

Riku Hietala

## **SÄHKÖKÄYTTÖINEN KAUKOLÄMPÖLAITOS**

# **SÄHKÖKÄYTTÖINEN KAUKOLÄMPÖLAITOS**

Riku Hietala  
Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
Energiatekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

---

Tekijä: Riku Hietala

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Sähkökäyttöinen kaukolämpölaitos

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Electric District Heating Plant

Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 51

---

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää investointikustannuksia sähkökattilalaitokselle kaukolämmön vara- ja huipputehontuotantoon sekä arvioida investoinnin kannattavuutta. Tarkasteltavana oli 10, 20, 30 ja 40 MW:n sähkökattilaratkaisut, ja sähköverkon osalta 20 kV keskijänniteliittymä ja 110 kV suurjänniteliittymä. Tavoitteena oli selvittää rakentamisesta ja käytöstä aiheutuvia kustannuksia eri teholuokan sähkökattiloille ja verrata näitä öljykeskuksen investointi ja käyttö-kustannuksiin. Työ tehtiin Oulun Energia Oy:lle.

Työssä selvitettiin sähkökattilamarkkinoilta mahdollisia valmistajia ja toimittajia sekä pyydettiin kustannusarvio eri teholuokan sähkökattilajärjestelmistä. Sähköliittymän rakentamisesta aiheutuvien kustannuksien arviointiin käytettiin paikallisen sähköverkkoyhtiön hinnoitteluperusteita sekä Energiaviraston sähköverkkokomponenttien yksikköhintoja. Käyttökustannukset muodostuivat siirtokustannuksista, verosta ja sähkön hinnasta. Sähkön hintana käytettiin Nord Pool -sähköpörssin Suomen alueen tuntista Elspot-markkinahintaa. Öljykeskuksien käytön analysoinnin ja tarkastelun ajanjaksoina oli koko 2019 vuosi ja 2021 vuodelta 1. neljännes.

Kannattavinta olisi investoida vähintään 30 MW:n sähkökattilaan öljykeskuksien käyttödatan ja sähkökattilan investointikustannusten perusteella. Sähkökattilainvestoinnin kannattavuutta puoltaa sen edullisuus verrattaessa öljykeskukseen. Käyttökustannusten osalta sähkökattilasta ei ole korvaamaan öljykeskusta kylläminä ajanjaksoina jolloin tehontarve on suurimmillaan. Käytön kustannusten ongelmaksi muodostuu sähkön kalleus kyseisinä ajanjaksoina. Sähkökattilainvestoinnin käytön kannattavuutta puoltaa sen nopea käynnistys, vähäinen huollontarve, luotettavuus, hyötysuhde ja säädettävyys. Sähkökattilan käyttö on käytännössä päästötöntä, joten se olisi erinomainen lisä monipuolistamaan hiilineutraalia kaukolämpötuotantoa. Säättösähkömarkkinat mahdollistaisivat sähkökattilalle edullisemman käytön ja mahdollisella sähköveroluokan muutoksella voitaisiin parantaa huomattavasti sähkökattilan käytön kannattavuutta.

---

Asiasanat: sähkökattila, öljykeskus, kaukolämpötuotanto, hiilineutraaliustavoite, energiamarkkinat

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 OULUN ENERGIA OY	7
2.1 Kaukolämpöverkko	9
2.2 Kaukolämmön tuotanto	12
3 KANSALLINEN ENERGIA- JA ILMASTOSTRATEGIA	18
4 SÄHKÖKATTILA	20
4.1 Elektrodikattila	20
4.2 Vastuskattila	22
5 SUOMEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ	24
5.1 Sähköverkko	24
5.2 Sähköverkkoon liittyminen	26
5.3 Sähkömarkkinat	27
5.3.1 Säätosähkömarkkinat	28
6 SÄHKÖKATTILAMARKKINAT	30
7 INVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI	32
7.1 Öljykeskusten käyttö vuonna 2019 ja 2021	32
7.2 Öljykeskuksen investointi- ja käyttökustannukset	36
7.3 Sähkökattilan investointi- ja käyttökustannukset	37
7.4 Käytön kustannusten vertailua	40
7.4.1 Vertailuajanjakso 1	40
7.4.2 Vertailuajanjakso 2	41
7.4.3 Vertailuajanjakso 3	42
7.4.4 Vertailuajanjakso 4	42
7.4.5 Sähkökattilan käyttökustannukset sähköveroluokalla 2	43
8 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	46

# 1 JOHDANTO

Elämme yhteiskunnassa, jossa tietoisuus erilaisista energiamuodoista ja fossiilisten päästöjen vähentämisen tärkeydestä on suurempaa kuin koskaan. Suomi on asettanut itselleen tavoitteen olla ensimmäinen fossiilivapaa hyvinvointiyhteiskunta vuoteen 2035 mennessä vaatien nopeutettuja päästövähennyksiä kaikilla sektoreilla. Tietoisuuden ja tavoitteiden asettama haaste vaikuttaa kaupallisista sektoreista voimakkaimmin energiasektorilla. Energiasektorin haasteena on huolehtia liiketoiminnan kannattavuudesta alati kasvavan poliittisen ja sosiaalisen paineen edessä. Tiukentuvat päästörajoitukset, vero-ohjelmat ja globaalin poliittisen keskustelun keskiöön nostettu energiasektori on haasteen edessä, jollaista se ei ole aiemmin kohdannut. Kaukolämpötuotanto on osa tätä suurta kokonaisuutta, ja sen rooli puhtaamman energian tuotannossa on merkittävä.

Kaukolämpöä on kautta aikojen tuotettu polttamalla erilaisia palavia materiaaleja sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa ja lämpölaitoksissa. Vaikka polttaminen on tehokas tapa tuottaa energiaa, sen ongelmana on polttamisesta syntyvät päästöt, kuten hiilidioksidi ja erilaiset pienhiukkaset. Kaukolämmön huippu- ja varavoiman tuotanto tapahtuu Suomessa pääasiassa öljyn tai maakaasun polttamisella lämpölaitoksissa. Varavoiman tuotannon ongelma on vähäisistä vuotuisista käyttötunneista johtuva korkea investointikustannus ja fossiilisten polttoaineiden hyödyntämisestä aiheutuvat päästöt. Lisäksi tiukentuvat ympäristö- ja päästörajoitukset sekä valtiolliset ja toimijakohtaiset päästötavoitteet lisäävät mielenkiintoa kehittää energiatuotantoa ympäristöystävällisempään suuntaan.

Sähkökäyttöisen kaukolämpölaitoksen tarkoitus on tuottaa lämpöenergiaa kaukolämpöverkkoon sähkökattilalla, jota voitaisiin hyödyntää kaukolämmön tuotannon varakattilana sekä minimi- ja huipputehon tuotannossa. Uusiutuvan energiatuotannon lisääntyessä se olisi erinomainen vaihtoehto säätämään sähköverkon kuormaa esimerkiksi säätösähkömarkkinoilla. Lisäksi sähkökattila lisäisi kaukolämpötuotannon monipuolisuutta ja antaisi enemmän vaihtoehtoja lämmöntuotannolle erilaisissa tilanteissa.

Työn tavoitteena on tutkia sähkökattilainvestoinnin kannattavuutta kaukolämmön tuotantoon. Työssä selvitetään kustannuksia yli 10 MW:n tehoisista kattilaratkaisuista sekä eduista verrattuna olemassa oleviin varatehotuotannon ratkaisuihin. Lisäksi selvitetään laitoksen kytkentä sähköverkkoon ja siitä aiheutuvat kustannukset. Myös muita mahdollisia ratkaisuja etsitään sähkökattilan kannattavuuden lisäämiseksi, esimerkiksi öljykeskusten tekniikasta ja sen käytöstä aiheutuvista kustannuksista sekä poliittisesta päätöksenteosta. Arvioidaan myös sähkönhinnan kehitystä tulevaisuudessa, kun sähkön tuotantomäärät ja sähköverkon säätötarve kasvaa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Oulun Energia Oy, joka on oululainen energia-alan edelläkävijä. Heillä on pitkät perinteet energian tuotannossa ja jakelussa. Heidän tavoitteenaan on lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja saavuttaa hiilineutraalisuus omassa energiantuotannossa vuoteen 2035 mennessä. Tästä syystä toimeksiantajalla on tarve ja halu kehittää omaa kaukolämmön tuotantoa hiilineutraaliksi ja tämä tutkimustyö kohdistuu heidän kaukolämmön vara- ja huipputuotannon kehittämiseen.

Aiempia tutkimuksia ja selvityksiä sähkökattiloiden käytöstä teollisuuden mitta-kaavassa on hyvin vähän. Sähkökattilan käyttöä kaukolämpötuotannossa on tutkittu aiemmin Energiateollisuus ry:n Älykäs kaupunkienergia - raportissa vuonna 2018. Muita tutkimuksia on pienemmän kokoluokan sähkökattiloille. Tässä työssä on hyödynnetty Tuomas Ahosen keväällä 2018 tekemää AMK-opinnäytetyötä, sähkökattilan investoinnin esiselvitys. Siinä selvitettiin mahdollisuutta investoida sähkökattila paperitehtaan höyryntuotannon apukattilaksi.

## 2 OULUN ENERGIA OY

Oulun Energia on perustettu vuonna 1889, sen toiminta kattaa koko energia-alan arvoketjun. Raaka-aineiden, sähkön ja lämmön tuotannosta sähkön ja lämmön jakeluun, sekä lämmön myyntiin. Heidän tavoitteena on olla Suomen johtava kiertotaloustoimija, ja kiertotaloudesta on muodostumassa yrityksen uusi tukijalka. (1; 2.)

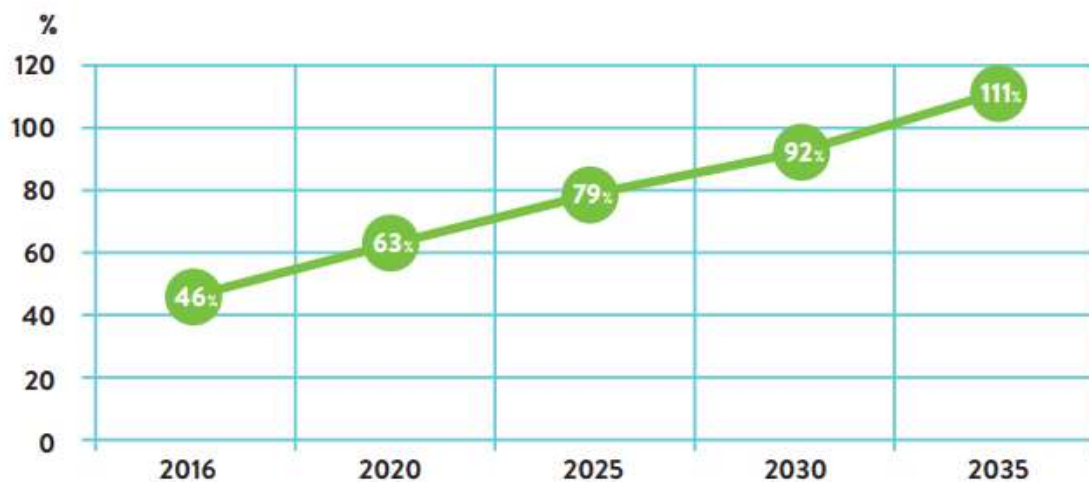
Konserniin kuuluvat emoyhtiö Oulun Energia Oy:n lisäksi Oulun Energia Sähköverkko Oy, Turveruukki Oy ja Huoltovoima Oy. Oulun kaupunki omistaa kokonaan konsernin emoyhtiö Oulun Energian. Emoyhtiö omistaa kaikki tytäryhtiöt. Oulun Sähkömyynti Oy siirtyi 1.4.2020 osaksi Oomi Oy:tä, josta Oulun Energian omistusosuus yhtiöstä on 23,9 prosenttia. Lisäksi emoyhtiö omistaa osuuksia muun muassa voimayhtiöistä. Destia on ostanut Oulun Energia Urakointi Oy:n osakekannan Oulun Energialta keväällä 2021. (3; 4.)

Oulun Energia -konsernin liikevaihto oli vuonna 2020 noin 228,4 miljoonaa euroa, josta liike tulosta oli noin 16,8 miljoonaa euroa. Henkilöstöä konsernissa tilikauden päättyessä oli 304 ja asiakkaita yhteensä yli 100 000. Yritys on viime vuosina investoinut paljon hiilineutraalisuuteen ja kiertotalouteen rakentamalla Laanilan teollisuusalueelle uuden biovoimalaitoksen ja Ruskon jätekeskuksen yhteyteen jätteiden lajittelulaitoksen (kuva 1). Jätteiden lajittelulaitos valmistui syksyllä 2020 ja biovoimalaitos loppuvuodesta 2020. Kiertotalous on Oulun Energialle strategisesti merkittävä uusi suunta, jolla he tähtäävät liiketoiminnan kasvattamisen lisäksi oman energiantuotannon hiilineutraaliuteen vuoteen 2035 mennessä. Turpeen polttamisen väheneminen korvataan muun muassa kierrätyspolttoaineilla ja puulla. Kiertotaloushankkeita Oulun Energialla on käynnissä yhdyskuntajätteen mekaanisen lajittelun kehittämisen lisäksi biohakkeen hyödyntäminen biokaasun tuotannossa sekä voimalaitostuhkien hyötykäyttömahdollisuuksien selvitys. (5, s. 80–84.)



*KUVA 1. Etualalla suunnittelijan luoma havainnekuva Oulun Energian biovoimalaitoksesta Laanilan teollisuuspuistossa (6)*

Hiilineutraalisuustavoite ohjaa vahvasti yrityksen toimintaa ja päätöksentekoa. Hiilineutraalisuuden saavuttamiseksi panostetaan uusiutuviin energiamuotoihin, kuten puuhun, aurinkoon, veteen, tuuleen, geotermiseen lämpöön ja jätteeseen. Myös ydinvoima kuuluu pieneltä osalta tähän kokonaisuuteen. Lisäksi panostetaan hiilensidontaa edistäviin, ja energiatehokkuutta parantaviin toimiin. (5, s. 27.) (Kuva 2.)



*KUVA 2. Oulun Energian hiilineutraaliuspolku vuoteen 2035 (5, s. 27)*



## 2.1 Kaukolämpöverkko

Kaukolämpöjärjestelmä koostuu kolmesta pääosasta, lämmöntuotantolaitokset, kaukolämmön jakeluverkosto ja asiakaslaitteisto (mittauskeskus ja lämmönjakokeskus). Jakeluverkosto koostuu tuotantolaitoksilta lähtevistä suurista siirtojohtoista, ja tästä haarautuu eri alueille jakelu- tai korttelijohdot, mistä taas haarautuu pienemmät rakennuskohtaiset talojohdot. Kaukolämpöverkoston päätarkoituks on siirtää kuuma vesi asiakkaalle ja jäähtynyt vesi takaisin tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Kuumen veden saapuessa asiakkaan lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimiin siirtyy vedestä lämpöenergiaa asiakkaan lämmitysjärjestelmään, kuten patteriverkoston, ilmanvaihtoverkoston tai lämpimän käyttöveden valmistukseen. (7, s. 17–18.)

Kaukolämpöverkostot rakennetaan nykyisin pääasiassa tehdasvalmisteisista putkistojärjestelmistä. Virtausputkista yli 90 % on teräsputkia johtuen materiaalin edullisuudesta ja kohtalaisen helposta työstämisestä. Teräkselle suurin uhka on kanavarakenteisiin päässyt ulkopuolinen vesi, joka aiheuttaa teräsputkien korroosiota ja kanavarakenteen vaurioitumista heikentämällä eristyksen tehokkuutta. Käytössä on myös kupariputkia pientaloalueilla ja muoviputkia matalalämpöverkostoissa. (7, s. 56.)

Tehdasvalmis kaukolämpöelementti käsittää teräksisen virtausputken, lämpöeristeen ja suojakuoren. Lämpöeristeenä yleensä toimii polyuretaani, ja suojakuoren materiaali on polyeteeniä. Polyuretaanieristeisissä kaukolämpöputkissa on kiinnivaahdotettu rakenne. Erilaisia rakenteita on kahdenlaisia, Mpuk ja 2Mpuk. Näissä M tarkoittaa muovisuojakuorta, pu polyuretaanieristettä ja k kiinnivaahdotettua. Mpuk-rakenne koostuu yhdestä suojakuoresta, jonka sisällä on kaksi virtausputkea meno- ja paluuvirtaukselle. (7, s. 56–58.) (Kuva 3.)



*KUVA 3. Kaukolämpöputki, Mpuk-rakenne*

2Mpuk-rakenteessa on vain yksi virtausputki suojakuoren sisällä, ja tämä rakenne vaatii erilliset putket meno- ja paluuvirtaukselle (Kuva 3). Yleisesti 2Mpuk-rakennetta käytetään siirtojohdoissa sekä isommissa jakelujohdoissa teräsputken suuremman sisähalkaisijan vuoksi. Mpuk-rakennetta käytetään pienemmissä jakelujohdoissa ja talojohdoissa. (7, s. 56–58.) (Kuva 4.)



*KUVA 4. Kaukolämpöputki, 2Mpuk -rakenne*

Muita putkistojärjestelmän komponentteja ovat muun muassa erilaiset venttiilielementit sulkemista, tyhjentämistä ja ilmausta varten sekä erilaiset kulma-, supistus- ja haaraelementit, jotka mahdollistavat verkon joustavan rakentamisen. Tärkeä osa kaukolämpöverkkoa on myös pumppaamot, joilla ylläpidetään verkoston painetta, joka mahdollistaa kaukolämpöveden liikkumisen putkessa. (8.)

Oulun energian kaukolämpöverkko kattaa koko Oulun kaupungin Oulunsalosta aina Kiiminkiin ja Haukiputaalle saakka. Yhteensä Oulussa kaukolämpöverkkoa on noin 850 kilometriä. Luotettavan lämmönjakelun varmistamiseksi verkkoa huolletaan ja peruskorjataan suunnitelmallisesti, rakennetaan uutta sekä valvotaan lämmönjakelun häiriöttömyyttä ympäri vuorokauden. (9; 5, s. 42–44.) (Kuva 5.)



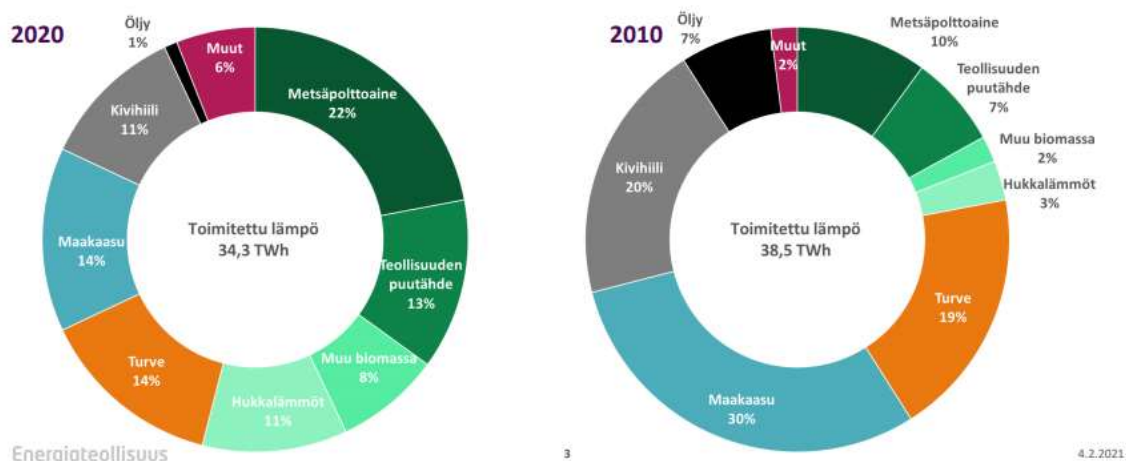


Sähkön hinta, ennustettu markkinatilanne sekä lämmön ja sähkön tarve ja niiden kehitys ovat optimointiin vaikuttavia tekijöitä. Eri tuotantolaitosten käyttöön ja käynnistysjärjestykseen vaikuttavat oleellisesti asiakkaiden tehontarpeet eri osissa jakeluverkkoa, polttoainevaihtoehtojen hinnat sekä eri tuotantolaitoksissa käytettävät polttoaineet. Lisäksi polttoaineiden kulutus ja pumppauksen tarve sekä sähkönkulutus vaihtelevat eri tuotantolaitoksissa merkittävästi ja on täten otettava huomioon optimoinnissa. Myös lämmönjakelun luotettavuus ja toimintavarmuus saattavat vaikuttaa laitosten käyttöön ja käynnistysjärjestykseen. (7, s. 22.)

Lämpöä kaukolämpöverkkoon tuottaa esimerkiksi lämmön ja sähkön yhteistuotantoon tarkoitettut CHP-laitokset (Combined Heat and Power production), erilliset lämpökeskukset, teollisuuden ylijäämälämpö, maa- ja geoterminen lämpö jne. Lämmöntuotantolaitos käsitteenä sisältää paljon erilaisia teknillisiä ratkaisuja ja komponentteja. Polttolaitokset sisältävät muun muassa kattilan, polttimeen, polttoaineiden käsittely ja varastointijärjestelmän, poltosta muodostuva tuhkan käsittelyjärjestelmän, automaatiojärjestelmän sekä kattila- ja kaukolämpöveden pumppausjärjestelmän. Lisäksi laitoksilta huolehditaan koko kaukolämpöverkon paineenpito- ja paisuntajärjestelmästä. (7, s. 22–24.)

Suomessa kaukolämpötuotanto muodostuu erilaisista polttoaineista, ja nykyään erilaisten hukkalämpöjen hyödyntäminen on merkittävä osa kaukolämpötuotantoa. Energiateollisuus ry:n teettämästä Energiavuosi 2020 Kaukolämpö -raportista käy ilmi, kuinka paljon erilaisten puuperäisten polttoaineiden, muun biomassan ja hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämmön tuotannossa on lisääntynyt vuodesta 2010 vuoteen 2020. Samalla maakaasun, turpeen, kivihiilen ja öljyn osuus polttoaineena on laskenut merkittävästi. Kuvassa 6 on eri polttoaineiden osuudet kaukolämpötuotannosta vuosina 2010 ja 2020. Kuvasta käy ilmi kaukolämmön tuotantomäärän laskeneen 4,2 TWh kyseisen 10 vuoden aikana. Vuosi 2020 oli kuitenkin erityisen lämmin verrattuna esimerkiksi vuoteen 2019 johon suhteessa tuotantomäärän lasku oli 2010 vuodesta vain 1,9 TWh. Hukkalämmöksi luokitellaan lämpöenergia, joka muuten jäisi hyödyntämättä, esimerkiksi lämmön talteenotto jätevedestä, savukaasuista ja kaukojäähdytyksen paluuve-

destä. Muu biomassa käsittää muun muassa sekajätteen bio-osuuden polttamisessa, ja ”muut” kattaa sekajätteen ei-bio-osuuden, muovi- ja ongelmajätteet ja sähkön. Muiden osuuden kasvua selittää sekajätteen hyödyntämisen voimakas lisääntyminen ja lämpöpumppujen hyödyntämisen kasvamisesta aiheutuva sähkönkulutus kaukolämpötuotannossa. (10, s. 2–3.) (Kuva 6.)



KUVA 6. Kaukolämpö Suomessa energialähteittäin vuosina 2010 ja 2020 (10, s. 3)

Oulun Energian kaukolämpötuotanto koostuu useista voima- ja polttolaitoksista, joissa käytetään laajasti erilaisia polttoaineita, kuten puuta, turvetta, jätettä ja öljyä. Voimalaitoksia ovat Toppilan voimalaitos, Laanilan biovoimalaitos, Laanilan ekovoimalaitos sekä ympäri kaupunkia sijoitetut huippu- ja varateholaitokset, jotka ovat öljykäyttöisiä lämpökeskuksia. Kaukolämmön huippu- ja varatehoa ostetaan myös paikalliselta teollisuudelta, jossa energia menisi muuten hukkaan. Lisäksi käytössä on Laanilassa sijaitseva kalliolämpövarasto, niin sanottu lämpöakku, johon voidaan varastoida lämpöenergiaa 10 GWh, ja sitä voidaan ladata sekä purkaa 80 MW:n teholla kaukolämpöverkkoon. Sitä käytetään energiahankinnan optimointiin sekä varatehon lähteenä. Vuonna 2020 Oulun Energian asiakkaille toimitetun kaukolämmön hiilidioksidin ominaispäästö oli 190 g/kWh. (11.)

Toppilan voimalaitos koostuu kahdesta voimalaitosyksiköstä, Toppila 1 ja Toppila 2. Näistä vanhempi, Toppila 1 on poistunut käytöstä kesällä 2020, koska se ei

täytä 2020-luvun ympäristövaatimuksia, ja se on korvattu uudella biovoimalaitoksella. Toppila 2 on vuonna 1995 valmistunut väliottolauhdutusvoimalaitos, joka tuottaa sähköä ja lämpöä. Polttoaineina ovat turve ja puu, ja voimalaitoksen polttoaineteho on 315 MW, sähköteho 120 MW ja lämpöteho 170 MW. (12.) (Kuva 7.)



*KUVA 7. Toppilan voimalaitos*

Laanilan biovoimalaitos on valmistunut vuoden 2020 lopulla ja on täten Oulun Energian uusi voimalaitos. Se tuottaa energiatehokkaasti sähköä, kaukolämpöä ja prosessihöyryä. Polttoaineteho voimalaitoksella on 215 MW, sähköteho 70 MW ja kaukolämpöteho 175 MW. Voimalaitos käyttää polttoaineena pääasiassa biopolttoaineita. Polttoaineesta noin 70 % on puuta ja loppuosa tulee kiertotaloudesta saatavasta kierrätyspolttoaineesta. Osittain käytetään myös turvetta, jolla varmistetaan huoltovarmuus. Kierrätyspolttoaine tulee Oulun Energian uudelta jätteidenlajittelulaitokselta Ruskon jäteasemalta. Teknisesti voimalaitoksen kattila on suunniteltu joustavaksi hyödyntämään monipuolisia polttoainekoostumuksia ja niiden suhteita voidaan helposti muuttaa. Uudella biovoimalaitoksella on

suuri merkitys Oulun Energian hiilineutraalin energiantuotannon tavoitteessa. (13.) (Kuva 8.)



*KUVA 8. Laanilan biovoimalaitos (13)*

Laanilan ekovoimalaitos on valmistunut vuonna 2012, ja se tuottaa jätteitä polttamalla sähköä, kaukolämpöä ja höyryä, jota hyödynnetään alueella sijaitsevissa erilaisissa teollisissa prosesseissa. Voimalaitoksen polttoaneteho on 53 MW, ja polttoainetta, yhdyskunta- ja teollisuusjätettä voimalaitoksella poltetaan noin 150 000 tonnia vuodessa. Yhdyskuntajäte koostuu pääasiassa kotitalouksista peräisin olevasta polttokelpoisesta sekajätteestä. Puolet jätteistä tulee Oulun alueelta ja puolet muualta Pohjois-Suomesta. Voimalaitos on yhdistetty Laanilan Voima Oy:n voimalaitokseen, jonka Oulun Energia ja Kemira omistavat yhdessä. Ekovoimalaitoksella korvataan turpeen ja öljyn polttoa Laanilan Voiman voimalaitoksella. Laanilan Voima vastaa ekovoimalaitoksen käytöstä ja kunnossapidosta. (14.) (Kuva 9.)





*KUVA 9. Laanilan ekovoimalaitos (15)*

Öljykäyttöisiä lämpökeskuksia sijaitsee eri puolilla Oulua, Limingantullissa, Vasaraperällä, Pateniemessä, Oulunsuussa ja Laanilassa. Näiden yhteisteho on noin 210 MW, ja niitä käytetään kaukolämmön huippu- ja varatehon tuotannossa. Lisäksi Toppilan voimalaitokselta löytyy kaksi öljykäyttöistä kattilaa, joiden yhteisteho on 90 MW. (16.)

Kaiken kaikkiaan vuonna 2020 Oulun Energia tuotti kaukolämpöä ja höyryä 2 139 GWh, joka oli koko Suomen kaukolämpötuotannosta noin 6 %. Merkittävimmät energialähteet kaukolämmölle olivat turve ja puu, ja alle 10 % tuotettiin jätteenpoltolla ja öljyllä. Laanilan biovoimalaitos tulee laskemaan Oulun Energian kaukolämmön päästöjä, ja uusiutuvan energialähteen osuus kaukolämpötuotannossa kasvaa, kun puun ja jätteen hyödyntäminen kaukolämpötuotannon polttoaineena lisääntyy. (5.)

### 3 KANSALLINEN ENERGIA- JA ILMASTOSTRATEGIA

Suomen pääministerin, Sanna Marinin hallitusohjelman (2019) tavoitteena on, että Suomi on hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja ensimmäinen fossiilivapaa hyvinvointiyhteiskunta. Edellytyksenä tälle tavoitteelle on nopeutetut päästövähennykset kaikilla sektoreilla. Päästötavoitteeseen pääsemisen keinoihin lukeutuu uudet ilmastopoliittiset päätökset, lähes päästötön sähkön- ja lämmöntuotanto 2030-luvun loppuun mennessä ja kiertotalouden edistäminen. Yhtenä keskeisistä hankkeista tälle on työ- ja elinkeinoministeriön laatima energia- ja ilmastostrategia. Uuden strategian valmistelu on aloitettu huhtikuussa 2020 ja aiempi strategian selonteko on valmistunut vuonna 2016. (17.)

Strategian linjauksissa Suomen päästövähennystavoite taakanjakosektorilla on 39 % vuonna 2030 vuoteen 2005 verrattuna. Tämä edellyttää laajamittaisia toimia kaikilla sektoreilla. Keinoja on uusiutuvan energian käytön lisääminen teollisuudessa ja liikenteessä, öljyn energiakäytön puolittaminen ja kivihiilen energiakäytöstä luopuminen. (18, s. 16.)

Yhtenä linjauksena on, että uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta nousee yli 50 % 2020-luvulla. Pitkän aikavälin tavoite on energiajärjestelmän muuttuminen hiilineutraaliksi perustuen vahvasti uusiutuviin energianlähteisiin. Metsäbiomassan merkitys uusiutuvan energian raaka-aineena on ratkaisevan tärkeä, sillä on tarkoitus korvata fossiilisia tuontipolttoaineita lämmityksessä, yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa sekä liikenteessä. Kriteerinä on biomassan tuottaminen kestäväällä tavalla ja sen energiakäytön tulee täyttää mahdolliset Euroopan unionin asettamat vaatimukset. (18, s. 17.)

Energiaverotuksella ja metsähakesähkön tuotantotuella edistetään uusiutuvan ja vähäpäästöisen kaukolämpötuotannon osuuden kasvua. Metsähakesähkön tuotantotuki tarkoittaa sähköä, joka on tuotettu suoraan metsästä saatavasta puusta valmistetulla polttohakkeella ja murskeella. Lisäksi uusiutuvista energianlähteistä kaukolämpöä tuottavia uuden teknologian investointeja tuetaan tapauksissa, joissa siihen liittyvät riskit ja kustannukset ovat korkeita. Päästökauppa ja sähkömarkkinat eivät ohjaa riittävästi uusiutuvan energian investointeihin, minkä vuoksi

uusien tuotantoteknologioiden kehittämistä ja kaupallistamista on tarpeellista kannustaa tukijärjestelmien avulla. (18, s. 23.)

Eri energiakäytön sektoreiden integroituminen ja keskinäinen vuorovaikutus on osana sähköjärjestelmän edellyttämää joustavuutta kysyntäjoustolla teollisuudesta, lämmityssektorilta ja muusta sähkönkulutuksesta. Kaukolämpötuotannon osana yleistyneitä lämpöakkuja voidaan hyödyntää energiavarastoina. Lisäksi tarvitaan myös muita energiajärjestelmän joustavuutta ja varmuutta lisääviä elementtejä. (18, s. 63.)

## 4 SÄHKÖKATTILA

Sähkökattilalla lämpöenergia tuotetaan suoraan sähköstä. Yleisesti sähkökattiloita on käytössä osana kotitalouksien lämmitysjärjestelmää, pääsääntöisesti käyttöveden lämmityksessä. Sähkökattilan hyödyntämistä kotitalouskäytössä puoltaa investoinnin edullisuus ja luotettavuus. Sähkökattiloita on Suomessa käytetty 1930-luvulta saakka ja teollisessa käytössä sähkökattiloita on hyödynnetty varalämpölaitoksien ja pienteollisuuden apu- tai varakattiloina. 1980-luvun alkupuolella on ollut useita lähes 50 MW sähkökattiloita osana kaukolämpötuotantoa, kun uusien ydinvoimaloiden tuottamaa sähköä oli saatavilla. Sähkökattiloiden käyttötarkoitus on tuottaa kuumaa vettä tai höyryä esimerkiksi osana ison tuotantolaitoksen pääkattilan ylös- ja alasajoa. Sähkökattilatyyppejä on kahdenlaisia: Elektrodikattilaa hyödynnetään pääsääntöisesti höyryn tuotannossa, mutta voidaan hyödyntää myös veden lämmittämässä erillisen lämmönsiirtimen avulla. Vastuskattilaa hyödynnetään kuuman veden tuotantoon.

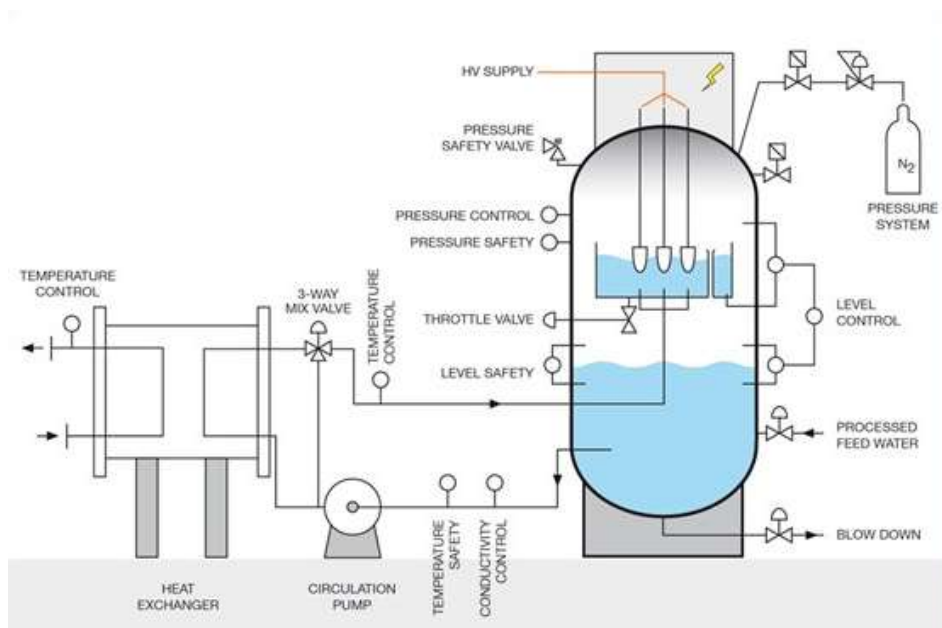
Sähkökattiloiden käyttöä teollisuudessa puoltaa mahdollisuus tarvittaessa olla mukana säätämässä sähköverkon kuormitusta. Sähköntuotanto elää murrosta, jossa hiilineutraali sähköntuotanto, erityisesti tuuli- ja aurinkovoiman tuotanto, kasvaa nopealla tahdilla. Tämä vaatii sähköverkkoon paljon niin sanottua säätövoimaa, ja tässä käytössä sähkökattila olisi erinomainen vaihtoehto, sillä sen käynnistys on erittäin nopea isoissakin teholuokissa. Muita etuja sähkökattilalle on sen suhteellisen pieni tilantarve, päästöttömyys, säädettävyyden ja korkea hyötysuhde. Kustannuksissa haasteen luo kaukolämmön vara- ja huipputehotuotannon näkökulmasta sähköliittymän infrastruktuurin rakentaminen. Lisäksi sähkön hinta on yleisesti korkea silloin, kun lämmöntuotannon tarve on suurta. (19, s. 14; 20, s. 27–29; 21.)

### 4.1 Elektrodikattila

Elektrodikattila on ensisijaisesti höyryn tuotantoon kehitetty kattilatyyppejä. Kattilaa voidaan hyödyntää myös kuuman veden tuotannossa erillisen lämmönsiirtimen avulla, jolla kattilapiiristä siirretään lämpöenergia esimerkiksi kaukolämpövedeen.

Elektrodikattilan toiminta perustuu kattilan sisälle roikkumaan ripustettujen elektrodien ja kattilaveden väliseen reaktioon, jonka seurauksena kattilavesi lämpee. Elektrodit upotetaan vastuksena toimivaan kattilaveteen, jossa vaihtovirtasähkö kulkee. Virran kulku minkä tahansa vastusmateriaalin läpi aiheuttaa lämpötilan nousun vastusmateriaalissa.

Elektrodikattiloiden toimintatapoja on erilaisia. Toimintatapa voi perustua esimerkiksi paineastiaan, jossa on kaksi sisäistä vesisäiliötä. Ylempää säiliötä käytetään tehonsäätöön veden pinnan korkeutta muuttamalla suhteessa elektrodeihin, ja alempi säiliö toimii syöttövesisäiliönä ylemmälle säiliölle. Mitä korkeammalle vesi nostetaan ylemmässä säiliössä, sitä enemmän saadaan tehoa. Tämän tekniikan säädettävyys on teoriassa 0–100 % ja absoluuttinen vesimäärä kattilassa on vakio. Toinen toimintatapaesimerkki on yhden vesisäiliön paineastia jossa tehoa säädetään elektrodien ympärillä olevan suojan korkeutta muuttamalla. Mitä enemmän elektrodit ovat esillä, sitä enemmän saadaan tehoa. Tämän teknillisen ratkaisun säädettävyys on noin 8–100 %. (22, s. 78–80; 23.) (Kuva 10.)



KUVA 10. Elektrodikattila (24)

Elektrodikattiloita on matalajännitteisiä ja korkeajännitteisiä, ja täten ne voidaan jakaa kahteen ryhmään syöttöjännitteen perusteella. Matalajännitteisellä elektro-

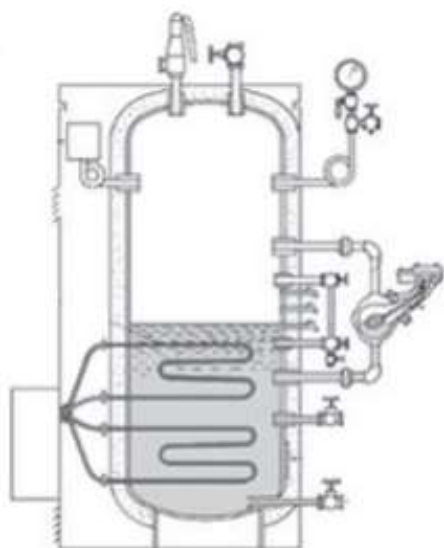
dikattilalla päästään muutamien megawattien teholuokkaan ja niiden käyttöjännite on pääsääntöisesti 600 V. Korkea jännitteisillä kattiloilla tehot saattavat olla useita kymmeniä megawatteja ja käyttöjännite on useita kilovoltteja.

Huonona puolena elektrodikattiloille voidaan pitää kattilan syöttöveden kemiallisen käsittelyn tarvetta. Syöttövesi täytyy pitää johtokykyisenä sen pH:n ylläpitämisellä ja säätelyllä sekä hapen ”hapottamisella”. Korkealla johtokyvyllä varmistetaan kattilan toiminta mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Vedenkäsittelyn yhteydessä syötettävillä kemikaaleilla veden pH:ta voidaan säädellä. (25, s. 14–15.)

## **4.2 Vastuskattila**

Vastuskattilan toiminta perustuu kattilan sisällä oleviin lämmityselementteihin eli metallisiin vastuksiin. Sähköenergia lämmittää vastuksia, joiden kautta lämpöenergia siirtyy kattilaveteen. Vastuskattilan tehoa voidaan säätää esimerkiksi vastuksille syötettävän sähkövirran avulla tai katkaisemalla yksittäiselle vastukselle menevän sähkövirran. Olemassa on myös paine- ja lämpötilanmittaukseen perustuvia tehonsäätöjä. Yleisesti vastuskattilat ovat matalajännitteisiä, 400/690 V, ja tehoa niistä saadaan maksimissaan muutamia megawatteja. Vastuskattiloiden toimintaa voidaan ohjata manuaalisesti tai automaattisesti.

Vastuskattilan hyvänä puolena kaukolämpötuotannossa on sen matalan jännite-tason tarve, eli sähkönsyöttö voidaan toteuttaa huomattavasti helpommin kuin suurikokoisissa elektrodikattiloissa. Etuna on myös mahdollisuus modulaariselle ratkaisulle ja tällöin kattilaa voitaisiin siirrellä kaukolämpöverkossa sinne, missä tehoa tarvitaan. Vaatimuksena on vain sähkönsyöttö ja putkiliitäntä. Vastuskattila ei myöskään vaadi erillistä lämmönsiirrintä, vaan kattilan läpi voidaan ajaa suoraan kaukolämpövesi. (23; 25, s. 15.) (Kuva 11.)



*KUVA 11. Vastuskattila (26, s.14, muokattu)*

## 5 SUOMEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Suomen sähköjärjestelmä koostuu voimalaitoksista, kantaverkosta, suurjännitteisistä jakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista. Sähköjärjestelmä on osana yhteis-pohjoismaista sähköjärjestelmää Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan järjestelmien kanssa. Suomeen on myös Venäjältä ja Virosta tasasähköyhteydet, joilla pohjois-mainen järjestelmä on yhdistettynä Venäjän ja Baltian voimajärjestelmiin. (27.)

### 5.1 Sähköverkko

Sähköverkko koostuu kantaverkosta, alueverkosta ja jakeluverkosta. Voimalaitoksilla tuotettu sähkö siirretään kantaverkkoon, jonka jännite on 110, 220 tai 400 kV ja tätä kutsutaan suurjänniteverkoksi. Kantaverkosta sähkö siirretään alueverkkoon. Alueverkon sähköasemilla jännitetaso muutetaan 110 kV:sta 20 kV:iin ja tätä kutsutaan keskijänniteverkoksi. Keskijänniteverkkoa on olemassa myös 10 kV:n jännitteellä. Jakelumuuntamoilla keskijännitteellinen sähkö muunnetaan 400 volttiin siirrettäväksi asiakkaille pienjänniteverkossa.

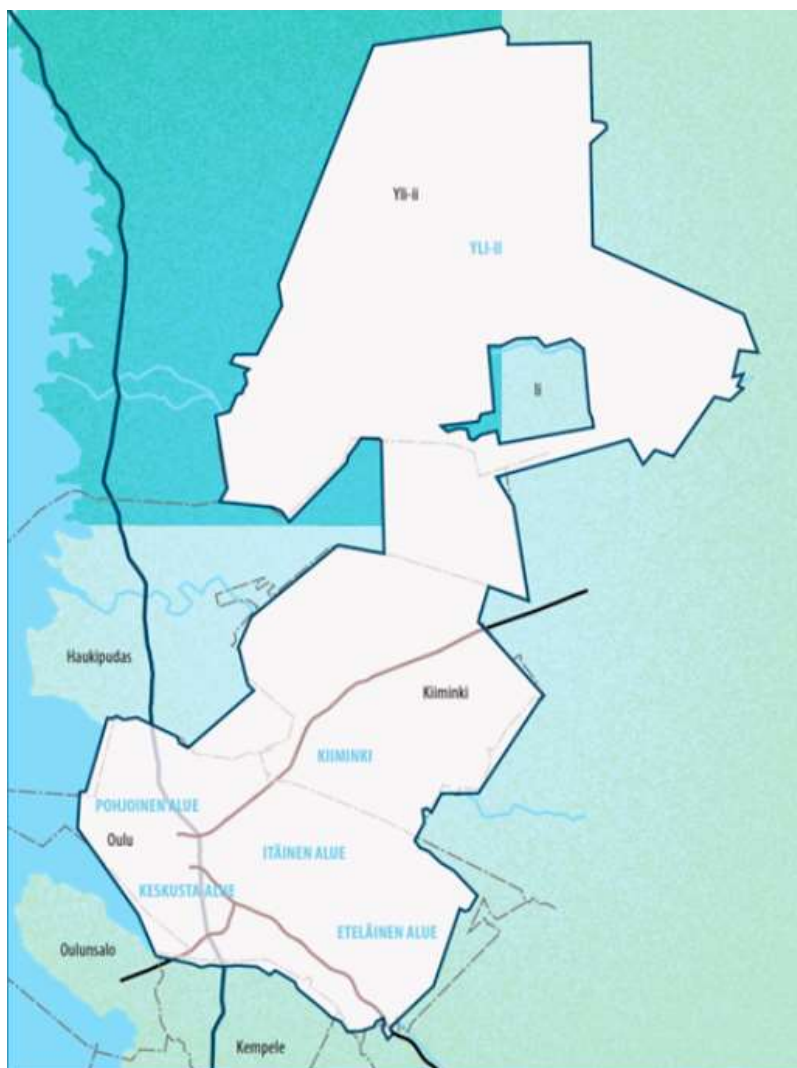
Voimajohdot muodostavat kanta- eli siirtoverkon, jolla mahdollistetaan sähkön siirto kaikkialle Suomeen. Kantaverkon omistaa Fingrid Oyj, ja lisäksi paikallisilla sähköyhtiöillä on omistuksessa 110 kV suurjänniteverkkoa. Verkko koostuu pylväissä olevilla avojohdoilla ja maahan upotettuina kaapeleina. Jakeluverkkoja ylläpitää yhteensä noin 80 sähköverkkoyhtiötä. Kantaverkon ja jakeluverkon välissä toimii suurjännitteisiä jakeluverkonhaltijoita, joita on Suomessa vajaa 10. (28; 29.) (Kuva 12.)





KUVA 12. Fingrid Oyj:n hallinnoima kantaverkko (30)

Oulun Energia Sähköverkko Oy on sähköverkkoyhtiö, joka vastaa laajasti Oulun alueella sähkön jakelusta. Heillä on Oulun keskustassa 10 kV:n keskijänniteverkkoa ja laajan osan jakeluverkkoalueesta kattava 20 kV:n keskijänniteverkko. Jonkin verran on myös 110 kV:n suurjänniteverkkoa, joka on osittain sijoitettu kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n kanssa samoihin johtopylväisiin. (31.) (Kuva 13.)



KUVA 13. Oulun Energia Sähköverkko Oy:n jakelualue (32)

## 5.2 Sähköverkkoon liittyminen

Sähköverkkoon liittymisessä hyödynnetään Oulun Energia Sähköverkko Oy:n sähköliittymän hinnoitteluperusteita ja rakentamiseen liittyviä ohjeita. Ohjeita käsitellään liittymistä keskijännite- (20 kV) ja suurjänniteverkkoon (110 kV). Suurjänniteliittymä olisi myös mahdollista rakentaa Fingrid Oyj:n kantaverkkoon.

Oulun Energia Sähköverkko Oy:n sähköliittymäsopimuksen ja sähkönsiirtosopimuksen osalta sopimusehdot muodostuvat Energiateollisuus ry:n suositusten mukaan. Uudet verkkopalveluehdot ja liittymisehdot tulevat voimaan 1.9.2021 al-

kaen. On myös huomioitava, että kaukolämpöverkko ulottuu muidenkin sähköverkkoyhtiöiden alueelle. Jos liittymä halutaan heidän alueeltaan, liittymän rakentaminen ja hinnoittelu muodostuu heidän ehtojensa mukaan. Oulunsalossa sähköverkkoyhtiönä toimii Oulun Seudun Sähkön Verkkopalvelut Oy ja Haukiputaalla Haukiputaan Sähköosuuskunta. (32, 33.)

Liittymispiste Oulun Energia Sähköverkko Oy:n hallinnoimaan keskijänniteverkkoon on yli 3 MW:n liittymissä sähköasemalla. Liittyjän vastuu on rakentaa liittymisjohto sähköverkkoyhtiön sähköasemalle ja liittymispiste tulee tällöin olemaan kytkinlaitoksen tai sähköaseman kenttä. Oulun Energia Sähköverkko Oy määrittelee keskijänniteliittymän ja suurjänniteliittymän tehon raja-arvon tapauskohtaisesti. Tässä työssä oletetaan, että se on 10 MW. (31; 34, s. 5–6.)

Keskijänniteliittymässä kaapelioja ja sen peitto sekä mahdollinen kaapelireitti rakennuksen sisällä tulee tehdä verkonhaltijan ohjeiden mukaisesti. Rakennusten sisällä liittyjän täytyy kaapelireitin osalta huomioida rakennusten palotekniset vaatimukset ja kaapelin kuormitusarvon säilyvyys. Kaapelireitti tulee rakentaa niin, että kaapelit on mahdollista uusia liittymispisteelle normaalein asennustavoin. (34, s. 9.)

Suurjänniteliittymässä liittymispiste tutkitaan ja selvitetään tapauskohtaisesti. Huomioon on otettava muun muassa sähkömarkkinalain ja valvontaviranomaisen asettamat vaatimukset suurjännitejohtoille. Myös tapauskohtaisen selvityksen vaatii liittyjän suurjännitekojeisto tai kytkinkenttä. (34, s. 5–6.)

### **5.3 Sähkömarkkinat**

Sähkön vähittäismyynnissä sähkönmyyjä myy sähköä loppukäyttäjälle. Suomessa sähkömarkkinat vapautuivat asteittain kilpailulle vuonna 1995 voimaantulleella sähkömarkkinalailla. Vuonna 1998 sähkön hankinnan kilpailuttaminen on avautunut kaikille sähkön käyttäjille. Sähkömarkkinat ovat mahdollistaneet sähkönkäyttäjien oman pienimuotoisen sähkötuotannon ja sen myynnin sähkömarkkinoille. Kotitalouksien oman tuotannon ylijäämänsähkön myyminen on lisännyt aktiivisuutta sähkömarkkinoilla.

Suomi on osana Pohjoismaista ja Baltian maista koostuvaa tukkusähkömarkkinaa. Kilpailun avaaminen ja pohjoismaiset markkinat ovat lisänneet tehokkuutta sekä ympäristöhyötyjä pohjoismaisen vesivoimakapasiteetin myötä. Tämä mahdollistaa markkinoilla myös niin sanotun vihreän sähkön kaupan. Vuonna 2020 sähkön tukkuhinta oli alin yli vuosikymmeneen, keskimäärin 28 €/MWh. Vuotta aiemmin vastaava hinta oli 36 % suurempi, noin 44 €/MWh. (35; 5, s. 18.)

Toimivilla sähkömarkkinoilla varmistetaan yhteiskunnan sähkönsaanti jokaisena ajankohtana. Se on kustannustehokkain tapa toteuttaa sähkön kysynnän ja tarjonnan tasapainottaminen. Kantaverkkohaltijoiden keskeisenä tehtävä on ylläpitää reaaliaikaista tasapainoa tuotannon ja kulutuksen välillä. Tätä kutsutaan tasehallinnaksi ja tasapainoa voidaan mitata eri säätöalueiden välisillä tasevirheillä sekä sähköverkon taajuudella. Tasapainotilassa taajuus on 50,0 Hz. Sähkömarkkinaosapuolten tehtävänä on suunnitella etukäteen kulutuksensa ja tuotantonsa tasapainoon. Sähkömarkkinat koostuvat muun muassa päivänsisäisestä markkinasta, vuorokausi-, säätösähkö- ja reservimarkkinasta. (36; 37; 38.)

### **Säätösähkömarkkinat**

Fingrid ylläpitää yhdessä muiden pohjoismaisten kantaverkkoyhtiöiden kanssa säätösähkömarkkinoita. Säätösähkömarkkinoiden avulla tuotannon ja kuorman haltijat voivat antaa säätötarjouksia säätökykyisestä kapasiteetistaan. Perimmäinen tarkoitus säätösähkömarkkinoilla on sähköverkon tehotasapainon ylläpitäminen ja häiriö-/vikatilanteessa riittävä reservi. Markkinoille pääsy edellyttää sopimuksen tekoa Fingridin kanssa. Säätösähkömarkkinoille pääsyn edellytyksenä on vähintään 10 MW tehomuutoksen toteuttaminen 15 minuutin ajanjaksolla ja 5 MW:n tehomuutos, jos käytössä on elektroninen aktivointi. Reservikapasiteetista myyjä saa korvauksen hyväksytyksi tulleesta ylös- tai alassäätöehdotuksesta kyseisillä säätökapasiteettimarkkinoilla. Tarjoukset asetetaan hintajärjestykseen pohjoismaiselle säätötarjouslistalle. Säätötarjoukset käytetään hintajärjestyksessä mahdollisuuksien mukaan. Jos käyttötilanteen vuoksi tarjoustusta ei voida käyttää, se jätetään käyttämättä. (Kuva 14.)



*KUVA 14. Säättösähkön tarjousmenettely (39)*

Säättösähkön hinnat määräytyvät pohjoismaisilla säättösähkömarkkinoilla toteutettujen säätöjen perusteella. Alassäätöhinta on halvimman käytetyn allassäätötarjouksen hinta ja ylössäätöhinta taas korkeimman käytetyn ylössäätötarjouksen hinta. Alas- ja ylössäätöhinta voi kuitenkin vähintään tai enintään olla Nord Poolin Suomen aluehinta (Elspot FIN). Säättösähkön hinnoittelu toimii myös tasesähkön hinnoittelun perusteena. Hinnat julkaistaan ensisijaisesti Nord Poolin kotisivuilla. Kapasiteettikorvauksen reservimyyjä saa marginaalihintaperiaatteella ja korvauksen suuruus tarkistetaan hankintajakson jälkeen. (39.)

## 6 SÄHKÖKATTILAMARKKINAT

Sähkökattilamarkkinoilta löytyi muutamia potentiaalisia valmistajia ja toimittajia: norjalainen Parat Halvorsen AS, sveitsiläinen VAPEC AG ja suomalainen Höyrytys Oy. Parat ja VAPEC ovat laitevalmistajia ja heiltä löytyy myös laitekokonaisuuksien toimitus. Höyrytys Oy on laitteistojen toimittaja.

Parat Halvorsen AS on Norjan johtava höyry- ja lämpötuotannon ratkaisujen valmistaja. He valmistavat monenlaisia sähkökattiloita, myös kaukolämpötuotantoa varten. Heiltä löytyy elektrodikattiloita (Parat IEH) 60 MW tehoon asti ja käyttöjännite tehosta riippuen 6–24 kV. Vastuskattiloita (Parat IEL) heiltä löytyy 5 MW:n tehoon asti, ja näiden käyttöjännite on 230/400/690 V. (40.)

Sveitsiläinen Vapac AG on erikoistunut teollisuuden kattilalaitosratkaisujen suunnitteluun, rakentamiseen ja valmistukseen. Heidän valikoimastaan löytyy elektrodikattiloita 90 MW:n tehoon asti ja käyttöjännite 6–36 kV. Niiden tekniikka perustuu SULZER-tekniikkaan, ja niitä on asennettu vuosikymmenien ajan ympäri maailmaa. He ovat myyneet lähes 1000 ratkaisua Euroopassa, Amerikassa, Afrikassa ja Aasiassa. Kattiloita on käytössä kaukolämpötuotannossa, ydinvoimaloissa, kemian-, lääke-, paperi- ja ruokateollisuudessa. (41; 42.)

Höyrytys Oy tuo maahan Ruotsalaisen Zander & Ingeström AB:n sähkökattiloita. He tarjoavat energiaratkaisuja lämmön-, höyryn- ja sähköntuotantoon. Höyrytys Oy on suomalainen yritys, joka on toimittanut sähkökattiloita Suomeen. He ovat muun muassa toimittaneet Jyväskylän Keljonlahden voimalaitokselle höyryntuotannon starttikattilaksi 10 MW:n elektrodikattilan. Heiltä pyydettiin lisätietoa heidän sähkökattiloiden tekniikasta ja budjettihinta erikokoisista järjestelmistä. (43.)

Höyrytys Oy tarjoaa elektrodikattiloita kaukolämpötuotantoon kahdella eri tekniikalla, jotka on mainittu Elektrodikattila-osiossa. Elektrodikattilan pääkomponentit ovat itse kattila, joka sisältää 3 elektrodiryhmää, vedenjohtokyvyn säätöjärjestelmä, primääripiirin kiertovesipumppu, mallista riippuen kattilaveden pinnansäätöpumppu ja sähkökeskus apulaitteille ja automaatiolle. Lisäksi kattilassa on sähköinen lämpimänäpitovalvonta, jolla voidaan ylläpitää kattilavettä halutussa lämpö-

tilassa. Mitä lämpimämpi kattilavesi on niin sanotussa Stand by -tilassa, sitä nopeammin tehoa saadaan kattilan käynnistyttyä. Kyseisessä käyttötarkoituksessa, eli kaukolämpötuotannossa, parempi vaihtoehto kattilaveden esilämmitykselle on tehdä se erillisen lämmönsiirtimen avulla kaukolämpövedestä. Tilantarve elektrodikattilalle ja muulle tekniikalle on noin 10x10x10 m, joka on suhteellisen pieni verrattuna öljykeskuksiin. Höyrytys Oy:n valikoimasta löytyy elektrodikattiloita 50 MW asti ja kattiloiden käyttöjänniteväli 6–20 kV.

Vastuskattiloita heiltä löytyy 3 MW:iin asti, ja näiden tehonsäätö perustuu yksittäisten vastusten kytkentään päälle/pois. Tilaa 3 MW:n sähkökattila tarvitsee noin 5x5m. Näitä on mahdollista kytkeä rinnan, ja samalla ne mahdollistavat myös liikuteltavan modulaarisen rakenteen lämpökeskukselle. Vastuskattiloiden käyttöjännite 3 MW:n teholuokassa on 690 V.

Elektrodikattilalle suositellaan vuosittaisia tarkastuksia elektrodeille, eristimille, pumpuille ja lämmönsiirtimelle. Sähkökattiloille tehdään samat rutiinit päivä- ja viikkokäyntien yhteydessä kuin öljykattiloillekin: vuotojen, äänien ja muiden poikkeavuuksien aistivarainen tarkastelu. Muita tarkastuksia vaativia komponentteja ovat esimerkiksi keskijännitekojeistot. (23.)

## 7 INVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI

Tässä osiossa investoinnin kannattavuutta on arvioitu vertaamalla investointi- ja käyttökustannuksia sähkökattilan ja öljykeskuksen välillä. Kannattavuutta arvioitaessa on myös selvitettävä sähkökattilan kokoluokan tarve, mitä varten on myös tutkittu öljykeskusten käyttöä eri ajanjaksoina.

### 7.1 Öljykeskusten käyttö vuonna 2019 ja 2021

Oulun Energia Oy:n huippu- ja varavoimatuotanto koostuu pääasiassa kuudesta eri puolille kaupunkia sijoitetusta öljykeskuksesta. Eri öljykeskuksien osalta on Oulun Energian tietojärjestelmästä haettu erilaisia käyttötietoja, joiden perusteella on tutkittu ja analysoitu öljykeskusten käyttäytymistä sekä sähkökattilan kokoluokan tarvetta ja kannattavuutta. Tietoja on haettu kaukolämmön tuntisista tehoista, kattiloiden öljytehosta ja öljyn massavirtauksesta. Tarkasteluvuosisiksi on valittu 2019 ja 2021 alkuneljännes. Vuotta 2020 ei ole valittu tarkasteluajanjaksoksi, koska öljykeskuksia jouduttiin käyttämään poikkeuksellisesti ja tavanomaista enemmän Laanilan biovoimalaitoksen koekäyttöjen ja käyttöönoton vuoksi.

Kuvassa 15 on kaikkien öljykeskusten tuntinen kaukolämpöteho vuonna 2019. Öljykeskusten käytön painopiste on kylmän ulkoilman vuoksi alku- ja loppuvuodessa, jolloin tehontarve kaukolämpöverkossa on suurimmillaan. Muina ajanjaksoina öljykeskusten käyttöajankohdat selittyvät mm. kesäaikaan suoritettavilla putkisanerauksilla ja sattuvilla putkirikoilla, jolloin tietyille alueille tehoa on pakko ajaa öljykeskusten kautta. Myös kesällä kylmät ajanjaksot vaikuttavat käyttöön, jos optimoinnin kannalta käyttö on järkevää eikä lämpöä ole muualta saatavilla. Yleisesti isommilla voimalaitoksilla suoritetaan kesäisin kunnossapitotöitä, jolloin lämmöntuotanto täytyy suorittaa muilla tavoin. Hetkelliset laitosten käyttöjaksot lämmöntuotannon kuvaajassa johtuu koekäynnistyksistä, jolloin testataan kaikkien laitteiden toimivuus. Tällöin myös kaukolämpöpumppu käynnistyy, mikä näkyy vähäisenä tuotantona kuvassa. Esimerkiksi Pateniemen öljykeskuksen asetusteho eli minimiteho kaukolämpötuotannolle on 8 MW, Vasaraperällä 10 MW.





KUVA 15. Öljykeskusten tuottama kaukolämpöteho vuonna 2019

Kuvassa 16 on vuoden 2019 tuntisena tietona ilman lämpötila ja sähkön Spot-hinta Suomessa. Ilman lämpötiladata on Ilmatieteenlaitoksen sivuilta, sääasemana on käytetty Oulun Vihreäsaaren asemaa (44). Sähkön hinta on Nord Poolin Suomen Elspot sähkön hinta eli pörssisähkön hinta Suomessa (45). Lämpötilakäyrän vuoden kylmin ajanjakso alkuvuonna osuu samaan ajanjaksoon öljykattiloiden käytön kanssa. Sähkön hinnan keskiarvo kyseisenä vuonna oli noin 44 €/MWh.



KUVA 16. Sähkön pörssihinta ja ilman lämpötila 2019

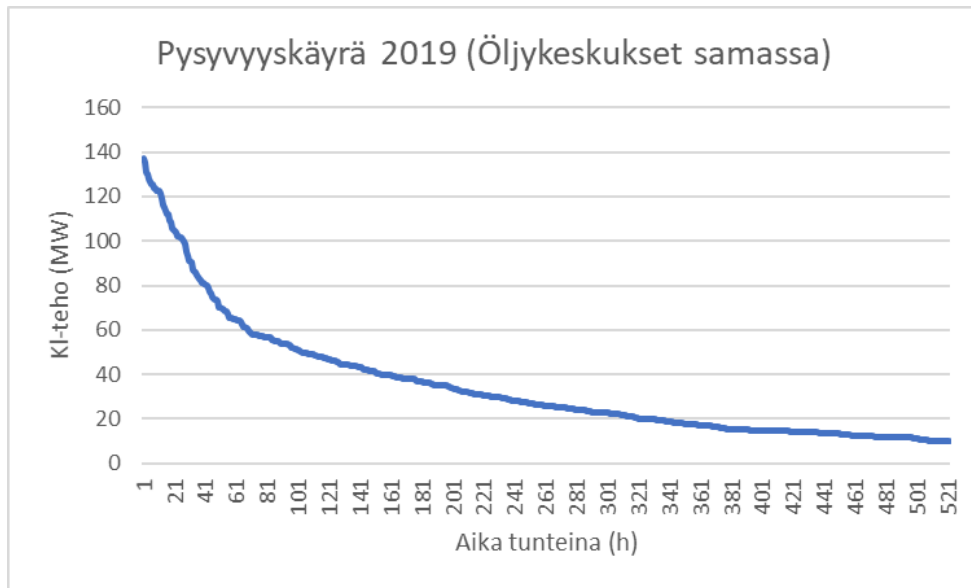
Sähkökattilan teholuokan arviointi suoritetaan tarkastelemalla eri öljykeskusten käyttöä vuonna 2019 muodostamalla käyttötunneista ja kaukolämpöverkkoon syötetystä tehosta pysyvyyskäyrät, joista näkee kaukolämpöverkkoon tuotetun kaukolämpötehon määrän tunteina. Kuvassa 17 on esitetty erikseen öljykeskusten tuottamat kaukolämpötehot. Kuvassa 18 on summattu jokaisen öljykeskusten saman hetken tuntiset tehot yhteen vuoden ajalta.

Kuvassa 17 vuosittaisten käyttötuntien määrissä Pateniemen ja Vasaraperän öljykeskukset erottuvat joukosta huomattavasti suuremman käyttömäärän ansiosta. Vasaraperän öljykeskus tuotti kaukolämpöä 448 tuntia ja Pateniemi 493 tuntia. Teholuokan arviointi sähkökattilalle suoritetaan pysyvyyskäyrän dataa hyödyntäen. Jos sähkökattiloilla haluttaisiin korvata öljykeskusten käyttö, sähkökattiloiden tulisi olla yli 40 MW:n tehoisia, mutta tarkempaa kokoluokan tarvetta arvioitaessa on huomioitava eri tehoisten sähkökattiloiden investointikustannukset ja käytön aiheuttamat kustannukset.



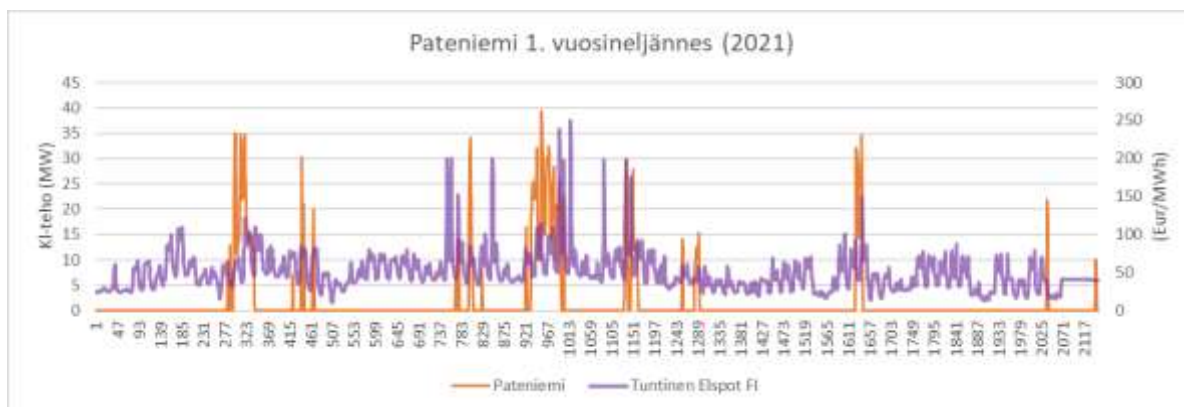
KUVA 17. Pysyvyyskäyrä öljykeskusten kaukolämpötehoista (Öljykeskukset erikseen)

Teoriassa jos vuoden 2019 öljykeskusten tuottama teho haluttaisiin korvata sähkökattiloilla, kaukolämpöverkkoon pitäisi hankkia esimerkiksi kolme 40 MW:n kattilaa ja yksi 20 MW:n kattila. Korkein hetkellinen öljykeskuksilla kaukolämpöverkkoon tuotettu yhteisteho vuonna 2019 oli 136 MW. (Kuva 18.)



*KUVA 18. Pysyvyyskäyrä öljykeskusten kaukolämpötehoista (Öljykeskukset samassa)*

Vuoden 2021 alkuneljänneksellä sähkön pörssihinta on ollut korkea kylmien ajanjaksojen aikaan, jolloin öljykeskuksia on joutunut käyttämään. Kuvassa 19 on Pateniemen öljykeskuksen tuottama kaukolämpöteho ja kyseisen ajanjakson sähkön pörssihinta Suomessa. Pörssihinta on hetkellisesti käynyt yli 200 €/MWh, ja haasteen sähkökattilan hyödyntämiselle tällaisina ajanjaksoina luo yleisesti sähkön korkea hinta ja hinnan voimakas vaihtelu lyhyillä ajanjaksoilla. Jos sähkökattiloita halutaan hyödyntää kylmien ajanjaksojen aikaan tehokkaasti, sähkökattiloiden käyttö tulisi suunnitella etukäteen sähkön pörssihintaennusteiden mukaan. Tämä luo oman haasteensa kaukolämpötuotannon optimoinnille.



KUVA 19. Pateniemen öljykeskuksen kaukolämpöteho ja sähkön pörssihinta 2021 1.vuosineljännes

Kuvassa 20 on Pateniemen öljykeskus vuonna 2021 ja ilman lämpötilan vaihtelu. Öljykeskuksen käyttöajat alkuvuonna koostuu kylmistä ajanjaksoista, jolloin lämpötehon tarve on suurimmillaan.



KUVA 20. Pateniemen öljykeskuksen kaukolämpöteho ja ilman lämpötila 2021 1.vuosineljännes

## 7.2 Öljykeskuksen investointi- ja käyttökustannukset

Öljykeskusten investointi- ja käyttökustannuksien arvioinnissa on hyödynnetty aiemman öljykeskuksen rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia ja öljyn poltosta aiheutuvia kustannuksia.

Laanilan kevytöljykeskuksen rakennuttaminen vuonna 2011 on maksanut kaikkiansa noin 4 miljoonaa euroa. Inflaatio huomioon ottaen samanlaisen laitoksen rakentaminen vuonna 2020 olisi maksanut noin 4,4 miljoonaa euroa. (46; 47.)

Öljykeskusten käyttökustannuksissa on huomioitu polttoaine- ja päästökustannukset. Käytön kustannukset öljykeskuksesta riippuen ovat 75–85 €/MWh. POK on kevyt rikitön polttoöljy, RMD 80 on raskas polttoöljy 0,1 % ja HFO 15 on raskaan ja kevyen polttoöljyn sekoitus. Päästökustannus muodostuu poltosta aiheutuvista hiilidioksidipäästöistä, ja nykyisillään päästöoikeus maksaa noin 40 €/ton<sub>CO2</sub>. Polttoaineesta riippuen päästöjä aiheutuu eri öljykeskuksilla 0,27–0,28 ton<sub>CO2</sub>/MWh. (Taulukko 1.)

*TAULUKKO 1. Öljykeskusten käytön kustannuksia*

Öljykeskusten kustannukset (Polttoaine + päästöt):					
Öljykeskus	Polttoaine	Tiheys (kg/l)	Hinta (Eur/MWh)	Päästökustannus (Eur/MWh)	Yhteensä (Eur/MWh)
Oulunsuu	POK	0,834	75	10	85
Limingantulli 1	POK	0,834	75	10	85
Laanilan lämpökeskus	POK	0,834	75	10	85
Pateniemi	RMD 80	0,89	70	10	80
Vasaraperä	HFO 15	0,91	65	10	75
Limingantulli 2	HFO 15	0,91	65	10	75

Öljykeskusten käyttökustannuksissa ei ole huomioitu keskuksen sähkönkulutusta eikä kunnossapidosta aiheutuvia kustannuksia. Prosessilaitteita öljykeskus sisältää huomattavasti enemmän sähkökattilaan verrattuna johtuen tarvittavasta polttoaineen ja ilman syötöstä kattilaan sekä savukaasujen ulospuhaltamisesta. Öljykeskuksessa olevia prosessilaitteita, joita sähkökattilan käyttö ei tarvitse, ovat muun muassa kattilan pääilmapuhallin, sekoitusilmapuhallin, tuloilmapuhallin, öljypumput ja tuhkan sulkusyöttimet. Muita kustannuksia ovat kattiloiden lämpiämänäpito, nuohoukset, ennakkohuolto, korjaukset, lakisääteiset tarkastukset ja mittaukset sekä tuhkasta aiheutuvat kustannukset. Tarkemmassa kustannustarkastelussa nämä tekijät kannattaisi ottaa huomioon. (48.)

### 7.3 Sähkökattilan investointi- ja käyttökustannukset

Sähkökattilan investointikustannukset koostuvat sähköverkkoon liittymisestä aiheutuvista kustannuksista ja sähkökattilalaitoksen kustannuksista. Sähköverk-

koon liittymisestä aiheutuvia kustannuksia ovat sähköverkon liittymismaksu ja liittymisjohdon rakentamisesta aiheutuvat kustannukset. Liittymisestä aiheutuvia kustannuksia on tarkasteltava tapauskohtaisesti riippuen liittymän tehontarpeesta. Käyttökustannukset muodostuvat sähkön hinnasta, siirtokustannuksista, siirtomaksusta ja sähköverosta.

Keski- ja suurjänniteliittymissä käytetään liittymismaksussa tapauskohtaista hinnoittelua, joka noudattaa muotoa  $a+b \cdot P$ .  $a$  on kustannus, joka sisältää välittömät sähköverkkoon liittämistä aiheutuvat kustannukset.  $b$  on kapasiteettivaramaksu (€/kVA).  $P$  on liittyjän liittymisteho (kVA). (31; 34, s.15–16.)

Liittymisjohdon rakentamisesta asiakkaalle aiheutuvat kustannukset koostuvat pääosin muuntajasta, kaapelista, kaapelin kaivuusta ja kojeistopäätteistä. Lisäksi suur- ja keskijänniteliittymä vaatii erillisen keskijännitekojeiston ja sille suojaus- ja automaatiojärjestelmän. (31; 49.)

Sähkökattilalaitoksen investointikustannuksia ei tässä työssä ole tarkemmin eritelty sen sisältäessä tietoa jota ei haluta julki. Kustannukset muodostuivat seuraavasti: Liittymän rakentamisesta aiheutuvat kustannukset on muodostettu Energiaviraston tiedoston liitteestä 1, jossa käsitellään verkkokomponentteja ja niiden yksikköhintoja (49, s. 106–120). Liittymän rakentamisen kustannusarvio on budjetti-arvio. Jokaisen tapauksen kustannusarvioon on lisätty noin kilometri kaapelin vetoa ja kaivuuta. Sähköliittymän rakentamisen kustannuksiin vaikuttaa suuresti sähköverkon liittymispisteen etäisyys sähkökattilalaitoksen sijoituspai- kasta. Kattila- ja prosessilaitteistokustannuksista puuttuu laitoksen perustuksen ja rakennuksen rakentaminen. (23.)

Sähkökattilan käytön kustannukset muodostuvat taulukon 2 mukaisesti. Siirtokustannukset ja siirtomaksu muodostuvat Oulun Energia Sähköverkko Oy:n siirtohinnaston mukaan. Siirtokustannuksista perusmaksu on ns. kiinteä kustannus. Tehomaksu muodostuu liukuvan 12 kk kahden korkeimman pätötehotunnin keskiarvosta. Näistä johtuen käyttökustannus vuositasolla on riippuvainen myös kattilan käyttötuntien ja huipputehon määrästä. Mitä enemmän on käyttötunteja, sitä useammalle tunnille voidaan perusmaksusta ja tehomaksusta muodostuva kustannus jakaa. Loistehomaksu muodostuu kunkin kuukauden aikana esiintyneen

korkeimman loistehotuntihiipun mukaan. Pätötehosta ja loistehosta muodostuu näennäisteho eli kokonaisteho. Siirtomaksu muodostuu kahdesta eri ajanjaksoista, talviarkipäivästä ja muusta ajasta. Talviarkipäivä tarkoittaa ajanjaksoa 1.11.–31.3. klo 7–22 arkipäivisin mukaan luettuna lauantait ja aattopäivät, muu aika on 1.11.–31.3. klo 22–7 ja ajalla 1.4.–31.10. koko ajan. Talviarkipäivinä 1.11–31.3 päiväaikaan klo 07–22 mitattu pätöteho huomioidaan kokonaan, ja muuna aikana mitatusta pätötehosta otetaan huomioon vain puolet laskettaessa pätötehohuippua.

Nykyisellä lainsäädännöllä sähkökattilan käyttö kuuluu veroluokkaan 1. Vero koostuu sähköverosta, arvonlisäverosta ja huoltovarmuusmaksusta. Veroluokkaan 2 oikeutettuja ovat Tilastokeskuksen vuonna 2008 tekemän toimialaluokituksen luokkiin B ja C (TOL 2008) kuuluva toiminta. Teollisuuden osalta määrittäminen on, että sillä tarkoitetaan tavaran valmistusta ja jalostusta teollisesti. Lämmöntuotannon edellytys luokan 2 sähköverolle on, ettei lämpökeskuksen tuottamaa lämpöä siirretä muualle käytettäväksi, vaan se hyödynnetään kyseisellä tehdasalueella. Sähkökatiloista on maininta kauppa- ja teollisuusministeriön asetuksessa (309/2003) voimalaitoksen omakäyttölaitteista. Pykälässä 3 määritetään sähkökattilan sähköenergian kulutus omakäytöksi vain, kun sen tuottama lämpö käytetään voimalaitoksen omaan tarpeeseen. (50; 51; 52.)

**TAULUKKO 2. Sähkökattilan käytön kustannuksia keski- ja suurjänniteliittymässä**

<b>Käyttökustannukset:</b>	<b>Keskijännite (20 kV)</b>	<b>Suurjännite (110 kV)</b>
Sähkön hinta (eur/MWh)		
<b>-Siirtokustannukset (ALV 24%)</b>		
Perusmaksu (Eur/v)	1876,37	14260
Tehomaksu (Eur/kW/kk)	1,71	1,24
Loistehomaksu (Eur/kVAr/kk)	1,71	1,24
Loisenergiamaksu (Eur/kvarh)	-	0,005
<b>-Siirtomaksu (snt/kWh) (ALV 24%)</b>		
Talviarkipäivä	1,90	1,46
Muu aika	1,40	0,50
<b>-Sähkövero (snt/kWh) (ALV 24%)</b>		
Veroluokka 1	2,79	2,79

## 7.4 Käytön kustannusten vertailua

Käytön kustannuksien vertailua suoritetaan Pateniemen öljykeskukselle vuosina 2019 ja 2021. Samoilte ajanjaksoille lasketaan, kuinka paljon sähkökattilalla tuotettu lämpöenergia olisi maksanut. Vertailua suoritetaan eri vuodenaikoina eri huipputehontarpeilla ja eripituisina ajanjaksoina. Öljykeskusten käyttökustannus muodostuu käytetystä öljyn määrästä ja päästöoikeusmaksusta. Öljyn kulutusmäärät ovat suuntaa antavia. Sähkökattilan käyttökustannus muodostuu saman ajanjakson pörssisähkön hinnasta, siirtokustannuksista, siirtomaksusta ja sähköverosta. Siirtokustannuksissa ei ole huomioitu loistehomaksua eikä loisenergiamaksua niiden osuuden ollessa erittäin pieni kokonaiskustannuksiin nähden. Perusmaksu huomioidaan laskelmissa kyseisen ajanjakson tuntien osuudella koko vuoden tunteihin nähden. Samoin tehomaksu oletuksella, että sen laskemiseen käytettävä teho on kattilan huipputeho. Öljyn hintana hyödynnetään Pateniemessä käytettävän RMD 80 -polttoöljyn arvonlisäverotonta hintaa vuoden 2020 alusta (0,743 €/kg) (53). Taulukoissa €/MWh kustannus on merkittynä vaalean siniselle pohjalle.

### 7.4.1 Vertailuajanjakso 1

Vertailuajanjakso 1 muodostuu 2019 lokakuun öljykeskuksen 8 tunnin mittaisesta käytöstä jolloin huipputeho oli noin 10 MW. Vertailussa kustannuksia sähkökattilalle on laskettu keskijänniteliittymään soveltuvan 10 MW sähkökattilan ja suurjänniteliittymällisen 30 MW sähkökattilan osalta. Käyttöajanjakson siirtomaksu muodostuu muu aika -maksun mukaan. Kustannuslaskelmissa öljykeskuksen 80 €/MWh oli kyseisenä ajanjaksona halvin vaihtoehto. Laskelmissa havaitaan kalteimmaksi vaihtoehdoksi 10 MW kattila reilun 95 €/MWh kustannuksilla. 30 MW kattilan osateholla noin 10 MW tehoa on halvempi tehdä kuin 10 MW:n sähkökattilalla, vaikka sähkön hinta on sama. Ero muodostuu siirtokustannuksista ja siirtomaksusta. (Taulukko 3.)



### TAULUKKO 3. Ajanjakso 1 käyttökustannukset

Aika	KI-teho (MWh)	Öljyteho (MWh)	Sähkön hinta (EUR/MWh)	Öljyn määrä (kg)	Kustannus sähkö 20 kV (Eur/MWh)	Kustannus sähkö 110 kV (Eur/MWh)	Kustannus öljy (Eur/MWh)
30.10.2019 15.00.00	0,000	0,221	59,95	18	0,0	0,0	15,6
30.10.2019 16.00.00	4,626	6,457	55	583,2	472,0	447,3	497,9
30.10.2019 17.00.00	9,914	10,262	62,47	892,8	1058,5	986,0	766,0
30.10.2019 18.00.00	10,010	10,509	54,98	921,6	993,5	920,2	789,8
30.10.2019 19.00.00	10,134	10,795	54,48	961,2	1000,5	926,0	822,1
30.10.2019 20.00.00	10,087	10,875	41,96	943,2	869,7	795,6	809,5
30.10.2019 21.00.00	10,122	10,790	40	943,2	852,8	778,4	808,7
30.10.2019 22.00.00	3,289	1,944	39,56	165,6	291,6	279,1	142,5
<b>8 tuntia käyttöä</b>	<b>58,18</b>	<b>61,85</b>	-	<b>5428,80</b>	<b>5538,6</b>	<b>5132,6</b>	<b>4652,1</b>
					<b>95,2</b>	<b>88,2</b>	<b>80,0</b>

### 7.4.2 Vertailuajanjakso 2

Vertailuajanjakso 2 muodostuu 2019 elokuulta, jolloin yhtäjaksoisesti öljykeskusta käytettiin 30 tuntia. Lämmöntuotannon huipputeho kyseisellä ajanjaksolla oli noin 23 MW ja laskennassa käytettiin 30 MW sähkökattilaa. Käyttöajanjakson siirtomaksu muodostuu muu aika -maksun mukaan. Käyttökustannusten osalta lämmöntuotanto öljykeskuksella oli noin 9 €/MWh halvempaa. (Taulukko 4.)

### TAULUKKO 4. Ajanjakso 2 käyttökustannukset

Aika	KI-teho (MWh)	Öljyteho (MWh)	Sähkön hinta (EUR/MWh)	Öljyn määrä (kg)	Kustannus sähkö 110 kV (Eur/MWh)	Kustannus öljy (Eur/MWh)
28.8.2019 1.00.00	0,0	0,4	36,1	43	0,0	36,2
28.8.2019 2.00.00	8,5	12,4	35,6	1084	636,8	929,5
28.8.2019 3.00.00	12,1	13,1	34,9	1152	876,0	987,1
28.8.2019 4.00.00	12,2	13,3	34,8	1170	880,3	1002,5
28.8.2019 5.00.00	12,2	13,3	35,4	1141	882,9	980,6
28.8.2019 6.00.00	14,1	15,3	37,0	1314	1038,9	1129,6
28.8.2019 7.00.00	14,8	16,4	57,6	1429	1389,1	1225,7
28.8.2019 8.00.00	13,8	15,2	65,0	1292	1402,6	1112,3
28.8.2019 9.00.00	14,6	16,1	68,5	1364	1528,6	1175,1
28.8.2019 10.00.00	12,1	13,1	72,0	1116	1317,5	960,6
28.8.2019 11.00.00	12,2	13,1	72,1	1163	1328,3	994,9
28.8.2019 12.00.00	12,0	13,1	72,2	1116	1316,8	960,5
28.8.2019 13.00.00	14,3	15,6	73,3	1357	1568,2	1164,8
28.8.2019 14.00.00	14,9	16,4	72,9	1415	1631,7	1214,9
28.8.2019 15.00.00	14,7	15,8	72,1	1382	1599,6	1185,4
28.8.2019 16.00.00	14,8	16,1	72,9	1393	1613,6	1195,7
28.8.2019 17.00.00	14,8	16,0	72,1	1372	1603,4	1179,5
28.8.2019 18.00.00	13,7	14,8	68,5	1289	1441,9	1106,0
28.8.2019 19.00.00	17,1	18,5	68,2	1602	1775,7	1375,6
28.8.2019 20.00.00	20,3	22,0	72,1	1901	2186,2	1632,0
28.8.2019 21.00.00	22,8	24,8	66,5	2131	2318,5	1831,4
28.8.2019 22.00.00	22,0	24,0	56,0	2070	2004,3	1777,5
28.8.2019 23.00.00	18,1	20,1	37,2	1768	1319,5	1514,3
29.8.2019 0.00.00	17,7	19,3	35,6	1660	1264,1	1426,5
29.8.2019 1.00.00	17,7	19,6	35,3	1685	1260,0	1447,8
29.8.2019 2.00.00	18,3	20,1	34,8	1732	1289,7	1487,2
29.8.2019 3.00.00	16,4	18,1	34,5	1573	1158,5	1350,0
29.8.2019 4.00.00	13,1	14,6	34,0	1274	928,0	1092,9
29.8.2019 5.00.00	14,0	15,4	34,4	1321	994,4	1135,9
29.8.2019 6.00.00	8,5	8,0	35,4	698	629,4	598,5
<b>30 tuntia käyttöä</b>	<b>431,7</b>	<b>474,2</b>	-	<b>41008</b>	<b>39184,6</b>	<b>35210,7</b>
					<b>90,8</b>	<b>81,6</b>

### 7.4.3 Vertailuajanjakso 3

Kolmas vertailuajanjakso on helmikuulta 2019. Käyttöjakson pituus on 30 tuntia ja maksimiteho kaukolämpöverkkoon noin 31 MW. Laskennassa käytetään 40 MW sähkökattilaa. Käyttöajanjakso koostuu 20 talviarkipäivä -tunnista, ja 10 muu aika-tunnista. Kyseisellä ajanjaksolla öljykeskuksen käyttö oli noin 6 €/MWh edullisempaa. (Taulukko 5.)

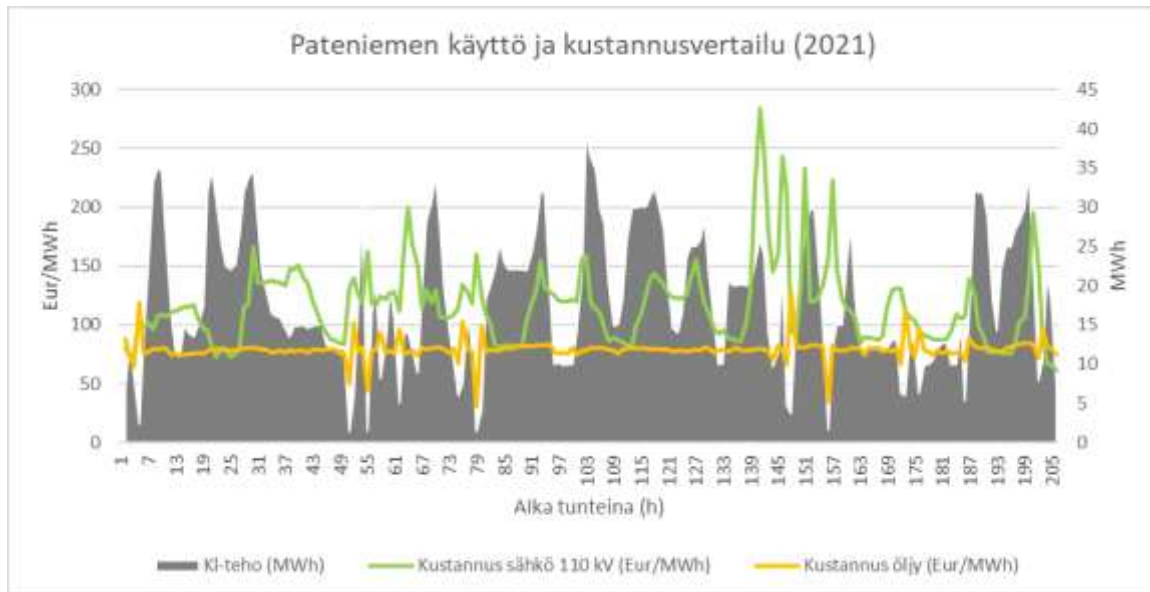
TAULUKKO 5. Ajanjakso 3 käyttökustannukset

Aika	KI-teho (MWh)	Öljyteho (MWh)	Sähkön hinta (EUR/MWh)	Öljyn määrä (kg)	Kustannus sähkö 110 kV (Eur/MWh)	Kustannus öljy (Eur/MWh)
21.2.2019 6.00.00	2,8	5,9	46,8	507,6	289,7	436,2
21.2.2019 7.00.00	15,9	17,5	52,9	1497,6	1591,0	1287,7
21.2.2019 8.00.00	30,0	34,2	54,8	2952,0	2986,1	2535,4
21.2.2019 9.00.00	30,8	35,5	55,2	3067,2	3075,2	2633,9
21.2.2019 10.00.00	25,9	29,8	56,2	2577,6	2625,5	2212,9
21.2.2019 11.00.00	22,2	25,5	47,0	2217,6	2056,5	1903,0
21.2.2019 12.00.00	16,2	18,7	45,1	1641,6	1488,2	1406,3
21.2.2019 13.00.00	10,0	11,3	45,0	1004,4	944,2	859,5
21.2.2019 14.00.00	11,3	12,5	52,1	1072,8	1140,2	922,0
21.2.2019 15.00.00	23,0	26,5	51,8	2289,6	2236,0	1966,2
21.2.2019 16.00.00	25,2	29,2	53,2	2538,0	2478,0	2177,8
21.2.2019 17.00.00	25,1	29,1	56,1	2523,6	2540,8	2165,9
21.2.2019 18.00.00	26,4	30,6	55,4	2646,0	2652,8	2272,4
21.2.2019 19.00.00	30,1	35,3	51,7	3042,0	2909,7	2613,5
21.2.2019 20.00.00	30,2	35,3	45,6	3042,0	2736,0	2612,7
21.2.2019 21.00.00	31,3	36,6	45,0	3150,0	2813,8	2706,0
21.2.2019 22.00.00	30,0	35,2	44,0	3038,4	2376,0	2609,8
21.2.2019 23.00.00	29,3	34,5	42,7	2980,8	2285,8	2559,5
22.2.2019 0.00.00	22,2	25,6	42,3	2228,4	1734,2	1911,9
22.2.2019 1.00.00	21,0	24,1	41,2	2098,8	1624,0	1800,9
22.2.2019 2.00.00	18,4	21,4	40,8	1857,6	1423,8	1593,7
22.2.2019 3.00.00	17,1	19,7	40,6	1731,6	1324,7	1483,7
22.2.2019 4.00.00	15,0	17,3	41,3	1479,6	1181,5	1272,6
22.2.2019 5.00.00	20,8	23,9	45,1	2070,0	1690,7	1777,4
22.2.2019 6.00.00	20,4	23,7	51,3	2044,8	1785,6	1756,6
22.2.2019 7.00.00	19,2	21,8	58,0	1908,0	2000,8	1635,8
22.2.2019 8.00.00	30,1	35,1	58,0	3027,6	3089,1	2600,6
22.2.2019 9.00.00	24,2	28,3	55,6	2448,0	2441,4	2102,0
22.2.2019 10.00.00	14,2	16,5	56,3	1458,0	1474,7	1247,9
22.2.2019 11.00.00	5,1	4,1	47,9	378,0	526,9	322,3
<b>30 tuntia käyttöä</b>	<b>643,2</b>	<b>744,8</b>	<b>49,3</b>	<b>64519,2</b>	<b>59522,9</b>	<b>55386,1</b>
					<b>92,5</b>	<b>86,1</b>

### 7.4.4 Vertailuajanjakso 4

Neljäs ajanjakso koostuu kaikista Pateniemen öljykeskuksen käyttötunneista vuoden 2021 ensimmäisellä vuosineljänneksellä. Käyttökustannuksia vertaillaan Pateniemen öljykeskuksen koko kevään kaukolämpötuotannon ja saman ajanjakson 40 MW sähkökattilalla tehdyn lämpöenergian välillä. Tuntien määrä on

yhteensä 207, joista 133 oli talviarkipäivätunteja ja 74 muu aika -tunteja. Sähkön korkeat tuntiset hinnat alkuvuonna näkyvät kustannuslaskelmissa. Sähkökattilan käytöllä kustannus olisi ollut noin 116,6 €/MWh ja öljykeskuksella 79,5 €/MWh. Kuvassa 21 sähkökattilalla tuotetun lämmön hintavaihtelun voimakkuus on havaittavissa hyvin. Yksittäisiä tunteja lukuun ottamatta sähköllä tuotettu lämpö olisi ollut huomattavasti kalliimpaa kuin öljyllä.



KUVA 21. Pateniemen käyttöteho tunneittain ja kustannus sähköllä ja öljyllä 2021 1. vuosineljännes

#### 7.4.5 Sähkökattilan käyttökustannukset sähköveroluokalla 2

Sähkökattiloiden käytön hyödyntämisestä huomattavasti kannattavampaa tekisi veroluokan muutos. Nykyisellä lainsäädännöllä sähkökattilan käyttö kuuluu sähköveroluokkaan 1 ja kyseinen vero maksaa 2,79 snt/kWh. Sähköveroluokan 2 kuluttajien vero maksaa 0,08 snt/kWh (54). Jos sähkökattilan käyttö luokiteltaisiin veroluokkaan 2, pienentäisi se energian lopullista kustannusta lähes 30 %. (Taulukko 6.)

TAULUKKO 6. Sähköveroluokan vaikutus energian lopulliseen hintaan

	Todellinen sähkökäytön kustannus (Eur/MWh)	Öljykäytön kustannus (Eur/MWh)	Sähkökäytön kustannus (veroluokka 2) (Eur/MWh)
Pateniemi (Lokakuu 2019)	88,2	80,0	61,7
Pateniemi (Elokuu 2019)	90,8	81,6	63,5
Pateniemi (Helmikuu 2019)	92,5	86,1	64,7

## 8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tehdä kannattavuuden arviointi sähkökattilan investoinnille ja käytölle kaukolämmön vara- ja huipputehotuotantoon. Työssä selvitettiin liittymismahdollisuudet keskijännite- ja suurjänniteverkkoon sekä tästä aiheutuvia kustannuksia.

Sähkökattilan käyttö on kyseiset käyttökustannukset huomioon ottaen nykyisellään huomattavasti kalliimpaa kuin öljykeskuksella. Jos käytön kustannuksia tarkasteltaisiin tarkemmin, tuotannon hintaero olisi varmasti sähkökattilalle jonkin verran kyseisiä tuloksia suotuisampi.

Sähkökattilasta kustannusmielessä tuskin on vielä korvaamaan öljykeskuksien käyttöä, mutta se olisi hyvä lisä kaukolämmön huippu- ja varatehotuotannon tukemiseen luotettavuuden ja nopean reaktiokyvyn ansiosta. Sähkökattila lisäisi monipuolisuutta kaukolämpötuotantoon ja olisi päästöiltään puhdas valinta. Uusiutuva sähköntuotanto tulee lisääntymään Suomessa sekä muissa Pohjoismaissa esimerkiksi lukuisien tuulivoimahankkeiden toteutuessa. Tällöin sähköntuotantoon tulevat voimakkaasti vaikuttamaan sääolosuhteet. Se näkyy sähköntuotantien hintojen edullisuutena, mikä mahdollistaisi tiettyinä ajanjaksoina sähkökattilan kustannustehokkaan hyödyntämisen. Jos edullisina ajanjaksoina lämmöntarvetta kaukolämpöverkossa ei ole, sähkökattilan tuottamaa lämpöenergiaa voitaisiin ladata olemassa olevaan lämpöakkuun.

Investointikustannukset taas puoltavat sähkökattilainvestoinnin kannattavuutta sen ollessa nykyisellään edullisempi vaihtoehto kuin uusi öljykeskus. Sähkökattilan kokoluokalla on suuri merkitys investointikustannusten kannattavuuteen, sillä eri teholuokan sähkökattiloiden hinnoissa ei ole kokonaisuuteen nähden suurta eroa. Suuren eron kustannuksissa eri teholuokan sähkökattiloiden välillä aiheuttaa sen vaatima liityntä sähköverkkoon ja tarvittavat komponentit. Eri ajanjaksoina öljykeskuksilla tuotettu hetkellinen huipputeho ja öljykeskuksen tuotantotehon maksimi on otettava huomioon valittaessa riittävän kokoista sähkökattilaa, jos sillä halutaan mahdollisesti korvata jokin olemassa oleva öljykeskus. Inves-

tointikustannukset ja maksimiteho huomioiden kannattavaa olisi rakentaa vähintään 30 MW:n sähkökattila. Keskijänniteverkon siirtokyky ei ole riittävä, eikä investointikustannuksia verrattaessa kannattava vaihtoehto.

Tulevaisuudessa eri energia-alan yritysten yhteistyö tulee korostumaan voimakkaasti sähköverkon vaatiessa jatkuvasti tasapainotilan tuotannon ja kulutuksen osalta. Lisäksi ilmastopolitiikka ja hiilineutraaliustavoitteet lisäävät haastetta eri energiayhtiöille. Etenkin epävarmuus fossiilisten polttoaineiden, päästöoikeuksien ja verotuksen kustannuksien kehityksestä lisää halukkuutta löytää vaihtoehtoinen ratkaisu erilaisia fossiilisia polttoaineita hyödyntävien polttolaitoksien tilalle. Sähkökattilalaitoksella olisi positiivinen vaikutus yrityksen näkyvyyteen olemalla lämpölaitos joka ei itsessään tuota lainkaan päästöjä, sekä sillä voitaisiin edistää hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamista.

Sähkökattilan käytöstä kaukolämpötuotannossa tekisi huomattavasti kannattavampaa alempi sähköveroluokka. Vuoden 2016 energia ja ilmastostrategian selonteossa mainitaan, että energiaverotuksella tullaan edistämään uusiutuvaa ja vähäpäästöistä kaukolämpötuotantoa. Yksi edistämisen paikka olisi sähkökattilan ja muiden sähköä hyödyntävien lämmitysjärjestelmien käyttökustannusten tukeminen verotusta keventämällä sen hiilineutraalin tuotantomahdollisuuden vuoksi. Tämä vaatisi muutoksia veroluokan 2 toimialaluokitusten määrittelyyn. Selonteossa mainitaan myös, että uusiutuvista energianlähteistä kaukolämpöä tuottavia uuden teknologian investointeja tullaan tukemaan, joten kannattavaa olisi selvittää investointituen mahdollisuus sähkökattilalaitoksen investointia ajatellen. Sähkökattilan investoinnin tukiperusteena voitaisiin hyödyntää selonteon mainintaa, ettei sähkömarkkinat ohjaa uusiutuvan energian investointeihin riittävästi. Sähkökattilalla voitaisiin olla tehokkaasti mukana säättämässä sähkön kulutuksen ja tuotannon tasapainoa säätösähkömarkkinoilla.

## LÄHTEET

1. Strategiamme. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/oulun-energia/tietoa-meista/strategiamme/>. Hakupäivä 27.4.2021.
2. Tarinamme. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/oulun-energia/tietoa-meista/tarinamme/>. Hakupäivä 27.4.2021.
3. Tytäryhtiöt ja osakkuudet. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/oulun-energia/tietoa-meista/tytaryhtiot-ja-osakkuudet/>. Hakupäivä 27.4.2021.
4. Tuotteet ja palvelut. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/oulun-energia/oulun-energia-urakointi/tuotteet-ja-palvelut/>. Hakupäivä 27.4.2021.
5. Vuosikertomus. 2020. Oulun Energia Oy. Saatavissa: [https://www.oulunenergia.fi/globalassets/tiedostot/oulun\\_energia\\_vuosikertomus\\_2020.pdf](https://www.oulunenergia.fi/globalassets/tiedostot/oulun_energia_vuosikertomus_2020.pdf). Hakupäivä 27.4.2021.
6. Laanilan biovoimalaitos. Ramboll Finland Oy. Saatavissa: <https://fi.ramboll.com/projektit/rfi/laanilan-biovoimalaitos>. Hakupäivä 27.4.2021.
7. Mäkelä, Veli-Matti – Tuunanen, Jarmo. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf>. Hakupäivä 17.3.2021.
8. Wehotherm-kaukolämpöputkijärjestelmä. Tuoteluettelo. Uponor Oy. Saatavissa: [https://www.uponor.fi/-/media/country-specific/finland/download-centre/district-heating-and-cooling/brochure/41701\\_wehotherm\\_tuoteluettelo.pdf?v=4b4b9bb9-f6f7-40fa-9906-fd233cd74cac](https://www.uponor.fi/-/media/country-specific/finland/download-centre/district-heating-and-cooling/brochure/41701_wehotherm_tuoteluettelo.pdf?v=4b4b9bb9-f6f7-40fa-9906-fd233cd74cac). Hakupäivä 17.3.2021.
9. Lämpöverkkoalue. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/oulun-energia/lampopalvelut/kaukolampo/lampoverkkoalue/>. Hakupäivä 27.4.2021.

10. Energiavuosi 2020 kaukolämpö. 2021. Energiateollisuus ry. Saatavissa: [https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi\\_2020\\_netto\\_kj\\_paivitetty\\_20210318.pdf](https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2020_netto_kj_paivitetty_20210318.pdf). Hakupäivä 17.3.2021.
11. Voimalaitokset. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://vanha.ouluenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset>. Hakupäivä 27.4.2021.
12. Toppilan voimalaitos. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://vanha.ouluenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset/toppilan-voimalaitos>. Hakupäivä 27.4.2021.
13. Laanilan biovoimalaitos. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://vanha.ouluenergia.fi/ouluenergia/tietoa-ouluenergia/energiantuotanto/voimalaitokset/laanilan-biovoimalaitos>. Hakupäivä 27.4.2021.
14. Laanilan ekovoimalaitos. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://vanha.ouluenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset/laanilan-ekovoimalaitos>. Hakupäivä 27.4.2021.
15. Ekovoimalaitoksen esittelyvideo. 22.2.2013. Oulun Energia Oy. YouTube video, 1:13. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=WnGOjHVg2t8>. Hakupäivä 27.4.2021.
16. Huippu- ja varateho. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://vanha.ouluenergia.fi/huippu-ja-varateho>. Hakupäivä 27.4.2021.
17. Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2015. Vastuualueet. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>. Hakupäivä 18.3.2021.
18. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Energia- ja ilmastostrategia 2016. Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/3570111/Kansallinen+energia-+ja+ilmastostrategia+vuoteen+2030+24+11+2016+lopull.pdf/a07ba219-f4ef-47f7-ba39-70c9261d2a63/Kansallinen+energia-+ja+ilmastostrategia+vuoteen+2030+24+11+2016+lopull.pdf>. Hakupäivä 26.4.2021.

19. Garcia, N. – Krook-Riekkola, A. – Lopez, A. – Olsen, L. – Vatopoulos, K. 2012. Best available technologies for the heat and cooling market in the European Union. European Commission. Saatavissa: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC72656/eur%2025407%20en%20-%20heat%20and%20cooling%20final%20report-%20online.pdf>. Hakupäivä 17.4.2021.
20. Anteroinen, Sami 2016. Raskas polttoöljy väistyy kattiloista- mitä tilalle? Enertec. Saatavissa: <http://www.publico.com/magazine/pdf/815.pdf>. Hakupäivä 17.4.2021.
21. Sevänen, Sanna 2020. Tuuli ja aurinko valtaavat markkinat, kun sähköstä tulee ilmastoystävällistä. Tampereen yliopisto, ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.tuni.fi/unit-magazine/artikkelit/tuuli-ja-aurinko-valtaavat-markkinat-kun-sahkosta-tulee-ilmastoystavallista>. Hakupäivä 17.4.2021.
22. Meritt, Carey 2016. Process Steam Systems. A Practical Guide for Operators, Maintainers and Designers. Hoboken, New Jersey. Saatavissa: [https://books.google.fi/books?id=fVoBCgAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbp\\_book\\_other\\_versions\\_r&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fi/books?id=fVoBCgAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbp_book_other_versions_r&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). Hakupäivä 17.4.2021.
23. Ritvonen, Tapio. 2021. Höyrytys Oy. Yksityinen sähköpostiviesti 31.3.2021. Viestin saaja: Riku Hietala.
24. High Voltage Electrode boiler for Steam and Hot water. 2021. Parat IEH. Parat Halvorsen AS. Saatavissa: <https://www.parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-voltage-electrode-boiler/>. Hakupäivä 19.4.2021.
25. Ahonen, Tuomas. 2018. Sähkökattilan investoinnin esiselvitys. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, energiatekniikan tutkinto-ohjelma. Hakupäivä 19.4.2021.



26. For the Safe Operation of Electric Steam Boilers, 2013. Code of Practice. Published: Labour Department. Saatavissa: <https://www.labour.gov.hk/eng/public/bpvd/boiler.pdf>. Hakupäivä 19.4.2021.
27. Suomen sähköjärjestelmä. 2021. Fingrid Oyj. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>. Hakupäivä 19.4.2021.
28. Sähkön siirto ja -jakelu. 2021. Säteilyturvakeskus. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/sahkonsiirto-ja-voimajohdot/sahkonsiirto-ja-jakelu>. Hakupäivä 19.4.2021.
29. Sähköverkkoyhtiöt. 2021. Energiateollisuus ry. Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkoverkot/sahkoverkkoyhtiöt>. Hakupäivä 19.4.2021.
30. Fingridin sähkön siirtoverkko. 2020. Fingrid Oyj. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/fingridin-sahkonsiirtoverkko/>. Hakupäivä 19.4.2021.
31. Honkasalo, Otto. 2021. Oulun Energia Oy. Opinnäytetyöpalaveri. Palaverimuistio 19.3.2021.
32. Jakeluverkkoalue. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/ouluenergia/sahkoverkkopalvelut/toimintamme/>. Hakupäivä 19.4.2021.
33. Verkkopalveluhinnasto. 2021. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/ouluenergia/sahkoverkkopalvelut/verkkopalveluhinnasto/>. Hakupäivä 19.4.2021.
34. Sähkölaitteiden hinnoitteluperusteet ja rakentamiseen liittyvät ohjeet 1.2.2020 alkaen. 2020. Oulun Energia Oy. Saatavissa: [https://www.ouluenergia.fi/contentassets/6c58f8eaed7441ba8116b333b8bb3432/sahkoliittymän\\_hinnoitteluperusteet\\_ja\\_rakentamiseen\\_liittyvat\\_ohjeet.pdf](https://www.ouluenergia.fi/contentassets/6c58f8eaed7441ba8116b333b8bb3432/sahkoliittymän_hinnoitteluperusteet_ja_rakentamiseen_liittyvat_ohjeet.pdf). Hakupäivä 20.4.2021.

35. Sähkömarkkinat. 2021. Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: <https://tem.fi/sahkomarkkinat>. Hakupäivä 20.4.2021.
36. Johdanto sähkömarkkinoihin. 2021. Fingrid Oyj. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/johdanto-sahkomarkkinoihin/#taseselvitys>. Hakupäivä 20.4.2021.
37. Reservimarkkinat. 2021. Fingrid Oyj. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/>. Hakupäivä 20.4.2021.
38. Pohjoismainen tasehallinta. 2021. Fingrid Oyj. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/pohjoismainen-tasehallinta/>. Hakupäivä 20.4.2021.
39. Säättö- ja säätökapasiteettimarkkinat. 2021. Fingrid Oyj. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saatokapasiteettimarkkinat/#saatosahkon-hinnoittelu>. Hakupäivä 20.4.2021.
40. About Parat. 2021. PARAT Halvorsen AS. Saatavissa: <https://www.parat.no/en/about-parat/>. Hakupäivä 20.4.2021.
41. About us. 2021. Vaptec AG. Saatavissa: <http://www.vaptec.ch/en/company/about-us/>. Hakupäivä 20.4.2021.
42. High Voltage Electrode Boiler. 2021. Vaptec AG. Saatavissa: <http://www.vaptec.ch/en/electrode-boiler/electrode-boiler/>. Hakupäivä 20.4.2021.
43. Millaisia energiapalveluita tarvitse? 2021. Höyrytys Oy. Saatavissa: <https://hoyrytys.fi/>. Hakupäivä 20.4.2021.
44. Havaintojen lataus. 2021. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>. Hakupäivä 22.4.2021.
45. Historical Market Data. 2021. Nord Pool AS. Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/historical-market-data/>. Hakupäivä 22.4.2021.

46. Kangas, Aleksi. 2021. Oulun Energia Oy. Yksityinen sähköpostiviesti 8.4.2021. Viestin saaja: Riku Hietala.
47. Rahanarvomuunnin. 2021. Tilastokeskus. Saatavissa: <https://www.stat.fi/tup/laskurit/rahanarvonmuunnin.html>. Hakupäivä 20.4.2021.
48. Juopperi, Antti. 2021. Oulun Energia Oy. Yksityinen sähköpostiviesti 1.4.2021/14.4.2021. Viestin saaja: Riku Hietala.
49. Sähkön jakeluverkkotoiminta ja sähkön suurjännitteinen jakeluverkkotoiminta. 2021. Energiavirasto. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Valvontamenetelm%C3%A4t-s%C3%A4hk%C3%B6njakelu-2016-2023.pdf/72eac45f-4fe0-6b0a-d5f7-e89ee97b89fc/Valvontamenetelm%C3%A4t-s%C3%A4hk%C3%B6njakelu-2016-2023.pdf>. Hakupäivä 24.4.2021.
50. Energiaverotus. 2021. Verohallinto. Saatavissa: <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus2/>. Hakupäivä 25.4.2021.
51. Toimialaluokitus. 2008. Tilastokeskus. Saatavissa: <https://www.stat.fi/fi/luokitukset/toimiala/?code=C&name=Teollisuus>. Hakupäivä 25.4.2021.
52. Kauppa- ja teollisuusministeriön asetus voimalaitosten omakäyttölaitteista. 309/2003. Finlex. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030309>. Hakupäivä 25.4.2021.
53. Karjalainen, Sami. 2021. Oulun Energia Oy. Yksityinen sähköpostiviesti 1.4.2021. Viestin saaja: Riku Hietala.
54. Sähkövero ja sähköveroluokka. 2021. Caruna. Saatavissa: <https://www.caruna.fi/palvelut/sahkonjakelu/sahkovero>. Hakupäivä 27.4.202

