



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niklas Peltonen

MUUTOSTÖIDEN JA INVESTOINTIEN
SELVITYS ZETA ZVPI-SÄHKÖKATTI-
LAN SOVELTAMISELLE KAUKOLÄM-
PÖVERKKOON

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|--|
| Tekijä | Niklas Peltonen |
| Opinnäytetyön nimi | Muutostöiden ja investointien selvitys ZETA ZVPI-sähkökattilan soveltamiselle kaukolämpöverkkoon |
| Vuosi | 2019 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 42 |
| Ohjaaja | Jens Storvist Mikko Västi |

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi kaukolämmön tuotantoa yleisesti sekä selvitetään ZETA ZVPI 2840-elektrodikattilan käyttöönottomahdollisuuksia mahdollisimman kustannustehokkaasti Vaasan Sähkö Oy:n toimitiloissa. Verrataan myös kattilan lämmöntuotantokustannuksia öljyn lämmöntuotantokustannuksiin. ZETA-elektrodikattilan käyttöönottoa ajateltiin, koska sähköhinnat ovat olleet useaan otteeseen matalalla ja öljyn hinta sekä päästöoikeuksien osuudet ovat kasvaneet vuosittain runsaasti.

Työssä luodaan erilaisia toteutusvaihtoehtoja kattilan käyttöönotolle ja lasketaan eri vaihtoehdolle hinnat. Alussa eri vaihtoehtoja oli kuusi, mutta työn edetessä niitä jäi jäljelle kolme, joille sitten laskettiin tarvittavien hankintojen kulut. Käyttöönottomahdollisuuksien jälkeen verrattiin kattilalla lämmöntuottamisen kuluja öljyllä tuottamiseen.

Työn aikana selvisi erilaisia ongelmia sähköverkon kuormitukselle, sekä sähkönjakelun suuri osuus kattilan lämmöntuotantokustannuksista. Selvityksessä päästiin lopputulokseen, että sähkökattilalla lämmöntuottaminen ei ole kannattavaa, ainakaan nykyisessä paikassa.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 8 |
| 1.1 | Opinnäytetyön tavoite | 8 |
| 1.2 | Yhtiön esittely | 8 |
| 2 | KAUKOLÄMPÖ YLEISESTI | 9 |
| 2.1 | Toimintaperiaate | 9 |
| 2.2 | Tuotanto | 11 |
| 3 | ZETA ZVPI 2840-SÄHKÖLÄMMINVESIKATTILA | 13 |
| 3.1 | Toimintaperiaate | 13 |
| 3.2 | Rakenne | 15 |
| 3.3 | Lämpöverkkoon liittäminen | 16 |
| 3.4 | Alkutilanne | 17 |
| 3.5 | Nykytilanne | 18 |
| 4 | SELVITYSTYÖN ALOITUS | 23 |
| 4.1 | Mahdollisuudet kattilan kytkemiseksi kaukolämpöverkkoon | 23 |
| 4.1.1 | Vaihtoehto 1 | 24 |
| 4.1.2 | Vaihtoehto 2 | 25 |
| 4.1.3 | Vaihtoehto 3 | 26 |
| 4.1.4 | Vaihtoehto 4 | 27 |
| 4.1.5 | Vaihtoehto 5 | 28 |
| 4.1.6 | Vaihtoehto 6 | 29 |
| 4.2 | Sähköverkon haasteet | 29 |
| 4.3 | Kattilan modifiointimahdollisuudet | 30 |
| 5 | SELVITYSTYÖN RATKAISUT | 31 |
| 5.1 | Kytkentävirtasysäyksen pienentäminen | 31 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2 | Lopulliset vaihtoehdot kattilan kytkemiseksi kaukolämpöverkkoon | 31 |
| 5.2.1 | Vaihtoehto 1 | 32 |
| 5.2.2 | Vaihtoehto 2 | 33 |
| 5.2.3 | Vaihtoehto 3 | 34 |
| 5.3 | Vaihtoehtojen hinnat | 34 |
| 5.4 | Sähkön ja öljyn hinnan vertailu tuotannossa | 35 |
| 6 | YHTEENVETO | 41 |
| | LÄHTEET | 42 |

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

| | |
|--|----|
| Kuva 1. Lämmityksen markkinaosuudet 2017. /2/ | 9 |
| Kuva 2. Esimerkki kaukolämpöputkistosta | 10 |
| Kuva 3. Kaukolämmön tuotanto energialähteittäin v. 2018. /2/ | 11 |
| Kuva 4. Vaasan kaukolämmön tuotannon jakauma 1962 - 2018. /5/..... | 12 |
| Kuva 5. ZETA-sähkökattilan läpileikkaus. /7/ | 15 |
| Kuva 6. Kattilan tiedot tarjouksesta vuodelta 1983..... | 18 |
| Kuva 7. Kattilan kilpi. | 18 |
| Kuva 8. Kattilan nykyinen PI-kaavio. | 19 |
| Kuva 9. Nykyiset syötöt Wärtsilän laboratorion kattilalle..... | 20 |
| Kuva 10. Kattilan mahdollinen PI-kaavio, jos syöttö siirtyy Vaasan Sähkölle.... | 21 |
| Kuva 11. Kaukolämmönvaihdin, jonka kautta vesi kiertää..... | 22 |
| Kuva 12. Vaihtoehto 1, 10kV, 20MW. | 24 |
| Kuva 13. Vaihtoehto 2, 10kV, 20MW. | 25 |
| Kuva 14. Vaihtoehto 3, 10kV, 20MW. | 26 |
| Kuva 15. Vaihtoehto 4. 20kV 20/40MW. | 27 |
| Kuva 16. Vaihtoehto 5, 20kV, 20/40MW. | 28 |
| Kuva 17. Vaihtoehto 6, 20kV, 20/40MW. | 29 |
| Kuva 18. Vaihtoehto 1, vanha muuntaja, 10kV, 20MW..... | 32 |
| Kuva 19. Vaihtoehto 2, uusi muuntaja, 10kV, 20MW..... | 33 |
| Kuva 20. Vaihtoehto 3, uusi 20kV kattila, 20MW..... | 34 |
| Kuva 21. Sähkötuotannon hinnat. | 36 |
| Kuva 22. Öljytuotannon hinnat. | 36 |
| Kuva 23. Vuosittaiset sähkön jakeluun kuuluvat hinnat. | 37 |
| Kuva 24. Kokonaishinnat sähkötuotannolle..... | 37 |
| Kuva 25. Kaikkien hintojen vertailu. | 38 |
| Kuva 26. Tappiot kuvattuna. | 38 |
| Kuva 27. Kuvaaja 2018..... | 39 |
| Kuva 28. Kuvaaja 2017..... | 39 |
| Kuva 29. Kuvaaja 2016..... | 40 |

KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|-----------|------------------------------------|
| MW | Megawatti |
| MWh | Megawattitunti |
| kV | Kilovoltti |
| PK | Pääkeskus |
| VSV | Vaasan Sähköverkko |
| MVA | Megavoltiampeeri |
| ZETA | Sähkökattilan merkki |
| ZVPI 2840 | Sähkökattilan malli |
| A | Ampeeri |
| PI-kaavio | Putkitus- ja instrumentointikaavio |
| KL | Kaukolämpö |
| SKT | Sähkökattilatuotanto |

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi kaukolämmön perusasioita ja vanhan ZETA ZVPI 2840-sähkökattilan toimintaperiaatteita kaukolämpöverkossa sekä tutkitaan sen käyttöön palautusta nykyiseen Vaasan kaukolämpöverkkoon. Kattila on ollut vuodesta 2005 saakka kytketty ja vuokrattu Wärtsilälle moottorikoeajon kuormaksi.

Työssä selvitetään kattilan nykytila rakenteen ja kapasiteetin osalta sekä vaihtoehtoja sen käyttöönotolle kaukolämpöverkkoon ja valitun toteutusvaihtoehdon suunnittelu ja budjetointi.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Vaasan Sähkö Oy:n kaukolämpöyksikkö.

1.1 Opinnäytetyön tavoite

Tavoitteena työssä on selvittää kattilan modifiointimahdollisuudet sen kytkemiseksi sähköverkkoon ja tuottamaan lämpöä kaukolämpöverkkoon suurimmalla taloudellisesti saatavalla teholla sekä verrata kyseisellä kattilalla lämmöntuotannon kustannuksia öljytuotantoon verrattuna.

1.2 Yhtiön esittely

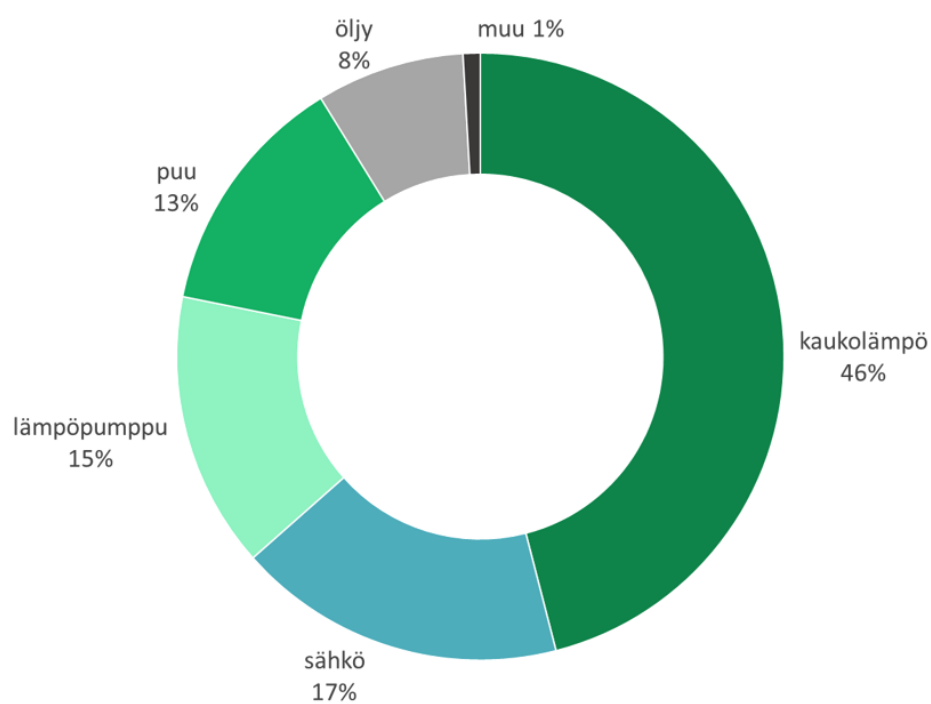
Vaasan Sähkö on vaasalainen 13. huhtikuuta 1892 perustettu energiakonserni, johon kuuluu emoyhtiö Vaasan Sähkö Oy:n lisäksi Vaasan Sähköverkko Oy sekä Oy RAVERA Ab. Sen perusti Johan Wilhelm Samberg yhdessä Hugo Sölfverarmin ja paikallisten liikemiesten kanssa. Samberg oli myös yhtiön ensimmäinen toimitusjohtaja. /9/

Yhtiön omistaa käytännössä kokonaan Vaasan kaupunki ja se työllistää n. 150 henkilöä. Toimitusjohtajaksi valittiin vuonna 2018 Stefan Damlin. /1/

Yhtiön 111,9 M€ liikevaihto koostuu suurimmaksi osaksi sähkön myynnistä. /1/

2 KAUKOLÄMPÖ YLEISESTI

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto, noin 46 % lämmitysenergiasta tuotettiin kaukolämmöllä vuonna 2017 (**Kuva 1**). Sitä tuotetaan erillisten lämpölaitosten lisäksi myös yhteistuotantolaitoksissa. Niissä otetaan talteen turbiineissa sähköntuotannon aikana syntyvä hukkalämpö. Yhteistuotantolaitosten osuus kaukolämmön tuotannossa onkin kasvanut merkittävästi viime vuosikymmenellä. Suomen kaukolämpötuotanto on väkilukuun suhteutettuna Pohjoismaiden suurinta. /2-4/



Kuva 1. Lämmityksen markkinaosuudet 2017. /2/

2.1 Toimintaperiaate

Lämpö siirretään asiakkaille tuotantolaitokselta maan alla kulkevaa tuplaputkistoa käyttäen, josta toinen on menoputki ja toinen paluuputki (**Kuva 2.**). Menoputkessa kuuma vesi johdetaan kiinteistön lämmönjakokeskukseen, josta se siirtyy lämmönsiirtimen avulla asiakkaan lämmitysverkkoon ja käyttöveden lämmitykseen. /6/



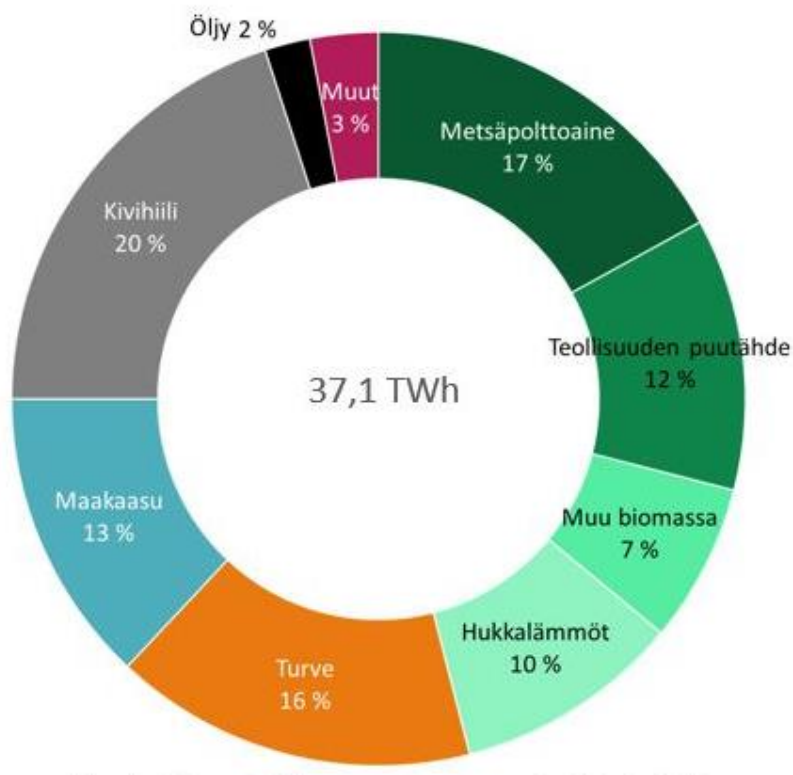
Kuva 2. Esimerkki kaukolämpöputkistosta.

Lämpöä käytetään huoneiden ja käyttöveden lämmityksen lisäksi ilmanvaihtoon ja joissain tapauksissa myös katujen lämmitykseen. Jäähdyntynyt kaukolämpövesi palaa paluuputkea pitkin tuotantolaitokselle, jossa se lämmitetään uudelleen. /5/

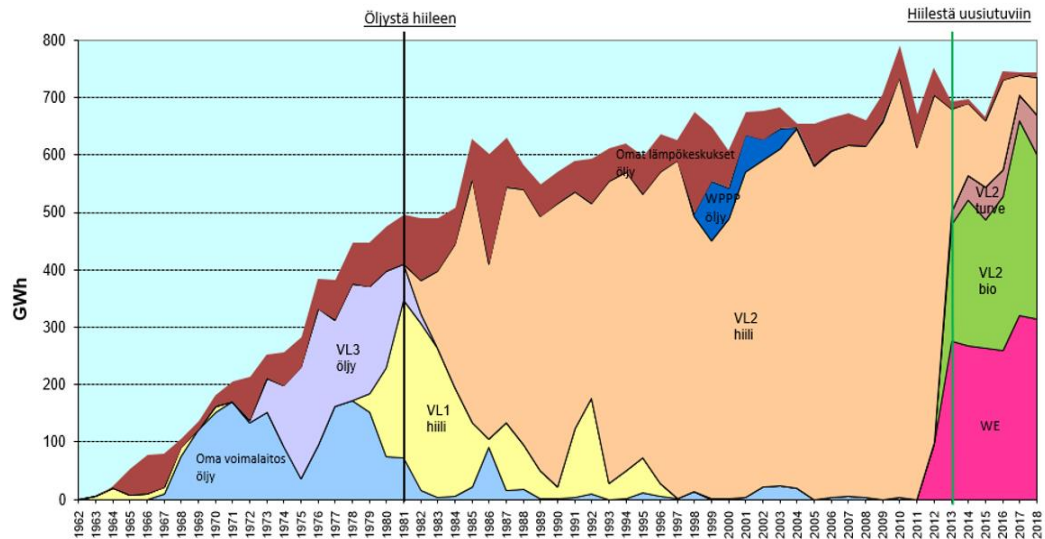
Veteen on lisätty vihreää väriainetta vuotojen havaitsemisen helpottamiseksi.

2.2 Tuotanto

Polttoaineina käytetään yleisimmin laitoskohtaisesti puuta, muuta biomassaa, kivihiiltä, maakaasua, turvetta, jätettä tai öljyä. Fossiilisten polttoaineiden osuus on pienentynyt jo useita vuosia. Niiden osuus tuotannosta oli 35 % vuonna 2018, kun hiilidioksidineutraalien osuus oli 46 % **(Kuva 3.)** /2-4/



Kuva 3. Kaukolämmön tuotanto energialähteittäin v. 2018. /2/



Kuva 4. Vaasan kaukolämmön tuotannon jakauma 1962 - 2018. /5/

Graafista näkyy 2 suurta muutosta tuotannossa, vuonna 1981, kun siirryttiin öljyn käytöstä hiileen ja vuonna 2012, kun siirryttiin lähes kokonaan hiilestä uusiutuviin tuotantomuotoihin (**Kuva 4.**).

Kaukolämmön tuotannolla on paljon hyviä puolia, joita ovat ainakin:

- tuotanto monella eri tavalla
- toimitusvarmuus
- energiatehokkuus
- ympäristöystävällisyys. /2-4/

3 ZETA ZVPI 2840-SÄHKÖLÄMMINVESIKATTILA

ZETA ZVPI on elektrodikattila, jossa elektrodien välityksellä sähkövirta johdetaan veden läpi, joka toimii lämpöä kehittävänä vastuksena. Kattila koostuu paineastiasta, jossa on sisällä 3 tai 6 vaihe-elektrodia, jotka asennetaan läpivientieristimille. Läpivientieristimet on yleisimmin asennettu laippaliitoksin paineastian alapäätyyn. /7/

Vaihe-elektrodit ovat nollapiste-elektrodien ympäröimiä, jotka toimivat myös kattilan nollapisteenä. Keskusakseliin kiinnitetyt säätölieriöt, joiden avulla tehoa säädellään, on kytketty säätömoottoriin, jolla niitä voidaan nostaa tai laskea siten, että ympäröivät pienemmän tai suuremman osan vaihe-elektrodeista.

Kattilan runko ja säätömoottori on liitetty kehikkoon eristimillä. Meno- ja paluuputki on erotettu kattilan rungosta galvaanisesti eristinputkilla. /7/

Sähköliitännät tehdään läpivientipultteihin, jotka ovat eristimien ympäröiminä, yksi vaihe jokaiseen pulttiin. Pultit kierretään jokainen omaan elektrodiinsa. /7/

Kattilalla on myös hyvät ominaisuudet:

- hyvä kustannustehokkuus
- korkea käyttövarmuus
- hyvä hyötysuhde
- vähäinen huollon tarve
- pitkä käyttöikä
- hiljainen
- ympäristöystävällinen. /7/

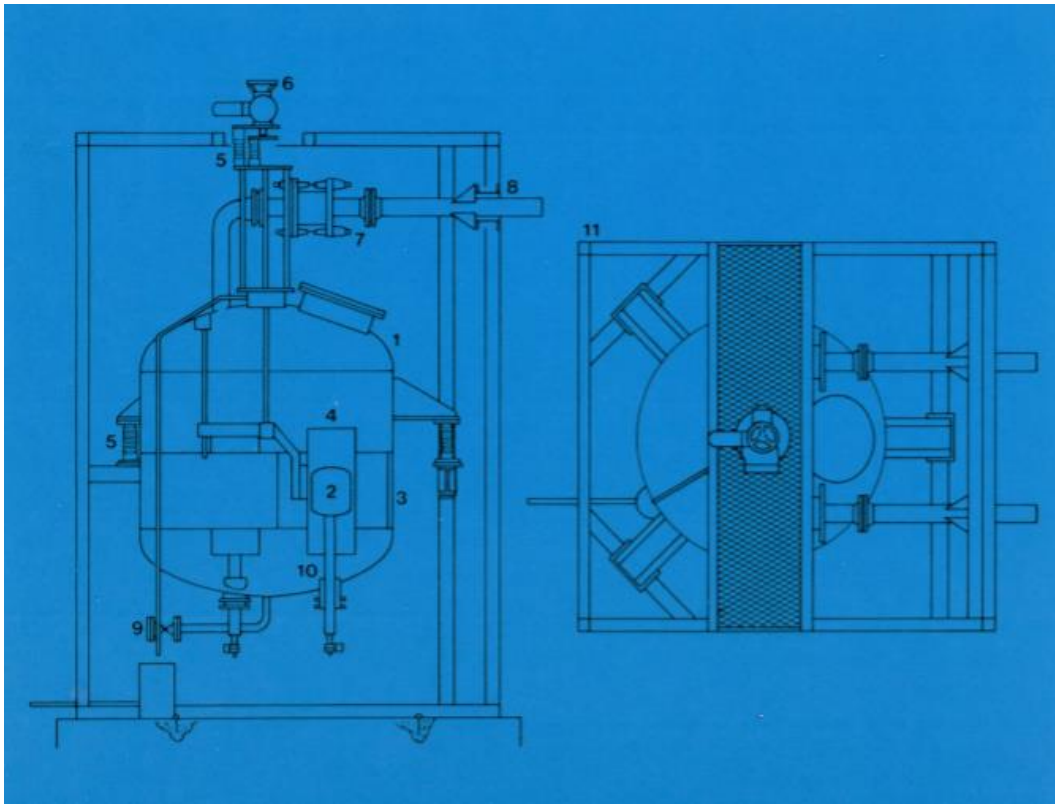
3.1 Toimintaperiaate

Sähköenergiaa johdetaan elektrodien välityksellä veteen, joka lämpenee virran vaikutuksesta. Virran voimakkuuteen vaikuttaa veden johtokyky ja elektrodien aktii-

vipinta-ala. Pinta-alaa säädetään säätölieriöiden avulla minimi- ja nimellistehon välillä. Minimiteho on kattilan koosta ja käyttöjännitteestä riippuen n. 12-20 % nimellistehosta. /7/

Veden sähkönjohtokyky määräytyy lämpötilan ja suolapitoisuuden mukaan. Johtokyvyn ei tulisi ylittää 10 μ S/cm. Paluuveden lämpötila on tärkeää olla määritetty, jos se laskee liikaa, sitä nostetaan sekoittamalla menovettä siihen. Tarvittaessa veden johtokykyä voidaan kohottaa lisäämällä trinatriumfosfaattia (Na₃PO₄). Veden pH-arvon täytyy olla 8,5 – 9,5 ja sitä voidaan kohottaa lisäämällä natriumhydroksidia (NaOH). Kattilan säätömoottori, joka ohjaa tehoa, saa lisää- tai vähennä-käskyjä lämpötilan- tai tehonsäädöltä. /7/

3.2 Rakenne



Kuva 5. ZETA-sähkökattilan läpileikkaus. /7/

Kuvassa 5. esitetty Sähkökattilan läpileikkaus ja sen eri komponentit.

1. sähkökattila
2. vaihe-elektrodi
3. nolleelektrodi
4. säätölieriö
5. eristin
6. säätömoottori
7. eristinputki
8. tukipiste
9. tyhjennysventtiili
10. läpivientieristin
11. kehikko.

3.3 Lämpöverkkoon liittäminen

Sähkökattila liitetään kaukolämpöverkkoon lämmönvaihtimen avulla. Kaukolämpöverkon menoveden lämpötilaa säädetään kulutustarpeen, verkon kapasiteetin ja rakenteen mukaan. Verkkoon voi myös varata jonkin verran lämpöä lämmittämällä vettä yli tarpeen. /7/

Kattilaan asennetaan seuraavat säätö- ja varolaitteet toiminnan aikaansaamiseksi:

Menoveden lämpötilan säätö (ensiöpiiri)

Menoveden lämpötilaa mitataan lämpötila-anturilla, joka on liitetty mittamuuntimen avulla säätäjään. Säätäjältä tulee ohjauskäsky säätömoottorille, joka ohjaa säätölieriöt lämmönkulutusta vastaavalle teholle ja ylläpitää vakiolämpötilaa. /7/

Paluueden lämpötilan säätö (toisiopiiri)

Paluueden lämpötila mitataan samoin kuin menoveden ja lisäksi se ohjaa kattilapiirin 3-tieventtiiliä siten, että oikea lämpötila saavutetaan. /7/

Kattilan tehon rajoitus

Kattila on varustettu tehonrajoituslaitteilla maksimitehon rajoittamiseksi. Säätäjä huomaa, jos teho pyrkii nousemaan yli asetusarvon ja antaa silloin moottorille vähennä-käskyn, jolloin moottori ajaa säätölieriöitä niin, että teho laskee. /7/

Tehon säätö

Vaihtoehtoisesti säätäjä voi ohjata kattilaa liittymän kokonaistehon mukaan ja täyttää sen käyttämättä olevan osan. /7/

Toimitermostaatti

Toimitermostaatti avaa katkaisijan silloin, kun tehontarve alittaa kattilan minimitehon (2MW tässä tapauksessa). Jälleenkytkentä tapahtuu automaattisesti, kun tehontarve ylittää minimitehon ja lämpötila on laskenut kytkentädifferentssin mukaan n. 5-10 °C. /7/

Varo-termostaatti

Varo-termostaatti on lämpötilan rajoitin ja se on asennettu n. 5 astetta toimitermostaatin asetteluarvon yläpuolelle. Se on myös mekaanisesti lukittu, jolloin se ei jälleenkytke automaattisesti katkaisijaa yllilämpötilasta johtuvan laukeamisen jälkeen. /7/

Virtausvahti, ala- ja ylärajapainevaihti

Virtausvahti, ala- ja ylärajapainevahti ohjaavat termostaattien tavoin kattilan katkaisijaa suoraan. /7/

3.4 Alkutilanne

Kattilasta on alun perin annettu tarjous vuonna 1983 (**Kuva 6.**) ja se on otettu käyttöön vuonna 1984. Sen alkuperäinen teho on ollut 20MW 5,25kV jännitteellä (**Kuva 7.**).

ZETA-sähköelektrodikattila, malli ZVPI 2840

| | | |
|----------------------|--------------|-----------------------|
| jännite | | 5,25 kV |
| teho | | 20 MW |
| minimiteho | | 3 MW |
| eristetty 0-piste | | 0,75 kohn |
| rakennelämpötila | | 130 ast. C |
| rakennepaine | | 0,6 MPa |
| käyttölämpötila | | 120 ast. C |
| käyttöpaine | | 0,25 MPa |
| liitännät | | NS 250 (hitsattavat) |
| suurimman osan paino | | 7,7 t |
| kokonaispaino | | 37 t |
| vesitilavuus | | 21 m ³ |
| säätömoottori | <i>Fluma</i> | SAR 6, 0,12 kW, 0,9 A |
| mittapiirros | | P-36530 |

Kuva 6. Kattilan tiedot tarjouksesta vuodelta 1983.

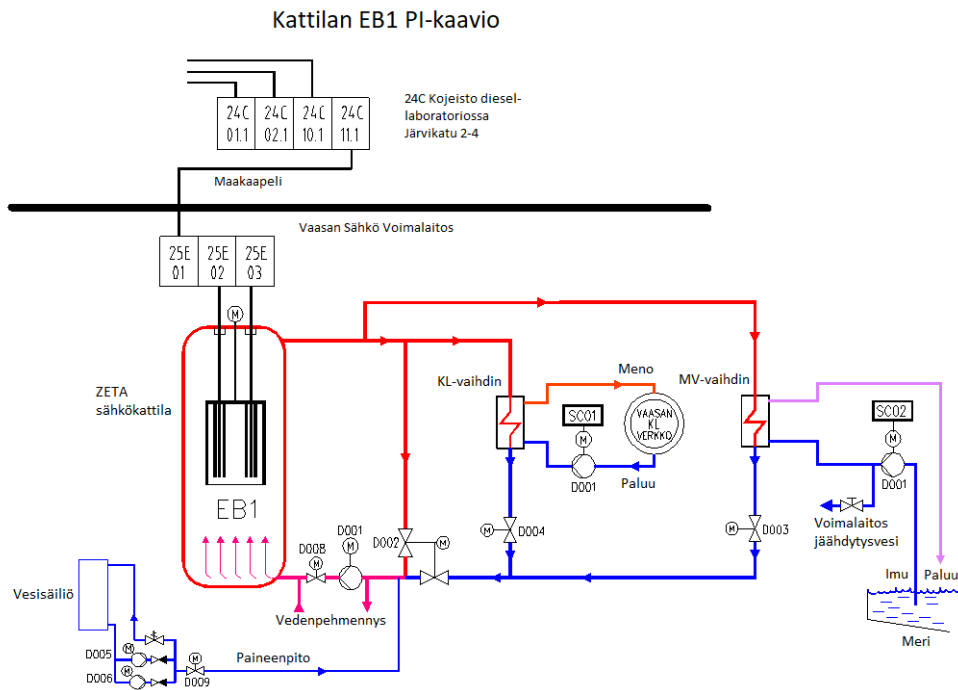


Kuva 7. Kattilan kilpi.

3.5 Nykytilanne

Kattila on ollut vuodesta 2005 saakka Wärtsilällä moottorikoeajon kuormana (Kuva 8.). Silloin siihen on tehty tehonlasku 20 MW:sta 12 MW:iin sekä jännitteennosto 5,25 kV:sta 10 kV:iin. Jännitteenmuutos tehtiin vaihtamalla kattilan si-

sältä elektrodit ja eristimet. Tehonlasku toteutettiin alentamalla vesiliuoksen sähkönjohtavuutta. Työn suoritti Zander & Ingeström, joka toimii Zeta-kattiloiden valmistajana.

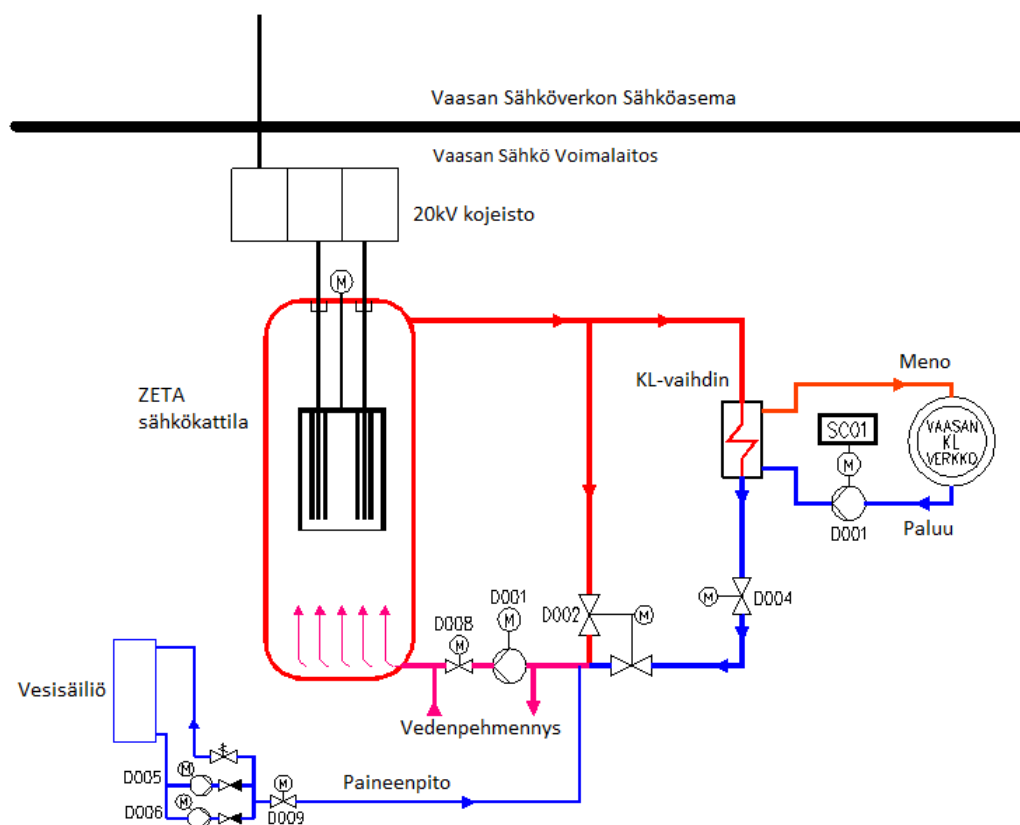


Kuva 8. Kattilan nykyinen PI-kaavio.



Kuva 9. Nykyiset syötöt Wärtsilän laboratorion kattilalle.

Syötöt poistettaisiin käytöstä ja tilalle etsittäisiin tai rakennettaisiin tila, johon uudet kojeistot voitaisiin sijoittaa ja kytkeä (**Kuva 9**).



Kuva 10. Kattilan mahdollinen PI-kaavio, jos syöttö siirtyy Vaasan Sähkölle.

Kattilan siirtyessä Vaasan Sähkön käyttöön, voisi sen käytöstä jättää merivesipiirin kokonaan pois (**Kuva 10.**).



Kuva 11. Kaukolämmönvaihdin, jonka kautta vesi kiertää.

Lämmönvaihdin tai –siirrin on komponentti, jolla siirretään lämpöenergiaa eri lämpötilassa olevien nesteiden välillä lämmitys- tai jäähdytystarkoituksessa. Vaihdin koostuu lämmönsiirrinelementeistä ja säiliöistä tai putkista. Elementtien läpi lämpö siirtyy yleensä nesteestä toiseen johtumalla (**Kuva 11.**). /8/

4 SELVITYSTYÖN ALOITUS

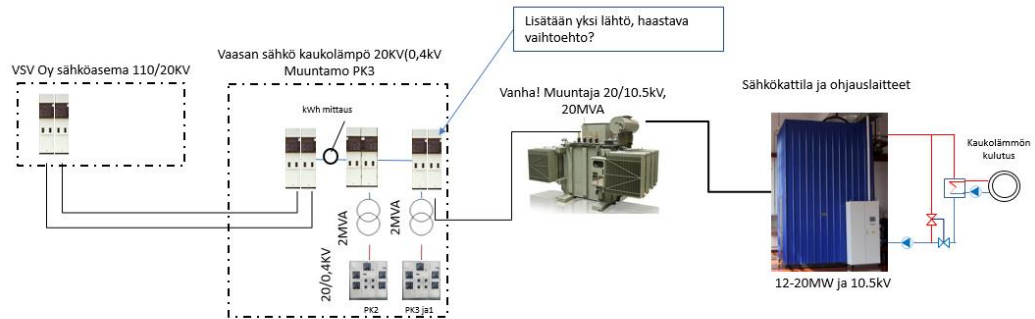
Selvitystyön alussa selvitettiin vaihtoehdot kattilan käytölle kaukolämpöverkossa ja sen rakenteelliset modifiointimahdollisuudet manuaalien perusteella. Hyvin nopeasti soveltuviksi mahdollisuuksiksi valittiin kyseiselle ZVPI 2840-mallille 12MW, 20MW tai mahdollisesti jopa 40MW:in teho 5kV, 10kV tai 20kV jännitteellä. Kattila oli alun perin ollut 5,25kV, joten se oli luonnollisesti yksi vaihtoehdoista, mutta 5kV jännitteen käytön vähäisyys nykypäivänä sai karsittua sen listalta.

4.1 Mahdollisuudet kattilan kytkemiseksi kaukolämpöverkkoon

Mahdollisuuksista piirrettiin kaaviot havainnollistamaan eri vaihtoehtoja sekä autamaan yksittäisten osa-alueiden investointien laskemisessa.

- Vaihtoehto 1: 10kV, 20MW, nykyinen muuntamo uudella lähdöllä.
- Vaihtoehto 2: 10kV, 20MW, uusi kytkinkojeisto.
- Vaihtoehto 3: 10kV, 20MW, oma uusi liittymä kattilalle.
- Vaihtoehto 4: 20kV, 20/40MW, nykyinen muuntamo uudella lähdöllä.
- Vaihtoehto 5: 20kV, 20/40MW, uusi kytkinkojeisto.
- Vaihtoehto 6: 20kV, 20/40MW, oma uusi liittymä kattilalle.

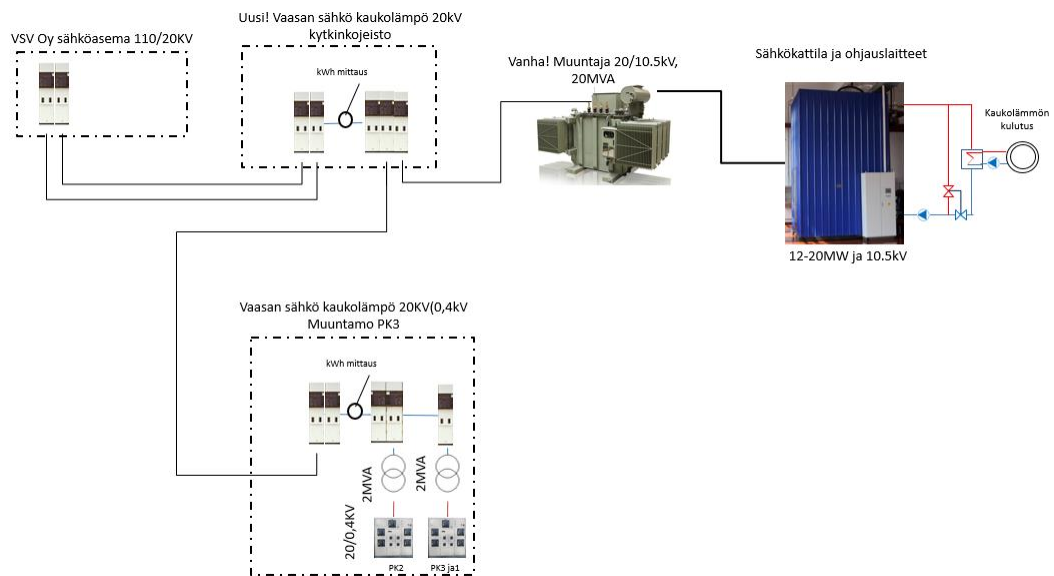
4.1.1 Vaihtoehto 1



Kuva 12. Vaihtoehto 1, 10kV, 20MW.

Vaihtoehdossa nykyiseen PK3-muuntamoon lisättäisiin yksi 20kV lähtö kattilaa varten, mikä saattaisi olla haastava vaihtoehto tilanpuutteen vuoksi. Käytössä olisi myös vanha muuntaja vuodelta 1967 (**Kuva 12.**).

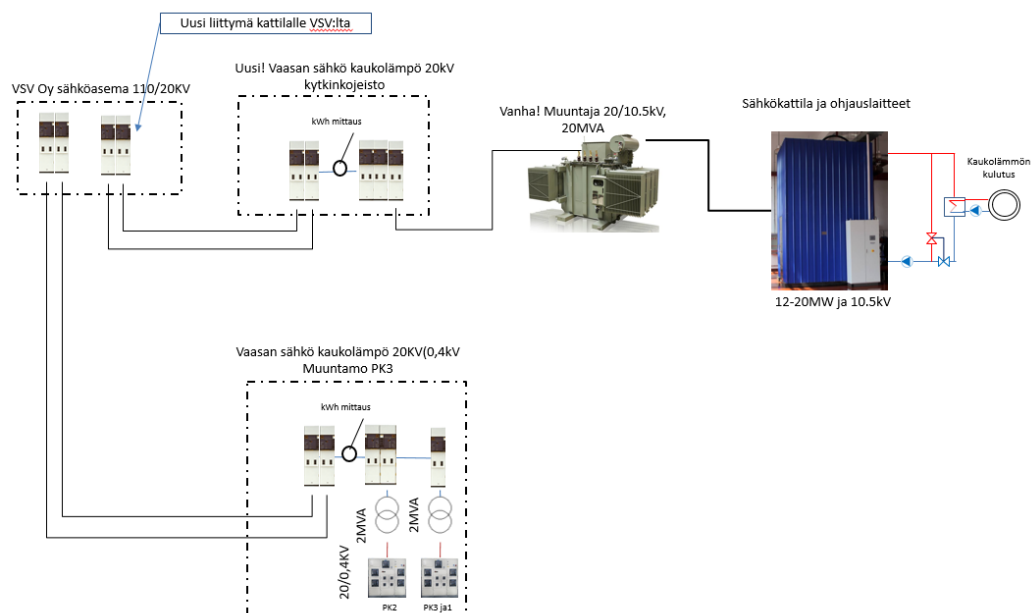
4.1.2 Vaihtoehto 2



Kuva 13. Vaihtoehto 2, 10kV, 20MW.

Toisessa vaihtoehdossa lisättäisiin uusi 20kV kytkinkojeisto samalle lähdölle ennen nykyistä PK3:a. Uuden sähkötilan paikan löytäminen voimalaitokselta vaatii selvittämistä myös (**Kuva 13.**).

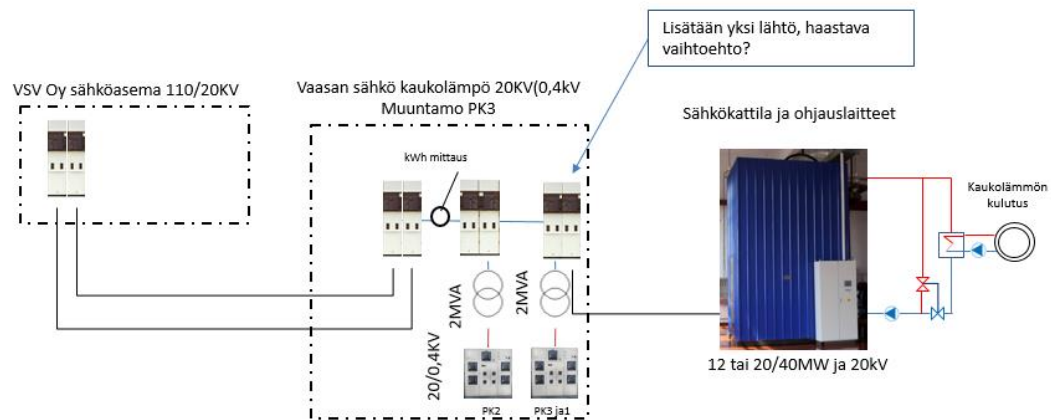
4.1.3 Vaihtoehto 3



Kuva 14. Vaihtoehto 3, 10kV, 20MW.

Tässä vaihtoehdossa kattilalle tehtäisiin kokonaan uusi 20kV:n liittymä Vaasan Sähköverkon sähköasemalta. Uuteen liittymään tehtäisiin myös uusi 20kV:n kytinkojeisto syöttämään 20MVA muuntajaa ja sähkökattilaa (**Kuva 14.**).

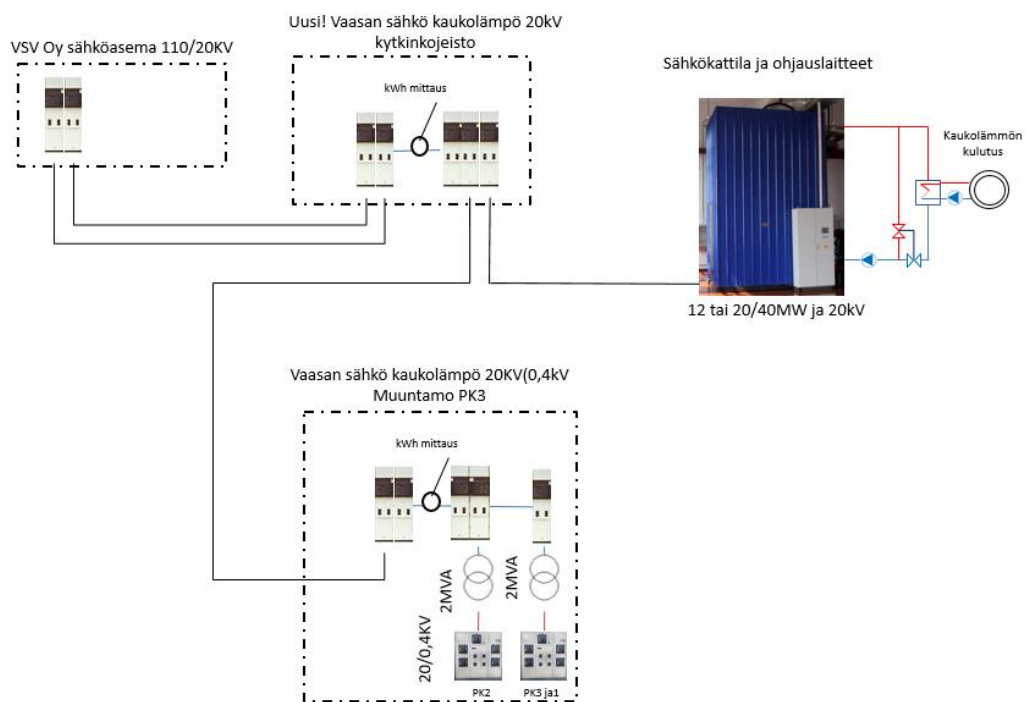
4.1.4 Vaihtoehto 4



Kuva 15. Vaihtoehto 4. 20kV 20/40MW.

Jos kattila olisi mahdollista modifioida sopimaan 20kV:n jännitteelle, voisi vanhan muuntajan jättää käytöstä pois, jolloin sen kunnostamisesta ja huoltamisesta ei seuraisi kuluja. Uuden lähdön lisäämisessä sama ongelma kuin vaihtoehto 1:ssä (**Kuva 15**).

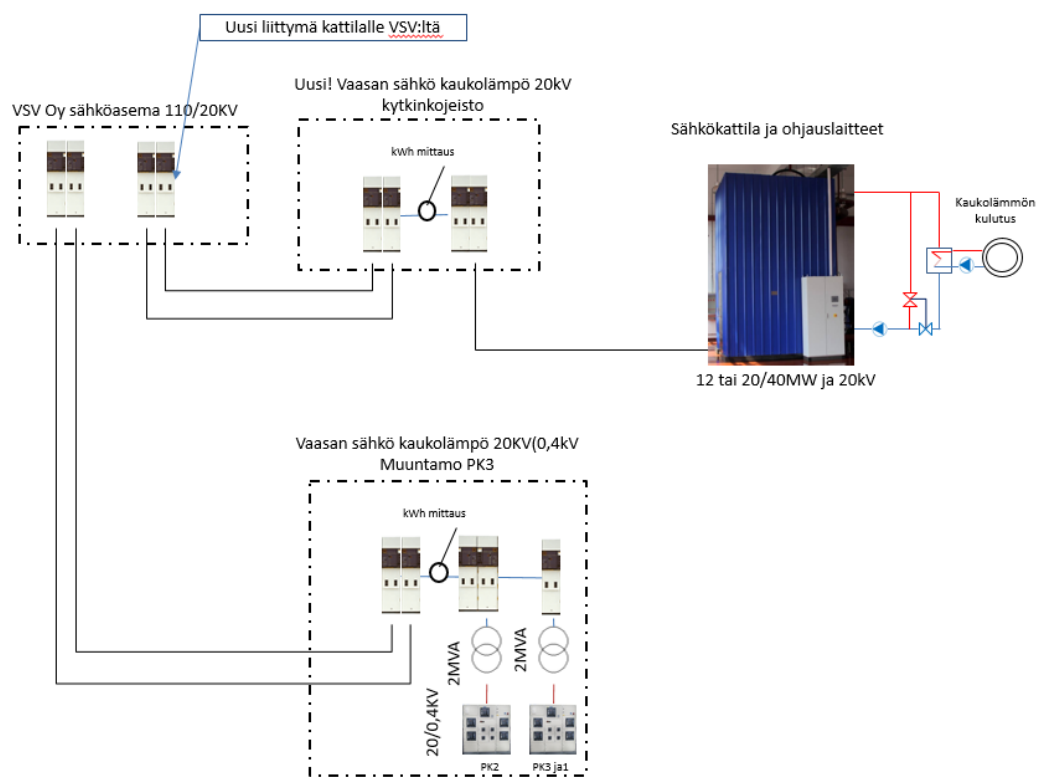
4.1.5 Vaihtoehto 5



Kuva 16. Vaihtoehto 5, 20kV, 20/40MW.

Sama suunnitelma kuin vaihtoehto 2:ssa, mutta ilman vanhaa muuntajaa, koska kattila olisi modifioitu 20kV:lle (**Kuva 16.**).

4.1.6 Vaihtoehto 6



Kuva 17. Vaihtoehto 6, 20kV, 20/40MW.

Sama suunnitelma kuin vaihtoehto 3:ssa, mutta ilman vanhaa muuntajaa, koska kattila olisi modifioitu 20kV:lle (**Kuva 17.**).

4.2 Sähköverkon haasteet

Vaasan sähköasemalla, joka sijaitsee Vaasan Sähkön pihassa, on jäljellä päämuuntajakapasiteettia n. 40MW. Korvauskytkentöihin on aina syytä jättää varaa (max $0,7 \cdot S_n$), jonka takia jäljellä oleva kapasiteetti ei ole kokonaan käytettävissä vaan todellisuudessa maksimissaan n. 20MW ja kyseistä tehoa pystyy syöttämään vain Vaasan sähköasemalta, jolloin korvaustilanteissa sähkökattila ei olisi käytettävissä ollenkaan. /10/

Tehomuuntajan kytkeminen verkkoon aiheuttaa yleensä 7-10-kertaisen kytkentävirtasysäyksen nimellisvirtaan nähden. Yksittäinen muuntaja saa olla tässä tapauksessa suoraan verkkoon kytkettäessä maksimissaan 1,3MVA, koska kytkennän aiheuttama hetkellinen jännitemuutos saa olla korkeintaan 5 %. Laskenta on tehty 32MVA:n päämuuntajalla. Vaihtoehtona tälle olisi kytkentävirtaa rajoittavat ratkaisut, jolloin muuntajien kokoa voitaisiin kasvattaa. /9/

Verkosta saa tässä tapauksessa irrota kerrallaan maksimissaan 12MW, jolloin 20MW kokonaisuus pitäisi esimerkiksi jakaa suojausiltaan täysin erilliseen 10MW järjestelmään. /10/

Mahdollisia tehoja sähköverkon puolesta olisi siis 10MW tai 20MW. 10MW liittämisen vaatisi Vaasan sähköaseman 20kV kojeistosta yhden oman lähdön ja 20MW kaksi omaa lähtöä. Kaapelin poikkipinta-ala tulisi olla 240 mm², että varmuusvara riittää. 10MW:lla kuormitusvirta on 289A. 185 mm² kaapelilla kestoisuus oletuissa asennusoloissa on 304A, kun taas 240 mm² kaapelilla se on 355A. /9/

Fingridin kulutuksen järjestelmätekniset vaatimukset tulee huomioida tässä tapauksessa. /11/

4.3 Kattilan modifiointimahdollisuudet

Kattilan valmistajan mukaan kyseistä ZVPI 2840-kattilamallia on mahdollista käyttää 10kV:lla aina 40MW asti. Valitettavasti se on myös liian pieni kestääkseen käytön 20kV:lla, jolloin muuntajan käyttäminen tulee pakolliseksi, kojeistosta saatavan 20kV jännitteen takia. /12/

Toiseksi vaihtoehdoksi muuntajan käyttämisen lisäksi tuli uuden, suoraan 20kV verkkoon sopivan kattilan hankkiminen.

5 SELVITYSTYÖN RATKAISUT

5.1 Kytkevät virtasäyksen pienentäminen

Jotta 20MVA muuntajan kytkävirtasäyksi saataisiin tarpeeksi pieneksi, pitäisi vanhan 20/10kV muuntajan eteen laittaa erillinen magnetointimuuntaja. Uuteen muuntajaan sen voisi rakentaa suoraan muuntajan yhteyteen.

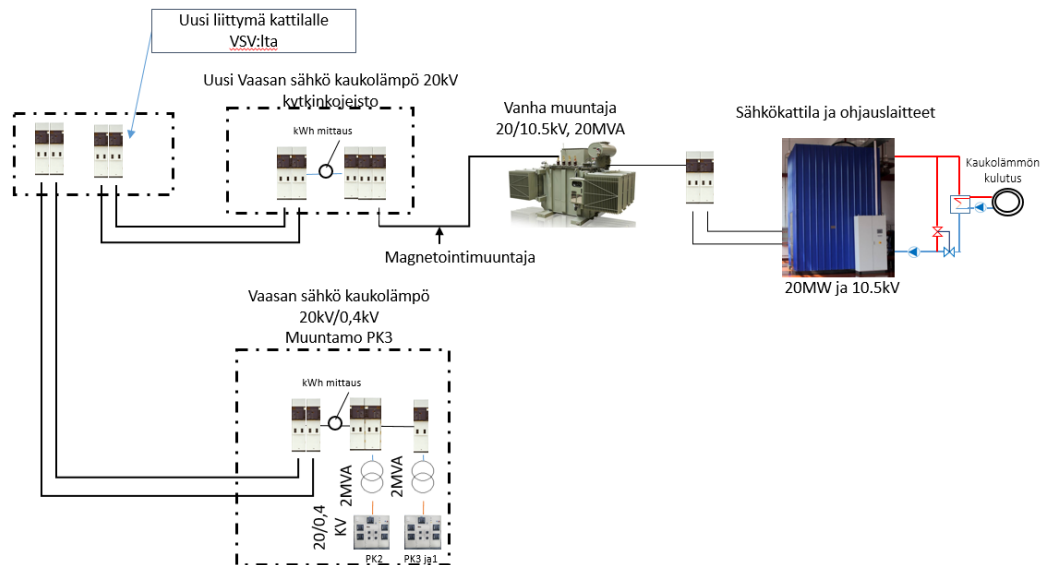
5.2 Lopulliset vaihtoehdot kattilan kytkemiseksi kaukolämpöverkkoon

Tässä vaiheessa karsittiin ensimmäisistä vaihtoehdoista ne, joita ei ollut mahdollista toteuttaa erillisistä syistä johtuen ja muokattiin jäljelle jäävät vastaamaan selvitettyjä asioita.

Kytkevää ei voisi tehdä nykyiseen jo olemassa olevaan liittymään, joten jäljelle jäi kolme vaihtoehtoa tehtynä kokonaan uuteen sähköliittymään.

- Vaihtoehto 1: 10kV, 20MW, vanha muuntaja ja erillinen magnetointimuuntaja.
- Vaihtoehto 2: 10kV, 20MW, uusi muuntaja magnetoinnilla.
- Vaihtoehto 3: 20kV, 20MW, uusi 20kV kattila.

5.2.1 Vaihtoehto 1

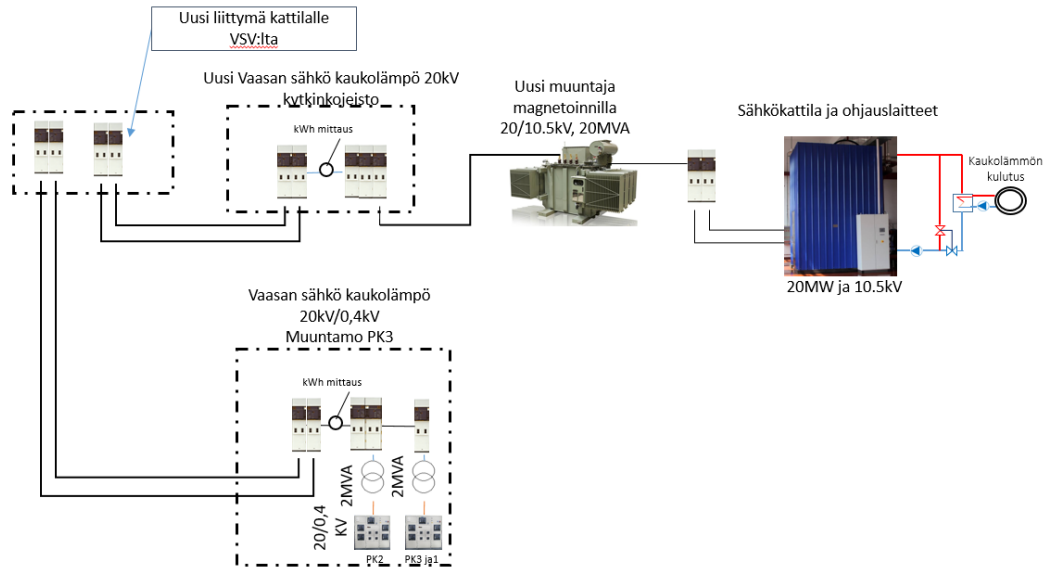


Kuva 18. Vaihtoehto 1, vanha muuntaja, 10kV, 20MW.

Vaihtoehtoon lisättyä magnetointimuuntaja ennen vanhaa v. 1967 muuntajaa, jolla kytkentävirtasysäys saataisiin tarpeeksi pieneksi sekä 2 kappaletta kennoja syöttämään kattilan kahta elektrodiryhmää erikseen (**Kuva 18.**).

Muuntajalle täytyisi tehdä perushuolto ennen käyttöönottoa ja kattilaan täytyisi vaihtaa elektrodit sopimaan 20MW:n teholle.

5.2.2 Vaihtoehto 2

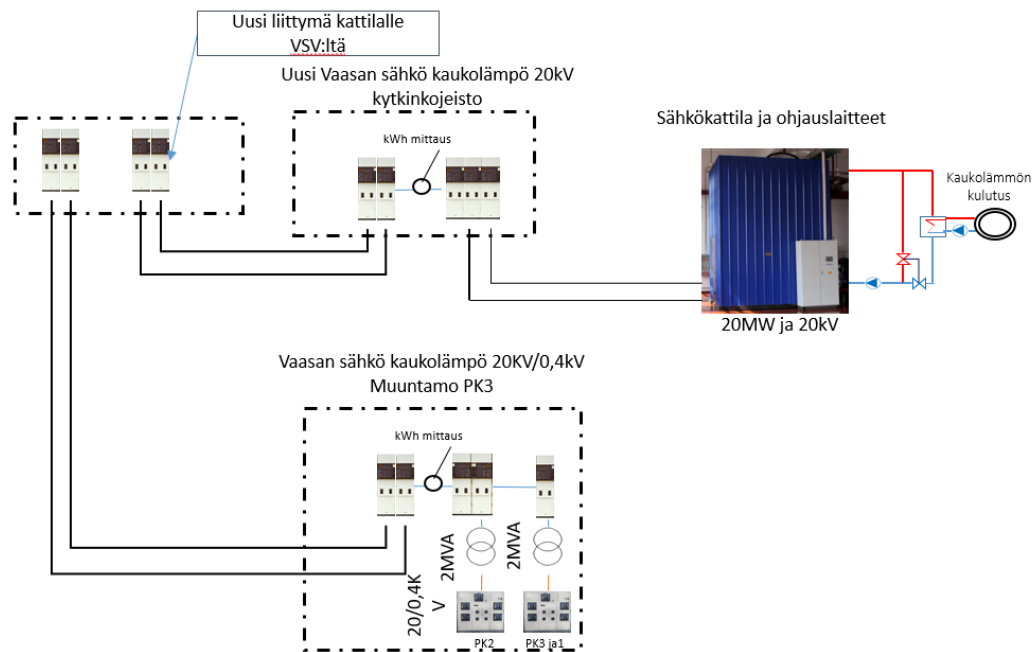


Kuva 19. Vaihtoehto 2, uusi muuntaja, 10kV, 20MW.

Vaihtoehtoon lisättyä uusi muuntaja, jossa magnetointi valmiina sekä 2 kappaletta kennoja syöttämään kattilan kahta elektrodiryhmää erikseen (**Kuva 19**).

Kattilaan täytyisi vaihtaa elektrodit sopimaan 20MW:n teholle.

5.2.3 Vaihtoehto 3



Kuva 20. Vaihtoehto 3, uusi 20kV kattila, 20MW.

Vaihtoehdossa jätetään muuntaja kokonaan pois ja saadaan kytkettyä uusi kattila suoraan 20kV kojeistoon. 20MW kattilan minimiteho on noin 2MW, jolloin kytkentävirtasysäys ei ole liian suuri (**Kuva 20**).

5.3 Vaihtoehtojen hinnat

| | Vaihtoehto 1 | Vaihtoehto 2 | Vaihtoehto 3 |
|--------------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| *Automatiikka | 150 000 € | 150 000 € | 150 000 € |
| Kattilan elektrodit | 14 000 € | 14 000 € | 0 € |
| Kojeistot | 38 900 € | 38 900 € | *35 000 € |
| Kuljetus huoltoon | 15 000 € | 0 € | 0 € |
| Liittymä VSV | 600 000 € | 600 000 € | 600 000 € |
| Magnetointimuuntaja | 50 000 € | 60 000 € | 0 € |
| Perushuolto | 50 000 € | 0 € | 0 € |
| *Työkustannukset | 0 € | 0 € | 0 € |
| Uusi muuntaja | 0 € | 210 000 € | 0 € |
| Uusi 20kV kattila | 0 € | 0 € | 438 000 € |
| Kokonaiskustannus | 917 900 € | 1 072 900 € | 1 223 000 € |

*= Hinta-arvio

Hinnat perustuvat keskusteluihin eri yritysten edustajien kanssa ja ovat alustavia hintoja eikä niitä pidetä sitovina tarjouksina.

5.4 Sähkön ja öljyn hinnan vertailu tuotannossa

Tarkastelu on tehty vuosilta 2016, 2017 ja 2018 tuntitarkkuudella sähkön SPOT-hinnan ja Vaasan Sähkön sähkökaupalta ostetun sähköhinnan välillä ja verrattu niitä öljyn hintaan per MWh.

Vertailussa sähkökattila olisi käynnissä aina, kun on ollut omaa öljytuotantoa. Kattilan maksimituotanto on 20MWh, vaikka öljytuotantoa olisi ollut kyseisellä hetkellä enemmän.

Sähköhintoihin on myös lisätty kattilan käydessä pyörivien pumppujen kulut sekä kattilan vuosittaisiin huoltoihin liittyvät kulut.

Pumput ja niiden tehot:

- Ympäri vuoden käy pumppu, jonka teho: 3kW
- KL-pumppu: 132kW
- Kiertopumppu: 30kW
- Jäähdytysvesipumppu: 90kW

Vuosittaisia huoltokuluja ovat:

- Lisävesi Vaasan Vedeltä
- Viranomaistarkastukset
- Varolaitetestaukset
- Mekaaninen kunnossapito
- Sähkö-/automaatiokunnossapito
- Vesianalyysit
- Kemikaalit

Näistä kertyi yhteensä n. 10 000 € - 15 000 € vuosikulut riippuen tuntimääristä.

| SPOT sähköenergia | | | |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Vuosi | 2018 | 2017 | 2016 |
| Tunnit | 424 | 680 | 425 |
| Mahdollinen SKT MWh | 4742 | 5375 | 6343 |
| SPOT-hinta € | 269 999 € | 210 930 € | 309 426 € |
| SPOT €/MWh | 56,94 € | 39,24 € | 48,78 € |

Kuva 21. Sähkötuotannon hinnat.

SPOT-hinta on sähköpörssin mukainen hinta sähkölle (**Kuva 21.**).

| Öljytuotanto | | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Vuosi | 2018 | 2017 | 2016 |
| Öljytuotanto MWh | 9116 | 5878 | 14818 |
| Hinta € | 811 344 € | 429 066 € | 977 980 € |
| Öljy €/MWh | 89 € | 73 € | 66 € |
| Öljytuotanto=Mahdollinen SKT | | | |
| Vuosi | 2018 | 2017 | 2016 |
| Öljytuotanto MWh | 4742 | 5375 | 6343 |
| Hinta € | 422 038 € | 392 375 € | 418 638 € |
| Öljy €/MWh | 89 € | 73 € | 66 € |

Kuva 22. Öljytuotannon hinnat.

Koska öljytuotantoa oli ollut enemmän kuin mahdollista sähkökattilatuotantoa, vertailussa laskettiin hinnat öljylle samalle tuotantomäärälle kuin mahdolliselle sähkökattilatuotannolle (**Kuva 22.**).

Tässä vaiheessa sähkön hinnat vaikuttivat vielä hyvin edullisilta verrattuna öljyyn, mutta seuraavaksi sähköenergiaan laskettiin lisäksi sähkön jakelu:

- Mittarimaksu: 84 €/kk
- Siirtomaksu päivä: 17 €/MWh
- Siirtomaksu yö: 9 €/MWh
- Tehomaksu: 1600 €/MW/kk
- Sähkövero 1: 22,40 €/MWh
- Huoltovarmuusmaksu: 0,13 €/MWh

| Jakelu | | | |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| Vuosi | 2018 | 2017 | 2016 |
| Mittarimaksu | 1 008 € | 1 008 € | 1 008 € |
| Siirtomaksu | 73 027 € | 82 775 € | 97 682 € |
| Tehomaksu | 384 000 € | 384 000 € | 384 000 € |
| Sähkövero 1 | 106 221 € | 120 400 € | 142 083 € |
| Huoltovarmuusmaksu | 616,46 € | 698,75 € | 824,59 € |
| Yhteensä | 564 872 € | 588 882 € | 625 598 € |
| €/MWh | 119,12 € | 109,56 € | 98,63 € |

Kuva 23. Vuosittaiset sähkön jakeluun kuuluvat hinnat.

Siirtomaksun laskemisessa käytettiin 80 % päiväaikaan tapahtuvasta kattilan ajosta (**Kuva 23.**).

| SPOT Energia + Jakelu | | | |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Vuosi | 2018 | 2017 | 2016 |
| SPOT-hinta € | 269 999 € | 210 930 € | 309 426 € |
| Jakelu € | 564 872 € | 588 882 € | 625 598 € |
| Yhteensä | 834 871 € | 799 811 € | 935 024 € |
| €/MWh | 176,06 € | 148,80 € | 147,41 € |

Kuva 24. Kokonaishinnat sähkötuotannolle.

Jakelun osuus kokonaishinnoista on niin suuri, että pelkästään jo ne nousevat öljyn hintaa suuremmaksi (**Kuva 24.**).

| Verrattuna €/MWh | | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Vuosi | 2018 | 2017 | 2016 |
| SPOT sähköenergia | 56,94 € | 39,24 € | 48,78 € |
| Öljytuotanto | 89,00 € | 73,00 € | 66,00 € |
| SPOT Energia + Jakelu | 176,06 € | 148,80 € | 147,41 € |
| Verrattuna kokonaishinta | | | |
| Vuosi | 2018 | 2017 | 2016 |
| SPOT sähköenergia | 269 999 € | 210 930 € | 309 426 € |
| Öljytuotanto | 422 038 € | 392 375 € | 418 638 € |
| SPOT Energia + Jakelu | 834 871 € | 799 811 € | 935 024 € |

Kuva 25. Kaikkien hintojen vertailu.

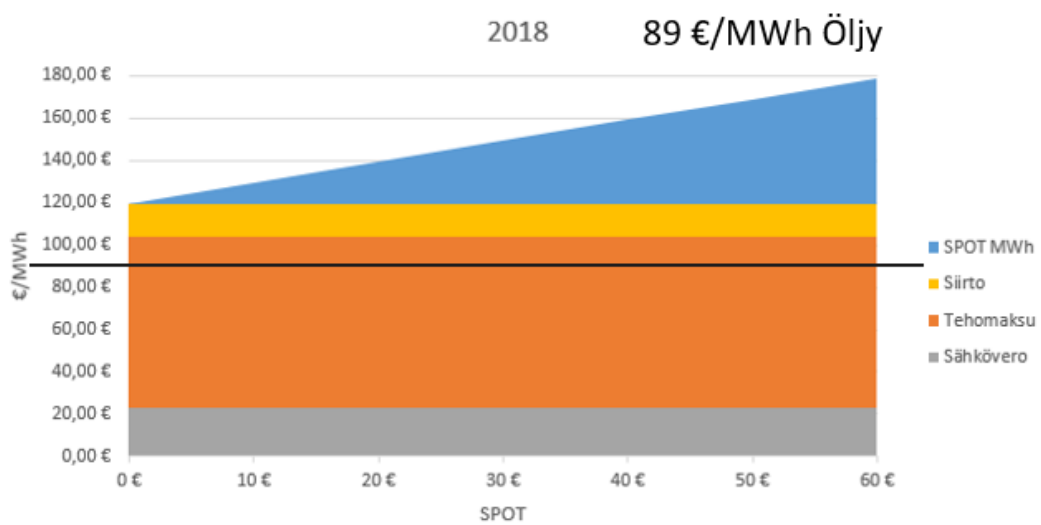
Verrattiin kaikkia hintoja keskenään (**Kuva 25.**).

| Voitto/tappio | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Vuosi | 2018 | 2017 | 2016 |
| SPOT Energia + Jakelu | -412 833 € | -407 436 € | -516 386 € |
| Erotus €/MWh öljystä | | | |
| Vuosi | 2018 | 2017 | 2016 |
| SPOT Energia + Jakelu | -87,06 € | -75,80 € | -81,41 € |

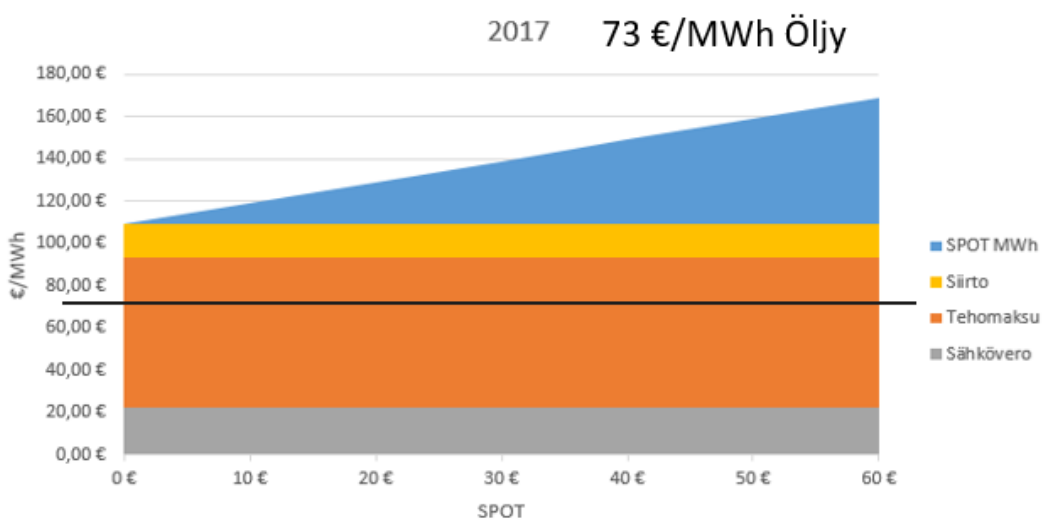
Kuva 26. Tappiot kuvattuna.

Verrattiin tappioita (**Kuva 26.**).

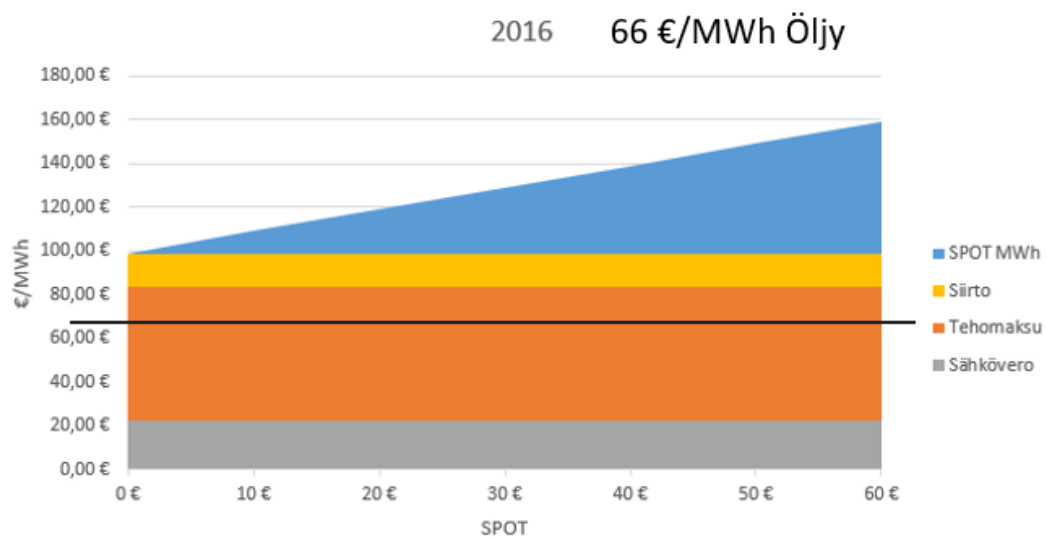
Seuraavaksi tehtiin kuvaajat helpottamaan vertailua. Musta vaakaviiva kuvaa öljyä. (**Kuvat 27-29.**).



Kuva 27. Kuvaaja 2018.



Kuva 28. Kuvaaja 2017.



Kuva 29. Kuvaaja 2016.

Kuvaajista näkee hyvin, että lämmön tuottaminen sähkökattilalla ei ole kannattavaa keskijänniteliitymässä, vaikka SPOT-hinta olisi täysin nollassa. Tehomaksu luo todella suuren osan jakelumaksusta.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää mahdollisuudet liittää vanha ZVPI 2840-sähkökattila kaukolämpöverkkoon tuottamaan lämpöä aikoina, jolloin sähkön hinta on alhainen. Selvitettiin myös liittämiseen vaadittavien hankintojen kustannukset ja vertailtiin sähköllä lämmöntuottamisen kuluja öljyllä tuottamiseen.

Vaihtoehtoja kattilan kytkemiselle tuli 3 kappaletta ja niille saatiin laskettua yksittäiset hankintakustannukset sekä kokonaiskustannukset. Lopuksi verrattiin sähkön tuntikohtaisia SPOT-hintoja, sähkökaupan kiinteää sähkön hintaa ja öljyn hintaa keskenään. Laskelmat toteutettiin kolmen vuoden ajalta tuntikohtaisesti öljytuotantoa tarkkaillen.

Laskelmista selvisi, että sähkökattilalla ei kannata korvata öljytuotantoa, ainakaan kyseisessä paikassa keskijänniteliittymässä.

Työn aikana selvitetystä materiaalista voi olla apua myös tulevaisuudessa vastaavanlaisissa projekteissa.

LÄHTEET

- /1/ Vaasan Sähkö Oy:n kotisivut. Viitattu 12.7.2019. <https://www.vaasan-sahko.fi/tietoa-vaasan-sahkosta/>
- /2/ Energiateollisuus kotisivut. Viitattu 12.7.2019. https://energia.fi/ajankoh-taista_ ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampovuosi_2018_kivihii-len_kaytto_kaukolammossa_vahentynyt.html
- /3/ Motiva Oy kotisivut. Viitattu 12.7.2019. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asumi-nen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo
- /4/ Energiateollisuus kotisivut. Viitattu 12.7.2019. https://energia.fi/perustie-toa_energia-alasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto
- /5/ Vaasan Sähkö Oy. Kaukolämpöyksikkö.
- /6/ GEBWELL kotisivut. Viitattu 26.7.2019. <https://www.gebwell.fi/kauko-lampo/kaukolammon-toimintaperiaate/>
- /7/ Purhonen. 1983. ZETA-sähkökattilat mallia ZVPI. OY ZETA AB. Esite.
- /8/ KL-Lämpö kotisivut. Viitattu 16.8.2019. <https://www.kl-lampo.com/lammon-siirrinpalvelut.html>
- /9/ Malmivaara, E. 1992. Sata vuotta energiaa juhla kirja. Vaasan Sähkö Oy.
- /10/ Salo, A. Vaasan Sähköverkko Oy. Sähköposti. 31.7.2019.
- /11/ Fingrid, Kulutuksen järjestelmätekniset vaatimukset, Viitattu 8.8.2019. https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotan-non-liittaminen-kantaverkkoon/20181212_kjv2018.pdf
- /12/ Larsson, L. Zander & Ingeström. Sähköposti 14.8.2019.