



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jere Spoof

HÖYRYTURBIININ REDUKTIOAJON JA SÄHKÖNTUOTANNON OPTIMOINTI JÄTE-ENERGIALAITOKSELLA

Westenergy Oy Ab

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jere Spoof
Opinnäytetyön nimi	Höyryturbiinin reduktioajon ja sähköntuotannon optimointi jäte-energialaitoksella
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	31 + 3 liitettä
Ohjaaja	Jukka Hautala

Westenergy Oy Ab:n jäte-energialaitoksella oli huomattu, ettei höyryturbiinia oltu aina hyödynnetty optimaalisesti turbiinin ohitustilanteissa. Tämän opinnäytetyön tehtävänä oli tutkia, kuinka jätteestä tuotetun höyryn energia saataisiin muutettua sähköksi sekä kaukolämmöksi ilman hukattua energiaa.

Opinnäytetyön aluksi lukija perehdytetään Westenergyn toimintaan sekä jätteen energiahyödyntämisen periaatteisiin. Laitos tuottaa tulistettua höyryä luonnonkiertokattilassa polttamalla yhdyskuntajätettä tulipesässä arinalla. Höyryn sisältämä energia otetaan talteen turbiinilaitoksella, jossa se muutetaan sähköenergiaksi höyryturbiinilla sekä kaukolämpöenergiaksi lauhduttimilla. Ylimääräinen kaukolämpöenergia voidaan tarvittaessa ajaa kesäjäähdyttimelle. Energiantuotanto Westenergylä hoidetaan yhteistyössä Vaasan Sähkö Oy:n kanssa.

Optimointiprosessin aluksi lasketaan optimaalisen turbiinin käytön mahdolliset säästöt. Laskuissa käytettiin apuna Microsoft Exceliä, jossa käsiteltiin laitoksen prosessinohjausjärjestelmästä noudettua dataa. Säästölaskelmien perusteella optimoinnille oli selvä tarve. Erilaisia ratkaisumalleja optimoinnin toteuttamiseksi sekä niiden toimivuutta pohdittiin yhdessä Westenergyn henkilökunnan kanssa. Mahdollisia ratkaisumalleja löytyi kolme; turbiinin ohjauksen automatisointi, turbiinin ohjauksen vastuun siirto ja toimintatavan muutos.

Ratkaisumalleista toimintatavan muutos koettiin toteutuskelpoisimpana. Tässä ratkaisumallissa turbiinin säätövastuu säilyy Westenergylä, mutta valvomoiden välisen kommunikaation sekä turbiinin ohitustarpeen ennakkoinnin lisäämistä pidetään kriittisen tärkeinä. Huomion lisäämistä turbiinin optimaaliseen säätämiseen myös korostetaan. Uuden toimintatavan tueksi luotiin myös uusi työkalu, kaukolämmöntuotanto-matriisi.

Avainsanat	Jäte-energialaitos, optimointi, höyryturbiini, reduktioajo ja energiantuotanto
------------	--

ABSTRACT

Author	Jere Spoof
Title	Optimizing the Reduction Station Usage and Power Generation of the Steam Turbine in a Waste-to-Energy Plant
Year	2021
Language	Finnish
Pages	31 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Jukka Hautala

Westenergy Oy Ab had noticed at their waste-to-energy plant that the steam turbine was not always utilized in the most optimal way during turbine bypass situations. The purpose of the thesis was to examine how could Westenergy turn the produced steams thermal energy into electricity and district heating without any losses.

In the beginning of the thesis the reader is introduced into Westenergys operations and the principles of refining waste into energy. The plant produces superheated steam in a natural circulation boiler by burning municipal waste on a grate in the furnace. The energy in the steam is captured by the turbine which turns it into electricity and by condensers which turns it into district heating. Excessive district heating power can be cooled in the summer cooler if necessary. The energy production in Westenergy is done in co-operation with Vaasan Sähkö Oy.

The potential savings of the optimal turbine usage were calculated first. Microsoft Excel was used to process the data collected from the plants process control system. Based on the results there was a clear need for optimization. Different optimizing methods and their potential were discussed with the Westenergy staff. Three possible methods were found; automatization of the turbine power control, transferring the responsibility of the turbine power control and change of procedure.

Out of these three the change of procedure was seen most feasible. In this optimizing method the responsibility of the turbine power control stays with Westenergy, but the increase of communication between control rooms and the anticipation of the need for turbine bypass are critically important. The need of added attention for the optimal turbine power control is also highlighted. A new tool was also created to assist the change of procedure called “District Heating Production Matrix”.

Keywords	Waste-to-energy, optimizing, steam turbine, reduction station and energy production
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ESIPUHE	9
1 JOHDANTO	10
2 JÄTTEEN ENERGIAHYÖDYNTÄMINEN SUOMESSA	11
2.1 Westenergy Oy Ab.....	11
2.2 Yrityksen tunnusluvut.....	13
3 ENERGIANTUOTANTO WESTENERGYLLÄ	14
3.1 Höyryntuotanto	14
3.2 Turbiinilaitos.....	15
3.2.1 Turbiini.....	15
3.2.2 Reduktioasema	16
3.2.3 Korkea- ja matalapainelauhdutin	16
3.3 Savukaasupesuri ja -lauhdutin	16
3.4 Kesäjäähdytin.....	16
3.5 Lämpövarasto.....	17
4 OPTIMOINTIPROSESSI.....	18
4.1 Alkutilanne.....	18
4.2 Säästölaskelmat.....	19
4.2.1 Laskukaavat Excelissä	19
4.2.2 Kevät 2020	21
4.2.3 Syksy 2020.....	22
5 RATKAISUMALLIT	24
5.1 Turbiinin ohjauksen automatisointi	24
5.2 Turbiinin ohjauksen vastuun siirto.....	25
5.3 Toimintatavan muutos	26
5.3.1 Vanha toimintatapa	26
5.3.2 Uusi toimintatapa	26
5.3.3 Turbiinin säätötaulukko	26
5.3.4 Kaukolämmöntuotanto-matriisi	27

6 JOHTOPÄÄTÖKSET	30
LÄHTEET	31

LIITTEET

KUVA JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Suomen jäte-energiailaitokset kartalla sekä kapasiteetit vuositasolla	11
Kuva 2. Westenergyn toiminta-alue sekä omistajayhtiöt	12
Kuva 3. Hyöryntuotanto	14
Kuva 4. Turbiinilaitos	15
Kuva 5. Esimerkki Westenergyn tuotannon epätasaisuudesta	25
Kuva 6. Esimerkki kaukolämmöntuotanto-matriisin käytöstä	29
 Taulukko 1. Westenergyn tuotantoluvut vuonna 2020	 13
Taulukko 2. Optimaalisen tuotannon säästöt kevät 2020	22
Taulukko 3. Optimaalisen tuotannon säästöt syksy 2020	23
Taulukko 4. Turbiinin säätötaulukko	27

LIITELUETTELO

LIITE 1. Esimerkki epäoptimaalisesta tuotannosta (Microsoft Excel).

LIITE 2. Esimerkki optimaalisesta tuotannosta (Microsoft Excel).

LIITE 3. Kaukolämmöntuotanto-matriisi.

LYHENTEET JA KÄSITTEET

Arina	Westenergyn tulipesän pohjarakenne
bar	Baari – paineen yksikkö
CHP	Combined Heat and Power – yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto
Heterogeeninen	Epätasalaatuinen, sekakoosteinen
Huoltoseisokki	Huollon aikainen tuotantokatkos
KP-lauhdutin	Korkeapainelauhdutin
kW	Kilowatti (1000 wattia) – tehon yksikkö
Matriisi	Riveihin ja sarakkeisiin jaettu taulukko
MP-lauhdutin	Matalapainelauhdutin
MW	Megawatti (10^6 wattia) – tehon yksikkö
MWh	Megawattitunti (10^6 wattituntia) – energian yksikkö
NordPool	Sähköpörssi
Reduktioajo	Turbiinin ohittaminen eli tuorehöyryn ajaminen turbiinin ohi reduktioaseman kautta suoraan kaukolämmönvaihtimelle
t/h	Tonnia (eli 1000 kg) tunnissa
Tehoreservi	Valmius tuottaa sähköä tarvittaessa eli sähkön toimintavarmuuden turvaaminen
Valmet DNA	Westenergyn prosessinohjausjärjestelmä

ESIPUHE

Toimin vuodet 2017 – 2019 kesätöissä Westenergyn valvomossa prosessioperaattorina. Vuoden 2020 keväästä eteenpäin toimin varamiehenä laitoksen operaattoreille tehden eri pituisia sijaisuuksia. Olen myös kirjoittanut opinnäytetyötäni toimiston puolella. Westenergyn laitos kuuluu yhteiskunnan kannalta kriittisiin toimijoihin ja koronaviruspandemian koetellessa maailmaa vuonna 2020 jouduttiin Westenergylä varautumaan mahdollisiin laajamittaisiin käyttöhenkilöstön sairaspotilaaloihin. Toimin osana tätä varautumista ja vaikkakin koronalta laitoksella säästyttiin, pääsin työskentelemään täysipäiväisesti lähes vuoden ajan yrityksen kirjoilla. Olen tästä ajasta erittäin kiitollinen Westenergylle. Opinnäytetyöprosessin aikana opin paljon uutta laitoksen toiminnasta sekä myös itsestäni projektityössä. Oli mielenkiintoista pohtia ratkaisuja ongelmiin ja arvioida niiden toimivuutta yrityksessä. Toivon, että työni tuloksista olisi hyötyä tulevaisuudessa entistä tehokkaammassa jätteen energiahyödyntämisessä.

Haluan kiittää Westenergyn koko henkilökuntaa menneistä vuosista. Työpaikalle oli aina mukava tulla ja siellä pääsin kehittämään omaa asiantuntijuuttani. Erityisesti haluan kiittää Westenergyn käyttöinsinööriä Petri Suomelaa ja tuotantopäällikkö Kai Alavillamoa opinnäytetyöni ohjaamisesta. Kiitokset myös Jukka Hautalalle, joka toimi ohjaajanani Vaasan ammattikorkeakoulun puolelta.

Vaasassa 28.5.2021

Jere Spoof

1 JOHDANTO

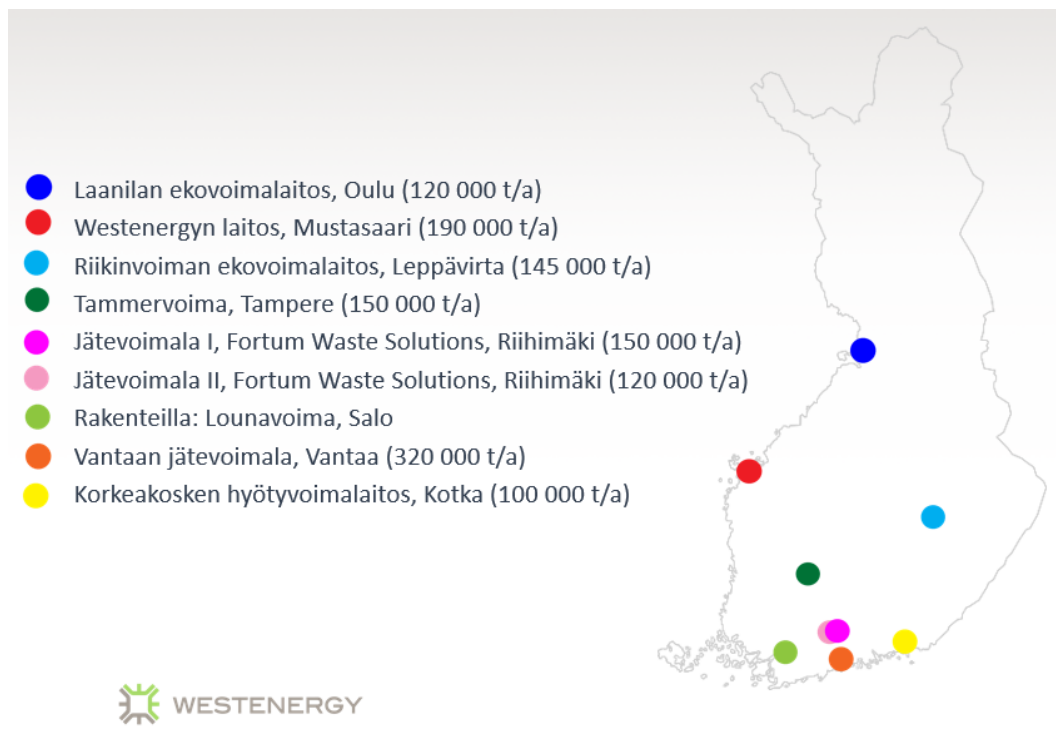
Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Westenergy Oy Ab:lle. Yrityksessä oli huomattu, että höyryturbiinin optimaalinen hyödyntäminen voisi tuoda huomattavia säästöjä, sillä lämpöenergiaa menee tällä hetkellä huomattavia määriä hukkaan turbiinin ohitusten yhteydessä. Työn tarkoitus oli selvittää, kuinka käyttää turbiinin reduktioajoa optimaalisesti käytännöllisestä, taloudellisesta sekä ympäristöystävällisestä näkökulmasta. Tämä opinnäytetyö on tärkeä, sillä Westenergy pystyy työn tuloksia hyödyntämällä saamaan paremmin talteen jätteen sisältämän energian. Tavoitteena on myös vähentää Vaasan kaukolämmön tuotantoon käytettäviä fossiilisten polttoaineiden kuten kivihiilen ja polttoöljyn määrää, sillä ne aiheuttavat ympäristöhaittoja. Westenergylle aiheetta ei ole tutkittu aiemmin, mutta esimerkiksi Kotkan Energialle laaditussa opinnäytetyössä vuodelta 2013 on tehty samanlaista tutkimusta aiheesta /1/. Westenergylle on puolestaan tehty opinnäytetyö vuonna 2019 höyryntuotannon tehonkorotusmahdollisuuksista /2/.

Tutkimus lähti liikkeelle keskustelemalla toimeksiantajan kanssa työn aiheesta ja tavoitteista. Tämän jälkeen tutkin Westenergyn vuoden 2020 kevään tuotantodataa ja muodostin niistä Excel-taulukon, jossa tein laskelmia optimoinnin taloudellisista hyödyistä. Esitin tulokset Vaasan Sähkö Oy:n johdolle sekä työni toimeksiantajalle. Tulimme siihen johtopäätökseen, että opinnäytetyön aihe ja tarkoitus ovat kannattavia sekä niissä on potentiaalia jatkotutkimukseen. Tämän jälkeen aloin työstämään aiheetta syvemmin ja pohtimaan mahdollisia ratkaisuja ongelmaan.

Opinnäytetyöni alkaa toimeksiantajan esittelyllä, jossa kerron Westenergyn toiminnasta yrityksenä. Seuraavassa luvussa perehdytän lukijan siihen, kuinka jätteestä tuotetaan energiaa sekä laitoksen eri komponentteihin. Tämän jälkeen kerron optimointiprosessin eri vaiheista, joista käy ilmi työn yksityiskohtaisempi kulku. Lopuksi esittelen työni tulokset ja arvion niiden soveltuvuutta yritykselle.

2 JÄTTEEN ENERGIAHYÖDYNTÄMINEN SUOMESSA

Kaatopaikoille ei enää nykypäivänä päädy kuin murto-osa jätteestä, vaan kierrätys sekä energiahyödyntäminen on nykypäivää. Sekajätettä hyödynnetään energiantuotannossa ympäri Suomea kahdeksassa eri laitoksessa ja Saloon on rakenteilla yhdeksäs laitos. Suurin osa laitoksista sijaitsee eteläisessä Suomessa, koska siellä myös asuu suurin populaatio (Kuva 1). /3/



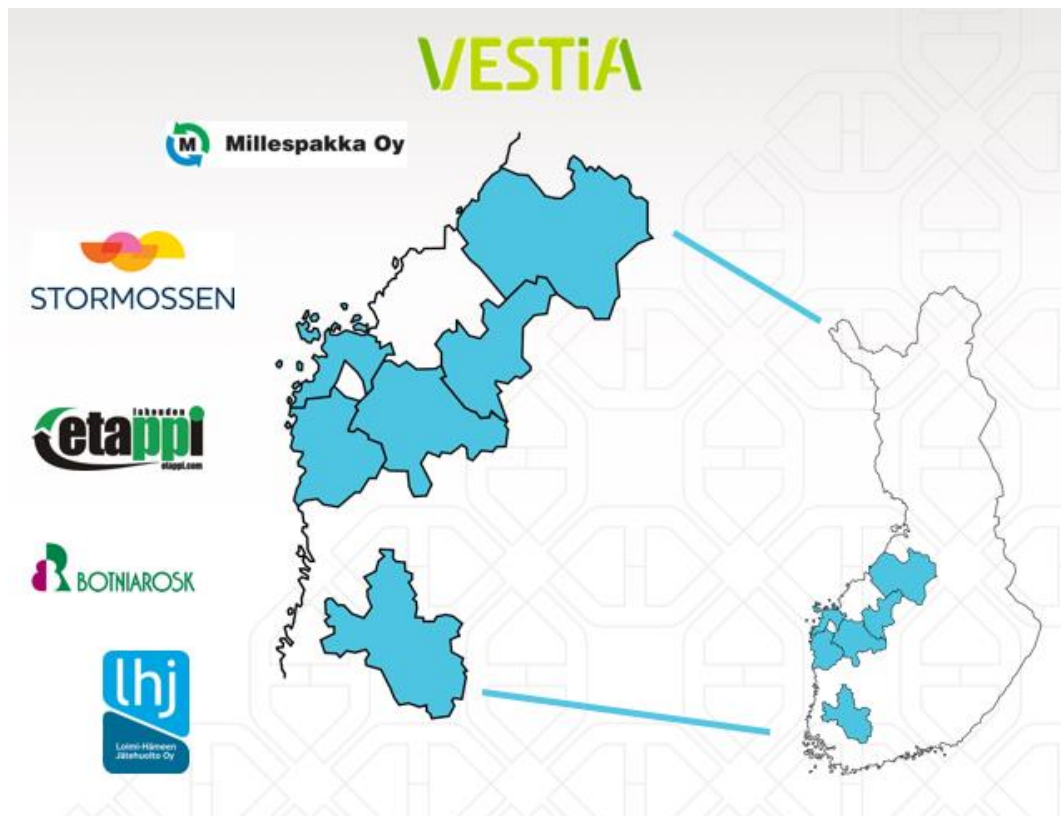
Kuva 1. Suomen jäte-energiailaitokset kartalla sekä kapasiteetit vuositasona. /3/

2.1 Westenergy Oy Ab

Westenergy on Mustasaaren Koivulahdessa sijaitseva kiertotalousyritys, joka jalostaa syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä sähköksi, kaukolämmöksi ja uusiomateriaaleiksi. Westenergyn laitoksen tuottamalla energialla on paikallisesti suuri ympäristövaikutus vähentäen fossiilisten polttoaineiden tarvetta energiantuotannossa. /4/

Yritys toimii kahden jatkuvasti kehittyvät toimialan, jätehuollon ja energiasektorin, välimaastossa. Westenergyn laitoksen tarkoituksena ei ole vain hävittää roskaa, vaan myös ottaa sen sisältämä energia talteen sekä jalostaa jäännösmateriaalit parhaalla mahdollisella tavalla takaisin käyttöön. Westenergy tekee tiivistä yhteistyötä omistajayhtiöidensä kanssa, jotta laitokselle päätyisi vain kierrätykseen soveltumatonta jätettä poltettavaksi. Energiantuotanto tapahtuu yhteistyössä paikallisen energiayhtiön Vaasan Sähkön kanssa. /4/

Yrityksen omistaa kuusi kunnallista jätehuoltoyhtiötä Länsi-Suomen alueelta (Kuva 2). Yhtiön perustivat vuonna 2007 Botniarosk Oy Ab, Lakeuden Etappi Oy, Millespakka Oy, Stormossen Oy Ab ja Vestia Oy. Vuoden 2020 alusta omistajiin liittyi myös Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy. Westenergyn toiminta-alue kattaa 62 kuntaa, joissa asuu yhteensä noin 546 000 asukasta. /4/ Laitos on aloittanut kaupallisen toimintansa vuoden 2013 alussa /3/.



Kuva 2. Westenergyn toiminta-alue sekä omistajayhtiöt. /3/

2.2 Yrityksen tunnusluvut

Westenergy Oy Ab on voittoa tavoittelematon yritys, joka toimii omakustannusperiaatteella eikä jaa osinkoa omistajilleen /4/. Vuositasolla Westenergy energiahyödyntää jätettä toiseksi eniten Suomessa. Vuodessa luku kohoaa lähes 200 000 tonniin. Westenergy tuottaa yli 50 % Vaasan vuotuisesta kaukolämmön tarpeesta. Kesäaikaan (touko – syyskuu) laitos kattaakin itsenäisesti koko Vaasan kaukolämpötarpeen. Sähköä Westenergy tuottaa noin 10 000:n kotitalouden tarpeisiin. Westenergyn laitos pyrkii olemaan käynnissä ympäri vuorokauden vuoden jokaisena päivänä. Vuosittain pidetään kuitenkin muutaman viikon huoltoseisokki, joka vähentää käytettävyyssprosenttia. /3/

Taulukko 1. Westenergyn tuotantoluvut vuonna 2020. /5/ /6/

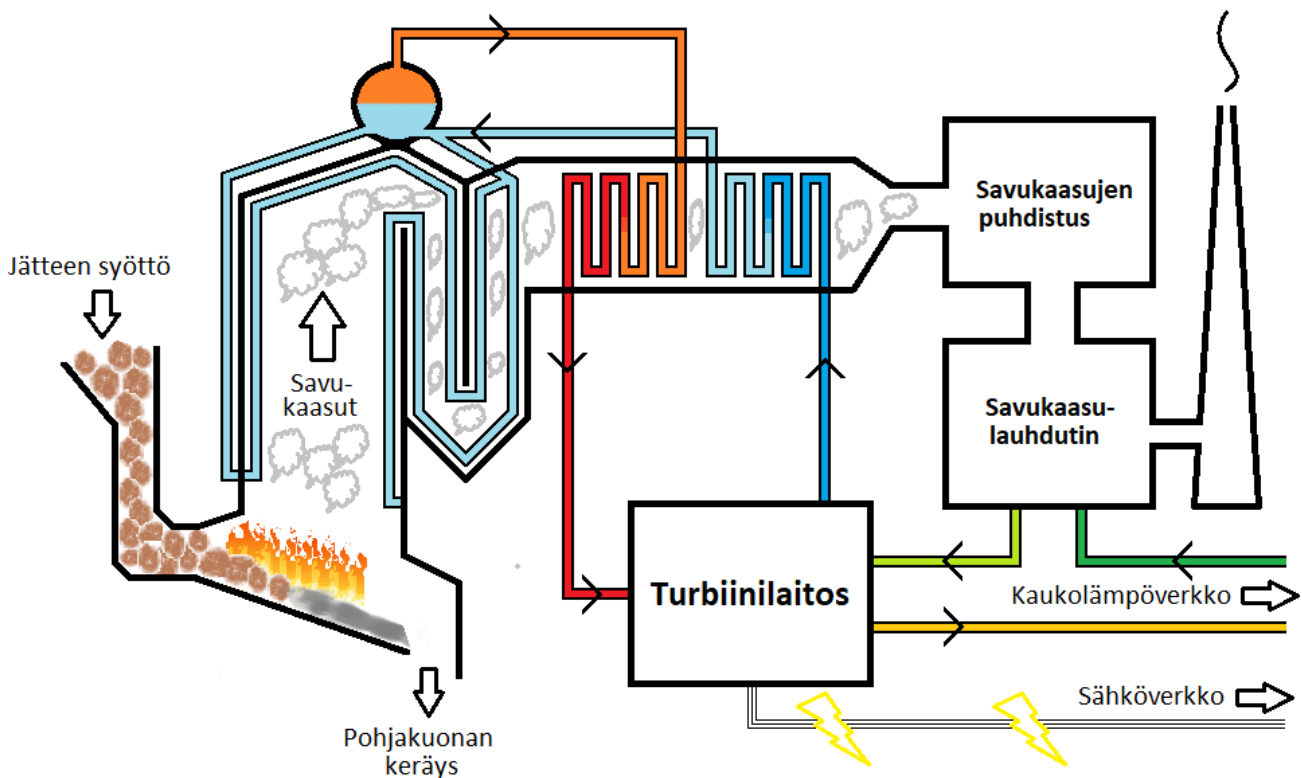
Poltettu jäte	193 675 t
Kaukolämmön toimitus	402 GWh
Sähkön toimitus	89 GWh
Käynnissäoloaika	8263 h
Käytettävyys	94,1 %
Liikevaihto	16,5 M€

3 ENERGIAANTUOTANTO WESTENERGYLLÄ

Westenergyn laitos tuottaa energiaa polttamalla kierrätykseen kelpaamatonta yhdyskuntajätettä. Polttoprosessissa vapautunut termien energia otetaan talteen kattilassa ja siirretään vesi-höyrypiiriin, jonka avulla energia muutetaan kaukolämmöksi Vaasan kaukolämpöverkon tarpeisiin sekä sähköksi valtakunnan verkkoon.

3.1 Höyryntuotanto

Höyryä tuotetaan Westenergyn laitoksella luonnonkiertokattilassa suljetussa kierrossa. Arinalla poltetun jätteen kuumat (850 – 1000 °C) savukaasut lämmittävät veden kattilan seinämissä. Vesi muuttuu höyrymäiseen muotoon ja jatkaa matkaansa höyrylieriöön. Sen jälkeen höyry tulistetaan 400 °C lämpötilaan ja 40 bar paineeseen tulistimissa. Savukaasut jatkavat matkaansa puhdistukseen, jonka jälkeen niiden sisältämä lämpö otetaan talteen savukaasulauhduttimessa. Lopuksi 99 % puhdistettu savukaasu johdetaan piipun kautta ilmaan (Kuva 3). /7/



Kuva 3. Höyryntuotanto.

3.2 Turbiinilaitos

Tulistettu höyry johdetaan Westenergyn turbiinilaitokselle, jossa höyryn sisältämä lämpöenergia saadaan muutettua sähköksi ja kaukolämmöksi. Tulistettua höyryä tuotetaan noin 23,6 kg/s eli 85 t/h virtauksella. Turbiinin etupainesäätimellä säädellään turbiinin läpi virtaavan höyryn määrää (Kuva 4). /7/

3.2.2 Reduktioasema

Reduktioasemalla höyryn paine ja lämpötila lasketaan sopivalle tasolle reductioventtiilin ja vesiruiskutuksen avulla. Westenergyllä on käytössä kaksi linjaa turbiinin ohitukselle. Pienempi reductioventtiili pystyy säätämään höyryn virtausta tarkemmin kuin suuri venttiili, mutta sen läpäisyteho rajoittuu noin 5 kg/s höyryvirtaukseen. Pääreductioventtiilin läpi pystyy virtauttamaan käytännössä koko kattilassa tuotetun höyryn määrän. /2/

3.2.3 Korkea- ja matalapainelauhdutin

Westenergyn laitoksella on käytössä kaksi kaukolämmönvaihdinta. Korkeapaineinen höyry ohjataan turbiinin välitoista KP-lauhduttimeen, jossa se luovuttaa lämpöenergiansa kaukolämpöveden. MP-lauhduttimeen ohjataan turbiinin jälkeinen höyry sekä reductioaseman kautta ajettu höyry (Kuva 4). /7/

3.3 Savukaasupesuri ja -lauhdutin

Westenergyn uusiin laitteisto savukaasujen puhdistukseen otettiin käyttöön marraskuussa 2019. Savukaasupesuri on erillinen savukaasujen puhdistusjärjestelmä, johon savukaasut johdetaan puolikuivan savukaasujen puhdistusjärjestelmän jälkeen. Savukaasupesuri nimensä mukaisesti pesee savukaasut ja poistaa näin lähes kaikki happamat epäpuhtaudet. /7/

Pesurin yhteyteen asennettiin myös savukaasulauhdutin, jossa savukaasun sisältämä hukkalämpö saadaan otettua talteen ja käytettäväksi kaukolämpöverkon paluuveden lämmittämiseen (Kuva 4). Lauhduttimen teho perustuu savukaasussa olevan kosteuden lauhtumislämmön talteenottoon. Ennen savukaasupesurin ja lauhduttimen asennusta piipusta ulos menevän savun lämpötila oli noin 150 °C, mutta nykyään vain noin 50 °C. /7/

3.4 Kesäjähdytin

Kesäaikaan, kun ulkolämpötilat ovat korkeat ja kaukolämmön kulutus on hyvin pientä, Westenergyllä tuotetaan enemmän kuin tarpeeksi lämpöenergiaa. Tämä

ylimääräinen lämpö täytyy ohjata erilliseen vesi-glykoli-kiertoon ja siitä edelleen kesäjäähdyslaitteelle, jossa kymmenen suurta tuuletinta haihduttavat lämmön ilmaan (Kuva 4). Kesäjäähdyslaitteisto toimii myös ympärivuotisesti laitoksen hätäjäähdyslaitteena, jos kaukolämpöverkossa on ongelmia ja lämmön jakelu estyy. /7/

3.5 Lämpövarasto

Vaasan Vaskiluodossa on otettu käyttöön maanalainen kaukolämpövarasto eli kaukolämpöakku. Vaskiluodon Voiman alueella sijaitseva ennen öljyvarastona toiminut luola on nyt täytetty merivedellä ja sen koelämmitys aloitettiin kesäkuussa 2020. Kesän aikana ladattua lämpöä voitiin syksyllä hyödyntää kaukolämpöverkon tarpeisiin. Myös talven 2020 – 2021 aikana lämpövarasto oli aktiivisessa käytössä kovilla pakkasilla. /8/

4 OPTIMOINTIPROSESSI

4.1 Alkutilanne

Normaalissa tilanteessa kaikki Westenergyn laitoksen tuottama höyry ajetaan turbiinin läpi, jolloin se tuottaa täydellä tehollaan generaattorin avulla sähköä. Generaattorin tuottama sähköteho on 15 MW, josta noin 12 MW syötetään sähköverkkoon ja 3 MW käytetään laitoksen omien toimintojen ylläpitoon. Loput turbiinin läpäisseen höyryn sisältämästä energiasta otetaan talteen kaukolämmönvaihtimilla, joiden avulla energia siirretään kaukolämpöverkkoon. Kaukolämmönvaihtimet tuottavat normaaliajossa yhteensä noin 46 MW lämpötehon. /7/

Vaasan alueen kaukolämpöverkkoon voidaan tuottaa energiaa kolmella eri tavalla /9/. Ensimmäisenä vaihtoehtona on Westenergyn jäte-energialaitos, joka pyrkii olemaan käynnissä ympäri vuoden lukuunottamatta vuosittaista parin viikon mittaista huoltokatkosta. Westenergy toimii peruskuormalaitoksena ja se tuottaa tasaisesti kaukolämpöä verkon tarpeisiin. Laitos pystyy nykyisin kattamaan itsenäisesti koko Vaasan lämmöntarpeen keväältä pitkälle syksyyn.

Toisena vaihtoehtona on Vaskiluodon voimalaitos, joka käyttää polttoaineenaan kivihiiltä, turvetta sekä biomassaa /9/. Vaskiluodon voimalaitos ei ole käynnissä kuin vuoden kylmimpinä aikoina noin 5 – 6 kuukautta vuodesta. Kesäajan se toimii tehoreservissä, jolloin laitos myös huolletaan.

Kolmas vaihtoehto on käyttää energian tuotantoon ympäri kaupunkia olevia Vaasan Sähkön omia kaukolämpökeskuksia. Ne käyttävät polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä, mutta niitä käytetään vain harvoin eli vain kylmimpien pakkasten tai kaukolämmöntuotannon häiriötilanteiden aikana. /9/ Lämpövaraston käyttöönotto on vähentänyt entisestään kaukolämpökeskusten käytön tarvetta /8/.

Työskenneltyäni prosessioperaattorina Westenergyn valvomossa olin huomannut, että tuotettua lämpöenergiaa ei aina hyödynnetty optimaalisella tavalla turbiinin ohitustilanteissa. Osa tuotetusta kaukolämpöenergiasta ei mahdu verkkoon, joten se

on ajettava kesäjähdyttimelle. Tuo kesäjähdyttimelle ajettu ylimääräinen lämpöenergia menee täysin hukkaan. Westenergy ei hyödy tästä millään tavalla, vaan päin vastoin se lisää laitoksen omaa sähkön kulutusta ja näin ollen myytävän sähkön määrä jää pienemmäksi. Optimaalisessa tilanteessa kesäjähdyttimelle ei tarvitsisi ajaa energiaa muuta kuin häiriötilanteissa.

4.2 Säästölaskelmat

Aloitin työni tutkimalla mitä ja minkä suuruisia säästöjä turbiinin optimaalinen käyttö voisi tuoda. Tutkin vuoden 2020 historiadataa Westenergyltä käytössä olevasta Valmet DNA Operate Client -ohjelmasta ja tein laskutoimitukset Microsoft Excelissä. Ensimmäisenä etsin ajankohdat, jolloin reduktioajoa oli käytetty ja ne ajoittuivat toukokuulle sekä syys – lokakuulle. Tutkin ensin kevään sekä myöhemmin syksyn turbiinin ohitustilanteita. Keväällä kun asiaan ei oltu kiinnitetty vielä huomiota, optimaalisesta käytöstä oltiin vielä kaukana (LIITE 1). Syksyn aikana parannusta tapahtui huomattavasti, kun Vaasan Sähköllä reagoitiin tilanteeseen kesäkuussa pitämäni esitelmän jälkeen (LIITE 2). Syksyn mittaan turbiinin ohituksien tarve oli muutenkin vähäisempi kuin keväällä, joten laskelmia ei voi suoraan verrata keskenään.

4.2.1 Laskukaavat Excelissä

Aloitin Excel-taulukon tekemisen noutamalla Valmet DNA -järjestelmästä dataa apuohjelman avulla. Noudin tunnin keskiarvot kesäjähdyttimelle ajetusta energiasta, turbiinin sähköntuotannosta, kaukolämpöverkon kulutuksesta sekä Westenergyn kaukolämpötuotannosta. Näiden tietojen avulla pystyin laskemaan optimaalisen turbiinin asetusarvon kullekin tunnille.

Ensimmäisenä korostin tunnit, kun reduktioajoa oli käytetty. Seuraavaksi korostin tunnit, kun kesäjähdyttimelle oli ajettu energiaa. Sitten etsin tilanteet, jolloin reduktioajo oli ollut käytössä, mutta samaan aikaan kesäjähdyttimelle oli ajettu energiaa. Nämä tilanteet ovat epäoptimaalisia, koska kesäjähdyttimelle ajettu energia voitaisiin helposti tehdä sähköksi turbiinin tehoa lisäämällä eikä sitä tarvitsisi heittää hukkaan.

Seuraavaksi tein laskukaavan, jossa lisäsin turbiinin silloiseen sähköntuotantoon kesäjähdyttimelle ajetun ylimääräisen energian määrän. Esimerkiksi kun turbiinin tuottaa 6,0 MW ja kesäjähdyttimelle ajetaan 5,5 MW ylimääräistä energiaa, voitaisiin turbiinin teho nostaa $6,0 \text{ MW} + 5,5 \text{ MW} = 11,5 \text{ MW}$ asti, vaikuttamatta kaukolämmöntuotantoon. Tällöin sähköntuotanto lisääntyisi 5,5 MW eikä energiaa menisi turhaan hukkaan. Otin kaavassa myös huomioon rajaavina tekijöinä turbiinin maksimitehon (15 MW) sekä kesäjähdyttimen minimikulutuksen (noin 0,9 MW).

Tämän jälkeen aloin tutkimaan kaukolämmöntuotantoa ja korostin tilanteet, kun Westenergyn tuotanto ei ollut identtinen Vaasan kaukolämpöverkon kulutuksen kanssa. Halusin löytää ne tilanteet, kun Westenergyn tuotanto ei ollut riittänyt kattamaan koko kaukolämpöverkon kulutusta, jolloin lämpöä oli jouduttu tuottamaan Vaasan Sähkön erillisissä kaukolämpökeskuksissa polttoöljyn avulla. Löydettyäni nämä tunnit laskin, kuinka paljon energiaa oli tuotettu muualla. Esimerkiksi kun Westenergy on tuottanut 67,8 MW ja kaukolämpöverkon kulutus on ollut 72,3 MW, voidaan laskea, että $72,3 \text{ MW} - 67,8 \text{ MW} = 4,5 \text{ MW}$ on tuotettu muualla kuin Westenergyn laitoksella.

Mietin, olisiko ollut mahdollista vähentää tätä kaukolämpökeskusten käyttöä Westenergyn turbiinin ohittamisella. Vertasin Westenergyn turbiinin asetusarvoa ja muualla tuotetun kaukolämmön arvoja. Löysin joitakin tilanteita, kun Westenergyllä olisi ollut mahdollista tuottaa enemmän lämpöä, mutta samaan aikaan Vaasan Sähkö käytti omia kaukolämpökeskuksiaan. Esimerkiksi kun Westenergyn turbiinin teho on 9,2 MW ja muualla tuotetun lämmön määrä on 3,0 MW, voidaan laskea, että $9,2 \text{ MW} - 3,0 \text{ MW} = 6,2 \text{ MW}$ olisi optimaalinen turbiinin asetusarvo. Nämä tilanteet olivat harvinaisia, mutta tärkeitä optimoinnin kohteita sekä ympäristöystävällisyyden että taloudellisuuden kannalta. Nykyään tällaiset tilanteet voidaan hoitaa Vaskiluodossa sijaitsevan lämpövaraston avulla.

Lopuksi yhdistin optimaalisen sähköntuotannon sekä optimaalisen kaukolämmöntuotannon sarakkeet ja sain molemmat huomioon ottavan optimaalisen turbiinin asetusarvon kullekin tunnille. Esimerksi kun

sähköntuotannon kannalta optimaalinen turbiinin asetusarvo olisi 8,6 MW, mutta samaan aikaan lämpöä tuotetaan muualla 2,1 MW, voidaan laskea, että $8,6 \text{ MW} - 2,1 \text{ MW} = 6,5 \text{ MW}$ olisi optimaalinen asetusarvo turbiinille. Näin saataisiin tuotettua kaukolämpöä verkkoon vaadittu määrä sekä tuotettua sähköä niin paljon kuin mahdollista.

Lisäsin taulukkoon myös sarakkeet ulkolämpötiloille, Westenergyltä pyydetyn kaukolämmön määrälle sekä sähkön tuntikohtaiselle markkinahinnalle, jonka noudin NordPoolin sivuilta. Laskin sähkön hinnan perusteella optimoinnista syntyneet taloudelliset tuotot.

4.2.2 Kevät 2020

Tekemissäni säästölaskelmissa selvisi seuraavanlaisia tietoja. Keväällä 2020 Westenergyltä tehtiin turbiinin ohituksia välillä 5.5 – 25.5 (21 vuorokautta). Vaskiluodon voimalaitos ajettiin alas 4.5.2020, jonka jälkeen päävastuu Vaasan alueen kaukolämmöntuotannosta oli Westenergyltä. Tarkasteltavan välin ulkolämpötilat vaihtelivat välillä $-1,7 \text{ °C} - 17,2 \text{ °C}$, keskiarvon ollessa $6,5 \text{ °C}$. Westenergyltä turbiinin ohituksia tehtiin joka päivä ja ohitustunteja kertyi yhteensä 403. Jakson aikana oli 12 tuntia kestänyt huoltotoimenpide Westenergin höyrynjakoon liittyen, jonka aikana reduktioajo ei ollut mahdollista, enkä täten käyttänyt huollon aikaista tilannetta laskuissani.

Westenergy tuotti sähköä yhteensä 3 667 MWh. Optimaalisella turbiinin käytöllä oltaisiin voitu tuottaa jopa 3 983 MWh eli lisäystä olisi tullut 316 MWh (+8,6%). Rahallista tuottoa tämä olisi lisännyt sähkön tuntikohtaisen markkinahinnan mukaan laskettuna 7 982,81 € (Taulukko 2). Sähkön keskimääräinen markkinahinta oli tarkastelujakson aikana vain 20,53 €/MWh, joka on todella matala.

Kaukolämpöä Vaasan verkko kulutti yhteensä 33 107 MWh, josta Westenergy tuotti 29 736 MWh (89,8%). Vaasan Sähkö joutui siis tuottamaan 3 371 MWh kaukolämpöä omissa kaukolämpökeskuksissaan. Tästä määrästä olisi voitu optimaalisella turbiinin käytöllä vähentää 61 MWh (1,8%), josta oli syntynyt kuvitteellisella 80,00 €/MWh polttoöljyn hinnalla säästöä 4 903,93€ (Taulukko 2).

Optimaalisesta sähköntuotannosta sekä kaukolämpökeskusten käytön optimaalisesta korvaamisesta olisi saatu yhteensä jopa 12 886,73€ säästöt (Taulukko 2).

Taulukko 2. Optimaalisen tuotannon säästöt kevät 2020.

Sähköä tuotettu	3 667 MWh	Rahallinen tuotto sähköstä	7 982,81 €
Optimoitu sähköntuotanto	3 982 MWh		
Erotus	316 MWh	Öljyn hinta per MWh	80,00 €
Öljyllä tuotettu lämpö	3 371 MWh	Rahallinen tappio öljyn käytöstä	-4 903,93 €
Optimoitu öljyn käyttö	3 310 MWh		
Erotus	-61 MWh	Säästöt yhteensä	12 886,73 €

4.2.3 Syksy 2020

Säästölaskelmissani selvisi, että syksyllä 2020 Westenergyllä tehtiin turbiinin ohituksia välillä 17.9 – 11.10 (25 vuorokautta). Vaskiluodon voimalaitos ajettiin ylös 12.10.2020, jonka jälkeen vastuu Vaasan alueen kaukolämmöntuotannosta jaettiin Vaskiluodon Voiman ja Westenergyn välille. Tarkasteltavan välin ulkolämpötilat vaihtelivat välillä 3,4 °C – 19,5 °C, keskiarvon ollessa 11,6 °C. Westenergyllä turbiinin ohituksia tehtiin suhteellisen harvoin kevääseen verrattuna, mutta ohitustunteja kuitenkin kertyi yhteensä 164. Jakson aikana oli yhteensä 8 tuntia tuotantokatkoksia erinäisistä syistä johtuen, jotka jätin pois laskuistani.

Syksyllä Westenergy tuotti sähköä yhteensä 7 365 MWh. Optimaalisella turbiinin käytöllä oltaisiin voitu tuottaa jopa 7 643 MWh eli lisäystä olisi tullut 278 MWh (+3,8%). Rahallista tuottoa tämä olisi lisännyt sähkön tuntikohtaisen markkinahinnan mukaan laskettuna 6 153,22 € (Taulukko 3). Sähkön keskimääräinen markkinahinta oli tarkastelujakson aikana 31,67 €/MWh.

Kaukolämpöä Vaasan verkko kulutti yhteensä 31 197 MWh, mutta samaan aikaan Westenergy tuotti 31 550 MWh. Westenergy siis tuotti 353 MWh enemmän kaukolämpöenergiaa verkkoon kuin mitä verkko itsessään kulutti. Syynä tähän on Vaskiluodossa käyttöönotettu kaukolämpövarasto, jota sekä ladattiin että purettiin

syksyn aikana. Kaukolämpövaraston käyttöönotto myös vaikeutti kaukolämpökeskusten mahdollisen käytön tarkastelua, joten en ottanut niitä mukaan laskuihini.

Taulukko 3. Optimaalisen tuotannon säästöt syksy 2020.

Sähköä tuotettu	7 365 MWh
Optimoitu sähköntuotanto	7 643 MWh
Erotus	278 MWh
Rahallinen tuotto	6 153,22 €

5 RATKAISUMALLIT

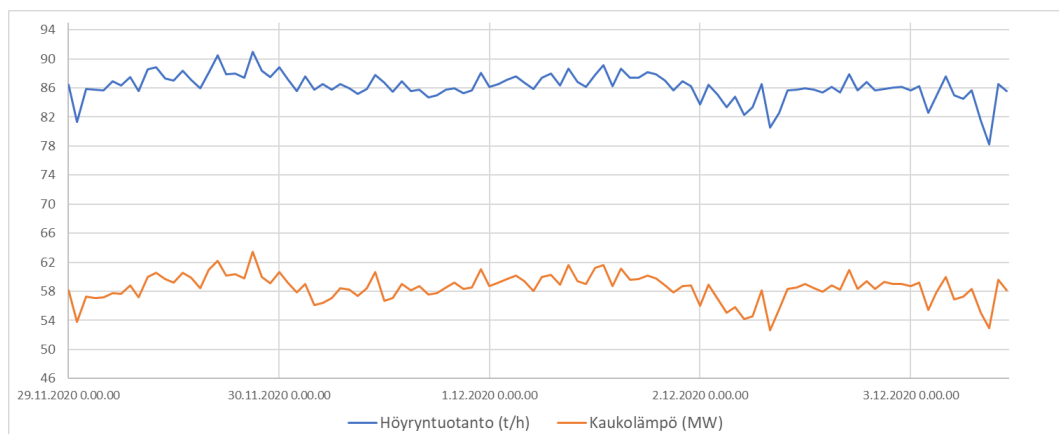
Työn tarkoitus oli siis selvittää, kuinka käyttää turbiinin reduktioajoa optimaalisesti käytännöllisestä, taloudellisesta sekä ympäristöystävällisestä näkökulmasta. Edellisen luvun laskelmien perusteella optimoinnille olisi tarvetta ja tässä luvussa pohdin mahdollisia ratkaisuja tilanteeseen sekä arvioin niiden toimivuutta. Ratkaisumalleja mietittiin yhdessä Westenergyn tuotantopäällikön ja käyttöinsinöörin kanssa.

5.1 Turbiinin ohjauksen automatisointi

Yksi mahdollinen ratkaisu turbiinin reduktioajon ja sähköntuotannon optimoimiseksi olisi turbiinin ohjauksen muuttaminen automaattiseksi. Automatisoinnin etuja olisivat tasainen kaukolämmöntuotanto sekä nopea reagointikyky kaukolämpöverkon muuttuviin olosuhteisiin. Automaattinen turbiinin säätö seuraisi kaukolämpöverkon energiantarvetta sekä välttäisi kesäjähdyttimen turhaa käyttöä.

Tämä ratkaisumalli osoittautui kuitenkin mahdottomaksi toteuttaa nykyisillä resursseilla ja laitteistoilla. Yhdyskuntajäte on polttoaineena hyvin heterogeenistä, joten polttoprosessi tulipesässä ei ole täysin tasaista, mikä johtaa myös epätasaiseen höyryntuotantoon. Höyryntuotannon heittely vaikuttaa luonnollisesti myös energiantuotantoon. Tällä hetkellä Westenergyllä kaukolämmöntuotannon määrä seuraa höyryntuotannon liikehdintää, mutta sähköntuotanto pysyy stabiilina (Kuva 5). Jos turbiini automatisoitaisiin, sähköntuotanto ei pysyisi enää stabiilina, mutta kaukolämmöntuotanto olisi tällöin tasaista. Westenergy on velvoitettu tekemään sähköennusteen, jossa ennustetaan viiden vuorokauden sähköntuotanto tunneittain. Jos turbiini automatisoitaisiin, sähköntuotannon ennustaminen olisi mahdotonta, koska sähköntuotanto vaihtelisi höyryntuotannon mukaan.

Westenergyn turbiinia ei ole suunniteltu säädettäväksi nopeassa tahdissa. Turbiini on suunniteltu tasaista kuormaa varten, joten Westenergy tarvitsisi toisenlaisen turbiinin. Uuteen turbiiniin investointi tulisi kuitenkin hyvin kalliiksi, eikä nykyisillä sähkön hinnoilla se saisi maksettua itseään takaisin käyttöikänsä aikana.



Kuva 5. Esimerkki Westenergyn tuotannon epätasaisuudesta.

5.2 Turbiinin ohjauksen vastuun siirto

Yksi mahdollisista ratkaisumalleista olisi siirtää turbiinin säätäminen ja ohjaus kokonaan Vaasan Sähkön kaukolämpövalvomon vastuulle. Tällöin he voisivat tehdä säädöt suoraan itse ja tuottaa juuri oikean määrän kaukolämpöä jokaisena ajankohtana. Tämä malli vapauttaisi Westenergyn säätövastuusta ja sähköennusteen tekemisestä, koska tällöin myös ennusteen tekeminen olisi Vaasan Sähkön vastuulla.

Samalla kuitenkin vastuun siirto toisi myös haasteita. Esimerkiksi yllättävän teknisen ongelman ilmaantuessa, voisi ongelmanratkaisu olla haastavaa. Westenergyn valvomossa ei oltaisi tietoisia mahdollisen ongelman syystä, koska ongelmaan johtaneet turbiinin säädöt on tehty muualla ja ongelmat tulisivat näin yllätyksenä Westenergyn valvomon henkilökunnalle. Jos vastuun turbiinin ohjauksesta siirtäisi Vaasan Sähkön kaukolämpövalvomolle, vaatisi se siis myös molempien tahojen välistä tiivistä yhteistyötä sekä ongelmanratkaisua. Westenergyn henkilökunnan tulisi saada tieto aina, kun turbiinin tehoon tehdään muutoksia, jotta mahdollisiin ongelmiin osataan varautua ja ne saadaan nopeammin ratkaistua.

5.3 Toimintatavan muutos

Yhdeksi ratkaisuksi mietittiin vanhan käytännön jatkamista uudella toimintatavalla turbiinin ohitustilanteissa. Westenergy olisi siis jatkossakin vastuussa turbiinin käytöstä ja ohjauksesta, mutta turbiinin ohitustilanteet hoidettaisiin optimaalisemmin.

5.3.1 Vanha toimintatapa

Tällä hetkellä Westenergyn valvomo sekä Vaasan Sähkön kaukolämpövalvomo eivät kommunikoi keskenään muuta kuin ongelmatilanteiden sattuessa tai kun Westenergyn normaali kaukolämpötuotanto ei riitä, vaan turbiinia täytyy ohittaa. Kun esiintyy tarve turbiinin ohittamiselle, Westenergy saa puhelun Vaasan Sähköltä ja turbiinin ohitus täytyy aloittaa välittömästi. Turbiinia ohitetaan mahdollisimman paljon eli se säädetään 4 MW teholle, vaikka kaukolämmön tarve ei välttämättä olisikaan niin suuri ja tällöin energiaa voi mennä hukkaan. Myös sen hetkinen sähköennuste menee pieleen, koska ennuste on laadittu jo aikaisemmin ja siinä on oletettu sähköntuotannon jatkuvan samanlaisena. Uusi ennuste laaditaan, mutta sen voimaan astuminen tapahtuu vasta aikaisintaan 80 minuutin kuluttua.

5.3.2 Uusi toimintatapa

Välttääksemme nämä tilanteet kommunikointia Westenergyn valvomon ja Vaasan Sähkön kaukolämpövalvomon välillä tulisikin lisätä, jotta Westenergyn valvomon henkilökunnalla olisi tieto kasvaneesta kaukolämmön tarpeesta jo etukäteen. Tämä tarkoittaisi käytännössä siis enemmän suunnitelmallisuutta ja ennakointia. Tieto turbiinin ohitustarpeesta pitäisi saada vähintään muutamaa tuntia ennen itse ohituksen aloittamista, jotta Westenergyllä osattaisiin varautua tilanteeseen ja myös muutokset sähköennusteeseen saataisiin tehtyä ajoissa.

5.3.3 Turbiinin säätötaulukko

Halusin luoda konkreettisen energiantuotantomääriin perustuvan taulukon, jonka avulla turbiinin teho voitaisiin tarkasti säätää tarvittavan kaukolämpöenergian mukaan. Tutkin tuntikohtaisen energiantuotannon keskiarvoja ja päädyin luomaan

ohjeellisen säätötaulukon. Taulukosta näkee, paljonko kaukolämpöä Westenergyn laitos tuottaa keskimäärin silloin, kun turbiinin teho on välillä 4 000 – 15 000 kW. Taulukon perusteella turbiinin teho voitaisiin säätää 1000 kW välein niin, että kaukolämmöntuotanto vastaisi Vaasan kaukolämpöverkon tarvetta.

Taulukko 4. Turbiinin säätötaulukko.

Sähkö		Kaukolämpö
kW		MW
15 000	=	58
14 000	=	59
13 000	=	60
12 000	=	61
11 000	=	62
10 000	=	63
9 000	=	64
8 000	=	65
7 000	=	66
6 000	=	67
5 000	=	68
4 000	=	69

5.3.4 Kaukolämmöntuotanto-matriisi

Tutkittuani tarkemmin Westenergyn tuotantodataa eri vuodenaajoilta, huomasin kuinka kaukolämpöverkon lämpötila vaikuttaa laitoksen energiantuotantoon. Westenergyn tuottama kaukolämpöenergia on vähäisempää silloin, kun kaukolämpöverkosta palaavan veden lämpötila on korkealla. Tämä johtuu siitä, että savukaasulauhdutin ei pysty luovuttamaan niin suurta määrää energiaa lämpimään paluuveteen kuin viileään. Dataa tutkittuani huomasin, että kaukolämpöverkosta palaavan veden lämpötila on alhaisimmillaan ulkolämpötilan ollessa lähellä nollaa. Tällöin savukaasulauhduttimesta saadaan paras teho irti ja näin myös Westenergyn kaukolämmöntuotanto on korkeimmillaan. Kesäisin verkon lämpötila nousee, koska kaukolämmön kulutus on vähäistä ja ulkolämpötilat ovat hyvin korkealla. Talven pakkasilla verkon lämpötilaa on pidettävä tarkoituksella korkeampana, koska häviöt ovat suurempia ulkolämpötilojen ollessa niin matalat.

Huomattuani kaukolämpöverkon paluuveden lämpötilan vaikutukset energiantuotantoon totesin, että tekemäni turbiinin säätötaulukko ei ole riittävä kattamaan kaikkia olosuhteita. Päätin jalostaa taulukkoa pidemmälle ja tehdä siitä kattavamman. Aloitin noutamalla historiadataa Exceliin Valmet DNA järjestelmästä. Noudin tunnin keskiarvot ulkolämpötilasta, höyryntuotannosta, savukaasulauhduttimen toiminnasta, kaukolämpöverkon paluuveden lämpötilasta, sähköntuotannosta sekä kaukolämmöntuotannosta aikaväliltä 1.3.2020 – 15.2.2021. Näiden arvojen avulla pystyin suodattamaan dataa niin, että jäljelle jäi vain normaalit tuotantotilanteet eli kun höyryntuotannon tunnin keskiarvo oli välillä 82 – 88 t/h, turbiinin asetusarvo oli 15 000 kW ja energiantuotanto oli normaalissa toiminnassaan. Tein suodatuksen siksi, että data olisi mahdollisimman luotettavaa ja antaisi parhaan kuvan normaalitilanteesta laitoksella.

Seuraavaksi tein taulukon, jossa näkyy kaukolämpöverkon paluuveden lämpötilan, savukaasulauhduttimen tehon ja kokonaiskaukolämmöntuotannon keskiarvot kussakin ulkolämpötilassa. Tämän taulukon pohjalle tein kaukolämmöntuotantomatriisin, josta näkee kaukolämmöntuotannon määrän turbiinin tehoilla 4 000 – 15 000 kW eri ulkolämpötiloissa (LIITE 3). Lisäsin värejä havainnollistamaan kaukolämmöntuotannon kasvua turbiinin tehoa vähennettäessä, vihreällä värillä on parhaat tuotantomäärät ja punaisella huonoimmat. Matriisia voitaisiin käyttää apuna, kun Westenergylä halutaan säätää turbiinin teho oikealle tasolle, kun Vaasan Sähkö pyytää lisää kaukolämpöenergiaa verkkoon ja turbiinia täytyy ohittaa. Kaukolämmöntuotantomatriisi voitaisiin ottaa käyttöön uutta toimintatapaa avustavana työkaluna (vrt. 5.3.2 Uusi toimintatapa).

Matriisia luetaan niin, että ensin katsotaan vasemmalta sen hetkinen ulkolämpötila ja sitten samalta riviltä etsitään haluttu kaukolämpöteho. Tämän jälkeen katsotaan kyseiseltä sarakkeelta, millä turbiinin asetusarvolla tämä kaukolämpöteho saavutetaan. Esimerkiksi ulkolämpötilan ollessa 4 °C Vaasan Sähkö pyytää Westenergyä tuottamaan 65 MW kaukolämpöä, niin matriisia apuna käyttäen valitaan turbiinin asetusarvoksi 8 000 kW (Kuva 6). Tällöin kaukolämpöverkkoon tuotetaan juuri oikea määrä energiaa eikä sitä mene turhaan hukkaan (vrt. 5.3.1 Vanha toimintatapa).

Ulkolämpötila (°C)	KL paluuvesi (°C)	SK-lauhduttimen tuotanto (MW)	Turbiinin teho (kW)											
			15 000	14 000	13 000	12 000	11 000	10 000	9 000	8 000	7 000	6 000	5 000	4 000
-18	54,2	6,6	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
-17	53,0	7,5	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
-16	52,7	7,7	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
-15	52,0	8,0	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
-14	51,5	8,2	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
-13	50,9	8,6	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
-12	50,3	8,8	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
-11	49,5	9,2	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
-10	49,4	9,3	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
-9	49,2	9,3	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
-8	48,3	9,7	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
-7	47,8	10,0	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
-6	47,2	10,3	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
-5	46,5	10,6	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
-4	45,9	10,9	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
-3	45,5	11,0	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
-2	45,0	11,2	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
-1	44,6	11,2	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
0	44,3	11,2	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
1	44,1	11,3	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
2	43,7	11,4	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
3	43,4	11,4	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
4	43,3	11,3	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
5	43,2	11,2	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
6	43,1	11,2	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
7	43,5	10,9	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
8	44,2	10,5	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
9	44,7	10,2	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
10	45,5	9,8	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
11	46,2	9,5	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
12	46,5	9,3	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
13	46,7	9,2	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
14	46,8	9,2	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
15	47,0	9,1	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
16	47,3	8,8	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
17	47,6	8,4	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
18	48,0	8,2	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65

Kaukolämmöntuotanto (MW)

Kuva 6. Esimerkki kaukolämmöntuotanto-matriisin käytöstä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli optimoida Westenergyn turbiinin reduktioajo sekä sähköntuotanto. Sain selville, että optimaalisesta turbiinin hyödyntämisestä syntyisi huomattava lisäys sähköntuotantoon sekä sitä kautta myös taloudellista hyötyä. Prosessin edetessä tein laskelmia ja otin huomioon erilaisia muuttuvia tekijöitä, jotta lopputulos olisi mahdollisimman realistinen. Pohdin myös erilaisia ratkaisuja turbiinin reduktioajon ja sähköntuotannon optimoimiseksi. Löysin kolme erilaista ratkaisumallia sekä loin uuden työkalun, kaukolämmöntuotanto-matriisin, optimaalisen turbiinin ohittamisen tueksi.


















Keskusteluissa Westenergyn kanssa kävimme läpi ratkaisumalleja ja niiden toteutusmahdollisuuksia. Turbiinin ohjauksen automatisointia tai turbiinin ohjauksen vastuun siirtoa ei koettu toimiviksi ratkaisuksiksi. Uuden toimintatavan käyttöönotto yhdessä kaukolämmöntuotanto-matriisin kanssa nähtiin parhaana toteutuskelpoisena ratkaisuna tähän tilanteeseen. Matriisi vaatii kuitenkin vielä kokeilua käytännössä, jolloin nähdään sen todellinen toimivuus sekä mahdollinen hyöty. Kaukolämmöntuotanto-matriisia sekä sen käyttöä voisi myös tarvittaessa jatkojalostaa palvelemaan Westenergyn tulevaisuuden tarpeita paremmin.

Uuden lämpövaraston käyttö Vaskiluodossa tulee vähentämään huomattavasti Vaasan Sähkön polttoöljyllä toimivien kaukolämpökeskusten tarvetta. Tulevaisuudessa myös Vaskiluodon voimalaitos tulee olemaan yhä pienemmässä roolissa Vaasan kaukolämpöverkossa. Jatkossa Westenergyn turbiinin reduktioajon tarve voi lisääntyä kaukolämpövaraston lataamisen johdosta alhaisten sähkönhintojen aikaan. Reduktioajon tarve voi myös vähentyä kaukolämpövarastossa olevan energian käyttämisen takia. Jatkotutkimusta voisikin tehdä aiheesta ”Lämpövaraston hyödyntäminen osana turbiinin optimaalista reduktioajoa ja sähköntuotantoa”.

LÄHTEET

- /1/ Lehtomäki, L. 2013. Höyrynjaon optimointi jätteenpolttolaitoksella. Viitattu 12.10.2020.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53883/lauri_lehtomaki.pdf?sequence=1
- /2/ Rytilahti, T. 2019. Höyry- ja energiantuotannon tehonkorotusmahdollisuuksien kartoitus jätteenpolttolaitoksella. Viitattu 13.10.2020. <https://westenergy.fi/westenergy/urapolku/> (salainen)
- /3/ Kivikangas, R. 2021. Westenergy 2020 (PowerPoint-esitys). Viitattu 15.5.2021. (salainen)
- /4/ Westenergy Oy Ab. 2020. Tietoa Westenergystä. Viitattu 23.11.2020.
<https://westenergy.fi/westenergy/tietoa-westenergysta/>
- /5/ Westenergy Oy Ab. 2021. Vuosikertomus 2020: Tuotanto. Viitattu 20.5.2021.
<https://2020.westenergy.fi/westenergyn-laitos/#tuotanto>
- /6/ Westenergy Oy Ab. 2021. Vuosikertomus 2020: Taloustiedot. Viitattu 20.5.2021. <https://2020.westenergy.fi/taloustiedot/>
- /7/ Rytilahti, T. 2021. Westenergyn laitoksen prosessikuvaus. Viitattu 7.3.2021. (salainen)
- /8/ Vaskiluodon Voima Oy, 2020. Tulevaisuuden lämpöenergiavarasto otettiin käyttöön Vaasassa. Julkaistu 29.9.2020. Viitattu 26.4.2021.
<https://www.vv.fi/2020/09/29/tulevaisuuden-lampoenergiavarasto-otettiin-kayttoon-vaasassa/>
- /9/ Vaasan Sähkö Oy. 2021. Reaaliaikainen kaukolämpötuotanto. Viitattu 5.5.2021. <https://www.vaasansahko.fi/reaaliaikainen-kaukolampotuotanto/>

LIITE 1.

	Ulkolämpötila	Kesäjäähdytin	Turbiinin sähköntuotto	Optimoitu turbiinin asetusarvo	Kaukolämmön pyynti	Kaukolämpö Vaasan verkkoon	Vaasan verkon kokonaiskäyttö	Öljyllä tuotettu lämpö	Optimoitu öljyn käyttö	Öljyn säästö	Sähkön markkinahinta	Tuotettu sähkö	Optimoitu sähkö	Erotus
Pvm & Aika	°C	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	€/ MWh	€	€	€
18.5.2020 7.00.00	6,2	0,2	5,0	5,0	72,0	68,2	73,2	5,0	5,0	0,0	 30,16 €	150,81 €	150,80 €	-0,01 €
18.5.2020 8.00.00	7,5	0,5	5,0	5,0	72,0	65,8	67,6	1,7	1,7	0,0	 66,32 €	331,59 €	331,60 €	0,01 €
18.5.2020 9.00.00	7,9	1,0	5,0	5,0	70,1	66,1	69,2	3,0	3,0	0,0	 126,43 €	632,23 €	632,15 €	-0,08 €
18.5.2020 10.00.00	8,9	6,3	5,0	10,4	58,9	59,1	59,1	0,0	0,0	0,0	 119,04 €	595,17 €	1 232,47 €	637,31 €
18.5.2020 11.00.00	9,6	7,3	5,0	11,3	58,6	58,7	58,8	0,0	0,0	0,0	 110,45 €	552,30 €	1 250,33 €	698,03 €
18.5.2020 12.00.00	9,2	7,8	5,0	11,8	57,7	57,7	57,7	0,0	0,0	0,0	 78,21 €	391,07 €	922,79 €	531,72 €
18.5.2020 13.00.00	9,6	6,8	5,0	10,9	57,9	57,9	57,9	0,0	0,0	0,0	 43,03 €	215,17 €	467,41 €	252,25 €
18.5.2020 14.00.00	9,3	9,7	5,0	13,7	55,5	55,6	55,6	0,0	0,0	0,0	 42,88 €	214,39 €	588,15 €	373,76 €
18.5.2020 15.00.00	9,3	9,2	7,4	15,0	53,9	53,9	53,9	0,0	0,0	0,0	 42,27 €	313,00 €	634,05 €	321,05 €
18.5.2020 16.00.00	9,2	6,9	10,0	15,0	54,2	53,9	53,9	-0,1	-0,1	0,0	 36,09 €	360,91 €	541,35 €	180,44 €
18.5.2020 17.00.00	9,6	6,7	10,0	15,0	54,2	54,3	54,4	0,0	0,0	0,0	 36,09 €	360,89 €	541,35 €	180,46 €
18.5.2020 18.00.00	9,4	9,4	10,3	15,0	50,5	50,7	50,6	0,0	0,0	0,0	 38,04 €	392,75 €	570,60 €	177,85 €
18.5.2020 19.00.00	9,1	7,5	11,0	15,0	53,3	53,0	53,0	0,0	0,0	0,0	 43,32 €	476,50 €	649,80 €	173,30 €
18.5.2020 20.00.00	8,7	3,1	9,1	10,6	60,8	59,5	60,1	0,6	0,0	-0,6	 44,30 €	401,13 €	469,44 €	68,31 €
18.5.2020 21.00.00	7,7	0,7	5,0	5,0	68,9	67,1	68,3	1,2	1,2	0,0	 37,39 €	186,95 €	186,95 €	0,00 €
18.5.2020 22.00.00	6,3	0,2	5,0	5,0	72,0	67,3	70,7	3,4	3,4	0,0	 44,21 €	221,06 €	221,05 €	-0,01 €
18.5.2020 23.00.00	4,8	0,3	5,0	5,0	72,0	67,6	71,7	4,1	4,1	0,0	 43,62 €	218,11 €	218,10 €	-0,01 €

LIITE 2.

	Ulko- lämpötila	Höyryn- tuotanto	Kesä- jäähdytin	Turbiini	Turbiini optimoitu	Kaukolämpö asetusarvo	Kaukolämpö tuotto	Kaukolämpö verkko	Polttoöljy / lämpövarasto	Sähkön markkinahinta	Tuotettu	Optimoitu tuotto	Erotus
Aika & pvm	°C	t/h	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	€/MWh	€	€	€
9.10.2020 16.00.00	11,7	83,8	1,9	15,0	15,0	54,0	54,0	54,0	0,0	46,20 €	692,86 €	692,86 €	0,00 €
9.10.2020 17.00.00	11,3	84,3	2,4	15,0	15,0	54,0	53,7	53,7	0,0	47,43 €	709,82 €	709,82 €	0,00 €
9.10.2020 18.00.00	11,0	83,7	1,3	14,9	14,9	56,9	55,5	55,5	0,0	43,26 €	645,09 €	645,09 €	0,00 €
9.10.2020 19.00.00	10,9	84,4	1,0	15,0	15,0	58,0	55,9	55,9	0,0	50,99 €	763,63 €	763,63 €	0,00 €
9.10.2020 20.00.00	10,1	85,3	0,6	13,0	13,0	64,6	59,4	59,4	-0,1	60,03 €	783,36 €	783,36 €	0,00 €
9.10.2020 21.00.00	9,9	84,0	0,6	8,0	8,0	69,6	63,2	63,2	0,0	54,57 €	436,53 €	436,53 €	0,00 €
9.10.2020 22.00.00	9,6	81,6	0,6	8,0	8,0	70,0	60,7	60,8	0,1	25,09 €	200,70 €	200,70 €	0,00 €
9.10.2020 23.00.00	9,9	84,6	0,8	8,0	8,0	70,0	63,2	63,1	-0,1	23,41 €	187,27 €	187,27 €	0,00 €
10.10.2020 0.00.00	10,1	84,4	0,9	8,0	8,0	70,0	62,9	63,1	0,1	20,79 €	166,34 €	166,34 €	0,00 €
10.10.2020 1.00.00	10,1	85,3	1,0	8,7	8,7	70,0	62,5	62,6	0,1	16,97 €	147,26 €	147,26 €	0,00 €
10.10.2020 2.00.00	9,8	83,1	0,9	11,0	11,0	70,0	57,5	57,5	0,0	16,97 €	186,65 €	186,65 €	0,00 €
10.10.2020 3.00.00	8,8	84,8	0,9	11,0	11,0	70,0	58,9	58,8	0,0	16,04 €	176,43 €	176,43 €	0,00 €
10.10.2020 4.00.00	8,8	84,7	0,9	11,0	11,0	70,0	59,0	59,0	0,0	15,51 €	170,64 €	170,64 €	0,00 €
10.10.2020 5.00.00	8,8	84,4	0,9	11,0	11,0	70,0	58,4	58,4	0,0	15,23 €	167,53 €	167,53 €	0,00 €
10.10.2020 6.00.00	9,3	83,9	0,9	11,0	11,0	70,0	58,3	58,3	0,0	16,36 €	179,96 €	179,96 €	0,00 €
10.10.2020 7.00.00	9,7	85,5	0,9	11,0	11,0	70,0	59,8	59,7	-0,1	17,39 €	191,29 €	191,29 €	0,00 €
10.10.2020 8.00.00	9,8	83,6	0,9	11,0	11,0	70,0	57,7	57,7	0,0	19,33 €	212,63 €	212,63 €	0,00 €
10.10.2020 9.00.00	10,1	83,5	0,9	11,4	11,4	68,2	57,3	57,4	0,1	21,49 €	244,04 €	244,04 €	0,00 €
10.10.2020 10.00.00	10,9	84,6	1,4	15,0	15,0	55,2	54,0	54,0	0,0	29,09 €	435,58 €	435,58 €	0,00 €
10.10.2020 11.00.00	11,0	83,9	1,6	15,0	15,0	56,2	55,0	53,4	-1,6	37,41 €	560,70 €	560,70 €	0,00 €
10.10.2020 12.00.00	11,3	84,1	1,7	15,0	15,0	55,0	55,0	45,7	-9,3	32,01 €	479,19 €	479,19 €	0,00 €
10.10.2020 13.00.00	11,5	83,9	4,0	15,0	15,0	54,3	53,9	44,0	-9,9	30,01 €	449,47 €	449,47 €	0,00 €
10.10.2020 14.00.00	11,5	84,5	1,1	14,9	14,9	56,2	55,2	45,2	-10,0	26,99 €	402,76 €	402,76 €	0,00 €
10.10.2020 15.00.00	11,5	83,2	0,7	15,0	15,0	54,1	52,9	43,1	-9,8	24,81 €	371,84 €	371,84 €	0,00 €
10.10.2020 16.00.00	11,2	84,7	0,7	15,0	15,0	53,5	53,3	46,1	-7,3	23,65 €	354,41 €	354,41 €	0,00 €
10.10.2020 17.00.00	10,9	83,6	1,7	15,0	15,0	54,4	52,9	46,5	-6,4	28,03 €	420,00 €	420,00 €	0,00 €
10.10.2020 18.00.00	10,5	83,8	5,0	15,0	15,0	51,1	51,3	51,3	0,0	24,45 €	366,44 €	366,44 €	0,00 €
10.10.2020 19.00.00	10,4	84,2	1,8	15,0	15,0	54,0	53,5	53,5	0,0	32,09 €	480,93 €	480,93 €	0,00 €

LIITE 3.

Ulkolämpötila (°C)	KL paluuvesi (°C)	SK-lauhduttimen tuotanto (MW)	Turbiinin teho (kW)												
			15 000	14 000	13 000	12 000	11 000	10 000	9 000	8 000	7 000	6 000	5 000	4 000	
-18	54,2	6,6	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	Kaukolämmöntuotanto (MW)
-17	53,0	7,5	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	
-16	52,7	7,7	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	
-15	52,0	8,0	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
-14	51,5	8,2	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
-13	50,9	8,6	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
-12	50,3	8,8	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
-11	49,5	9,2	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	
-10	49,4	9,3	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	
-9	49,2	9,3	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	
-8	48,3	9,7	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	
-7	47,8	10,0	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	
-6	47,2	10,3	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	
-5	46,5	10,6	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	
-4	45,9	10,9	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	
-3	45,5	11,0	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
-2	45,0	11,2	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
-1	44,6	11,2	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
0	44,3	11,2	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
1	44,1	11,3	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
2	43,7	11,4	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
3	43,4	11,4	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
4	43,3	11,3	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
5	43,2	11,2	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
6	43,1	11,2	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
7	43,5	10,9	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	
8	44,2	10,5	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	
9	44,7	10,2	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	
10	45,5	9,8	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	
11	46,2	9,5	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
12	46,5	9,3	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
13	46,7	9,2	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
14	46,8	9,2	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
15	47,0	9,1	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
16	47,3	8,8	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
17	47,6	8,4	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	
18	48,0	8,2	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	