

Kari Rasinkangas

## **SÄHKÖKATTILOIDEN KANNATTAVUUS PIENISSÄ KAUKOLÄMPÖVER- KOISSA**

# **SÄHKÖKATTILOIDEN KANNATTAVUUS PIENISSÄ KAUKOLÄMPÖVER- KOISSA**

Kari Rasinkangas  
Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Kari Rasinkangas

Opinnäytetyön nimi: Sähkökattiloiden kannattavuus pienissä kaukolämpöverkoissa

Title of thesis: Economic Viability of Electric Boilers in Small-Scale District Heating Networks

Työn ohjaajat: Marko Karjalainen, Mika Kärkkäinen, Saku Leskelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 40

---

Toimeksianto opinnäytetyölle saatiin Siikalatvan lämpö Oy:ltä ja työn tavoitteena oli selvittää kaukolämmön tuotannon kannattavuutta Siikalatvan kunnan alueella toimivissa kahdessa lämpölaitoksessa sähkökattiloilla silloin, kun sähkön spot-hinta on alhaisempi kuin käytössä olevien polttoainoiden hinta lämpöyksikköä kohden. Molempien lämpölaitosten kaukolämpö tuotetaan pääosin polttamalla haketta ja turvetta. Sähkökattila on todettu toimivaksi, ympäristöystävälliseksi ja kannattavaksi vaihtoehdoksi naapurikunnassa.

Selvitettyjen tietojen perusteella luotiin Excel-pohjainen laskentatyökalu, jonka avulla laskettiin teoreettisesti sähkökattilalla syntyvä vuotuinen säästö. Laskentatyökalua varten selvitettiin sähkökattilainvestoinnin hinta, minkä takaisinmaksuaikaa arvioitiin vuotuisen säästön avulla. Sähkökattilainvestoinnin kokonaiskustannukset sekä arvio niiden takaisinmaksuajasta olivat toimeksiantajan kannalta oleelliset selvitetty asiat. Laskentatyökalua voisi hyödyntää myös muissa samankaltaisissa selvityksissä sellaisenaan tai pienin muutoksin.

Laskelmissa pyrittiin selvittämään kaikki kustannuksia aiheuttavat osa-alueet mahdollisimman tarkasti, jotta investointien kokonaiskustannukset ja takaisinmaksuajat olisivat todenmukaiset. Puutuneista tiedoista pyrittiin tekemään tarkin mahdollinen arvio.

Ensimmäisen lämpökeskuksen laskennassa kävi nopeasti ilmi alueen sähkönmyyjän palveluiden korkean hinnan vaikutus kannattavuuteen. Lähtökohtana ollut sähkön spot-hinnan yläraja 3 snt/kWh ei riittänyt tuottamaan sähkökattilan teoreettisen lämmöntuotannon avulla säästöjä. Sähkötalon ilmoittama suurtehoasiakkaille oleva tehomaksu osoittautui tarkastelussa muiden sähkönmyyjien tehomaksua huomattavasti suuremmaksi. Vuosittaisen säästön arviolla takaisinmaksuajaksi saatiin yli 8 vuotta, vaikka osa investointikustannuksista vielä puuttui. Investointikustannukset jätettiin sen vuoksi selvittämättä tarkemmin, koska kannattavuus todettiin laskennan varhaisessa vaiheessa huonoksi.

Toisen lämpökeskuksen tarkastelussa säästöä syntyi sähkön spot-hinnan ollessa yli lähtökohtana olleen hintatason. Tämän takia investointikustannukset selvitettiin toisen lämpökeskuksen osalta mahdollisimman tarkasti. Sähkökattilainvestoinnin takaisinmaksuajaksi saatiin noin 6–7 vuotta riippuen siitä tehdäänkö investointi yhtiön omalla pääomalla vai otetaanko sitä varten laina.

---

Asiasanat: pörssisähkö, spot-hinta, kaukolämpö, sähkökattila

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	KAUKOLÄMPÖ.....	6
2.1	Kaukolämmityksen historiaa.....	6
2.2	Kaukolämpöjärjestelmän toimintaperiaate.....	7
2.3	Kaukolämmön energianlähteet.....	7
2.4	Kaukolämmön hinnan muodostuminen .....	8
2.5	Kaukolämmön päästöt.....	10
2.6	Kaukolämmön tuotanto ja jakelu .....	11
2.6.1	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto .....	11
2.6.2	Lämpökeskukset.....	13
2.6.3	Vara- ja huippukuormalaitokset.....	13
2.6.4	Lämpöakut.....	13
3	PÖRSSISÄHKÖ.....	14
3.1	Nord Pool .....	14
3.2	Sähkön spot-hinnan muodostuminen .....	14
3.3	Hintaennusteet ja futuurit.....	15
4	SÄHKÖKATTILAT .....	17
4.1	Elektrodikattilat.....	18
4.2	Vastuskattila .....	19
5	SÄHKÖKATTILOIDEN KANNATTAVUUS KAUKOLÄMMÖNTUOTANNOSSA .....	21
5.1	Laskentatyökalu .....	22
5.2	Lämpökeskus 1:n tarkastelu.....	27
5.3	Lämpökeskus 2:n tarkastelu.....	30
6	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET.....	38

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Siikalatvan lämpö Oy:lle. Opinnäytetyössä selvitetään lämmityskauden ulkopuolisen kaukolämmöntuotannon korvaamista sähkökattiloilla tuntikohtaisen spot-sähkön hintatasoon perustuen. Tällä hetkellä Siikalatvan lämpö Oy vastaa Siikalatvan kunnan kaukolämmön toimittamisesta. Siikalatvan lämpö Oy:llä on käytössä kaksi omaa lämpökeskusta, joista tässä opinnäytetyössä käytetään nimitystä lämpökeskus 1 ja lämpökeskus 2. Sähkökattiloiden kannattavuutta selvitettiin näiden kahden lämpökeskuksen kaukolämmöntuotannossa.

Tällä hetkellä molemmissa lämpökeskuksissa kaukolämpö tuotetaan pääosin polttamalla haketta ja turvetta. Näiden polttoaineiden hinnat ovat nousseet merkittävästi viime vuosina, minkä seurauksena kaukolämmön hintakin on noussut. Tuotannon osittaisella sähköistämisellä saavutettaisiin parempi kannattavuus ja lisäksi myös nykyistä tuotantoa pienemmät hiilidioksidipäästöt.

Kannattavuuden tarkasteluun muodostettiin Excel-pohjainen laskentatyökalu, jossa lämpökeskusten tehojen, sähkön spot-hintojen ja käytössä olevien polttoaineiden hintojen avulla laskettiin kaukolämmön tuotannolle hintatasot. Hintatasoja vertailemalla saatiin selville arvio sähkökattilalla saatavasta säästöstä verrattuna halvimman polttoaineen tuotantoon, jonka avulla arvioitiin lämpökeskusten sähkökattilainvestointien takaisinmaksuaikoja. Sähkökattilainvestoinneille selvitettiin mahdollisimman todelliset kustannukset, jonka vuoksi laskentatyökalusta tuli moniulotteinen kokonaisuus. Laskennassa pyrittiin ottamaan huomioon kaikki kustannuksia aiheuttavat eri osa-alueet, jonka vuoksi laskentatyökalua voisi hyödyntää muissakin sähkökattilainvestointien kannattavuus selvityksissä sellaisenaan tai pienin muutoksin.

Ensimmäisen lämpökeskuksen osalta laskenta päätettiin aikaisessa vaiheessa, koska takaisinmaksuaika todettiin jo siinä vaiheessa kohtuuttoman pitkäksi ja sen takia tuotannon sähköistämisen kannattavuus huonoksi. Toisen lämpökeskuksen kohdalla sähkökattilainvestoinnille saatiin selville suuntaa antava kokonaishinta sekä takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaikaa tarkasteltiin myös siitä näkökulmasta, mikäli yhtiö ottaisi lainan investointia varten.

## 2 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto kaupungeissa ja taajamissa. Suomessa 166:n kunnan alueelta löytyy kaukolämpöverkko (1). Kaukolämpöä käytetään rakennusten lämmittämiseen, lämpimän käyttöveden tuottamiseen sekä energian lähteenä monen eri teollisuudenalan prosesseissa. Kaukolämpö on keskitetysti tuotettua lämpöenergiaa, joka jaetaan lämmöntuotantolaitoksista kaukolämpöverkostoja pitkin asiakkaiden käyttöön. (2; 3.) Nykyisin kaukolämmön lämmönsiirron väliaineena käytetään pääsääntöisesti vettä sen lämmönsiirto-ominaisuuksien, saatavuuden sekä kustannustehokkuuden vuoksi. Lämpöä voidaan siirtää myös höyryn välityksellä.

Kaukolämpö on tunnettu toimintavarmana lämmitysmuotona. Asiakasta kohden lämmöntoimitus keskeytyy vuoden aikana vain noin pariksi tunniksi ja arviolta puolet tuosta ajasta syynä on tuotantolaitosten tai verkostojen viat. (2; 3, s. 11, 16.)

### 2.1 Kaukolämmityksen historiaa

*Ensimmäinen kaukolämpöjärjestelmä rakennettiin New Yorkiin 1877. Lämmönsiirtoon käytettiin höyryä. Ensimmäinen vesikiertoinen kaukolämpöjärjestelmä toteutettiin Dresdenissä Saksassa. Tanskassa aloitettiin vuonna 1900, Puolassa 1903, Ruotsissa 1909 ja Venäjällä 1924. (3, s.12.)*

*Suomen ensimmäinen kaukolämpöjärjestelmä rakennettiin Helsingin Olympiakylään vuonna 1940. Helsingin kaupunkialueen kaukolämmittäminen aloitettiin syksyllä 1952 ja se jatkui 1953 Espoon Tapiolasta. (3, s.12.)*

Nykyisen Siikalatvan kunnan alueella lämpökeskus 1:ssä kaukolämpöä alettiin tuottaa polttamalla öljyä 1980-luvulla, ja 2000-luvun alkupuolella siirryttiin öljystä kiinteään polttoaineen eli KPA-kattilaan, jossa polttoaineena käytetään haketta, turvetta sekä pellettejä. Lämpökeskus 2:n osalta kaukolämmöntuotannon kehitys on ollut lämpökeskus 1:n kaltainen, eli toiminta on alkanut 1980-luvulla öljykattiloilla ja 2000-luvun alkupuolella tehdyn kaukolämpöverkon kunnostamisen yhteydessä on siirrytty KPA- kattilaan vuonna 2007. (4.)

## **2.2 Kaukolämpöjärjestelmän toimintaperiaate**

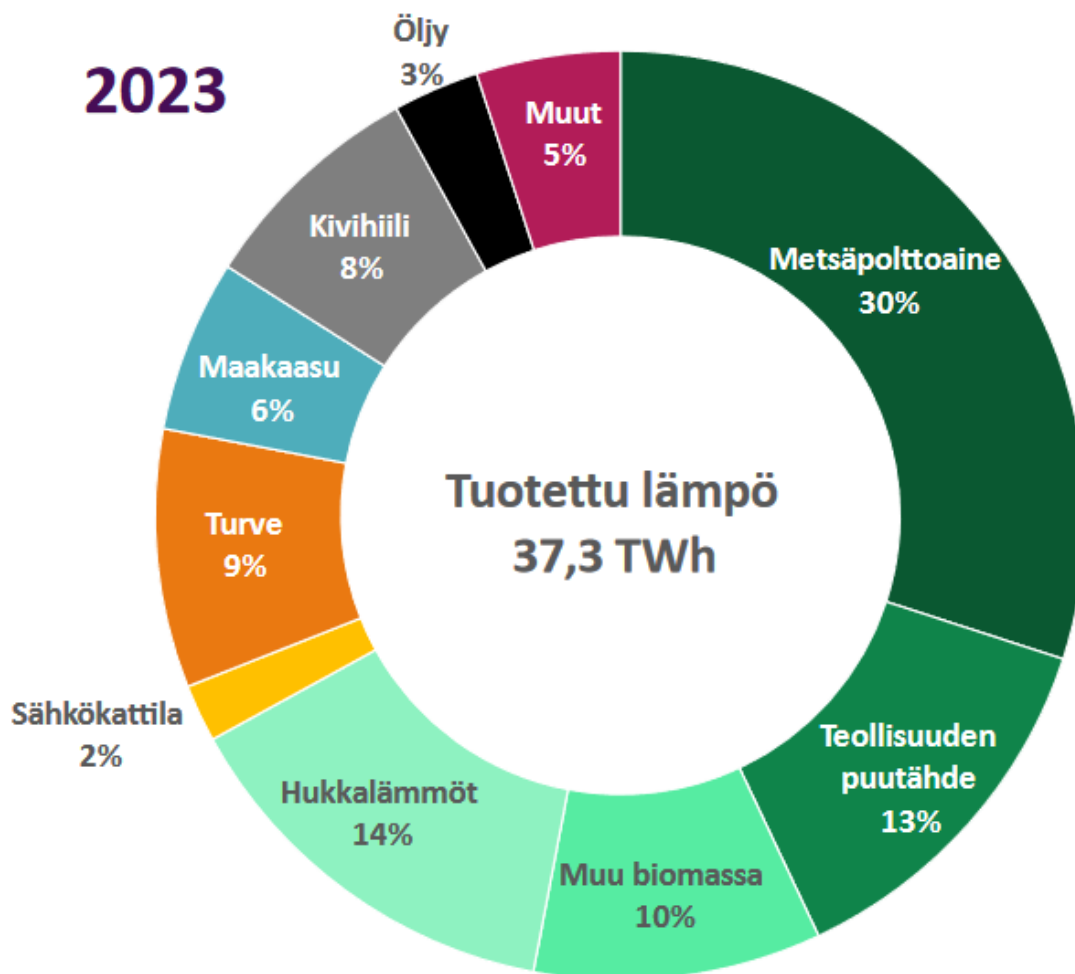
Kaukolämmön välittäjäaineena toimiva kuuma vesi tuotetaan tuotantolaitoksissa, joista se pumpataan kaukolämpöverkostossa kaukolämpöputkia pitkin asiakkaille. Kaukolämpöputket on yleensä sijoitettu maan alle ja ne on hyvin eristetty lämpöhäviöiden minimoimiseksi. Asiakkaiden kiinteistöissä olevissa lämmönjakokeskuksissa lämpö siirtyy lämmönsiirtimissä asiakkaan omaan järjestelmään, josta asiakas saa lämpöenergiaa tarpeisiinsa, kuten rakennusten lämmitykseen, lämpimän käyttöveden valmistukseen tai monenlaisiin teollisuuden prosesseihin. Kaukolämpövettä ei siis kierrätetä asiakkaiden lämmitysverkostoissa tai prosesseissa, vaan lämpöenergia siirtyy kaukolämpövedestä lämmönsiirtimien välityksellä asiakkaiden omiin järjestelmiin. Luovutettuaan lämpöenergiaa asiakkaille jäähtynyt kaukolämpövesi palaa uudelleen lämmitettäväksi lämmöntuotantolaitoksiin. (2; 3, s. 11.) Kaukolämpövesi on värjätty vuotojen paikannuksen ja muista vuodoista erottamisen helpottamiseksi.

## **2.3 Kaukolämmön energianlähteet**

Kaukolämpöä tuotetaan monesta eri energianlähteestä, joista uusiutuvat polttoaineet ovat Suomessa yleisimmin käytettyjä, kuten kuvassa 1 on esitetty. Vuonna 2022 sähkökattilat eivät vielä olleet merkittävänä kaukolämmöntuotannon osatekijänä, mutta vuonna 2023 niillä tuotettiin kaukolämpöä jo 2 % koko kaukolämpötuotannosta.

Fossiilisten polttoaineiden osuus on vähentynyt vuosi vuodelta, ja sen odotetaan vähentyvän jatkossakin. Fossiilisten polttoaineiden vähenemisen vastapainona hukkalämpöjen hyödyntäminen on kasvanut merkittävästi.

Kaukolämpöjärjestelmät ovat avainasemassa uusiutuvien energialähteiden käyttöön perustuvassa energiajärjestelmässä, jossa sähköenergiaa voidaan varastoida lämpönä ja hukkalämmöt otetaan talteen. Myös tulevaisuuden vetytalous tarvitsee kaukolämpöä keskeisenä komponenttina kehitykseen. (5.)



KUVA 1. Kaukolämpötuotannon energianlähteet vuonna 2023 (6, s. 2)

Siikalatvan kunnan lämpökeskuksissa kaukolämpötuotannon polttoaineena käytetään pääosin kotimaista haketta ja turvetta. Hakkeen ja turpeen osuus vaihtelee 90/10–70/30 %:n välillä kattilatekniikan mukaan. Varalla käytettävänä polttoaineena lämpökeskuksissa on pelletti ja kevyt polttoöljy. (7.)

## 2.4 Kaukolämmön hinnan muodostuminen

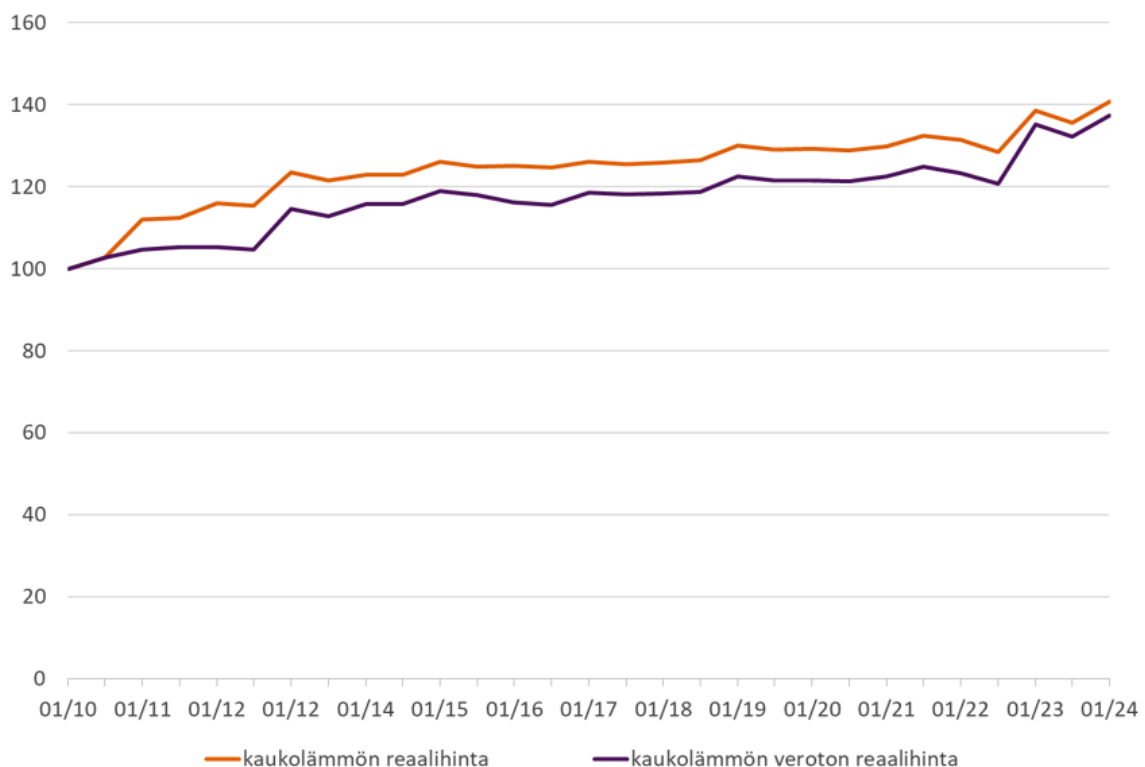
Kaukolämmön hinta on riippuvainen sen tuottamiseen käytetyn energialähteen hinnasta. Monen polttoaineen sekä sähkön hinnassa nähtiin nousu Venäjän hyökkäyssodan seurauksena, jolloin pakotteiden vuoksi Venäläistä biomassaa, kaasua ja öljyä ei ollut enää edullisemmin saatavilla. Fossiilisten polttoaineiden hinnat ovat nousseet päästöoikeuksien hintojen mukana, kun ilmasto-oliittiset toimet ohjaavat siirtymistä uusiutuvien ja päästöttömien energialähteiden käyttöön. (5.)



Kaukolämpöyritykset pohtivat jatkuvasti asiakkaiden näkökulmasta tehokkainta ja kilpailukykyisintä tapaa tuottaa tarvittava lämpö (8).

Kaukolämpöyhtiöt on veloitettu kilpailu- ja kuluttajaviraston toimesta hinnoittelemaan tuotteensa ja palvelunsa vastaamaan kustannuksia, joten yhtiöiden saama voitto on kohtuullistettu. Kaukolämpö kilpailee markkinoilla myös muiden lämmitysmuotojen kanssa ja sen vuoksi kaukolämmön hintataso ei voi määrittyä vapaasti. (5.)

Kaukolämmön tuotannon hinta muodostuu useasta eri osatekijästä. Vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa tuotannon kustannukset, paikkakunta ja sen rakenne, kaukolämpöjärjestelmän kunto, koko ja ikä, tehdyt investoinnit sekä tuotannossa käytetyt energianlähteet. Polttoainekustannukset ovat suurin yksittäinen hinnan muodostumiseen vaikuttava tekijä, johon liitännäisenä lasketaan mukaan energiaverot. Näiden lisäksi kaukolämpöyhtiöllä on omistajansa vaatimukset toiminnan tuotoista. (8.) Kuvassa 2 on esitetty kaukolämmön reaalihintaa, jossa kaukolämmön hinta vuonna 2010 voidaan ajatella 100 % tai 100 €. Kuvan 2 hinnoissa on huomioitu indeksikorotukset.

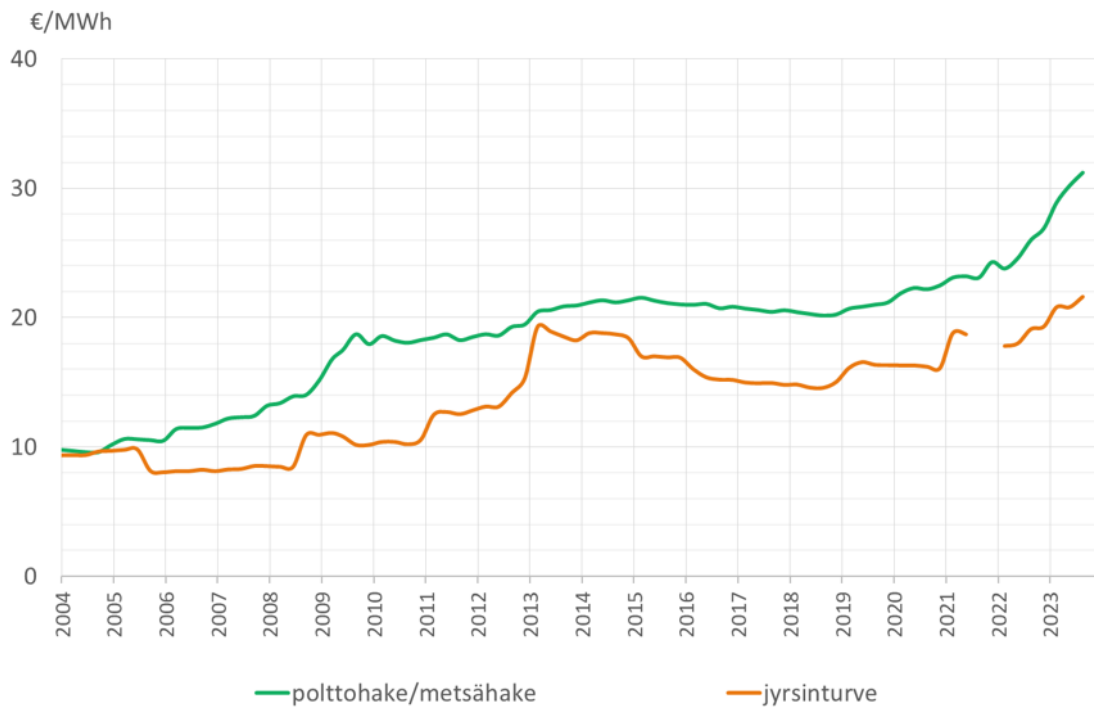


Kuva 2. Kaukolämmön reaalihintaa (9)

Asiakas maksaa käyttämästään kaukolämpöenergiasta mitatun kulutuksen mukaan. Tyypillisesti kaukolämpöyhtiö perii asiakkaalta energiamaksun lisäksi tehomaksun, joka määräytyy tehon tai

liittymisjohdon vesivirran mukaan. Asiakas on liittyessään kaukolämpöön maksanut liittymismaksun, joka määräytyy kiinteistön koon ja paikkakunnan mukaan. (8.)

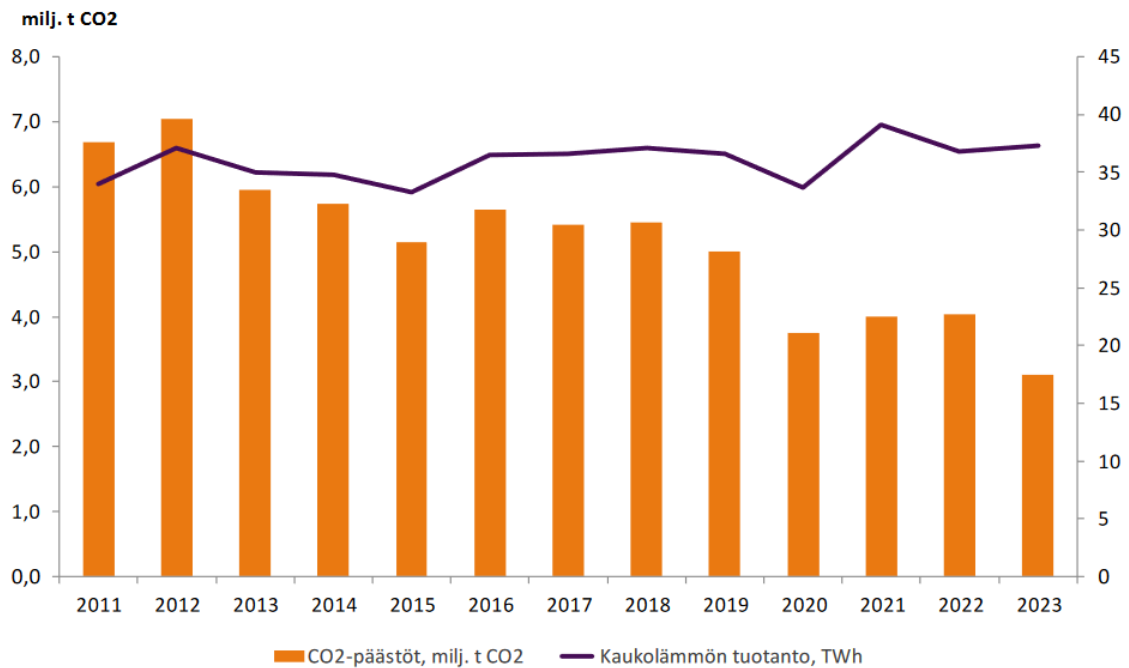
Kuvassa 3 on esitetty lämpökeskus 1:n ja 2:n tuotannossa pääosin käytettävien polttoaineiden hintakehitystä viimeisen kahdenkymmenen vuoden ajalta. Hinnat sisältävät polttoaineiden hintojen lisäksi verot.



Kuva 3. Kotimaisten polttoaineiden hinnat (9)

## 2.5 Kaukolämmön päästöt

Suomessa kaukolämmön, kuten koko energiateollisuuden, hiilidioksidipäästöt ovat olleet laskevan trendin mukaiset viime vuodet (6, s. 18–19). Hiilineutraalisuuden tavoittelun perustana toimii heinäkuussa 2022 voimaan tullut uusi ilmastolaki, joka korvaa vuoden 2015 ilmastolain. Uuden ilmastolain taustalla on Sanna Marinin hallituksen hallitusohjelman tavoite saavuttaa hiilineutraali Suomi vuoteen 2035 mennessä. (10). Työ- ja elinkeinoministeriön vuonna 2017 julkaisemaan, Valtioneuvoston selontekoon kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030, on listattu keinoja kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi (11). Useiden Suomen suurimmissa kaupungeissa toimivien kaukolämpöyhtiöiden lämmöntuotanto pyritään tekemään hiilineutraalisti vuoteen 2030 mennessä (12; 13; 14).



Kuva 4. Kaukolämmön kokonaispäästöt (6, s. 17)

Kaukolämmöntuotannon hiilidioksidipäästöt laskivat vuodesta 2022 vuoteen 2023 24 prosenttia. Vuonna 2023 hiilidioksidipäästöjä kaukolämmöntuotannosta syntyi yhteensä 3,1 miljoonaa tonnia. Kuvassa 2 on esitetty kaukolämmöntuotannon kokonaispäästöjen kehitystä Suomessa viimeisen reilun vuosikymmenen ajan. Tuona aikana tuotetun energiyksikön päästöt ovat laskeneet 59 %, noin 200:sta gCO<sub>2</sub>/kWh noin 83:een gCO<sub>2</sub>/kWh. (6, s. 17–18.)

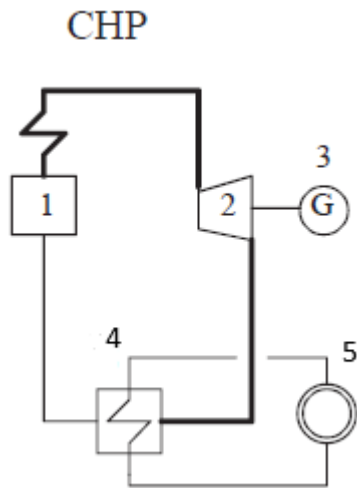
## 2.6 Kaukolämmön tuotanto ja jakelu

Kaukolämmitys on energiatehokas, ympäristöystävällinen ja kokonaistaloudellinen lämmitysmuoto. (2, s. 12). Kaukolämmön energiatehokkuus perustuu suurempien kattilalaitosten hyvään hyötysuhteeseen verrattuna useisiin pieniin tai rakennuskohtaisiin lämmitysjärjestelmiin (3, s. 15). Kaukolämpöverkostojen tehot vaihtelevat joistakin kilowateista useisiin satoihin megawatteihin ja verkostojen pituudet sadoista metreistä jopa yli tuhanteen kilometriin (15). Kaukolämpöyhtiöt ovat veloitettuja pitämään huolen siitä, että asiakkaille riittää lämpöenergiaa vuoden jokaisena tuntina (16).

### 2.6.1 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto

Suurin osa Suomen kaukolämmöstä tuotetaan lämpöä ja sähköä tuottavissa lämpövoimalaitoksissa, joita kutsutaan CHP-laitoksiksi. CHP on lyhenne sanoista Combined Heat and Power. CHP-

laitoksissa sähkö on yleensä päätuote, jonka sivutuotteena syntyy kaukolämpöverkkoon myytävää lämpöä. CHP-laitoksen toiminta perustuu usein veden höyrystämiseen höyrykattilassa, joka tapahtuu polttamalla polttoainetta. Palamisessa syntyvän lämpöenergian avulla vedestä tehdään korkeapaineista höyryä, joka paisuessaan turbiinissa pyörittää siten sähköä tuottavaa generaattoria. Turbiinissa osittain jäähtynyt höyry lauhdutetaan lämmönsiirtimessä takaisin vedeksi, josta kaukolämpöverkostoon saadaan lämpöenergiaa ja lauhtunut vesi voidaan siten pumpata höyrystettäväksi uudelleen höyrykattilaan. (2, s. 12–13.)



KUVA 5. CHP-laitoksen toimintaperiaate. (2, s. 13, muokattu)

Kuvassa 3 on esitetty CHP-laitoksen toimintaperiaate hyvin pelkistettynä. CHP-laitoksen höyrykattila on merkitty numerolla 1. Numero 2 esittää laitoksen höyryturbiinia, johon höyrykattilassa korkeaan paineeseen höyrystetty vesi pumpataan. Numeron 3 alapuolella on generaattori, jolla CHP-laitoksessa tuotetaan sähköä. Generaattori on akselilla yhteydessä turbiiniin, jota pyöritetään paisuttamalla korkeapaineista höyryä. Numerolla 4 on merkitty lämmönsiirrin, jolla laitoksen lauhde-  
lämpö siirretään kaukolämpöverkkoon ja numero 5 kuvaa yleisesti kaukolämpöverkon kuluttajia.

CHP-tuotannon ero pelkästään sähköä tuottavaan lauhdevoimalaitokseen on se, että lauhdevoimalaitoksessa höyryn lauhtuttamisesta syntynyt lämpöenergia menee käytännössä hukkaan. Tämän takia CHP-laitoksen hyötysuhde on jopa yli 85 %, kun lauhdevoimalaitoksen hyötysuhde jää noin 40 %:iin. (17; 18.)

## **2.6.2 Lämpökeskukset**

Pelkkää lämpöä tuotetaan lämpökeskuksissa, joissa lämpö kaukolämpöverkoston tuotetaan kuumavesikattiloilla. Lämpökeskuksista käytetään lyhennettä HOB (Heat Only Boilers). Pienemmissä kaukolämpöverkoissa lämpökeskus on usein verkoston ainoa lämpöä tuottava yksikkö, ja suuremmissa verkoissa ne tuottavat kaukolämpöä muiden tuotantolaitosten kanssa yhteistuotantona tai ovat huippu- ja varalaitoksina. (3, s. 25–26.)

Lämpökeskusten pääkomponentti on kuumavesikattila, joissa yleisin käytössä oleva kattilatyyppe on vesiputkikattila. Vesiputkikattilassa savukaasut lämmittävät kattilan sisällä olevien putkien sisällä virtaavaa vettä. (19, s. 22–24.)

Lämpökeskuksessa on kattilan ja polttimeen lisäksi järjestelmät polttoaineiden käsittelyä ja varastointia sekä tuhkan käsittelyä varten. Lämpökeskukset pitävät sisällään myös erilaisia automaatiojärjestelmiä sekä kaukolämpö- ja kattilaveden pumppausjärjestelmiä. Niissä huolehditaan myös koko kaukolämpöverkostossa tarvittavan paineen ylläpidosta ja siihen liittyvästä paisuntajärjestelmästä. (3, s. 24.)

## **2.6.3 Vara- ja huippukuormalaitokset**

Kaukolämpöjärjestelmistä löytyy myös vara- ja huippulaitoksia turvaamaan lämmönsaanti poikkeustilanteissa, kuten huoltokatkossa tai kylmällä säällä. Vara- ja huippulaitoksissa polttoaineena käytetään usein kevyttä polttoöljyä tai maakaasua, jolloin laitokset ovat tekniikaltaan etäkäytettäviä ja toimintavarmoja. (3, s. 32.)

## **2.6.4 Lämpöakut**

Monet suuret kaukolämpöyhtiöt ovat investoineet lämpöakkuihin osana kaukolämpöjärjestelmiään. Lämpöakkujen periaate on hyvin yksinkertainen. Säiliöön tai luolaan varastoidaan useimmiten vettä, jota lämmitetään edullisella energialla tulevaa tarvetta varten. (16.) Siikalatvan kaukolämpöjärjestelmissä lämpöä varastoidaan soveltuvin osin alueen kaukolämpöverkkoihin.

### 3 PÖRSSISÄHKÖ

Pörssisähköllä tarkoitetaan tuntikohtaista sähkön spot-hintaa. Spot-hinta sähkölle löytyy useimpien sähkönmyyjien verkkosivustoilta ja sitä varten on olemassa useita älypuhelinsovelluksia, joiden avulla spot-hintaa voi seurata. Spot-sähkön hinnan määräytyminen perustuu sähköä tuottavien ja myyvien yhtiöiden tarjouksista Pohjoismaiden ja Baltian maiden omistamaan sähköpörssiin Nord Pooliin. Pohjoismaiden osalta hinta määräytyy Norjan, Ruotsin, Suomen ja Tanskan markkina-alueiden sähköntuotannon ja -kulutuksen mukaan. Sähkön spot-hinnat julkaistaan seuraavalle päivälle noin kello 13.45 Suomen aikaa. (20.)

Toukokuussa 2023 Suomessa siirryttiin 15 minuutin taseselvitysjakson käyttöön, joka on ensimmäinen askel kohti niin kutsutun varttitaseen käyttöönottoa. Pörssisähköstä käydään tulevaisuudessa kauppaa vartin hinnoilla. (21.)

#### 3.1 Nord Pool

Vuodesta 1993 lähtien useissa Euroopan maissa on toiminut sähköpörssi Nord Pool, joka on Pohjoismaiden ja Baltian maiden kantaverkkoyhtiöiden omistuksessa. Nykyisin Nord Poolia käyttää yli 400 sähkönmyyjää 20:stä eri maasta. (22.) Nord Poolin tarkoituksena on sähköyhtiöiden kilpailutus ja eri alueiden kysyntäpiikkien taseus. Yhteissähkömarkkinoilla maat voivat myydä oman ylijäämäsähkönsä yli maan rajojen toiseen maahan ja vastavuoroisesti ostaa muiden maiden ylijäämäsähköä oman tuotannon jäädessä vajaaksi sähkön tarpeeseen nähden. (23.) Vuonna 2023 Nord Poolin kautta kauppaa käytiin 1 103,83 terawattitunnista sähköä, josta 526 TWh ostettiin ja 577,83 TWh myytiin (22).

#### 3.2 Sähkön spot-hinnan muodostuminen

Sähkön spot-hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan eli sähkönkulutuksen ja -tuotannon kapasiteetin mukaan. Spot-hinta voi vaihdella huomattavasti vuorokauden aikana, ja syitä tälle vaihtelulle on lukuisia. Nordpoolin sähköä myyvien maiden alueella suurin yksittäinen hintaan vaikuttava tekijä on sää. Sateisina aikoina vesivoiman kapasiteetti kasvaa varsinkin Norjassa, mikä laskee sähkön spot-hintaa. Nykypäivän sähköntuotannosta merkittävä osuus on tuulivoimaa, joten tuulen

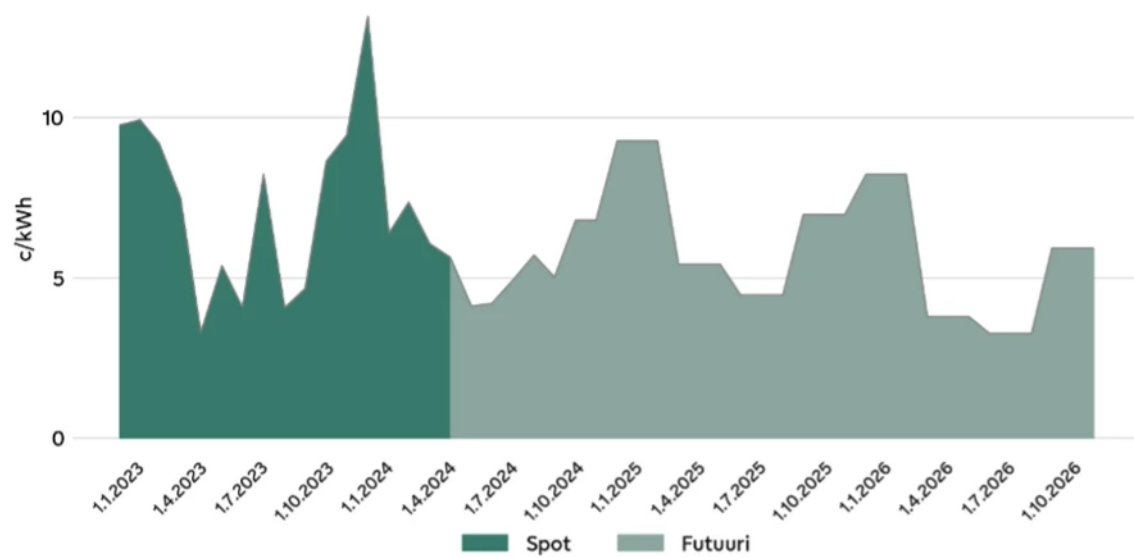
voimakkuus vaikuttaa hintaan merkittävästi. Kylmänä talvipäivänä ei yleensä tuule ja sähkölle on kasvanut tarve lämmityksen myötä, joten sähkön hintatasokin on korkeammalla. Merkittävä vaikutus on myös eri energialähteiden käytöllä sähköntuotannossa, jolloin esimerkiksi käytettävien polttoaineiden hinnoilla on vaikutusta. Suurissa sähköä tuottavissa laitoksissa voi olla käyttö- tai huoltokatkoja, joilla on oma vaikutuksensa sähkön spot-hintaan. (24.) Myös vuorokaudenajalla on merkitystä, aamun ja päivän tunnit ovat suuremman kysynnän vuoksi hyvin usein kalliimpia kuin ilta ja yö tunnit, jolloin kysyntää on vähemmän. Nordpoolin hinnat eivät sisällä sähkön siirtohintoja, sähköyhtiön marginaalia eli välityspalkkiota tai arvonnalisäveroä. (23.)

### **3.3 Hintaennusteet ja futuurit**

Sähkön tulevaa hintaa ennustetaan usean eri vaikuttavan tekijän kautta. Sääolosuhteiden vaikutavuus on yksi merkittävin tekijä. (20.) Suurien tuotantolaitosten vuosihuollot ja esimerkiksi suurten siirtoyhteyksien vikatilanteet voivat omalta osaltaan myös vaikuttaa sähkön hintaan (24).

Futuurimarkkinat edustavat tämän hetken parasta näkemystä sähkön hinnan tulevasta kehityksestä, joka elää sitä mukaa, kun tieto lisääntyy. Futuuri itsessään on johdannainen eli arvopaperi, jonka arvo perustuu jonkin toisen arvopaperin, kuten valuutan tai osakkeen, hintaan. Johdannaismarkkinoilla sähköä sitoudutaan ostamaan ja myymään sovitulla hinnalla tiettyyn aikaan tulevaisuudessa, mikä osaltaan turvaa sähkön myyjien ja tuottajien myyntiä ja hankintoja. Futuurihintatasolla on vaikutusta myös määräaikaisten sähkösopimusten hintoihin. (24.)

Kuvassa 6 on esitetty toteutuneita sähkön spot-hintoja ajalta 1.1.2023–30.4.2024 sekä sähkön hintaennusteita eli futuureja 1.5.2024 alkaen vuoden 2026 loppupuolelle saakka. Tämän hetken ennusteen perusteella sähkön hintatason voi olettaa laskevan kesää kohden, josta se nousee hiljalleen kohti syksyä. Pitemmällä aikavälillä sähkön spot-hinnat vaikuttaisivat pysyvän kohtuullisina ainakin pari vuotta. (24.)



Kuva 6. Suomen hinta-alueen toteutuneet spot-hinnat sekä futuurihinnat (24)



## 4 SÄHKÖKATTILAT

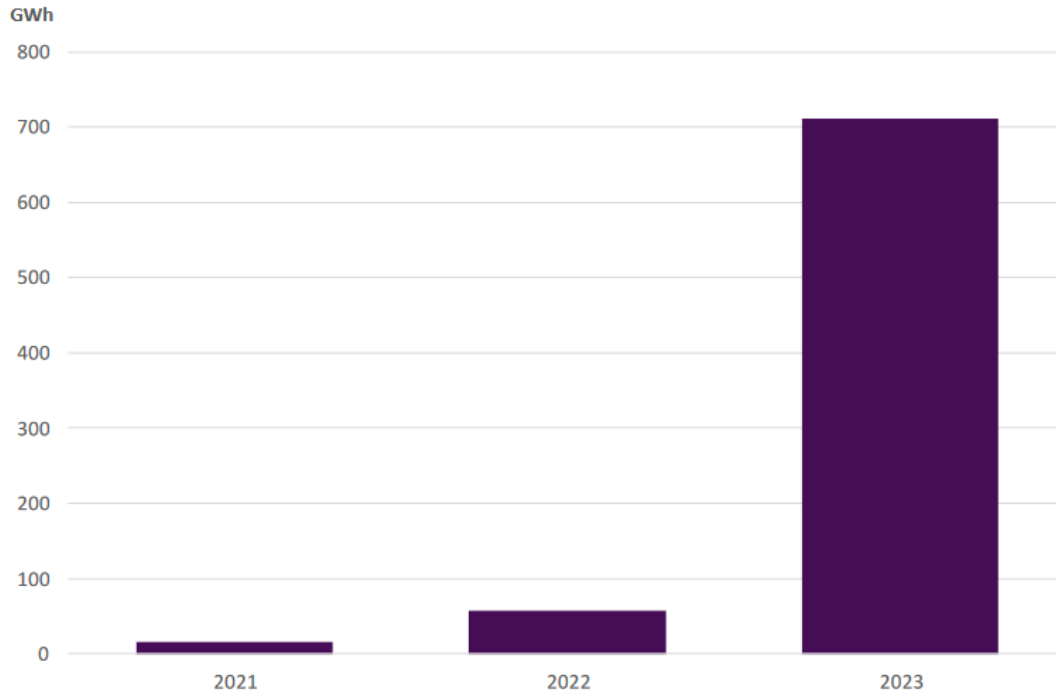
Sähkökattilat ovat nimensä mukaisesti sähköenergialla vettä lämmittäviä kattiloita, ja niitä kuvailaan monessa lähteessä isoiksi vedenkeittimiksi. Tämän opinnäytetyön tarkastelun alla olevien kaukolämpöverkkojen tehontarpeeseen soveltuvien sähkökattiloiden toimintaperiaate on käytännössä sama kuin hyvin monesta kotitaloudesta löytyvän lämminvesivaraajan toimintaperiaate, eli sähköenergia johdetaan sähkövastuksiin, joilla vettä lämmitetään käyttötarpeisiin. Sähkökattilat ovat tunnettuja myös nopeasta käynnistymisestään. (25.)

Sähkökattilat olivat melko yleisiä kaukolämpötoiminnan yleistyessä Suomessa 1980-luvulla, varsinkin siihen aikaan uusien ydinvoimaloiden tuottaman sähkön ollessa hyvin saatavilla, mutta väistyivät muiden lähinnä polttoaineita polttavien kattilatyyppien tieltä. Nyt ne ovat kovasti tekemässä paluuta, ja useat lämpöä myyvät yhtiöt suunnittelevat niiden käyttöönottoa kaukolämmön tuotantoon etenkin tuulivoiman tuottaman edullisen sähkön aikoihin. Monella suuremman kaupungin kaukolämpöä tuottavalla yhtiöllä on käytössään tai suunnitteilla useamman megawatti kokoluokan sähkökattilat. (26.)

Sähkökattila on tekniikaltaan yksinkertaisempi kuin lämmöntuotannossa käytettävät kattilalaitokset. Se voidaan integroida osaksi jo olemassa olevaa laitosta suhteellisen nopeasti ja kohtuullisin muutoksin, minkä vuoksi sähkökattilan investointikustannukset ovat perinteisiä kattilalaitoksia halvemmat. (27.) Sähkökattilan kompakti koko helpottaa sen sijoittamista lämmöntuotantolaitokseen.

Sähkökattiloiden sähkönkulutus näkyi koko maan sähkönkulutuksessa vuoden 2023 lokakuussa, jolloin muun teollisuuden sähkönkulutus oli ennätyksellisen alhainen. Niiden käyttö lisää sähkönkysyntää, mikä vaikuttaa sähkömarkkinoihin loiventamalla sähkön hinnan vaihteluja. (28.) Sähkökattilat kaukolämpötoiminnassa eivät kuitenkaan uhkaa sähkön riittävyyttä, koska yhtiöillä on vaihtoehtona käyttää polttoaineita energianlähteinä sähkön ollessa kalliimpaa (5).

Kuvassa 4 on esitetty sähkökattiloilla tuotetun kaukolämmön määrä muutaman viimeisen vuoden aikana, josta huomattava kasvu näkyy hyvin.

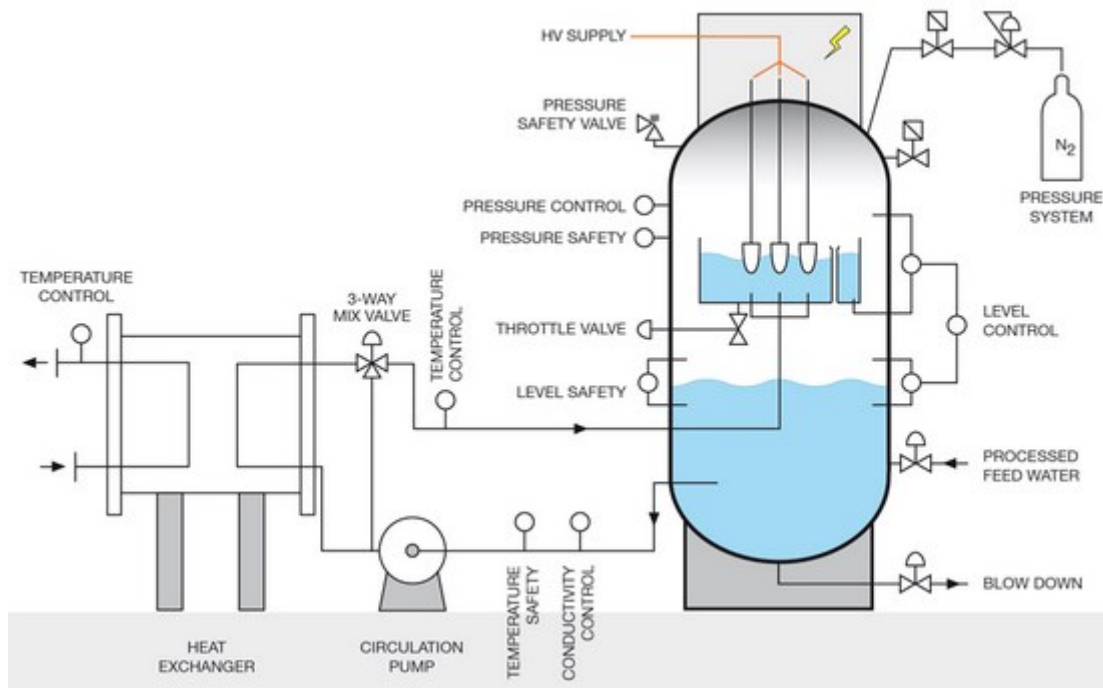


Kuva 7. Sähkökattiloiden tuottama lämpö (3, s.3)

Sähkökattiloiden käytön kaukolämmön tuotannossa edellytyksenä on edullinen pörssisähkö, joka tuotetaan pääosin uusiutuvilla sähkön tuotantomuodoilla. Tämän takia niillä tuotettu kaukolämpö ajatellaan päästöttömäksi, joten koko kaukolämpötuotannon hiilidioksidipäästöt laskevat. (28.)

#### 4.1 Elektrodikattilat

Elektrodisähkökattilat on kehitetty pääosin höyryn tuotantoon, mutta niillä voidaan tuottaa myös kuumaa vettä lämmönsiirtimen välityksellä. Lämmöntuotanto perustuu veden sähkönjohtavuuteen, eli vesi toimii sähkövastuksena ja veteen johdettu suurjännitteinen vaihtovirta saa veden lämpenemään. (29). Elektrodikattiloita käytetään yleisemmin suuremmissa yksiköissä, joiden teho on kymmeniä megawatteja (28). Kuvassa 8 on esitettyä elektrodikattilan toimintaperiaate. Kuvan elektrodikattilalla voidaan tuottaa höyryn lisäksi kuumaa vettä.

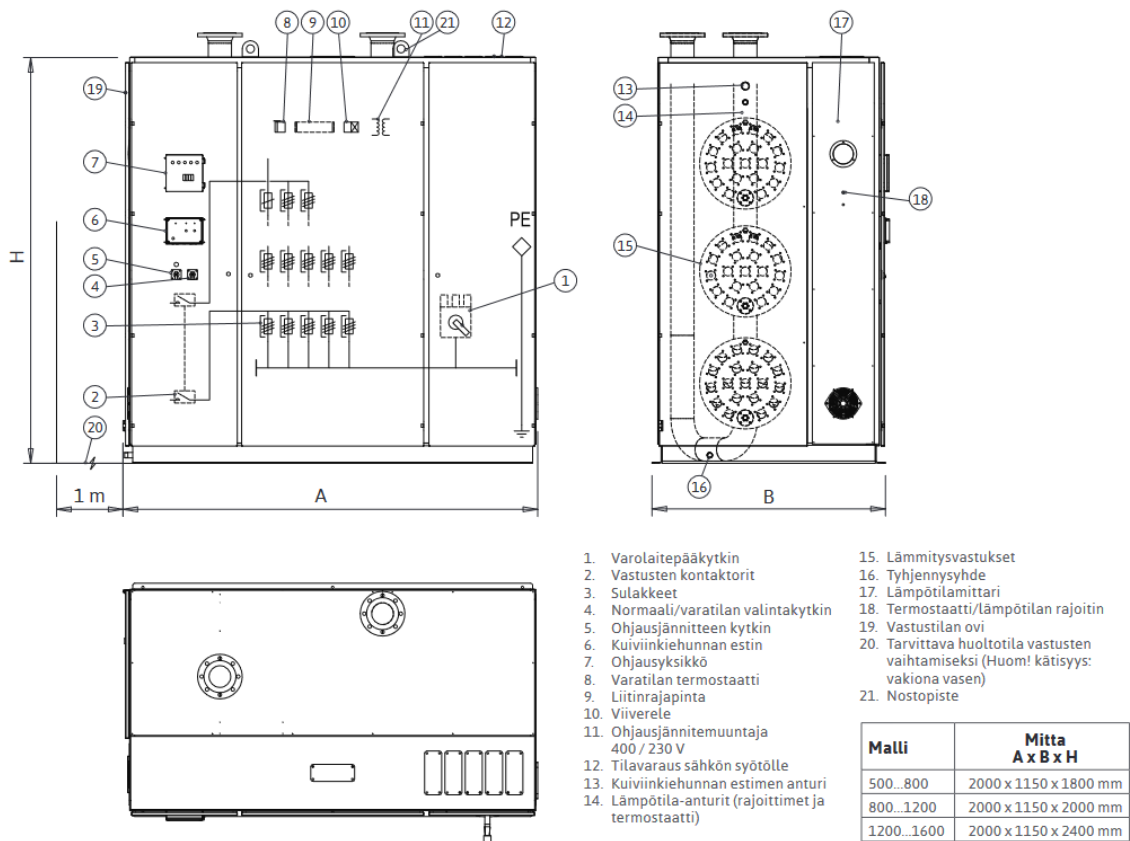


Kuva 8. Elektrodikattilan toimintaperiaate (29)

## 4.2 Vastuskattila

Vastuskattila toimii kuten vedenkeitin tai lämminvesivaraaja, eli kattilan vesitilassa on metalliset sähkövastukset lämmityselementtinä, joita lämmitetään suoraan sähköenergialla. Moni valmistaja tarjoaa vastuskattiloita usealla eri tehoporrasvaihtoehdolla. Tehoportaat määräytyvät kattilan sisältämien vastuspakettien mukaan.

Tähän opinnäytetyöhön valittiin rajauksen vuoksi sähkökattilavalmistajaksi kotimainen Jäspi, josta oli positiivisia kokemuksia naapurikunnan kaukolämmön osittaisen sähköistämisen myötä. Jäspin FIL-sarjan sähkökattilat tulevat valmiiksi varustettuina ja testattuina tehtaalta ja niitä valmistetaan 31,5 - 1600kW:n tehoisina. Ne on varustettu lämmönsäätöautomaatiikalla taloudellisuuden varmistamiseksi. Lämmönsäätöautomaatiikka on toteutettu ohjausjärjestelmän kautta porrastetulla tehonsäädöllä. (30.) Käytännössä Jäspin FIL-sarjan sähkökattilan teho sääty vastuspaketeilla, joita kytetään tarvittavan tehon mukaisesti päälle tai pois päältä. Kuvassa 9 on esitettyä Jäspin FIL-sarjan sähkökattilan tuotekortti, josta näkee vastussähkökattilan toimintaperiaatteen. Vesi kierrätetään kattilan yläkautta kulkevassa putkessa (numero 16 kuvassa) sähkövastusten (numero 15 kuvassa) kautta, jotka lämmittävät veden.



Kuva 9. Jäspi FIL-SPL-tuotekortti (31)

## 5 SÄHKÖKATTILOIDEN KANNATTAVUUS KAUKOLÄMMÖNTUOTANNOSSA

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Siikalatvan kunnan omistama Siikalatvan lämpö Oy, joka vastaa alueen kaukolämmön tuotannosta ja jakelusta. Siikalatvan lämpö Oy on perustettu vuonna 2015. Siikalatvan kunnan alueella toimii neljä eri lämpökeskusta, jotka sijaitsevat Kestilässä, Piipolassa, Pulkkilassa ja Rantsilassa. Siikalatvan kunnan alueen kaukolämpöverkostot kuuluvat Siikalatvan lämpö Oy:lle.

Työn päätavoitteena oli selvittää lämmityskauden ulkopuolisen lämmöntuotannon kannattavuutta sähkökattiloilla. Ensisijaisena syynä vaihtoehtoisen lämmöntuotantomuodon etsimiselle oli kohooneet polttoaineiden hinnat sekä sen takia kohooneet kaukolämmön kuluttajahinnat, joille opinnäytetyön tekemisen aikaan oli vielä korotuspaineita. Kannattavuutta lähdettiin selvittämään Siikalatvan lämpö Oy:n omistuksessa olevien lämpökeskus 1:n ja lämpökeskus 2:n osalta. Sähkökattiloiden valintaa helpottavana rajauksena valittiin työn alkuvaiheessa valmistajaksi kotimainen Jäspi. Jäspin valmistaman sähkökattilan käytöstä oli saatu positiivisia kokemuksia naapurikunnassa.

Kannattavuuslaskennan pohjana toimi perehtyminen tarkasteltavana olevien lämpökeskusten 1 ja 2 lämmöntuotantoon sekä sähkönkulutukseen tuntikohtaisina teholukuina, joiden lisäksi täytyi selvittää teholumien vastaaville tunneille sähkön spot-hinnat. Näiden lisäksi täytyi perehtyä lämpökeskusten lämmöntuotantoon käytettäviin polttoaineisiin, niiden hintoihin sekä lämmöntuotannon ajojärjestykseen. Ajojärjestyksellä tarkoitetaan polttoaineiden käytön järjestystä, missä kaukolämpöä pyritään tuottamaan edullisimmalla saatavilla olevalla polttoaineella.

Tuotannon sähköistämiseen liittyen alueen sähköverkkoyhtiöillä on suurtehoasiakkaille suunnatut maksut, mitkä täytyi huomioida laskennassa. Lisäksi tarvittiin selvitys sähkökattiloiden hinnoista sekä niiden asentamiseen liittyvistä kuluista, kuten järeämpien sähkökeskusten investointi- ja asennuskuluista sekä putkitöistä.

Kerätystä datasta muodostettiin Excel-pohjainen laskentatyökalu, minkä avulla dataa voitiin tarkastella halutuilla ehdoilla ja parametreilla sekä muuttaa niitä tarpeen mukaan. Laskentatyökalun tarkoituksena oli saada mahdollisimman tarkka arvio sähkökattilan käytön mahdollisesta vuotuisesta säästöstä lämmöntuotannossa verrattuna käytössä olevien polttoaineiden hintoihin. Tämän arvion

pohjalta voitiin laskea takaisinmaksuaika sähkökattilainvestointille, joka oli kannattavuuslaskennan tärkein tieto investointikustannusten lisäksi.

Opinnäytetyön päätavoitteisiin ei kuulunut selvittää alueen kaukolämpötoimintaan liittyviä päästöjä ja niiden kehitystä. Työn tekemisen aikana kuitenkin selvisi, että kaukolämpötuotannon osittaisella sähköistämällä voidaan olettaa olevan päästöjä pienentävä vaikutus. Päästöjen pienentymisen taustalla on halvan pörssisähkön aikainen sähkön ylituotanto, joka Suomessa johtuu runsaasti kasvaneesta tuulivoiman kapasiteetista. Tästä johtuva hiilidioksidipäästöjen vähentyminen on puolestaan linjassa valtioneuvoston ilmastolakiin asettaman tavoitteen kanssa olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Sähkökattilainvestoinnilla olisi ympäristöystävällisyyden lisäksi myös sähkömarkkinoiden hintoja tasaava vaikutus, koska pörssisähkön ollessa halpaa on sen tuotantoa myös ”liikaa”.

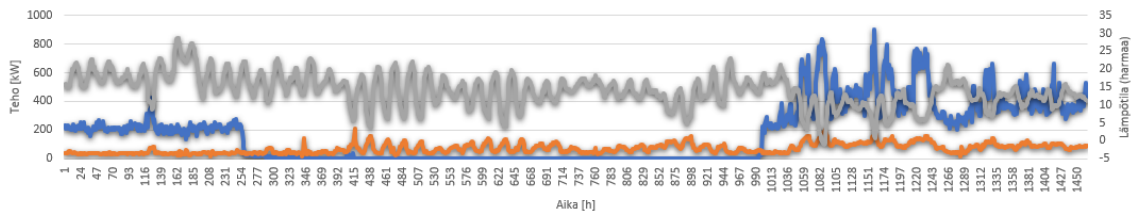
## 5.1 Laskentatyökalu

Laskentatyökalu lähdettiin rakentamaan Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Sen tärkein ja suurin osuus kattaa taulukoituna olevat tuntikohtaiset:

- Lämpökeskusten 1:n ja 2:n teholut
- Sähkön spot-hinnat (0 %: n alv, sisältää marginaalin)
- Haapajärven Mustikkamäen lämpötilat
- Lämpökeskus 1 ja 2 sähkökattiloilla tuotettavan tehon osuudet
- Kaukolämpötuotannon hinnat hakkeella/turpeella, pelleteillä ja öljyllä
- Kaukolämpötuotannon hinnat sähkökattilalla lämpökeskus 1:n ja 2:n tehoilla
- Sähkökattilatuotannon säästöt verrattuna polttoaineella tuotantoon

Laskentatyökalun ensimmäisenä vaiheena oli taulukoida tuntiset tiedot ja niistä ensimmäisenä selvitettiin viimeisen vuoden ajalta, eli 1.2.2023–31.1.2024, lämpökeskus 1:n ja 2:n tuntikohtaiset kaukolämpötehot. Lämpökeskus 2:n osalta tuntisista tehoista puuttui tehoarvo kolmelta erilliseltä tunnilta. Elo- ja syyskuussa lämpökeskuksen vuosihuollon aikainen teho oli 0 kW. Puuttuneet yksittäiset teholut arvioitiin laskemalla edellisen ja seuraavan tunnin keskiarvo ja saatua lukua verrattiin saman aikavälin lämpötilatietoihin. Vuosihuollon aikainen tuotannon teho arvioitiin laskemalla elo- ja syyskuun toteutuneiden lämmöntuotannon tehojen keskiarvo, jota verrattiin lämpötilatietoihin.

Kuvassa 10 näkyy vuosihuollon aikaisen tehon tarpeen arviointiin käytetty lämpötilagraafi, jossa harmaalla on lämpötila ja oranssilla lämpökeskus 1. Lämpökeskus 2: n tehot on merkitty sinisellä.



Kuva 10. Vuosihuollon aikaisen tehon arviointiin käytetty teho- ja lämpötilagraafi

Taulukoinnin seuraava työvaihe oli hakea tarkastelun aikavälille sähkön spot-hinnat, mitkä haettiin Vattenfallin nettisivulta. Näissä ilmoitetuissa hinnoissa oli valmiiksi laskettuna sähköyhtiön marginaali sekä 24 %:n arvonlisävero, joista arvonlisäveron osalta täytyi käyttää 0 %:a. Arvonlisäveron muuttamiseksi 0 %:iin käytettiin kaavaa 1. Spot-hintojen tuntikohtaisiin arvoihin jätettiin sähköyhtiön marginaali, joka oli tässä tapauksessa 0,50 snt/kWh:lta. Alueen sähköntoimittajien osalta marginaalia ei löytynyt, joten spot-hintaan jätettiin Vattenfallin perimä marginaali, joka on samaa suuruusluokkaa kuin muidenkin sähköä myyvien yhtiöiden marginaalit. Esimerkiksi Oomi Oy:n marginaali sähkön spot-hinnassa on 0,59 snt/kWh:lta. Sähkön spot-hinnat löytyivät rajatun aikavälin jokaiselle tunnille. Sähkön spot-hinnan keskiarvoksi tarkasteluajanjaksolle saatiin 4,81 snt/kWh.

$$Spothinta(alv24\%) * \left(\frac{100-24}{100}\right) = Spothinta(alv 0\%) \quad \text{KAAVA 1}$$

Siikalatvan kunnan alueella ei ole omaa sääasemaa, joten laskentatyökalun taulukossa käytettiin Haapajärven Mustikkamäen sääaseman lämpötilatietoja, jotka haettiin ilmatieteenlaitoksen nettisivustolta. Haapajärven Mustikkamäen sääasema sijaitsee noin 30 km:n etäisyydellä Siikalatvan kunnan Pulkkilasta, jonka vuoksi voidaan olettaa, että sääolosuhteet ovat samankaltaiset molemmissa kunnissa. Lämpötilatietoja ei lopulta tarvittu kuin elo- ja syyskuun ajalle ajoittuneen lämpökeskus 1:n vuosihuollon aikaisen keskiarvotehon sekä muutaman lähtötiedoista puuttuneen teholumeman arviointiin. Ilmatieteenlaitokselta haetuista lämpötilatiedoista puuttui kuuden tunnin ajalta lämpötila, joiden osalta lämpötilan arvioitiin olevan puuttuvaa tuntia edeltävän ja seuraavan tunnin lineaarinen keskiarvo. Kuvassa 11 on esiteltynä osa laskentatyökalun taulukosta.

1	Nro #	Kuukausi	Päivä	Tunti	kW	kWh	Spot snt/kWh	sähköteho	Teho1	Teho2	Teho3	Hake/turve	Pelletti	Öljy	Säästö
1678	1677	Toukokuu	9	21:00	349	74,03	1,35	349	17,82	14,53	12,57	19,20	33,35	50,41	6,62
1679	1678	Toukokuu	9	22:00	378	87,03	0,93	378	17,52	13,89	11,82	20,79	36,12	54,60	8,97
1680	1679	Toukokuu	9	23:00	399	102,21	0,53	399	16,80	12,93	10,77	21,95	38,13	57,63	11,17
1681	1680	Toukokuu	10	00:00	525	122,35	0,38	500	19,76	14,75	12,16	27,50	47,78	72,22	15,34
1682	1681	Toukokuu	10	01:00	525	122,06	0,38	500	19,76	14,75	12,16	27,50	47,78	72,22	15,34
1683	1682	Toukokuu	10	02:00	440	130,79	0,38	440	17,64	13,31	10,97	24,20	42,04	63,56	13,23
1684	1683	Toukokuu	10	03:00	458	135,82	0,38	458	18,28	13,74	11,33	25,19	43,76	66,16	13,86
1685	1684	Toukokuu	10	04:00	493	129,86	0,38	493	19,51	14,58	12,02	27,12	47,11	71,21	15,10
1686	1685	Toukokuu	10	05:00	399	125,03	0,38	399	16,19	12,33	10,16	21,95	38,13	57,63	11,78
1687	1686	Toukokuu	10	06:00	543	111,03	0,39	500	19,80	14,78	12,19	27,50	47,78	72,22	15,31
1688	1687	Toukokuu	10	07:00	470	114,28	0,69	470	20,16	15,49	13,03	25,85	44,91	67,89	12,82
1689	1688	Toukokuu	10	08:00	350	116,40	3,15	350	24,17	20,86	18,91	19,25	33,44	50,56	0,00
1690	1689	Toukokuu	10	09:00	438	104,90	3,73	438	32,25	27,94	25,61	24,09	41,85	63,27	0,00
1691	1690	Toukokuu	10	10:00	390	103,78	3,22	390	26,96	23,20	21,07	21,45	37,27	56,33	0,00
1692	1691	Toukokuu	10	11:00	448	99,02	2,45	448	27,22	22,80	20,43	24,64	42,81	64,71	4,21
1693	1692	Toukokuu	10	12:00	322	106,64	0,76	322	14,69	11,71	9,87	17,71	30,77	46,51	7,84
1694	1693	Toukokuu	10	13:00	220	93,13	0,67	220	10,50	8,68	7,27	12,10	21,02	31,78	4,83
1695	1694	Toukokuu	10	14:00	268	66,49	0,61	268	12,17	9,80	8,19	14,74	25,61	38,71	6,55
1696	1695	Toukokuu	10	15:00	268	63,76	0,53	268	11,97	9,60	7,99	14,74	25,61	38,71	6,75
1697	1696	Toukokuu	10	16:00	301	70,58	0,52	301	13,16	10,42	8,67	16,56	28,76	43,48	7,89
1698	1697	Toukokuu	10	17:00	405	59,02	0,54	405	17,05	13,12	10,93	22,28	38,70	58,50	11,35

Kuva 11. Osa laskentatyökalun taulukosta

Taulukon seuraavaa vaihetta varten täytyi selvittää aluelämpökeskusten pysyvyyskäyrien avulla sähkökattiloita valmistavan Jäspän mallistosta sopiva sähkökattila lämpökeskus 1:n ja 2:n kaukolämmön tuotantoon. Lämpökeskus 1:n osalta päädyttiin 105 kW:n ja lämpökeskus 2:n kohdalla 500 kW:n tehoisiin sähkökattiloihin. Näiden valintojen tarkemmat perustelut löytyvät työn myöhemmistä kappaleista, joissa kummankin tarkasteltavana olleen lämpökeskuksen tuloksia esitellään yksityiskohtaisemmin. Laskentatyökalussa on omalla välilehdellään solut näiden sähkökattiloiden tehoille, joten taulukkolaskennassa voidaan tarkastella tuloksia eri tehoisten kattiloiden kannalta. Kuvassa 12 on esiteltynä osa laskentatyökalun alkuarvoista, joita muuttamalla voi esimerkiksi tarkastella eri tehoisen sähkökattilan vaikutusta investoinnin kannattavuuteen ja sitä kautta takaisinmaksu-aikaan. Kuvan 12 polttoaineiden hinnat on tarkastettu 21.2.2024 toteutuneista polttoainehankinnoista, ja niiden osuudet poltossa on saatu toisen paikkakunnan kaukolämpötuotannon toteutuneesta käytösuhteesta. Henkilöstö- ja hankintakuluja syntyy polttamalla tuotetun kaukolämmön tuotannossa sähkökattilaan verrattuna arviolta kuvassa 11 näkyvä määrä. Nämä edellä mainitut seikat huomioiden laskennassa käytettiin alueen kaukolämpötuotannossa halvimpana mahdollisena polttoaineen hintana 44 €. Kuvassa 12 näkyy myös sähköyhtiöiden teho- ja siirtomaksuja varten arvioidut lämpökeskusten keskitehot, jotka määräytyvät viimeisen vuoden kahden korkeimman kuukauden keskitehoista. Keskitehoiksi on arvioitu sähkökattiloiden tehojen ja lämpökeskusten vuoden korkeimpien sähkönkulutuslukemien summa.



<u>Polttoaineiden hintoja</u>		
Hake	<b>31</b>	€/MWh
Hakkeen osuus poltossa	<b>90 %</b>	
Turve	<b>23</b>	€/MWh
Turpeen osuus poltossa	<b>10 %</b>	
Pelletti	<b>86</b>	€/MWh
Öljy	<b>130</b>	€/MWh
Kotim pa	<b>44</b>	€/MWh
Henkilöstökulut	<b>4</b>	€/MWh
Hankinta yms kulut	<b>9,8</b>	€/MWh
<u>Sähköön liittyvät hinnat</u>		
Spot yläraja	<b>80</b>	€/MWh
Spot alaraja	<b>30</b>	€/MWh
<del>keskiteho</del> sähkökattilateho	<b>500</b>	kW
<del>keskiteho</del> sähkökattilateho	<b>105</b>	kW
<del>keskiteho</del> muut tehot	<b>21,1</b>	kW
<del>keskiteho</del> muut tehot	<b>9,5</b>	kW
<del>keskiteho</del> keskiteho	<b>521,1</b>	kW
<del>keskiteho</del> keskiteho	<b>114,5</b>	kW
Sähkönveron osuus siirrosta	<b>0,63</b>	€/MWh
Loistehomaksu	<b>0</b>	€/kVAr/kk
<u>Hyötysuhteet</u>		
KPA	<b>80 %</b>	<b>0,80</b>
Pelletti	<b>90 %</b>	<b>0,90</b>
Sähkö	<b>100 %</b>	<b>1,00</b>

Kuva 12. Laskentatyökalussa käytettyjä alkuarvoja

Laskentatyökalun taulukkoa varten täytyi lämpökeskus 1:n ja 2:n sähkönmyyjien eri sähköliittymiä varten tehdä aputaulukot perus-, teho- ja siirtomaksuja varten, jotta sähkökattilalla tuotettavan lämmön hintaa voitaisiin verrata eri sähköliittymien kesken sekä näitä hintoja verrata eri polttoaineilla tuotetun kaukolämmön hintoihin. Perusmaksu täytyi aputaulukossa ilmoittaa muodossa €/h, mikä laskettiin jakamalla yhden kuukauden perusmaksu vastaavan kuukauden päivien lukumäärällä ja vuorokauden tuntimäärällä. Tehomaksun laskemiseksi täytyi lämpökeskuksen sähkön keskiteho kertoa ensin tehomaksulla (€/kW/kk), jonka jälkeen siitä saatu tulos jaettiin kuukauden tuntimäärällä. Siirtomaksu täytyi muuttaa muotoon €/kWh, mikä saatiin, kun jaettiin alkuperäinen siirtomaksu (snt/kWh) sadalla. Aputaulukot ovat esiteltynä kuvassa 13, jossa lämpökeskus 1:n aputaulukko on ylempi ja lämpökeskus 2:n aputaulukko alempi. Aputaulukkojen hinnat ovat sähkönmyyjien viimeisimmät ilmoittamat hinnat, mitkä on haettu heidän nettisivuiltaan 20.2. ja 22.2. Laskennassa täytyi

huomioida siirtomaksujen osalta myös vuodenajan vaikutus sekä lämpökeskus 2:n kohdalla edullisemmat kesäkuukaudet. Siirtomaksujen talviaika molemmilla sähkönmyyjillä on 1.11.–31.3. Kuvan 12 hyötysuhteet KPA-kattiloille saatiin lämpökeskusten vuoden keskiarvoisista hyötysuhteista, jotka pyöristettiin alaspäin. Hyötysuhteissa oli suurta hajontaa, joten arvioitiin, että karkea arvio on riittävän tarkka. Pelletin osalta hyötysuhde saatiin toisen lämpökeskuksen toteutuneen tuotannon arviosta, joka koettiin riittävän tarkaksi laskentaa varten. Sähkötötilan hyötysuhteena käytettiin 100 %, mikä on hyvin lähellä niiden todellista yli 99 %:n hyötysuhdetta.

20.2.2024														
Perus, teho ja siirtomaksut	kk	vrk	Teho1 PM €/h	Teho1 TM €/kW	Teho 1 siirto €/kWh	Teho2 PM/h	Teho2 TM €/kW	Teho2 siirto €/kWh	Suurteho1 PM/h	Suurteho1 TM €/kW	Suurteho1 siirto €/kWh	Siirtomaksu 0% alv		
Tammikuu	31		0,2433	0,0055	0,0445	0,2433	0,0092	0,0298	0,4570	0,0084	0,0248	PM	181	340
Helmikuu	28		0,2693	0,0061	0,0445	0,2693	0,0101	0,0298	0,5060	0,0093	0,0248	TM	4,08	6,22
Maaliskuu	31		0,2433	0,0055	0,0445	0,2433	0,0092	0,0298	0,4570	0,0084	0,0248	Talvi	4,45	2,48
Huhtikuu	30		0,2514	0,0057	0,0298	0,2514	0,0095	0,0161	0,4722	0,0086	0,0148	Muu	2,98	1,48
Toukokuu	31		0,2433	0,0055	0,0298	0,2433	0,0092	0,0161	0,4570	0,0084	0,0148	*tehomaksu täytyy kertoa keskitiedoilla		
Kesäkuu	30		0,2514	0,0057	0,0298	0,2514	0,0095	0,0161	0,4722	0,0086	0,0148			
Heinäkuu	31		0,2433	0,0055	0,0298	0,2433	0,0092	0,0161	0,4570	0,0084	0,0148			
Elokuu	31		0,2433	0,0055	0,0298	0,2433	0,0092	0,0161	0,4570	0,0084	0,0148			
Syyskuu	30		0,2514	0,0057	0,0298	0,2514	0,0095	0,0161	0,4722	0,0086	0,0148			
Lokakuu	31		0,2433	0,0055	0,0298	0,2433	0,0092	0,0161	0,4570	0,0084	0,0148			
Marraskuu	30		0,2514	0,0057	0,0445	0,2514	0,0095	0,0298	0,4722	0,0086	0,0248			
Joulukuu	31		0,2433	0,0055	0,0445	0,2433	0,0092	0,0298	0,4570	0,0084	0,0248			

22.2.2024														
Perus, teho ja siirtomaksut	kk	vrk	Teho1 PM €/h	Teho1 TM €/kW	Teho 1 siirto €/kWh	Teho2 PM/h	Teho2 TM €/kW	Teho2 siirto €/kWh	Teho3 PM/h	Teho3 TM €/kW	Teho3 siirto €/kWh	Siirtomaksu 0% alv, sis veron		
Tammikuu	31		0,0747	0,0039	0,0316	0,0961	0,0051	0,0418	0,4585	0,0035	0,0317	PM	55,59	341,12
Helmikuu	28		0,0827	0,0043	0,0316	0,1064	0,0057	0,0418	0,5076	0,0039	0,0317	TM	2,87	2,63
Maaliskuu	31		0,0747	0,0039	0,0316	0,0961	0,0051	0,0418	0,4585	0,0035	0,0317	Talvi	3,155	3,171
Huhtikuu	30		0,0772	0,0040	0,0316	0,0993	0,0053	0,0202	0,4738	0,0037	0,0159	Muu	3,155	1,591
Toukokuu	31		0,0747	0,0039	0,0316	0,0961	0,0051	0,0202	0,4585	0,0035	0,0159	*Teho3 kesäkuukaudet 80 % tehomaksusta		
Kesäkuu	30		0,0772	0,0040	0,0316	0,0993	0,0053	0,0202	0,4738	0,0029	0,0159			
Heinäkuu	31		0,0747	0,0039	0,0316	0,0961	0,0051	0,0202	0,4585	0,0028	0,0159			
Elokuu	31		0,0747	0,0039	0,0316	0,0961	0,0051	0,0202	0,4585	0,0028	0,0159			
Syyskuu	30		0,0772	0,0040	0,0316	0,0993	0,0053	0,0202	0,4738	0,0037	0,0159			
Lokakuu	31		0,0747	0,0039	0,0316	0,0961	0,0051	0,0202	0,4585	0,0035	0,0159			
Marraskuu	30		0,0772	0,0040	0,0316	0,0993	0,0053	0,0418	0,4738	0,0037	0,0317			
Joulukuu	31		0,0747	0,0039	0,0316	0,0961	0,0051	0,0418	0,4585	0,0035	0,0317			

Kuva 13. Perus-, teho- ja siirtomaksujen aputaulukot

Laskentatyökalun taulukkoon eri sähköliittymätyyppien kohdalle sähkötötilalla tuotetun lämmön hinta saatiin kaavalla 2. Taulukoinnin osana täytyi jokaisen kuukauden perus-, teho- ja siirtomaksujen laskennassa huomioida kuukausien vaihtelevat päivien määrät, kesä- ja talviaika sekä lämpökeskus 2:n osalta kesäajan halvemat tehomaksut.

$$SKhinta = [LKteho * (siirto + \frac{Spot}{100})] + PM + (SKkeskiteho * TM) \quad \text{KAAVA 2}$$

- SKhinta = Sähkötötilalla tuotetun lämmön hinta (€/h)
- LKteho = lämpökeskuksen tuntikohtainen teho (kW/h)
- Siirto = Sähköyhtiön siirtomaksu (€/kWh)
- Spot = Sähkön spot-hinta (snt/kWh)
- PM = Sähköyhtiön perusmaksu (€/h)

- SKkeskiteho = Lämpökeskuksen arvioitu korkein keskiteho (kW)
- TM = Sähkøyhtiön tehomaksu (€/kW)

Polttoaineiden tuntikohtaisen tuotannon kustannusten osalta laskentatyökalun taulukkoon käytettiin kaavaa 3. Polttoaineilla tuotetun lämmön laskennassa täytyi huomioida polttamalla tapahtuvan lämmöntuotantoon käytettävien kattiloiden hyötysuhde.

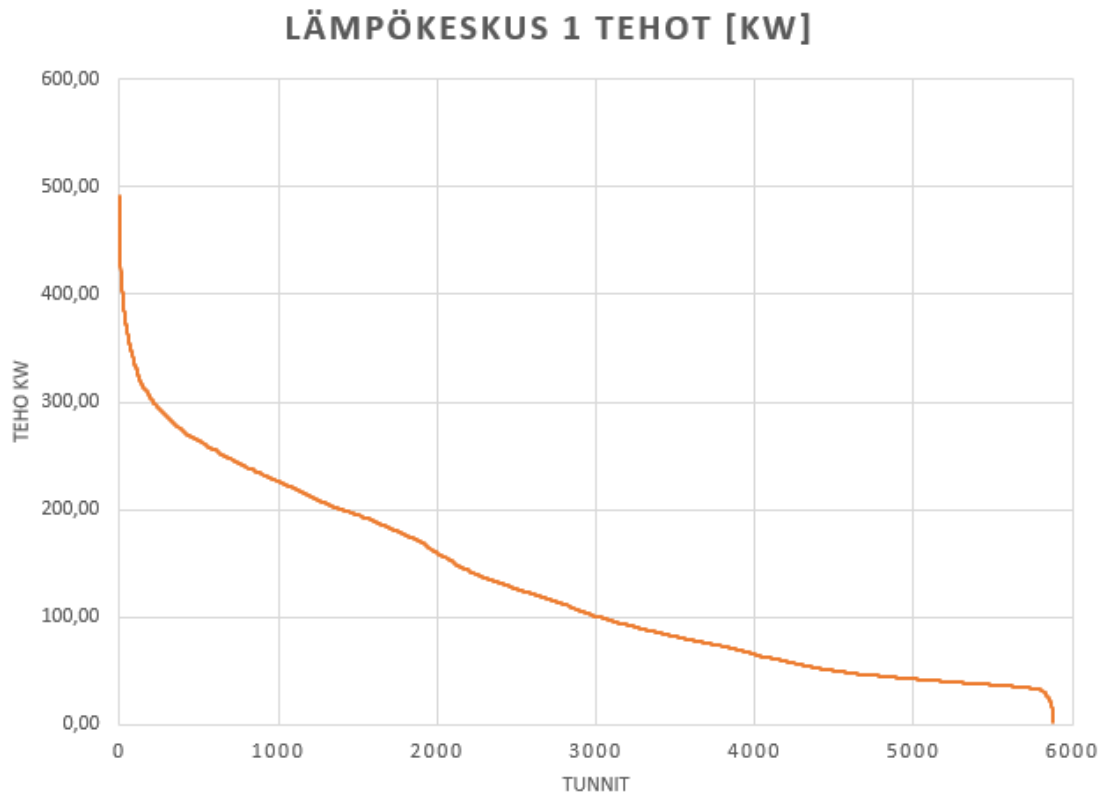
$$P A T h i n t a = \frac{L K t e h o}{1000} * P A h i n t a * H y ö t y s u h d e \quad \text{KAAVA 3}$$

- P A T h i n t a = Polttoaineella tuotetun lämmön tuntikohtainen hinta (€/h)
- L K t e h o = Lämpökeskuksen tuntikohtainen teho (kW/h)
- P A h i n t a = Käytetyn polttoaineen hinta (€/MWh)
- H y ö t y s u h d e = Käytetyn polttoaineen kattilakohtainen hyötysuhde

Taulukoinnin seuraavana osuutena oli laskea tuntikohtaisen sähkökattilalla tuotetun lämmön mahdollinen säästö verrattuna halvimpaan polttoaineella tuotettuun lämpöön. Säästö laskettiin vähentämällä sähkökattilalla tuotetun lämmön hinta halvimmalla polttoaineella tuotetun lämmön hinnasta. Laskennassa käytettiin Excel-tilukkolaskennan ominaisuutta laskea säästö vain niistä tapauksista, missä sähkön spot-hinta on alle 3 snt/kWh, jolloin sähkökattilalla tuotetun lämmön hinta on lähtökohtaisesti pienempi kuin halvimmalla polttoaineella tuotetun lämmön hinta. Talviaikana sähkön siirron korkeamman hinnan takia taulukkoon tuli negatiivisia ”säästöjä”, jotka huomioitiin vuotuisen säästön laskennassa. Taulukkoon laskettujen säästöjen avulla voitiin arvioida sähkökattilalla saavutettavaa vuotuista säästöä lämmöntuotantokuluissa.

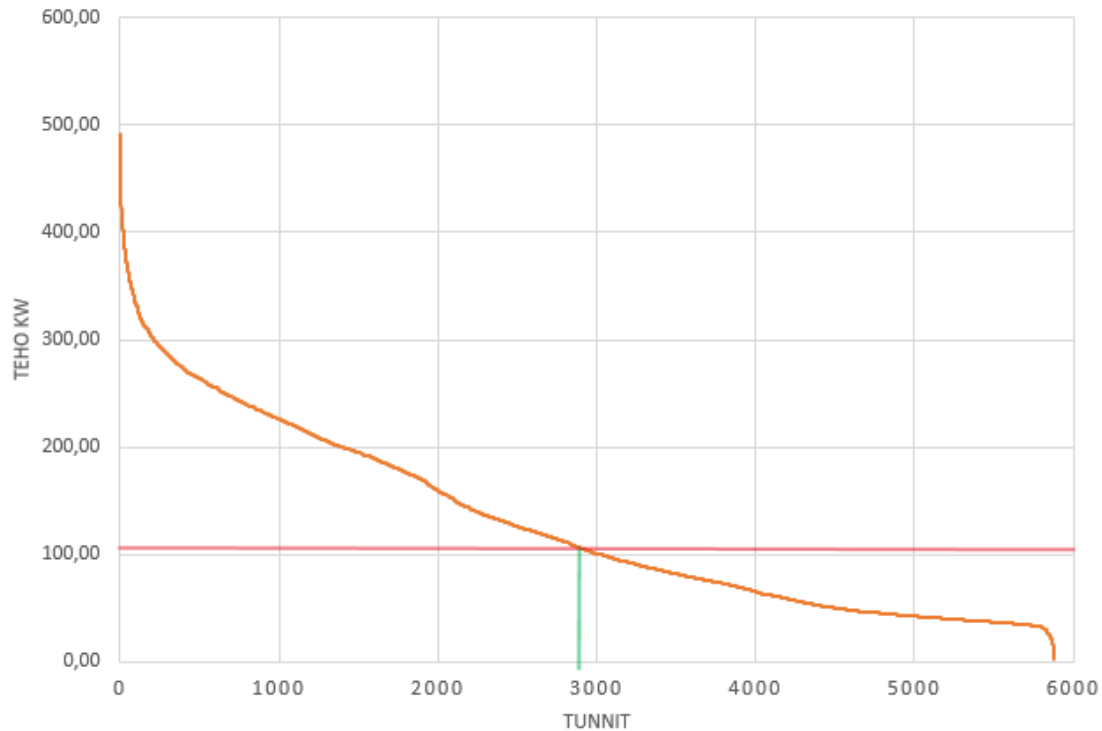
## 5.2 Lämpökeskus 1:n tarkastelu

Kuvassa 14 on lämpökeskus 1:n tuottama kaukolämpöteho esitettyä pysyvyyskäyrän muodossa, josta näkee hyvin lämmöntuotannon tehojen jakautuman suurimmasta pienimpään teholuokkaan tunneittain. Pysyvyyskäyrän lopussa näkyy tuotannon alasajot muutamalta kerralta, mutta tuotanto ei tuntikohtaisesti käy nollassa missään vaiheessa, mikä tarkastettiin tuntikohtaisista tehoista. Näiden alasajojen syy jäi tuntemattomaksi, ja niiden osuus kokonaisuudessa arvioitiin mitättömäksi.



Kuva 14. Lämpökeskus 1:n tehojen pysyvyyskäyrä ajalle 1.3.2023–31.10.2023

Pysyvyyskäyrän lisäksi sähkökattilatehon määrittämiseksi laskettiin lämpökeskuksen toteutuneesta lämmöntuotannosta keskiteho tarkasteluajanjaksolle, josta tulokseksi saatiin 110,8kW, ja jonka perusteella Jäspin mallistosta etsittiin sopiva sähkökattila. Sähkökattilaksi valikoitui Jäspi FIL-SPL 105. Kuvaan 15 on merkitty punaisella Jäspin FIL-SPL:n 105 kW:n tehoisen sähkökattilan mahdollistama tuotanto, josta nähdään, että sillä voitaisiin tuottaa noin puolet ajasta kaikki tarvittava kaukolämpö ja olla osallisena huomattavaan määrään tuotantoa muuna aikana.



Kuva 15. Jäspi FIL-SPL 105 kW:n sähkökattilateho suhteutettuna pysyvyyskäyrään

Lämpökeskus 1:n sähkönmyynnistä vastaa sähköyhtiö 1, joka jätetään toimeksiantajan pyynnöstä mainitsematta oikealta nimeltään. Kuvassa 16 on esiteltynä sähköyhtiö 1:n verkkopalveluhinnasto suurtehoasiakkaille. Kannattavuuslaskennan taulukon vertailua varten valittiin kolme perusmaksultaan halvin liittymä, koska suurtehosähkö 2:n ja 3:n perusmaksut arvioitiin turhan korkeiksi kannattavuuden kannalta.

### Verkkopalveluhinnasto 1.8.2023, tehotuotteet

Sähköverottomat hinnat alv 0 %

	Tehosähkö 1	Tehosähkö 2	Suurtehosähkö 1	Suurtehosähkö 2	Suurtehosähkö 3
Perusmaksu €/kk	181,00	181,00	340,00	2234,00	14826,00
Tehomaksu €/kW, kk	4,08	6,81	6,22	6,06	0,32
Siirtomaksu snt/kWh					
talviarkipäivä	4,45	2,98	2,48	1,74	1,32
muu aika	2,98	1,61	1,48	1,00	0,6
Tehosähköt 1 ja 2: Toimitus 0,4 kV jännitteellä, talviarkipäivä 1.11.-31.3. ma-la klo 7-22.					
Suurtehosähköt 1 ja 2: Toimitus 10 tai 20 kV jännitteellä, talviarkipäivä 1.11.-31.3. ma-la klo 7-22.					
Suurtehosähkö 3: Toimitus 10 tai 20 kV jännitteellä, talviarkipäivä 1.12.-28.2. ma-pe klo 7-21.					

Kuva 16. Sähköyhtiö 1:n verkkopalveluhinnasto

Kuva 17 on kuvankaappaus laskentatyökalusta, jossa tarkastelun alla on lämpökeskus 1:n vuotuisen sähkökattilan tuotannolla saatava säästö ja sen avulla laskettu sähkökattilainvestoinnin takaisinmaksuaika. Budjettihinta Jäspin FIL-SPL 105 sähkökattilalle saatiin suoraan toimittajalta. Puistomuuntamon ja muuntajan hinnat otettiin Energiaviraston verkkokomponenttien yksikköhinnoista (32). Lämpökeskus 1:n tarkastelua ei jatkettu tämän pidemmälle, koska tässä vaiheessa työtä huomattiin takaisinmaksuajan olevan ilman asennuskulujakin jo kohtuuttoman pitkä.

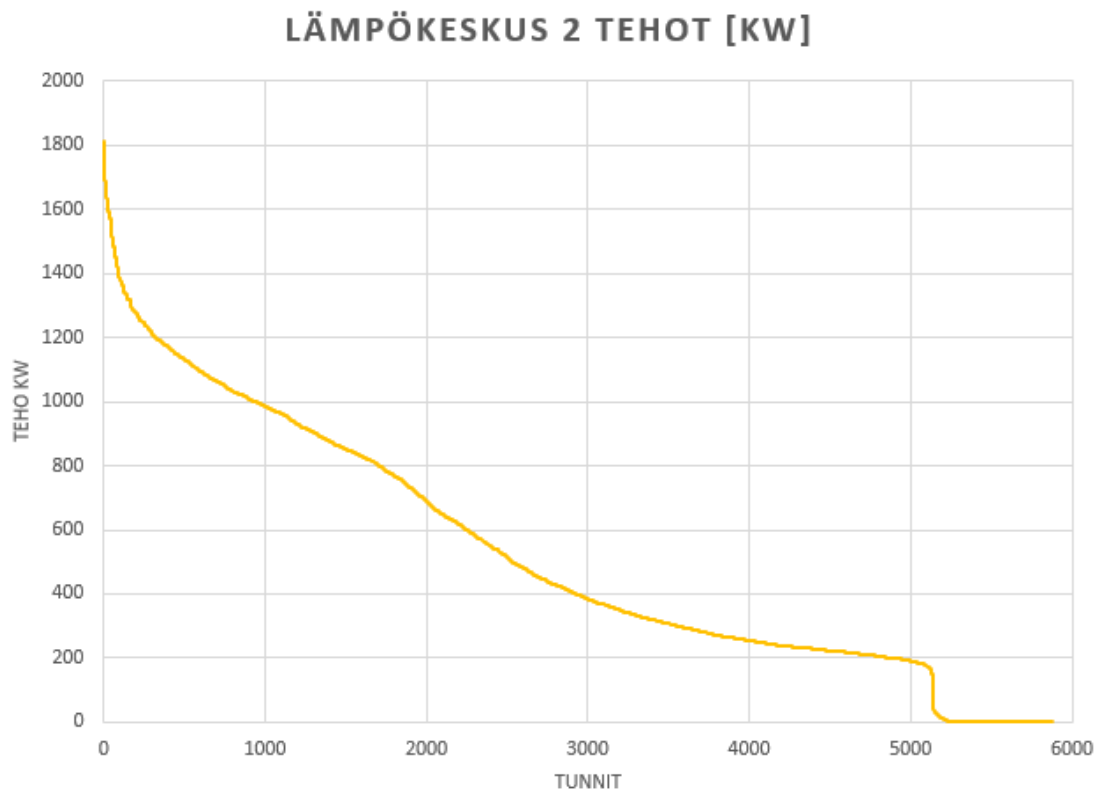
Tammikuu	30,87	*johtuu talvikauden 1.11.-31.3. korkeammasta siirtomaksusta					
Helmikuu	106,72	*Näistä on filitöity pois negatiiviset "säästöt", joita Excel tarjoaa joissakin tapauksissa					
Maaliskuu	21,70	*Verrattu spot-sähköä hake/turve ajoon					
Huhtikuu	67,71	*talvikausi laskettu sähkökattilan maksimiteholla, koska lämmöntuotanto ollut yli sen koko talviajan					
Toukokuu	567,85						
Kesäkuu	226,73						
Heinäkuu	63,92						
Elokuu	27,13						
Syyskuu	623,07						
Lokakuu	848,13						
Marraskuu	704,47	*24.11.2023 ollut jakso, jolloin spot-hinta oli -61,5snt/kWh, josta tullut säästöä				663,32 €	
Joulukuu	67,71					*ilman tuota jaksoa säästöä	41,15 €
<b>Yht</b>	<b>3356,01 €</b>					<b>*tällöin yht</b>	<b>2692,69 €</b>
Jäspi FIL-SPL 105	7100 €						
Puistomuuntamo: kevyt	8600 €						
Muuntaja 200 kVA	6100 €				*100 kVA muuntaja olisi 4500€		
Kustannukset yhteensä	21800 €				*puuttuu vielä asennus ym kulut ja korot		
Takaisinmaksuaika	8,1 vuotta						

Kuva 17. Lämpökeskus 1:n takaisinmaksun arviointia

Lämpökeskus 1:n sähkökattilainvestoinnin kohdalla lopputuloksena oli, että sähköyhtiö 1:n korkeiden tehomaksujen takia sähkökattilaa ei kannata investoida osaksi alueen kaukolämmöntuotantoa. Myöhemmin selvitettyjen sähkö- ja putkitöiden, muuntamon sekä jakelumuuuntajien kustannukset olisivat pidentäneet takaisinmaksuaikaa vielä huomattavasti lisää.

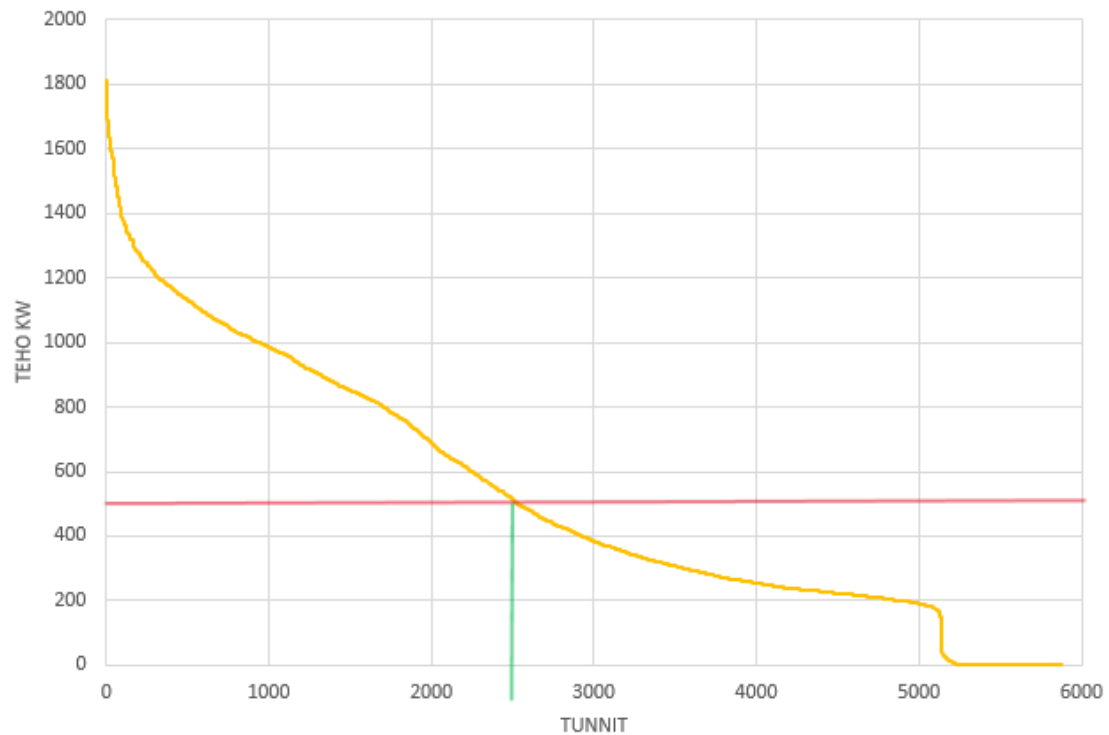
### 5.3 Lämpökeskus 2:n tarkastelu

Kuvassa 18 on lämpökeskus 2:ssa tuotettu kaukolämpöteho esitettynä pysyvyyskäyrän muodossa, josta näkee hyvin lämmöntuotannon tehojen jakautuman. Käyrän lopussa näkyy 24 päivää kestänyt vuosihuolto, jonka aikana laitoksen teho on ollut 0 kW. Vuosihuollon aikainen teho arvioitiin laskemalla keskiarvo elo- ja syyskuun toteutuneista teholukemista, jonka arvoksi saatiin 250 kW. Saatua arvoa verrattiin saman ajanjakson lämpötilatietoihin sekä lämpökeskus 1 tehoihin, joiden perusteella ajateltiin saadun tehluvun olevan riittävän lähellä todellista keskitehoa.



*Kuva 18. Lämpökeskus 2:n tehojen pysyvyyskäyrä 1.3.2023–31.10.2023*

Lämpökeskus 2:n sähkökattilan tehon määrittämiseen käytettiin pysyvyyskäyrän lisäksi tarkasteluajanjakson toteutuneen tuotannon keskitehoa, josta tulokseksi saatiin 465,8kW. Tämän perusteella lämpökeskus 2:n lämmöntuotantoon valittiin sähkökattilaksi Jäspi FIL-SPL 500. Kuvaan 19 on merkitty punaisella Jäspin FIL-SPL:n 500 kW:n tehoisen sähkökattilan mahdollistama tuotanto. Siitä näkee, että sähkökattilalla voitaisiin tuottaa yli puolet ajasta alueen tarvittavasta kaukolämmöstä ja se voisi tuottaa osan lämmöstä muuna aikana.



Kuva 19. Lämpökeskus 2:n sähkökattilatehon valintaa ohjaava pysyvyyskäyrä

Lämpökeskus 2:n alueella toimii sähköyhtiö 2. Kuvassa 20 on esitettyä heidän suurtehoasiakkaiden verkkopalveluhinnasto. Lämpökeskus 2:n osalta sähkökattiloiden kannattavuuden tarkastelu tehtiin laskentatyökalun taulukkoon kaikkien kolmen kuvassa 20 näkyvän liittymätyypin osalta.



### Tehosiirto 1

Siirtomaksu (€/MWh)		Perusmaksu (€/kk)	55,59
Siirto	30,92	Tehomaksu (€/kW, kk)	2,87
Sähkövero, veroluokka 1	22,53	Loistehomaksu (€/kVAr, kk)	6,80
Sähkövero, veroluokka 2	0,63		
Sähköverollinen siirto, veroluokka 1	53,45		
Sähköverollinen siirto, veroluokka 2	31,55		

### Tehosiirto 2

Siirtomaksu (€/MWh)	Talviarkipäivä 1.11.-31.3.		Perusmaksu (€/kk)	71,49
	ma-la klo 07-22	Muu aika		
Siirto	41,13	19,52	Tehomaksu (€/kW, kk)	3,82
Sähkövero, veroluokka 1	22,53	22,53	Loistehomaksu (€/kVAr, kk)	6,80
Sähkövero, veroluokka 2	0,63	0,63		
Sähköverollinen siirto, veroluokka 1	63,66	42,05		
Sähköverollinen siirto, veroluokka 2	41,76	20,15		

### Tehosiirto 3 (20 kV toimitus)

Siirtomaksu (€/MWh)	Talviarkipäivä 1.11.-31.3.		Perusmaksu (€/kk)	341,12
	ma-la klo 07-22	Muu aika		
Siirto	31,08	15,28	Tehomaksu (€/kW, kk)	2,63
Sähkövero, veroluokka 1	22,53	22,53	Loistehomaksu (€/kVAr, kk)	5,79
Sähkövero, veroluokka 2	0,63	0,63		
Sähköverollinen siirto, veroluokka 1	53,61	37,81		
Sähköverollinen siirto, veroluokka 2	31,71	15,91		

Kuva 20. Sähkøyhtiö 2:n verkkopalveluhinnasto

Lämpökeskus 2 kannattavuuden tarkastelussa, sähkökattilainvestoinnin laskennassa ja takaisinmaksuajan arvioinnissa päädyttiin kuvassa 21 esitettyihin tuloksiin. Kuvasta puuttuu vuotuisen kokonaissäästön määrä, jonka suuruudeksi laskennassa saatiin noin 23 000 €. Se sisältää elo- ja syyskuulle ajoittuneen huollon aikaisen tuotannon tuomat säästöt, minkä ajalta sähkökattilalla tuotetun lämmön hintaa verrattiin öljyllä tuotetun lämmön hintaan. Sähkökattilan hinta saatiin suoraan toimittajalta, kuten myös keskijänniteliittymän muuntamon ja jakelumuuntajan hinnat. Sähkökattilan osalta mahdollisia rakennus- tai muutostöitä ei tulisi merkittävästi, koska se mahtuisi lämpökeskus 2:n tiloihin. Sähkötöiden hinta saatiin toteutuneesta sähkökattilainvestoinnista toiselle paikkakunnalle, joka sisältää muuntamon ja muuntajan asennustyöt. Putkitöiden osuudelle saatiin arvio 5 000–10 000 €, mistä valittiin maksimisumma mahdollisten yllättävien menojen ennakoinniseksi. Automaatiotöiden kustannuksia ei laskennassa ole huomioitu. Alempi kustannusten summa ja

takaisinmaksuaika laskettiin investoinnin toteuttamisella lainalla, minkä korkoprosenttina käytettiin 3,5 % ja laina-aikana 5 vuotta.

Jäspi FIL-SPL 500	26000 €
Keskijänniteliittymän muuntamo	44000 €
Jakelumuuntaja 1000kVA	28000 €
Sähkötyöt	52000 €
Putkityöt	10000 €
Kustannukset yhteensä	160000 €
Takaisinmaksuaika	6,3 vuotta
Kustannukset yhteensä	188000 €
Takaisinmaksuaika	7 vuotta

Kuva 21. Kuvankaappaus lämpökeskus 2:n takaisinmaksuajan arvioinnista

Lämpökeskus 2:n sähkökattilainvestoinnin kannattavuuslaskennassa lopputuloksena on, että takaisinmaksuaika, joko sijoittamalla yhtiön pääomaa tai ottamalla sitä varten lainaa, on pitkän aikavälin sijoitus. Sähkökattila maksaisi tämän työn laskelmien mukaan itsensä takaisin 6–7 vuodessa ja voisi sen jälkeen tasapainottaa alueen kaukolämpötuotannon kokonaiskustannuksia.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön päätavoitteena oli tarkastella kahden eri kaukolämpöä tuottavan lämpökeskuksen osalta kannattavuutta, mikäli lämmityskauden ulkopuolinen lämmöntuotanto toteutettaisiin sähkökattiloilla. Tätä tarkastelua varten kehitettiin Excel-pohjainen laskentatyökalu, millä tuotannon kannattavuutta, sähkökattilainvestoinnin hintaa ja takaisinmaksuaikaa voitiin arvioida. Laskentatyökalua voisi käyttää pienin muutoksin tai esimerkkinä muiden sähkökattilainvestointia harkitsevien kaukolämpöyhtiöiden esiselvityksissä alustavien investointikustannusten tai kannattavuuden tarkastelussa. Sähkökattilainvestointien todelliset kustannukset selviävät yleensä vasta siinä vaiheessa, kun lämpöä myyvä yhtiö pyytää tarjouksia investointiin liittyen. Opinnäytetyötä tekevän opiskelijan yhteydenottoihin jotkin toimijat eivät edes suostuneet vastaamaan.

Laskentatyökalun perustana toimi viimeisen vuoden aikaiset lämpölaitosten tuntikohtaiset tehot sekä sähkön spot-hinnat. Laskentatyökaluun kerättiin tarvittavaa tietoa niin polttoaineiden hinnoista ja polttamalla tuotetun lämmön oheiskuluista kuin sähkökattilan käytön kannalta olennaisista kustannuksista, kuten perus-, teho- ja siirtomaksuista. Laskentatyökalussa pyrittiin huomioimaan mahdollisimman tarkasti kaikki esille tulleet seikat kustannusten laskemiseksi. Työn tulokset eivät kuitenkaan ole täysin realistiset, mutta mittasuhteiltaan riittävän tarkat. Osa tiedoista oli kuitenkin hyvin karkeita arvioita ja osa kustannuksista arvioitu yläkanttiin. Lopputuloksena saatiin toimeksiantajalle riittävän tarkka arvio investoinnin kuluista sekä sen takaisinmaksuajasta.

Opinnäytetyön tekemisen aikaan moni kaukolämpöyhtiö on jo investoinut sähkökattiloihin ja monella yhtiöllä sähkökattiloihin liittyvä hanke on vireillä. Työn suurena apuna toimi jo toteutuneesta sähkökattilainvestoinnista saadut kokemukset. Sitä kautta saatiin monien työn kannalta tärkeiden lukujen valistuneet arviot sekä omien laskennasta saatujen arvioiden oikeasuuntaisuuden tarkastamiset.

Polttamalla tuotetun kaukolämmön tuotannossa käytettyjen polttoaineiden hinnat ovat olleet viime vuosina nousussa, esimerkiksi kierrätyspuun hinta on lähes tuplaantunut kohtalaisen lyhyessä ajassa. Suurin hintaa korottava tekijä on ollut Venäjän hyökkäyssota, jonka myötä Venäjän vastaiset pakotteet kielsivät edullisten polttoaineiden tuonnin Venäjältä Suomeen. Tämän takia lämmöntuotantolaitoksissa on täytynyt siirtyä käyttämään kotimaisia tai muualta tuotuja kalliimpia polttoaineita.

Monissa Suomen pienemmissä kaukolämpöverkostoissa on käytössä tämän opinnäytetyön tarkastelun alla olleiden lämpökeskusten kaltaisia kattilalaitoksia, joiden lämmöntuotannon osittaisella sähköistämällä olisi mahdollista pitää huoli, ettei alueiden kaukolämpöhinnat kohoaisi nousevien polttoainekustannusten mukana. Sähköistämällä saavutettaisiin myös pienemmät päästöt, joka puolestaan olisi linjassa uuden ilmastolain ja vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen kanssa. Yksi esille tullut seikka on myös sähkökattiloilla tuotetun lämmön puolella, nimittäin sähkökattilat voivat sähköä ”liikatuotannon” aikaan toimia kulutusjoustopa, joka tasapainoittaisi sähköverkkoa ja sähköä hintaa.

Sähkökattilainvestointi ei kuitenkaan ole näin pienissä kaukolämpöverkoissa aina taloudellisesti mahdollinen, vaan sen toteuttaminen riippuu useasta tekijästä. Alueilla toimivien sähköyhtiöiden perimät maksut voivat pahimmassa tapauksessa tehdä kannattavuuden mahdottomaksi, kuten tässä työssä lämpökeskus 1:n kohdalla kävi. Investoinnin kokonaiskustannuksista menee huomattava osuus sähkötoihin ja -komponentteihin, joka voi venyttää takaisinmaksuaikaa kohtuuttomasti. Lämpökeskus 2:n tuloksien myötä olisi sille kannattavaa tehdä perusteellinen selvitys sähkökattilainvestoinnin kustannuksista, koska sen lämmöntuotannossa on selviä merkkejä tuotannon sähköistämisen kannattavuudesta. Varsinkin tarvittavien sähkökomponenttien hintatarjouksissa olleiden muuntamon ja muuntajan tehon kesto oli sähkökattiloiden arvioituun tehoon verrattuna huomattavan suuri. Sähkökattiloiden sähköteholle tarkemmin mitoitettua muuntajaa ja muuntamo voisivat laskea kokonaiskustannuksia ja lyhentää sen takia takaisinmaksuaikaa.

Pörssisähköä hintatason ennustetaan pysyvän ainakin seuraavat pari vuotta nykyisen hintatason kaltaisena, joten sen kannalta sähkökattilainvestointiin ei pitäisi lähiaikoina tulla suuria muutoksia. Pörssisähkössä siirrytään ennen pitkää vartitaseeseen, mutta tarkempaa aikataulua tälle siirtymälle ei vielä ole. Mittausten osalta Suomessa ollaan siihen jo kuitenkin valmiina.

Sähkökattiloiden, muiden laitehankintojen sekä asennuskulujen osalta voidaan olettaa, ettei niiden kustannukset nouse indeksikorotuksia enempää. Sähkömyyjien perimien maksujen kohdalla voidaan myös olettaa, että ne nousevat korkeintaan indeksikorotuksen verran.

Suuremmissa kaukolämpöyhtiöissä on investoitu sähkökattiloiden lisäksi lämpöakkuihin, joita halvan sähköä aikaan ladataan. Ne ovat kuitenkin oma investointinsa, ja ellei alueella ole jo sopivaa lämpöakkuksi sopivaa aihiota niiden kustannukset voivat äkkiä kohota kohtuuttoman suuriksi

saavutettuun hyötyyn nähden. Lämpöakkujen mahdollisuutta ei tässä opinnäytetyössä tarkemmin tutkittu.

## LÄHTEET

1. Motiva 2022. Kaukolämpö. Hakupäivä 15.5.2024. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_pientalo/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo).
2. Energiamaailma 2024. Kaukolämpö ja -jäähdytys. Hakupäivä 23.1.2024. <https://energia-maailma.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/>.
3. Mäkelä, Veli-Matti & Tuunanen, Jarmo 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opintomateriaali. Hakupäivä 23.1.2024. <https://www.theseus.fi/handle/10024/97138>.
4. Karjalainen, Marko 2024. Kaukolämpöasentaja. Loimua Oy. Puhelinkeskustelu 2.5.2024.
5. Energiateollisuus ry 2024. Usein kysyttyä kaukolämmöstä. Hakupäivä 20.5.2024. <https://energia.fi/energiatietoa/asiakkaat/kaukolammon-ja-jaahdytyksen-asiakkuus/ukk-kaukolammosta/>.
6. Energiateollisuus ry 2024. Energiavuosi 2023, kaukolämpö. Hakupäivä 13.2.2024. [https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Kaukolampovuosi-2023\\_ennakkograafit-1.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Kaukolampovuosi-2023_ennakkograafit-1.pdf).
7. Kärkkäinen, Mika 2024. Toimitusjohtaja. Siikalatvan lämpö Oy. Haastattelu 9.2.2024
8. Energiateollisuus ry 2024. Kaukolämmön hinta. Hakupäivä 24.4.2024. <https://energia.fi/energiatietoa/asiakkaat/kaukolammon-ja-jaahdytyksen-asiakkuus/kaukolammon-hinta/>.
9. Energiateollisuus ry 2024. Kaukolämmön hinta. Hakupäivä 27.5.2024. [https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/02/Kaukolammon\\_hinta\\_01012024\\_paivitetty290224.pptx](https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/02/Kaukolammon_hinta_01012024_paivitetty290224.pptx).
10. Valtioneuvosto 2022. Uusi ilmastolaki. Hakupäivä 13.5.2024. [https://ym.fi/documents/1410903/0/Ilmastolaki\\_HE1\\_final+\(2\).pdf/f7d54a89-0217-bb86-c1e9-d1399190755c/Ilmastolaki\\_HE1\\_final+\(2\).pdf?t=1655972473665](https://ym.fi/documents/1410903/0/Ilmastolaki_HE1_final+(2).pdf/f7d54a89-0217-bb86-c1e9-d1399190755c/Ilmastolaki_HE1_final+(2).pdf?t=1655972473665).
11. Työ- ja elinkeinoministeriö 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Hakupäivä 13.5.2024. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul\\_4\\_2017\\_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
12. Oulun Energia Oy 2022. Hiilineutraali kaukolämpö syntyy uusiutuvista energialähteistä. Hakupäivä 27.5.2024. <https://www.ouluenergia.fi/ajankohtaista/blogi/hiilineutraali-kaukolampo--mista-on-kyse/>.

13. Helen Oy 2021. Helsingin lämmitys hiilineutraaliksi. Hakupäivä 27.5.2024. <https://www.helen.fi/artikkelit/2021/helsingin-lammitys-hiilineutraaliksi>.
14. Tampereen energia Oy 2024. Hiilinegatiiviseksi Tampereen Energian kanssa. Hakupäivä 27.5.2024. <https://www.tampereenenergia.fi/tampereen-energia/vastuullisuus/ymparisto-vastuu/ilmastotiekartta/>.
15. Helen Oy 2020. Helsingin kaukolämpöverkko on hyvässä kunnossa. Hakupäivä 20.5.2024. <https://www.helen.fi/blogi/2020/kaukolampoverkko>.
16. Energiateollisuus ry 2023. Energiajärjestelmien yhdistäjä. Hakupäivä 20.5.2024. <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/energiajarjestelmien-yhdistaja.html>
17. Suomen Biovoima Oy 2019. CHP-laitos. Hakupäivä 22.5.2024. <https://biovoima.com/ratkaisut/chp>.
18. Korpinen, Leena 2008. Sähkövoimatekniikan ympäristöopus: lauhdevoima. Hakupäivä 22.5.2024. [http://leenakorpinen.com/archive/svty\\_opus/3e\\_lauhdevoima.pdf](http://leenakorpinen.com/archive/svty_opus/3e_lauhdevoima.pdf)
19. Aho, Juha, Hietamäki, Eljas, Hyytiä, Hille & Jalovaara, Jukka 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Suomen ympäristökeskus. Hakupäivä 27.5.2024. [https://www.motiva.fi/files/8707/Paras\\_kayttavissa\\_oleva\\_tekniikka\\_\(BAT\)\\_5-50\\_MWn\\_polttolaitoksissa\\_Suomessa.pdf](https://www.motiva.fi/files/8707/Paras_kayttavissa_oleva_tekniikka_(BAT)_5-50_MWn_polttolaitoksissa_Suomessa.pdf).
20. Lehtonen, Samuli 2024. Pörssisähkön spot-hinta Suomessa. Hakupäivä 19.4.2024. <https://sahko.tk/>.
21. Fingrid Oyj 2024. Varttitase eli 15 minuutin taseselvitysjakso. Hakupäivä 28.5.2024. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/pohjoismainen-tasehallinta/varttitase/#taustaa>.
22. Nordpool AS 2024. Our business. Hakupäivä 19.4.2024. <https://www.nordpoolgroup.com/en/About-us/our-business/>.
23. Fortum Oy 2024. Nord Pool -sähköpörssi. Hakupäivä 23.4.2024. <https://www.fortum.fi/ko-tiasiakkaille/sahkoa-kotiin/opas/nord-pool>.
24. Fortum Oy 2024. Markkinakatsaus. Hakupäivä 23.4.2024. <https://www.fortum.fi/media/fortum-markkinakatsaus>.
25. Heiskanen, Mirva 2024. Kun tuulee, kannattaa keittää vettä – kaukolämpöä pönkittävät nyt sähkökattilat. Tekniikan Maailma. Hakupäivä 13.3.2024. <https://tekniikanmaailma.fi/kun-tuulee-kannattaa-keittaa-vetta-kaukolampoa-ponkittavat-nyt-sahkokattilat/>.
26. Schönberg, Kalle 2023. Sähkö on nyt niin halpaa, että sillä tehdään jo kaukolämpöä. Yle. Hakupäivä 10.3.2024. <https://yle.fi/a/74-20036280>.

27. Peltoranta, Jari. Elektrodisähkökattilat avuksi uusiutuvan energian tuotanto- ja hinnanvaihteluissa. Enertec. Hakupäivä 18.4.2024. <https://www.enertec.fi/natiivi/4058/elektrodisahkokattilat-avuksi-uusiutuvan-energian-tuotanto-ja-hintavaihteluissa>.
28. Sallinen, Petri 2023. Kaukolämmön sähköistyminen näkyy. Energia Uutiset. Hakupäivä 20.3.2024. <https://www.energiuutiset.fi/kategoriat/tuotanto/kaukolammon-sahkoistymisen-nakyy.html>.
29. Hakupäivä 18.4.2024. <https://www.parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-voltage-electrode-boiler/>.
30. Jäspi 2024. FIL sähkökattila. Hakupäivä 19.2.2024. <https://jaspi.fi/tuote/fil-sahkokattila/>.
31. Jäspi 2024. Sähkökattila läpivirtaustekniikalla. Hakupäivä 28.5.2024. [https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2016/12/Jaspi\\_FIL-SPL500-1600\\_tuotekortti.pdf](https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2016/12/Jaspi_FIL-SPL500-1600_tuotekortti.pdf).
32. Energiavirasto 2024. Sähköverkon yksikköhinnat. Hakupäivä 29.5.2024. [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://energia-virasto.fi/documents/11120570/12766832/S%25C3%25A4hk%25C3%25B6verkot\\_Yksikk%25C3%25B6hinnat%2BJ%25C3%25A4mf%25C3%25B6rpriser%2B2022-2023.xlsx/5b3437a9-5b3d-03c7-f5a2-fbf68248b0de%3Ft%3D1640157186109](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://energia-virasto.fi/documents/11120570/12766832/S%25C3%25A4hk%25C3%25B6verkot_Yksikk%25C3%25B6hinnat%2BJ%25C3%25A4mf%25C3%25B6rpriser%2B2022-2023.xlsx/5b3437a9-5b3d-03c7-f5a2-fbf68248b0de%3Ft%3D1640157186109).