

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Nuutti Hakkarainen

OUTOKUMMUN ENERGIA OY:N KAUKOLÄMMÖN
ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Opinnäytetyö
Toukokuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020
Energia- ja ympäristötekniikan
koulutus

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Nuutti Hakkarainen

Nimeke
Outokummun Energia Oy:n kaukolämmön energiatehokkuuden parantaminen

Toimeksiantaja
Outokummun Energia Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin Outokummun Energia Oy:n kaukolämpötoiminnan energiatehokkuuden parantamista. Tarkoituksena oli tarkastella keskeisimpiä tekijöitä, joilla voidaan parantaa kaukolämmön kannattavuutta energiatuotannon näkökulmasta. Työn tuloksena saadut selvitykset voivat mahdollisesti antaa yritykselle lähtökohdat, joista se voi alkaa miettimään jatkotoimenpiteitä.

Työssä tarkasteltiin toimitetun kiinteän polttoaineen kosteuden, sekä lämmöntalteenottotehojen suhdetta toisiinsa. Savukaasupesureiden lämmöntalteenottoa pyrittiin tehostamaan niin, että Caligo Oy mitoitti annetun raakadatan perusteella savukaasupesuri-lämpöpumppujärjestelmän korvaamaan nykyiset pesurit, jotka eivät sisällä lämpöpumppua. Mitoituksen sekä kustannustietojen perusteella, voitiin laskea uudelle järjestelmälle takaisinmaksuaika. Viimeisenä kehittämiskohteena oli selvittää, millaisia komponentteja sekä kustannuksia lämpölaitoksen ulkolämpömittarin vaihtaminen Maailman Ilmatieteenjärjestön mukaisiin standardeihin vaatii.

Työn selvityksien perusteella suosituksena Outokummun Energia Oy:lle on jatkaa potentiaalisemman 10 MW:n savukaasupesuri-lämpöpumppujärjestelmän hankintasuunnittelua, koska sen tuomat vuotuiset säästöt sekä takaisinmaksuaika, ovat kannattavuutta tarkasteltaessa hyviä. Ulkolämpötilamittarin uusiminen WMO:n standardien mukaiseksi hoituu pienellä kustannuksella ja soveltuva paikka sille on suoraan lämpölaitoksen vieressä. Tästä syystä tarvittava kaapeliveto on helppo toteuttaa.

Kieli
suomi

Sivuja 58
Liitteet
Liitesivumäärä

Asiasanat

kaukolämmitys, energiatehokkuus, savukaasut, lämmöntalteenotto, pesuri



THESIS
May 2020
Degree Programme in Energy and Environmental Technic

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author
Nuutti Hakkarainen

Title
Energy efficiency improvement of district heating for Outokummun Energia Oy

Commissioned by
Outokummun Energia Oy

Abstract

The goal of this thesis was to investigate and improve energy efficiency of district heating for Outokummun Energia Oy. The reason was to look at the key factors that can be used to improve the profitability of district heating from the perspective of energy production. The studies obtained as a result of the work may potentially provide the company with a starting point from which it can begin to consider further measures.

The relationship between the moisture content of the delivered solid fuel and the heat recovery efficiencies was examined. The second aim was to increase the heat recovery of the flue gas scrubbers in that way that Caligo Oy dimensioned the flue gas scrubber heat pump system on the basis of the given raw data to replace the existing scrubbers that do not contain a heat pump. Based on the sizing and cost data, the payback period for the new system could be calculated. The last thing of development was to find out what components and costs the replacement of a heating plant's outdoor thermometer with standards according to the World Meteorological Organization requires.

Based on the studies, the recommendation for Outokummun Energia Oy is to continue the procurement planning for a more potential 10 MW flue gas scrubber heat pump system, because the annual savings and payback period are good when looking at profitability. Renovation of the outdoor temperature meter to WMO standards is carried out at low cost and a suitable location is right next to the heating plant. For this reason, the required cable routing is easy to implement.

Language

Finnish

Pages 58

Appendices

Pages of Appendices

Keywords

district heating, energy efficiency, flue gas, heat recovery, scrubber

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Kaukolämpö Suomessa.....	6
2.1	Kaukolämmön historia.....	9
2.2	Kaukolämmön tuotanto.....	10
2.2.1	Lämpökeskukset.....	10
2.2.2	Lämmitysvoimalaitokset.....	14
2.3	Savukaasujen puhdistus.....	14
2.3.1	Sähkösuodatin.....	15
2.3.2	Savukaasupesuri.....	15
2.4	Pumppaus.....	17
2.5	Polttoaineet kaukolämmön tuotannossa.....	18
2.6	Kaukolämpöverkko.....	23
2.7	Kaukolämmön asiakaslaitteet.....	25
2.7.1	Lämmönjakokeskus.....	25
2.7.2	Mittauskeskus.....	26
2.8	Kaukolämmön hinnoittelu.....	26
2.9	Kaukolämmön edut ja haitat.....	29
3	Kaukolämpö Outokummussa.....	30
3.1	Kaukolämmön tuotanto.....	31
3.2	Kaukolämpöverkko.....	34
4	Työn tavoite.....	36
4.1	Polttoaineen kosteuden ja lämmöntalteenottotehon vertailu.....	36
4.2	Savukaasupesuri-lämpöpumppu.....	36
4.3	Miilun lämpölaitoksen ulkolämpötilamittauksen uusiminen WMO:n standardien mukaan.....	37
5	Toteutus ja tulokset.....	38
5.1	Polttoaineen kosteuden ja lämmöntalteenottotehon vertailu, toteutus.....	38
5.2	Polttoaineen kosteuden ja lämmöntalteenottotehon vertailu, tulokset.....	39
5.3	Savukaasupesuri-lämpöpumppu, toteutus.....	41
5.4	Savukaasupesuri-lämpöpumppu, tulokset.....	43
5.4.1	Takaisinmaksuaika.....	44
5.4.2	Herkkyystarkastelu.....	45
5.5	Miilun lämpölaitoksen ulkolämpötilamittauksen uusiminen WMO:n standardien mukaan, toteutus.....	48
5.6	Miilun lämpölaitoksen ulkolämpötilamittauksen uusiminen WMO:n standardien mukaan, tulokset.....	49
5.6.1	Sääaseman paikka.....	49
5.6.2	Ilman lämpötilan mittaus.....	51
5.6.3	Komponentit ja kustannukset.....	52
6	Pohdinta.....	53
6.1	Johtopäätökset ja tulosten tarkastelu.....	53
6.2	Luotettavuus.....	54
6.3	Toimenpidesuosituksien ja jatkojalostusmahdollisuudet.....	55
7	Lähteet.....	56

1 Johdanto

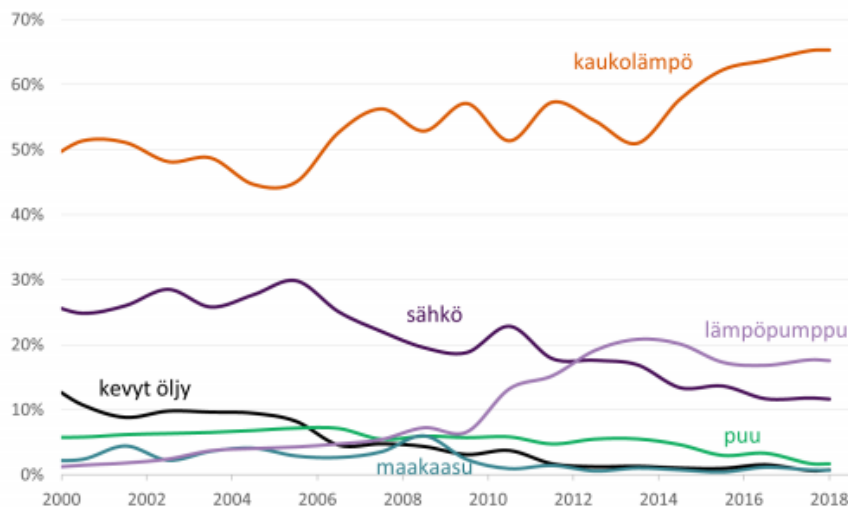
Työn tarkoituksena oli tutkia ja parantaa Outokummun Energia Oy:n kaukolämpötoiminnan energiatehokkuutta kolmella eri menetelmällä. Energiatehokkuus on keskeinen asia kaukolämpötoiminnassa, jossa pyritään ostamaan mahdollisimman vähän energiaa, mutta toisaalta tuottamaan mahdollisimman paljon energiaa samalla polttoainemäärällä. Väärät mitoitukset sekä vanhentuneet laitteet laskevat lämpölaitoksen hyötysuhdetta ja tuovat ylimääräisiä kustannuksia. Investoimalla uusiin laitteisiin ja mitoittamalla järjestelmiä uudelleen voidaan hyötysuhdetta nostaa merkittävästi.

Outokummun Energia Oy, on Outokummun kaupungin omistama energiayhtiö, jonka liiketoiminta muodostuu sähkönmyynnistä ja -siirrosta, sähköverkon asennus- ja huoltotöistä sekä kaukolämpötoiminnasta. Yrityksen juuret yltävät 1944-luvulle saakka, jolloin perustettiin Kuusjärven kunnallinen sähkölaitos. Kaukolämpötoiminta katsotaan alkaneen 1950-luvulla, jolloin rakennettiin ensimmäiset kaukolämpölinjat Kyykerin alueelle. Nykyisen nimensä yritys sai 2000-luvun alussa.

Kaukolämpötoiminnan energiatehokkuus voidaan jakaa kahteen tarkasteltavaan kokonaisuuteen: tuotantoon sekä jakeluverkostoon. Tässä opinnäytetyössä painopiste on enemmän tuotantopuolella. Syy tähän rajaukseen oli aihealueen laajuus, koska työ olisi soveltunut myös parityöksi. Työn tarkoituksena on siis enemmän paneutua tiettyihin osakokonaisuuksiin kuin käsitellä pintapuolisesti koko energiatehokkuusprosessia.

2 Kaukolämpö Suomessa

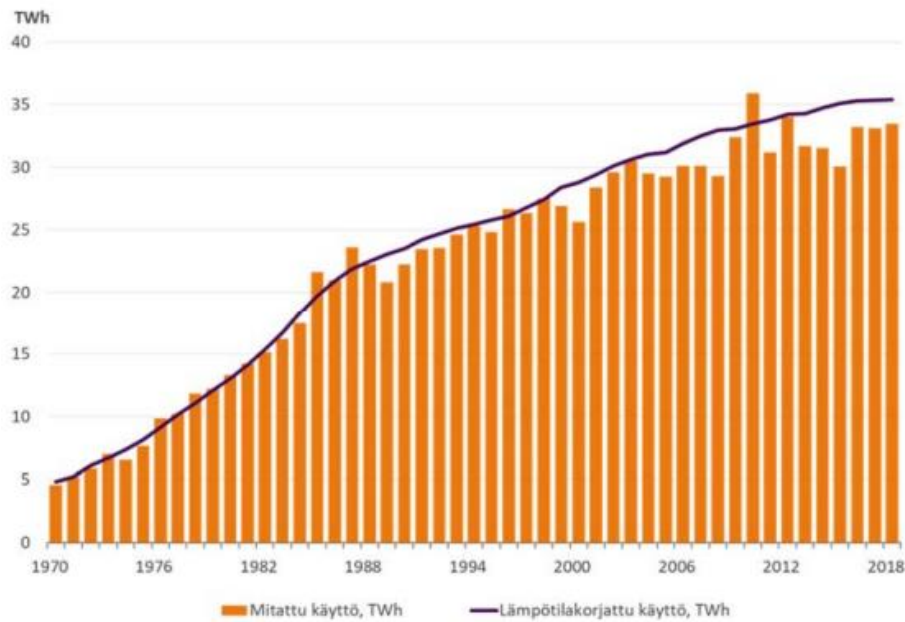
Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto, ja sitä tuotetaan joko yhteistuotantolaitoksissa (CHP), joissa saadaan sekä lämpöä että sähköä, tai erillisissä lämpölaitoksissa (Motiva 2019). Kaukolämmön markkinaosuus on 46 % ja uudisrakennuksissa yli 60 % (Hiilamo 2020) (kuvio 1). Suurimmissa kaupungeissa yli 90 % (Wikipedia 2020). Kaukolämpöyritykset jakelivat lämpöä 170:ssä Suomen kunnassa vuonna 2018 ja asiakkaiden kokonaismäärä oli noin 155 000 (Kaukolämpötilasto 2018, Energiategollisuus, 2 - 5). Koko Suomen kaukolämpöjohtojen yhteispituus on kasvanut vuodesta 2005 vuoteen 2018 noin 5 100 km, ollen vuoden 2018 lopussa 15 140 km. Puolet johdoista on alle 20 vuoden ikäisiä. (Hiilamo 2020.)



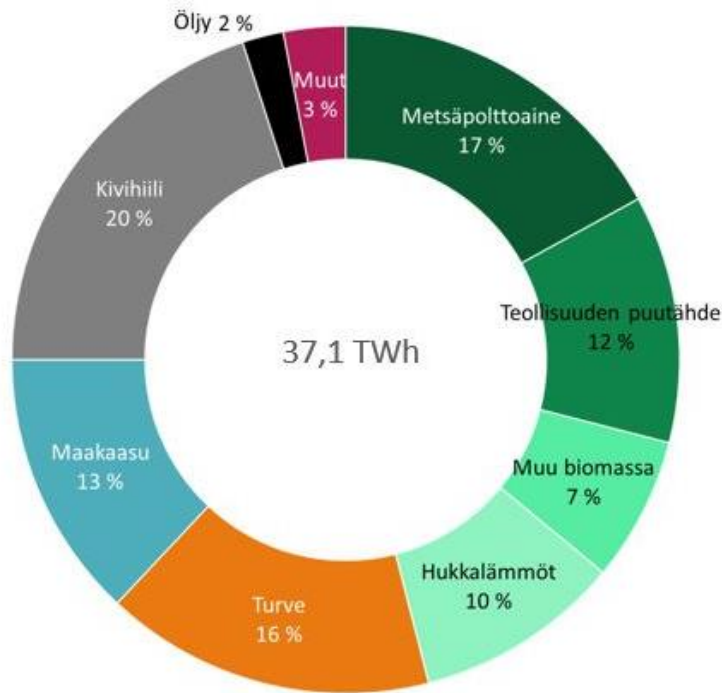
Kuvio 1. Lämmitystapojen markkinaosuudet uudisrakennuksissa (Hiilamo 2020).

Kaukolämmön kokonaiskäyttö vuonna 2018 oli yhteensä 33 500 GWh (kuvio 2) ja lämmitettyä rakennustilavuutta 993 milj. m³. Kivihiili, metsäpolttoaine, turve, maakaasu ja teollisuuden puutähde olivat kaukolämpötuotannon suurimpia energialähteitä vuonna 2018 (kuvio 3). Kaukolämpöpiirissä olevien asuntojen asukasmäärä oli 2,92 miljoonaa henkilöä. Kaukolämmön myyntihinnan aritmeettinen keskiarvo oli 81,38 €/MWh ja yritysten myynnillä painotettu keskiarvo 79,11

€/MWh. Lämpötilakorjattu ominaislämmönkulutus kaukolämmityksessä vuonna 2018 oli 36,2 kWh/m³ sisältäen lämpimän käyttöveden tuotannon. Kaukolämmityksen päästöt ovat laskeneet viime vuosikymmenen aikana lähes 30 % ja on ennustettu, että päästöt laskevat yli puoleen seuraavalla vuosikymmenellä. (Kaukolämpötilasto 2018, Energiateollisuus, 5 - 6.)



Kuvio 2. Kaukolämmön mitattu ja lämpötilakorjattu käyttö (Kaukolämpötilasto 2018, Energiateollisuus, 5).



Kuvio 3. Suomen kaukolämpötuotannon jakautuvuus energialähteittäin 2018 (Kaukolämpötilasto 2018, Energiateollisuus, 4).

Kaukolämmön tulevaisuus on vakaalla pohjalla Suomessa. Se on noussut mukaan myös EU:n keskusteluihin, joissa se nähdään yhtenä tärkeänä ilmastonmuutoksen torjunnan ja päästövähennystavoitteiden työkaluna. Esimerkiksi jakeluverkko pystyy mahdollistamaan tarvittaessa nopeita ja suuria muutoksia, joita tulevaisuuden kaukolämpöverkko vaatii. Se esimerkiksi pystyy tarjoamaan erilaisten ylijäämälämpöjen hyödyntämisen (kaksisuuntainen kaukolämmitys). (Hii-lamo 2020.)

Kaksisuuntaisessa kaukolämmityksessä asiakas pystyy olemaan lämmönmyyjä. Hän voi siis myydä ylimääräisen lämpönsä kaukolämpöverkkoon, jolle hänellä itsellään ei ole tarvetta tai se voi olla suoraan myyntitarkoitukseen tuotettua. Kautallisia tuotteita ja ratkaisuja on jo muutamilla yrityksillä. (Tulevaisuuden asiakasratkaisut, Energiateollisuus 2020.)

2.1 Kaukolämmön historia

1920-luvulla sähköinsinööriiliitossa kaavailtiin yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon kehittämistä. Tästä syystä perustettiin vuonna 1928 komitea laatimaan asiasta mietintöä, joka valmistui vuonna 1939. Toisen maailmansodan jälkeen sähköpulaa lievitettiin lisäämällä aluksi vesivoimaa. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 34.)

Suomen ensimmäinen kokonaisen asuinalueen kaukolämmitysjärjestelmä rakennettiin 1940 Helsingin olympiakylään. Suomen kaukolämmön idea lähti huomaamalla teollisuuden sähköntuotannon yhteydessä syntyvän lauhdelämmön hyödyntämismahdollisuudet. Sähkön ja lämmön yhteistuotanto on ollut alusta asti kaukolämmityksen tarkoitus Suomessa. Höyrykaukolämmitys käynnistyi Suvilahden voimalasta ympäröiville teollisuuslaitoksille vuonna 1952. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 34.) Varsinainen vesikaukolämmitys alkoi Helsingissä 1950-luvun loppupuolella (Energia Suomessa 2004, 74). Joensuussa kaukolämmitys alkoi 1957 ja seuraavana vuonna myös Mikkelissä ja Lahdessa. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 34.)

Suomi oli melko omavarainen energiahuollossaan 1950-luvulle saakka, jolloin alkoi nopea siirtyminen uusiutuvista kotimaisista polttoaineista fossiilisiin tuontipolttoaineisiin. Neste Oy kehitti pieniä kuntia varten kaukolämpöpaketin, jonka toimintukseen kuuluivat lämpölaitos, verkko ja polttoainehuolto. Kaukolämmön merkitys alkoi kasvaa energiakriisin seurauksena vuonna 1973 ja sen energiataloudelliset edut huomattiin. Sen nähtiin myös vähentävän energiahuollon tuontiriippuvuutta. 1980-luvun puolivälissä turpeen ja hakkeen käyttö väheni, kun öljyn hinta laski. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 34 - 35.)

1980-luku oli kaukolämpöverkkojen laajentamisen aikaa. Teollisuudessa lämmön ja sähkön yhteistuotanto, eli CHP, oli tuttua jo aikaisemmin. Se saatiin mahdolliseksi myös yhdyskuntien energiahuoltoon kartuttamalla verkkojen lämpökuormia. Yhteistuotantolaitokset toteutettiin joko kunnallisina hankkeina tai sähköyhtiöiden kanssa yhteistyönä. Taajama-alueiden lämmitysmuodoksi kaukolämpö vakiintui 1990-luvulla. Polttoaineena käytettiin öljyä, maakaasua, turvetta sekä puuhaketta. Kaukolämmityksen sekä yhteistuotannon investointikustannukset

ovat korkeat, mutta CHP-laitoksissa päästään alhaisiin käyttökustannuksiin. Sähkömarkkinoiden avauduttua CHP-laitosten kilpailukyky on pysynyt hyvänä ja lämmön tuotantokustannukset kohtuullisina riippumatta polttoaineesta. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 35.)

2.2 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämmityksen lämmönlähteinä käyvät monet erilaiset sovellukset, kuten esimerkiksi lämmön ja sähkön yhteistuotanto (CHP), erilliset lämpölaitokset ja -keskukset sekä teollisuuden oheislämpö (jätelämpö prosesseista) (Hellgrén, Heikkinen, Suomalainen & Kala 1999, 73–77). Myös maa- ja geotermistä lämpöä käytetään. Kaukolämmön tuotanto perustuu teholtaan erikokoisten lämmöntuotantolaitosten yhdistelmään, päälämpölaitokseen sekä varalämpökeskuksiin. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 22.)

Laitosten käyttöön vaikuttavat ensisijaisesti asiakkaiden tehontarve, verkoston siirtokapasiteetti sekä polttoaineiden hintasuhteet. Tavoitteena on tuotantokustannusten optimoiminen sekä tuotannon luotettavuus. Optimointiin vaikuttavia tekijöitä ovat sähkönhintaa sekä lämmön ja sähkön tarve, ja näiden ennustettu kehitys ja markkinatilanne. Myös polttoainevaihtoehdot ja niiden hintakehitys vaikuttavat eri tuotantolaitosten käyttöön ja käynnistysjärjestykseen. Tuotannon tehokkuus vaikuttaa suoraan lämmöntuotannon optimointiin. Polttoaineen kulutus ja pumppauksen tarve sekä sähkönkulutus vaihtelevat merkittävästi eri tuotantoyksiköissä. Edellä mainittujen lisäksi lämmönjakelun luotettavuus ja toimitusvarmuus voivat vaikuttaa laitosten käyttöön ja käynnistysjärjestykseen. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 22.)

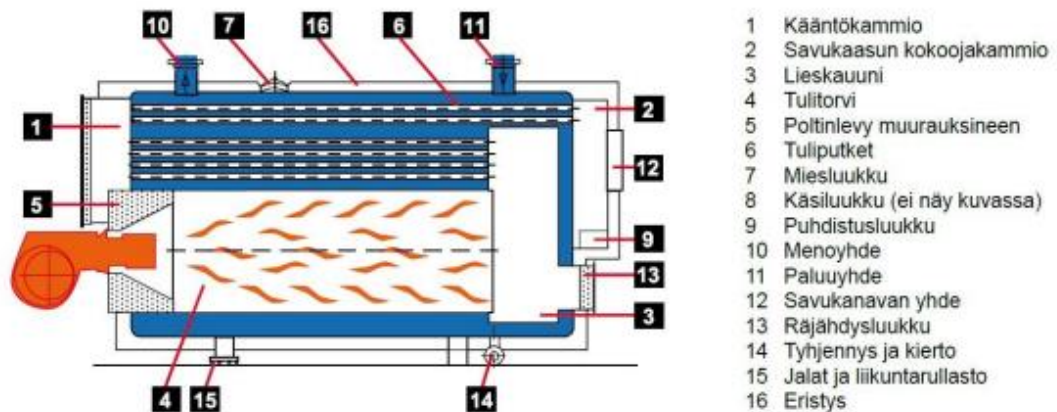
2.2.1 Lämpökeskukset

Lämpökeskukset tuottavat pelkästään lämpöä, eli ne eivät tuota päätuotteenaan sähköä, kuten CHP-laitokset. Lämpö siirretään joko veteen tai höyryyn. (Hellgrén ym. 1999, 77 - 79.) Näissä laitoksissa saadaan polttoaineen sisältämästä energiasta joko veteen tai höyryyn noin 85–93 %, mikä vastaa kulutussuhdetta 1,1–1,2.

Kulutussuhde tarkoittaa tässä tapauksessa polttoaine-energian suhdetta tuotettuun lämpötehoon. Käytännön kannalta tarkasteltaessa hyötysuhde riippuu polttoaineesta, polttotekniikasta ja kattilan mitoituksesta sekä ajotavasta. Lämpökeskukset jaetaan kiinteisiin kattilalaitoksiin, sekä kiinteään polttoaineen kattiloihin. Kiinteät kattilalaitokset koostuvat tulitorvi-tuliputkikattiloista tai vesiputkikattiloista. Kiinteään polttoaineen kattilat koostuvat arina- ja leijupetikattiloista. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 282.)

Tulitorvi-tuliputkikattiloissa (kuva 1) savukaasut virtaavat tulitorvessa ja tuliputkien sisäpuolella, ja polttoaineen palaminen tapahtuu tulitorvessa. Yhdessä kattilassa on joko yksi tai kaksi tulitorvea. Tulitorvi-tuliputkikattila on niin kutsuttu suurvesikattila, jossa kattilan vesimäärä on suhteellisesti huomattavasti suurempi kuin vesiputkikattiloissa. (Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5 - 50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa 2003, 22.) Kattiloiden tehot ovat pääsääntöisesti enintään 15 MW/tulitorvi ja paine yleensä alle 20 bar. Yksittäiset öljy- ja maakaasukattilat ovat nykyään 12–15 MW:n kattilatehoon asti tulitorvi-tuliputkikattiloita, jotka on varustettu yhdellä tulitorvella. Kahdella tulitorvella varustettuja kattiloita valmistetaan 25–30 MW:n kattilatehoon asti. Näistä suuremmat kattilat ovat tyypiltään vesiputkikattiloita, koska rakenteensa vuoksi paksut ainevahvuudet ja suuri tilantarve ovat usein esteenä suurempien yksiköiden valmistamiseksi. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 282.)

Vesiputkikattilassa virtaa putkien sisällä vesi ja ulkopuolella savukaasut (kuva 1). Vesiputkikattilat voivat olla kuumavesikattiloita, kylläisen höyryn tai tulistetun höyryn kattiloita. Vesiputkikattilan tulipinta verrattuna vesitilavuuteen on suurempi kuin tulitorvi-tuliputkikattilassa. Vesiputkikattiloita voidaan rakentaa myös erittäin korkeita paineita varten ilman, että putkien ainepaksuus tulisi liian suureksi. Tämä johtuu kattilan putkien pienestä läpimitasta. Vesiputkikattilan etuna tulitorvi-tuliputkikattilaan on se, että mahdollisen putkivuodon aiheuttamat vauriot ovat yleensä lievempiä. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 283.)

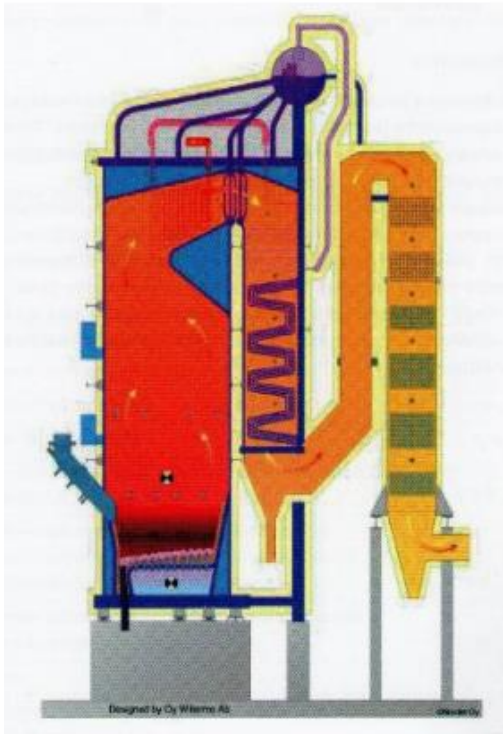


Kuva 1. Tulitorvi-tuliputkivesikattilan rakenne (Vapor Boilers Finland Oy 2020).

Leijukerroskattilat ovat syrjäyttäneet Suomessa lähes kokonaan arinakattilat yli 5 MW:n polttoainetehoilla (Energia Suomessa 2004, 239). Leijupoltossa palaminen tapahtuu niin kutsutussa pedissä (kerroksessa), jota leijutetaan sen alapuolelta puhallettavan ilman avulla. Leijupeti muodostuu kiinteästä petimateriaalista (usein hiekasta), siihen syötettävästä polttoaineesta, mahdollisesta kalkkikivistä ja ilmasta sekä palamisessa syntyvästä savukaasusta. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 289.) Soveltuvia pääpolttoaineita ovat metsähake, kuori, sahanpuru sekä jyrsinturve (Ympäristöministeriö, Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5–30 MW:n kattilalaitosten... 2020, 15). Leijukerroskattilan käyttäytyminen on riippuvainen mm. kaasun virtausnopeudesta, petimateriaalista, pedin ja polttoaineen partikkelikokojakaumasta, pedin korkeudesta ja palamisilmajaosta sekä pedin painehäviöstä. Leijupetikattilat voidaan jakaa pedin käyttäytymisen perusteella kerrosleijukattiloihin ja kiertoleijukattiloihin. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 289.)

Kerrosleijukattilassa (kuva 2) leijutusilman nopeus valitaan siten, että polttoaine ja petimateriaali muodostavat tulipesään kuplivan leijukerroskattilan. Kiertoleijukattiloissa ilman nopeus on niin suuri, että petimateriaali ja palamaton polttoaine menevät kaasuvirran mukana tulipesän jälkeiseen sykloniin, jossa ne erotetaan savukaasuista ja palautetaan petiin. (Energia Suomessa 2004, 239.) Kerrosleijukattiloissa polttoaineen syöttö tapahtuu normaalisti sulkusyöttimen ja syöttösuppilon kautta tulipesään leijupedin yläpuolelle. Tunkijaruuvia voidaan myös käyttää.

Kiertoleijukattiloissa polttoaine syötetään yleensä sulkusyöttimen kautta sykloneiden palautuskanavaan (ns. paluupolveen) tai tunkijaruuveilla tulipesän etuseinälle. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 290 - 291.)



Kuva 2. Kerrosleijukattila (Kaukolämmön käsikirja 2006, 291).

Leijukattilan tulipesä valmistetaan normaalista eväputkesta. Tulipesän alaosa ja arinan pinta suojataan eroosiota vastaan muurauksilla noin 2–6 metrin korkeuteen asti arinan pinnalta. Arina koostuu rakenteeltaan pohjalevystä tai vesijähdytetystä eväputkilevystä, jonka läpi arinasuuttimet menevät. Kiertoleijukattiloissa käytetään höyryn tulistamiseen joskus ns. säteilytulistimia tulipesässä. Primääri-ilma puhalletaan tulipesään ilmakaapin ja arinasuuttimien läpi. Primääri-ilman osuus vaihtelee polttoaineesta riippuen välillä 45–80 %. Kosteuden kasvaessa myös primääri-ilman osuus kasvaa. Sekundääri- ja tertiääri-ilmat johdetaan tulipesään 1,5–4,0 metriä arinan pinnan yläpuolelle. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 291.)

2.2.2 Lämmitysvoimalaitokset

Lämmitysvoimalaitokset, toiselta nimeltään CHP-laitokset (Combined Heat and Power), tuottavat yhdistetysti sähköä sekä lämpöä samassa prosessissa, jolloin polttoaineen käyttö on mahdollisimman tehokasta. Sivutuotteena syntynyt lämpö hyödynnetään joko teollisuuden prosesseissa tai kaukolämpönä. (Tilastokeskus 2020.) Lähes 80 prosenttia kaukolämmön tuotannosta on CHP:tä (Pori Energia 2020). Tuotanto perustuu höyryprosessiin, kaasuturbiiniprosessiin tai moottorivoimalaitokseen, sekä lisäksi näiden yhdistelmiin, kombivoimalaitoksiin (Mäkelä & Tuunainen 2015, 24).

2.3 Savukaasujen puhdistus

Savukaasuista pyritään puhdistamaan mahdollisimman tehokkaasti pienhiukkaset, typenoksidit (NO_x) sekä rikkidioksidi SO_2 . Pienhiukkasiksi kutsutaan hiukkasia, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä. Ne ovat osat hengitettäviä hiukkasia, jotka kulkeutuvat ilman mukana syvemmälle hengitysteihin. Niitä syntyy ilmaan etenkin puun palamisessa. (Ilmatieteen laitos 2020.) Orgaanisia aineita poltettaessa on havaittu, että polttoprosessista tulleet hiukkaset voivat aiheuttaa esimerkiksi keuhkohtaumatautia, sepelvaltimotautia sekä astmaa (Atmos 2020). Typenoksidit syntyvät hiilen ja palamisilman tuestä. Oksidien määrä savukaasuissa vaihtelee muun muassa polttotekniikan sekä hiilen tyypipitoisuuden mukaan. (Hiilitieto 2020.) Ne aiheuttavat sekä happamoitumista, että rehevöitymistä sekä myötävaikuttavat alailmakehän otsonin muodostumiseen. Typenoksideja muodostuu liikenteessä sekä energiantuotannossa hiili-, turve- ja sekapolttokattiloissa. (Ympäristö.fi 2017.)

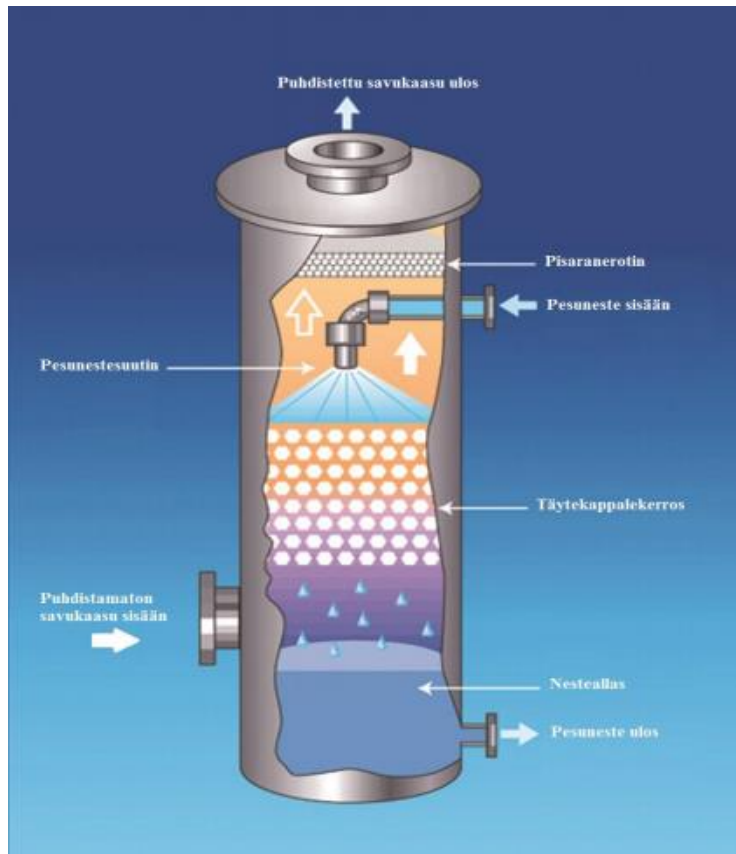
Rikkidioksidi on väritöntä, pistävänhajuista ja myrkyllistä kaasua (Hiilitieto 2020). Niiden päästöt määräytyvät lähinnä polttoaineen rikkipitoisuuden mukaan eikä niiden määrään voida vaikuttaa pelkin säätöteknisin toimin. Puun ja peltobiomasojen rikkipitoisuudet ovat erittäin pieniä. Puun tuhka sitoo tehokkaasti turpeen rikkiä ja samalla puun polton pienhiukkasten muodostus vähenee. (Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5 - 30 MW kattilalaitosten... 2020, 7.)

2.3.1 Sähkösuodatin

Sähkösuodattimen periaate perustuu palamishiukkasten sähköisiin ominaisuuksiin. Hiukkaset erotetaan savukaasuvirrasta tuottamalla hiukkasiin sähköinen varaus ionisoimalla ja keräämällä ne sähkökentän avulla suodattimen keräyspinnoille. (Saarinen 2013, 14–17.) Keräyspinnoilla on vastakkainen varaus, kuin hiukkasilla, joten ne vetävät toisiaan puoleensa. Seinämille kertyvä hienojakoinen pöly voidaan helposti puhdistaa kytkemällä sähkövaraus pois ja ravistamalla suodatinta. (Wikipedia 2020.) Sähkösuodatin koostuu tavallisesti levymäisestä tai putkimaisesta maadoitetusta kokoojalevystä ja suurjänniteyksikköön kytketystä emissioelektrodista (Saarinen 2013, 17).

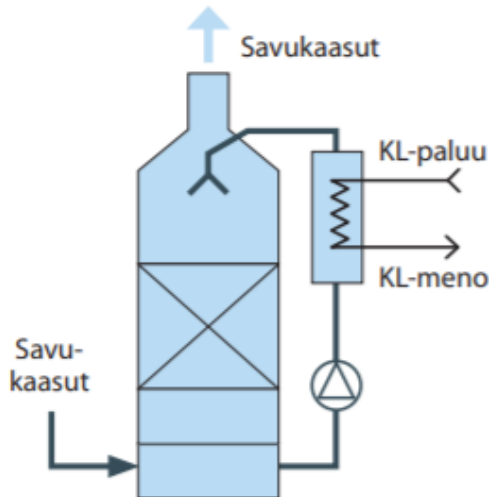
2.3.2 Savukaasupesuri

Savukaasupesureissa savukaasut ovat suorassa kontaktissa veden tai muun pesunesteen kanssa päästöjen vähentämiseksi. Perinteinen märkäpesuri on pesutorni (kuva 3), jossa kuumat savukaasut virtaavat alhaalta ylöspäin ja niitä vastaan virtaan suihkutetaan pesunestettä. Tähän nesteeseen tarttuvat savukaasujen hiukkaset ja ne putoavat tornin pohjalle. Märkäpesurissa savukaasujen ja pesunesteen kontaktipinta-alaa voidaan kasvattaa täytekappalekerroksella. Tornin pohjalle kertynyt likainen pesuneste poistetaan. Tornin päältä johdetaan puhdistetut savukaasut ulos. (Rissanen 2016, 14.)



Kuva 3. Märkäpesurin toimintaperiaate (Rissanen 2016, 14).

Epäpuhtauksien poistamisen lisäksi voidaan savukaasusta ottaa talteen lämmönvaihdinten avulla niiden sisältämää lämpöä (kuva 4). Tällöin pesurissa on tyypillisesti vähintään kaksi pesuvaihetta. Ensimmäinen vaihe on suunniteltu savukaasun puhdistusta varten ja toinen vaihe on osa lämmöntalteenottojärjestelmää. (Energieoteollisuuden ympäristöpooli 2016, 2.) Pesuvaiheen jälkeen savukaasut johdetaan lauhduttimeen, missä kaasut luovuttavat lämpöenergiansa pääasiassa lauhtumalla vastavirtaan valuvaan kiertoveteen. Lauhtuminen tapahtuu täytäkappalekerroksissa, jotka toimivat prosessin lämmönsiirtopintoina. Muodostunut lauhde, eli kiertovesi, johdetaan lämmönvaihtimelle. Lämmönvaihtimella lauhteeseen siirtynyt lämpöenergia otetaan talteen kaukolämpöveden. (Caligo Oy 2020.)

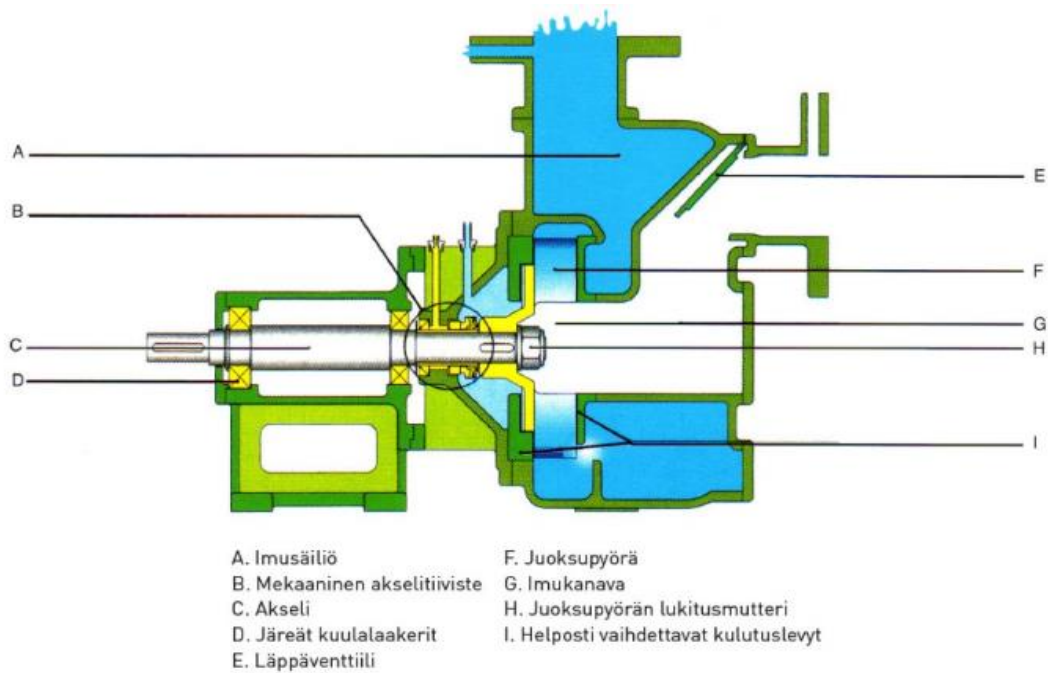


Kuva 4. Savukaasupesuri sisältäen lämmöntalteenoton kaukolämpöverkossa (Caligo Oy 2020).

2.4 Pumppaus

Kaukolämpöpumppuina käytetään pääasiassa keskipakopumppuja (kuva 5). Pumppujen valinta tapahtuu tarvittavan virtaaman sekä nostokorkeuden avulla. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 44.) Pumput soveltuvat kiertoveden pumppaukseen, järjestelmien paineenpitoon sekä lisäveden pumppaukseen (Kaukolämmön käsikirja 2006, 169). Pumppujen ohjaus tapahtuu taajuusmuuttajien avulla, ja tähän käytetään mittaustietoja kaukolämpöverkoston paine-eroista ja virtaamista (Mäkelä & Tuunainen 2015, 44).

Pumput voidaan kytkeä joko rinnan tai sarjaan. Kytchentäpään vaikuttavat erityisesti kiertovesimäärän vaihtelut vuorokausitasolla, ja ne voivat olla hyvin nopeita. Tällöin vaaditaan suurta vesimäärän tai nostokorkeuden säätömahdollisuutta, jolloin yksittäisen pumpun säätömahdollisuudet eivät riitä. Jos pumppaus halutaan pitää taloudellisena sekä hyötysuhde hyvänä koko kuormitusalueella, on pumppujen pyörimisnopeuden säädön lisäksi erikoisesti kiinnitettävä huomio erilaisten kytkentätapojen selvittämiseen. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 173.)



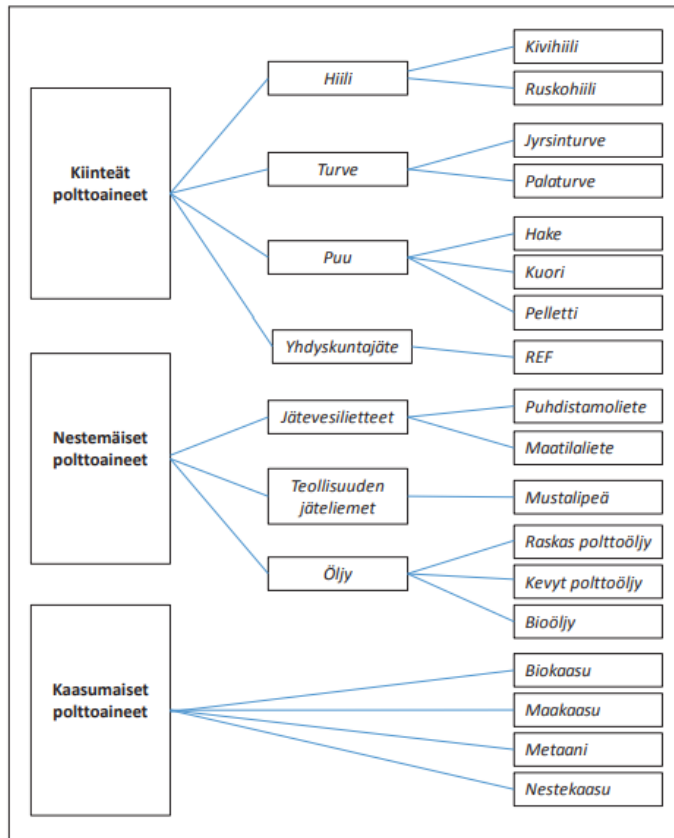
Kuva 5. Itseimevä keskipakopumppu (YTM-industrial 2020).

Kaukolämmön pumppaus hoidetaan lämmöntuotantolaitoksilta sekä välipumppaamoista lämpöverkon alueella. Pumppaus säädetään siten, että kaikille asiakkaille saadaan toimitettua riittävästi energiaa pienimmillä mahdollisilla kustannuksilla. Näin ollen pumppausta ei kannata tehdä kokonaan lämpölaitokselta käsin, vaan osa pumppauksesta kannattaa hoitaa välipumppaamoista. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 45.)

2.5 Polttoaineet kaukolämmön tuotannossa

Kaukolämmön tuottamiseen voidaan käyttää monia eri polttoaineita joko yhdessä tai erikseen (kuvio 4). Kaukolämmityksen pääpolttoaineita ovat Suomessa puu, maakaasu, turve ja kivihiihi. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 35.) Teollisuudessa hyödynnetään myös prosessilämpöä (Hellgrén ym. 1999, 77). Polttoaineen saataavuus tai sen varastointimahdollisuudet käyttöpaikalla tulee varmistaa (Kaukolämmön käsikirja 2006, 260). Vastaanotto- ja varastointijärjestelmän valinnan ja mitoituksen määrittävät laitoksen koko, polttoaineet, kuljetuskalusto sekä kuljetuksen organisointi. Polttoainevarantojen pitää riittää suunniteltuun käyttöön pitkällä

tähtäimellä. Mikäli polttoainetoimituksia ei ole viikonloppuisin, pitää varaston riittää vähintään 64 tunniksi. (Ympäristöministeriö, Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5–30 MW kattilalaitosten... 2020, 11.) Polttoaineen kustannusten ja sitä kautta tuotetun energian täytyy olla kilpailukykyinen sekä käytöstä muodostuvat päästöt eivät saa ylittää sallittuja rajoja (Kaukolämmön käsikirja 2006, 260).



Kuvio 4. Kaukolämmityksen energialähteet (Mäkelä & Tuunainen 2015, 36).

Polttoainevalinta riippuu tuotantolaitoksen sijainnista ja sen lämpötehosta. Aikaisemmin valinnan pääkriteerinä oli polttoaineen hinta, mutta nykyisin ympäristön tarpeet ja -suojelu ovat nousseet esiin polttoainevalintaa päätettäessä. Viimeaikainen kehitys on johtanut yhä useammin uusiutuvien polttoaineiden ja biopolttoaineiden käyttöön fossiilisten polttoaineiden sijaan. Syynä kehitykselle on ollut pyrkimys haitallisten kasvihuonekaasujen sekä päästöjen määrän vähentämiseen lämmöntuotannossa. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 36.)

Kotimaiset biopolttoaineet ovat paikallisia sekä uusiutuvia. Niiden käyttö on joustavaa, tuo monipuolisuutta energiahuoltoon, parantaa oleellisesti energijärjestelmien huolto- ja kriisivalmiutta sekä vaikuttaa myönteisesti ympäristöön ja ilmastoon. Näiden lisäksi biopolttoaineiden käyttö edistää konkreettisesti yrittäjyyttä ja työllisyyttä sekä energiaomavaraisuutta Suomessa. (Puuenergia 2003, 18.)

Puupolttoaineiden käyttö on lisääntynyt Suomessa huomattavasti. Puuteollisuuden jätepuu haketetaan, ja metsien hakkuujätteet kerätään haketusta varten talteen. Nykyään rahanarvoista polttoainetta on se puuaines, joka aikoinaan jätettiin metsään maatumään. Ympäristövaikutuksiltaan puun polttaminen sekä maatuminen ovat samanarvoisia tapahtumia, koska maatuessaan ja palaessaan puusta vapautuva kaasumäärä on sama, joka taas puun kasvaessa sitoutuu uusiin kasvaviin puihin. Puun tuhkaa voidaan kierrättää metsä- ja maataloudessa osana luonnollista ja kestävästä kehitystä ja kasvua. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 36.) Turve varmistaa kosteankin puun palamisen vakaasti (Puuenergia 2003, 18).

Useimmat polttoaineet sisältävät vettä. Etenkin kotimaisten polttoaineiden, puun ja turpeen, vesipitoisuus on korkea. Alla olevasta taulukosta huomataan, että biopolttoaineissa, puussa ja kuoressa, on vettä 60–55 % (taulukko 1). Turvetuotannossa vesipitoisuus saadaan laskemaan 50 %:n kosteuteen ensin ojitamalla suo ja sen jälkeen kuivaamalla turvetta ulkoilmassa. Puhuttaessa polttoaineen kosteudesta, on oltava tarkkana siitä, miten kosteus on määritelty. Yleensä kosteudella tarkoitetaan polttoaineen vesipitoisuutta eli polttoaineessa olevan veden suhdetta polttoaineen märkävainoon. Etenkin puunjalostusteollisuudessa kosteus voi tarkoittaa myös ns. kosteussuhdetta, joka määritellään polttoaineessa olevan veden suhteeksi polttoaineen kuivapainoon (kuvio 5). (Kaukolämmön käsikirja 2006, 262 - 263.)

Taulukko 1. Polttoaineiden kuiva-aineiden koostumus (%) sekä tyypillinen kosteus (%) (Kaukolämmön käsikirja 2006, 262).

Polttoaine		C	H ₂	S	O ₂	N ₂	Tuhka	Kosteus
Kivihiili	Puola	73,2	4,7	1,0	9,1	1,0	11,0	9,0
	Englanti	75,7	4,7	1,0	6,00	1,6	11,0	12,0
Raskas polttoöljy		87,8	10,4	0,9	0,5	0,4	0,04	0,3
Kevyt polttoöljy		86,2	13,7	0,1	-	0,02	0,01	0,01
Puu		50,4	6,2	-	42,5	0,5	0,4	55,0
Kuori	Mänty	54,5	5,9	-	37,7	0,3	1,7	60,0
	Kuusi	50,6	5,9	-	40,2	0,5	2,8	60,0
	Koivu	56,6	6,8	-	34,2	0,8	1,6	55,0
Jyrsinturve		55,0	5,5	0,2	32,6	1,7	5,00	50,0
		CH ₄	C ₂ H ₆	O ₂	CO ₂	N ₂		
Maakaasu		98,92	0,11	0,05	0,02	0,9		

vesipitoisuus

$$x = \frac{m_{\text{vesi}}}{m_{\text{vesi}} + m_{\text{kuiva}}}$$

kosteussuhde

$$u = \frac{m_{\text{vesi}}}{m_{\text{kuiva}}}$$

missä, x = vesipitoisuus

u = kosteussuhde

m_{vesi} = polttoaineen veden massa

m_{kuiva} = kuiva-aineen massa

Kuvio 5. Vesipitoisuuden ja kosteussuhteen laskukaavat (Kaukolämmön käsikirja 2006, 263).

Polttoaineessa oleva vesi alentaa sen lämpöarvoa. Mitä enemmän polttoaine sisältää vettä, sitä suurempi osa sen palamisessa vapautuvasta energiasta menee veden höyrystymiseen. Tämän lisäksi kosteus suurentaa polttoaineenkulutusta sekä lisää savukaasuvirtoja ja puhallintehon tarvetta. Kuiva polttoaine nostaa tulipesän lämpötilat korkeammiksi, ja samalle teholle mitoitettu kattila voidaan pienempien savukaasuvirtojen vuoksi rakentaa pienemmäksi ja siten se on myös hinnaltaan edullisempi. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 263.)

Energiantuotannon kannalta merkittävin polttoaineen ominaisuus on lämpöarvo, joka ilmaisee polttoainemäärää kohti polttoaineesta poltettaessa saatavan energian. Kaasumaisten polttoaineiden lämpöarvo ilmoitetaan yleensä tilavuutta kohti (MJ/m^3). Muiden polttoaineiden lämpöarvot ilmoitetaan massaa kohti (MJ/kg) (taulukko 2). Sen mukaan, miten polttoaineesta vapautunut lämpömäärä on mitattu, käytetään nimityksiä kalorimetrinen eli ylempi lämpöarvo sekä tehollinen eli alempi lämpöarvo. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 264.)

Taulukko 2. Polttoaineiden lämpöarvoja (MJ/kg) (Kaukolämmön käsikirja 2006, 266).

Polttoaine	Kalorimetrinen lämpöarvo	Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo	Kostean polttoaineen tehollinen lämpöarvo
Hiili (puolalainen)	29,8	28,8	26
Raskas polttoöljy	43,2	40,7	40,6
Kevyt polttoöljy	45,6	42,7	42,7
Puuhake	20,5	19,1	7,25
Kuori			
mänty	21,3	20,0	6,5
kuusi	19,9	18,6	6,0
koivu	24,2	22,7	8,9
Jyrsinturve	22	20,8	9,2
Maakaasu (MJ/kg)	54,6	49,2	49,2
Maakaasu (MJ/m^3)	39,3	35,3	35,3

Kalorimetrinen lämpöarvo osoittaa palamisessa vapautuvan kokonaislämpömäärän, joka on riippumaton polttoaineen kosteudesta. Osa vapautuvasta lämmöstä joudutaan todellisuudessa kuitenkin käyttämään puussa alun perin olleen ja palamisessa syntyneen veden höyrystämiseen. (Puuenergia 2003, 27.) Teholliseksi lämpöarvoksi (kuvio 6 ja 7) kutsutaan lämpömäärää, joka syntyy poltettaessa yksi massayksikkö polttoainetta. Näin ollen palamisen yhteydessä kehittyvä vesi (jonka määrä riippuu vetypitoisuudesta), höyrystyy ja jäähtyy takaisin alkulämpötilaan pysyen höyryn muodossa. Kalorimetrinen sekä tehollinen lämpöarvo ilmoitetaan yleensä kuiva-ainetta kohti. (VTT, Suomessa käytettävien... 2016, 28.)

$$H_{u,ka} = H_{0,ka} - 8939 * l_{25} * m_{vety}$$

missä, $H_{0,ka}$ = kuiva-aineen kalorimetrinen lämpöarvo

l_{25} = veden höyrystymislämpö (2443 kJ/kg, kun $t = 25$ °C)

m_{vety} = vedyn määrä kuivassa polttoaineessa (kg H₂/kg pa)

Kuvio 6. Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo $H_{u,ka}$ määrittäminen kuiva-aineen kalorimetrin lämpöarvon mukaan (Kaukolämmön käsikirja 2006, 264).

$$H_{u,kost} = H_{u,ka} * (1 - m_{vesi}) - l_{25} * m_{vesi}$$

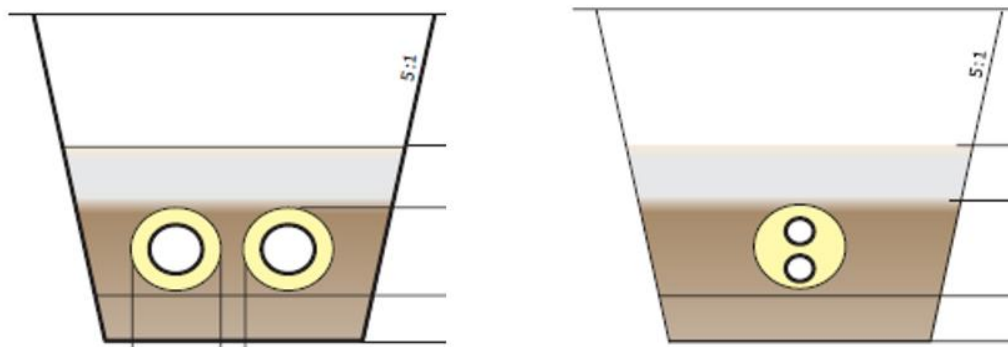
missä, m_{vesi} = veden määrä kosteassa polttoaineessa (kg H₂O/kg pa)

Kuvio 7. Kuiva-aineen tehollisen lämpöarvon perusteella saatu polttoaineen tehollinen lämpöarvo $H_{u,kost}$ käyttökosteudessa (Kaukolämmön käsikirja 2006, 264).

2.6 Kaukolämpöverkko

Kaukolämpöverkoston muodostaa meno- ja paluupuolen runkoputkisto, jota pitkin vesi siirretään lämmöntuotantolaitoksilta lähelle kulutuskohteita, ja palautetaan takaisin. Tästä runkoputkistosta haarautuvat jakelu- eli siirtojohdot, joiden avulla hoidetaan lämmönjakelu rajatun alueen (esim. kaupunginosa) sisällä. Yksittäiset kuluttajat liittyvät jakelujohtoihin liittymis- eli talojohtojen avulla. (Hellgrén ym. 1999, 118.) Kaukolämpöverkosto on investoinniltaan kaukolämpöjärjestelmän kallein osa johtuen suuresta putkistomäärästä ja sen kautta huomattavista rakentamiskustannuksista (Mäkelä & Tuunainen 2015, 50).

Suomessa kaukolämpöenergia siirretään kaksiputkijärjestelmällä, joka toimii maksimissaan 120 °C:n lämpötilassa (Kaukolämmön käsikirja 2006, 137). Hetkellisesti putkisto kestää kuumempiakin olosuhteita. Jakeluverkoston tulee kestää käyttökuntoisena vähintään 30–50 vuotta, koska kestävyys on ratkaisevassa osassa kaukolämpötoiminnan kannattavuudelle. Lisäksi, koska verkosto sijaitsee pääasiassa kaupunkien katualueilla, aiheutuu korjaus- ja kunnossapitotöistä kustannusten lisäksi haittaa liikenteelle ja muulle yhteiskunnan toiminnalle. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 50.)



Kuva 6. Yksiputkijohto, 2Mpuk (vasen), kaksiputkijohto, Mpuk (oikea) (Karelia-amk 2020).

Kaukolämpöjohtotyyppinä ovat kiinnivaahdotetut ja -joustavat johdot, sekä betonielementtikanaavat. Kiinnivaahdotetuissa kaukolämpöjohdoissa on polyuretaanieristeellä liitetty kiinteästi yhteen virtausputki ja polyeteenisuojakuori. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 56 - 60.) Rakenteeltaan niitä on kahta erilaista, Mpuk sekä 2Mpuk (kuva 6). Mpuk-rakenteessa on yhden muovikuoren sisällä kaksi virtausputkea (meno- ja paluuputki), kun taas 2Mpuk-rakenteessa niitä on yksi. Tästä syystä tarvitaan kahta 2Mpuk-johtoa rakennusvaiheessa. (Karelia-amk 2020.) M tarkoittaa muovisuojausta (polyeteeni), pu polyuretaanieristettä ja k kiinnivaahdotettua (Mäkelä & Tuunainen 2015, 58). Betonielementtikanaavia ei ole rakennettu 1990-luvun jälkeen (Kaukolämmön käsikirja 2006, 144).

2.7 Kaukolämmön asiakaslaitteet

Kaukolämmityksen liittymis- eli talojohto päättyy asiakaslaitteisiin lämmönjakohuoneessa. Kaukolämpölaitteiden kytkennät ja säätöjärjestelmät vaikuttavat voimakkaasti kaukolämmön paluuveden lämpötilaan eli jäähtyvyyteen. Asiakkaan kaukolämpötehontarpeen säädöstä vastaavat lämmönjakokeskusten säätölaitteet, joilla säädetään kaukolämmön vesivirtaa. Jokainen asiakas on kytketty kaukolämpöverkoston omalla lämmönjakokeskuksella. Asiakaslaitteisiin luetaan kuuluvaksi mittauskeskus sekä lämmönjakokeskus. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 18.)

2.7.1 Lämmönjakokeskus

Lämmönjakokeskus koostuu lämmönsiirtimistä, säätöjärjestelmästä, pumpuista sekä muista varusteista, joita tarvitaan jakamaan lämpöä rakennuksessa oleviin lämmityskohteisiin. Nykyisin kaukolämpö käyttää lähinnä tehdasvalmisteisia lämmönjakokeskuksia, jotka on suunniteltu jokaiselle rakennukselle yksilöllisen lämmitystarpeen mukaan. Lämmönsiirrinten ja muiden laitteiden valinta riippuu tarvittavasta lämpötehosta, vesivirrasta sekä sallitusta korkeimmasta kokonaispainehäviöstä lämmönjakokeskuksessa. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 65 - 66.)

Lämmönsiirrin erottaa kaukolämpöveden ja rakennuksen lämmitysjärjestelmien vedet, joten ne eivät pääse sekoittumaan toisiinsa, kun lämmönluovutus tapahtuu. Lämmönsiirrinten toinen tehtävä, on suojella rakennusta kaukolämpöveden mittavalta vesivahingolta, jos rakennuksen lämmityspiirissä tapahtuu vuoto. Lämmönsiirrimet toimivat yleensä vastavirtaperiaatteella ja mitoitetaan vastaamaan tarvittavaa hetkellistä lämmitystehoa. Lämmönsiirrinten ensiö- ja toisiopuolen koko vesivirta ohjataan lämpöpintojen kautta, eikä toisiopuolen menovettä saa sekoittaa jäähtymättä paluuveteen. Lämmönsiirrintyyppejä on olemassa monia erilaisia: juotetut- ja tiivisteelliset levylämmönsiirrimet, kierukkalämmönsiirrimet sekä suoraputkisiirrimet. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 64–72.)

Lämmityspiireissä sekä käyttöveden kiertojohdossa ovat pumput tuottamassa toiminta-arvojen mukaisen virtaaman. Lämmönjakokeskuksissa käytetään keskipakopumppuja ja niitä mitoitettaessa tarvitaan lämmityspiirin mitoitusvirtaama sekä vaikeimman lämmityksen kiertopiirin kokonaispainehäviö. Säätojärjestelmien kautta asiakas pystyy vaikuttamaan asumisviihtyvyyteensä eli sisälämpötilaan sekä käyttöveden tasaiseen lämpötilaan. Suomalainen kaukolämmitysjärjestelmän taloudellisuus perustuukin juuri näihin säätölaitteisiin, joilla voidaan pienentää merkittävästi lämmityskustannuksia. Muita lämmönjakokeskuksen varusteita ovat esimerkiksi putkistot ja liitokset, sulkua- ja varoventtiilit, lianerottimet sekä paine-erosäädin. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 77–81.)

2.7.2 Mittauskeskus

Mittauskeskus käsittää kiinteistössä olevat lämmönmyyjän laitteet, joiden avulla asiakas kytketään kaukolämpöverkkoon. Näillä laitteilla mitataan myös asiakkaan kaukolämpöenergia sekä vesivirta ja rajoitetaan ne lämpösopimuksen mukaiseksi. Lämmönmyyjän pääsulkuventtiilit luetaan mittauskeskukseen kuuluviksi. Mittauskeskus koostuu venttiileistä, lianerottimista, virtauksen ja tehon rajoittimista, putkista ja putkiliitoksista, sähköisistä liitännöistä sekä lämpöeristyksistä. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 123 - 126.)

2.8 Kaukolämmön hinnoittelu

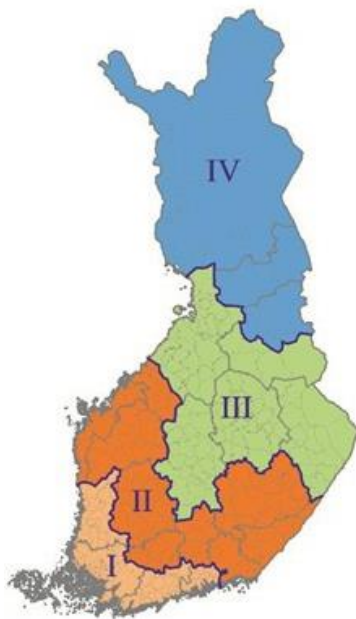
Nykyiset hinnoittelujärjestelmät Suomessa koostuvat kertaluonteisesta liittymismaksusta, vuosittaisesta kiinteästä maksusta eli perusmaksusta sekä mitatun kulutuksen mukaisesta energiamaksusta (Motiva 2020). Perusmaksusta käytetään myös muita nimityksiä, kuten tehomaksu ja vesivirtamaksu (Mäkelä & Tuunainen 2015, 120). Tavoitteena tulee olla vakaa hintataso, jossa jatkuvasti varaudutaan investointien riittävään omarahoitustasoteeseen (Kaukolämmön käsikirja 2006, 470).

Kaukolämpöyrittäjä perii liittymismaksun asiakkaalta siinä vaiheessa, kun hänet kytketään kaukolämpöön. Liittymismaksulla katetaan kaukolämmön tuotanto- ja

verkkoinvestointien pääomakustannuksia. Liittymisvaiheessa asiakkaan edustaja, esimerkiksi LVI-suunnittelija, tekee kaukolämpösuunnitelmat, joiden osana määritetään rakennuksen tehontarve. Rakennuksen lämmityslaitteet mitoitetaan ympäristöministeriön rakentamismääräysten mukaan siten, että lämpöolot voidaan ylläpitää lämmityskauden mitoitavilla ulkolämpötiloilla (taulukko 3) säävyöhykkeittäin (kuva 7). (Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina 2014, 2.)

Taulukko 3. Suomen mitoitusulkolämpötilat, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3 (Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina 2014, 3).

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



Kuva 7. Suomen säävyöhykkeet (Ilmatieteen laitos 2020).

Kaukolämpöyrittäjä mitoittaa liittymisjohdon rakennuksen tarvitseman kaukolämpötehon ja siitä lasketun vesivirran perusteella. Mitoitettavassa kaukolämpötehosta on otettava huomioon tilojen ja käyttöveden lämmityksen sekä muiden mahdollisten kaukolämpöä käyttävien kohteiden samanaikainen tehontarve. Liittymisjohdon mitoittava vesivirta perustuu rakennuksen LVI-suunnitelmaan. Asiakkaan kanssa sovitaan yksilöllinen, rakennuksen tehontarpeeseen perustuva kaukolämmön sopimusteho tai sopimusvesivirta, jonka perusteella liittymismaksu määräytyy. Se kirjataan lämpösopimukseen. Liittymisvaiheessa sopimustehona käytetään tavallisesti rakennuksen tarvitsemaa tuntista tehontarvetta mitoituslaskelmassa. Sopimusvesivirta lasketaan sopimustehon määrittävän ajankohdan mukaisella kaukolämpöveden jäähtymällä. (Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina 2014, 3.)

Perusmaksulla katetaan kaukolämpötoiminnan kiinteät kustannukset, joita ovat esimerkiksi kiinteät palkkakustannukset, kiinteistökuormat sekä kaukolämpöverkoston ja lämmöntuotantolaitosten kiinteät kustannukset (Mäkelä & Tuunainen 2015, 122). Perusmaksun suuruus määräytyy yleensä asiakkaan liittymistehon tai -vesivirran mukaan (Kaukolämmön käsikirja 2006, 470). Laskutusvesivirta määritetään asiakkaan tehontarpeen ja kaukolämpöveden jäähtymän perusteella. Sopimus- ja laskutustehon ja -vesivirran tulee vastata asiakkaan todellista tarvetta. Laskutustehoa tai -vesivirtaa muutetaan rakennuksen tehontarpeen muuttuessa. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 122.)

Asiakas maksaa kuluttamastaan energiasta energiamaksua. Energiamaksun suuruuden tulee vastata lämmönhankinnan muuttuvia kustannuksia sisältäen pumppauskustannukset. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 471.) Muuttuvia kustannuksia ovat esimerkiksi polttoainekustannukset sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset. Energiamaksun suuruus määritetään kaukolämmön kaikkien muuttuvien tuotantokustannusten mukaisesti. Näiden kustannusten muuttuessa muutetaan energiamaksua vastaavasti. Energiamaksu on Suomessa asetettu normaalisti tasolle, joka on korkeampi kuin muuttuvat rajakustannukset. Näin ollen energiamaksu peittää myös kaukolämpötoiminnan kiinteitä kustannuksia. (Mäkelä & Tuunainen 2015, 120 - 121.)

2.9 Kaukolämmön edut ja haitat

Kaukolämmityksellä, kuten myös muillakin lämmitysmuodoilla, on omat hyötynsä, ongelmansa, mahdollisuutensa sekä uhkatekijänsä. Asiaa on tarkemmin käsitelty alla olevassa taulukossa 4.

Taulukko 4. Kaukolämmityksen hyödyt, ongelmat, mahdollisuudet ja uhat (Kaukolämmön käsikirja 2006, 25).

<p style="text-align: center;">Hyödyt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys • Tuotanto voidaan jakaa tehokkaasti eri tuotantomuotojen kesken • Varakapasiteetti yhteisesti hyödynnettävissä • Käyttövarma • Helppokäyttöinen; ei edellytä asiakaskohtaista käyttö- ja huoltotyötä 	<p style="text-align: center;">Ongelmat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suuret investoinnit, pitkät takaisinmaksuajat • Suuret kulutusvaihtelut vuodenaikojen välillä • Ei sovellu harvaan rakennetuille alueille • Siirtohäviöt
<p style="text-align: center;">Mahdollisuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Edulliset ja vähäpäästöiset polttoaineet • Yhteistuotanto hyödyttää myös sähköntuotantoa • Mahdollisuus käyttää prosessien jätelämpölähteitä • Kaukolämpöjäähdytys • Matalalämpötilaisen lämmön hyödyntäminen (mm. sulanapito) 	<p style="text-align: center;">Uhkatekijät</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rahoituksen puute ja kalleus • Epäterve kilpailu • Epäterve sääntely • Lämmitysratkaisun valitsee rakennuttaja, ei loppukäyttäjä

3 Kaukolämpö Outokummussa

Outokummun Energia Oy:n kaukolämpö tuotetaan Miilun lämpölaitoksella Kehkolassa (kuva 8). Kyseessä ei ole yhdistetty sähkön ja lämmöntuotanto (CHP), vaan tuotteena syntyy pelkästään lämpöä. Yrityksellä on myös kaksi varalämpökeskusta Outokummun Teollisuuskylässä sekä Mustolassa (Outokummun Energia 2019). Lämpölaitoksella poltetaan uusiutuvia polttoaineita, kuten haketta, puurua ja kierrätyssilppua. Varalämpökeskusten polttoaineena on kevytöljy. Polttoaineen tarve vuodessa on noin 90 000 i-m³ ja se toimitetaan pääsääntöisesti Pohjois-Karjalan alueelta. Koko kaukolämpöverkoston kattilateho on 50 MW, josta Miilun osuus 39 MW, Teollisuuskylän 7 MW ja Mustolan 4 MW. (Piippo 2019.) Lämmitettävää rakennustilavuutta on 1 050 000 rakm³. (Outokummun Kaukolämpöverkko, Verkostolaskentaraportti 2012.) Prosessiautomaattina toimii Metso-DNA, Valmet (Piippo 2019).

Miilulla on yhteensä viisi lämpökattilaa, joista kaksi on puukattiloita ja kolme nestekaasukattiloita. Nämä pääkattiloina toimivat puukattilat sisältävät lämmöntalteenottojärjestelmän ja niiden tuottama vuosittainen energia kattaa 99 % lämmöntuotannosta. (Piippo 2019.) Nestekaasukattilat toimivat varalämmönlähteenä. Mustolassa on yksi ja Teollisuuskylässä neljä nestekaasukattilaa.



Kuva 8. Miilun lämpölaitos (Kuva: Outokummun Energia).

3.1 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämmön tuotanto Miilulla alkaa kiinteää polttoainetta (yleensä haketta) tuovan rekka-auton punnituksella. Vaaka mittaa auton tulopainon sekä lähtiessä menopainon. Näin saadaan selville kuorman paino. Auto toimittaa lastin yleensä suoraan siiloon ja osakseen ulkovarastolle, josta otetaan näyte kosteusmittausta varten. Kosteuden määrittäminen tapahtuu standardien mukaisesti, jonka kautta pystytään määrittämään tehollinen lämpöarvo saapumistilassa. Tämän lämpöarvon sekä tiedetyn hakkeen massan avulla voidaan laskea toimitettu energiamäärä, jonka perusteella maksu tapahtuu toimittajalle. (Piippo 2020.)

Hake puretaan siilosta työntötankojen (kuva 9) avulla kolakuljettimelle. Näitä tan-koja on 12 kappaletta, neljä/siilo. Kolakuljetin kuljettaa hakkeen kiekoseulan kautta, jossa siitä erotellaan mahdolliset puukepit yms. pois. Tämän jälkeen hake kulkee magneettierottimen läpi, joka erottelee mahdolliset metallit polttoaineen

seasta pois. Lopuksi hake päätyy kattiloiden päiväsiiloon, josta syöttöruuvit syöttävät haketta polttoon. (Piippo 2020.)



Kuva 9. Hakesiilo (vasen), työntötangot (oikea) (Kuva: Nuutti Hakkarainen).

Miilulla on kaksi leijupetikattilaa, joiden tehot ovat 7 MW ja 10 MW. Kevytöljyä käytetään silloin, kun kattilan leijupetihiekkaa halutaan lämmittää käynnistysvaiheessa. Kattiloiden palo- ja konvektiotiloja ympäröivät vesiputket, joihin syntynyt lämpö siirtyy. Tämä lämmennyt vesi kulkeutuu suoraan kaukolämpöverkostossa olevaan veteen. Kumpikin kattila sisältää sähkösuodattimen sekä savukaasuperurin lämmöntalteenotolla (LTO). Syntyneet savukaasut puhdistetaan näiden laitteiden avulla. Lämmöntalteenotto likaisesta pesurivedestä tapahtuu lämmönvaihtimen läpi kaukolämmön paluuveteen. LTO:lla saavutetaan 15 %:n tehonlisäys kovilla pakkasilla. (Piippo 2020.)

Näiden kahden pääkattilan rinnalla käytetään varalämmitysjärjestelmänä myös kolmea tulitorvi-tuliputkikattilaa (kuva 10), joiden tehot vaihtelevat välillä 6 - 8 MW. Niiden polttoaineena käytetään nestekaasua, ja ne on uusittu kaksi vuotta sitten (2017). Kaukolämpöveden painetta säädellään Miilun lämpölaitoksella olevilla keskipakopumpuilla sekä Teollisuuskylässä olevalla välipumppaamalla. Miilun

pumppujen teho on 110 kW ja Teollisuuskylän 59 kW. (Outokummun Kaukolämpöverkko, Verkostolaskentaraaportti 2012.) Paine-erona on 2,5 bar meno- ja paluuputkien välillä (Piippo 2020).

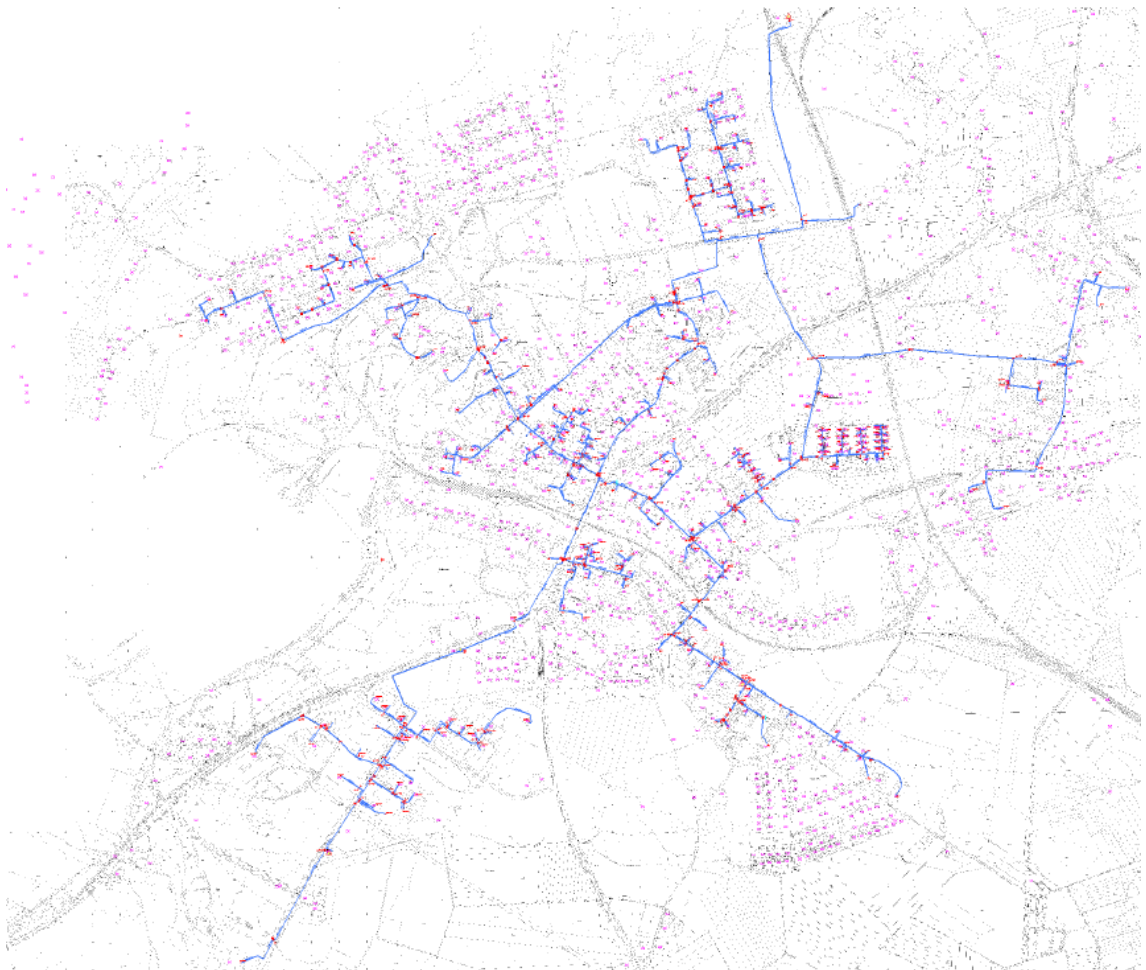


Kuva 10. Levylämmönsiirrin (vasen), tulitorvi-tuliputkikattila (oikea) (Kuva: Nuutti Hakkarainen).

Levylämmönsiirtimessä (kuva 10) virtauskanavat ovat levyjen välissä ja kulmayhteet ovat sijoitettu niin, että kaksi väliainetta virtaavat eri kanavien läpi. Lämpö pääsee siirtymään levyjen virtauskanavien kautta ja maksimaalisen tehokkuuden saavuttamiseksi luodaan täydellinen vastavirtaus tai myötävirtaus käyttötarkoituksen mukaan. Levyjen aallotus jättää levyjen väliin virtauskanaville tilaa, ja näin jäykistää levyjä toisiaan vasten tehostaen turbulenssia. Tämän seurauksena lämmönsiirtokyky optimoituu. (Alfa Laval 2020.)

3.2 Kaukolämpöverkko

Kaukolämpöverkoston (kuva 11) pituus on noin 30 000 kanavametriä (ka-m) (Outokummun Kaukolämpöverkko, Verkostolaskentaraportti 2012). Lämmityskoh- teita on yhteensä 264 vuonna 2020. Vanhimmat kaukolämpöputket ovat 1950- luvulta ja putkien eliniäksi odotetaan hyvissä olosuhteissa vähintään 60 vuotta. (Piippo 2020.) Koko kaukolämpöverkoston liittymisteho on 32 065 kW. Kauko- lämpöputkien putkikoot vaihtelevat välillä DN20–DN300 (taulukko 5). Suurin putki lähtee Miilun lämpölaitokselta Kehkolasta. Vesitilavuudeltaan kaukolämpöver- kosto on noin 900 m³. (Outokummun Kaukolämpöverkko, Verkostolaskentara- portti 2012.) Verkostoa on uusittu ajoittain niiden vanhenemisen myötä. Tuorein putkiremontti oli vuonna 2019 Kummunkadulla, jossa vanhat betonikanaalit vaih- dettiin nykyaikaisiin kaukolämpöputkiin.



Kuva 11. Outokummun kaukolämpöverkko (Outokummun Energia 2019).

Taulukko 5. Outokummun kaukolämpöverkoston putkikoot ja pituudet (Verkostolaskentareportti 2012).

Putkikoko	Keskusta ja teollisuus- kylä (ka-m)
DN20	
DN25	1348
DN32	
DN40	3968
DN50	3998
DN65	3562
DN80	2680
DN100	1910
DN125	2379
DN150	4714
DN200	3217
DN250	1268
DN300	1007
Yhteensä	30051
Vesitilavuus, m³	894

4 Työn tavoite

4.1 Polttoaineen kosteuden ja lämmöntalteenottotehon vertailu

Opinnäytetyössä tavoitteena oli tutkia Miilun lämpölaitokselle tuotua kiinteän polttoaineen kosteutta ajanjaksolla 2011–2019 ja verrata sitä laitoksen kahden lämpökattilan savukaasupesureiden lämmöntalteenottotehoon samalla ajanjaksolla. Tavoitteena oli selvittää, onko kiinteän polttoaineen kosteudella suurta riippuvuutta lämmöntalteenoton tehokkuuteen. Mikäli niiden välillä esiintyisi suurta riippuvuutta, voisi aineiston perusteella pohtia mahdollisia energiatehokkuuteen vaikuttavia toimenpiteitä.

4.2 Savukaasupesuri-lämpöpumppu

Toisena tavoitteena oli selvittää Caligo Industrian kehittämää ja patentoimaa savukaasupesuri-lämpöpumppuratkaisua Miilun lämpölaitokselle. Nykyisin lämpölaitoksen hyötysuhde on noin 87 %, mutta kyseisen tekniikan avulla voitaisiin päästä yli 100 % hyötysuhteeseen (Piippo 2019). Savukaasupesuri puhdistaa biolämpölaitoksen savukaasut rikkiyhdisteistä ja vähentää merkittävästi hiukkaspäästöjä. Pesuri ottaa talteen hukkalämmön biolämpölaitosten savukaasuista. Tämä lämpöenergia palautetaan kaukolämpöverkkoon hyötykäyttöön. (Caligo Oy 2020.)

Kyseisellä lämpöpumpulla säädetään pesurille menevää kaukolämpöveden paluulämpötilaa siten, että kastepistelämpötila saavutetaan riippumatta verkon kuormitusasteesta. Lämpöpumppukytkenällä voidaan laskea jopa 20 °C paluueden lämpötilaa, mutta jäähditys ei hukkaa lämpöenergiaa vaan se siirtyy pumppun termoinen välityksellä lauhduttimelle ja takaisin kaukolämpöverkkoon. (Caligo Oy 2020.)

Tarkoituksena oli tiedustella kyseiseltä yritykseltä mitä Outokummun Energialle tulisi maksamaan sijoittaminen tällaiseen uuteen savukaasupesuriin, ja laskea

investoinnille takaisinmaksuaika. Etenkin huipputehonaikana, jolloin kaukolämpöpaluuveden lämpötila on korkea, saavutettaisiin todennäköisesti merkittäviä säästöjä, kun lämmöntalteenoton energiatehokkuus paranisi ja nestekaasun käyttö jäisi minimiin varalämmönlähteenä.

Taloudellisia tarkasteluja tehtiin savukaasupesuri-lämpöpumpulle, joka kytkettäisiin suuremman 10 MW:n kattilan vanhan pesurin tilalle. Toisena vaihtoehtona tarkasteltiin molempiin kattiloihin kytkettävää yhteistä 17 MW:n savukaasupesuri-lämpöpumpujärjestelmää.

4.3 Miilun lämpölaitoksen ulkolämpötilamittauksen uusiminen WMO:n standardien mukaan

Miilun lämpölaitoksella on tällä hetkellä oma ulkolämpötilamittari, joka mittaa sen hetkistä ulkoilman lämpötilaa, ja tieto välittyy kattilahuoneeseen. Kattilahuone säättää automaattisesti prosessejaan perustuen juuri tähän mittaukseen. (Piippo 2019.) Epätarkat arvot vaikuttavat suoraan energiatehokkuuteen, koska kattilat käyvät siten joko liian kuumana tai kylmänä. Tärkeintä on, ettei lämpömittari näytä liian kylmää lukemaa talvisin, jolloin kattilat käyvät liian suurella teholla tuoden lisäkustannuksia. Kolmantena tavoitteena oli selvittää, millaisia järjestelyjä, komponentteja sekä kustannuksia mittarin päivittäminen toisi mittausjärjestelmä WMO:n (Maailman ilmatieteen järjestön) standardien mukaan, jotta lämpötilamittauksesta saataisiin luotettavampi.

5 Toteutus ja tulokset

5.1 Polttoaineen kosteuden ja lämmöntalteenottotehon vertailu, toteutus

Aineisto saatiin Outokummun Energia Oy:n Excel-tiedostosta, jossa oli sarakkeitain kiinteän polttoaineen tuodut määrät kuukausittain sekä toimittajittain. Määrät oli ilmoitettu energiana, megawattitunteina. Kiinteinä polttoaineina on toiminut lähinnä puumurske, rankahake, kokopuuhaake sekä paperimurske. Lajikkeet ovat vaihdelleet vuosittain. Aineistoa harvennettiin poistamalla pienemmät lajikkeet vuosittaisista tilastoista, ja jäljelle jäi enimmäkseen edellä mainitut hakelajit. Tämän jälkeen etsittiin toisesta Excel -tiedostosta toimitettujen polttoaineiden kosteudet toimittajittain, ja se perustui jokaisen kuukauden päivittäiseen toimituserään. Hakkeen kuukauden kosteus laskettiin näistä keskiarvona.

Hakkeen keskimääräinen kosteus voitiin näin ilmoittaa jokaisen toimittajan kuukausittaista kiinteän polttoaineen määrää kohti. Tietämällä polttoaineen määrät sekä kosteudet, pystyttiin laskemaan painotettu keskiarvo kosteudesta kuukausittain (taulukko 6). Painotetun keskiarvon laskennassa käytettiin ”tulojen summa”-lauseketta Excelissä. Tämä toimenpide tehtiin vuosille 2011–2019.

Taulukko 6. Käytetyn kiinteän polttoaineen määrän ja kosteuden perusteella laskettu painotettu kosteuden keskiarvo 2019 (Outokummun Energia 2020).

Käytetty kiinteä polttoaine 2019, MWh											
	Toimittaja 1		Toimittaja 2			Toimittaja 3				Energia yht. (MWh)	Hakkeen painotettu kosteus
	Puumurske	Kosteus %	Rankahake	Kosteus %	Puru	Kosteus %	Kokopuuhaake	Kosteus %	Tammikuu		
Tammikuu	109	30	7270	30			4147	40		11527	34 %
Helmi	133	19	4514	28			3947	39		8595	33 %
Maalis	359	21	3628	32			4272	48		8258	40 %
Huhtik	295	20	1712	44			3278	44		5286	43 %
Toukoku	462	16			838	60	2136	38		3436	40 %
Kesäku	405	23			911	55	947	32		2263	40 %
Heinäku	291	12			1139	56	1425	26		2855	36 %
Eloku	464	18			2969	42	1049	27		4482	36 %
Syysku	531	16	142		3647	42	1379	29		5699	35 %
Lokaku	495	22			1803	44	2840	31		5138	35 %
Marrasku	220	25	3168	39			1772	32		5160	36 %
Jouluku	242	24	4393	42			4672	37		9307	39 %
Yhteensä	4007	20	24827	36	11306	50	31864	35	Yhteensä	72004	
Osuus kok.määrästä	Osuus kok.määrästä	Osuus kok.määrästä	Osuus kok.määrästä	yht.		kosteus	kosteus	kosteus	kosteus	Kattila 4, LTO % kattilan tehosta	Kattila 5, LTO % kattilan tehosta
1 %	63 %	0 %	36 %	100 %		30 %	30 %	0 %	40 %	10 %	7 %
2 %	53 %	0 %	46 %	100 %		19 %	28 %	0 %	39 %	14 %	7 %
4 %	44 %	0 %	52 %	100 %		21 %	32 %	0 %	48 %	16 %	9 %
6 %	32 %	0 %	62 %	100 %		20 %	44 %	0 %	44 %	18 %	0 %
13 %	0 %	24 %	62 %	100 %		16 %	0 %	60 %	38 %	0 %	12 %
18 %	0 %	40 %	42 %	100 %		23 %	0 %	55 %	32 %	0 %	8 %
10 %	0 %	40 %	50 %	100 %		12 %	0 %	56 %	26 %	0 %	8 %
10 %	0 %	66 %	23 %	100 %		18 %	0 %	42 %	27 %	0 %	6 %
9 %	2 %	64 %	24 %	100 %		16 %	0 %	42 %	29 %	13 %	9 %
10 %	0 %	35 %	55 %	100 %		22 %	0 %	44 %	31 %	13 %	8 %
4 %	61 %	0 %	34 %	100 %		25 %	39 %	0 %	32 %	14 %	7 %
3 %	47 %	0 %	50 %	100 %		24 %	42 %	0 %	37 %	0 %	10 %

Kattila 4:n ja kattila 5:n tuotettu energiamäärä saatiin Outokummun Energian kaukolämmön Excel-tiedostosta kuukausikohtaisesti jokaiselta vuodelta, ja jossa oli myös molempien kattiloiden savukaasupesurien lämmöntalteenoton tuotetut energiamäärät. Näin voitiin laskea tuotetun lämmöntalteenoton osuus kokonaistuotosta.

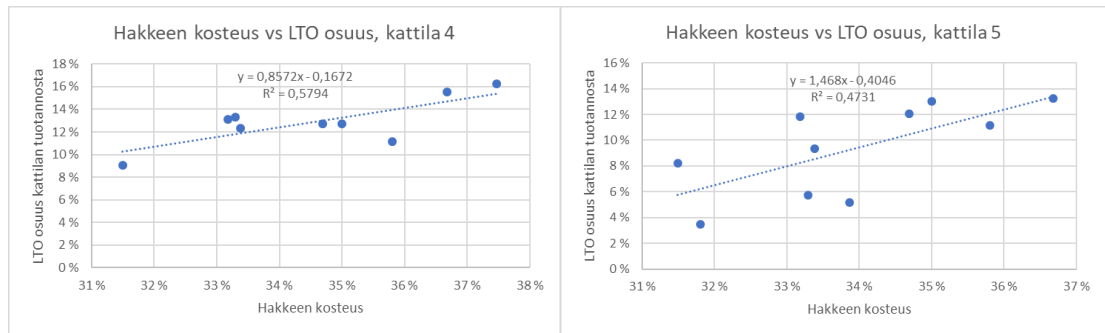
Taulukko 7. Tarkastelun ulkopuolelle jätetyt sarakkeet kuukausikohtaisesti 2019 (Taulukko: Nuutti Hakkarainen).

2019	Hakkeen painotettu kosteus	Kattila 4, tuotanto MWh	LTO tuotanto, kattila 4, MWh	LTO % kattila 4 tuotannosta	Kattila 5, tuotanto MWh	LTO tuotanto, kattila 5, MWh	LTO % kattila 5 tuotannosta
Tammikuu	34 %	5120	528	10 %	3421	242	7 %
Helmikuu	33 %	3840	403	10 %	2440	176	7 %
Maaliskuu	40 %	3758	512	14 %	2254	210	9 %
Huhtikuu	43 %	4015	632	16 %	0	0	0 %
Toukokuu	40 %	847	153	18 %	2284	279	12 %
Kesäkuu	40 %	0	0	0 %	1787	147	8 %
Heinäkuu	36 %	0	0	0 %	1921	161	8 %
Elokuu	36 %	0	0	0 %	1894	120	6 %
Syyskuu	35 %	0	0	0 %	2949	278	9 %
Lokakuu	35 %	4695	599	13 %	171	13	8 %
Marraskuu	36 %	5116	677	13 %	483	36	7 %
Joulukuu	39 %	5346	738	14 %	345	36	10 %

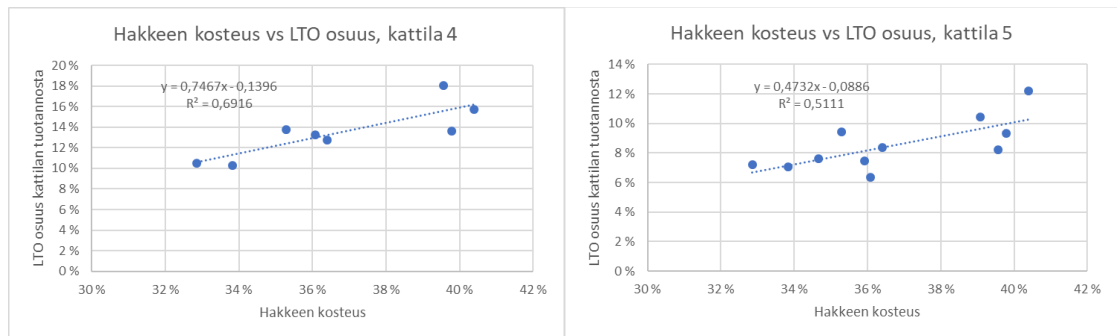
Lähdeaineistosta täytyi poistaa eli jättää tarkastelun ulkopuolelle joka vuoden kohdalta ne kuukaudet, joissa kattila oli lähes tai täysin sammuksissa, koska tiedot olisivat vääristäneet tuloksia. Tällöin myös savukaasupesurin lämmöntalteenoton osuus olisi niinä kuukausina nolla (taulukko 7).

5.2 Polttoaineen kosteuden ja lämmöntalteenottotehon vertailu, tulokset

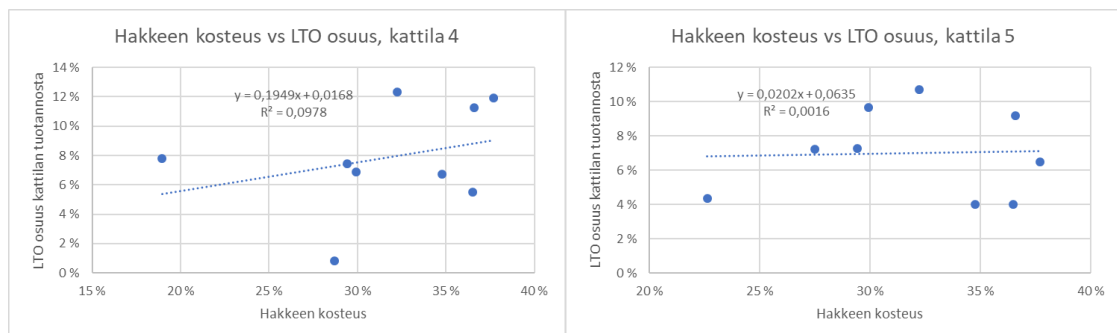
- Vuonna 2014 kattila 4:n korrelaatiokertoimen neliö oli 0,58 ja kattila 5:n 0,47.
- Vuonna 2019 kattila 4:n korrelaatiokertoimen neliö oli 0,69 ja kattila 5:n 0,51.
- Vuonna 2011 kattila 4:n korrelaatiokertoimen neliö oli 0,098 ja kattila 5:n 0,002.



Kuva 12. Hakkeen kosteuden, sekä lämmöntalteenoton osuuden välinen korrelaatio kulmakertoimella esitettynä vuonna 2014 (Nuutti Hakkarainen).



Kuva 13. Hakkeen kosteuden, sekä lämmöntalteenoton osuuden välinen korrelaatio kulmakertoimella esitettynä vuonna 2019 (Nuutti Hakkarainen).



Kuva 14. Hakkeen kosteuden, sekä lämmöntalteenoton osuuden välinen korrelaatio kulmakertoimella esitettynä vuonna 2011 (Nuutti Hakkarainen).

Kahden muuttujan välistä riippuvuutta voidaan esittää Pearsonin korrelaatiokerroimen avulla. Jos korrelaatio on voimakasta voidaan toisen muuttujan arvoista päätellä toisen muuttujan arvot melko täsmällisesti. Mikäli korrelaation ollessa heikko, ei muuttujien välillä ole yhteisvaihtelua. (KvantiMOTV 2004.) Korrelaatiokerroin saadaan standardoimalla muuttujien välille (-1, 1) eli kerroin voi olla joko negatiivinen tai positiivinen. Mitä lähempänä korrelaatiokerroin on arvoa 1, sitä vahvempaa on ominaisuuksien esiintyminen yhdessä. Mikäli kerroin asettuu lähelle arvoa -1, ominaisuudet eivät esiinny yleensä samanaikaisesti. Jos korrelaatiokerroin asettuu lähelle nollaa, sitä vähemmän muuttujat ovat toisistaan riippuvaisia. (Kivelä 2000.) Korrelaatiokertoimet olivat esitetty kuvaajissa niiden neliönä (R^2). Se tarkoittaa, että muuttuja selittää prosentteina, kuinka paljon se on selitettävän muuttujan varianssista. (KvantiMOTV 2004.)

Tuloksista saatiin selville, että hakkeen kosteuden ja savukaasupesurin lämmöntalteenoton tehokkuuden välillä ei ole riippuvuutta. Korrelaatiokertoimen neliö (R^2) oli suurimmillaan vuosina 2014 (kuva 12) ja 2019 (kuva 13), mutta se ei ole merkittävällä tasolla. Kuvassa 14 on esitetty vähiten riippuvuutta omaava vuosi 2011. Näin ollen tämän selvityksen perusteella ei voida tehdä energiatehokkuuden parantamisehdotuksia.

5.3 Savukaasupesuri-lämpöpumppu, toteutus

Raportointiohjelmasta (Valmet), sekä Outokummun Energian tiedostoista lähetettiin alla luetellut arvot vuodelta 2019 Caligo Oy:lle. Kyseinen yritys määrittä omalla järjestelmällään näiden arvojen perusteella oikeat mitoitukset sekä laskee kustannusarvot. Kustannusarvioiden perusteella voitiin laskea takaisinmaksuaika sekä tehdä herkkyyksianalyysiä. Analyysissä pohdittiin investoinnin, hakkeen ja sähkönhinnan sekä korkokannan vaikutusta takaisinmaksuajan suuruuteen.

- kaukolämpöteho (MW)
- kaukolämpöverkoston meno- ja paluuveden lämpötilat (°C)
- kattiloiden 4 ja 5 tehot (MW)
- kattiloiden 4 ja 5 savukaasujen jäännöshappipitoisuus (%)
- kattiloiden 4 ja 5 savukaasupesureiden lämmöntalteenottotehot (MW)
- polttoaineen kosteus (%)
- polttoaineen erittely tyypeittäin
- energian myyntimäärä (MWh)
- savukaasujen lämpötilat kattilasta 4 ja 5 (°C)
- savukaasujen lämpötilat savukaasupesureista (°C)
- savukaasupesureiden vedenkulutus (m³/a)
- kanavavetojen määrä (m).

Näiden lisäksi tuli selvittää, miten käytetty polttoaine jakaantuu suhteessa molemmille kattiloille. Outokummun Energialla ei ollut siitä varsinaista dataa, joten jouduttiin pohtimaan miten saada karkea arvio. Ongelma ratkaistiin siten, että kun tiedossa olivat ne kuukaudet, jolloin jompikumpi kattiloista ei ollut toiminnassa, silloin kaikki polttoaine meni vain toiseen kattilaan. Alla olevassa taulukossa 8 on esitetty, miten polttoaine jakaantuu kattiloihin vuosina 2017–2019. Alariville on laskettu keskiarvo, josta nähtiin polttoaineen jakautuvan 58 % kattila 5:lle ja 42 % kattila 4:lle. Tämä on loogista, sillä vain kattila 5 on tyypillisesti kesäaikaan käynnissä. Samalla periaatteella selvitettiin kattiloiden tuottaman, lämmöntalteenoton tuottaman, sekä myydyn energian suhteet.

Taulukko 8. Polttoaineiden käytön, tuoton, LTO:n tuoton sekä myynnin jakautuminen kattila 4:lle ja 5:lle (Kuva: Nuutti Hakkarainen).

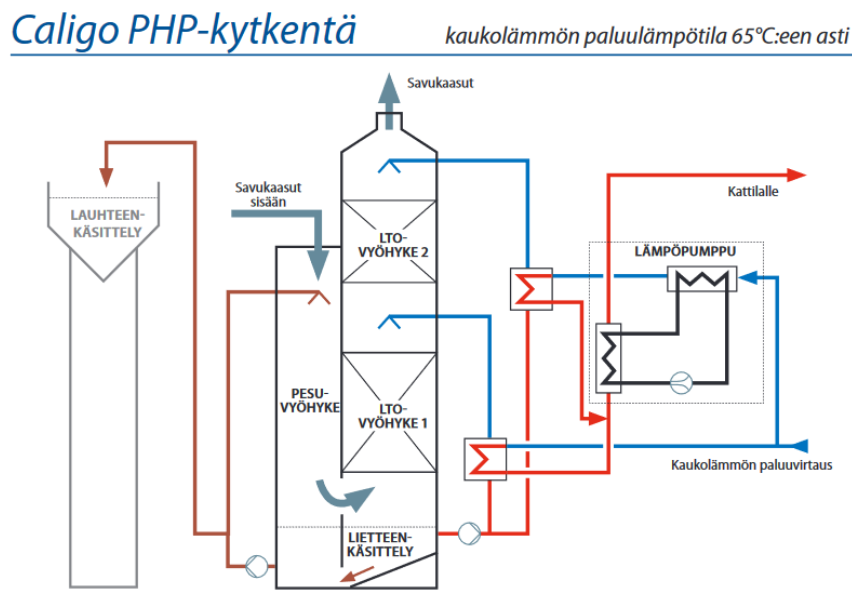
	Polttoaine-energia, kattila 5 (MWh)	Polttoaine-energia, kattila 4 (MWh)	Kattila 5, tuottama energia (MWh)	Kattila 4, tuottama energia (MWh)	LTO 5, tuottama energia (MWh)	LTO 4, tuottama energia (MWh)	Kattila 5, myyty energia (MWh)	Kattila 4, myyty energia (MWh)
2019	11718	5282	8551	4015	706	632	7222	4107
	kesä-syys	huhti	kesä-syys	huhti	kesä-syys	huhti	kesä-syys	huhti
2018	12985	5314	7800	4297	582	761	6524	4449
	touko-elo	loka	touko-elo	loka	touko-elo	loka	touko-elo	loka
2017	9540	14215	6922	10785	695	1450	5746	10406
	heinä-syys	huhti ja marras	heinä-syys	huhti ja marras	heinä-syys	huhti ja marras	heinä-syys	huhti ja marras
KA	11414	8270	7758	6366	661	948	6497	6321

5.4 Savukaasupesuri-lämpöpumppu, tulokset

Caligo Oy laski nykytilanteessa tuotantokustannukset vuodelta 2019 perustuen lämpölaitokselta kerättyyn, suodatettuun ja laskettuun dataan. Tämän jälkeen yritys vertasi niitä 10 MW:n savukaasupesurijärjestelmään sekä 17 MW:n yhteiseen savukaasupesurijärjestelmään. Alla on lueteltu yrityksen käyttämät hintatiedot.

- hakkeen hinta käyttöpaikalla 20 €/MWh
- sähköhinta 98 €/MWh
- vesi- ja viemärimaksu 4 €/m³.

Näillä arvoilla nykytilanteen tuotantokustannuksiksi saatiin noin 1 545 000 €, 10 MW:n savukaasupesurin kanssa noin 1 479 000 € ja 17 MW yhteisen pesurin kanssa noin 1 444 000 € vuodessa. Investointihinnaksi pienemmälle pesurille muodostui 450 000 € ja suuremmalle 1 250 000 €. Nämä ovat ns. avaimet käteen -hinnat, jotka sisältävät kaikki muutokustannukset, pesurin omat logiikan ohjelmat lämpöpumppuineen.



Kuva 15. Savukaasupesuri-lämpöpumppujärjestelmä (Caligo Oy 2020).

Caligo Oy:n käyttämät savukaasupesurit (kuva 15) ovat CS_x-tuoteperhettä, joka on täysin automatisoitu kokonaisuus. Tämä tarkoittaa, että pesurin manuaalinen operointi ei ole tarpeellista. Järjestelmän säätö ja ohjaus toimii riippumattomasti laitoksen muusta operoinnista. Tämä tarkoittaa sitä, ette vuorovaikutusta ei tarvita kattilalaitoksen kanssa. (Caligo Oy 2020.)

5.4.1 Takaisinmaksuaika

Seuraavaksi selvitettiin savukaasupesurin korollinen takaisinmaksuaika, joka huomioi korkokannan vaikutuksen maksuajan suuruuteen. Laskentakorkokannana käytettiin 3 % ja vuotuisena säästönä nykytilanteen tuotantokustannusten ja uusien järjestelmien tuotantokustannusten erotusta. 10 MW:n pesurin vuotuinen säästö on noin 66 500 € ja 17 MW:n pesurin noin 101 200 €.

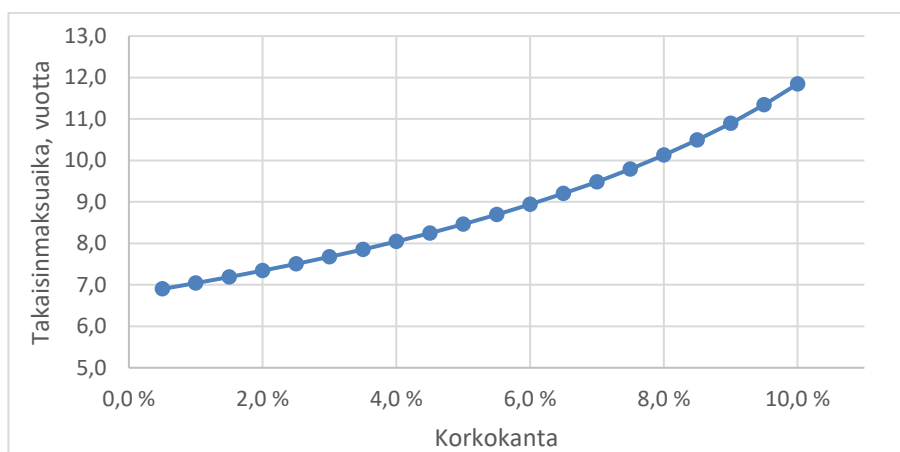
- 10 MW:n savukaasupesuri-lämpöpumppuratkaisun takaisinmaksuaika 7,7 vuotta.
- 17 MW:n yhteisen savukaasupesuri-lämpöpumppuratkaisun takaisinmaksuaika 15,7 vuotta.

Vaikka yhteinen pesuri tuo vuodessa suurempia säästöjä, sen investointihinta on kuitenkin lähes kolme kertaa suurempi. Tämä tekee takaisinmaksuajasta liian pitkän huomioiden uuden laitteiston takaisinmaksuajan, 20–30 vuotta. Myöskin ajettaessa alhaisimmilla tehoilla kesäaikaan, lämpöpumppu saatetaan joutua poistamaan käytöstä kattilan sammumisvaaran takia. (Caligo Oy 2020.) Näistä syistä herkkyyssanalyysissä perehdytään potentiaaliseen vaihtoehtoon eli suuremman kattilan savukaasupesurin tilalle asennettavaan, uuteen 10 MW:n savukaasupesuri-lämpöpumppujärjestelmään.

5.4.2 Herkkyystarkastelu

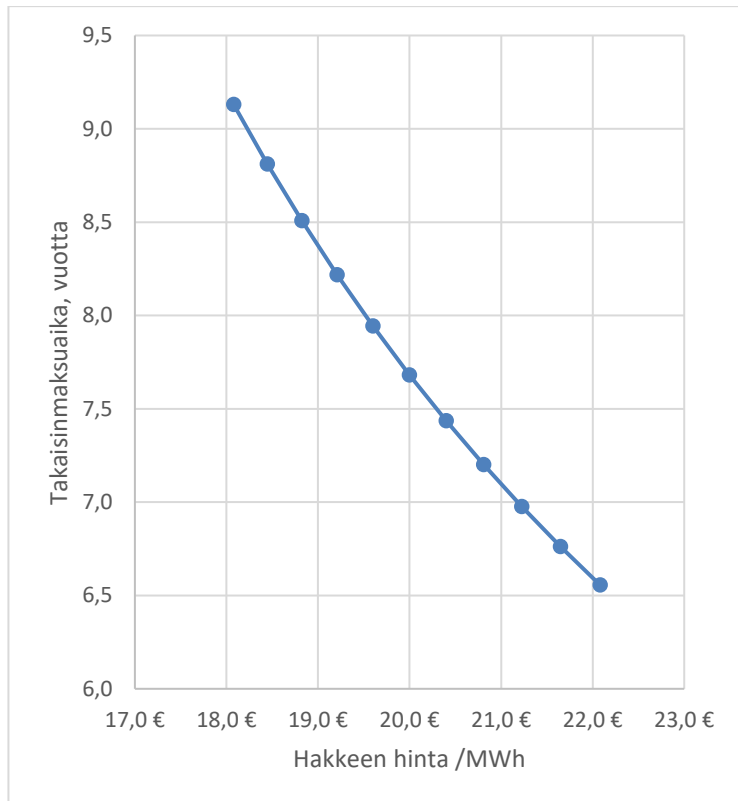
Herkkyystarkastelussa keskityttiin neljän eri muuttujan hintojen vaihteluun ja niiden vaikutusta takaisinmaksuajan keston. Analyysissä haluttiin tuoda esiin se, miten suuria muutoksia syntyy takaisinmaksuajkaan, kun muutetaan jotain tiettyä kustannustekijää. Viidettä kustannustekijää, eli vesi- ja viemärimaksua, ei oteta mukaan tarkasteluun, sillä sen osuus on mitätön. Muuttujina käytettiin:

- korkokanta, vaihteluväli 0,5 % - 10,0 %
- hakkeen hinta, vaihteluväli 18,1 €/MWh–22,1 €/MWh
- sähkön hinta, vaihteluväli 50 €/MWh–150 €/MWh
- investointihinta, vaihteluväli 405 000 € - 495 000 €.



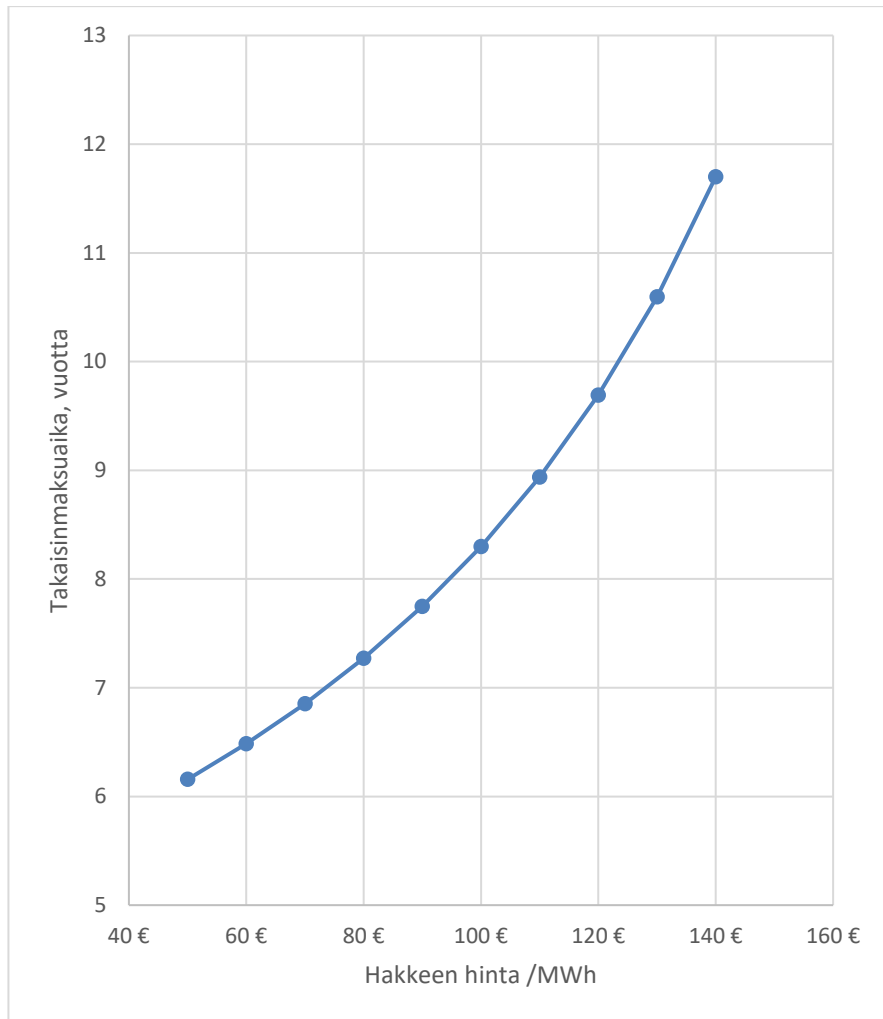
Kuva 16. Korkokannan vaikutus takaisinmaksuajkaan (Kuva: Nuutti Hakkarainen).

Kuvasta 16 nähdään, että mikäli korkokanta laskee 2,0 %:iin, takaisinmaksuaika on noin 7,3 vuotta. Jos korkokanta nousee 8,0 %:iin, takaisinmaksuajaksi tulee noin 10 vuotta.



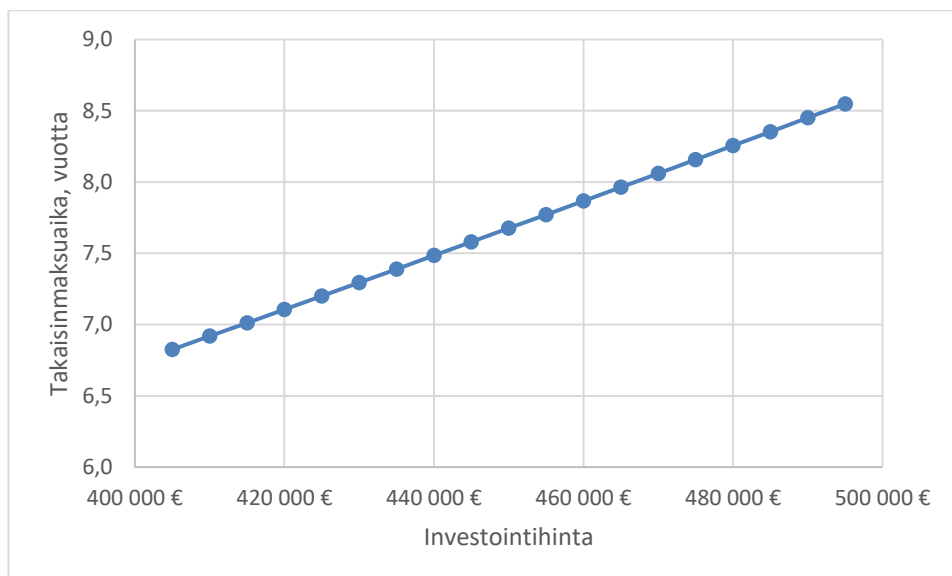
Kuva 17. Hakkeen hinnan vaikutus takaisinmaksuaikaan (Kuva: Nuutti Hakkarainen).

Kuvan 17 perusteella jos hakkeen hinta käyttöpaikalla laskee 18 €/MWh:lta, takaisinmaksuajaksi tulee noin 9,2 vuotta. Mikäli hakkeen hinta nousee 22 €/MWh:lta, maksuaika lyhenee noin 6,5 vuoteen.



Kuva 18. Sähkönhinnan vaikutus takaisinmaksuajkaan (Kuva: Nuutti Hakkarainen).

Kuvan 18 mukaan, jos sähkönhintaa laskisi 50 €/MWh:lta, takaisinmaksuajaksi tulisi noin 6,1 vuotta. Jos sähkönhintaa nousisi 130 €/MWh:lta, maksuajaksi saataisiin noin 10,6 vuotta. Kalliimmalla sähkönhinnalla takaisinmaksuaika kasvaisi eksponentiaalisesti.



Kuva 19. Investointihinnan vaikutus takaisinmaksuaikaan (kuva: Nuutti Hakkarainen).

Kuvasta 19 nähdään, että mikäli investointihinta laskisi 400 000 €:oon, takaisinmaksuajaksi tulisi 6,8 vuotta. Mikäli hinta nousisi 490 000 €:oon, maksuajaksi saataisiin noin 8,5 vuotta.

5.5 Miilun lämpölaitoksen ulkolämpötilamittauksen uusiminen WMO:n standardien mukaan, toteutus

Asiasta tiedusteltiin Ilmatieteen laitoksen havaintopäällikkö Juhana Hyrkkäistä. Olisi tärkeää, että mittauspaikka edustaisi haluttuja olosuhteita. Lämpölaitoksen kannalta olisi varmasti tärkeää tietää ne lämpötilaolosuhteet, sillä maantieteellillä alueella, mihin lämpöä tuotetaan ja missä asiakkaita on. Näin ollen yksittäinen pistemäinen lämpötilamittaus ei ole välttämättä paras vaihtoehto, koska se ei välttämättä edusta kaupungin olosuhteita. (Hyrkkäinen 2020.)

Kaukolämpöpäällikön kanssa tulimme siihen tulokseen, että yksi havaintopiste riittää lämpölaitoksen toimintaan. Tämä siksi, koska useampi mittauspiste eri puolilla Outokumpua toisi omat haasteensa järjestelmän toimivuutta ajatellen esimerkiksi signaalien syötön kannalta. Lisäksi vain yhden mittauspisteen huoltaminen on kätevintä sen ollessa laitoksen vieressä. Outokummussa ei ole virallista Ilmatieteen laitoksen havaintoasemaa. Muuten olisi voinut miettiä järjestelmän ajamista sen mukaan.

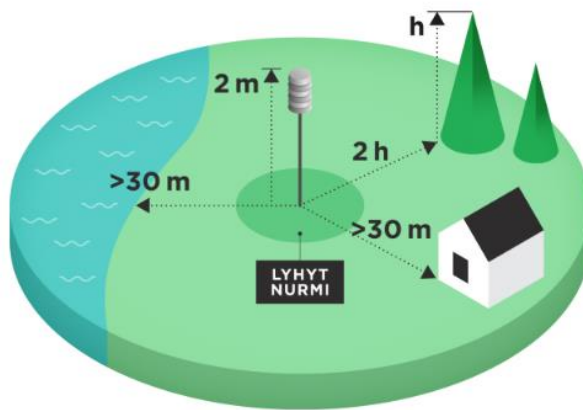
Tarkat lämpötila-anturit eivät ole itsessään kalliita, liikutaan muutamissa sadoissa euroissa. Mutta mikäli tavoitteena on päästä WMO-tason mittaustarkkuuksiin, tietoliikenneyhteyksien, sähkönsyötön ja rakennelmien perustaminen nostaa hintaa merkittävästi. (Hyrkkäinen 2020.) Ilmatieteen laitoksen toiselta työntekijältä selvitettiin komponentti- sekä kustannustiedot. Lämpölaitoksen ympäröivä alue karotettiin, ja tutkittiin lämpömittarille soveltuvaa kohdetta.

5.6 Miilun lämpölaitoksen ulkolämpötilamittauksen uusiminen WMO:n standardien mukaan, tulokset

5.6.1 Sääaseman paikka

Mittauspaikan tulisi edustaa useamman neliökilometrin aluetta, mutta oma sääasema voi edustaa myös oman pihan sääolosuhteita. Ideaalinen alue olisi hoidettu nurmialue (kuva 20), jossa maanpinta on tasainen. Sääasemaa ei tulisi sijoittaa kivikolle, asfaltille tai sementtialustalle, koska ne toimivat lämmönlähteinä ja näin antavat virheellisiä arvoja. Puihin, rakennuksiin sekä vesialueisiin tulisi myös kiinnittää huomiota. Metsä tai rakennus voi vaikuttaa tuulen suuntaan ja voimakkuuteen, jotka taas vaikuttavat sateen ja lumen kertymiseen. Alueella olevat mahdolliset esteet tulisi olla vähintään kaksi kertaa esteen korkeuden päässä. (Ilmatieteen laitos 2020.)

Mittarit sijoitetaan yleensä lähelle toisiaan, mutta esimerkiksi tuulimittarin voi jättää kauemmas muista, jotta saadaan edustavampi mittaustulos. Mikäli ihanteellista paikkaa ei löydy voidaan asema sijoittaa paikkaan, joka on edellä mainittujen kompromissi. Myös sääaseman säännöllisellä huollolla minimoidaan mittausvirheet. Tärkeimpänä huoltona on mittareiden puhtaanapito pölystä, roskista ja lumesta. (Ilmatieteen laitos 2020.)



Kuva 20. Ideaalitilanne lämpötilanmittaukselle (Ilmatieteen laitos 2020).



Kuva 21. Ulkolämpömittarille soveltuva paikka (Kuva: Nuutti Hakkarainen).



Kuva 22. Ulkolämpömittarille soveltuva paikka, ilmakehu lämpölaitoksesta (Kuva: muokattu lähteestä Google Maps).

Miilun lämpölaitokselle soveltuvin ulkolämpömittarin paikka on esitetty kuvissa 21 ja 22. Kohde sijaitsee nurmikolla ja maa on tasaista. Lisäksi rakennukseen säilyy etäisyyttä ja puustoa on harvakseltaan vain yhdessä suunnassa. Myöskään rakennuksen eteläpuoleisella seinustalla ei ole mittaukseen vaikuttavaa ilmanvaihtoa. Lumenauraus talvella ei vaikuta mittaukseen, mikäli lunta ei kasata mittarin viereen. Lämpömittari tarvitsee säteilysuojan, koska muuta varjostavaa tekijää ei paikassa ole, lukuun ottamatta osittain puustoa. Kaapelinvedolle muodostuu myös lyhyt vetomatka.

5.6.2 Ilman lämpötilan mittaus

Ilman lämpötilanmittaus tapahtuu standardien mukaan kahden metrin korkeudesta. Lämpötilamittarin tulisi sijaita säteilysuojan sisällä, mutta myös tuulettuminen ja ilman sekoittuminen on oltava mahdollista. Säteilysuojan pääasiallinen tarkoitus on välttää mittarin altistuminen suoralle auringonsäteilylle ja sateelle, ja

siten estää virheelliset mittaustulokset. Mittari tulisi olla varjossa ilman säteilysuojaa. Jos mittari täytyy sijoittaa rakennukseen kiinni, niin tulee välttää lämmönlähteiden, kuten ilmastointikanavien läheisyyttä. (Ilmatieteen laitos 2020).

5.6.3 Komponentit ja kustannukset

Ilman lämpötilan mittausta varten tarvitaan WMO:n standardien mukainen lämpötilamittari. Ilmatieteen laitoksen työntekijän Bernströmin mukaan, he käyttävät pääasiassa kahden eri valmistajan lämpötila-antureita, jotka ovat Pentronic Pt100 sekä Vaisala Humicap HMP155. Näiden lisäksi lämpötila-anturi tarvitsee säteilysuojan, ns. Stevenson screen -lämpötilakojun. Yleensä anturin kanssa käytetään vielä erikseen lähetintä, joka antaa signaalin vastaanottopisteeseen. (Ilmatieteen laitos 2020.) Lämpölaitoksen tapauksessa riittää kaapeli, koska mitauspiste tulee laitoksen lähelle (Piippo 2020).

Pentronic Pt100-anturit ovat usein hauraita verrattuna metallipäällysteisiin termoelementteihin, jonka vuoksi ne eivät sovellu tärisevään ympäristöön. Toisaalta Pt100:n suuri etu on sen valtava stabiilisuus ja täten huomattavasti ennustettavimmat ominaisuudet verrattuna lämpöpariin. Mittaamisessa käytetään 2-, 3- ja 4-johdinkokoonpanoja. Neljä johtoa on yleensä paras kokoonpano tarkkuussyistä. (Pentronic 2020.)

Vaisala Humicap HMP155 on kosteus- sekä lämpötila-anturi. Se on suunniteltu etenkin vaativiin ulkoilmamittauksiin. Anturin rakenne on kiinteä ja sensori on suojattu sintratulla teflonisuodattimella. Se antaa suojan vettä, pölyä ja likaa vastaan. Sitä suositellaan käytettävän DTR13- ja DTR503-säteilysuojien kanssa tai Stevenson screen -lämpötilakojun sisällä. (Vaisala 2020.) Kustannuksiltaan molemmat lämpötila-anturit sekä säteilysuoja ovat suuruudeltaan noin 1000 € (Bernström 2020).

6 Pohdinta

6.1 Johtopäätökset ja tulosten tarkastelu

Polttoaineen kosteuden ja lämmöntalteenoton tehokkuuden välistä merkittävää riippuvuutta ei löytynyt. Riippuvuus oli suurimmillaan vuonna 2019, jolloin kattila 4:n korrelaation kulmakerroin oli 0,69 ja kattila 5:n 0,51. Nämäkään tulokset eivät ole lähellä lukua 1, jolloin näiden kahden muuttujan välinen riippuvuus ei ole merkittävällä tasolla. Korrelaation kulmakertoimella esitettynä riippumattomuutta kuvaa vielä selkeämmin se, että ainoastaan muista vuosista 2011 - 2018, vuonna 2014 kerroin oli yli 0,5. Tästä syystä Outokummun Energia ei pysty pohtimaan näiden analyysien perusteella energiatehokkuuden parantamistoimenpiteitä.

Savukaasupesuri-lämpöpumppujärjestelmien kannattavuuden selvityksessä päästiin hyviin tuloksiin. Kattila 4:n tilalle kaavailtu 10 MW:n savukaasupesuri-lämpöpumppu tulisi maksamaan itsensä takaisin tämän selvityksen noin 8 vuodessa. Isomman yhteisen 17 MW:n savukaasupesurin investointihinta on niin korkea, että huolimatta vuosittaisista suurimmista säästöistä, sen takaisinmaksuaika olisi yli kaksi kertaa pidempi kuin pienemmän pesurin. Kun huomioidaan vielä uuden laitteiston käyttöikä, yrityksellä on enemmän kiinnostusta potentiaalisempaan vaihtoehtoon.

Herkkyystarkastelussa selvisi, että hakkeen hinnan kuvaaja muodosti luonnollisesti käyrän alaspäin, koska vuotuinen säästö nousee sen mukaa mitä kalliimpaa hakkeen hinta käyttöpaikalla on. Korkokannan ja sähkönhinnan kuvaajissa suora muodosti käyrän ylöspäin. Sähkönhinnan noustua yli 130 €/MWh:lta, käyrässä havaittiin eksponentiaalista kasvua. Investointihinnan kuvaajassa suora käyttäytyi lähes lineaarisesti kasvavana.

Sopiva paikka mittarille olisi Miilun lämpölaitoksen eteläpuoliskolla sijaitseva nurmialue. Tällä alueella minimoidaan ulkopuoliset vaikutukset luotettavan lämpötilamittauksen saamiseksi. Ulkolämpötilamittarin uusiminen WMO:n standardien mukaiseksi tulee kustantamaan noin 1000 €. Kustannusarvio kattaa niin lämpötila-anturin kuin säteilysuojankin. Vaisala Humicap HMP155 -lämpötila-anturi olisi

yrittäjän kannalta sopivampi vaihtoehto, koska lämpölaitokselle soveltuva sijoituspaikka voi kärsiä ajoittain työkoneiden aiheuttamasta tärinästä sekä pölystä.

6.2 Luotettavuus

Opinnäytetyön tulosten luotettavuuteen täytyy suhtautua kriittisesti. Polttoaineen kosteuden ja lämmöntalteenoton riippuvuuden tarkastelussa on huomioitava, ettei Pearsonin korrelaatiokerroin ole aina yksiselitteinen. Se ei aina anna automaattisesti informaatiota siitä, vallitseeko muuttujien välillä kausaalinen suhde. Tarkastelussa muuttujien välillä oli epälineaarista riippuvuutta, joten sen määrä tulee huomattavasti aliarvioiduksi. Luotettavuuden parantamiseksi tutkittavista muuttujista poistettiin poikkeavat havaintoarvot, koska ne olisivat vaikuttaneet suuresti korrelaatiokertoimen arvoon.

Savukaasupesuri-lämpöpumppulaskelmien alkudatassa käytettiin vain vuoden 2019 arvoja. Mikäli olisi käytetty esimerkiksi viiden viimeisen vuoden tietoja, vuotuiset vaihtelut olisivat tulleet paremmin esille Caligo Oy:n mitoitusta varten. Raaka-aineiston luotettavuutta olisi lisännyt myös se, jos olisi ollut valmista tietoa polttoaineen jakautumisesta molemmille kattiloille. Nyt jouduttiin käyttämään karkeaa laskennallista arviota. Kustannusarvioita laskettaessa olisi voinut käyttää korollisen takaisinmaksuajan lisäksi esimerkiksi nykyarvomenetelmää, joka olisi tuonut tarkasteluun enemmän variaatiota. Toisaalta hankinta voidaan osoittaa kannattavaksi, vaikka käytettäisiin vain yhtä investointilaskelmaa. Tapauksesta on ollut myös vastaavanlainen opinnäytetyö, jossa päädyttiin investoinnin kannattavuuteen.

Ulkolämpötilamittarin uusimisessa luotettavuutta toisi enemmän, jos mittarit voitaisiin sijoittaa muutamalle eri paikalle Outokummun alueella. Näin mittaustulokset kertoisivat paremmin sen alueen lämpötilaosuhteista, joissa kaukolämpöä tarvitaan. Selvityksen perusteella tehty pistemäinen mittaus kertoo vain laitoksen alueen lämpötilaloista.

6.3 Toimenpidesuositukset ja jatkojalostusmahdollisuudet

Yrityksen kannalta tärkein tutkittava asia oli uuden savukaasupesuri-lämpöpump-pujärjestelmän kannattavuuden selvittäminen. Tuloksien perusteella pienemmän 10 MW:n pesurijärjestelmän asentaminen toisi vuodessa merkittäviä säästöjä, eikä investointihintakaan olisi liian suuri. Tämän vuoksi takaisinmaksuaika jäi kannattavuusarviota tehtäessä potentiaaliselle tasolle. Yrityksen kannattaa alkaa tekemään jatkoselvityksiä asian eteenpäin viemiseksi.

Ulkolämpötilamittarin uusiminen WMO:n standardien tasolle hoituu pienillä kus-tannuksilla, ja mittarille soveltuva paikka löytyi ihan lämpölaitoksen vierestä. Tästä syystä mittarin kaapelinvetomatka tulisi olemaan lyhyt. Yrityksen kannattaa pohtia, haluaako se tehdä tarvittavat muutokset nykyiseen mittariin. Mikäli nykyi-nen mittari näyttää talvella esimerkiksi puoli celsiusastetta liian kylmää, menete-tään turhaan energiaa.

Outokummun Energia Oy:n koko kaukolämmön energiatehokkuuden parantami-nen on laaja käsite. Tästä syystä kyseistä opinnäytetyötä voidaan myöhemmin jatkaa samalla aihepiirillä tarkastelemalla esimerkiksi kaukolämmön jäähtyvyy-den parantamista kaukolämpösopimusten muutoksilla. Työllä on siis potentiaali-sia jatkojalostusmahdollisuuksia.

Lähteet

- Alfa Laval. 2020. Levylämmönvaihdin.
<https://www.armatec.com/globalassets/armatec-fi/webbase/product-documents/tiivisteelliset-levylammonsiirtimet/tiivisteelliset-levylammonsiirtimet-t8-levylammonvaihdin-238946.pdf>. 27.5.2020.
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J., & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT.
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>. 25.1.2020.
- Bernström, R. Työntekijä, Ilmatieteen laitos. 11.3.2020.
- Caligo Industria. 2020. Nykyaikainen savukaasupesuri. Caligo Industria.
http://www.caligoindustria.com/lehdisto/Caligo_Savukaasupesuri.pdf. 20.1.2020.
- Energiateollisuus. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Adato Energia.
- Energiateollisuus. 2020. Kaukolämpötilasto 2018.
<https://energia.fi/files/3935/Kaukolampotilasto2018.pdf>. 12.3.2020.
- Energiateollisuus. 2014. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina.
https://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf. 12.3.2020.
- Energiateollisuus. 2020. Tulevaisuuden energiaratkaisut.
https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/kaukolammon_asiakkuus/tulevaisuuden_asiakasratkaisut. 10.4.2020.
- Hellgrén, M., Heikkinen, L., Suomalainen, L., Kala, J. 1999. Energia ja ympäristö. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Hiilamo, H. 2019. Kaukolämpöverkot Suomessa.
https://energia.fi/files/3982/Hiilamo_Kaukolampoverkot_Suomessa_KL-paivat_2019_.pdf. 11.2.2020.
- Hiilitieto. 2020. Rikin ja typen oksidit.
<https://www.hiilitieto.fi/hiilitietoa/hiilen-haitat/rikin-ja-typen-oksidit/>. 25.4.2020.
- Hyrkkänen, J. 2020. Säähavaintoasema. juhana.hyrkkanen@fmi.fi. 3.3.2020.
- Ilmatieteen laitos. 2020. Oman sääaseman perustaminen.
ilmatieteenlaitos.fi/oma-saaasema. 10.3.2020.
- Ilmatieteen laitos. 2020. Pienhiukkaset.
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/pienhiukkaset-ilmansaasteena>. 22.4.2020.
- Jyväskylän Teknologiakeskus Oy. 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Karelia-ammattikorkeakoulu. 2020. Kaukolämmityksen ja lämmönjakelun perusteet. Powerpoint. 27.5.2020.
- Kaukolämpö. 2020. Wikipedia.
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Kaukol%C3%A4mp%C3%B6>. 10.3.2020.
- Kivelä, S. 2000. Lukiotason matematiikan tietosanakirja. TKK.
<https://matta.hut.fi/matta2/isom/html/index.html>. 20.4.2020.
- KvantiMOTV. 2004. Korrelaatio ja riippuvuusluvut.
<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html>. 20.4.2020.

- Motiva. 2019. Kaukolämpö.
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo. 10.12.2019.
- Motiva. 2020. Kaukolämmön hinta.
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_hinta. 4.6.2020.
- Mattila, A. 2020. Alkutiedot Ito:n tehostamiseen ja kannattavuuteen opinnäytetyöhön. ari-matti.mattila@kauhava.fi. 13.3.2020.
- Mäkelä, V. & Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammatikorkeakoulu.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 20.2.2020.
- Outokummun Energia. 2019. Kaukolämpö.
<https://outokummunenergia.fi/kaukolampo>. 25.12.2019.
- Pentronic AB. 2020. Tietoa lämpötila-antureista.
<https://www.pentronic.se/om-temperatur/temperaturgivare-2/temperaturgivare/>. 15.3.2020.
- Piippo, A. 2019a. Kaukolämpöpäällikkö, Outokummun Energia, Haastattelu 1.11.2019.
- Piippo, A. 2019b. Kaukolämpöpäällikkö, Outokummun Energia, Haastattelu 17.12.2019.
- Piippo, A. 2019c. Kaukolämpöpäällikkö, Outokummun Energia, Haastattelu 12.2.2020.
- Piippo, A. 2019d. Kaukolämpöpäällikkö, Outokummun Energia, Haastattelu 10.3.2020.
- Piippo, A. 2019e. Kaukolämpöpäällikkö, Outokummun Energia, Haastattelu 15.4.2020.
- Piippo, A. 2019f. Kaukolämpöpäällikkö, Outokummun Energia, Haastattelu 15.5.2020.
- Planora Oy. 2012. Outokummun Kaukolämpöverkko, Verkostolaskentaraaportti. 10.1.2020.
- Pori Energia. 2020. Yhteistuotanto.
<https://www.porienergia.fi/Tietoa/Ymparisto/Yhteistuotanto#.XoQ7LIgzaUk>. 20.1.2020.
- Pöyry Finland Oy. 2016. Energiateollisuuden ympäristöpooli.
https://energia.fi/files/1442/Savukaasupesurit_raportti_201216.pdf. 28.4.2020.
- Rissanen, V. 2016. Savukaasupesurilauhteen lämmön hyötykäyttö Vanajan voimalaitoksella. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.
https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/125614/Diplomityo_Rissanen_Ville-Matti.pdf?sequence=2&isAllowed=y. 27.5.2020.

- Saarinen, M. 2013. Puun pienpolton hiukkaspäästöjen vähentäminen sähkösuodattimella: sähkösuodattimen erotustehokkuus ja vaikutus hiukkasten tuhka-hiili-suhteeseen. Jyväskylän yliopisto. Ympäristötiede ja -teknologia. Pro gradu-tutkielma.
<https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/41910/URN%3ANBN%3Afi%3Aaju-201307262097.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 15.4.2020.
- Suomen Ympäristökeskus. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5 - 50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40560/SY_649.pdf?sequence=1. 20.4.2020.
- Sähkösuodatin. 2020. Wikipedia.
<https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6suodatin>. 20.4.2020.
- Tilastokeskus. 2020. Sähkön ja lämmön yhteistuotanto.
https://www.tilastokeskus.fi/meta/kas/sahko_lampo_tuo.html. 22.4.2020.
- Vaisala. 2020. Humicap-kosteus ja lämpötilamittapää HMP155.
<https://www.vaisala.com/fi/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/instruments-industrial-measurements/hmp155us>. 15.3.3020.
- Vallinheimo, E. 2020. Pienhiukkaset vaikuttavat sekä terveyteen että ilmastonmuutokseen. Atmos.
<https://atmoslehti.fi/teema/pienhiukkaset-vaikuttavat-seka-terveyteen-etta-ilmastonmuutokseen/>. 23.4.2020.
- Vapor Boilers Finland. 2020. Vapor Steam Boilers – technical specifications
http://vapor.fi/wp-content/uploads/2017/05/Vapor_TTK_steam-boiler-technical-data.pdf. 18.3.2020.
- VTT. 2004. Energia Suomessa. Helsinki: Edita Prima Oy.