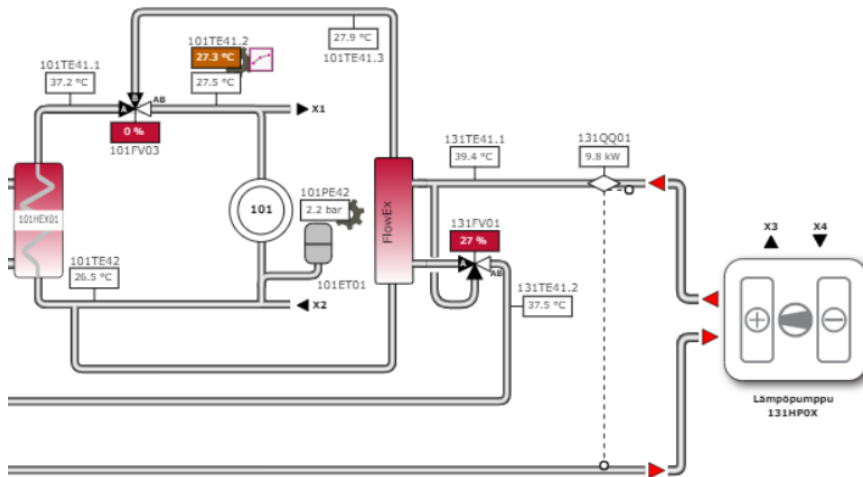
4.2 Lämpöpumppu ja lämmityspiiri

Kiinteistössä on HybridHEAT-järjestelmän lisäksi Thermia Mega L -lämpöpumppu. Lämpöpumpussa oleva höyrystin ottaa energiaa lämmönkeruunesteestä. Lämpöpumpussa tapahtuu lämpöpumppprosessi, jonka tuloksena syntyy lämpöä. Tuotettu lämpö siirtyy lauhduttimen kautta rakennuksen lämmityspiiriin. Yleisesti vesikiertoisen lattialämmityksen menoveden lämpötila on enintään 50 °C. Lämpöpumpun tuottama teho saadaan säädettyä keruupiirin ja lämmityspiirin virtaamalla. (12.) Kohteen lämpöpumppu on tarkoituksella suurempi kuin kohde vaatii, sillä sen lämmitystehoa voidaan hyödyntää tulevaisuudessa viereisessä taloyhtiössä (14). Lämpöpumpun toimintaa voidaan seurata ja säätää kuvassa 5 näkyvän Fiksu-ohjausjärjestelmän näkymän kautta.



KUVA 5. Kohteen lämpöpumppu Fiksu-ohjausjärjestelmästä (12)

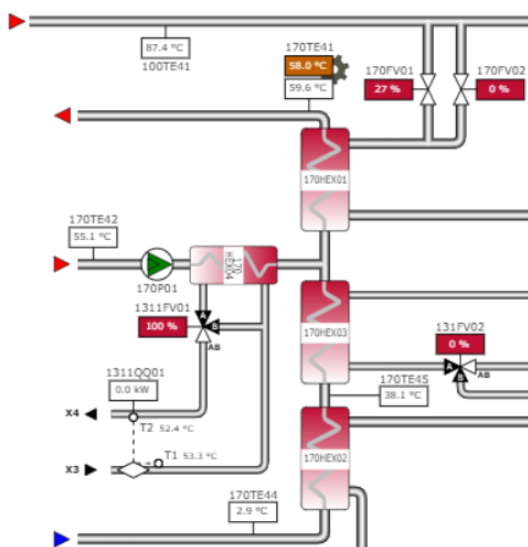
Lämmityspiirissä kulkee lämpöpumpulta saatava lämmitysenergia. Lämmitysenergia kulkee lämmityspiiriä pitkin kiinteistön vesikiertoiseen lattialämmitykseen ja tarvittaessa lämpimän käyttöveden piiriin. Järjestelmän paluupuolella on 750 litran puskurivaraaja. Tarvittaessa lämmitykseen saadaan lisätehoa kaukolämmön menupuolelta avaamalla 101FV01- tai 101FV02-venttiili. Tällöin lämmin kaukolämpövesi kulkeutuu 101HEX01-lämmönsiirtimen kautta kiinteistön lämmityspiiriin. (12.) Järjestelmän tavoitteena on kuitenkin tuottaa suurin osa lämmitysenergiasta lämpöpumpulla. Kuvassa 6 on järjestelmän lämmityspiiri.



KUVA 6. Järjestelmän lämmityspiiri (12)

4.3 Käyttöveden lämmitys

Kiinteistön lämmin käyttövesi lämmitetään pääosin kaukolämpöverkosta tulevan menoveden avulla. Kaukolämmön menovesi ohjataan venttiiliin 170FV01 ja tarvittaessa viereisen venttiiliin 170FV02 läpi kuvassa 7 näkyvälle lämmönsiirtimelle 170HEX01. Käyttövettä voidaan lämmittää myös lämpöpumpun tulistuksenpoistosiirtimessä. Tällöin lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimelle ohjataan haluttu virtaama 1311FV01-kolmitieventtiilillä. Lisäksi käyttövettä voidaan esilämmittää ylimääräisellä lämpöenergialla ohjaamalla vesi 131FV02-venttiiliin kautta 170HEX03-lämmönsiirtimelle. (12.)

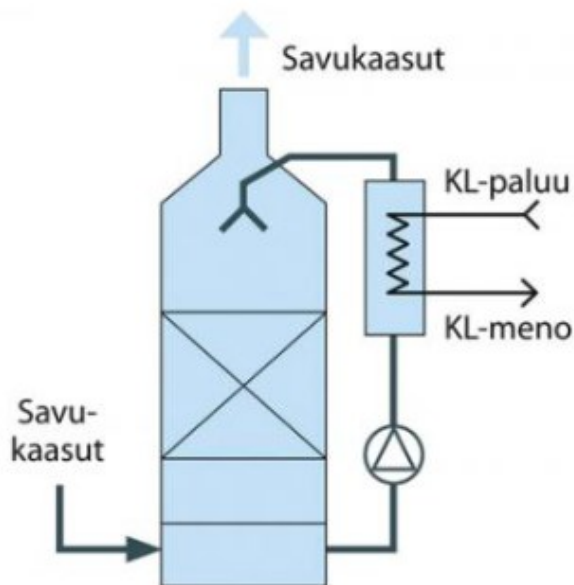


KUVA 7. Käyttöveden lämmitys (12)

5 SAVUKAASUPESURIT

Savukaasupesurit ovat palamisen tuloksena syntyneiden savukaasujen puhdistukseen tarkoitettuja laitteita. Savukaasupesurit erottelevat yleensä hiukkasia, vetyklorideja, raskasmetalleja sekä rikki-dioksiedeja. Savukaasupesureita käytetään savukaasujen puhdistuksen lisäksi lämmöntuotannossa hukkalämpöjentalteenottajana. Hukkalämpöjä pyritään hyödyntämään lämmöntuotannossa nykyään yhä enemmän. Oikein käytettynä savukaasupesurilla voidaan saada parannuksia energiantuotantolaitoksen energiatehokkuuteen sekä tuotantokapasiteettiin. (15, s. 6–7.) Hybridijärjestelmät ja niiden myötä mahdollisesti matalammat kaukolämmön paluulämpötilat tehostavat pesurin toimintaa.

Savukaasupesurien toimintaperiaate perustuu kahteen prosessivaiheeseen. Kuvassa 8 on yksinkertaistettuna savukaasupesurin toimintaperiaate.



KUVA 8. Savukaasupesurin yksinkertaistettu toimintaperiaate (15, s.8)

Ensimmäisessä vaiheessa savukaasut ajetaan sisään pesurin alaosasta, jossa suurin osa pienihiukkasista poistetaan pesurin yläosasta suihkutettavalla pesuveudellä. Pesuveuden happamuutta voidaan säätää kemiallisesti natriumhydroksidilla. Likainen pesuvesi kuljetetaan jäteveden käsittelyyn ja pesurin vesi korvataan puhtaalla vedellä. Pesuvaiheessa savukaasut jäähtyvät märkälämpötilaan eli noin 60–70 °C:seen. (15, s.7–8.)

Seuraavassa vaiheessa savukaasut siirtyvät lämmönsiirtopinnoille eli täytekappalekerroksiin, joita on yleensä yhdestä kahteen kerrosta. Tässä vaiheessa vesihöyry lauhtuu vedeksi ja valuu pesurin alaosaan kiertonesteen mukana. Alaosasta se johdetaan lämmönsiirtimelle, jossa hukkalämmöt otetaan talteen. Lämmönsiirtimeltä talteen otettua lämpöä voidaan hyödyntää kaukolämpöverkossa. Puhdistetut savukaasut ajetaan ulos pesurin yläpäässä olevasta savupiipusta. (15, s. 7–8.)

6 ENERGIAYHTIÖN KANNATTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Energiayhtiön liiketoiminnan kannattavuuteen vaikuttavat useat tekijät. Kustannukset voidaan jakaa kolmeen osaan: pääomakustannukset, kiinteät hoito- ja käyttökustannukset sekä muuttuvat kustannukset. Kaukolämpöyhtiöllä suuri osa pääomakustannuksista syntyy kaukolämpöverkon rakentamisesta aiheutuvista kustannuksista, esimerkiksi putkimateriaaleista sekä tarvittavista putki- ja maanrakennustöistä. Pääomakustannuksiin luetaan myös voimalaitokset ja lämpölaitokset, pumppaamot sekä muista rakennuksista ja tuotannollisista koneista tulevat kustannukset. Muut liiketoiminnan kulut, kuten esimerkiksi henkilöstökulut, käyttö- ja kunnossapito sekä mahdolliset vuokrat voidaan laskea kiinteisiin hoito- ja käyttökuluihin. Näiden lisäksi energiayhtiölle tulee muuttuvia kustannuksia, joihin voidaan lukea energian hankinta kuten ostettavat polttoaineet, päästöoikeudet, tuotanto- ja polttoaineverot sekä ostosähkön määrä. Tarvittavaan ostosähkön määrään vaikuttavat suuresti muun muassa sähkökäyttöisen pumppauksen ja omakäytösähkön tarve. Henkilökunnan tuntipalkat lasketaan yleensä muuttuviin kustannuksiin, kun taas kuukausipalkat kiinteisiin kustannuksiin. (16, s.12.)

Kaukolämpö on pääsääntöisesti pääomavaltainen energiamuoto. Siitä johtuen investoinnit kaukolämpöverkoston sekä laitoksiin näkyvät hinnoittelussa. Energiayhtiön tärkeimpiä tuottoja ovat myyntituotot. Myyntituottoa saadaan muun muassa asiakkailta perittävistä perus- ja energiamak-suista, erilaisista yhtiön tarjoamista lisäpalveluista ja liittymämaksuista. Säästöjä energiayhtiö saa esimerkiksi päästökaupoista ja erilaisista hybridiratkaisuista, joiden avulla hukkalämpöjä voidaan hyödyntää lämmöntuotannossa. (17; 16, s.12.)

Säästöpotentiaalilla on vaikutusta yhtiön kannattavuuteen ja kustannuksiin. Parempi käyttövarmuus ja toiminta edistävät säästöpotentiaalia, sillä vähäisemmät lämpöhäviöt verkostossa tuovat säästöä. Ennakoivalla kunnossapidolla on iso merkitys verkoston sekä laitosten toimintaan ja sillä voidaan minimoida vioista johtuvat tuotannon menetykset. Säästöpotentiaalia voivat tuoda investointien suuruudesta riippuen uusiutuvien energianlähteiden ja hukkalämpöjen hyödyntäminen, laitosten paremmat hyötysuhteet, pienemmät savukaasuhäviöt sekä vähäisempi polttoainehävikki. (16, s. 12.)

7 HYBRIDIJÄRJESTELMÄN VAIKUTUS ENERGIANTUOTANTOON

7.1 Hybridijärjestelmän hyödyt kaukolämpöverkostossa

Perinteisen kaukolämpöjärjestelmän menoveden lämpötila vaihtelee ulkolämpötilan mukaan 65 °C:n ja 115 °C:n välillä. Kuuma kaukolämpövesi siirretään lämmönjakokeskukseen. Lämmönjakokeskuksessa lämpö siirtyy lämmönsiirrinten välityksellä vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään ja lämpimään käyttöveteen. Jäähtynyt kaukolämpövesi, jonka lämpötila on 40–60 °C, palaa lämmönjakokeskuksesta takaisin kaukolämpöverkoston. (18.) Matalampi lämpötilaero ei kuitenkaan ole kovin kannattavaa, sillä suuremmalla lämpötilaerolla saadaan muutoksia kaukolämpöverkoston siirtokapasiteettiin ja lämmöntuotannon tehoon. DHAC-järjestelmällä paluueden lämpötila saadaan laskettua parhaimmillaan noin 20 °C:seen. Jotta hybridiratkaisusta saatavat hyödyt olisivat mahdollisimman kannattavia, edellyttää se useampia tämän työn kaltaisia hybridijärjestelmiä eri puolille kaukolämpöverkostoa. (13.)

Matalampi paluueden lämpötila tuo useita hyötyjä kaukolämpöjärjestelmään. Suuri hyöty on lämpöhäviöiden väheneminen, sillä putkiston ja sitä ympäröivän maan lämpötilaero on pienempi. Paremman jäähtymän seurauksena kaukolämpöveden virtaama laskee, jolloin pumppauksen tarve vähenee. Pumput ovat sähkökäyttöisiä, joten sähkönkulutus pienenee. Matalampien lämpötilojen avulla myös CHP-laitosten hyötysuhteet kasvavat ja savukaasupesureiden käyttö tehostuu, jolloin niistä saatavat hyödyt kasvavat. (14.) Savukaasupesurista saatavaa hyötyä käytetään yhtenä tulonlähteenä tämän työn kannattavuuslaskelmissa.

7.2 Vaikutus kaukolämmön kysyntäjousto

Yleensä kaukolämmön kulutus vaihtelee lyhyellä aikavälillä päivärytmin mukaisesti ja vuositasolla ulkolämpötilan mukaan. Päivätasolla lämmöntarve on suurinta aamuisin, kun käyttöveden tarve on suurta sekä iltapäiväisin. Tällaiset kulutushuiput heikentävät kaukolämpöjärjestelmien tehokkuutta ja aiheuttavat lisäkustannuksia. (19, s.5.)

Kaukolämmön kysyntäjoustoissa lämpöenergiaa ei välttämättä säästy, mutta tarkoituksena on siirtää lämmönkulutusta optimaaliseksi kaukolämpöjärjestelmän kannalta. Tämä tarkoittaa esimerkiksi

sitä, että kaukolämpöasiakkaita ohjataan käyttämään lämpöenergiaa yöaikana erilaisten automaattisten ohjausjärjestelmien avulla. Näin lämpöä saadaan varastoitua rakennukseen, jolloin aamuhuipun aikana lämpöenergian tarve pienenee. Kun kysyntää saadaan ohjattua suurelle asiakasmäärälle, kaukolämmön tuotannon optimointi mahdollistuu. (19, s.5.) Tällainen kysynnän ohjaus vaatii tarkoituksenmukaista automaatiota talotekniikassa toimiakseen oikein. Automatisoiduilla hybridilämmitysratkaisuilla voidaan edistää kaukolämmön kysyntäjoustoa.

Kysyntäjoustolla kulutushuippuja saadaan tasattua, mikä vähentää esimerkiksi huipputuotantoon tarkoitettujen kalliiden öljykattiloiden käyttöä ja rakentamista. Kun huipputuotanto saadaan siirrettyä perustuotantoon ympäristöhaitat pienenevät sekä energiantuotannon taloudellisuus paranee. Toimivalla kysyntäjoustolla lämpökuormituksen ennustettavuus paranee, mikä vähentää kapasiteetin tarvetta niin kaukolämpöverkostossa kuin lämmöntuotannossa. (19, s.5.)

7.3 Hybridijärjestelmän vaikutus savukaasupesureiden toimintaan

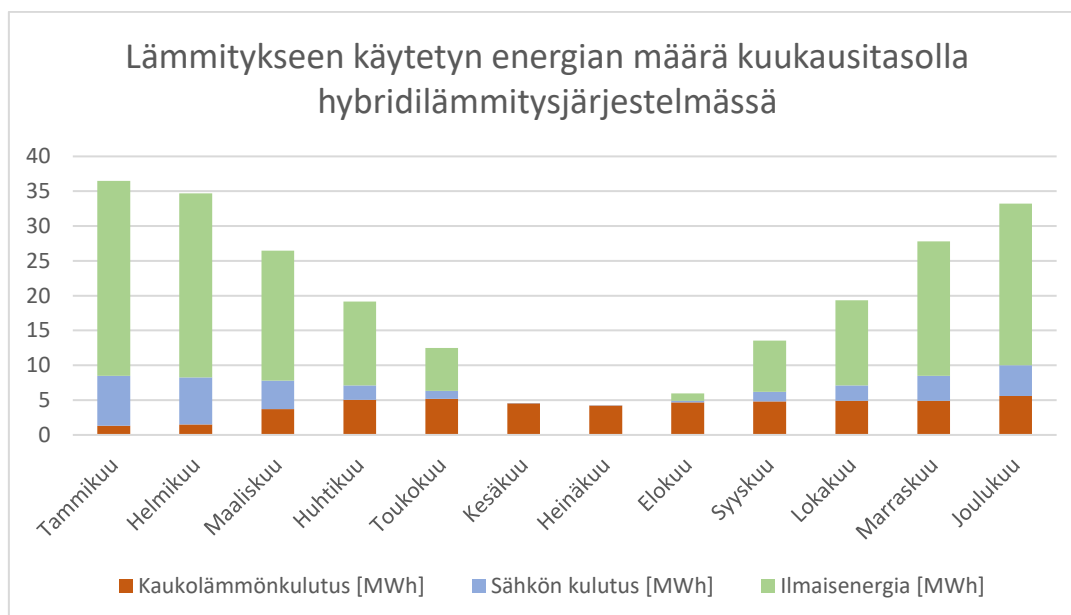
Paremmän jäähtymän ansiosta energiantuotantolaitosten savukaasupesureiden toiminta tehostuu. Toiminnan tehostuessa savukaasuista saadaan lämmönsiirtimien avulla enemmän talteen hukkalämpöä, jota voidaan hyödyntää lämmöntuotannossa. (14.) Kastepistelämpötilan alittuminen on olennaisessa osassa savukaasupesurin toimintaa. Jos paluuveden lämpötila olisi 60 °C, olisi savukaasujen loppulämpötila noin 63 °C. Pesuri nostaa savukaasujen loppulämpötilaa 3–5 °C korkeammalle kuin paluulämpötila on. Tässä vaiheessa tulee ongelmia kastepisteen alittumisessa ja lämmön talteenotto kyky heikkenee. Huonoimmassa tilanteessa lauhduttimena toimiva pesuri voi alkaa toimimaan haihduttimena. (20.) Esimerkiksi kosteudeltaan 40-prosenttisen puuhakkeen kastepistelämpötila on noin 52 °C (21, s.54). Jos savukaasujen loppulämpötila olisi 63 °C ja polttoaineen kastepistelämpötila 52 °C, kastepisteen lämpötila ei alitu.

Jos paluuveden lämpötilaa saataisiin laskettua esimerkiksi 30 °C:seen hybridiratkaisujen avulla, olisi savukaasujen loppulämpötila noin 33 °C. Tällöin kastepistelämpötila alittuisi. Paremmalla jäähtymällä mahdollistetaan siis parempi lämmön talteenotto ja tuotantolaitoksen energiatehokkuuden nostaminen. Tällä periaatteella fossiilisten polttoaineiden käyttöä voidaan vähentää ja uusiutuvia energianlähteitä hyödyntää entistä enemmän, sillä niiden kastepistelämpötila on matalampi. (20.)

8 HYBRIDIJÄRJESTELMÄN VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEN JAKAUTUMISEEN

Hybridijärjestelmä vaikuttaa energiankulutuksen määrään. Kaukolämmön paluuvettä käyttävä lämpöpumppujärjestelmä vähentää kaukolämmön kulutusta ja edistää hukkalämpöjen hyödyntämistä. Lämpöpumppu tarvitsee toimiakseen sähköä, mutta ostosähkön määrä on kuitenkin melko vähäistä vuositasona. Oulun Energia Oy on investoinut kohteen lämpöpumppujärjestelmän sekä ylimääräiset paluuputket. Asiakas on investoinut perinteisen kaukolämmön tapaan lämmönjakokeskuksen sekä kaukolämpöliittymän.

Kulutustietoja ja ostosähkön määrää pystyttiin tarkastelemaan Fiksu-ohjausjärjestelmästä saatujen tietojen pohjalta. Kuvan 9 kuvaajassa on kulutetun kaukolämmön ja lämpöpumpun energiasyöteenä käytettävän paluuenergian eli ilmaisenergian määrä kuukausitasolla. Energiayhtiö myy lämpöpumpun tuottamaa lämmitysenergiaa taloyhtiölle. Kuvaajassa on myös lämpöpumpun tarvitseman ostosähkön kuukausittainen kulutus.

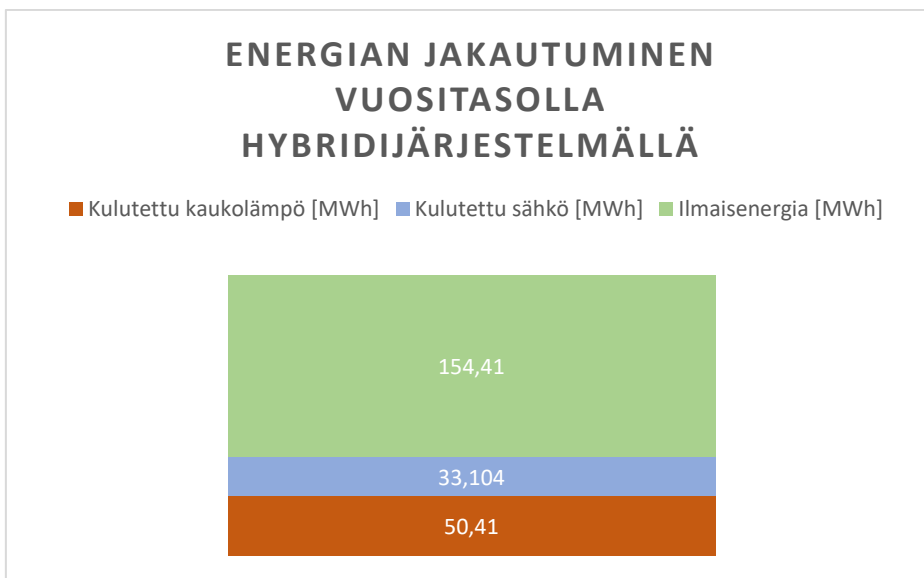


KUVA 9. Lämmitykseen käytetyn energian määrä kuukausittain vuonna 2021

Lämmitys on pystytty toteuttamaan kohteessa lämpöpumpulla saatavalla lämmitysenergialla tasaisesti lähes koko vuoden. Kesäkuukausina lämpöpumppua ei tarvittu lämmittämiseen, joten ostosähköä ei ole kulunut. Muuten sähkön kuukausittainen kulutus on ollut noin 2–4,5 MWh pois

lukien tammi- ja helmikuu, jolloin käyttövesi lämmitettiin lämpöpumpun tulistuksensiirtimessä. Tämä vähensi kohteen kaukolämmön kulutusta, mutta nosti hieman lämpöpumpun tarvitseman sähkön kulutusta. Muuten suurin osa käyttövedestä on lämmitetty kaukolämmön menopuolelta saatavalla lämmitysenergialla.

Kulutustietojen perusteella saatiin selville, miten energian määrät jakautuvat vuositason koh- teessa. Kuvassa 10 on esitettyä kaukolämmön, ostosähkön ja paluenergian jakaantuminen vuo- sitasolla, kun käytetään hybridilämmitysjärjestelmää.



KUVA 10. Lämmitysenergia jakautuminen vuositason 2021

Lämmityksessä hyödynnettiin vuositason paluenergiasta saatuja hukkalämpöjä yli puolet tarvit- tavasta lämmitysenergiasta. Kaukolämmön kulutus oli noin 50 MWh ja ostosähköä kului noin 33 MWh (liite 2).

9 HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄSTÄ SYNTYVÄT TUOTOT JA KUSTANNUKSET

9.1 Tuotot

Hybridijärjestelmästä saataviin tuottoihin luetaan kaukolämmöstä ja lämpöpumpulla tuotetusta lämpöenergiasta saatavat myyntitulot sekä paluunenergian jäähtymästä saatavat tuotot. Kannattavuuslaskuissa ei oteta huomioon arvonlisäveroa, sillä yritys siirtää arvonlisäveron kuluttajan maksettavaksi osana palvelun hintaa ja tilittää kyseisen osuuden myöhemmin valtiolle. Yrityksen omiin osiin sisältynyt arvonlisävero voidaan kuitenkin vähentää, mikäli palveluita tai tuotteita on käytetty arvonlisäverollisessa toiminnassa. (22.)

9.1.1 Kaukolämmön tuotot

Kaukolämmön kokonaishinta koostuu perusmaksusta, energiamaksusta, kulutuksesta sekä veroista. Energiamaksu on energiyhtiön määrittämä hinta, mikä laskutetaan asiakkaalta kulutetun kaukolämmön mukaan. Perusmaksu määräytyy kiinteistön sopimusvesivirran mukaan. Sopimusvesivirta on kaukolämpöveden suurin tuntinen virtaama, joka on varattu asiakkaan käyttöön ulkoilman ollessa $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sopimusvesivirta pienessä kerrostalossa on yleensä $0,21\text{--}5\text{ m}^3/\text{h}$. Perusmaksu saadaan laskettua kaavalla 1. (23.)

$$\text{Perusmaksu} = (2,71 * (34\text{€} + 520\text{€} * V) * 1,24), \quad (\text{KAAVA 1})$$

jossa

V = sopimusvesivirta.

Kaukolämmön kokonaishinta lasketaan kaavalla 2 (23).

$$\text{Kaukolämmön hinta} = \text{perusmaksu} + \text{energiamaksu} * \text{kulutus} \quad (\text{KAAVA 2})$$

$$\text{Kaukolämmön hinta} = 1585,89\text{ €} + (45,49\text{ €} * 50,40\text{ MWh}) = 3879,04\text{ €}$$

Kohteen kaukolämmön kustannuksia laskettaessa energiamaksuna käytettiin 45,49 €/MWh (alv. 0 %). Sopimusvesivirta kohteessa on 1,06 m³/h, ja tällöin perusmaksu on 1585,89 €/vuosi. Yhteensä kaukolämmön kulutus vuonna 2021 oli 50,40 MWh ja kokonaishinnaksi tuli 3879,04 €/vuosi (alv. 0 %). Kaukolämmöstä suurin osa kului lämpimän käyttöveden lämmittämiseen, mutta sitä voidaan hyödyntää rakennuksen lämmityksessä esimerkiksi kovien pakkasten aikaan.

9.1.2 Lämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian tuotot

Kaukolämmön paluenergiaa hyödyntämällä lämpöpumppu tuottaa lämmitysenergiaa, jota energiyhtiö myy taloyhtiölle. Lämpöenergiasta taloyhtiö maksaa tällä hetkellä ainoastaan energiamaksun, joka määräytyy kulutuksen mukaan. Energiamaksu oli vuonna 2021 sama kuin kaukolämmön energiamaksu. Vuonna 2021 tuotettu lämpöenergiaa tuotettiin 187,69 MWh, ja siitä saatava vuotuinen tuotto oli 8538 €.

9.1.3 Paluenergian jäähtymän tuotto

Kaukolämmön paluveden jäähtymästä saatava tuotto laskettiin neljällä erilaisella skenaariolla. Todellisuudessa laskennassa käytettäisiin kaukolämmön tuotantokustannuksia, mutta tässä työssä ne korvataan arvioituilla luvuilla. Vaihtoehtojen kuukausitason luvut [€/MWh] ovat taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Paluun jäähtymän tuottoon vaikuttava energiamäärä [€/MWh] (14)

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4
Tammikuu	25	30	30	35
Helmikuu	25	25	30	25
Maaliskuu	20	20	25	30
Huhtikuu	15	20	25	20
Toukokuu	15	15	20	25
Kesäkuu	0	0	0	0
Heinäkuu	0	0	0	0
Elokuu	0	0	0	0
Syyskuu	5	10	10	20
Lokakuu	20	25	25	25
Marraskuu	25	25	30	30
Joulukuu	25	25	30	35
Ka	14,58	16,25	18,75	20,42

Paluun jäähtymästä saatava tuotto lasketaan kaavalla 3 (14).

$$\text{Paluun tuotto} = \text{Paluun energiamäärä} * \text{savukaasupesurin hyötysuhde} * \text{taulukon energiamäärä} \quad (\text{KAAVA 3})$$

Laskussa savukaasupesurin hyötysuhteena käytettiin 70 %:a ja paluunenergiasta talteen saatujen hukkalämpöjen kokonaisenergiamäärä oli noin 154 MWh. Vuosittainen kokonaistuotto vaihteli eri skenaarioiden välillä 2346–3108 euroa. Tuotot ovat listattuna taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Paluun tuotot [€/v]

Paluunenergian jäähtymä	Tuotto [€/v]
Skenaario 1	2346,09
Skenaario 2	2554,66
Skenaario 3	2925,01
Skenaario 4	3107,91

9.2 Kulut

Kannattavuutta tarkasteltaessa kuluihin huomioidaan ostosähkö, joka on tässä tapauksessa lämpöpumpun tarvitsema sähkö sekä muita järjestelmästä tulevia vuotuisia kustannuksia. Vuotuisiin kustannuksiin lasketaan esimerkiksi vakuutusmaksuista, mobiilinetistä ja etähallinnasta aiheutuvat kulut. Kuluissa otetaan huomioon myös järjestelmän investointi- ja asennuskustannukset sekä tarvittavat huolto- ja ylläpitokustannukset. Taulukossa 3 on järjestelmästä aiheutuvia vuotuisia kustannuksia.

TAULUKKO 3. Järjestelmän vuotuiset kustannukset (14)

Vakuutus	100 €/v
Etähallinta	912 €/v
Mobiilineti	154,8 €/v
Ylläpito kaukolämpö	200 €/v
Ylläpito lämpöpumppu	500 €/v

Lämpöpumpun käyttämän sähkön kustannukset koostuvat sähkön hinnasta ja sähkön siirtohin-
nasta. Hinnat määräytyvät muun muassa perusmaksun [€/kk], energiamaksun [snt/kWh], verojen
ja huoltovarmuusmaksun [snt/kWh] perusteella. (24.) Työtä varten on saatu kohteen sähkön kulu-
tus- ja laskutustiedot toimeksiantajalta. Sähkön hinta voidaan kuitenkin laskea myös kaavalla 4.

$$\text{Sähkön hinta} = \text{perusmaksu} + \text{energiamaksu} + \text{arvonlisävero}$$

(KAAVA 4)

Sähkön siirtohintaa koostuu arvonlisäveron, perusmaksun ja kulutuksen lisäksi tehomaksusta, lois-
temaksusta, energiaverosta ja huoltovarmuusmaksusta. Sähköenergia voidaan jakaa vielä osiin.
Näitä ovat muun muassa yösähkö, yleissähkö ja kausisähkö. Yleissähkö on tyypillisin mittaustapa
asunnoissa, joissa ei ole sähkölämmitystä. Sen hinta on sama vuoden- tai vuorokaudenajasta riip-
pumatta toisin kuin yö- ja kausisähkössä. (25.)

Lämpöpumpun kokonaissähkönkulutus vuonna 2021 oli 33331 kWh. Sähkönsiirron hinnaksi tuli
1906,44 €/vuosi (alv 0 %) ja vastaavasti sähkön hinnaksi 1591,00 €/vuosi (alv. 0 %).

9.3 Kumulatiivinen tulos

Kumulatiivisessa tuloksessa hintojen nousut on huomioitu vuotuisissa tuotoissa ja menoissa. Ku-
mulatiivinen tulos laskettiin 20. käyttövuodelle. Hintojen muutosta kuvaavat arvioidut prosentuaali-
set nousut ovat esitettyinä taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Hintojen mahdolliset muutosprosentit (14)

Muuttuvat kustannuk- set	Arvio hinnan noususta [%/v]
Sähkönsiirto	1,00
Sähköenergia	2,00
Kaukolämpö	2,00
Etähallinta	2,00
Vakuutus	2,00
Mobiilinetti	2,00

Ensimmäisenä ja toisena vuonna tuotot ja menot laskettiin saatujen kulutustietojen pohjalta. Seu-
raavien vuosien tuotoissa ja menoissa huomioitiin mahdolliset hintojen nousut. Laitetoimittajan mu-

kaan venttiileiden, pumppujen ja kompressorin käyttöikä on 15 vuotta, joten niiden vaihdosta aiheutuvat mahdolliset kulut ovat otettu huomioon laskelmassa. Kuvassa 11 on esitetty kumulatiivinen vuositulos.



KUVA 11. Järjestelmän kumulatiivinen tulos

Kuvaajasta voidaan päätellä, että vuositulos kääntyy positiiviseksi noin 7 vuoden kohdalla ja se toistuu jokaisella neljällä skenaariolla laskettuna. Kuten ylempänä mainittiin, 15. käyttövuotena tehdään mahdolliset komponenttien vaihdot ja se tuo pientä heittoa vuositulokseen kyseisenä vuonna.

10 JÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUDEN TARKASTELU

Hybridijärjestelmän kannattavuutta tutkitaan annettujen kulutus- ja kustannustietojen pohjalta. Kannattavuutta tarkasteltiin järjestelmästä tulevien tulojen ja menojen perusteella. Niiden pohjalta laskettiin takaisinmaksuaika ja verrattiin kannattavuutta erilaisten investointilaskentamenetelmien avulla. Laskelmista tehtiin neljä eri versiota, jotta jokaista paluuenergian jäähtymästä saatavia tuotto skenaariota voitiin tarkastella osana kannattavuutta.

10.1 Takaisinmaksuaika

Hybridijärjestelmälle laskettiin takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuajan menetelmällä saadaan selville missä ajassa investointi maksaa itsensä takaisin eli milloin vuotuiset nettotuotot ovat perushankintakustannuksia suuremmat. Menetelmä on melko yksinkertainen ja ei yksistään kerro suoranaisesti investoinnin kannattavuudesta vaan pikemminkin investointiin kohdistuvista rahoitusvaiikutuksista. (26.) Takaisinmaksuajassa huomioitiin järjestelmän investointikustannukset ja vuoden 2021 vuotuiset nettotuotot. Takaisinmaksuaika laskettiin kaavalla 5 (26).

$$TM = \frac{\text{perushankintameno}}{\text{vuotuinen nettotuotto}}. \quad (\text{KAAVA 5})$$

Takaisinmaksuajaksi tuli noin seitsemän vuotta jokaisella neljällä laskentaversiolla, mikä on kannattava tämän tyylisissä laiteinvestoinneissa.

10.2 Nettonykyarvomenetelmä

Nettonykyarvo tarkoittaa investoinnin ja tulevien rahavirtojen nykyarvon laskemista. Investoinnin kustannukset ja tuotot diskontataan nykyhetkeen laskentakorolla. Nykyarvomenetelmässä laskeaan maksujen nykyarvotekijä NY kaavalla 6. (26.)

$$NY = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}, \quad (\text{KAAVA 6})$$

jossa

i = korkokanta

n = pitoaika.

Pitoaikana nykyarvotekijässä käytetään kahtakymmentä vuotta. Tulon nykyarvo saadaan nykyarvotekijän ja nettotuoton tulona. Investointia voidaan pitää kannattavana, kun nettotuottojen nykyarvo jäännösveron kanssa on investointia suurempi. Tällöin nykyarvo on positiivinen. Nettonykyarvo NPV on tulon nykyarvon ja investointikustannuksen summa. (26.) Taulukossa 5 on jokaisen skenaarion kannattavuus nettonykyarvomenetelmällä.

TAULUKKO 5. Kannattavuus nettonykyarvomenetelmällä

Nykyarvomenetelmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	23415	Kannattava
Skenaario 2	25463	Kannattava
Skenaario 3	29099	Kannattava
Skenaario 4	30894	Kannattava

Hybridilämmitysjärjestelmän nettotuottojen nykyarvo on investointia suurempi, joten sitä voidaan pitää kannattavana kyseisellä laskentamenetelmällä.

10.3 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmä investoinnin hankintameno jaetaan pitoajalle vuosittain yhtä suuriksi pääomakustannuksiksi eli annuiteeteiksi. Annuiteettimenetelmää varten täytyy laskea annuiteettikerroin AN, joka saadaan kaavalla 7. (26.)

$$AN = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, \quad (\text{KAAVA 7})$$

jossa

i = korkokanta

n = pitoaika.

Pitoaikana annuiteettikertoimessa käytetään kahtakymmentä vuotta. Annuiteettimenetelmässä lasketaan pääomakustannus, joka saadaan kertomalla investointikustannukset annuiteettikertoimella.

Tämän jälkeen voidaan laskea nettotuoton ja pääomakustannusten erotus. Jos vuotuiset nettotuotot ovat isommat kuin vuotuiset pääomakustannukset, voidaan investointia pitää kannattavana. (26.) Taulukon 6 mukaan järjestelmän nettotuotot ovat pääomakustannuksia suuremmat jokaisella neljällä skenaariolla laskettuna.

TAULUKKO 6. Annuiteettimenetelmän tulokset

Annuiteettimenetelmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	2385	Kannattava
Skenaario 2	2593	Kannattava
Skenaario 3	2964	Kannattava
Skenaario 4	3147	Kannattava

10.4 Sisäinen korkokanta

Sisäisen korkokannan menetelmässä tulee selvittää korko, joka on investoinnin nykyarvolla nolla. Investoinnista saatavien nettotuottojen nykyarvon tulisi olla yhtä suuri kuin investointikustannus. (26.) Jaksollisten maksujen diskonttaustekijä lasketaan kaavalla 8 (27, s. 4).

$$a_{n/i} = \frac{H}{S_t}, \quad (\text{KAAVA 8})$$

jossa

H = investointikustannus

S_t = nettotuotto.

Kun jaksollisten maksujen diskonttaustekijä saadaan ratkaistua, voidaan etsiä jaksollisten maksujen nykyarvotekijän taulukosta (liite 1) korot, joita saatu arvo vastaa. Taulukosta etsitään korkoja ja pitoaika vastaavat luvut. Taulukon arvojen, investointikustannuksen ja nettotuoton avulla saadaan laskettua sisäinen korkokanta. Investointia voidaan pitää kannattavana, kun sisäinen korko on suurempi kuin investoinnin tuottovaatimus. (27, s. 4.) Taulukossa 7 on jokaisella skenaariolla laskettuna investoinnin sisäinen korko.

TAULUKKO 7. Investoinnin sisäinen korkokanta

Sisäinen korkokanta	Sisäinen korko [%]	
Skenaario 1	12	Kannattava
Skenaario 2	13	Kannattava
Skenaario 3	13	Kannattava
Skenaario 4	14	Kannattava

Sisäinen korko on suurempi kuin investoinnin tuottovaatimus 8 % jokaisella skenaariolla, joten investointia voidaan pitää kannattavana tälläkin menetelmällä.

10.5 Vertailu

Investointilaskentamenetelmillä saadaan erilaisia tuloksia. Taulukossa 8 on koottu laskelmien vertailutuloksia jokaisella skenaariolla sekä mainittu millä menetelmällä järjestelmä on kannattava.

TAULUKKO 8. Järjestelmän kannattavuus

Skenaario	Menetelmä	Kannattavuus
1	Annuiteettimenetelmä	Kannattava
	Sisäinen korkokanta	Kannattava
	Nykyarvomenetelmä	Kannattava
	Takaisinmaksuaika	Kannattava
2	Annuiteettimenetelmä	Kannattava
	Sisäinen korkokanta	Kannattava
	Nykyarvomenetelmä	Kannattava
	Takaisinmaksuaika	Kannattava
3	Annuiteettimenetelmä	Kannattava
	Sisäinen korkokanta	Kannattava
	Nykyarvomenetelmä	Kannattava
	Takaisinmaksuaika	Kannattava
4	Annuiteettimenetelmä	Kannattava
	Sisäinen korkokanta	Kannattava
	Nykyarvomenetelmä	Kannattava
	Takaisinmaksuaika	Kannattava

Takaisinmaksuajan menetelmä ei ota korkoa huomioon toisin kuin annuiteetti-, nettonykyarvo- ja sisäisen korkokannan menetelmä. Järjestelmä on kannattava kaikilla investointilaskelma vaihtoehdoilla.

10.6 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysiä käytetään kannattavuuslaskelmissa, koska yleensä investointiprojektin lähtötiedot ovat epätarkkoja ja voivat muuttua. Ennen investointipäätöstä on tärkeää pyrkiä selvittämään investointiin ja rahoitukseen liittyvä epävarmuus. Tällä keinolla pyritään selvittämään investoinnin kannattavuus esimerkiksi korkojen nousun myötä ja estämään mahdolliset taloudelliset ongelmat. (26.)

Herkkyysanalyysi on yleisesti ensimmäinen keino analysoida investoinnin epävarmuutta. Herkkyysanalyysissä oleellista on tutkia investoinnin kannattavuustekijöiden mahdollisten virheiden vaikutusta kannattavuuteen. Laskelmissa on hyvä ottaa huomioon myös epäedulliset valinnat ja katsoa, kuinka kannattavuus muuttuu. Herkkyysanalyysissä muutetaan yhtä tai useampaa kannattavuuskomponenttia epäedulliseen suuntaan, kuten hintojen tai korkojen nousuna. (26.)

Järjestelmän kannattavuutta tutkittaessa herkkyysanalyysissä otetaan huomioon mahdolliset vuotuisten kulujen ja energian hintojen nousut. Kulujen ja hintojen prosentuaalinen nousu on samannäköinen kuin taulukossa 2 on esitetty. Hintojen nousun seurauksena järjestelmää voidaan pitää kannattavana seuraavan 20 vuoden aikana. Herkkyysanalyysi tehtiin neljän skenaarion pohjalta, jotta jokainen paluuenergian tuotto saatiin otettua laskuissa huomioon. Jos järjestelmään tehdään komponenttien vaihtoja 15. käyttövuotena, vaikuttaa se negatiivisesti kannattavuuteen, mutta ainoastaan kyseisenä vuonna (liite 4).

11 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli perehtyä kaukolämmön paluuenergiaa hyödyntävän lämpöpumppulaitoksen toimintaperiaatteeseen ja tutkia sen kannattavuutta energiayhtiön näkökulmasta. Työ tehtiin Oulun Energia Oy:n toimeksiannosta. Hybridilämmitysjärjestelmän on toimittanut HögforsGST Oy. Oleellisessa osassa työtä oli HögforsGST:n Fiksu-ohjausjärjestelmä, jonka avulla pystyi seuraamaan kohteen lämmitysenergian kulutusta ja lämmitysjärjestelmän toimintaa.

Oulun Kaukovainiolla sijaitseva taloyhtiö on valmistunut loppuvuodesta 2020 ja sen hybridilämmitysjärjestelmä on osa kansainvälistä Making City -hanketta. Pilottihankkeeseen kuuluvan Kaukovainion alueen rakennuksien lämmityksessä käytetään uudenlaisia hybridilämmitysratkaisuja, jotka hyödyntävät muun muassa hukkalämpöjä. Alueesta pyritään saamaan mahdollisimman energiaomavarainen. Lämmitysjärjestelmällä pyritään edistämään energiaomavaraisuutta, uusiutuvien energianlähteiden käyttöä ja tehostamaan hukkalämpöjen hyödyntämistä. Hybridijärjestelmällä tuetaan tämänhetkisten EU:n energia- ja ilmastopolitiikkaan kuuluvan energiatehokkuuden edistämistä. Kyseinen kaukolämmön hybridijärjestelmä on hyvä tutkimuksen kohde, sillä se antaa uudenlaista tietoa toimeksiantajalle, laitetoimittajalle sekä tulevaisuudessa vastaavanlaiseen hybridijärjestelmään investoiville.

Kannattavuuden lisäksi työssä tutkittiin, millaisia hyötyjä energiayhtiö saa kyseisestä hybridilämmitysjärjestelmästä. Parempi jäähtymä tuo useita hyötyjä kaukolämpöverkoston, sillä esimerkiksi lämpöhäviöiden määrä vähenee ja virtaama laskee, jolloin sähkökäyttöisten pumppujen tarve vähenee. Paremman jäähtymän ansiosta energiantuotantolaitosten savukaasupesureiden toiminta tehostuu, minkä seurauksena savukaasuista saadaan enemmän hukkalämpöjä talteen.

Työssä tarkasteltiin kiinteistön lämmitysenergian kulutusta vuonna 2021. Kulutustietojen perusteella pystyttiin laskemaan lämmitysjärjestelmästä aiheutuneita menoja mutta myös energiayhtiölle syntyviä tuottoja. Menojen ja tuottojen pohjalta saatiin selville järjestelmän kannattavuus. Kannattavuutta tutkittiin erilaisten investointilaskelmien perusteella, kuten sisäisen korkokannan, annuiteetti- ja netto nykyarvomenetelmän avulla. Laskelmissa otettiin huomioon myös mahdolliset hintojen nousut herkkyyksianalyysin muodossa. Herkkyyksianalyysi on tärkeää tehdä, koska sillä saa selville lämmitysjärjestelmän kannattavuuden myös mahdollisen inflaation aikana.

Laskelmien perusteella hybridilämmitysjärjestelmä on kannattava investointi kaukolämpöyhtiölle. Ilman kolmatta paluuputkea investointi olisi vieläkin kannattavampi. Mahdolliset laiterikkoutumiset ja huollot voivat kuitenkin vaikuttaa järjestelmän kannattavuuteen ja järjestelmän vuositulokseen negatiivisesti.

Jotta hybridilämmitysjärjestelmästä saatavat hyödyt olisivat optimaalisia kaukolämpöverkoston ja savukaasupesureiden toiminnalle, tulisi hybridijärjestelmien määrää lisätä. Tämä kohde osoittaa sen, että optimaalisella käytöllä tämän työn kaltaisiin hybridijärjestelmiin on kannattava investoida. Kaukolämmön hybridiratkaisuja olisi hyvä kehittää niin, että rivi- ja pientaloasukkaillakin olisi tulevaisuudessa parempi mahdollisuus lisätä kiinteistöön jokin hybridiratkaisu kaukolämmityksen rinnalle. Kehitetyillä sekä älykkäillä ratkaisuilla ja järkevällä hinnoittelulla voidaan saada mahdollisimman moni asiakas pysymään kaukolämmityksen piirissä tulevaisuudessakin ja kaukolämmön suosio säilymään.

Hybridilämmitysjärjestelmiä kehitetään koko ajan lisää ja kehitystyötä pyritään viemään nykyajan vaatimusten suuntaan yhä enemmän. Tämän työn kaltaisissa hybridiratkaisuissa, rakennusten energiaomavaraisuuden edistämässä sekä hukkalämpöjen hyödyntämisessä nähdään paljon potentiaalia.

LÄHTEET

1. Oulun Energia. Oulun Energia pähkinänkuoressa. Hakupäivä 27.1.2022. <https://www.ou-lunenergia.fi/ou-lun-energia/tietoa-meista/>.
2. Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiategohokkuus. Hakupäivä 10.3.2022. <https://tem.fi/ener-giatehokkuus>.
3. YIT. Oulun Kaukonraitti – myytävät asunnot. Hakupäivä 15.11.2021. <https://www.yit.fi/asunnot/myytavat-asunnot/oulu/kaukovainio/ou-lun-kaukonraitti>.
4. Making City. City profiles. Hakupäivä 15.11.2021. <https://makingcity.eu/city-profiles/>.
5. Oulu Smart City. Making City. Hakupäivä 15.11.2021. <https://smartcityoulu.com/ratkai-sut/making-city/>.
6. Oulun Kaupunki. Kaukovainio. Hakupäivä 15.3.2022. <https://www.ouka.fi/oulu/kaukovai-nio/tulevaisuus>.
7. Mäkelä, Veli-Matti & Tuunanen, Jarmo 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Hakupäivä 16.12.2021. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/UR-NISBN9789515885074.pdf>.
8. Tilastokeskus 2021. Yli puolet Suomen sähköstä tuotettiin uusiutuville energianlähteillä vuonna 2020. Hakupäivä 30.12.2021. https://www.stat.fi/til/salatuo/2020/sala-tuo_2020_2021-11-02_tie_001_fi.html.
9. HögforsGST. Kaukolämpö. Hakupäivä 30.12.2021. <https://hogforsgst.com/fi/ratkaisut/kau-kolampo>.
10. HögforsGST. Hybridiratkaisut. Hakupäivä 15.11.2021. <https://hogforsgst.com/fi/ratkai-sut/hybridiratkaisut>.
11. HögforsGST 2020. Fiksu säästää energiaa – näin toimii moderni älyohjausjärjestelmä. Ha-kupäivä 15.11.2021. <https://hogforsgst.com/fi/ajankohtaista/fiksu-saastaa-energiaa-nain-toimii-moderni-alyohjausjarjestelma>.
12. HögforsGST Oy – Oulun Energia Oy 2021. Fiksu-ohjausjärjestelmä. Sisäinen lähde.
13. Virkki, Juha 2022. Liiketoimintajohtaja. HögforsGST Oy. Oulu. Teams-palaveri 3.1.2022.
14. Pantsar, Reijo. Opinnäytetyön tilaajan yhteyshenkilö. Oulun Energia Oy. Oulu. Teams-pa-laverit 2021–2022.
15. Javarus, Soile 2016. Savukaasupesurin lämpövirrat ja hukkalämmön talteenotto. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Energiategniikan koulutusohjelma. Hakupäivä 10.1.2022.

- https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/114037/Javarus_Soile.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
16. Eskelinen, Jukka 2015. Kaukolämmön kannattavuus energiakonsernin kokonaisedullisuus huomioiden. Savonia ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte-työ. Hakupäivä 25.1.2022. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/105075/JEs.pdf?sequence=1>.
 17. Adven 2019. Mihin kaukolämpölasku perustuu? Nämä viisi asiaa määräävät kaukolämmön hinnan. Hakupäivä 25.1.2022. <https://adven.com/fi/artikkelit/mihin-kaukolampolasku-perustuu-nama-viisi-asiaa-maaraavat-kaukolammon-hinnan/>.
 18. Energiateollisuus. Kaukolämpöverkkoja yli 15 000 km. Hakupäivä 4.1.2022. <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>.
 19. Energiateollisuus 2015. Kaukolämmön kysyntäjousto. Hakupäivä 10.3.2022. https://energia.fi/files/439/Kaukolammon_kysyntajousto_loppuraportti_VALOR.pdf
 20. Järvenreuna, Juha 2014. Savukaasupesuri parantaa lämpöyhtiön kannattavuutta. Promaint-lehti 21.10.2014. Hakupäivä 10.1.2022. <https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Savukaasupesuri-parantaa-lampoyhtion-kannattavuutta>.
 21. Härkönen, Martti 2012. Puun polttoainekäyttö pienissä aluelämpölaitoksissa. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Hakupäivä 22.2.2022. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41034/Puun%20polttoainekaytto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 22. Yrityksen-perustaminen. Arvonlisävero. Hakupäivä 7.3.2022. <https://yrityksen-perustaminen.net/arvonlisavero/>.
 23. Oulun Energia. Kaukolämmön energia- ja perusmaksut. Hakupäivä 7.3.2022. <https://www.ouluenergia.fi/palvelumme/lampopalvelut/hinnastot/kaukolammon-energia-ja-perusmaksut/>.
 24. Energiateollisuus. Sähkön hinta koostuu kolmesta osasta. Hakupäivä 22.3.2022. https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_hinta.
 25. Vaasan sähkö. Mittaustavan valinta. Hakupäivä 22.3.2022. <https://www.vaasan-sahko.fi/sahkosopimus/mittaustavan-valinta/>
 26. Mäkelä, Veli-Matti 2019. Entrepreneurship-yrittäjyys opintomoniste. Oulun ammattikorkeakoulu. Sisäinen lähde.
 27. DocPlayer. Selvitetään korkokanta, jolla investoinnin nykyarvo on nolla eli tuottojen ja kustannusten nykyarvot ovat yhtä suuret. Hakupäivä 7.3.2022. <https://docplayer.fi/2170647->

[Selvitetaan-korkokanta-jolla-investoinnin-nykyarvo-on-nolla-eli-tuottojen-ja-kustannusten-nykyarvot-ovat-yhta-suuret-investoinnin-tuotto.html](#)

28. Palmu, Hanna-Mari 2014. Investoinnit Satakunnassa sekä investointien tutkiminen case-yrityksessä. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Liiketalouden koulutusohjelma. Opinnäyte-työ. Hakupäivä 7.3.2022. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/80967/Palmu_Hanna-Mari.pdf..pdf?sequence=1

LIITTEET

Jaksollisten maksujen diskonttaustekijä Liite 1

Kuukausitason kulutustiedot Liite 2

Investointilaskelmat Liite 3

Herkkyysanalyysi Liite 4

n/i	JAKSOLLISTEN MAKSUJEN DISKONTTAUSTEKIJÄ											
	$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$											
	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %	20 %
1	0,9524	0,9434	0,9346	0,9259	0,9174	0,9091	0,9009	0,8929	0,8850	0,8772	0,8696	0,8333
2	1,8594	1,8334	1,8080	1,7833	1,7591	1,7355	1,7125	1,6901	1,6681	1,6467	1,6257	1,5278
3	2,7232	2,6730	2,6243	2,5771	2,5313	2,4869	2,4437	2,4018	2,3612	2,3216	2,2832	2,1065
4	3,5460	3,4651	3,3872	3,3121	3,2397	3,1699	3,1024	3,0373	2,9745	2,9137	2,8550	2,5887
5	4,3295	4,2124	4,1002	3,9927	3,8897	3,7908	3,6959	3,6048	3,5172	3,4331	3,3522	2,9906
6	5,0757	4,9173	4,7665	4,6229	4,4859	4,3553	4,2305	4,1114	3,9975	3,8887	3,7845	3,3255
7	5,7864	5,5824	5,3893	5,2064	5,0330	4,8684	4,7122	4,5638	4,4226	4,2883	4,1604	3,6046
8	6,4632	6,2098	5,9713	5,7466	5,5348	5,3349	5,1461	4,9676	4,7988	4,6389	4,4873	3,8372
9	7,1078	6,8017	6,5152	6,2469	5,9952	5,7590	5,5370	5,3282	5,1317	4,9464	4,7716	4,0310
10	7,7217	7,3601	7,0236	6,7101	6,4177	6,1446	5,8892	5,6502	5,4262	5,2161	5,0188	4,1925
11	8,3064	7,8869	7,4987	7,1390	6,8052	6,4951	6,2065	5,9377	5,6869	5,4527	5,2337	4,3271
12	8,8633	8,3838	7,9427	7,5361	7,1607	6,8137	6,4924	6,1944	5,9176	5,6603	5,4206	4,4392
13	9,3936	8,8527	8,3577	7,9038	7,4869	7,1034	6,7499	6,4235	6,1218	5,8424	5,5831	4,5327
14	9,8986	9,2950	8,7455	8,2442	7,7862	7,3667	6,9819	6,6282	6,3025	6,0021	5,7245	4,6106
15	10,3797	9,7122	9,1079	8,5595	8,0607	7,6061	7,1909	6,8109	6,4624	6,1422	5,8474	4,6755
16	10,8378	10,1059	9,4466	8,8514	8,3126	7,8237	7,3792	6,9740	6,6039	6,2651	5,9542	4,7296
17	11,2741	10,4773	9,7632	9,1216	8,5436	8,0216	7,5488	7,1196	6,7291	6,3729	6,0472	4,7746
18	11,6896	10,8276	10,0591	9,3719	8,7556	8,2014	7,7016	7,2497	6,8399	6,4674	6,1280	4,8122
19	12,0853	11,1581	10,3356	9,6036	8,9501	8,3649	7,8393	7,3658	6,9380	6,5504	6,1982	4,8435
20	12,4622	11,4699	10,5940	9,8181	9,1285	8,5136	7,9633	7,4694	7,0248	6,6231	6,2593	4,8696
21	12,8212	11,7641	10,8355	10,0168	9,2922	8,6487	8,0751	7,5620	7,1016	6,6870	6,3125	4,8913
22	13,1630	12,0416	11,0612	10,2007	9,4424	8,7715	8,1757	7,6446	7,1695	6,7429	6,3587	4,9094
23	13,4886	12,3034	11,2722	10,3711	9,5802	8,8832	8,2664	7,7184	7,2297	6,7921	6,3988	4,9245
24	13,7986	12,5504	11,4693	10,5288	9,7066	8,9847	8,3481	7,7843	7,2829	6,8351	6,4338	4,9371
25	14,0939	12,7834	11,6536	10,6748	9,8226	9,0770	8,4217	7,8431	7,3300	6,8729	6,4641	4,9476
26	14,3752	13,0032	11,8258	10,8100	9,9290	9,1609	8,4881	7,8957	7,3717	6,9061	6,4906	4,9563
27	14,6430	13,2105	11,9867	10,9352	10,0266	9,2372	8,5478	7,9426	7,4086	6,9352	6,5135	4,9636
28	14,8981	13,4062	12,1371	11,0511	10,1161	9,3066	8,6016	7,9844	7,4412	6,9607	6,5335	4,9697
29	15,1411	13,5907	12,2777	11,1584	10,1983	9,3696	8,6501	8,0218	7,4701	6,9830	6,5509	4,9747
30	15,3725	13,7648	12,4090	11,2578	10,2737	9,4269	8,6938	8,0552	7,4957	7,0027	6,5660	4,9789

Kaukolämpö

Kuukausi 2021	Kulutettu kaukolämpö [MWh]
Tammikuu	1,32
Helmikuu	1,5
Maaliskuu	3,72
Huhtikuu	5,04
Toukokuu	5,18
Kesäkuu	4,53
Heinäkuu	4,23
Elokuu	4,67
Syyskuu	4,83
Lokakuu	4,92
Marraskuu	4,89
Joulukuu	5,58

Sähkö

Kuukausi 2021	Sähkönkulutus [kWh]
Tammikuu	7174
Helmikuu	6772
Maaliskuu	4092
Huhtikuu	2088
Toukokuu	1185
Kesäkuu	49
Heinäkuu	34
Elokuu	256
Syyskuu	1393
Lokakuu	2211
Marraskuu	3616
Joulukuu	4461

Paluun jäähtymä hyöty

Kuukausi 2021	Paluu energia [MWh]
Tammikuu	28
Helmikuu	26,41
Maaliskuu	18,7
Huhtikuu	12,026
Toukokuu	6,152
Kesäkuu	0
Heinäkuu	0
Elokuu	1,032
Syyskuu	7,324
Lokakuu	12,242
Marraskuu	19,335
Joulukuu	23,192

Lämpöenergia pumpulla tuotettu

Kuukausi 2021	Tuotettu lämpöenergia [MWh]
Tammikuu	35,17
Helmikuu	33,18
Maaliskuu	22,79
Huhtikuu	14,12
Toukokuu	7,34
Kesäkuu	0,03
Heinäkuu	
Elokuu	1,29
Syyskuu	8,72
Lokakuu	14,46
Marraskuu	22,94
Joulukuu	27,65

Tulovero	20 %
Pääoma tuottovaatimus	8 %
Lainakorko	2 %

Takaisinmaksuaika	Vuosi
Skenaario 1	7
Skenaario 2	7
Skenaario 3	7
Skenaario 4	7

Annuiteettimenetelmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	2385	Kannattava
Skenaario 2	2593	Kannattava
Skenaario 3	2964	Kannattava
Skenaario 4	3147	Kannattava

Sisäinen korkokanta	Sisäinen korko [%]	
Skenaario 1	12	Kannattava
Skenaario 2	13	Kannattava
Skenaario 3	13	Kannattava
Skenaario 4	14	Kannattava

Nykyarvomenetelmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	23415	Kannattava
Skenaario 2	25463	Kannattava
Skenaario 3	29099	Kannattava
Skenaario 4	30894	Kannattava

SKENAARIO 1

Käyttöaika [v]

	Vuosittaiset tuotot [€]	Menot [€]	Vuositulos [€]
1	14763	5364	-59466,1
2	14763	6064	8699
3	15011,49018	5438,4604	9573
4	15264,79818	5513,97456	9751
5	15523,17235	5590,80646	9932
6	15786,71399	5668,98052	10118
7	16055,52647	5748,52164	10307
8	16329,7152	5829,4552	10500
9	16609,38771	5911,80705	10698
10	16894,65366	5995,60358	10899
11	17185,62494	6080,87164	11105
12	17482,41563	6167,63862	11315
13	17785,14215	6255,93243	11529
14	18093,92319	6345,78153	11748
15	18408,87985	20437,2149	-2028
16	18730,13565	6530,26215	12200
17	19057,81656	6624,95336	12433
18	19392,05109	6721,31925	12671
19	19732,97032	6819,39113	12914
20	20080,70792	6919,2009	13162

SKENAARIO 2

Käyttöaika [v]

	Vuosittaiset tuotot [€]	Menot [€]	Vuositulos [€]
1	14763	5364	-59466,1
2	14763	6064	8699
3	15220,06018	5438,4604	9782
4	15473,36818	5513,97456	9959
5	15731,74235	5590,80646	10141
6	15995,28399	5668,98052	10326
7	16264,09647	5748,52164	10516
8	16538,2852	5829,4552	10709
9	16817,95771	5911,80705	10906
10	17103,22366	5995,60358	11108
11	17394,19494	6080,87164	11313
12	17690,98563	6167,63862	11523
13	17993,71215	6255,93243	11738
14	18302,49319	6345,78153	11957
15	18617,44985	20437,2149	-1820
16	18938,70565	6530,26215	12408
17	19266,38656	6624,95336	12641
18	19600,62109	6721,31925	12879
19	19941,54032	6819,39113	13122
20	20289,27792	6919,2009	13370

SKENAARIO 3

Käyttöaika [v]

	Vuosittaiset tuotot [€]	Menot [€]	Vuositulo [€]
1	14763	5364	-59466,1
2	14763	6064	8699
3	15590,41018	5438,4604	10152
4	15843,71818	5513,97456	10330
5	16102,09235	5590,80646	10511
6	16365,63399	5668,98052	10697
7	16634,44647	5748,52164	10886
8	16908,6352	5829,4552	11079
9	17188,30771	5911,80705	11277
10	17473,57366	5995,60358	11478
11	17764,54494	6080,87164	11684
12	18061,33563	6167,63862	11894
13	18364,06215	6255,93243	12108
14	18672,84319	6345,78153	12327
15	18987,79985	20437,2149	-1449
16	19309,05565	6530,26215	12779
17	19636,73656	6624,95336	13012
18	19970,97109	6721,31925	13250
19	20311,89032	6819,39113	13492
20	20659,62792	6919,2009	13740

SKENAARIO 4

Käyttöaika [v]

	Vuosittaiset tuotot [€]	Menot [€]	Vuositulos [€]
1	14763	5364	-59466,1
2	14763	6064	8699
3	15773,31018	5438,4604	10335
4	16026,61818	5513,97456	10513
5	16284,99235	5590,80646	10694
6	16548,53399	5668,98052	10880
7	16817,34647	5748,52164	11069
8	17091,5352	5829,4552	11262
9	17371,20771	5911,80705	11459
10	17656,47366	5995,60358	11661
11	17947,44494	6080,87164	11867
12	18244,23563	6167,63862	12077
13	18546,96215	6255,93243	12291
14	18855,74319	6345,78153	12510
15	19170,69985	20437,2149	-1267
16	19491,95565	6530,26215	12962
17	19819,63656	6624,95336	13195
18	20153,87109	6721,31925	13433
19	20494,79032	6819,39113	13675
20	20842,52792	6919,2009	13923

5 VUODEN KOHDALLA

Annuiteettimenetelmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	2918	Kannattava
Skenaario 2	3127	Kannattava
Skenaario 3	3497	Kannattava
Skenaario 4	3680	Kannattava
Sisäinen korkokanta	Sisäinen korko [%]	
Skenaario 1	13	Kannattava
Skenaario 2	14	Kannattava
Skenaario 3	14	Kannattava
Skenaario 4	14	Kannattava
Nykyarvomenetelmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	28652	Kannattava
Skenaario 2	30700	Kannattava
Skenaario 3	34336	Kannattava
Skenaario 4	36132	Kannattava

10 VUODEN KOHDALLA

Annuiteettimenetelmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	3885	Kannattava
Skenaario 2	4094	Kannattava
Skenaario 3	4464	Kannattava
Skenaario 4	4647	Kannattava
Sisäinen korkokanta	Sisäinen korko [%]	
Skenaario 1	14	Kannattava
Skenaario 2	14	Kannattava
Skenaario 3	14	Kannattava
Skenaario 4	14	Kannattava
Nykyarvomenetelmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	38143	Kannattava
Skenaario 2	40191	Kannattava
Skenaario 3	43827	Kannattava
Skenaario 4	45623	Kannattava

15 VUODEN KOHDALLA

Annuiteettimene- telmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	-9042	Kannattamaton
Skenaario 2	-8834	Kannattamaton
Skenaario 3	-8463	Kannattamaton
Skenaario 4	-8281	Kannattamaton
Nykyarvomenetelmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	-88780	Kannattamaton
Skenaario 2	-86732	Kannattamaton
Skenaario 3	-83096	Kannattamaton
Skenaario 4	-81300	Kannattamaton

20 VUODEN KOHDALLA

Annuiteettimene- telmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	6147	Kannattava
Skenaario 2	6356	Kannattava
Skenaario 3	6726	Kannattava
Skenaario 4	6909	Kannattava
Sisäinen korkokanta	Sisäinen korko [%]	
Skenaario 1	14	Kannattava
Skenaario 2	14	Kannattava
Skenaario 3	14	Kannattava
Skenaario 4	14	Kannattava
Nykyarvomenetelmä	Erotus [€]	
Skenaario 1	60357	Kannattava
Skenaario 2	62404	Kannattava
Skenaario 3	66040	Kannattava
Skenaario 4	67836	Kannattava