



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tomi Tahvanainen

SÄHKÖKATTILAN MITOITUS JA LIITTÄMI-
NEN OSAKSI LEMPÄÄLÄN MARJAMÄEN
ENERGIAYHTEISÖÄ

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|--|
| Tekijä | Tomi Tahvanainen |
| Opinnäytetyön nimi | Sähkökattilan mitoitus ja liittäminen osaksi Lempäälän Marjamäen energiayhteisöä |
| Vuosi | 2021 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 32 |
| Ohjaaja | Jari Koski |

Opinnäytetyön tarkoituksena on mitoittaa sähkökattila ja sen liittymiskaapelit Lempäälän Marjamäen energiayhteisöön. Opinnäytetyö on tehty Lempäälän Energialle.

Työssä valitaan oikeanlainen sähkökattila saaduista sähkökattilatarjouksista energiayhteisölle. Sähkökattilan takaisinmaksuajan muodostumista tarkastellaan, mutta sitä ei voida määrittää puuttuvien parametrien takia. Työssä mitoitetaan oikeat kaapelit sähkökattilalle ja lasketaan suuntaa antava arvio komponenttien kokonaishinnasta. Osallistumista Fingridin sähkömarkkinoille tarkastellaan.

Opinnäytetyön tulokseksi saatiin valittua sopiva sähkökattila, jolla voi osallistua Fingridin sähkömarkkinoille. Sähkökattilan kaapelointi mitoitettiin ja valittiin sopivat kaapelit. Energia-alan ollessa murrosvaiheessa, energiayhteisöt tulevat lisääntymään huomattavasti Euroopassa ja kehittyvät kovaa vauhtia eteenpäin.

ABSTRACT

| | |
|--------------------|--|
| Author | Tomi Tahvanainen |
| Title | Dimensioning and integration of an Electric boiler for Lempäälä Marjamäki Energy Community |
| Year | 2021 |
| Language | Finnish |
| Pages | 32 |
| Name of Supervisor | Jari Koski |

The purpose of this thesis was to specify an electric boiler for an energy community located in Marjamäki, Lempäälä. This thesis was made for Lempäälän Energia.

In this thesis, a suitable electric boiler was selected for the energy community from the quotations provided by Kaukora Oy. The payback time of the electric boiler was examined, but it could not be determined because of the lack of parameters. Suitable cables for the electric boiler were dimensioned and the cost of all components are calculated approximately. Participation in the Fingrid electricity market was examined.

As a result of this thesis a suitable electric boiler with necessary cables was selected, which is able to participate in the Fingrid electricity market. During the turning point of energy industry, the number of energy communities will increase tremendously in Europe and they are developing at a rapid pace.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LYHENTEET JA TERMIT

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 8 |
| 1.1 | Opinnäytetyön tavoite..... | 8 |
| 1.2 | Lempäälän Lämpö ja Lempäälän Energia | 8 |
| 2 | YLEINEN OSUUS..... | 10 |
| 2.1 | LEMENE-hanke..... | 10 |
| 2.2 | Sähkökattila ja sen soveltaminen osaksi LEMENE-sähköverkkoa..... | 12 |
| 2.3 | Sähkökattilan valinta tarjousten perusteella..... | 14 |
| 2.4 | Vastuksien hyödyntäminen kaukolämpökäytössä..... | 17 |
| 2.5 | Takaisinmaksuaika | 18 |
| 3 | SÄHKÖKATTILAN LIITTÄMINEN JÄRJESTELMÄÄN..... | 19 |
| 3.1 | Pienjännite vai keskijännite? | 19 |
| 3.1.1 | Keskijännitetoteutus | 19 |
| 3.1.2 | Pienjännitetoteutus | 21 |
| 3.2 | Kaapelin mitoitus | 22 |
| 4 | SÄHKÖKATTILA OSANA LEMENEÄ | 26 |
| 5 | SÄHKÖKATTILAN KÄYTTÖ FINGRIDIN SÄHKÖMARKKINOILLA..... | 29 |
| 6 | YHTEENVETO | 31 |
| | LÄHTEET | 32 |

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

| | |
|---|----|
| Kuva 1. Lempäälän Energian keskijänniteverkko. | 12 |
| Kuva 2. Jäspi FIL SPL-sähkökattila. | 13 |
| Kuva 3. Kaukolämpöakku SUB01:n pihalla. | 14 |
| | |
| Taulukko 1. Sähkökattilan tarjoukset. | 15 |
| Taulukko 2. Sähkökattilatarjousten kilowattihinnat. | 15 |
| Taulukko 3. Uppokuumennintarjous. | 17 |
| Taulukko 4. Muuntajan käämikytkimen tapitukset. | 24 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|-------------------------------|--|
| SUBM01-M06 | Sähköasemat 1–6 |
| LEMENE | Lempäälän energiayhteisö |
| V | Voltti, jännitteen yksikkö |
| A | Ampeeri, virran yksikkö |
| P | Teho, yksikkö watti |
| R | Resistanssi, yksikkö ohmi |
| MVA | Megavoltttiampeeri, näennäistehon yksikkö |
| kW | Kilowatti, tehon yksikkö |
| m | Metri |
| h | Tunti |
| kWh | Kilowattitunti, energiamäärän yksikkö |
| MWh | Megawattitunti, energiamäärän yksikkö |
| € | Euro, rahan yksikkö |
| snt | Sentti, rahan yksikkö |
| mm² | Neliömillimetri, pinta-alan yksikkö |
| Ω | Ohmi, resistanssin yksikkö |
| φ | Vaihesiirtokulma, kreikkalainen aakkonen fii |
| <i>R_{kok}</i> | Kokonaisresistanssi, yksikkö ohmi |

| | |
|--------------------------|---|
| ρ | Ominaisvastus, kreikkalainen aakkonen rho |
| Uh | Jännitteenalenema, yksikkö voltti |
| Hz | Hertsi, taajuuden yksikkö |
| l | Johdon pituus, yksikkö metri |
| Uhv | Jännitehäviö vaiheessa |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on mitoittaa ja liittää sopivan kokoinen sähkökattila osaksi Lempäälän Marjamäen energiayhteisöä. Lempäälän Marjamäen energiayhteisö sijaitsee Ideaparkin alueella Lempäälän Marjamäessä. Alueella sijaitsee rengasverkko, johon kuuluu kuusi sähköasemaa, kaksi polttokennoa ja kaksi suurta aurinkopaneelikenttää. Alueen kolmella sähköasemalla sijaitsee kuusi Jenbacher-merkkistä kaasumoottoria, joiden avulla aluetta pystytään ajamaan saarekkeena, jos aurinkovoimalat eivät tuota tarpeeksi sähköä tai valtakunnanverkon vikatilanteessa. Sähköasemia alueella on kuusi (SUBM01-SUBM06). Sähkökattila tulee SUBM01:lle. Tälle samalle sähköasemalle tulee myös kaukolämpöakku sähkökattilan lisäksi. Siellä sijaitsee myös kaksi kappaletta sähkövarastoja.

1.1 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoite on mitoittaa sopivan kokoinen sähkökattila ja sen kaapeli energiayhteisön sähköasemalle, jolla pystytään osallistumaan Fingridin sähkömarkkinoille. Sähkökattila kilpailutetaan ja valinta tehdään näiden tarjousten perusteella. Kun oikea sähkökattila on valittu, tarkastellaan sen takaisinmaksuaikaa ja sen mahdollisuuksia osallistua energiamarkkinoille.

1.2 Lempäälän Lämpö ja Lempäälän Energia

Lempäälän Lämpö on perustettu vuonna 1977 Lempäälän kunnan toimesta. Se on Lempäälän kunnan alueella sijaitseva energia- ja kiinteistöpalveluita tarjoava yhtiö. Yhtiömuoto on osakeyhtiö. Lempäälän Lämmön toimitusjohtajana toimii Toni Laakso. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2019 n. 8 miljoonaa euroa, joka koostuu pääosin lämmön jakelusta. Lempäälän Lämmöllä oli vuonna 2020 lokakuussa seitsemän työntekijää. /1/

Lempäälän Energia on perustettu vuonna 1973. Se on Lempäälän Lämmön tytäryhtiö. Lempäälän Energia on myös Lempäälän kunnan täysin omistama osakeyhtiö. Lempäälän Energia toimii Lempäälän Lämmön tuotantoyhtiönä. Se tuottaa kaukolämpöä Lempäälän Lämmölle. Polttoaineena käytetään kiinteitä polttoaineita, esimerkiksi sahanpurua ja haketta. /1/

Lempäälän Energialla on historiaa hankkeiden toteuttamisesta. Sen isoin toteutettu hanke on LEMENE-hanke, joka oli työ- ja elinkeinoministeriön energiakärkihanke vuonna 2017 ja hanke valmistui vuonna 2019. Lempäälän Energian toinen suuri hanke ”Edelläkävijyys energiayhteisössä” valmistui loppuvuodesta 2021. Edelläkävijyys energiayhteisössä-hankkeessa sovelletaan LEMENE-hankkeen energiaratkaisuja erilaisessa ympäristössä. /1/

2 YLEINEN OSUUS

2.1 LEMENE-hanke

LEMENE-hanke on Lempäälän Energian vuonna 2019 valmistunut projekti, jossa tarkoituksena oli rakentaa omavarainen energiayhteisö Lempäälän Marjamäen alueelle. Tarkoituksena oli liittää Marjamäen alueen teollisuus energiayhteisöön, joka tuottaa itse kaiken käyttämän energiansa pääosin aurinkopaneelien ja kaasumoottorien avulla. Hankkeen nimi LEMENE tulee sanoista Lempäälän energiayhteisö. /1/

Energiayhteisö tarkoittaa toimintaympäristöä, jossa yhteisö pystyy itse tuottamaan käyttämänsä energian. Energiayhteisö pystyy irtaantumaan myös valtakunnan verkosta, jos verkossa tulee vikatilanne. Tällöin he ajavat omaa energiayhteisöään saarekkeessa, jolloin valtakunnan verkon vika ei vaikuta energiayhteisöön. Energiayhteisössä tarvittava energia voidaan tuottaa esimerkiksi aurinkopaneelilla ja kaasumoottoreilla. Jos aurinkopaneelit eivät tuota tarpeeksi sähköä, voidaan tarvittava energia tuottaa kaasumoottoreita ajamalla. Jos energiayhteisö tuottaa ylimääräistä sähköä, se voidaan myydä valtakunnan verkkoon Fingridin sähkömarkkinoille tai tarvittaessa se voidaan säilöä sähkövarastoon.

LEMENE-hankkeen sähköverkko on topologiaaltaan rengasverkko. Sähköverkko koostuu kuudesta sähköasemasta, jotka on nimetty SUB01-SUB06. Näiden sähköasemien syöttämä keskijänniteverkko muodostaa rengasverkon.

Keskeisin sähköasema on SUBM01. Siellä sijaitsee kaksi Jenbacher-merkkistä kaasumoottoria, kaksi sähkövarastoa, joista toinen on Siemensin toimittama Siestorage ja toinen Meruksen toimittama. Siestoragen kapasiteetti on 2,4 MVA ja Meruksen sähkövaraston teho on 1,6 MVA. Sähköasemalla sijaitsee myös kaksi 20 kW polttokennoa ja älysähköverkkoasema. Kaasumoottorit ovat teholtaan 1,8

MVA/moottori. Tälle sähköasemalle hankitaan sähkökattila ja kaukolämpöakku, joka on 17 m korkea.

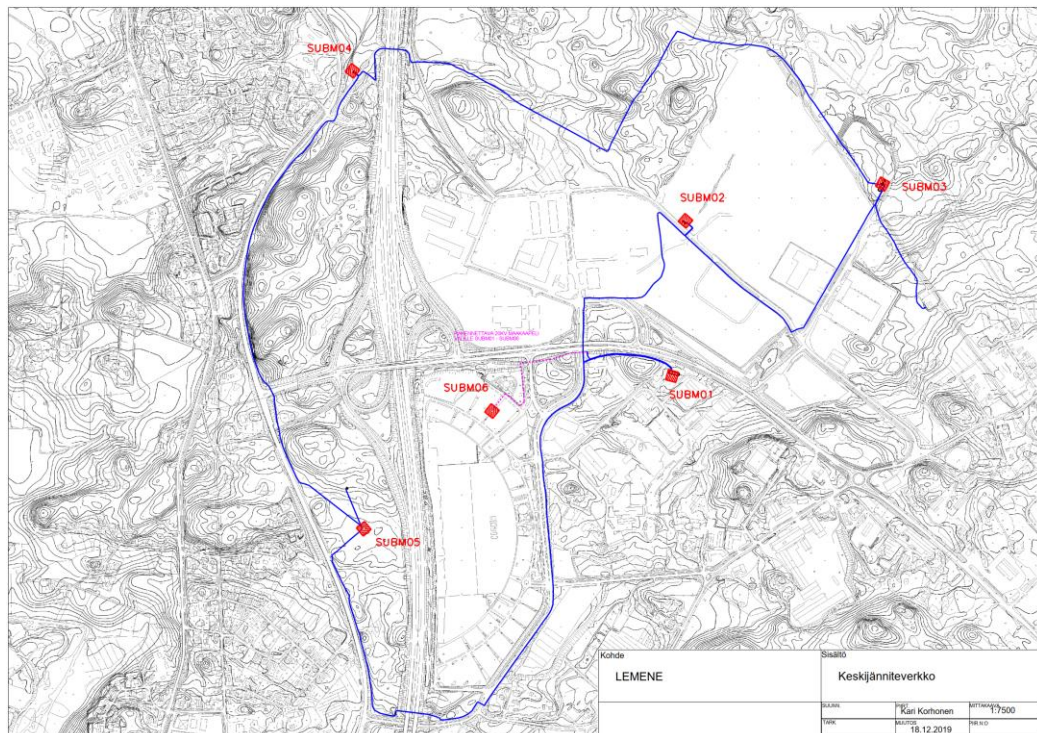
SUBM02-asemalla sijaitsee kaksi Jenbacher-kaasumoottoria ja älysähköverkkoasema. Molemmat kaasumoottorit ovat teholtaan 1,5 MVA/moottori.

SUBM03 sijaitsee yksi Jenbacher-kaasumoottori, älysähköverkkoasema ja pohjoinen aurinkopaneelikenttä. Aurinkopaneeleita on noin 7000 kappaletta ja niiden yhteisteho on noin 2 MW. Kaasumoottorin teho on 1,5 MVA. Myös liittymispiste Elenian verkkoon ja sitä kautta valtakunnanverkkoon sijaitsee tällä asemalla.

SUBM04:llä sijaitsee älysähköverkkoasema ja muuntaja.

SUBM05 sijaitsee älysähköverkkoasema sekä eteläinen aurinkovoimala. Aurinkopaneeleita on noin 5000 kappaletta, mutta koska paneelit ovat hieman tehokkaampia kuin pohjoisen aurinkovoimalan paneelit, tuottavat ne myös tehoa noin 2 MW.

SUB06 sijaitsee yksi 1,8 MVA Jenbacher-kaasumoottori ja älysähköverkkoasema.



Kuva 1. Lempäälän Energian keskijänniteverkko.

2.2 Sähkökattila ja sen soveltaminen osaksi LEMENE-sähköverkkoa

Sähkökattilat ovat monipuolisia ratkaisuja lämmitysjärjestelmiksi. Niitä käytetään usein omakotitalouksissa käyttöveden lämmitykseen, mutta ne sopivat myös teollisuuskäyttöön esimerkiksi höyryn tuottamiseen. Sähkökattilatyyppejä on erilaisia, esimerkiksi vastuskattila, jota käytetään kuuman veden tuottamiseen. Elektrodi-kattiloita käytetään taas höyryn tuottamiseen. /2/

Vastuskattilassa kattilan sisällä sijaitsee metallivastuksia, joita lämmitetään sähköisesti. Vastukset kuumenevat ja lämpöenergia siirtyy vastuksista kattilan sisällä

olevaan veteen. Näin sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi. Sähkövirtaa säätämällä voidaan säädellä vastuskattilan tehoa. Vastuskattilaa voidaan säätää joko manuaalisesti tai automaattisesti. /2/

LEMENE-verkon sähkökattila sijoitetaan sähköasemalle SUBM01. Sähköasemalle tulee myös kaukolämpöakku, joka on yhteydessä sähkökattilaan. Kaukolämpöakkuun varastoidaan sähkökattilassa lämmitettyä vettä, jota voidaan ajaa kaukolämpöverkkoon tarpeen tullen. Kaukolämpöakkuun on mahdollista asentaa lämmitysvastukset. Vastusten asentamista tarkastellaan myöhemmin tässä opinnäytetyössä.



Kuva 2. Jäspi FIL SPL-sähkökattila.



Kuva 3. Kaukolämpöakku SUB01:n pihalla.

2.3 Sähkökattilan valinta tarjousten perusteella

Tarjouksissa täytyy ottaa huomioon tarjotun sähkökattilan kokonaisteho, sillä valitulla sähkökattilalla halutaan osallistua Fingridin taajuusohjattuun häiriöreserviin. Taajuusohjatun häiriöreservin minimivaatimus relekytketyille resursseille on vähintään 1 MW, joten alle 1 MW:n sähkökattilaa ei voida valita. Valinnassa ei tarvitse huomioida sähkökattilan fyysistä kokoa, sillä se asennetaan sähköaseman pihalle, jossa tilaa riittää hyvin.

Sähkökattilan valinnassa täytyy huomioida myös sähkökattilan kilowattihinta (€/kW) ostohinnan perusteella. Tämä saadaan jakamalla ostohinta sähkökattilan kilowattimäärällä, eli

$$\frac{K}{P} = \text{€/kW}, \text{ jossa } K \text{ on sähkökattilan kustannus} \quad (1)$$

P on sähkökattilan nimellisteho

€/kW kertoo yhden kilowatin hinnan

Tarjouksia sähkökattilasta (**Taulukko 1.**) pyydettiin kotimaiselta Kaukora Oy:ltä. Kaukora Oy tarjosi kahta sähkökattilaa ja tarjoukset olivat seuraavanlaiset:

Taulukko 1. Sähkökattilan tarjoukset.

| Sähkökattila | Hinta |
|-----------------------|----------|
| Jäspi FIL SPL 1000 kW | 31 700 € |
| Jäspi FIL SPL 1600 kW | 42 100 € |

Tarjottujen sähkökattiloiden €/kW hinnat ovat seuraavanlaiset:

Taulukko 2. Sähkökattilatarjousten kilowattihinnat.

| Sähkökattila | €/kW |
|-----------------------|--|
| Jäspi FIL SPL 1000 kW | $\frac{31\,700 \text{ €}}{1000 \text{ kW}} = 31,7 \text{ €/kW}$ (2) |
| Jäspi FIL SPL 1600 kW | $\frac{42\,100 \text{ €}}{1600 \text{ kW}} = 26,3125 \text{ €/kW}$ (3) |

Tässä (**Taulukko 2.**) huomataan 1600 kW sähkökattilan olevan parempi vaihtoehto kuin 1000kW sähkökattila, kun tutkitaan €/kW hintaa. Myös Fingridin taajuusohjatun häiriöreservin minimivaatimus relekytketyille resursseille on 1MW, joka poissulkee Jäspän 1000 kW sähkökattilan (**Kuva 2.**).

Sähkökattilan kokoa arvioidessa täytyy ottaa huomioon myös aurinkosähkön osuus ja energian eri muodot. Aurinkosähköä voidaan varastoida sähkökattilan avulla kaukolämpöakkuun. Tällöin sähköenergia muuttuu muotoaan lämpöenergiaksi ja sillä voidaan syöttää kaukolämpöverkkoa.

Onko 1600 kW:n sähkökattila tarpeeksi iso? Sähkökattilan sopivaa kokoa voidaan karkeasti mitoittaa lukemalla aurinkoenergiatuotannon trendejä. Vaikka aurinkovoimaloiden teho on 2 MW:a, saadaan niistä harvoin niin paljoa ulos. Oletetaan, että koko vuoden keskiarvoinen tuotanto on 0,2 MW/h kahdentoista tunnin ajan päivässä. Aurinkovoimaloita on kaksi kappaletta, joten saadaan

$$\frac{0,2 \text{ MW} \times 12 \text{ h} \times 2}{10} = 0,48 \text{ MW}, \text{ jossa } 0,2 \text{ MW on keskiarvotuotanto} \quad (4)$$

yhdelle tunnille vuositasolla

12 h on päivän aikana aurinkoenergiaa tuottavat tunnit

2 on tuottavien aurinkovoimaloiden määrä

10 on tuottavat kuukaudet.

Kun 1 MW:n kattila on minimivaatimus taajuusohjatulla häiriöreservimarkkinoilla, summataan edellä laskettu 0,48 MW:a 1 MW:n kanssa yhteen ja saadaan

$$1 \text{ MW} + 0,48 \text{ MW} = 1,48 \text{ MW} \quad (5)$$

1,48 MW on kooltaan lähellä Kaukora Oy:n tarjoamaa 1,6 MW:n sähkökattilaa ja voidaan todeta sähkökattilan olevan tarpeeksi iso.

2.4 Vastuksien hyödyntäminen kaukolämpöakussa

Sähkökattilan tilalle tarkasteltiin myös mahdollisuutta asentaa lämmittävät vastukset eli uppokuumentimet kaukolämpöakun sisälle (**Kuva 3.**). Vastuksista pyydettiin tarjousta Meyer vastus Oy:ltä. Tarjous sisälsi neljä uppokuumentinta, joista jokainen oli teholtaan 250 kW. Jokaisessa uppokuumentimessa on laippa ja vastuselementit. Tarjous oli seuraavanlainen:

Taulukko 3. Uppokuumentintarjous.

| Tuote | Hinta | Määrä | Yhteensä | €/kW |
|---|------------|-------|---|---|
| NLT DN300 PN10 HST, 250 kW uppokuu- mennin | 8570 €/kpl | 4 | $4 \times 8570 \text{ €} = 34\,280 \text{ € (6)}$ | $\frac{34\,280 \text{ €}}{1000} = 34,28 \text{ €(7)}$ |

Kun tarkastellaan yhdelle kilowatille muodostuvaa hintaa (**Taulukko 3.**), voidaan todeta, että vastusten hankkiminen sähkökattilan sijaan on huomattavasti kalliimpaa, kuin kumpikaan sähkökattiloista. Täten vastusten hankinta ei ole kannattavaa ja voidaan keskittyä sähkökattilan hankintaan.

2.5 Takaisinmaksuaika

Investoinnin takaisinmaksuajan määrittäminen on yleinen tapa tarkastella investoinnin taloudellista kannattavuutta. Se on normaalisti helppo määrittää yksinkertaisella laskutoimella:

$$\text{takaisinmaksuaika} = \frac{\text{alkuinvestointi}}{\text{vuotuinen nettokassavirta}} \quad (8)$$

Vaikka edellä mainittu tapa on suosittu monissa yrityksissä, on siinä omat heikkoutensa. Se ei ota huomioon ollenkaan rahan korkoa tai aika-arvoa. Tämä tapa ei myöskään huomioi mitenkään takaisinmaksuajan jälkeisiä tuottoja. Tavan edellytys myös vaatii, että vuosittainen nettokassavirta on samansuuruista. /3/

Kun kyseessä on sähkökattila, jota on tarkoitus ajaa aurinkoenergialla, vuotuista nettokassavirtaa on mahdotonta ennustaa. Aurinkoenergian määrä vaihtelee vuodenajan mukaan, eli käytännössä talvella aurinkopaneelit eivät tuota lähes mitään, kun taas keskikesällä aurinkoisena päivänä ne ovat tuottaneet Lempäälän Marjamäessä yhteensä 30 MWh yhden päivän aikana.

Myös pörssisähkön hinta vaihtelee. Pörssisähkössä käytetään Spot-hintaa. Spot-hinta muodostetaan Nord Pool-sähköpörssissä, joka on pohjoismainen yritys. Sähkön Spot-hinta julkaistaan aina seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille. Spot-hinta muodostetaan sähköpörssiin annettujen myynti- ja ostotarjousten perusteella. Huhtikuussa 2021 Spot-hinta oli 4,85 snt/kWh, kun taas Lokakuussa Spot-hinta oli 8,39 snt/kWh. Spot-hinta siis vaihtelee kuukausien mukaan, koska kylmimpinä kuukausina lämmitys kuluttaa sähköä enemmän, kuin lämpiminä kuukausina. /4/

3 SÄHKÖKATTILAN LIITTÄMINEN JÄRJESTELMÄÄN

3.1 Pienjännite vai keskijännite?

Sähkökattilan liittämässä järjestelmään täytyy huomioida useita eri tekijöitä. Suurin niistä on taloudellinen. Tässä luvussa vertaillaan kannattaako sähkökattila liittää olemassa olevaan verkkoon keskijännitteellä, vai pelkästään pienjännitteellä.

3.1.1 Keskijännitetoteutus

Keskijännitetoteutuksessa sähkökattilalle tarvittaisiin oma puistomuuntamo. Puistomuuntamolle tulisi 20 kV syöttö SUBM01 sähköasemalta, josta 20 kV muunnettaisiin 400 V ja tällä syötettäisiin sähkökattilaa. Tyypillisesti puistomuuntamo koostuu muuntamokopista, muuntajasta, SF6-kojeistosta, virtamuuntajasta, jännitemuuntajasta, 20 kV kojeistopäätteestä ja pienjännitevarokekytkimistä. Koska sähkökattilan teho on 1,6 MW, täytyy muuntajan olla vähintään yhtä iso. Käytetään siis 1600 kVA muuntajaa.

Energiavirasto on määrittänyt yksikköhinnat verkkokomponenteille vuosille 2022–2023. Tämän yksikköhinnaston mukaan ulkoa hoidettava 20 kV/0,4 kV kevyt puistomuuntamo maksaa 7 500 €. Saman taulukon mukaan 1600 kVA muuntaja maksaa 18 700 €. /5/

Kokonaisuudessaan puistomuuntamolle tulisi hintaa

$$7\,500\text{ €} + 18\,700\text{ €} = 26\,200\text{ €} \quad (9)$$

Sähköasemalta muuntamolle kaapeloitavan keskijännitekaapelin pituus on 60 m. Muuntamolta sähkökattilalle on 10 metrin matka, joka toteutettaisiin pienjännitekaapeleilla. Keskijännitekaapelissa oleva virta saadaan laskettua soveltamalla kolmivaiheisen pätötehon kaavaa:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times \cos \varphi \times U}, \text{ jossa} \quad I = \text{Kaapelin virta} \quad (10)$$

P=Kolmivaiheinen pätöteho

U=Keskijänniteverkon jännite

φ =Tehokerroin

Koska edellä mainituista arvoista tiedämme kolmivaiheisen pätötehon, keskijänniteverkon jännitteen ja sähkökattilan tehokertoimen, saadaan kaapelin läpi kulkevan virran suuruudeksi

$$\frac{1\,600\,000\text{ W}}{\sqrt{3} \times \cos \varphi \times 20\,000\text{ V}} = 46,1951 \sim 46,2\text{ A.} \quad (11)$$

Kun tarkastellaan Prysmian Groupin datalehteä AHXAMK-W-kaapelista, voidaan todeta AHXAMK-W 3x95Al+35Cu maakaapelin kuormitettavuuden maahan asennettuna olevan 235 A. Tämä kaapeli siis kestää sähkökattilan tuottaman virran, joten valitaan AHXAMK-W 3x95Al+35Cu.

Energiavirasto on määrittänyt AHXAMK-W 3x95Al+35Cu maakaapelin yksikköhinnaksi 14 600 €/km, eli 60 metrin kaapeli maksaisi

$$\frac{14\,600\text{ €}}{1000\text{ m}} \times 60\text{ m} = 876\text{ €} \quad (12)$$

Pienjännitekaapelointi toteutetaan AXMK-300 mm²-maakaapelilla. Prysmian Groupin AXMK-datalehdestä voidaan todeta 300 mm²-maakaapelin kuormitettavuudeksi maahan asennettuna 430 A. Koska sähkökattilan nimellisvirta on 2309

A/vaihe, tarvitaan useampia AXMK 300 mm²-maakaapeleita. Jos maakaapeleita on esimerkiksi kuusi kappaletta, niiden virtakestoisuus on tällöin

$$430 A \times 6 = 2\,580 A \quad (13)$$

Kuusi kappaletta AXMK 300 mm²-maakaapeleita riittää sähkökattilan tuottamalle virralle yhdessä vaiheessa. Valitaan siis jokaiselle vaiheelle kuusi kappaletta AXMK 300 mm²-maakaapeleita eli yhteensä 18 kaapelia.

Energiavirasto on määrittänyt AXMK- 300 mm² kaapelin hinnaksi 23 700 €/km, joten kuusi kappaletta 10 metrin kaapeleita maksaisi

$$\frac{23\,700 \text{ €}}{1000 \text{ m}} \times 10 \text{ m} \times 18 = 4\,266 \text{ €} \quad (14)$$

Yhteensä keskijännitetoteutuksen komponenttien kokonaiskustannukset ovat:

$$26\,200 \text{ €} + 876 \text{ €} + 4\,266 \text{ €} = 31\,342 \text{ €} \quad (15)$$

Komponenttien kokonaiskustannuksiin käytetyt hinnat eivät sisällä arvonlisävero. /5/

Keskijännitteellä toteuttaessa puistomuuntamo ei vaatisi omaa keskijänniteliittymää, sillä se liitettäisiin osaksi LEMENE-hankkeen keskijänniteverkkoa. Tällöin TUKES:lle pitäisi ilmoittaa sähkölaitteiston muutoksesta. Puistomuuntamo vaatisi kuitenkin nimetyn sähkötöiden johtajan. Henkilöllä, joka toimii sähkötöiden johtajana, täytyy olla täysi S1-sähköpätevyys.

3.1.2 Pienjännitetoteutus

Pienjännitetoteutuksessa ei tarvitse huomioida muuta kuin tarvittavien kaapeleiden määrä ja pituudet. Sähköasemalla, jolla sähkökattila sijaitsee, on jo tarvittavat

pienjännitelähdöt. Kun kaapelityyppinä käytetään AXMK 300 mm² ja matka on 70 m, saadaan yhdelle kaapelille hintaa Energiaviraston yksikköhintojen mukaan

$$23\,700\text{ €} \div 1000\text{m} \times 70\text{m} = 1659\text{ €} \quad (16)$$

Täten 18 kappaletta AXMK 300 mm²-kaapelia maksaa

$$1659\text{ €} \times 18 = 29\,862\text{ €} \quad (17)$$

Kun vertaillaan keskijännite- ja pienjännitetoteutuksen komponenttien kokonaiskustannuksia, voidaan todeta pienjännitetoteutuksen olevan taloudellisesti järkevämpi ratkaisu. Myös työn määrä on pienempi, kuin keskijännitetoteutuksessa. Tämän takia valitaan pienjännitetoteutus.

3.2 Kaapelin mitoitus

Sähkökattilan kaapelin mitoittamisessa on otettava huomioon valitun sähkökattilan sähköiset arvot. Jäspi FIL-SPL 1600 kattilan teho (P) on 1600 kW ja nimellisvirta (I_n) 2309 A. Kaapelointi toteutetaan pienjännitekaapeloinnilla. Koska sähkökattilan nimellisvirta on 2309 A, tarvitaan paksuinta mahdollista pienjännitekaapelia. Tällöin vaihtoehtoina ovat kupari- ja alumiinikaapelit. Koska alumiinikaapeli on nykyään yleisemmin käytetty, valitaan kaapeliksi AXMK-300 mm². Kun tarkastellaan Prysmian Groupin kaapeleiden kuormitettavuustaulukkoa, voidaan todeta AXMK-300 mm² kuormitettavuudeksi asennustapaa D käyttäen 430A. /6/

Jos siirtoetäisyys on maakaapelissa alle 20 kilometriä, voidaan jännitteenalenneman pitkittäiskomponentti normaalisti määrittää kaavalla

$$U_h = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi), \text{ jossa } U_h = \text{Vaihejännitteen alenema} \quad (18)$$

I=Johtimen virta

R=johtimen vaihtovirtaresistanssi

X = johtimen resistanssi

φ = vaihejännitteen ja -virran välinen vaihe
siirtokulma

Edellä mainittu kaava ei kuitenkaan päde tässä tapauksessa. Koska sähkökattila on täysin resistiivistä kuormaa, on sähkökattilan $\cos\varphi = 1$. Tällöin sähkökattilan kaapeloinnin jännitteen alenema voidaan määrittää yksinkertaisesti

$$U_h = \text{Johdon resistanssi} \times \text{virta} \quad (19)$$

Prysmian Groupin AXMK-datalehdessä voidaan todeta, että AXMK 300 mm²-kaapelin resistanssi 20 °C:ssa on 0,1 mΩ/m eli 0,001 Ω/m. Kun halutaan laskea resistanssi 70 m:lle, saadaan se yksinkertaisesti

$$R = 0,0001 \Omega \times 70 \text{ m} = 0,007 \Omega \quad (20)$$

SUBM01 sähköasemalta sähkökattilalle menevät kaapelit asennetaan rinnan. AXMK 300 mm²-kaapeleita asennetaan kuusi kappaletta. Rinnakkaiskytkennän kokonaisresistanssi saadaan kaavasta

$$\frac{1}{R_{kok}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}, \text{ jossa } R_{kok} = \text{Kokonaisresistanssi} \quad (21)$$

R_{1-6} =Johtojen resistanssit

$$\frac{1}{R_{kok}} = \frac{1}{0,007} + \frac{1}{0,007} + \frac{1}{0,007} + \frac{1}{0,007} + \frac{1}{0,007} + \frac{1}{0,007} = 944,88 \text{ 1}/\Omega \quad (22)$$

$$R_{kok} = \frac{1}{944,88} = 0,00105833545 \sim 0,00106 \Omega \quad (23)$$

Eli yhden vaiheen kaapelin resistanssi on 0,00106 Ω.

Jännitteenalenema lasketaan yksivaiheisella sijaiskytkennällä, eli

$$U_{hv} = R_{kok} \times I_n, \text{ jossa } U_{hv} = \text{yhden vaiheen jännitehäviö} \quad (24)$$

$$\text{eli } U_{hv} = 0,00106 \, \Omega \times 2309 \, A = 2,45 \, V \quad (25)$$

Täten jokaisen vaiheen jännitteenalenema 2,45 V. Jotta saadaan laskettua pääjännitteen jännitteenalenema, täytyy muuttaa vaihejännitteen jännitehäviö pääjännitteen jännitehäviöksi kaavalla

$$U_h = \sqrt{3} \times U_{hv} \quad (26)$$

eli

$$U_h = \sqrt{3} \times 2,45 \, V = 4,24352447854 \sim 4,24 \, V \quad (27)$$

Jos pääjännite on 400V ja jännitteen alenema on 4,24 V, tekee se prosentuaalisesti jännitteen alenemaksi

$$\sqrt{3} \times 4,24352447854 \, V \times 100 \div 400 \, V = 1,835655 \sim 1,8 \% \quad (28)$$

SFS-6000-standardin mukaan pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä ei saa ylittää 8 %. Edellä lasketun perusteella jännitteenalenema on täten hyväksyttävissä lukemissa. /7/

SUBM01 sähköasemalla sijaitsevassa muuntajassa on käämikytkin. Käämikytkimellä voidaan säätää muuntajan ensiö- ja toisiopuolen jännitettä (**Taulukko 4.**). Tätä kutsutaan tapitukseksi. Muuntajan on toimittanut Siemens ja se on toimituksen yhteydessä tehnyt käyttöönottopöytäkirjan. Tämän pöytäkirjan mukaan muuntajan voi tapittaa viidellä eri jännitetasolla:

Taulukko 4. Muuntajan käämikytkimen tapitukset.

| Tapitus | Yläjännite | Alajännite |
|---------|------------|------------|
| | | |

| | | |
|-------|----------|-------|
| Tap 1 | 21 000 V | 400 V |
| Tap 2 | 20 500 V | 400 V |
| Tap 3 | 20 000 V | 400 V |
| Tap 4 | 19 500 V | 400 V |
| Tap 5 | 19 000 V | 400 V |

Kun yläjännitepuolelle tapitetaan 20 000 V, saadaan alajännitepuolelle hieman yli 400 V. Tällä voidaan kompensoida muuntajan ja syöttökaapelin jännitehäviötä ja sähkökattilaa pystytään syöttämään nimellisjännitteellä, eli 400 V:lla.

4 SÄHKÖKATTILA OSANA LEMENEÄ

Sähkökattilaa voidaan soveltaa LEMENE-hankkeessa eri tavoin. Sähkökattilaa voidaan ajaa aurinkoenergialla, kaasumoottoreilla tai ottamalla tarvittava sähkö suoraan valtakunnan verkosta. Kun sähkökattilan vastukset lämmittävät sähkökattilassa olevaa vettä, voidaan lämmin vesi siirtää kaukolämpöakkuun. Kaukolämpöakulla voidaan varastoida lämmintä vettä ja ajaa sitä tilanteen tullen kaukolämpöverkkoon.

Sähkökattilan käytössä on huomioitava erilaiset skenaariot. Sähkökattilaa halutaan syöttää aurinkoenergialla tilanteessa, kun aurinkoenergiaa on tarjolla paljon. Tällainen tilanne syntyy helposti kesäpäivänä. Kaukolämpöverkolle on myös paljon eri lämmön lähteitä samassa tilanteessa, kun aurinkoenergiaa on paljon tarjolla. Tällöin kaukolämmön menekki on huono. Kun taas kaukolämpöverkko tarvitsee eniten energiaa, esimerkiksi talvella, on aurinkoenergiaa saatavilla todella rajattu määrä. Täten sähkökattilan käyttöä pitää optimoida ja suunnitella etukäteen hyvin. /8/

Sähkökattilaa voidaan myös syöttää kaasumoottoreilla. Kaasumoottoreita ajetaan tietyin väliajoin huoltokäytössä, joten sähkökattilaa on hyvä käyttää tällaisessa tilanteessa. Voi olla myös tilanne, jossa sähköä saadaan tuotettua ainoastaan kaasumoottoreilla. Tällöin voidaan sähkökattilaa syöttää kaasumoottoreilla ja tuottaa lämpöenergiaa kaukolämpöverkkoon.

Sähkökattilan hankinta mahdollistaa myös sähkövarastojen monipuolisemman käytön. Normaalisti SUB01:llä sijaitsevat sähkövarastot Siestorage ja Merus pidetään varauskapasiteetiltaan 60 %:n ja 40 %:n latauksissa. Sähkövarastot ovat loistavia Fingridin reservimarkkinoiden ylössäädössä. Kun sähköverkon taajuus on laskenut, voidaan sähkövarastojen latausta purkaa verkkoon, jolloin verkon taajuutta

säädetään ylöspäin. Verkon taajuutta saadaan myös säädettyä ylöspäin kytke-
mällä sähkökattila irti verkosta ja turvautumalla kaukolämmössä lämpöakkuun
sähkökattilan sijaan. Jos Fingridin sähköverkon taajuus taas lähtee nousemaan,
voidaan akkuihin varata sähköä ja täten alassäätää verkon taajuutta. /8/

Sähkökattila on loistava ratkaisu reservimarkkinoiden alassäätöä varten. Kun ver-
kon taajuus nousee, voidaan sähkökattila kytkeä päälle, jolloin se kuluttaa sähköä
ja täten laskee verkon taajuutta.

Sähkökattilan hankinnalla voidaan täten optimoida reservimarkkinoille osallistu-
mista. Sähkökattilalla voidaan ensisijaisesti osallistua verkon alassäätöön, jolloin
sähkövarastojen varauskapasiteettia voidaan nostaa 60 %:sta ja 40 %:sta esimer-
kiksi 80 %:iin. Tällöin sähkövarastoilla osallistuttaisiin ensisijaisesti verkon ylössä-
töön, eli sähkövarastojen varauskapasiteetin ollessa korkeampi kuin nykyisellään,
voidaan niistä purkaa enemmän sähköä kantaverkkoon reservimarkkinoiden ylös-
säädössä.

Siemens Siestoragen kokonaiskapasiteetti on 2,4 MVA. Jos siitä on käytössä 60 %,
tekee se

$$\frac{2,4 \text{ MVA}}{0,60} = 1,44 \text{ MVA.} \quad (29)$$

Käyttämättä on siis 0,96 MVA. Meruksen kokonaiskapasiteetti on 1,6 MVA. Jos
siitä on käytössä 40 %, tekee se

$$\frac{1,6 \text{ MVA}}{0,40} = 0,64 \text{ MVA} \quad (30)$$

Meruksen sähkövarastossa käyttämättä jää siis 0,96 MVA. Yhteensä molempien
sähkövarastoiden varauskapasiteettia jää käyttämättä

$$0,96 \text{ MVA} + 0,96 \text{ MVA} = 1,92 \text{ MVA} \quad (31)$$

Molempien sähkövarastojen kapasiteettia voitaisiin nostaa reservimarkkinoiden ylössäätöä ajatellen. Sähkökattila siis mahdollistaa akustojen monipuolisemman käytön.

5 SÄHKÖKATTILAN KÄYTTÖ FINGRIDIN SÄHKÖMARKKINOILLA

Fingrid on Suomen kantaverkkoyhtiö. Yhtiö vastaa Suomessa kantaverkon rakentamisesta, ylläpidosta ja operoinnista. Yhtiö myös ylläpitää ja kehittää reservisähkön ja säätösähkön markkinapaikkoja. /9/

Kantaverkko koostuu suurjännitelinjoista. Suurjännitelinjoja on kolmea eri jännitetasoa; 400 kV, 220 kV ja 110 kV. Suurjännitelinjoja pitkin sähköä voidaan siirtää pitkiäkin välimatkoja pienellä siirtohäviöllä. Suomessa sähköverkon taajuus on 50 Hz. Koska sähköä ei voida varastoida suurissa määrin, täytyy kulutuksen ja tuotannon olla yhtä suurta kaiken aikaa. Tätä kutsutaan sähköverkon tehotasapainoksi. Jos sähköä kulutetaan enemmän kuin sitä tuotetaan, sähköverkon taajuus alkaa laskea. Tämä johtaa sähkökatkoihin ja yhteiskunnan tärkeät toimet voivat vaarantua. Tämän takia Fingrid on kehittänyt Suomeen reservimarkkinat. /9/

Reservimarkkinoita on viidenlaisia:

- Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)
- Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)
- Nopea taajuusreservi (FFR)
- Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)
- Säätösähkömarkkinat ja nopea häiriöreservi (mFRR)

Kaikilla edellä mainituilla reserveillä on omat velvoitteensa, jotka täyttämällä niihin voi osallistua. Lempäälän energian hankkimalla sähkökattilalla voidaan osallistua taajuusohjattuun häiriöreserviin (FCR-D). /9/

Taajuusohjattu häiriöreservi aktivoituu taajuudenmuutoksista automaattisesti. Niillä vakautetaan taajuutta, riippuen onko taajuus noussut vai laskenut. Taajuusohjattu häiriöreservi pyrkii pitämään taajuuden vähintään 49,5 Hz:ssä ja enintään

50,5 Hz:ssä. Taajuusohjatussa häiriöreservissä on mahdollisuus osallistua pelkääntään ylös- tai alassäätöön. Näissä molemmissa pätee seuraavat tekniset vaatimukset:

- Säädön minimikoko 1 MW
- Aktivoitumisaika 5 s/50 % ja 30 s/100 %.
- Askelmainen taajuusmuutos ylössäädössä 49,9 Hz:stä 49,5 Hz:iin ja alassäädössä 50,1 Hz:stä 50,5 Hz:iin

Aktivoitumisajalla tarkoitetaan sitä, kun esimerkiksi reservikapasiteetin ylössäätö aloitetaan, tarvitsee taajuusohjatushäiriöreservistä minimissään 50 % aktivoitua viiden sekunnin aikana ja 30 sekunnin aikana täydet 100 %. Jäspi FIL SPL 1600kW kattilan aktivoitumisaika on noin sekunnin verran, eli sen verran kuinka kauan ohjauksikäskyllä kestää aktivoida sähkökattilan vastukset. /9/

Jotta yritys voi osallistua taajuusohjattuun häiriöreserviin, täytyy Fingridin tekniset vaatimukset täyttää säätökokeilla. Kun säätökokeet on läpäisty, voidaan reservimarkkinoille osallistua. /9/

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli mitoittaa sähkökattila ja sille sopivat liityntäkaapelit Lempäälän Energian energiayhteisöön, joka sijaitsee Marjamäessä, Lempäälässä. Opinnäytetyössä pohdittiin myös takaisinmaksuaikaa, sekä Fingridin sähkömarkkinoille osallistumista.

Opinnäytetyötä oli mielenkiintoista tehdä, sillä aihe ei ollut entuudestaan kovin tuttu. Energia-alan ollessa murroksessa, sähkökattilat ja erilaiset energian tuotto- ja säilöntäratkaisut tulevat lisääntymään tulevaisuudessa kovaa tahtia.

Eniten haasteita tuotti sähkömarkkinoiden pohtiminen. Sähkömarkkinat ovat kokonaisuudessaan todella laaja aihe, eikä niistä ole ollut opintojaksoa koulussa. Myös kaukolämpöön liittyvät asiat ovat vieraita, sillä ne kuuluvat enemmän energiatekniikan koulutukseen.

Opinnäytetyön tekoa helpotti kesätyö Lempäälän Lämmöllä kesällä 2020. Lempäälän energiayhteisön alue ja laitteisto olivat entuudestaan tuttuja. Myös hyvä opinnäytetyön ohjaus Lempäälän Energialta ja Vaasan ammattikorkeakoululta auttoivat valtavasti.

LÄHTEET

- /1/ Lempäälän lämpö Oy. Verkkosivut. Viitattu 10.2.2021. <https://www.lempaalanlampo.fi/>
- /2/ Jäspi Oy FIL-SPL asennus- ja käyttöohje. Viitattu 14.5.2021. <https://jaspi.fi/tuote/fil-sahkokattila/>
- /3/ Jormakka R., Koivusalo K., Lappalainen J. & Niskanen M. 2016. Laskenta-toimi. Otavan kirjapaino Oy. Keuruu. Viitattu 14.9.2021.
- /4/ Fortum Oy. Verkkosivut. Viitattu 2.11.2021. <https://www.fortum.fi/>
- /5/ Energiavirasto. Verkkosivut. Viitattu 6.11.2021. <https://energiavirasto.fi/hinnoittelun-valvonta>
- /6/ Prysmian Group Oy. Verkkosivut. Viitattu 25.10.2021. https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/cpr%20AXMK-PLUS%20220219.pdf
- /7/ SFS-6000. Pienjänniteasennukset. Osa 5–52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Taulukko G.52.1 Jännitteenalenema. Helsinki: Sesko ry. 2017. 67 s.
- /8/ Kettunen M. Hankepäällikkö Lempäälän Lämpö Oy. Haastattelu 1.11.2021. Haastattelija Tomi Tahvanainen.
- /9/ Fingrid Oy. Verkkosivut. Viitattu 16.11.2021. <https://www.fingrid.fi>