KATTILAN ANALYTIIKKAJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTELY, TOTEUTUS JA KÄYTTÖÖNOTTO SIMPELEEN BIOVOIMALAITOKSELLA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan diplomityö

2023

Henri Penttilä

Tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen

Tutkimusassistentti Kari Luostarinen

Ohjaaja: Diplomi-insinööri Manu Kalliokoski

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Henri Penttilä

Kattilan analytiikkajärjestelmän määrittely, toteutus ja käyttöönotto Simpeleen biovoimalaitoksella

Energiatekniikan diplomityö

2023

91 sivua, 28 kuvaa, 2 taulukkoa ja 18 liitettä

Tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen ja Tutkimusassistentti Kari Luostarinen

Avainsanat: analytiikkajärjestelmä, biovoimalaitos, bioenergia, data-analytiikka, suorituskykymittaristo

Työn päätavoitteena on uuden kattilan analytiikkajärjestelmän määrittely, toteutus ja käyttöönotto. Toisena tavoitteena on tutkia suorituskykymittareiden merkitystä ja ominaispiirteitä yleisellä tasolla, sekä vastapainevoimalaitoksen näkökulmasta. Työ on toteutettu Simpeleen biovoimalaitokselle tapaustutkimuksena.

Työn kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan suorituskyvyn mittaamisen teoriaa ja esitellään viitekehys suorituskykymittariston kehitysprojektille. Työn empiriaosuudessa esitellään kohdelaitos ja sen käyttämät järjestelmät ja palvelut. Kohteen nykytilannetta, sekä uuden järjestelmän vaatimuksia ja tavoitteita analysoidaan henkilökunnalle suunnatun kyselyn perusteella. Kehitysprojektin päävaiheissa tehdyt toimenpiteet ja uuden järjestelmän toiminnallisuudet esitellään. Lisäksi esitellään jatkokehityskohteita analytiikkajärjestelmälle ja analysoidaan projektin läpivientiä.

Analytiikkajärjestelmät mahdollistavat prosessien monitavoitteellisen optimoinnin sekä tarjoavat työkaluja tiedon visualisointiin. Järjestelmissä esitettävät tunnusluvut on valittava huolella tapauskohtaisesti, jotta kunkin laitoksen ominaispiirteet voidaan huomioida. Järjestelmän tunnusluvut ja mittarit toimivat henkilökunnan päätöksenteon tukena.

Analytiikkajärjestelmän kehitysprojekti on monivaiheinen ja vaatii monenlaista osaamista organisaation eri tasoilta. Tästä johtuen projektiin on varattava riittävästi aikaa ja resursseja. Käyttöönoton onnistumisen kannalta henkilöstön osallistaminen ja projektista tiedottaminen on tärkeää. Järjestelmän kehittäminen ei saisi päättyä käyttöönottoon, vaan sitä tulisi jatkaa käytön rinnalla, jotta voidaan varmistaa järjestelmän ajantasaisuus ja toimivuus.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Energy Technology

Henri Penttilä

Definition and Implementation of the Boiler Analytics System at Simpele Biopower Plant

Master's thesis

2023

91 pages, 28 figures, 2 tables and 18 appendices

Examiners: Professor Esa Vakkilainen and Research Assistant Kari Luostarinen

Keywords: Analytics System, Biopower Plant, Bioenergy, Data Analytics, Key Performance Indicators

The main goal of this thesis is definition and implementation of the boiler analytics system. The second goal is to study the meaning and characteristics of performance measurements on a general level, as well as from the point of a back pressure power plant's view. This thesis has been carried out as a case study at Simpele biopower plant.

The literature review examines the theory of performance measurement and presents the framework for the development project of the performance measurement system. The empirical part of the thesis introduces the plant and systems and services it uses. The current situation, as well as the requirements and goals for the new system, are analyzed based on an employee survey. The main phases of the project and the functionalities of the new analytics system are presented. In addition, future development goals for the analytics system and the implementation of the project are analyzed.

Analytics systems enable multi-objective optimization of processes and offer tools for data visualization. The key performance indicators must be selected carefully on a case-by-case basis to ensure that the characteristics of each plant can be taken into account. The key performance indicators support the decision-making process.

The analytics system development project is multi-phased and requires all-round skills from different levels of the organization. Due to this, sufficient amount of time and resources must be reserved for the project. Employees must be involved and informed throughout the project to ensure successful implementation. The development of the system must continue after the implementation alongside of the use to ensure that the system is up-to-date and functional.

KIITOKSET

Tämän diplomityön myötä päättyy opiskeluaikani LUT-yliopistossa. Aika on mennyt nopeasti ja opiskelu Lappeenrannassa on ollut todella mukavaa ja antoisaa. Siitä erityinen kiitos kuuluu ystävilleni. Erilaiset opiskelijatapahtumat, matkat ja yhdessä vietetyt hetket opiskeluiden parissa ovat jättäneet paljon hyviä muistoja.

Tämän diplomityön mahdollistamisesta haluan kiittää entistä voimalaitospäällikköä Aki Taiposta. Asiantuntevista neuvoista ja työn ohjaamisesta haluan kiittää nykyistä voimalaitospäällikköä Manu Kalliokoskea. Lämmin kiitos kuuluu myös voimalaitoksen henkilökunnalle ja Sumitomo SHI FW:n henkilökunnalle sujuvasta yhteistyöstä diplomityön aikana. Yliopiston puolelta haluan kiittää Esa Vakkilaista työn ohjaamisesta ja kannustuksesta.

Kaiken perusta on kuitenkin se, että kotiasiat ovat kunnossa. Suurin kiitos siitä kuuluu avopuolisolleni Elinalle, jonka kanssa olen saanut jakaa koko opiskeluaikani. Lopuksi haluan kiittää vielä vanhempiani ja siskoani kaikesta siitä tuesta, jota olen heiltä aina saanut. He ovat mahdollistaneet, kannustaneet ja tukeneet minua kaikessa mitä olen tehnyt.

Lappeenrannassa 21.02.2023

Henri Penttilä

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

f	lisäveden osuus	[%]
h	korkeus	[m]
K	kustannus	[EUR]
k	ominaiskustannus	[EUR/MWh]
M	kosteusprosentti	[%]
m	massa	[kg, ton]
n	kierrosnopeus	[rpm]
Q	lämpöarvo	[kJ/kg]
q_m	massavirta	[kg/s]
q_v	tilavuusvirta	[m^3/h, m^3/s]
r	säde	[m]
X	lauhteen palautusprosentti	[%]

Kreikkalaiset

α	säätöpellin asento	[%]
ρ	tiheys	[kg/m^3]
Φ	lämpöenergia	[MWh]

Alaindeksit

a	alataso
al	apulauhdutin

ar	saapumistilassa
e	etupuoli
h	heittoilmavirtaus
kl	kaukolämpö
l	lauhde
lv	lisävesi
net	netto
o	oikea
pa	polttoaine
ph	prosessihöyry
s	sekundaari
sv	syöttövesi
t	takapuoli
ti	tertiääri-ilma
v	vasen
vs	varastosäiliö
y	ylätaso
ö	raskas polttoöljy

Lyhenteet

BFB	Bubbling Fluidized Bed
CHP	Combined Heat and Power
CO	hiilimonoksidi
EU	Euroopan unioni

FBB	Folding Boxboard
GIGO	Garbage in, Garbage out
KK3	kartonkikone 3
KNP	käynnistyspoltin
KP	kuormapoltin
K6	kattila 6, pääkattila
K7	kattila 7, varakattila
NO_x	typen oksidit
PHD	Process History Database
PMD	Process, Machinery and Drives
PV	Process Variable
SO_x	rikin oksidit
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
VP2	vastapaineturbiini

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Symboli- ja lyhenneluettelo

1 Johdanto ... 13
1.1 Työn tausta ... 13
1.2 Työn tavoitteet ... 14
1.3 Työn toteutus ja menetelmät ... 15
1.4 Työn rakenne ... 16
2 Suorituskyvyn mittaaminen ... 19
2.1 The Balanced Scorecard ... 19
2.2 Mittariston merkitys ... 21
2.3 Mittareiden ominaisuudet ... 22
2.4 Mittariston kehitysprosessi ... 23
2.5 Mittaustiedon analysointi ja esittäminen ... 27
3 Suorituskyvyn seuranta biovoimalaitoksella ... 28
3.1 Höyry-lauhdejärjestelmän ominaisuudet ja energiatehokkuus ... 28
3.2 Mittarointi ... 29
3.3 Mittausten luotettavuus ... 31
3.4 Tyypilliset energiatehokkuuden tunnusluvut ... 32
4 Simpeleen tehdas ... 33
4.1 Pääkattila K6 ... 34
4.1.1 Polttoaineet ... 35
4.2 Varakattila K7 ... 36
4.3 Vastapaineturbiini VP2 ... 37
4.4 Järjestelemät ja palvelut ... 39
4.4.1 Ohjausjärjestelmä, Honeywell PMD ... 39
4.4.2 Trendityökalu, Trimble Wedge ... 40
4.4.3 Polttoaineiden toimitusketjun hallintajärjestelmä, Pinja Once ... 40

4.4.4 Kattilan analytiikkajärjestelmä, Sumitomo Smartboiler ... 42
4.4.5 Leijupedin laadunvalvonta-analyysi, Fescon ... 43
4.4.6 Pilvipalvelu, Microsoft Azure ... 43
5 Kattilan analytiikkajärjestelmän päivitys ... 45
5.1 Määrittely ... 45
5.1.1 Smartboiler-järjestelmän arviointi ... 46
5.1.2 Laitokselle tyypilliset haasteet ... 48
5.1.3 Tavoitteet ja vaatimukset uudelle järjestelmälle ... 51
5.2 Toteutus ... 53
5.2.1 Tiedonsiirto ... 53
5.2.2 Käyttäjätunnukset ja järjestelmään kirjautuminen ... 54
5.2.3 Mittausdatan luotettavuuden tarkastelu ... 54
5.2.4 Analytiikkajärjestelmän käyttöliittymä, Sumitomo Izana ... 55
5.2.5 Energiavirrat ja Sankey-diagrammi ... 59
5.2.6 Raportointi ... 61
5.3 Käyttöönotto ... 61
6 Polttoaineseoksen hallinta ... 62
6.1 Turvesiilon ruuvipurkaimen mallinnus ... 63
6.2 Puusiilon ruuvipurkaimen mallinnus ... 66
6.3 Mallinnuksen haasteet ... 70
7 Muut suorituskykymittarit ... 71
7.1 Höyryn ominaiskustannus ... 71
7.2 Apulauhduttimet ... 72
7.3 Palamisilmat ... 74
7.3.1 Ilmojen jakautuminen ... 74
7.3.2 Palamisilmakartta ... 76
7.4 Savukaasuhäviöt ... 79
7.5 Vedet ... 80
7.5.1 Lisäveden osuus syöttövedestä ... 80
7.5.2 Lauhteen palautusprosentti ... 81
7.6 Öljynkulutus ... 83
8 Johtopäätökset ... 85
9 Yhteenveto ... 88
Lähteet ... 90

Liitteet

Liite 1. Käyttöhenkilökunnan kokemusten perusteella tehty SWOT-analyysi

Liite 2. Työn aikana havaitut epäluotettavat ja vialliset mittarit

Liite 3. Keruuseen lisätyt PHD-positiot

Liite 4. Höyryn ominaiskustannus, käyttöperiaatelomake

Liite 5. Höyryn ominaiskustannusten laskennassa käytettävät positiot

Liite 6. Apulauhdutinhäviöt, käyttöperiaatelomake

Liite 7. Apulauhdutinhäviöiden laskennassa käytettävät positiot

Liite 8. Ilmojen jakautuminen, käyttöperiaatelomake

Liite 9. Palamisilmakartta, käyttöperiaatelomake

Liite 10. Palamisilmakartassa ja ilmojen jakautumisen laskennassa käytettävät positiot

Liite 11. Savukaasuhäviöt, käyttöperiaatelomake

Liite 12. Savukaasuhäviöiden laskennassa käytettävät positiot

Liite 13. Lisäveden osuus syöttövedestä, käyttöperiaatelomake

Liite 14. Lisäveden osuus syöttövedestä laskennassa käytettävät positiot

Liite 15. Lauhteen palautusprosentti, käyttöperiaatelomake

Liite 16. Lauhteen palautusprosentin laskennassa käytettävät positiot

Liite 17. Öljynkulutus, käyttöperiaatelomake

Liite 18. Öljynkulutuksen laskennassa käytettävät positiot

Kuvaluettelo

Kuva 1: Työn rakenne

Kuva 2: The Balanced Scorecard -mallin viitekehys

Kuva 3: Mittariston suunnittelun päävaiheet

Kuva 4: Simpeleen leijupetikattila K6

Kuva 5: Simpeleen öljykattila K7

Kuva 6: Ljungström-turbiinin rakenne

Kuva 7: Once energiaraportti

Kuva 8: Smartboiler: Kattilan analytiikkajärjestelmän päänäyttö

Kuva 9: Projektin aikataulu

Kuva 10: Izana: Prosessinäkymän luonnos

Kuva 11: Izana: Tasenäkymän luonnos

Kuva 12: Izana: Pedin hallintatyökalun luonnos

Kuva 13: Izana: Lämpökartan luonnos

Kuva 14: Izana: Nuohouksen hallintatyökalun luonnos

Kuva 15: Izana: Höyryn virtauskaavion luonnos

Kuva 16: Kiinteiden polttoaineiden hallintajärjestelmän luonnos

Kuva 17: Turvesiilon ruuvipurkaimen tuottokäyrä

Kuva 18: Turvesiilon ruuvipurkaimen moottorin kierrosnopeuden ja PV:n suhde

Kuva 19: Puusiilon ruuvipurkaimen tuottokäyrä

Kuva 20: Puusiilon ruuvipurkaimen moottorin kierrosnopeuden ja PV:n suhde

Kuva 21: Apulauhdutinhäviöt

Kuva 22: Primääri-ilman ja kiertokaasun osuudet

Kuva 23: Ilmojen jakautuminen eri ilmakanavien kesken

Kuva 24: Palamisilmakartta

Kuva 25: Savukaasujen loppulämpötila

Kuva 26: Lisäveden osuus syöttövedestä

Kuva 27: Lauhteen palautusprosentti

Kuva 28: Öljynkulutus

Taulukkoluettelo

Taulukko 1: Process variablen ja turvepurkaimen sähkömoottorin kierrosnopeuden määrityksen mittaustulokset

Taulukko 2: Process variablen ja puupurkaimen sähkömoottorin kierrosnopeuden määrityksen mittaustulokset

1 Johdanto

Euroopan energiamarkkinat ovat muutoksen keskellä. Ilmastonmuutosta pyritään hillitsemään vähentämällä fossiilisten polttoaineiden käyttöä lämmön ja sähkön tuotannossa. Samaan aikaan energiatehokkuutta pyritään parantamaan käyttämällä parhaita saatavilla olevia teknologioita, sähköistämällä yhteiskuntaa ja teollisuutta, sekä lisäämällä dataan, analytiikkaan ja tekoälyyn perustuvien ratkaisujen käyttöä. Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvalla energialla aiheuttaa kuitenkin teknologisia ja poliittisia haasteita. Tuuli- ja aurinkovoima kaipaavat rinnalleen säätövoimaa suuren tuotannon vaihtelun ja energian varastointikapasiteetin puutteiden takia. Bioenergia on osa ratkaisua, mutta laajemmassa mittakaavassa sen käyttöä rajoittaa tarkka ympäristövaikutusten ja kestävyyskriteerien seuranta. Lisäksi ydinvoima jakaa vahvasti mielipiteitä eri maiden kesken. Esimerkiksi Saksa on päättänyt sulkea ydinvoimalansa turvallisuussyihin vedoten. Monien muuttujien summana Euroopan energiaomavaraisuus on laskenut ja riippuvuus tuonti polttoaineista, kuten maakaasusta on kasvanut. Maakaasun rooli energianlähteenä teollisuuden sähköntuotannossa ja yksityisten asuntojen lämmityksessä on merkittävä koko Euroopan tasolla. Suurin osa Eurooppaan tuotavasta maakaasusta on peräisin Venäjältä (Eurostat 2022). Poliittisilla päätöksillä energia riippuvuutta Venäjään on kasvatettu esimerkiksi Nord Stream 2 -kaasuputkihankkeella. Ukrainan sodan, kohonneiden energian hintojen ja energian toimitusvarmuuteen liittyvien uhkien myötä Euroopassa on alettu puhumaan jo energiakriisistä. Suomessa maakaasun käyttö on suhteellisen vähäistä verrattuna moneen muuhun Euroopan maahan, mutta välilliset vaikutukset osuvat Suomeenkin. Ajankohta on Suomen kannalta haastava, sillä kotimaista turvetuotantoa on vähitellen ajettu alas. Lisäksi Suomeen on tuotu Venäjältä esimerkiksi öljyä, sähköä ja biomassaa. Laajojen pakotteiden myötä kaupankäynti Venäjän kanssa on loppunut ja ratkaisuja on etsittävä muualta.

1.1 Työn tausta

Tämä työ on tehty LUT-yliopiston energiatekniikan koulutusohjelman diplomityönä. Työn on teettänyt Metsä Board Simpele. Simpeleen tehtaalla on kartongin tuotantolinja, jonka käyttöön voimalaitos tuottaa prosessihöyryn, lämmityshöyryn ja osan sähköenergiasta.

Lisäksi voimalaitos tuottaa kaukolämpöä Simpeleen taajamaan. Voimalaitos koostuu pääkattilana toimivasta kuplapetikattilasta ja varakattilana toimivasta öljykattilasta. Pääkattilan polttoaineseos koostuu jyrsinturpeesta, kuoresta, purusta, puu- ja metsätähdehakkeesta, jätevedenpuhdistamon lietteestä ja omasta toiminnasta syntyvistä polttokelpoisista jätteistä.

Energiatehokkuus ja ympäristötavoitteet ohjaavat toimintaa uusiutuvien polttoaineiden suuntaan. Simpeleen voimalaitoksen näkökulmasta se on johtanut turpeen käytön vähentämiseen. Teknisten ratkaisujen avulla biopolttoaineiden osuutta on mahdollista kasvattaa entisestään. Laaja polttoainevalikoima on yksi keino turvata energian saanti epävarmoina aikoina. On myös mahdollista, että tulevaisuudessa joudutaan turvautumaan entistä huono laatuisempiin polttoainejakeisiin, jos biomassan käytön sääntely kiristyy ja energia- ja polttoainemarkkinoilla on niukkuutta. Tästä johtuen laitosten on keskityttävä entistä tarkemmin polttoaineseoksen laadun ja palamisprosessin hallintaan. Energiatehokkuuden, päästöjen kontrolloinnin ja prosessien hallinnan kannalta on erityisen tärkeää säilyttää polttoaineseos mahdollisimman tasalaatuisena kosteuden ja lämpöarvon suhteen, vaikka seoksen osakomponentit ja niiden suhteet vaihtelisivat.

Prosessidatan ja analytiikan avulla voidaan arvioida laitoksen tilaa ja luoda erilaisia työkaluja käyttäjille päivittäisen operoinnin ja siihen liittyvän päätöksenteon tueksi. Simpeleen K6 pääkattilassa on ollut käytössä vuodesta 2010 alkaen Sumitomo SHI FW:n Smartboiler -kattilan analytiikkajärjestelmä. Smartboiler sisältää taselaskenta, polttoainediagnostiikka, petidiagnostiikka, likaantumisdiagnostiikka ja raportointi työkalut. Järjestelmä on tullut käyttöikänsä päähän, joten sen uusiminen on tullut ajankohtaiseksi. Uuden kattilan analytiikkajärjestelmän toimittajaksi valikoitui Sumitomo SHI FW, jonka Izana-järjestelmällä Smartboiler korvataan.

1.2 Työn tavoitteet

Työn päätavoitteena on uuden kattilan analytiikkajärjestelmän määrittely, toteutus ja käyttöönotto Simpeleen voimalaitoksen K6 pääkattilalla. Reaaliaikaisen prosessidatan, analytiikan ja tekoälyn avulla pyritään parantamaan laitoksen energiatehokkuutta, optimoimaan resurssien käyttöä, pienentämään päästöjä, minimoimaan suunnittelemattomat seisakit ja parantamaan laitoksen prosessien hallittavuutta. Erityistä huomiota kiinnitetään

käyttäjäystävällisyyteen ja mittausdatan ja siihen perustuvan analytiikan visualisointiin. Tahtotilana on korvata Excel-taulukot erilaisilla kuvaavammilla mittareilla, tunnusluvuilla ja kuvaajilla, nykyaikaisia datan visualisointityökaluja hyödyntäen.

Osana projektia kehitetään voimalaitoksen tiedonhallintaa ja tiedonsiirtoyhteyksiä pilvipohjaisten palveluiden avulla. Tällä hetkellä prosesseista saadaan tietoa prosessinohjausjärjestelmän mittalaitteista sekä ulkopuolisilta palveluntarjoajilta. Tärkeimmät ulkopuoliset palvelut tämän projektin kannalta ovat Fesconin tuottama pedin laatuanalyysi ja Pinjan Once polttoaineiden hallintajärjestelmä. Tavoitteena on automatisoida tiedonsiirto pilvipalveluiden avulla ja hyödyntää sitä Izana-järjestelmässä ja tulevaisuudessa muissa erilaisissa järjestelmissä.

Lisäksi työssä tarkastellaan Simpeleen tehtaan energian tuotantoa ja kulutusta laaja-alaisemmin energiataseiden kautta. Työn teemana on energiaa kuluttavien prosessien tuominen entistä näkyvämmiksi visuaalisten työkalujen avulla. Tarkoituksena on selkeyttää kokonaiskuvaa laitoksen energiankulutuksesta. Tämä helpottaa tulevaisuudessa energiansäästö toimien kohdentamisessa ja niiden vaikuttavuuden parantamisessa.

Työn kirjallisuusosion tavoitteena on esitellä suorituskyvyn mittaamista ja määritellä hyvän suorituskykymittarin ja mittariston ominaisuuksia. Kirjallisuusosiossa esitellään myös viitekehys suorituskykymittariston kehitysprosessille. Lisäksi kirjallisuusosiossa perehdytään biovoimalaitosten erityispiirteisiin mittaroinnin kannalta.

1.3 Työn toteutus ja menetelmät

Uuden analytiikkajärjestelmän kehitysprojektin toteutuksen voi jakaa karkeasti kolmeen osaan, jotka ovat analytiikkajärjestelmän määrittely, toteutus ja käyttöönotto. Projekti alkaa syyskuussa 2022 ja päättyy helmikuussa 2023. Projektin etenemistä seurataan projektiryhmän viikoittaisten palaverien muodossa.

Määrittelyvaiheessa pyritään luomaan yleiskuva laitoksen prosesseista ja niihin liittyvistä haasteista henkilökunnalle suunnatun SWOT-analyysin avulla. Lisäksi käyttöhenkilökunnan kanssa keskustellaan vanhan järjestelmän hyvistä ja huonoista ominaisuuksista ja mahdollisista kehityskohteista uutta järjestelmää suunniteltaessa. Lisäksi analytiikkajärjestelmistä

käydään keskusteluja muiden samantyylisten laitosten henkilökunnan kanssa. Uuden järjestelmän pohjana toimii jo käyttöikänsä päähän tullut vanha analytiikkajärjestelmä Smartboiler. Järjestelmä määritellään ja sen yksityiskohtia tarkennetaan workshopeissa, joihin osallistuu laitoksen käyttöhenkilökuntaa, toimihenkilöitä ja järjestelmätoimittajan edustajia ja asiantuntijoita. Lisäksi ratkaisuja etsitään kirjallisuudesta.

Toteutusvaiheessa luodaan rakenteet automaattiselle tiedonsiirrolle. Useasta lähteestä saatavilla oleva tieto kerätään Metsän pilvipalveluun, josta sitä on mahdollista hyödyntää analytiikkajärjestelmässä. Lisäksi laitoksen prosesseja mallinnetaan ja prosessimittauksia tarkastellaan. Laitokselle luodaan suorituskykymittaristo, joka sijoitetaan osaksi analytiikkajärjestelmää.

Järjestelmän käyttöönoton helpottamiseksi käyttöhenkilökuntaa pyritään aktivoimaan jo kehitysprosessin aikana. Käyttöhenkilökunnalta kerätään palautetta vanhasta järjestelmästä ja kehitysehdotuksia uutta järjestelmää varten. Käyttöhenkilökuntaa osallistetaan myös workshopeissa, joissa määritetään uuden järjestelmän käyttöliittymä. Varsinainen käyttöönotto alkaa Izanan ensimmäisen version julkaisemisesta. Käyttöönottovaihe sisältää käyttäjien koulutusta, palautteen keräämistä ja järjestelmän toiminnallisuuksien viimeistelyä ja kehitystä.

1.4 Työn rakenne

Työn rakenne koostuu työtä taustoittavasta johdannosta, kirjallisuuskatsauksesta, kohteen esittelystä sekä analytiikkajärjestelmän päivitys ja kehitysprosessin esittelystä. Ensimmäinen kappale on johdanto, jossa esitellään työn taustat ja toteutus menetelmät sekä linkitetään työn aihe osaksi laajempaa kokonaisuutta. Työn rakenne on esitetty kuvassa 1.

Kuva 1. Työn rakenne

Kirjallisuuskatsauksessa (kappale 2 & 3) käsitellään suorituskyvyn mittaamiseen liittyvää teoriaa ja esitellään suorituskykymittareille tyypillisiä ominaisuuksia ja kriteerejä, sekä perehdytään biovoimalaitosten erityispiirteisiin mittaroinnin kannalta. Toisen kappaleen alussa esitellään The Balanced Scorecard, joka on yksi tunnetuimmista ja käytetyimmistä suorituskyvyn mittaristoista. Kirjallisuusosiossa esitellään myös viitekehys suorituskykymittariston kehitysprosessille. Kolmannessa kappaleessa esitellään höyry-lauhdejärjestelmien erityisominaisuuksia mittaroinnin kannalta. Lisäksi perehdytään biovoimalaitosten mittaroinnin haasteisiin ja tyypillisiin tunnuslukuihin

Neljännessä kappaleessa esitellään Simpeleen tehdas ja sen tärkeimmät prosessit voimalaitoksen näkökulmasta. Tarkemmin perehdytään pääkattilana toimivaan leijupetikattilaan ja siellä käytettäviin polttoaineisiin. Lisäksi esitellään käytössä olevat energianhallintajärjestelmät ja niiden merkitys osana energianhallinnan kokonaisuutta.

Viidennessä kappaleessa esitellään kattilan analytiikkajärjestelmän kehitysprojektin määrittely, toteutus ja käyttöönotto vaiheet. Kappaleessa esitellään laitoksen, sekä vanhan analytiikkajärjestelmän vahvuudet, heikkoudet, uhat ja mahdollisuudet. Lisäksi esitellään uuden analytiikkajärjestelmän toiminnallisuudet.

Kuudennessa kappaleessa esitetään malli ja siihen liittyvät yhtälöt polttoaineseoksen hallinnan mallintamiselle ja visualisoimiselle. Seitsemännessä kappaleessa esitellään kehitysehdotuksia ja jatkokehityskohteita suorituskyvyn mittaamiseen ja mittaustietojen visualisointiin analytiikkajärjestelmässä.

Raportin lopussa on johtopäätökset ja yhteenveto, joissa projektin tulokset esitellään tiivistetysti. Uuden kattilan analytiikkajärjestelmän soveltuvuutta ja projektin läpivientiä arvioidaan. Lisäksi esitetään jatkotoimenpide suosituksia.

2 Suorituskyvyn mittaaminen

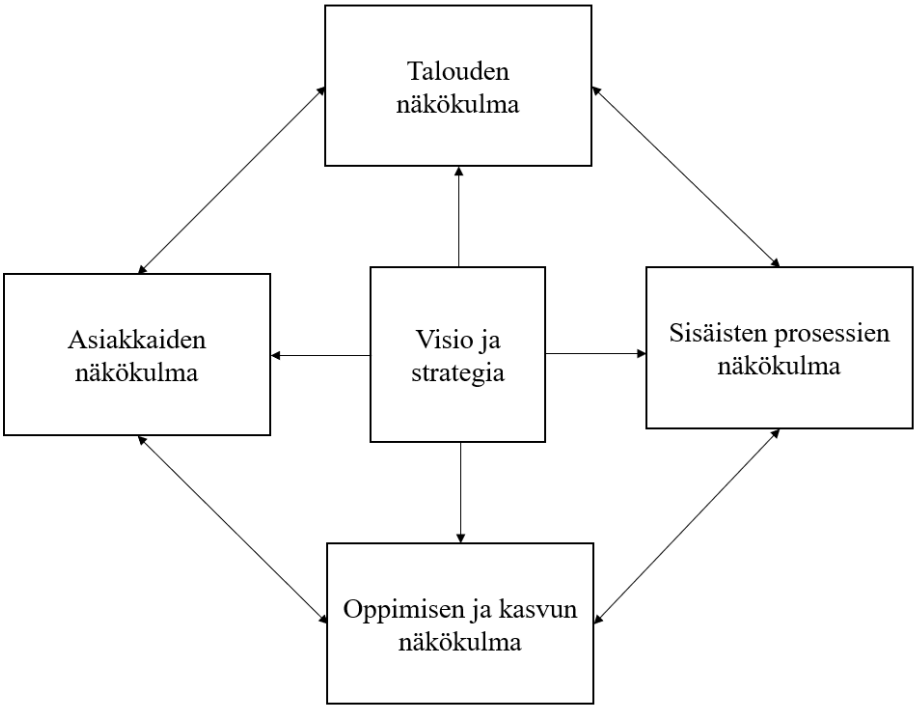
Osakeyhtiölain (624/2006) 1 luvun 5 §:ssä säädetään, että yhtiöiden toiminnan tarkoituksena on tuottaa voittoa osakkeenomistajille. (Finlex 2022) Jotta yhtiö voi kehittää toimintaansa ja toimia tuottavasti pitkällä aikavälillä on sen mitattava suorituskykyään, sillä muuten toiminnan tehokkuutta on vaikea arvioida ja johtaa. Suorituskyvyllä tarkoitetaan kykyä saavuttaa asetetut tavoitteet (Neilimo & Uusi-Rauva 2012). Yhtiöiden suorituskykyä voidaan mitata yrityksen eri tasoilla monilla erilaisilla tunnusluvuilla ja mittareilla. Näistä tunnusluvuista ja mittareista käytetään yleisesti nimitystä menestystekijä. Mittareiden kokoelma muodostaa mittariston, jonka tehtävänä on toimia päätöksenteon tukena (Lönnqvist & Kujansivu & Antikainen 2006).

Kattilan analytiikkajärjestelmän päivitys ja suorituskykymittareiden kehittäminen kuuluvat osaksi sisäisten prosessien tehostamista ja tietoteknisten järjestelmien kehittämistä. Sen ja tämän työn laajuuden vuoksi tulevissa kappaleissa käsitellään suorituskykymittareita pääsääntöisesti sisäisten prosessien tehostamisen ja tietoteknisten järjestelmien kehittämisen näkökulmasta. Suorituskykymittaristot ovat kuitenkin usein laajoja kokonaisuuksia, jotka mittaavat asioita organisaation eri tasoilla erilaisista näkökulmista. Tästä johtuen yksi tunnetuimmista suorituskykymittaristoista The Balanced Scorecard on esiteltynä pääpiirteittäin laajemman yleiskuvan muodostamiseksi ja johdatuksena aiheeseen.

2.1 The Balanced Scorecard

Yhtiöiden suorituskykyä tarkastellaan tyypillisesti useista näkökulmista ja erilaisia mittaristomalleja löytyy kirjallisuudesta useita. Tunnetuin niistä on 1992 Robert S. Kaplanin ja David P. Nortonin kehittämä The Balanced Scorecard -malli, jossa yhtiöiden suorituskykyä tarkastellaan talouden, asiakkaiden, sisäisten prosessien ja oppimisen ja kasvun näkökulmasta. The Balanced Scorecard -mallin, kuten monien muidenkin organisaatioiden suorituskykyä mittaavien mallien tarkoituksena on muuntaa yritysten pitkän aikavälin visio ja strategia tavoitteiksi ja mitattaviksi tunnusluvuiksi, joissa on otettu huomioon yhtiön menestyksen kannalta kriittiset menestystekijät. (Kaplan & Norton 1996) Kuvassa 2 on esitetty The

Balanced Scorecard -mallin viitekehys, jossa kuvataan mittariston eri näkökulmien yhteys toisiinsa ja taustalla olevaan strategiaan ja visioon.



Kuva 2. The Balanced Scorecard -mallin viitekehys (Kaplan & Norton 1996, suomennettu)

Talouden näkökulma sisältää talouden mittareita, jotka indikoivat yhtiön tuloksentekokykyä. Tällaisia mittareita ovat esimerkiksi liikevoitto, sijoitetun pääoman tuotto, liikevaihdon kasvu ja omistajille syntyvä taloudellinen lisäarvo. The Balanced Scorecard -mallin mukaan yhtiön pitkän aikavälin tuloksentekokyvyn taustalla on kyky tuottaa lisäarvoa asiakkaille. Asiakkaiden näkökulma sisältää mittareita, jotka mahdollistavat taloudellisen menestymisen. Tällaisia mittareita ovat esimerkiksi asiakastyytyväisyys, asiakkaiden säilyttäminen, uusien asiakkaiden hankinta, asiakkaiden kannattavuus ja markkinaosuus halutussa markkinasegmentissä. Yhtiöiden menestyminen asiakkaiden ja talouden näkökulmasta selittyy sisäisten prosessien tehokkuudella. The Balanced Scorecard -malli mittaa yhtiöiden sisäisiä prosesseja pitkän aikavälin innovaatioprosessien sekä lyhyen aikavälin operointiprosessien näkökulmista. Pitkän aikavälin innovaatioprosesseja arvioitaessa mitataan kykyä kehittää uusia tuotteita ja löytää uusia asiakassegmenttejä. Lyhyen aikavälin operointiprosesseja arvioitaessa mitataan operointiprosessien hyötysuhdetta, tehokkuutta ja käytettävyyttä sekä markkinointi ja jälkimyyntipalveluiden toimivuutta. Oppimisen ja kasvun näkökulma

määrittelee ne tekijät ja vaatimukset, joilla mahdollistetaan menestyminen talouden, asiakkaiden ja sisäisten operaatioiden näkökulmasta. Oppiminen ja kasvu kulminoituvat kolmeen tekijään, jotka ovat henkilöstö, järjestelmät ja organisaation toimintatavat. Yhtiöiden on panostettava henkilöstön osaamisen ja tietoteknisten järjestelmien kehittämiseen sekä organisaation toimintatapojen ja rutiinien yhdenmukaistamiseen, jotta yhtiön kasvu ja kehittyminen on mahdollista pitkällä aikavälillä. Henkilöstöön liittyviä mittareita ovat esimerkiksi työtyytyväisyys, sitoutuminen, koulutus ja osaaminen. (Kaplan & Norton 1996)

2.2 Mittariston merkitys

Mittausjärjestelmä toimii päätöksenteon tukena. Reaaliprosessien toimivuutta mittaavat tunnusluvut ja mittaristot mahdollistavat prosessien ohjauksen, valvonnan, arvioinnin ja kehittämisen. Mittariston tunnusluvut korostavat organisaation menestyksen kannalta merkittäviä tekijöitä. Hyvin toteutettu mittaristo korostaa mitattavan asian arvoa, ohjaa tekemään oikeita asioita ja selkeyttää tavoitteita ja strategiaa. Tavoitteena on motivoida henkilöstöä tavoittelemaan positiivisia tuloksia positiivisen kilvoittelun kautta. Lisäksi selkeä mittaristo helpottaa kommunikointia ja voi joissakin tapauksissa luoda perusteita palkitsemiselle. (Neilimo & Uusi-Rauva 2012)

Mittausjärjestelmä tuo tietoa yhteen ja mahdollistaa kehityksen seuraamisen. Mittaristo tukee päätöksentekoa kolmella eri tasolla, jotka ovat tärkeimpien menestystekijöiden kontrollointi, toiminnan säännöllinen arviointi sekä strategian kyseenalaistaminen. Yksittäisten menestystekijöiden kontrollointi kuuluu prosessin ohjaajille ja kunnossapito henkilöstölle, toiminnan arviointi kuuluu organisaation tuotannosta vastaaville henkilöille ja strategian kyseenalaistaminen kuuluu pääasiassa organisaation ylemmälle johdolle. Kontrolloinnilla tarkoitetaan tässä tapauksessa keskeisten tekijöiden kehityksen seuraamista. Mittareiden on tarkoitus varoittaa ennakoivasti, kun tärkeät menestystekijät on ajautumassa tavoitetason ulkopuolelle. Kontrollointi voi perustua jatkuvatoimisiin mittauksiin tai tarpeen mukaan toteutettaviin mittauksiin. Laajat mittausjärjestelmät mahdollistavat organisaation toiminnan arvioinnin ja oppimisen. Arvioinnin tarkoituksena on varmistaa säännöllisesti, että yhtiö pystyy kehittymään ja toimimaan tuottavasti pitkällä aikavälillä. Esimerkiksi tasapainotetut the Balanced Scorecardin tyyppiset mittausjärjestelmät sopivat pitkän aikavälin toiminnasta

vastaavien henkilöiden päätöksenteon tueksi. Mittausjärjestelmän tulosten perusteella voidaan myös arvioida ja kyseenalaistaa yhtiön strategiaa. Tulosten perusteella voidaan arvioida menestyykö yhtiö pitkällä aikavälillä, jos se menestyy määritetyillä mittareilla. (Kankkunen & Matikainen & Lehtinen 2005)

2.3 Mittareiden ominaisuudet

Mittareita voidaan luokitella monella eri tavalla. Mittarit voidaan jakaa esimerkiksi taloudellisiin ja ei-taloudellisiin mittareihin, koviin ja pehmeisiin mittareihin, objektiivisiin ja subjektiivisiin mittareihin tai suoriin ja epäsuoriin mittareihin.

Taloudelliset mittarit kuvaavat liiketaloudellisten tavoitteiden toteutumista perustuen rahamittaiseen tietoon. Taloudellisten mittareiden laskentaperusteet ovat usein vakiintuneita ja tunnusluvut ovat vertailukelpoisia eri organisaatioiden välillä. Taloudellisia mittareita ovat esimerkiksi liikevaihto ja käyttökate. Vastaavasti ei-taloudelliset mittarit kuvaavat sisäisten prosessien toimivuutta. Ei-taloudellisten mittareiden avulla voidaan viestiä henkilöstölle sisäisiin prosesseihin liittyvistä tavoitteista. Ei-taloudellisia mittareita voivat olla esimerkiksi toimitusaika tai varaston kiertonopeus. Ei-taloudellisille mittareille ei ole yleensä vakiintuneita laskentaperusteita, joten niiden tulokset eivät välttämättä ole vertailukelpoisia eri organisaatioiden kesken. Lyhyen tähtäimen voittojen tavoittelu ja osaoptimointi ovat sekä taloudellisten, että ei-taloudellisten mittareiden haaste. (Lönnqvist et al. 2006)

Toisaalta mittarit voidaan luokitella koviin ja pehmeisiin mittareihin. Kovat mittarit mittaavat yksittäisiä yksiselitteisiä tunnuslukuja, kuten esimerkiksi suoritusmääriä. Pehmeät mittarit perustuvat vaikeammin mitattaviin asioihin, kuten ihmisten asenteisiin, tuntemuksiin ja mielipiteisiin. Pehmeitä mittareita voivat olla esimerkiksi erilaiset asiakkaiden tai henkilöstön tyytyväisyyskyselyt. Jokaisesta mittarista löytyy taloudellisen tai ei-taloudellisen sekä kovan tai pehmeän mittarin piirteitä. (Lönnqvist et al. 2006)

Mittarit voidaan jakaa myös subjektiivisiin ja objektiivisiin mittareihin. Subjektiivisilla mittareilla pyritään arvioimaan menestystekijöiden tilaa. Subjektiivisilla mittareilla on samoja piirteitä kuin pehmeillä mittareilla. Subjektiiviset mittarit antavat suuntaa antavia arvioita kehittämistarpeista, mutta niiden avulla on haastavaa saada tarkkaa kuvaa mitattavan tekijän tilasta. Objektiivisilla mittareilla on samoja piirteitä kuin kovilla mittareilla. Objektiivisilla

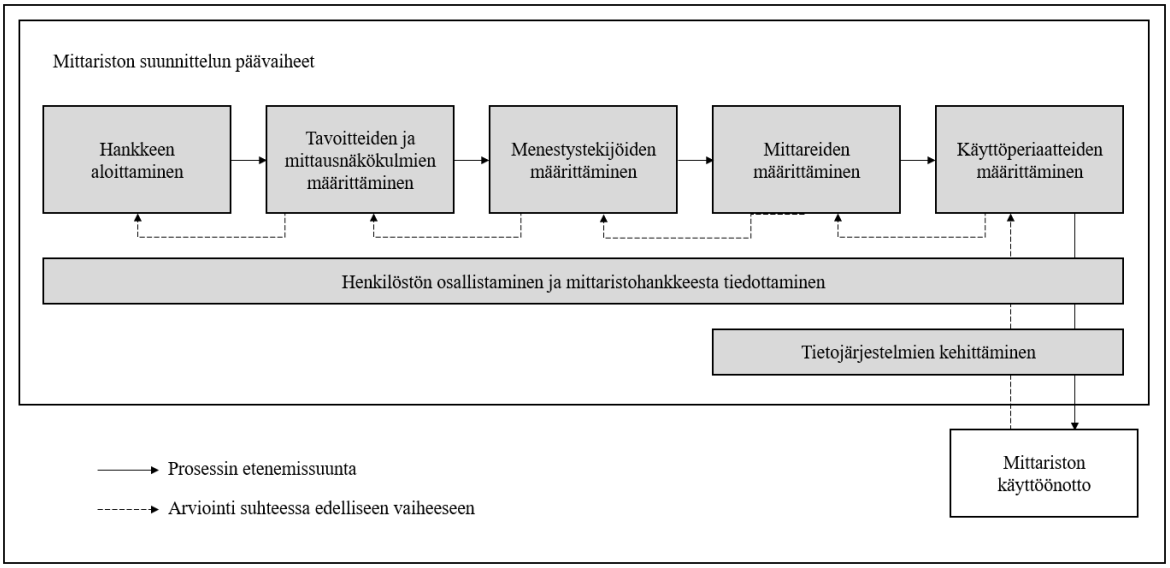
mittareilla arvioidaan mitattavan tekijän tilaa toiminnasta tai sen tuloksista saatavan määrällisen informaation perusteella. (Lönnqvist et al. 2006)

Neljäs tapa luokitella mittareita on jakaa ne suoriin ja epäsuoriin mittareihin. Suorilla mittareilla mitataan suoraan niitä tekijöitä, joista ollaan kiinnostuneita. Mikäli mitattavaa asiaa ei voida mitata suoraan, voidaan sitä mitata epäsuorasti sellaisten tekijöiden kautta, joiden tiedetään vaikuttavan mitattavaan asiaan. Tällaisia mittareita kutsutaan epäsuoriksi mittareiksi (Lönnqvist et al. 2006)

Mittariston tehtävänä on tukea päätöksentekoa. Yleisellä tasolla mittaristolle voidaan määritellä kriteerejä informaation käyttökelpoisuuden ja mittariston tehokkuuden arvioimiseksi. Hyvän mittarin ominaisuuksia ovat esimerkiksi mittarin merkityksellisyys, ajankohtaisuus, luotettavuus, tarkkuus, käytännöllisyys, kustannustehokkuus ja havainnollisuus. (Neilimo & Uusi-Rauva 2012)

2.4 Mittariston kehitysprosessi

Mittariston kehitys- ja käyttöönottoprosessi on usein monivaiheinen ja aikaa vievä projekti. Erilaisia malleja on kehitetty helpottamaan ja selkeyttämään mittariston kehitysprosessia. Tyypillisesti mittariston kehitysprosesseista on tunnistettavissa viisi päävaihetta, jotka ovat projektin aloittaminen, tavoitteiden ja näkökulmien määrittäminen, menestystekijöiden määrittäminen, mittareiden ja tunnuslukujen määrittäminen, mittareiden käyttöperiaatteiden määrittäminen ja lopulta mittariston käyttöönotto. Sen lisäksi onnistuneissa mittariston kehitysprojekteissa on tärkeässä roolissa henkilöstön osallistaminen ja tiedottaminen, sekä tietojärjestelmien kehittäminen vastaamaan mittariston vaatimuksia. Todellisuudessa vaiheet voivat toteutua myös osittain samanaikaisesti. (Lönnqvist et al. 2006) Kuvassa 3 on esitetty mittariston suunnittelun päävaiheet. Prosessin suuntaa kuvataan nuolilla. Prosessi on iteratiivinen ja jokaisen vaiheen tuloksia verrataan edellisessä vaiheessa määritettyihin kriteereihin, joita kuvataan katkoviivanuolilla.



Kuva 3. Mittariston suunnittelun päävaiheet (Lönnqvist et al. 2006)

Projektin aloittamisen lähtökohtana on mittaus tarpeen tunnistaminen. Tarpeen tunnistamisen jälkeen alkaa projektiorganisaation rakentaminen. Mittariston kehitysprojektit on järkevää toteuttaa ryhmätyönä. Työryhmään kannattaa valita merkittäviä henkilöitä organisaation eri puolilta (johtajia ja henkilöstöä). Tämä helpottaa mittariston käyttöönottoa, kun organisaation eri tasojen erilaiset näkökulmat on otettu huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Lisäksi joissakin tapauksissa ulkopuolisen asiantuntijan käyttäminen osana työryhmää voi olla hyödyllistä. Projektiorganisaation määrittämisen lisäksi projektin alussa on tärkeää sopia projektin tavoitteista, kuten aikataulusta, käytössä olevista resursseista ja odotuksista lopputuloksen suhteen, sekä suunnitella projektin viestintää ja henkilöstön osallistamista. (Lönnqvist et al. 2006)

Projektiorganisaatioon kannattaa valita tasapainoinen ryhmä henkilöitä, joilla on erilaisia ominaisuuksia ja osaamista. Ryhmästä tulisi löytyä organisaatiokohtaista kokemusta, toiminto- ja aluekohtaista tuntemusta, osaamista arvioitavasta prosessityypistä ja potentiaalisia työntekijöitä. Lisäksi ryhmän jäsenillä tulisi olla hyvät analyyttiset taidot, hyvät ihmissuhdetaidot, haastattelutaito, viestintätaidot ja ymmärrys yrityksen strategiasta. (Kankkunen et al. 2005)

Mittariston tulee tukea yhtiön pitkän aikavälin visiota ja strategiaa. Mittariston kehitysprojektin alkuvaiheessa onkin tärkeää täsmentää ja täydentää yhtiön strategiaa, jotta sen perusteella on mahdollista määritellä menestystekijät ja mittaristo. Lisäksi sidosryhmien tarpeiden

tunnistaminen voi auttaa mittariston kehityksessä. Strategian tarkastelun jälkeen valitaan mittausnäkökulmat mittaristolle. Tavoitteena on luoda mittaristosta tasapainoinen ja järkevä kokonaisuus, joka huomio organisaation erityispiirteet. Seuraavassa vaiheessa määritetään eri mittausnäkökulmien tavoitteiden saavuttamisen kannalta tärkeimmät menestystekijät. Menestystekijöitä määritettäessä on arvioitava prosesseja ja asioita, joissa yrityksen on onnistuttava, jotta se voi toteuttaa haluttua strategiaa, täyttää eri sidosryhmien sille asettamat odotukset ja toimia menestyksekkäästi pitkällä aikavälillä. Lisäksi mittariston kehitysprojekteille on tyypillistä, että menestystekijöitä tarkennetaan projektin aikana, mikäli myöhemmin huomataan, että menestystekijää on erityisen hankalaa mitata. (Lönnqvist et al. 2006)

Mittareiden valintavaiheessa aiemmissa vaiheissa määritetyille menestystekijöille pyritään kehittämään konkreettisia ja niitä mahdollisimman hyvin kuvaavia mittareita. Mittareiden valinnassa on kiinnitettävä huomiota mittareiden käyttötarkoitukseen. Mittarin käyttötarkoitus voi olla esimerkiksi henkilöstön ohjaaminen ja motivoiminen tai sitä voidaan käyttää palkkauksen perusteena. Erilaisia mittareiden ominaisuuksia ja mittarityyppejä on esitelty kappaleessa 2.3 Mittareiden ominaisuudet. Hyvä mittari on yhteydessä yrityksen strategiaan ja menestystekijöihin, helposti ymmärrettävissä, yksiselitteinen, informatiivinen, raportoitavissa, sekä huomio pitkän aikavälin tavoitteet. Lisäksi henkilöstön pitäisi hahmottaa oman työnsä vaikutus mittareihin. Mittareilla tulee mitata toiminnan kannalta merkittävimpiä asioita, mutta mittaamisen tulisi olla myös edullista ja helppoa. Mittareita valittaessa kannattaa suosia jatkuvatoimisia mittareita, sillä niiden avulla mittaamisen yksikkökustannus laskevat, mittausdata on reaaliaikaista sekä ne mahdollistavat järjestelmien jatkuvan parantamisen (Kankkunen et al. 2005). Henkilöstön motivaatio ja kiinnostus mittareita kohtaan voi laskea, mikäli mittarin ylläpitäminen vaatii suuria investointeja tai se on erityisen työlästä. Mittareiden sopiva lukumäärä riippuu organisaation koosta ja tarpeista, eikä sille ole olemassa yleispätevää ohjetta. Yleensä mittareita kannattaa kuitenkin olla ensisijaisesti vähemmän kuin liian paljon. Liian laajassa mittaristossa tärkeimmät mittarit voivat jäädä liian vähälle huomiolle. Mittarit voivat myös muuttua projektin edetessä, kun niiden lopullisia käyttöperiaatteita määritellään tai niitä otetaan käyttöön. Käyttöönottovaiheessa saatetaan huomata, että tarvittavan mittausdatan kerääminen ja muokkaaminen ei onnistu tai mittausdata ei ole tarpeeksi luotettavaa. (Lönnqvist et al. 2006)

Jokaiselle mittarille on määritettävä käyttöperiaatteet tapauskohtaisesti. Käyttöperiaatteiden määrittämisen tarkoituksena on auttaa mittareiden käyttäjiä ja tulosten seuraajia

ymmärtämään keskeiset mittariin liittyvät asiat. Kirjallisuudesta löytyy erilaisia listauksia ja viitekehyksiä mittareiden käyttöperiaatteiden määrittämiseksi. Mittareiden käyttöperiaatteiden määrittäminen mittareiden suunnitteluvaiheessa selkeyttää mittarin suunnitteluprosessia. Toisaalta käyttöperiaatteiden dokumentointi varmistaa tiedonsiirtymisen käyttäjille. Käyttöperiaatteita laatiessa pitäisi määritellä ainakin, tavoitearvot, datalähteet, kuinka usein dataa kerätään ja kuka vastaa datan keräämisestä. (Lönnqvist et al. 2006)

Mittareiden suunnittelun jälkeen suunnitelmat siirretään käytäntöön. Käyttöönotto sisältää tyypillisesti ainakin tietojärjestelmien muokkausta, henkilöstön kouluttamista ja mittariston testausta. Tietojärjestelmiä joudutaan usein muokkaamaan, jotta mittariston kannalta tarvittava informaatio saadaan hyödynnettäväksi. Mittariston pääperiaatteiden kouluttaminen on tärkeää, jotta mittaristoa aletaan käyttämään ja henkilöstö ymmärtää mittariston tarkoituksen. Mittariston testaus sisältää mittausdatan keräämistä, laskennan analytiikan kehittämistä, analysointia ja raportointia. Mittausjärjestelmän käyttöönottoon vaikuttavat tekijät voidaan tyypillisesti jakaa mittaristoon liittyviin tekijöihin ja ihmisiin liittyviin tekijöihin. Tietolähteiden ja niihin liittyvän laskennan tulee olla kunnossa, jotta mittaristo toimii halutulla tavalla. Mittaristoa voidaan joutua myös muokkaamaan käyttöönoton yhteydessä, mikäli huomataan, ettei mittareiden avulla onnistuta tuomaan esille haluttuja asioita. Lisäksi on oltava valmis tekemään toimenpiteitä, mikäli mittaristoon asetettuja tavoitteita ei saavuteta. Oleellista on selvittää miksi asetetut tavoitteet eivät täyty. Henkilöstön sitouttaminen organisaation eri tasoilla on yhtä tärkeää kuin mittariston tekninen toiminta. Henkilöstön sitouttamisessa auttaa läpi kehitysprojektin jatkuva tiedottaminen, mittariston käyttöönotossa tapahtuva kouluttaminen ja organisaation eri tasojen keskeisten henkilöiden osallistaminen mittariston kehitykseen jo suunnitteluvaiheessa. Sitouttamisen kannalta on myös tärkeää, että henkilöstö kokee mittausjärjestelmän enemmän toimintaa haluttuun suuntaan ohjaavana, kuin kontrolloivana järjestelmänä (Kankkunen et al. 2005). Mittareiden käyttöönottoon kuluva aika voi vaihdella merkittävästi, riippuen mittareiden luonteesta ja käytössä olevista resursseista. (Lönnqvist et al. 2006)

Mittariston kehitysprosessi ei pääty mittariston käyttöönottoon. Mittaristoa käytettäessä voi ilmetä puutteita, joita ei ole suunnitteluprosessin aikana osattu huomioida. Mittariston käyttäjien havaitsemat puutteet voivat laskea mittariston käyttöastetta, mikäli niitä ei korjata. Tämän vuoksi käyttöönoton jälkeen mittareiden toimivuutta ja hyödyllisyyttä tulee arvioida ja kehittää niiden käytön rinnalla jatkuvasti. On oleellista, että mittareiden käyttö on liitetty

osaksi normaalia toimintaa. Lisäksi mittareiden mahdolliset virhelähteet ja puutteet on syytä tiedostaa mittareita arvioitaessa. (Kankkunen et al. 2005)

2.5 Mittaustiedon analysointi ja esittäminen

Mittaustiedon analysointi kannattaa tehdä lähellä operatiivista toimintaa, koska siellä ymmärretään tyypillisesti parhaiten tiedon luonne. Tiedon käyttäjillä on ymmärrystä tiedon taustoista ja heidän kommenttiensa perusteella numeeristen arvojen tulkitseminen helpottuu. Tietoa voidaan analysoida monella tapaa, esimerkiksi keskiarvojen ja summafunktioiden avulla. Toisaalta eri mittareiden tietoja voidaan yhdistää laajempia kokonaisuuksia kuvaaviksi indeksiluvuiksi. Tietoa analysoitaessa on kuitenkin tärkeää kiinnittää huomiota mittarin kohdistettavuuteen, joka voi olla haastavaa indeksilukujen kohdalla. Mittaustietoja voidaan analysoida suhteessa historia trendeihin, tunnistettuun varianssiin tai ennalta määritettyyn tasoon. Tasoja voidaan määrittää tavoitteiden, parhaiden vastaavien käytäntöjen tai aiemman suoritustason perusteella. Mittaustietoja analysoitaessa on otettava huomioon, että kehittyneiden analysointityökalujen käyttö tai esitystarkkuuden lisääminen ei paranna mittarin tuloksia, mikäli järjestelmään syötettävän raakadatan mittaustarkkuus ei parane. Tästä johtuen raakadatan luotettavuuden ja oikeellisuuden arviointiin on syytä kiinnittää huomiota mittaustietoja analysoitaessa. (Kankkunen et al. 2005)

Mittareiden luomisen sekä tiedon analysoimisen lisäksi on syytä panostaa mittaustiedon esitystapaan. Nykyaikaisten datan visualisointityökalujen avulla mittareiden viesti voidaan muuttaa selkeiksi ja helposti ymmärrettäviksi kuvaajiksi. Erilaisia mittaustiedon visualisointi tapoja ovat esimerkiksi viivadiagrammit, pylväsdiagrammit, ympyräkaaviot, histogrammit, monikulmiot, ja virtauskaaviot. Esitettäviä lukuarvoja arvioidaan tavoitteisiin nähden usein liikennevalomittareilla. Lisäksi mittareiden raja-arvot voidaan määrittää osaksi kuvaajia, jotta kuvaajasta nähdään suoraan mikäli ollaan poistumassa raja-arvojen ulkopuolelle. Oikeiden visualisointityökalujen käyttö nopeuttaa ja helpottaa mittareiden tulkintaa ja parantaa käyttäjäkokemusta. (Kankkunen et al. 2005)

3 Suorituskyvyn seuranta biovoimalaitoksella

Kattilan analytiikkajärjestelmän päivitys ja suorituskykymittareiden kehittäminen kuuluvat osaksi sisäisten prosessien tehostamista ja tietoteknisten järjestelmien kehittämistä. Sen vuoksi tulevissa kappaleissa käsitellään sisäisten prosessien suorituskyvyn mittaamista biovoimalaitoksella ja esitellään siihen liittyviä erityispiirteitä. Tyypillisesti voimalaitos ympäristössä sisäisten prosessien suorituskyvyn kehittäminen kulminoituu pitkällä aikavälillä energiatehokkuuden parantamiseen.

Mittareita määritettäessä on arvioitava saavutettavia tuloksia mittaamisen kustannuksiin. Sen vuoksi on tärkeää arvioida eri käyttäjäryhmien tarpeet. Tuotantotasolla tarvitaan reaaliaikaista ja tarkkaa mittaustietoa, kun yrityksen johdolle riittää kokonaisvaltaisemmat tunnusluvut. Tyypillisesti energiatehokkuus tietoja voidaan käyttää apuna reaaliaikaisessa prosessinohjauksessa, kunnossapidon seurannassa, tuotannon palavereissa, investointipäätösten perusteluun ja tekemiseen, johdon katselmuksiin, energiankulutuksen raportointiin, ympäristövaikutusten raportointiin, viranomaisraportointiin ja lopputuotteiden ympäristövaikutusten arviointiin. (Motiva 2014)

3.1 Höyry-lauhdejärjestelmän ominaisuudet ja energiatehokkuus

Höyryä käytetään yleisesti energian siirrossa tuottajalta loppukäyttäjälle. Höyryllä on useita hyviä ominaisuuksia, joiden seurauksena sitä käytetään laajalti. Höyry on myrkytöntä, suhteellisen edullista, sen siirtäminen on helppoa ja sen lämpötilaa voi säätää paineen avulla. Lisäksi höyryllä on korkea lämpökapasiteetti. (Motiva 2015) Höyryjärjestelmät voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan, jotka ovat höyryä tuottavat prosessit, höyryä kuluttavat prosessit ja höyry- ja lauhdesiirtojärjestelmät. Höyryä tuotetaan tyypillisesti erilaisilla kattiloilla. Metsäteollisuuden integraateissa höyryä voidaan tuottaa esimerkiksi soodakattiloilla ja kuorikattiloilla. Teollisuudessa höyryä käytetään tuotannon prosessien lämmittämiseen ja ylläpitämiseen. Höyryä käytetään myös kaukolämpöveden lämmittämiseen ja sähkön tuotantoon höyryturbiinilla. Höyry- ja lauhdesiirtojärjestelmät sisältävät höyryn ja lauhteen siirtolinjat, lämmönsiirtimet, lauhduttimet, lauhteenpoistimet, lauhdesäiliöt, höngityssäiliöt, säätöventtiilit, mittalaitteet ja toimilaitteet. (Motiva 2012)

Höyryjärjestelmän energiatehokkuutta voidaan parantaa tehokkaalla lauhteenkäsittelyllä ja minimoimalla häviöitä. Lisäksi on tärkeää, että järjestelmä on suunniteltu ja mitoitettu kuhunkin tilanteeseen sopivaksi. Lauhteenkäsittelyssä on kiinnitettävä huomiota lauhteenerottimien kunnossapitoon, sekä varmistettava oikeanlainen ja riittävä lauhteenpoisto, ilmanpoisto ja lianpoisto putkistosta. Lisäksi lauhteen ja hönkähöyryjen tehokas hyödyntäminen parantaa energiatehokkuutta. Lauhde sisältää paljon energiaa ja se on pyrittävä palauttamaan prosessiin mahdollisimman tehokkaasti. Häviöitä aiheuttavat tyypillisesti putkistovuodot ja puutteet eristyksessä. Järjestelmää suunniteltaessa on pyrittävä minimoimaan jyrkistä mutkista aiheutuvat putkiston painehäviöt ja valittava mahdollisimman alhainen painetaso. Höyryn kulutusta voidaan vähentää myös optimoimalla höyryä käyttäviä laitteita. On tärkeää pitää laitteet kunnossa ja tehokkaasti lämpöeristettyinä. Höyryn kulutusta on myös mahdollista vähentää optimoimalla laitteiden automaatiota ja laskemalla prosessien lämpötilatasoja mahdollisuuksien mukaan. Myös tarkka ja täsmällinen prosessinohjaaminen vähentää häviöitä. (Motiva 2015)

Energiatehokkuuden parantaminen vaatii energiaa kuluttavien prosessien tuntemusta, seurantaa ja koko organisaation sitoutumista. Energiankulutuksen jakautumisen tunteminen osasto-, linja- ja laitetasolla luo perustan kehitystyölle. Lisäksi on tunnistettava eri tekijöiden vaikutus energiankulutukseen. Yleisesti tunnistettuja energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat tuotannon määrä, teho, laatu, raaka-aineet, ja katkot tuotannossa. Lisäksi energiatehokkuuteen voi vaikuttaa käyttäjien erilaiset prosessin ohjaustavat sekä ulkoiset tekijät, kuten ulkolämpötila. Energiatehokkuutta seurataan tyypillisesti kuukausitasolla erilaisten taselaskelmien ja raporttien avulla. Energiankulutuksen seuraaminen perustuu siihen vaikuttavien suureiden mittaamiseen. (Motiva 2014)

3.2 Mittarointi

Mittaamisen avulla voidaan seurata prosessin toimintaa. Mittaaminen voi olla jatkuvatoimista tai mittauksia voidaan tehdä satunnaisesti tarpeen vaatiessa. Jatkuvatoimisen mittaamisen etuna on se, että se mahdollistaa nopean reagoinnin muutoksiin. Oleellista kuitenkin on, että mittaus on toistettavissa, mittaustarkkuus on tiedossa, mittausalueet ovat sopivat ja mittaustulokset mahdollistavat oikeanlaisten johtopäätösten tekemisen (Motiva 2012).

Mittaustarkkuus voi vaihdella eri mittareiden välillä tarpeen mukaan. Tarkasteltava suure ja mittauspaikan sijainti määrittelevät reunaehdot, joiden perusteella valitaan sopivin mittausmenetelmä. Mittausten luotettavuus varmistetaan mittalaitteiden säännöllisellä kalibroinnilla ja kunnossapidolla. Erityistä tarkkuutta vaativat tyypillisesti laskutukseen, päästöihin ja räjähdysherkkiin prosesseihin liittyvät mittaukset. (Motiva 2014)

Energiatehokkuuden seurantaan käytetään tyypillisesti höyry-, kaasu-, neste- ja massavirtamittauksia, paine – ja paine-eromittauksia, lämpötila ja lämpötilaeromittauksia, kosteusmittauksia ja sähkötehomittauksia. Tilanteesta riippuen virtausta voidaan mitata mittalaipoilla, vortex-mittauksella, pitot-putki mittauksella, ultraäänimittauksella tai magneettisilla virtausmittareilla. Mittaria valittaessa on huomioitava virtaavan aineen ominaisuudet, virtausnopeus, mittausalueen suuruus, mittauksen aiheuttama painehäviö, sekä mittalaitteen ja putkiston geometria. Painemittaukset toteutetaan tyypillisesti mekaaniseen muodonmuutokseen perustuvalla kalvomittauksella, painevaaitukseen perustuvalla mittauksella tai nestepaineen muutoksiin perustuvalla mittauksella. Mittaria valittaessa on huomioitava tarvittava mittausalue, mitattavan aineen ominaisuudet ja lämpötila ja miten suurta likaantuminen on mittauspisteessä. Lämpötilamittaukset voidaan toteuttaa esimerkiksi vastuslämpömittareiden, säteilylämpömittareiden tai mekaanisten lämpömittareiden avulla. Mittaria valittaessa on huomioitava vaatimukset mittaustarkkuudelle, mittausalue ja mittausanturin suojaustarve. (Motiva 2012)

Mittaamisen kustannukset rajoittavat usein mittausten määrää. Kustannuksia aiheutuu mittalaitteiden lisäksi niiden asennustöistä. Mittalaitteiden asentaminen vie aikaa ja voi vaatia asennuksen ajaksi paikallisen katkon prosessiin. Uusien mittalaitteiden asentaminen vaatii tyypillisesti myös virransyötön rakentamisen, kaapelointia ja uusia läpivientejä. Joissakin tapauksissa voidaan joutua tekemään myös putkistomuutoksia, jotta mittaamisella saadaan luotua tarvittavat edellytykset. Mittaamisen lisäksi on määritettävä tiedonsiirto, käsittely, tallennus ja raportointi tavat. Tiedonsiirto tapahtuu tyypillisesti pilvipalveluiden välityksellä, jolloin tieto on helposti saatavilla erilaisia käyttötarkoituksia varten. Tiedonsiirtoyhteyksien rakentamiseen on kuitenkin varattava riittävästi aikaa ja resursseja. (Motiva 2014)

3.3 Mittausten luotettavuus

Luotettavan mittaamisen edellytykset luodaan mittareiden suunnitteluvaiheessa oikeanlaisten mittausinstrumenttien valinnalla. Lisäksi mittarit on sijoitettava prosessiin mittaamisen kannalta soveltuviin paikkoihin ja asennettava oikeaoppisesti. Käytön aikana mittausten luotettavuus varmistetaan valvomalla mittausten tuloksia, sekä huoltamalla ja kalibroimalla mittalaitteita säännöllisesti. Mittaustulosten valvonta voidaan toteuttaa esimerkiksi vikadiagnostiikkaohjelmilla, jotka mahdollistavat vikatilanteiden nopean havaitsemisen. (Motiva 2012)

Höyry- ja lauhdejärjestelmissä tyypillisesti toistuvia mittausongelmia on useita. Mittausongelmat voidaan jakaa karkeasti mittauksista johtuviin ongelmiin ja signaalinkäsittelystä johtuviin ongelmiin. Mittauksista johtuvien ongelmien syynä voi olla esimerkiksi vikaantunut tai likaantunut mittalaite. Esimerkiksi jatkuva mekaaninen tärinä tai paineiskut voivat rikkoa mittalaitteen. Toisaalta mittalaite voi olla myös asennettu mittaamisen kannalta epäedulliseen kohtaan, jolloin sen mittaamat arvot ovat epäjohdonmukaisia, eivätkä vastaa kokonaisuutta. Esimerkiksi erilaiset lämpötilaprofiilit voivat aiheuttaa tällaisia haasteita lämpötilamittaukselle. Virtausmittauksia hankaloittavat putkivirtauksen virtausprofiilit. Lisäksi putkistojen mutkat aiheuttavat virtaukseen turbulenssia ja häiriöitä mittaukseen. Höyry- ja lauhdejärjestelmissä tapahtuvat faasimuutokset häiritsevät myös lämpötila- ja painemittauksia. Lisäksi mittalaitteiden mittaustarkkuus voi heikentyä, jos prosessiarvot poistuvat mittalaitteen suunnitteluvaiheessa määritetyltä mittausalueelta. (Motiva 2012)

Signaalinkäsittelystä johtuvat ongelmat ovat myös yleisiä. Virheet signaalinkäsittelyketjussa johtavat vääriin loppuarvoihin, vaikka mittarilta lähtevä signaali olisi oikea. Virheitä voi tulla jo alkuvaiheessa mittalaitteiden parametroinnissa. Esimerkiksi paine-eroon perustuvien massavirtamittausten tiheyskompensointi voi puuttua kokonaan tai toimia väärällä tavalla. Toisaalta mittaustietoja jalostettaessa saatetaan tyytyä käyttämään liikaa vakiokertoimia, jolloin esimerkiksi paineen tai lämpötilan muutosta ei pystytä huomioimaan. Myös signaalien siirrossa voi esiintyä häiriöitä, jonka seurauksena mittaustieto jää näyttämään vakioarvoa pitkäksi aikaa. (Motiva 2012)

3.4 Tyypilliset energiatehokkuuden tunnusluvut

Energiatehokkuutta arvioidaan erilaisilla tunnusluvuilla. Tunnusluvut on määritettävä laitoskohtaisesti, jotta kunkin laitoksen erityispiirteet voidaan huomioida. Tyypillisiä energiatehokkuuden tunnuslukuja ovat esimerkiksi:

- Höyryn ominaiskulutus
- Sähkön ominaiskulutus
- Kaukolämmön ominaiskulutus
- Polttoaineiden ominaiskulutus
- Laitteiden sähkötehot
- Laitteiden käyntiajat
- Lauhteen palautusprosentti
- Lämmön talteenoton hyötysuhde
- Lämpöenergian kokonaiskäyttö
- Höyryenergian kokonaiskäyttö
- Sähköenergian kokonaiskäyttö
- Laitteiden käytettävyys

Energiatehokkuuden seurantajärjestelmän suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota tiedon ja tunnuslukujen esitystapaan. Esitystavan on oltava selkeä ja helposti ymmärrettävissä. Lähtökohtaisesti järjestelmän kieleksi kannattaa valita käyttäjien äidinkieli. Nykyaikaisten tiedon visualisointityökalujen avulla käyttäjäkokemus paranee ja järjestelmän käyttöaste ja hyödyllisyys kasvaa. Erilaisia tiedon visualisointi tapoja on esitelty kappaleessa 2.5 Mittaustiedon analysointi ja esittäminen. (Motiva 2014)

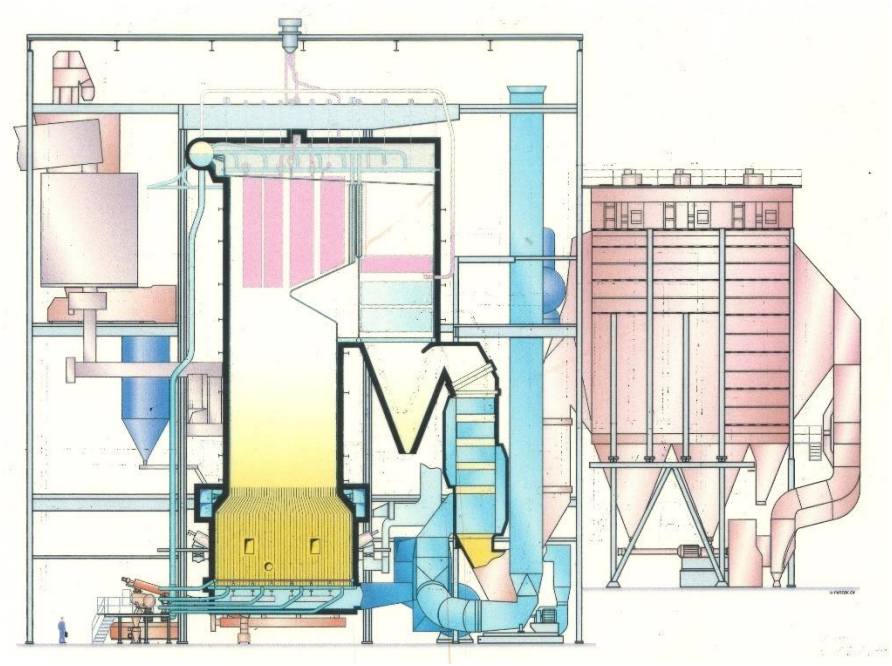
4 Simpeleen tehdas

Metsä Group on suomalainen metsäteollisuusyritys, joka toimii kansainvälisillä markkinoilla. Liiketoimintaa on yhteensä 28 eri maassa ja tuotantolaitoksia on kahdeksassa eri maassa. Metsä Group valmistaa uusiutuvista raaka-aineista kierrätettäviä tuotteita, joiden avulla asiakkaat voivat kehittää vastuullista liiketoimintaa edistämällä bio- ja kiertotaloutta. Pääraaka-aineena on pohjoisten metsien puu, josta valmistetaan tuotteita kestävän kehityksen periaatteita noudattaen. Metsä Group jakaantuu viiteen eri liiketoiminta-alueeseen, jotka ovat Metsä Forest, Metsä Wood, Metsä Fibre, Metsä Board ja Metsä Tissue. Metsä Forest tuottaa puunhankinta ja metsäpalveluja, Metsä Wood valmistaa puutuotteita, Metsä Fibre valmistaa sellua ja sahatavaraa, Metsä Board valmistaa kartonkia, ja Metsä Tissue valmistaa pehmo- ja tiivistepapereita. (Metsä Group 2022)

Simpeleen kartonkitehdas kuuluu Metsä Boardin liiketoiminta-alueeseen. Tehdas on perustettu 1896 ja nykyisin tehtaalla valmistetaan MetsäBoard FBB Classic taivekartonkia. Tehtaan tuotantokapasiteetti on noin 300 000 tonnia taivekartonkia vuodessa ja se työllistää noin 270 työntekijää. Suurin osa tuotannosta toimitetaan päämarkkina-alueelle Eurooppaan. MetsäBoard FBB Classic taivekartonki on päällystetty kaksi kertaa pintapuolelta, ja sitä käytetään esimerkiksi elintarvike- ja pakasteruokapakkauksissa sekä lääkepakkauksissa. Simpeleellä valmistetun Classic FBB -taivekartongin neliöpainoalue on 200-340 g/m^2. Koivu- ja mäntysellu, kemimekaaninen hierre ja hioke ovat taivekartongin pääraaka-aineita. Tehdas koostuu arkittamosta, biovoimalaitoksesta, hiomosta, jäteveden puhdistuslaitoksesta, kartonkitehtaasta, kuorimosta, pulpperointiasemasta, ja varastosta. Simpeleen tehdas valmistaa itse käyttämänsä kuusihiokkeen omassa hiomossa kuudella hiomakivellä. Valkaistu kemimekaaninen hierre tulee Metsä Board Joutsenon tehtaalta ja sellua toimitetaan Metsä Fibren tehtailta. Tehtaan jätevedet käsitellään kaksivaiheisessa biologisessa puhdistuslaitoksessa. Voimalaitos koostuu pääkattilana toimivasta leijupetikattilasta ja varakattilana toimistavasta öljykattilasta. Voimalaitos tuottaa kartonkitehtaalle prosessihöyryn sekä kaukolämpöä Simpeleen taajamaan. Seuraavissa kappaleissa esitellään Simpeleen biovoimalaitosta yleisesti. (Metsä Group 2022)

4.1 Pääkattila K6

Simpeleen voimalaitos on yhdistetty lämmön- ja sähköntuotantolaitos (CHP). Voimalaitos tuottaa prosessihöyryä ja sähköä kartonkitehtaan käyttöön, sekä kaukolämpöä Simpeleen taajamaan. Pääkattila on Foster Wheeler AG:n vuonna 1976 toimittama turvepölykattila, joka on muutettu vuoden 1997 revisiossa kuplapetikattilaksi (BFB). Kattilalla tuotetaan tuorehöyryä 90 barin paineessa ja 510 °C lämpötilassa. Maksimi höyryvirtaus on 40 kg/s ja polttoaineteho 127 MW. Pääkattila on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Simpeleen leijupetikattila K6 (Metsä Board sisäinen lähde)

Savukaasupäästöjä seurataan jatkuvatoimisella päästömittauksella. Turvetta ja jätevedenpuhdistamon lietettä lukuun ottamatta polttoaine on vähä rikkistä. Rikkipäästöjä (SO_x) hallitaan lisärikin syöttöä säätelemällä. Eniten haasteita aiheuttavat typenoksidien (NO_x) päästöt. Typenoksidien päästöjen vähentämiseksi käytetään primäärisiä keinoja, eli palamisprosessia pyritään ohjaamaan niin, että typenoksideja muodostuu mahdollisimman vähän. Käytettyjä keinoja ovat palamisilmojen vaiheistaminen ja määrän sääteleminen, palamisilman esilämmityksen säätäminen, savukaasujen kierrätys ja palamislämpötilan pitäminen riittävän

alhaisena. Hiukkaspäästöjen pienentämiseksi savukaasut ohjataan kolmikenttäisen sähkösuodattimen läpi. Sähkösuodatin poistaa savukaasuista lentotuhkaa, joka kerätään siiloon.

4.1.1 Polttoaineet

Pääkattilan pääpolttoaineena käytetään jyrsinturvetta, kuorta, purua, puu- ja metsähaketta, jäteveden puhdistamon lietettä ja biokaasua. Käynnistys- ja tukipolttoaineena käytetään raskasta polttoöljyä, joka on myös varakattilan pääpolttoaine. Uusiutuvien ja kierrätettyjen polttoaineiden osuus käytetyistä polttoainesta on noin 90 prosenttia. Laitoksen vuotuinen polttoaineen tarve on noin 550 – 600 GWh. Tämä tarkoittaa noin 6000 rekkakuormallista kiinteää polttoainetta vuosittain eli noin kahtakymmentä kuormaa päivässä. Turpeen osuus polttoaineseoksesta on laskenut merkittävästi viimeisten vuosien aikana.

Tehtaalla syntyviä kartongintuotannon sivuvirtoja hyödynnetään energiantuotannossa kuorimon kuoren ja tasauspätkien sekä jäteveden puhdistamolla syntyvän biolietteen osalta. Lisäksi tehdasalueella syntyvät muut polttokelpoiset jakeet ja Konkamäen kaatopaikalla syntyvä biokaasu hyödynnetään pääkattilan energiantuotannossa. Kuorimon kuori siirretään suoraan puujätesiiloon putkea pitkin pneumaattisella siirrolla. Kuorimon tasauspätkät ja tehdasalueella syntyvät muut polttokelpoiset jakeet murskataan puupolttoaineiden murskaimessa. Jäteveden puhdistamon liete koostuu puukuitu- ja biolietteestä ja se käsitellään lietteenkäsittelyasemalla ennen sen lisäämistä polttoaineseokseen. Lietteenkäsittelyasemalla lietteestä poistetaan vettä suotonauhapuristimen ja vedenerotusta tehostavan polymeerin avulla. Suotonauhapuristimella on mahdollista saavuttaa 30 – 40 prosentin kuiva-ainepitoisuus. Liete kuitenkin nostaa polttoaineseoksen kosteutta, joka on keskimäärin yli 50 prosenttia.

Polttoainekentällä on kaksi kiinteiden polttoaineiden välivarastosiiloa, joiden avulla polttoaineseosta hallitaan. Myös polttoainekentälle on mahdollista varastoida polttoaineita. Toisen siilon kautta kulkevat kuivemmat polttoainejakeet kuten turve, kuivatikku ja syrjämurske. Toisen siilon kautta kulkevat kosteammat jakeet kuten hake, kuori ja puru. Polttoaineiden vastaanotossa on kaksi purkauspaikkaa, joista lähtevät erilliset linjastot välivarastosiiloille. Kiinteää polttoainetta siirretään hihna-, kola- ja ruuvikuljettimien välityksellä. Molemmilla linjastoilla on kiekkoseula ja murskain, joiden avulla polttoainejakeiden raekokoa hallitaan.

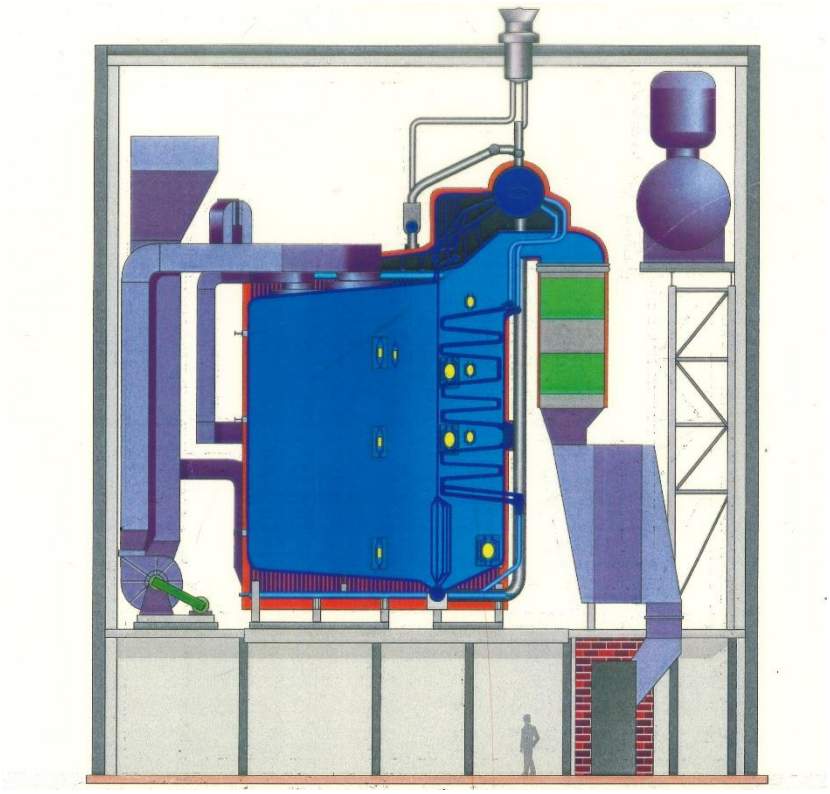
Lisäksi polttoainelinjastolla on magneetti, jolla poistetaan magneettiset metallikappaleet polttoaineen joukosta.

Polttoaineseosta säädetään välivarastosiilojen ruuvipurkainten pyörimisnopeutta säätämällä suhdesäätönä. Muodostunut polttoaineseos siirretään hihnakuljettimella kattilan päiväsiiloon. Polttoainetta syötetään kattilaan neljän sulkusyöttimen kautta. Sulkusyöttimet on sijoitettuna kattilan oikealle ja vasemmalle sivulle.

Käynnistys- ja tukipolttoaineena käytettävä raskas polttoöljy, säilytetään varastoöljysäiliössä, josta sitä pumpataan päiväöljysäiliöön tarpeen mukaan. Pääkattilassa on kaksi 10 MW käynnistyspoltinta ja neljä 24 MW kuormaöljypoltinta, joita käytetään hyödyksi kattilan ylösajo tilanteissa ja tarvittaessa häiriötilanteissa.

4.2 Varakattila K7

Simpeleen voimalaitoksen varakattilana toimii Kvaerner pulping – Power Divisionin vuonna 1996 toimittama öljykattila. Varakattilan tehtävänä on turvata höyryntuotanto pääkattilan häiriötilanteissa ja seisakeissa. Varakattilan höyryntuotanto kapasiteetti on rajallinen, eikä se kaikissa tilanteissa riitä kartonkikoneen täyden tuotannon kulutuksen kattamiseen, sillä kartonkikoneen höyryn kulutus on noussut tuotannon mukaan ajan myötä. Varakattilalla ei myöskään tuoteta sähköä. Pääkattilan normaalin käytön aikana varakattilaa ei käytetä, vaan se pidetään jatkuvassa lämpimässä säilönnässä. Lämmin säilöntä mahdollistaa nopean käyttöönoton häiriötilanteissa. Varakattilalla tuotetaan tuorehöyryä 25 barin paineessa ja 225 °C lämpötilassa. Maksimi höyryvirtaus on 27,8 kg/s ja polttoaineteho 66 MW. Varakattila on esitetty kuvassa 5.



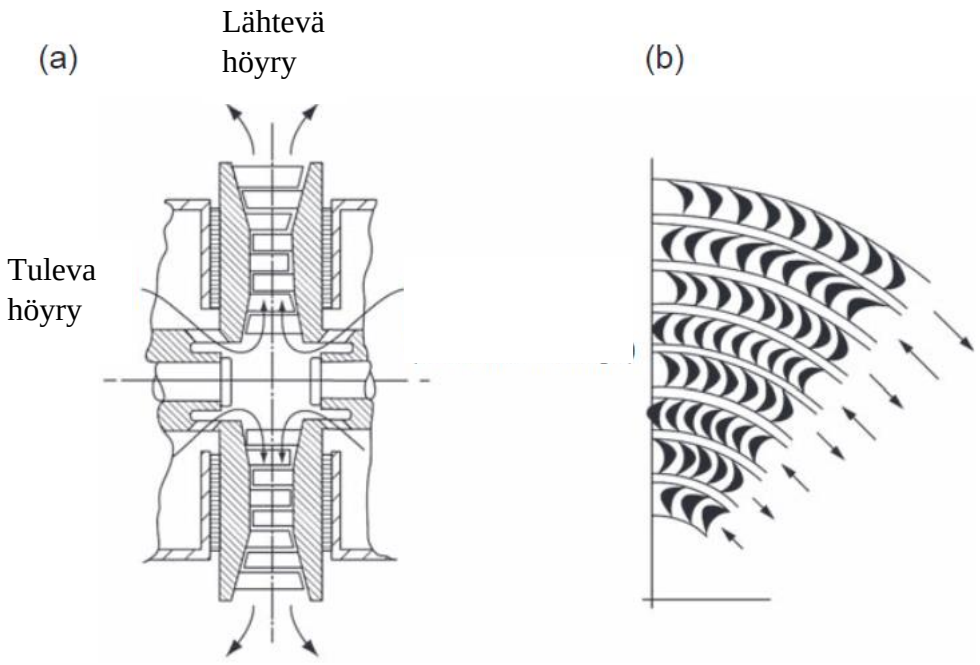
Kuva 5. Simpeleen öljykattila K7 (Metsä Board sisäinen lähde)

Varakattilan polttoaineena toimii raskas polttoöljy, jota kuluu keskimäärin pääkattilan vuosihuoltoseisakin ja häiriötilanteiden vuoksi noin 6-7 GWh vuodessa. Varakattilassa on yhteensä kolme poltinta. Kaksi 28 MW:n Low-NO_x kuormapoltinta ja yksi 10 MW:n Low-NO_x käynnistyspoltin. Varakattilan käytöstä syntyvät savukaasut puhdistetaan multisyklonipuhdistimen avulla.

4.3 Vastapaineturbiini VP2

Voimalaitos tuottaa sähköä laitoksen tarpeisiin vuonna 1976 käyttöönotetulla Stal – Laval radiaaliturbiinilla. DDSM 2070 vastapaineturbiinin maksimi sähköteho on 19,6 MW. Turbiinilla tuotetaan noin 5500 – 8000 MWh sähköenergiaa kuukaudessa riippuen kattilan kuormatasosta. Kuormatasoon vaikuttavat erityisesti kartonkikoneen höyrynkulutus ja ulkolämpötila. Turbiinilla voidaan tuottaa noin kolmasosa tehtaan tarvitsemasta sähköenergiasta. Turbiini mahdollistaa myös tehtaan irrottamisen valtakunnallisesta sähköverkosta.

Turbiinin menevä tulistettu höyry on noin 510 °C lämpötilassa ja 90 barin paineessa. Vastapaineturbiinissa höyry paisutetaan noin 4,5 - 5 barin paineeseen. Lisäksi turbiinissa on väliotto 26 barin paineessa. Höyryn tulistus poistetaan ja lämpötila säädetään sopivaksi vesiruiskujen avulla. Tämän jälkeen höyry johdetaan muihin prosessin käyttökohteisiin lauhtumaan. Voimalaitoksella on myös kaksi apulauhdutinta, mikäli kartonkikoneella höyrynkulutus on niin pientä, ettei se kykene lauhduttamaan kattilan tuottamaa höyryä. Radiaaliturbiinin rakenne ja turbiinin siipien asettelu on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Vasemmalla Ljungström-turbiinin kaaviopiirros ja oikealla turbiinin siipien järjestys ja pyörimissuunnat (Spadacini & Rizzi 2017, muokattu)

Turbiini on rakenteeltaan Ljungström-radiaaliturbiini. Höyry virtaa kahden omalla akselillaan vastakkaisiin suuntiin pyörivän siivistön läpi. Rakenteensa vuoksi turbiini kumoaa itse siihen vaikuttavat voimat. Rakenteensa vuoksi turbiinissa on myös kaksi generaattoria.

4.4 Järjestelemät ja palvelut

Voimalaitoksella on käytössä useita energianhallintajärjestelmiä ja palveluita erilaisia käyttötarkoituksia varten. Useista järjestelmistä johtuen tieto on hajautettuna eri palvelun tarjoajien pilvipalvelimiin. Izana-järjestelmää suunniteltaessa oli tärkeää hahmottaa eri järjestelmien tarkoitukset, jotta niistä pystyttiin keräämään oleellinen data Izana-projektia varten. Uutta järjestelmää määriteltäessä pyrittiin luomaan uutta ja välttämään jo olemassa olevien järjestelmien toiminnallisuuksien toistamista. Tässä kappaleessa on esitelty voimalaitoksen ja Izana-projektin kannalta oleellisimmat järjestelmät ja palvelut.

4.4.1 Ohjausjärjestelmä, Honeywell PMD

Voimalaitoksen ohjausjärjestelmänä käytetään Honeywellin PMD (Process, Machinery and Drives) -järjestelmää. Voimalaitoksen prosesseja ohjataan ja mittaustietoja kerätään ohjausjärjestelmään, josta niitä jaetaan muihin järjestelmiin. PMD-järjestelmästä mittaus- ja tilatiedot siirtyvät Honeywell PHD (Process History Database) -järjestelmän kautta KEP Serverille ja Metsä Boardin Azure-pilvipalveluun.

Hajautettu ohjausjärjestelmä jakaantuu karkeasti neljään tasoon, jotka ovat kenttätaso, ohjaustaso, valvontataso, ja suunnittelutaso. Suoraan prosessiin kytketyt laitteet kuten erilaiset mittalaitteet, moottorit, toimilaitteet ja venttiilit kuuluvat kenttätasoon. Laitteilla tehdään muutoksia prosessin tilaan. Kenttälaitteet lähettävät tilatietoja ja vastaanottavat ohjausarvoja ohjaustason ohjauslaitteilta. Ohjauslaitteisto koostuu ohjelmoitavista logiikoista ja kenttäohjaimista. Valvomotoiminnot, käyttöhenkilökunnan ohjauslaitteet ja hälytyslaitteet kuuluvat valvontatasoon. Valvontatasolla varmistetaan automaatiojärjestelmän tehokas toiminta, optimoidaan prosessia ja reagoidaan häiriötilanteisiin. Valvontatason laitteisto kommunikoi ohjaustason laitteiden kanssa sekä jakaa prosessidataa suunnittelutason järjestelmille. Suunnittelutason järjestelmät liittyvät historiatietojen tallentamiseen, raportointiin ja muuhun tuotannonohjaukseen.

4.4.2 Trendityökalu, Trimble Wedge

Wedge on Trimblen toimittama data-analytiikka ja trendityökalu. Ohjausjärjestelmän prosessimittausten tulokset siirtyvät Honeywellin PHD-järjestelmästä Wedgeen. Mittaustulokset tallentuvat Wedgen palvelimille, joten reaaliaikainen data ja historiadata ovat käyttöhenkilökunnan käytettävissä. Trendityökalulla voi vertailla visuaalisesti muuttujien keskinäisiä korrelaatioita ja etsiä yhteyksiä erilaisten ilmiöiden välille. Wedgessä on myös sisäänrakennettuja analyysityökaluja. Esimerkiksi ristikorrelaatio ja korrelaatiomatriisi -työkaluilla voi analysoida suuria usean muuttujan datajoukkoja. Datajoukon minimi-, keski-, ja maksimiarvoja ja vaihteluvälejä voi tarkastella tilastollisten työkalujen avulla. Wedgeen on mahdollista rakentaa myös online-mittareita, jotka laskevat tunnuslukuja mittausdatan perusteella.

Wedge on Izanan tapaan data-analytiikka -työkalu. Izana-projektin määrittelyvaiheessa arvioitiin molempien ohjelmistojen tehtäviä. Izanassa keskitytään kattilan analytiikkaan, jota ei Wedgessä pystytä toteuttamaan yhtä syvällisesti. Wedge kuitenkin säilyttää asemansa trendityökaluna ja osana yleistä ongelmanratkaisua. Tällaisella rajauksella pyritään välttämään päällekkäisyyksiä ohjelmistojen toiminnoissa.

4.4.3 Polttoaineiden toimitusketjun hallintajärjestelmä, Pinja Once

Tulevat materiaalivirrat punnitaan autovaa'alla, josta punnitustulokset ja kuorman tiedot siirtyvät Kuva-ohjelmiston kautta muihin materiaalivirtojen hallintajärjestelmiin. Voimalaitoksella Kuva-ohjelmistoa ja vaakajärjestelmää käytetään polttoainekuormien punnitsemiseen. Polttoainekuormien punnitustulokset ja tunnistetiedot siirtyvät polttoaineiden toimitusketjun hallintajärjestelmä Onceen. Once on Pinjan toimittama toimitusketjun hallintajärjestelmä, jossa on erilaisia seuranta- ja raportointityökaluja. Once kokoaa yhteen Kuvasta saatavat kuorman tiedot ja punnitustulokset, sekä polttoainenäytteistä tehtävät laboratorioanalyysit.

Polttoaineiden toimitusketjun hallinnan kannalta Oncen tärkeimmät ominaisuudet ovat kuormaraportit ja polttoaineiden energiaraportit. Jokainen kuorma kirjataan kuormaraportteihin, josta niitä voi tarkastella jälkikäteen. Kuormaraporteissa on eriteltynä kuormanumero, rahtikirjan numero, raportointiaika, kokoomanäytteen tunnistetieto, toimittaja, aine,

lähtövarasto, purkupaikka, kuljetusväline, liikennöitsijä, kuorman tilavuus ja kuorman paino. Energiaraporteissa on eriteltynä polttoaineen laatu, kosteus, lämpöarvo, tilavuus, paino, energia, toimittaja, vastaanoton päivämäärä, ja kokoomanäytteen tunnistetieto. Polttoaineen kosteus ja lämpöarvo määritetään kokoomanäytteistä laboratoriossa tehtävin mittauksin. Voimalaitoksen kuukausittainen energiaraportointi tapahtuu Oncen energiaraporttien perusteella, kuten myös polttoainetoimittajien laskutus. Kuvassa 7 on esimerkki Oncen energiaraportista.

MetsäBoard

Energiaraportti (toimittaja-aine, päiväkohtainen) (Metsä Board Simpele)

Aloituspäivä 01.11.2022 Lopetuspäivä 30.11.2022

Energiaraportti

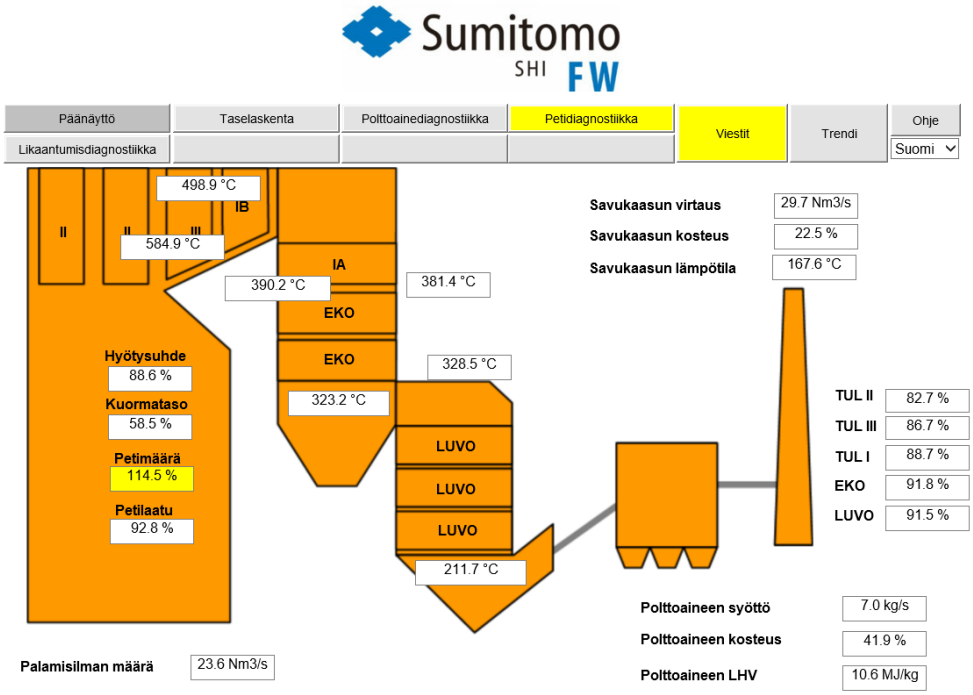
Päivämäärä	Kokoomanäyte	Toimittaja	Aine	Lkm	M,ar (%)	Qnet,d (MJ/kg)	A,d (%)	S,d (%)	Qnet,ar (MJ/kg)	Qnet,ar (MWh/t)	i-m3	Netto (t)	Energia (MWh)
Toimittaja:				75	64,3	19,02	2,50	0,00	5,21	1,45	3652	3607,38	5224,79
Aine: Kuori, kuusi (21.20.10.2)				75	64,3	19,02	2,50	0,00	5,21	1,45	3652	3607,38	5224,79
01.11.2022	2035721079323		Kuori, kuusi (21.20.10.2)	3	63,1	19,02	2,50	0,00	5,48	1,52	0	145,32	221,08
02.11.2022	2035721079351		Kuori, kuusi (21.20.10.2)	4	65,6	19,02	2,50	0,00	4,94	1,37	107	193,90	266,09
03.11.2022	2035721079390		Kuori, kuusi (21.20.10.2)	5	65,2	19,02	2,50	0,00	5,03	1,40	259	238,60	333,12

Kuva 7. Once energiaraportti

Once:n polttoainedata haluttiin osaksi kattilan analytiikkajärjestelmää ja Izanan raportointia. Polttoaine tietojen perusteella on mahdollista kehittää voimalaitoksen polttoaineseoksen hallittavuutta sekä polttoainetaseen laskentaa. Polttoaineseoksen hallintatyökalun kehitystä on esitelty kappaleessa 6 Polttoaineseoksen hallinta. Lisäksi polttoainedatan vieminen Metsän omiin pilvipalvelimiin edistää pidemmällä aikavälillä kuukausiraportoinnin automatisointi projektia.

4.4.4 Kattilan analytiikkajärjestelmä, Sumitomo Smartboiler

Smartboiler on Sumitomo SHI FW:n toimittama kattilan analytiikkajärjestelmä. Analytiikkajärjestelmän ominaisuuksia ovat taselaskenta, polttoainediagnostiikka, petidiagnostiikka, likaantumisdiagnostiikka ja raportointi. Smartboilerin päänäyttö on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Kattilan analytiikkajärjestelmän päänäyttö

Smartboiler seuraa kattilan suorituskykyä ja laskee sen energiatasetta prosessimittausten perusteella. Prosessimittausten tulokset siirtyvät Smartboileriin suoraan Honeywellin PHD-järjestelmästä, johon ohjausjärjestelmän mittaustulokset siirtyvät. Energiataseen perusteella järjestelmä laskee kattilan hyötysuhdetta. Petidiagnostiikka laskee ja arvioi leijupedin kuntoa viikoittain kerättävien pohjatuhkan seulontanäytteiden ja pedin lämpötilaerojen avulla. Seulontanäytteestä määritetään petimateriaalin jakeiden kokojakauma. Likaantumisdiagnostiikka laskee tulistinten lämpöpintojen konduktanssia ja lämpötehoa ja vertaa sitä puhtaiden lämpöpintojen vastaaviin arvoihin. Ohjelma seuraa nuohousten aikaväliä ja antaa nuohous ehdotuksia diagnostiikan perusteella. Smartboilerin kuukausittaiset raportit sisältävät voimalaitoksen energiatasetta vastaavia tunnuslukuja. Lisäksi raportissa on useita kuvaajia

voimalaitoksen kannalta oleellisista arvoista. Osana palvelua kuukausiraportti käydään läpi yhdessä Sumitomon asiantuntijan kanssa.

Smartboiler-järjestelmä on tullut käyttöikänsä päähän ja se korvataan uudella Izana-järjestelmällä tämän diplomityöprojektin puitteissa. Tarkempia käyttäjäkokemuksia ja havaintoja Smartboiler-järjestelmästä on esitelty kappaleessa 5.1.1 Smartboiler-järjestelmän arviointi.

4.4.5 Leijupedin laadunvalvonta-analyysi, Fescon

Simpeleen pääkattilan leijupedin kuntoa seurataan Smartboileriin viikoittain kerättävien pohjatuhkan seulontanäytteiden avulla, sekä kahden viikon välein tehtävän leijupedin laadunvalvonta-analyysin perusteella. Leijupedin laadunvalvonta-analyysin tekee Fescon Technology omassa laboratoriossaan. Tuloksena on alkuaineanalyysi, jossa analysoidaan 79 alkuainetta. Merkittävimmät mitatut alkuainepitoisuudet on esitetty excel-taulukossa. Alkuaineiden pitoisuuksille on asetettu hälytysrajat. Alkuaineanalyysin perusteella arvioidaan petimateriaalin sintraantumisriskiä. Analyysi ohjaa esimerkiksi petimateriaalin vaihtoa. Erityistä huomiota kiinnitetään kalium, natrium, kalsium ja pii pitoisuuksiin. Laadunvalvontakortissa on myös Fesconin asiantuntijan kirjallinen lausunto pedin tilasta, sekä suosituksia jatkotoimenpiteistä. Laadunvalvonta-analyysi toimitetaan sähköpostilla.

Leijupedin laadunvalvonta-analyysi on koettu hyödylliseksi työkaluksi pedin sintraantumisriskin hallinnassa. Analyysi halutaan tuoda osaksi Izana-järjestelmää, jossa se on käyttöhenkilökunnalle helpommin saatavilla. Lisäksi alkuaineanalyysin tuottamaa tietoa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää osana pedin hallintatyökalun analytiikkaa.

4.4.6 Pilvipalvelu, Microsoft Azure

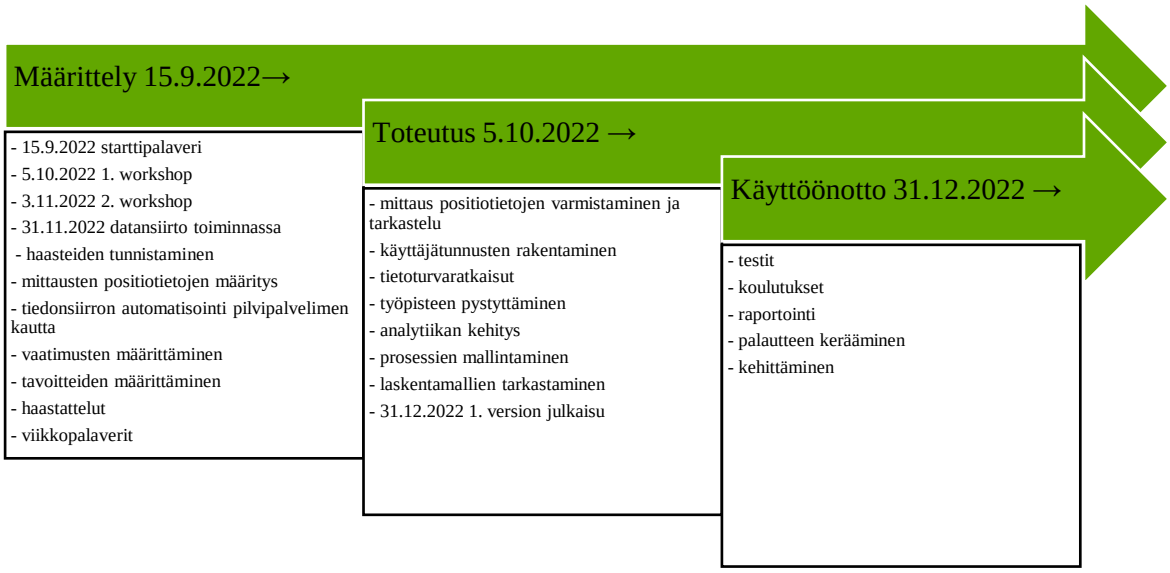
Microsoft Azure on pilvipalvelu, jota käytetään osana tietoliikenteen hallintaa. Tulevaisuudessa tietoliikennettä pyritään ohjaamaan pilvipalvelun kautta. Data on helposti hyödynnettävissä eri järjestelmissä nyt ja tulevaisuudessa, kun se kulkee pilvipalvelun kautta. Tämä myös selkeyttää tietojärjestelmän rakennetta. Azuren työkaluilla luodaan rajapinta Metsän ja kolmannen osapuolen palveluntarjoajan välille. Rajapinnan kautta dataa voidaan siirtää

palveluiden välillä. Tietojen jakaminen tapahtuu käyttämällä erilaisia tietovarastoja, joihin valtuutetut käyttäjät voivat tallentaa ja lukea tietoja.

Izana-projektin merkittävimpiä yksittäisiä tehtäviä oli eri tietolähteiden datan kerääminen Azuren pilvipalveluun. Esimerkiksi ohjausjärjestelmä PMD:lle, Fesconin leijupedin laadun-valvonta-analyysille, sekä Pinjan Once-järjestelmälle rakennettiin tietoliikenneyhteydet Azureen.

5 Kattilan analytiikkajärjestelmän päivitys

Tässä kappaleessa esitellään kattilan analytiikkajärjestelmän kehitysprojektin läpivienti ja toteutusta. Aiemmin käytössä ollut Smartboiler-järjestelmä oli tullut elinkaarensa päähän. Järjestelmä päätettiin korvata kattilatoimittaja Sumitomo SHI FW:n uudella Izana -kattilan analytiikkajärjestelmällä. Projektin aikataulu ja projektin eri vaiheissa tehdyt toimenpiteet on esitetty kuvaajassa 9.



Kuva 9. Projektin aikataulu

Izana-projekti jakautui karkeasti kolmeen osaan, jotka olivat järjestelmän määrittely, toteutus ja käyttöönotto. Projektin kesto oli 1.9.2022 – 28.2.2023. Projektin toteutus tehtiin yhteistyössä Sumitomo SHI FW:n kanssa.

5.1 Määrittely

Määrittelyvaiheessa arvioitiin käytössä olleen Smartboiler-järjestelmän toiminnallisuuksia ja käytettävyyttä. Järjestelmän toimivuutta arvioitiin käyttäjäkokemusten perusteella sekä vertaamalla järjestelmää muihin vastaavanlaisiin järjestelmiin. Tavoitteena oli saada

yleiskäsitys analytiikkajärjestelmien luomista mahdollisuuksista sekä nykyisen järjestelmän hyvistä ja huonoista puolista. Lisäksi perehdyttiin laitokseen ja sen tyypillisiin haasteisiin ja ongelmakohtiin. Selvitysten perusteella asetettiin tavoitteet Izana-projektille.

5.1.1 Smartboiler-järjestelmän arviointi

Määrittelyvaihe aloitettiin kartoittamalla käytössä olleen Smartboiler-järjestelmän toiminnallisuuksia, heikkouksia ja vahvuuksia. Smartboiler-järjestelmän päätoiminnot on esitetty kappaleessa 4.4.4 Kattilan analytiikkajärjestelmä, Sumitomo Smartboiler. Järjestelmän heikkouksia ja vahvuuksia arvioitiin käyttöhenkilökunnan käyttökokemusten perusteella tehdyllä SWOT-analyysilla ja vertaamalla järjestelmää muihin analytiikkajärjestelmiin. Käyttöhenkilökunnan haastattelujen perusteella tehty SWOT-analyysi on esitetty liitteessä 1.

Käyttöhenkilökunnalta saadun palautteen perusteella Smartboilerin vahvuuksia olivat lisäarvoa tuottavat mittarit, joita ei ole muissa järjestelmissä. Taselaskenta ja hyötysuhteen laskenta koettiin hyödyllisiksi ja lisäarvoa tuottaviksi ominaisuuksiksi. Lisäksi viikoittainen pohjatuhkan seulontanäytteen ottaminen koettiin hyvänä asiana, vaikka mittaustulosten arviointiin liittyvän analytiikan luotettavuutta kyseenalaistettiin. Seulontanäytteen hyödyllisyys perustui säännöllisen pohjatuhkan seuranta rutiinin luomiseen. Viikoittaisen näytteenoton avulla pystyttiin varmistamaan, että vähintään kerran viikossa käyttöhenkilökunta käy visuaalisesti tarkastelemassa pohjatuhkan kuntoa.

Suurin Smartboileriin liittyvä haaste oli sen matala käyttöaste. Syitä matalaan käyttöasteeseen selvitettiin SWOT-analyysin heikkoudet osiossa, josta ilmeni seuraavat ongelmat:

- Kosteusprosentin laskennan luotettavuus ongelmat
- Selainpohjainen, hidas ja kankea käyttöliittymä
- Polttoaineen massavirran laskennan luotettavuus ongelmat
- Pedin laatuindeksin hälytysrajat
- Nuohouksen hälytysrajat
- Pedin määrän laskennan luotettavuus ongelmat

- Petinäytteen seulonnassa eroja operaattoreiden välillä.
- Laskennan perusteena olevien mittausten luotettavuus
- Liikaa ”turhia” hälytyksiä
- Petianalyysin luotettavuus

Käyttöhenkilökunnan listaamissa heikkouksissa toistuvat useasti ongelmat analytiikan luotettavuudessa, huonosti asetetut hälytysrajat, mittaamiseen liittyvät haasteet sekä kankea käyttöliittymä. Analytiikan luotettavuutta heikensivät laskennoissa käytetyt vakiot, joita ei oltu päivitetty vastaamaan laitoksen nykyisiä parametreja, sekä mittausvirheet. Osa hälytysrajoista oli asetettu niin, että hälytys oli lähes koko ajan aktiivisena, kun osassa mittareista hälytysrajalle ei jouduttu lähes koskaan.

Käyttöasteen nostamiseksi käyttöhenkilökunnalta selvitettiin SWOT-analyysin mahdollisuudet osiossa minkälaiset ominaisuudet nostaisivat järjestelmän käyttöastetta. Seuraavat ominaisuudet nousivat esille:

- Pedin alkuaineanalyysin lisääminen osaksi pedin kunnonseurantaa
- Lisäveden käytön seuranta
- Lauhteiden palautumisen seuranta
- Energian kokonaiskulutuksen seuranta suhteessa kuormaan
- Polttoaineen kosteuden hallinta
- Pohjatuhkan visuaalinen seuranta kameralla
- Polttoaineseoksen tarkempi hallinta
- Nuohoushöyryn kulutuksen optimointi
- Tiedon visualisointi

Käyttöhenkilökunnan listaamissa mahdollisuuksissa korostui monipuolisuus ja mittaus tietojen visualisointi. Uudesta järjestelmästä ei haluttu ohjausjärjestelmän kopiota, vaan sinne haluttiin asioita, joita ei suoraan ohjausjärjestelmästä näe tai joiden tulkinta vie aikaa ja vaatii asiantuntijuutta.

Uuden järjestelmän käyttöönottoon liittyviä uhkia arvioitiin käyttöhenkilökunnan kommenttien perusteella. Seuraavat uhat nousivat esille:

- Epäluotettavat mittaustulokset ja mittausvirheet
- Hälytysrajojen epäonnistunut asettelu
- Yleinen luotettavuus
- Epämiellyttävä käyttöliittymä
- Liika informaatio vie huomion oleelliselta tiedolta
- Yksipuolisuus
- Tiedon ajantasaisuus
- Alhainen käyttöaste

Analytiikkajärjestelmän käyttöönottoon liittyy useita erityyppisiä haasteita, jotka voivat heikentää käyttöhenkilökunnan luottamusta järjestelmään. Mikäli luottamus järjestelmään menetetään sen käyttöaste putoaa minimaaliseksi. SWOT-analyysin perusteella luotiin yleiskuva Smartboiler-järjestelmän vahvuuksista, heikkouksista ja kehityskohteista, joiden perusteella uuden järjestelmän suunnittelua alettiin edistämään.

5.1.2 Laitokselle tyypilliset haasteet

Laitokselle tyypillisiä haasteita arvioitiin yhdessä laitoksen käyttöhenkilökunnan ja toimihenkilöiden kanssa. Haasteita arvioitaessa ohjaavina teemoina olivat energiatehokkuus, prosessin hallittavuus, ympäristö ja talous. Huomattiin, että useissa tilanteissa päätöksenteon tukena ei ollut selkeää mittaria tai toimintamallia, vaan muutoksia prosessiin tehtiin kokemusperusteisesti ja erilaisia vaihtoehtoja kokeilemalla. Haasteiden tunnistaminen oli prosessin ensimmäinen vaihe. Kun haaste oli tunnistettu voitiin arvioida sitä parhaiten kuvaavia mittareita. Kun mittarit oli määritetty voitiin tieto visualisoida nopeasti ja helposti ymmärrettävään muotoon analytiikkajärjestelmään.

Energiatehokkuuden kannalta huomattiin, että laitoksen energiankulutuksen seuranta ja siitä selkeän kokonaiskuvan saaminen on haastavaa. Excel-taulukon muodossa esitetyn

energiataseen luvuista on työlästä ja haastavaa arvioida kokonaisuutta. Tästä johtuen energiankulutus kohteiden tekeminen näkyväksi nykyaikaisten visualisointityökalujen avulla koettiin tarpeelliseksi. Kokonaiskuvan tarkentamisen lisäksi esiin nousi useita yksittäisiä kohteita, joiden käyttöä optimoimalla on mahdollista saavuttaa suoria tai välillisiä vaikutuksia prosessin energiatehokkuuteen ja hallittavuuteen.

Nuohoushöyryn, paineilman, lisäveden ja apulauhduttimien käyttöä sekä savukaasujen poistumislämpötilaa optimoimalla arvioitiin olevan suoria vaikutuksia laitoksen energiatehokkuuteen ja taloudellisuuteen. Nuohous oli aiemmin toteutettu aikaperusteisesti vuodenajat ja kattilankuorma huomioiden, jonka jälkeen oli siirrytty arvioimaan nuohous tarvetta palamisilman esilämmityksen jälkeisen savukaasujen lämpömittauksen perusteella. Jokaisella nuohous kerralla nuohous sekvenssi käy läpi kaikki nuohoimet. Likaantuminen kattilassa ei kuitenkaan tapahdu tasaisesti, vaan osa lämmönsiirtopinnoista likaantuu enemmän. Nuohouksen vaiheistamisella ja kohdentamisella enemmän nuohousta vaativille lämpöpinnoille arvioitiin olevan mahdollisuuksia tehostaa lämmönsiirtoa ja vähentää nuohoushöyryn kokonaiskulutusta.

Paineilman, lisäveden ja apulauhduttimien käytön vaikutuksista laitoksen energiankulutukseen ei ollut selkeää kuvaa. Niiden käytössä arvioitiin olevan tehostamisen varaa, mutta tehostaminen vaatisi niiden käytön tarkempaa seuraamista ja arviointia. Kartonkikoneen toiminnalla on merkittävä vaikutus paineilman ja lisäveden käyttöön ja molemminpuolisen yhteistyön syventäminen ja tietämyksen kasvattaminen vähentäisi turhia häviöitä esimerkiksi lauhteen palautumisessa. Apulauhduttimien roolia olisi syytä tarkastella uudestaan myös sähkön tuotannon näkökulmasta. Tietyin reunaehdoin voisi olla perusteltua lisätä sähkön tuotantoa käyttämällä hyväksi apulauhduttimia sähkön hinnan ollessa korkealla. Näitä reunaehtoja ovat esimerkiksi polttoaineen toimitusvarmuus ja saatavuus, sähkönhinta ja kartonkikoneen höyrynkulutus.

Savukaasujen poistumislämpötila määrittelee savukaasuhäviöiden suuruutta. Tarkempi savukaasujen lämpötilan kontrollointi mahdollistaa laitoksen pitkän käyttöiän, estää kastepiste korroosiota, sekä parantaa laitoksen hyötysuhdetta. Haasteita savukaasujen lämpötilan optimoinnille aiheuttivat savukaasukanavistossa tapahtuvat häviöt. Erityisesti savukaasujen suhteellisen suuri lämpötilan lasku ilman esilämmittimen ja savupiipun välillä vaatii tarkastelua. Savukaasukanavistossa ei ole lämmönsiirtimiä tällä välillä ja lämpötilan laskun arvioidaan

johtuvan vuodoista kanavistossa. Häviöistä johtuen savukaasuista talteen otettavan lämpöenergian määrä pienenee ja sillä on negatiivisia vaikutuksia laitoksen hyötysuhteeseen.

Epäsuoria vaikutuksia laitoksen hyötysuhteeseen olisi mahdollista saavuttaa helpottamalla prosessien hallittavuutta ja lisäämällä tietoisuutta prosessin tilasta erilaisten visuaalisten mittareiden avulla. Nämä mittarit helpottaisivat ja nopeuttaisivat poikkeamien huomaamista ja olisivat tukemassa käyttöhenkilökunnan päivittäistä päätöksentekoa. Keskusteluissa kävi ilmi, että mittaustietoa on paljon saatavilla, mutta erityisesti sen visualisoinnissa on kehitettävää. Mittaustulosten luotettavuus nousi myös esille. Välillä tuli vastaan tilanteita, joissa jouduttiin arvioimaan, onko jokin ilmiö todellinen vai johtuiko epätavallinen arvo häiriöstä mittalaitteessa. Lisäksi haluttiin selvittää oliko eri vuorojen välillä eroja, ja ottaa parhaat käytännöt kaikkien vuorojen käyttöön. Polttoaineseoksen, pedin lämpötilojen ja kunnon, sekä peti-ilmojen hallintaan kaivattiin lisää työkaluja. Myös polttoaineen näytteenoton automatisoinnista keskusteltiin.

Eri polttoainejakeet on jaoteltuna kahteen siiloon kosteuden perusteella niin, että kuivemmat jakeet ovat omassa siilossaan (turvesiilo) ja kosteammat jakeet omassaan (puusiilo). Seosta säädetään siilojen purkausruuvien nopeutta säätämällä. Polttoaineen kosteus on säätöä ohjaava tekijä. Kosteusmittaus sijaitsee kattilasiilon jälkeen juuri ennen polttoaineen siirtymistä kattilaan. Polttoainekentällä sijaitsevien siilojen sisältämien polttoainejakeiden seuraamiseen ei ole mitään työkalua. Tästä johtuen seoksen säätäminen on sattuman varaista ja reaktiivista. Lisäksi polttoaineseoksen kosteusmittaus on niin lähellä kattilaa, että ennen kuin muutokset näkyvät mittauksessa on kattilasiilo jo ehtinyt täyttyä. Tämä aiheuttaa vaihtelua polttoaineseoksen laadussa, joka hankaloittaa laitoksen operointia.

Pedin lämpötilojen ja palamisilmojen hallintaan kaivattiin visuaalisempia työkaluja. Ohjausjärjestelmästä löytyvät kaikki oleelliset mittaustiedot, mutta pelkkien lukujen perusteella on hankalaa saada helposti ja nopeasti selkeää kokonaiskuvaa pedin lämpötilojen ja palamisilmojen jakautumisesta. Luvut on myös sijoiteltu niin, että käytännössä pitää tietää mittauspisteen fyysinen sijainti, jotta luvuista voi tehdä oikeita johtopäätöksiä.

Pedin kunnonseuranta toteutettiin viikoittaisten pohjatuhkan seulontanäytteiden ja kahden viikon välein otettavan alkuaine analyysin perusteella. Ongelmaksi koettiin matala näytteenottotaajuus ja erot seulontanäytteen seulontatekniikassa eri henkilöiden välillä. Alkuaineanalyysin saapuminen sähköpostiin ei ollut optimaalinen ratkaisu ja vähensi analyysin

käyttöastetta. Pohjatuhkan visuaalinen tarkastelu koettiin hyödylliseksi, ja sen perusteella esiin nousi ehdotus kameran lisäämisestä pohjatuhka kuljettimelle, pohjatuhkan jatkuvaa tarkkailua varten.

Voimalaitoksen pyörittäminen aiheuttaa merkittäviä kustannuksia, joten taloudellista näkökulmaa kaivattiin myös ohjaamaan ja motivoimaan käyttöhenkilökunnan päivittäistä toimintaa. Arvioitiin, että säästöjen ja häviöiden esittäminen helposti ymmärrettävinä ja suhteutettavina euroina motivoisi enemmän kuin teoreettisemmat prosenttiluvut. Taloustietoisuuden kasvattamisen toivottiin motivoivan käyttöhenkilökuntaa entisestään etsimään kehityskohteita ja parempia käytäntöjä.

5.1.3 Tavoitteet ja vaatimukset uudelle järjestelmälle

Esiselvityksen perusteella asetettiin tavoitteet ja vaatimukset uudelle järjestelmälle, joiden perusteella järjestelmää lähdettiin toteutusvaiheessa rakentamaan. Tavoitteita asetettiin sekä järjestelmän käyttöliittymälle, että toiminnallisuuksille. Käyttöliittymälle asetettiin seuraavat tavoitteet:

- Automaattinen tiedonsiirto pilvipalveluiden välillä
    - PMD-ohjausjärjestelmä
    - Once-polttoaineiden hallintajärjestelmä
    - Fescon alkuaineanalyysi
- Esitetään vain oleellinen lisäarvoa tuottava tieto
- Karsitaan ylimääräinen tieto
- Karsittu ja yksinkertainen raportti
- Selkeä käyttöliittymä
- Vaivaton kirjautuminen
- Visuaalisten työkalujen hyödyntäminen
- Värien hyödyntäminen

- Yksinkertaiset näytöt

Järjestelmästä haluttiin luoda moderni, nykyaikaisia datan visualisointityökaluja hyödyntävä kokonaisuus, josta tietoa olisi saatavilla nopeasti ja helposti. Järjestelmälle haluttiin yksinkertainen ja sujuva käyttöliittymä, jotta kynnys järjestelmän käyttöön olisi mahdollisimman matala. Järjestelmään haluttiin monipuolisuutta laitoksen suorituskykyä kuvaavien mittareiden muodossa. Teemoina tavoitteita suunniteltaessa olivat energiatehokkuus, prosessin hallittavuus, talous ja ympäristö. Järjestelmän toiminnallisuuksille asetettiin seuraavat tavoitteet:

- Monitavoitteellinen optimointi, joka ottaa huomioon energiatehokkuuden, laitoksen hallittavuuden, taloudellisuuden ja ympäristön vaatimukset
- Energiaa kuluttavien kohteiden tekeminen näkyväksi (Sankey-virtauskaavio)
- Nuohouksen optimointityökalu
    - Nuohoaminen analytiikan perusteella
    - Vaiheistettu nuohous
- Palamisilmojen visualisointi
- Pedin hallintatyökalu
    - Alkuaineanalyysi näkyviin ja osaksi analytiikkaa
    - Pohjatuhkan seulonnan analytiikan tarkentaminen
    - Pedin lämpötilajakauman visualisointi
- Polttoaineseoksen hallintatyökalu
    - Siilojen polttoainejakauman mallinnus
    - Polttoaineseoksen kosteuden hallinta
- Taloudellisen puolen tekeminen näkyväksi
- Taselaskennan tarkastelu
- Vuorokohtainen vertailu

5.2 Toteutus

Toteutusvaiheessa uutta analytiikkajärjestelmää alettiin rakentamaan määrittelyvaiheessa määritettyjen kriteerien mukaisesti. Toteutusvaiheessa määritysvaiheen suunnitelmat tarkentuivat ja ne siirrettiin käytännön tasolle. Analytiikassa käytettäviä mittapisteitä arvioitiin ja niitä lisättiin Azure-pilvipalvelun datan keruuseen. Tiedonsiirtoyhteyksien rakentaminen ja varmentaminen eri palveluntarjoajien välillä oli alkanut jo määrittelyvaiheessa, mutta jatkui myös läpi toteutusvaiheen. Toteutusvaiheessa datan keruuseen lisättiin myös Pinjan polttoaineen hallintajärjestelmä Once:n polttoainetiedot ja Fesconin tekemät pohjatuhkan alkuaineanalyysit.

5.2.1 Tiedonsiirto

Izana-projektin merkittävimpiä yksittäisiä tehtäviä oli eri tietolähteiden datan kerääminen Microsoftin Azure -pilvipalveluun. Ohjausjärjestelmä PMD:stä tiedonsiirtoyhteys Azureen oli jo olemassa. Kaikki tarvittavat mittaustiedot eivät kuitenkaan siirtyneet Azureen, vaan niitä lisättiin projektin edetessä. Tiedonkeruuseen lisätyt uudet ja päivitetyt säätöpiirit ja niiden positiot on esitetty liitteessä 3. Fesconin leijupedin laadunvalvonta-analyysille, sekä Pinjan Once-järjestelmälle rakennettiin tietoliikenneyhteydet Azureen. Eri tietolähteille määritettiin tiedonkeruu taajuudet datan luonteen ja käyttötarkoituksen perusteella. Ohjausjärjestelmästä tuodaan mittaustietoja 10 sekunnin välein, Oncen polttoainetietoja tuodaan tunnin välein ja Fesconin leijupedin laadunvalvonta-analyysin tulokset ladataan noin kahden viikon välein Azure-pilvipalveluun. Tiedonsiirto Sumitomon pilvipalveluun tapahtuu Azure event hubiin tehdystä end point -rajapinnasta. Analytiikan laskenta tapahtuu Sumitomon pilvipalvelussa.

5.2.2 Käyttäjätunnukset ja järjestelmään kirjautuminen

Käyttäjätunnukset ja järjestelmään kirjautumisprosessi ovat oleellinen osa käyttäjäkokemusta. Edellisen järjestelmän käyttöaste oli jäänyt alhaiseksi, joten kirjautumisprosessista haluttiin luoda mahdollisimman vaivaton. Esteet ja hidasteet järjestelmän käytölle haluttiin poistaa. Lisäksi oli otettava huomioon Metsän tietoturvakäytännöt ja toimittava niiden mukaisesti.

Voimalaitoksen henkilökunnalle luotiin henkilökohtaiset tunnukset. Voimalaitoksen valvomoon lisättiin yksi uusi tietokone, joka oli käytettävissä ainoastaan Izanaa varten. Izanaa varten asennettu tietokone koettiin käyttöastetta parantavana toimena, koska sen myötä Izanan näytöt tulisivat olemaan jatkuvasti käyttöhenkilökunnan nähtävillä.

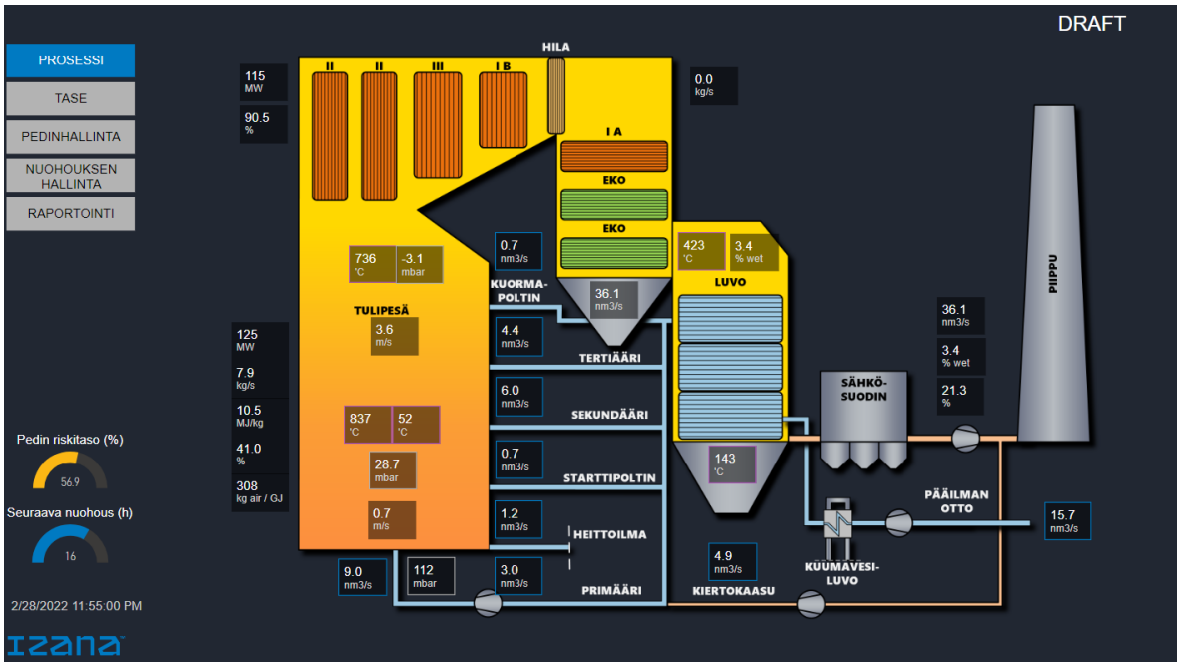
5.2.3 Mittausdatan luotettavuuden tarkastelu

Data-analytiikkaa hyödyntävien järjestelmien merkittävimpänä haasteena voidaan pitää mittausdatan luotettavuuteen liittyvää epävarmuutta. ”Garbage in, garbage out” (GIGO) teorian mukaisesti, mikäli ohjelmistoon syötettävä data ei ole luotettavaa, ei myöskään ohjelmiston analytiikan tulokset ole luotettavia. Simpeleen tapauksessa laitoksen ikä tuo omat haasteensa mittausten luotettavuuden näkökulmasta. Prosessissa voi olla tuntemattomia vuotoja ja vanhoissa mittalaitteissa voi esiintyä mittausvirheitä. Tästä johtuen analytiikassa käytettävien mittalaitteiden kalibrointi olisi syytä lisätä ennakkohuolto-ohjelmaan. Mittalaitteen teknisen toiminnan lisäksi on tarkasteltava mittaustekniikan soveltuvuutta käyttöolosuhteisiin. Työn aikana arvioitiin mittalaitteiden luotettavuutta ja epäluotettavina pidetyt mittalaitteet on listattu liitteeseen 2.

5.2.4 Analytiikkajärjestelmän käyttöliittymä, Sumitomo Izana

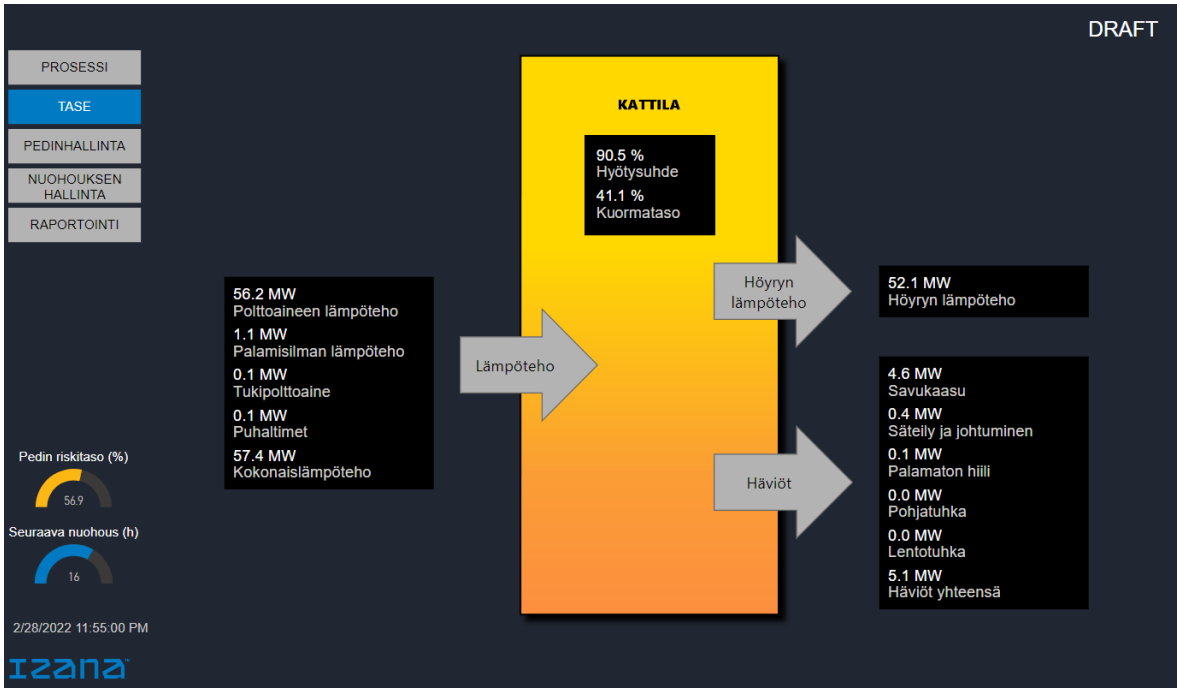
Uudesta järjestelmästä ei haluttu tehdä vanhojen järjestelmien kopiota. Ylimääräinen tieto pyrittiin karsimaan pois ja korostamaan analytiikkaa. Käyttöliittymästä haluttiin selkeä, yksinkertainen ja sujuva. Myös ylimääräiset selitteet haluttiin piilottaa selkeyden vuoksi. Selitteet piilotettiin niin, että ne tulevat esiin kursorin ollessa arvon päällä. Ensimmäisessä vaiheessa käyttöönotetut työkalut olivat prosessinäkymä, tase, pedin hallinta, nuohouksen hallinta ja raportointi.

Prosessinäkymä (Process View) antaa yleiskuvan kattilan tilasta. Prosessinäkymässä on kuvattu tulipesän lämpötiloja ja paineita, lämpöpintojen tiloja, ja palamisilmoja. Prosessinäkymä kokoaa pedin hallintatyökalun laskeman pedin riskitason ja nuohouksen hallintatyökalun laskeman ajan seuraavaan nuohoukseen samaan näkymään. Lisäksi prosessinäkymässä on esitetty merkittävimpiä arvoja kattilan taseesta, kuten kattilan höyryteho ja höyryn massavirta, polttoaineteho ja massavirta ja kattilan hyötysuhde. Luonnos prosessinäkymästä on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Prosessinäkymän luonnos

Kattilan energiatase on määritetty tasetyökalun (Energy Balance) avulla. Käyttöliittymässä on esitetty kattilaan tulevat ja siitä lähtevät energiavirrat. Tulevia energiavirtoja ovat polttoaineen lämpöteho, palamisilman lämpöteho, tukipolttoaineen lämpöteho ja puhaltimien teho. Näiden perusteella on laskettu kattilaan siirtyvä kokonaislämpöteho. Kattilasta lähteviä energiavirtoja ovat höyryn lämpöteho ja häviöt. Lämpöteho on eritelty höyryn lämpötehoon, nuohoushöyryn lämpötehoon ja ulospuhalluksen lämpötehoon. Häviöistä on eritelty savukaasuhäviöt, säteily- ja johtumishäviöt, palamattomista aiheutuvat häviöt, pohjatuhkahäviöt ja lentotuhkan aiheuttamat häviöt. Tulevien ja lähtevien energiavirtojen perusteella on laskettu kattilan hyötysuhde ja kuormataso. Luonnos tasenäkymästä on esitetty kuvassa 11.



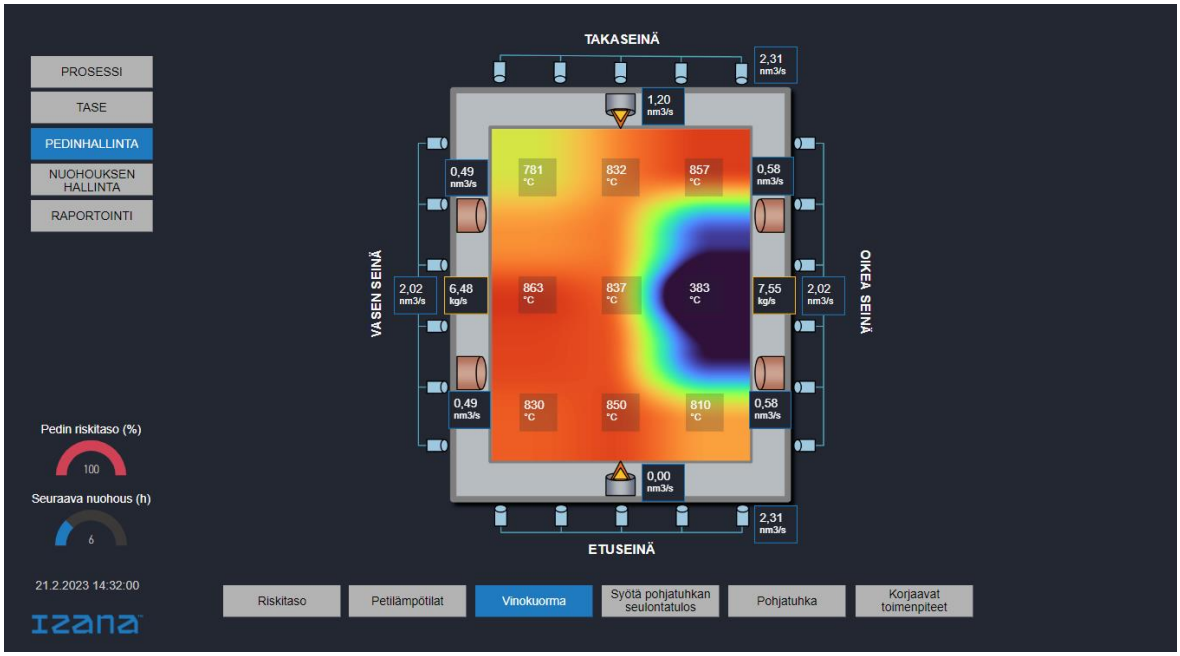
Kuva 11. Tasenäkymän luonnos

Pedin hallintatyökalulla (Bed Management) arvioidaan kattilan leijupedin tilaa analytiikan avulla. Pedin hallintatyökalu laskee pedin lämpötilajakauman, pedin paineiden, pedin paksuuden ja leijutusnopeuden perusteella pedin sintraantumiselle riskitasoa ja varoittaa riskin kasvaessa. Työkalulla visualisoidaan myös pedin lämpötiloja lukujen ja kuvaajien avulla. Työkalun tavoitteena on vähentää pedin kunnon heikentymisestä johtuvia suunnittelemattomia seisakkeja, mahdollistaa huonompi laatuisten polttoaineiden käyttö ja optimoida

petimateriaalin vaihtamista. Luonnos pedin hallintatyökalun käyttöliittymästä on esitetty kuvassa 12.

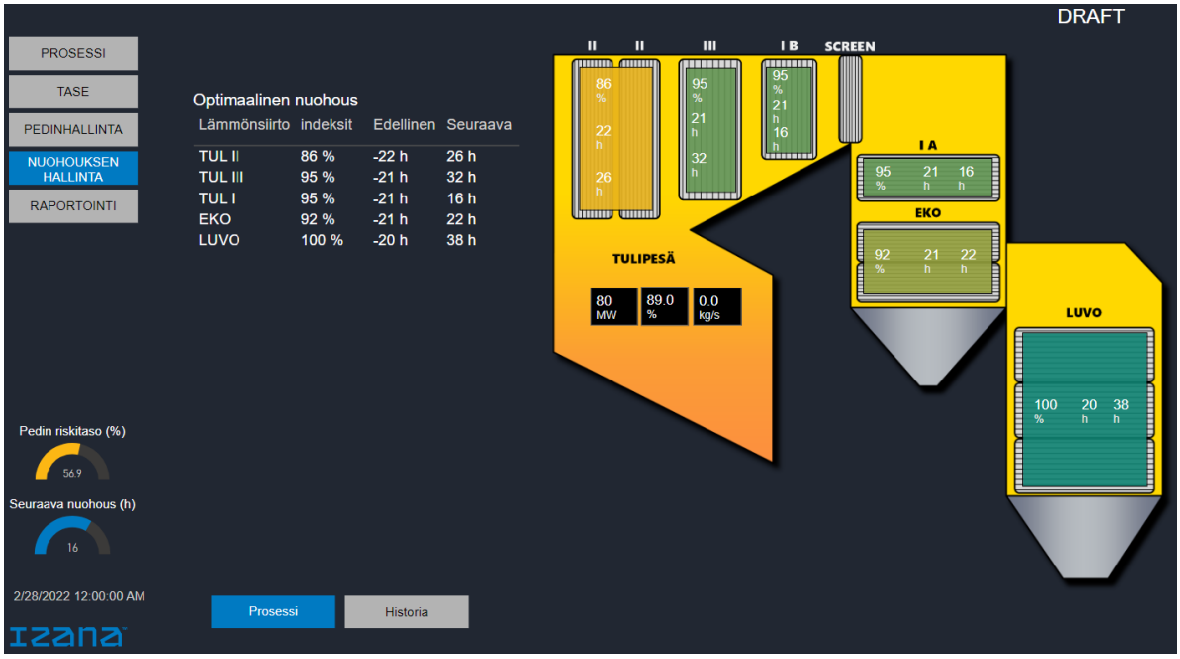
Kuva 12. Pedin hallintatyökalun luonnos

Leijupedin lämpötilajakauman visualisointia varten pedin hallintatyökaluun lisättiin lämpökartta (Heatmap). Lämpökartan avulla pedin lämpötilajakaumasta ja mahdollisesta vinokuormasta saa nopeasti selkeän käsityksen. Eri värisävyt kuvaavat eri lämpötiloja. Lämpökartta kuvaajaan on lisätty myös polttoaineen syöttö ja palamisilmakanavat. Palamisilmojen suunnat ja suuruudet on myös nähtävissä kuvaajasta. Luonnos lämpökartasta on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Lämpökartan luonnos

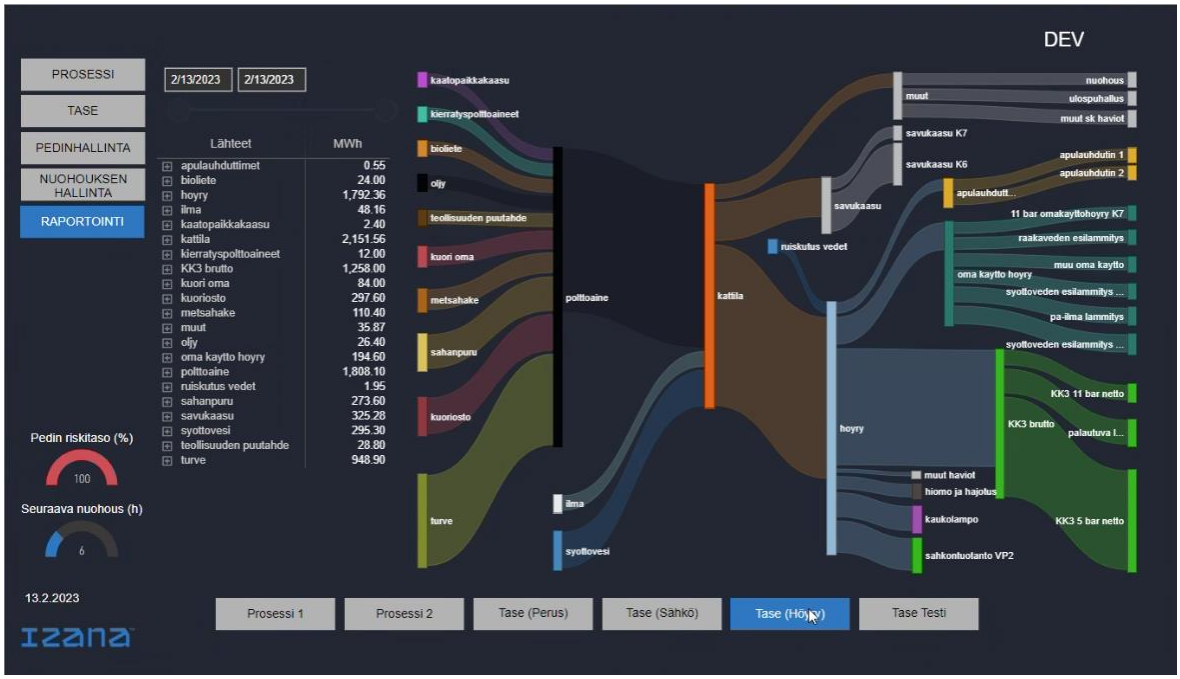
Nuohouksen hallintatyökalulla optimoidaan kattilan lämpöpintojen nuohousta analytiikan avulla. Analytiikka laskee lämmönsiirtimien lämmönsiirtotehoa ja lämpöpintojen konduktanssia. Lämmönsiirtimien lämmönsiirtokykyä verrataan historiadatan perusteella määritettyyn puhtaan pinnan lämmönsiirtokykyyn. Tämän vertailun tulosta kuvataan lämmönsiirto indeksillä. Toistaiseksi kaikki nuohottavat lämpöpinnat on nuohottu samalla kerralla. Ensimmäisessä versiossa työkalu laskee optimaalista hetkeä kaikkien lämpöpintojen nuohoukselle. Tulevaisuudessa tavoitteena on kehittää analytiikkaa niin, että se mahdollistaa lämpöpintojen osittaisen nuohouksen. Tavoitteena on kohdentaa nuohousta niille lämpöpinnoille, joilla todellisuudessa on nuohous tarvetta ja vähentää nuohoushöyryn kulutusta. Kulutuksen seurantaa varten nuohousten historiatiedot tallennetaan ja ne on esitetty kuvaajassa. Käyttöliittymässä vihreän, keltaisen ja punaisen eri sävyillä kuvataan lämpöpintojen lämmönsiirto kykyä. Kuvassa 14 on esitetty nuohouksen hallintatyökalun luonnos.



Kuva 14. Nuohouksen hallintatyökalun luonnos

5.2.5 Energiavirrat ja Sankey-diagrammi

Höyryn ja sähkön kulutusta on seurattu tehtaalla Excel-pohjaisen taulukon avulla. Taulukosta on kuitenkin hankala hahmottaa tehtaan energiankulutuksen kokonaisuutta. Virtauskaavion avulla parannetaan höyryverkon hallintaa. Kuvaajasta on helposti nähtävillä mihin tehtaan prosesseihin energiaa kuluu. Luonnos virtauskaavio on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Höyryn virtauskaavion luonnos

Virtauskaavion yhteyteen lisätyssä taulukossa on esitetty kunkin energiavirran suuruus lukuarvona. Ajanjakson, jolta virtauskaavio muodostuu voi valita vapaasti. Virtauskaavion tulkinnassa on huomioitava, että solmukohdasta lähtevien energiavirtojen summa on sama, kuin tulevien energiavirtojen, vaikka kuvassa useasta solmukohdasta lähtee näennäisesti leveämpi virtaus. Tämä johtuu ainoastaan visuaalisen toteutuksen selkeyttämisestä.

Energiankulutus kohteita on tehtaan alueella paljon. Tästä johtuen Izanaan on rakennettu kolme erillistä virtauskaaviota. Ensimmäinen virtauskaavio on kokonaisvaltaisin. Siinä on esitetty höyry- ja sähköenergiavirrat kulutuskohteittain. Toisessa virtauskaaviossa on esitetty höyryenergiavirrat yksityiskohtaisemmin. Kolmannessa virtauskaaviossa on puolestaan esitetty sähköenergiavirrat yksityiskohtaisemmin. Virtauskaavioiden avulla energiankulutus kohteet tuodaan paremmin esille. Tämä helpottaa energiatehokkuuden arviointia ja energiansäästö kohteiden etsimistä.

5.2.6 Raportointi

Raportointityökalu kokoaa yhteen Izanan laskennan tulokset. Raportointi on toteutettu taulukoiden muodossa. Taulukoiden avulla tuloksia voidaan verrata keskenään. Taulukoita voi lajitella arvioitavan ajanjakson mukaan. Taulukoista voi hakea päivä-, kuukausi- ja vuosikohtaisia keskiarvoja. Suureita, joille on mahdollista määrittää raja-arvoja arvioidaan taulukoissa liikennevalojen värien mukaisesti. Hyvällä tasolla olevia arvoja kuvataan vihreällä värillä ja huonolla tasolla olevia arvoja punaisella värillä. Keltaisella värillä kuvataan arvoja, jotka ovat siirtymässä hyvältä tasolta kohti huonoa tasoa.

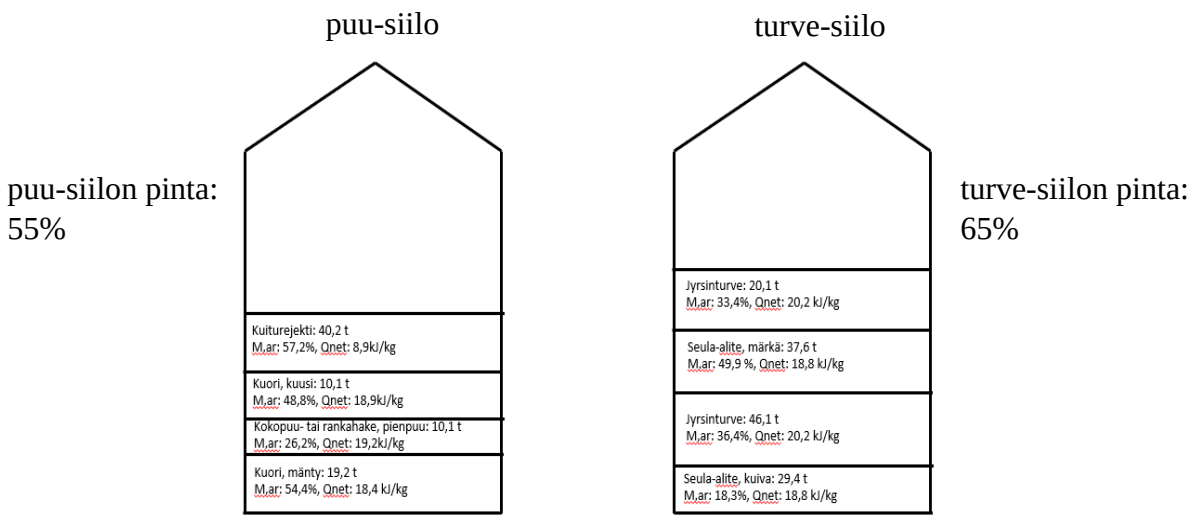
5.3 Käyttöönotto

Izana otettiin henkilöstön käyttöön, kun sen perusominaisuudet prosessinäkymä, tase, pedin hallinta, nuohouksen optimointi ja raportointi työkalut olivat toiminnassa. Käyttöönoton yhteydessä henkilökunnalle esiteltiin järjestelmän toiminnallisuudet. Heti käyttöönoton jälkeen henkilökunnalta kerättiin käyttäjäkokemuksia ja palautetta, jonka avulla järjestelmän kehittämistä jatkettiin. Muutama viikko käyttöönoton jälkeen henkilökunnalle järjestettiin lisäkoulutusta kysymyksiä ja vastauksia -tyyppisen koulutuksen muodossa, jossa henkilökunnalla oli mahdollisuus kysyä heitä askarruttaneita kysymyksiä suoraan järjestelmäkehittäjältä. Käyttöönoton jälkeen järjestelmän kehittämistä jatkettiin käytön rinnalla.

6 Polttoaineseoksen hallinta

Esiselvityksen aikana todettiin, että polttoaineseoksen hallitseminen on nykyisillä järjestelmillä haastavaa. Polttoaineseoksen laadun vaihtelut aiheuttavat haasteita pedin lämpötilojen, päästöjen, pedin kunnon ja höyryvirtauksen hallinnassa. Polttoaineseoksen hallintatyökalulla parannetaan kattilan toiminnan ennustettavuutta. Sen avulla on mahdollista kontrolloida myös polttoaineseoksen laatua ja kosteutta. Ennustettavuuden parantuessa ja polttoaineseoksen laadun vaihtelun vähentyessä on mahdollista parantaa laitoksen hyötysuhdetta ja pienentää sen ylläpitokustannuksia.

Määrittelyvaiheessa todettiin, että olisi hyödyllistä tietää mitä jakeita polttoainesiiloissa on. Tieto auttaisi käyttöhenkilökuntaa polttoaineen vastaanottovaiheesta polttoaineseoksen tekemiseen. Kuvassa 16 on esitetty ensimmäinen luonnos kiinteiden polttoaineiden hallintajärjestelmästä.



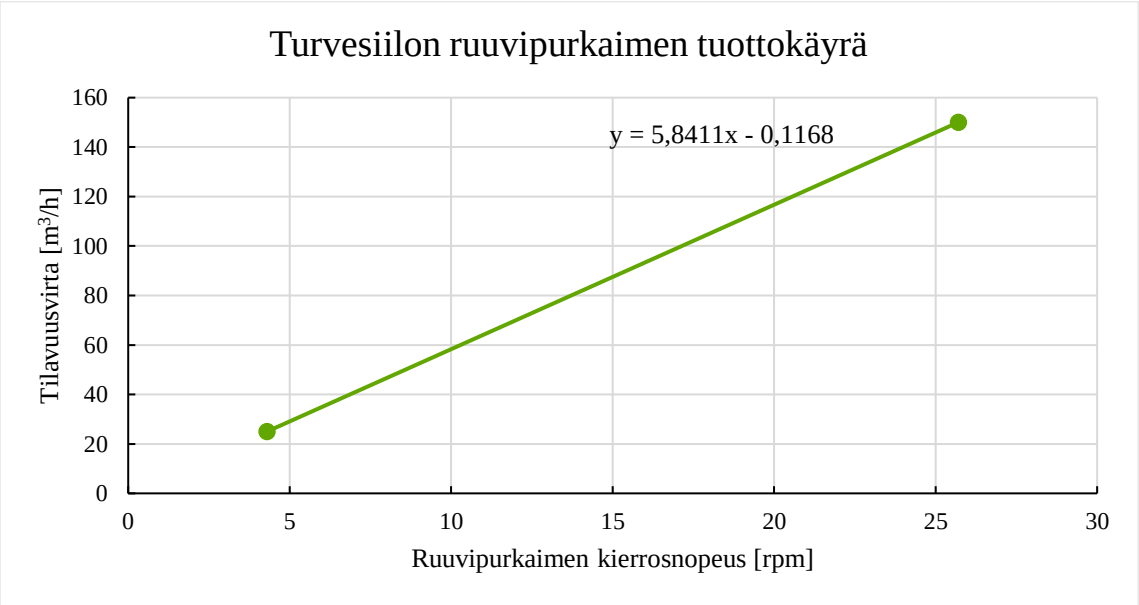
Kuva 16. Kiinteiden polttoaineiden hallintajärjestelmän luonnos

Teoriassa kaikki tarvittava tieto polttoaineseoksen hallintajärjestelmän rakentamiseksi on olemassa, mutta se on hajautettuna eri järjestelmiin. Polttoainevirtoja hallitaan Pinjan Once-järjestelmällä ja polttoainesiilojen purkausruuvien säätö tapahtuu ohjausjärjestelmä PMD:stä. Tiedonsiirtoyhteys piti rakentaa Metsän Azure-pilvipalveluun, josta data on

saatavilla muihin järjestelmiin. Varsinainen laskenta tapahtuu Sumitomon pilvipalvelussa. Once-järjestelmästä siirretään kuormakohtainen tieto polttoaineen lajista, kosteudesta, lämpöarvosta, määrästä ja purkauspaikasta. Tiedot päivittyvät kerran tunnissa, jolloin tiedot uusista polttoainekuormista ja muutokset jo kirjattuihin polttoainekuormiin siirtyvät Metsän Azureen.

6.1 Turvesiilon ruuvipurkaimen mallinnus

Kun visio polttoaineen hallintajärjestelmästä oli selkeytynyt aloitettiin käytännön toteutuksen suunnittelu. Selvitykset aloitettiin siilojen purkausruuvien tuoton selvittämisestä. Purkausruuvien tuottokäyrät saatiin ruuvien toimittajalta. Turvesiilon ruuvipurkaimen maksimituotto on 150 m^3/h ja minimituotto on 25 m^3/h. Maksimituotolla ruuvipurkaimen pyörimisnopeus on 25,7 rpm ja minimituotolla vastaavasti 4,3 rpm. Turvesiilon ruuvipurkaimen tuottokäyrä on esitetty kuvaajassa 17.



Kuva 17. Turvesiilon ruuvipurkaimen tuottokäyrä

Tuottoalueellaan ruuvipurkaimen tuottokäyrä on lineaarinen. Kuvaajan perusteella turvesiilon ruuvipurkaimelle johdettiin yhtälö. Turvesiilon ruuvipurkaimen tuotto voitiin laskea kierrosnopeuden funktiona yhtälöllä 1.

$$q_{v,turve} = 5{,}8411 * n_{purkain,turve} - 0{,}1168 \quad (1)$$

,jossa	$q_{v,\mathrm{turve}}$	tilavuusvirta, polttoaine	[m^3/h]
	$n_{\mathrm{purkain,\ turve}}$	kierrosnopeus, turvepurkain	[rpm]

Ruuvipurkainta pyörittää sähkömoottori, jossa on vaihde. Voimansiirto on toteutettu rullaketjukäytön avulla. Alennusvaihteen välityssuhde on 22,4 ja rullaketjukäytön välityssuhde on 17:67. Näin ollen turvesiilon ruuvipurkaimen pyörimisnopeus voidaan johtaa sitä pyörittävän sähkömoottorin pyörimisnopeudesta. Ruuvipurkaimen pyörimisnopeus voidaan laskea yhtälöllä 2.

$$n_{purkain,turve} = \frac{n_{moottori,turve}}{22{,}4} * \frac{17}{67} \quad (2)$$

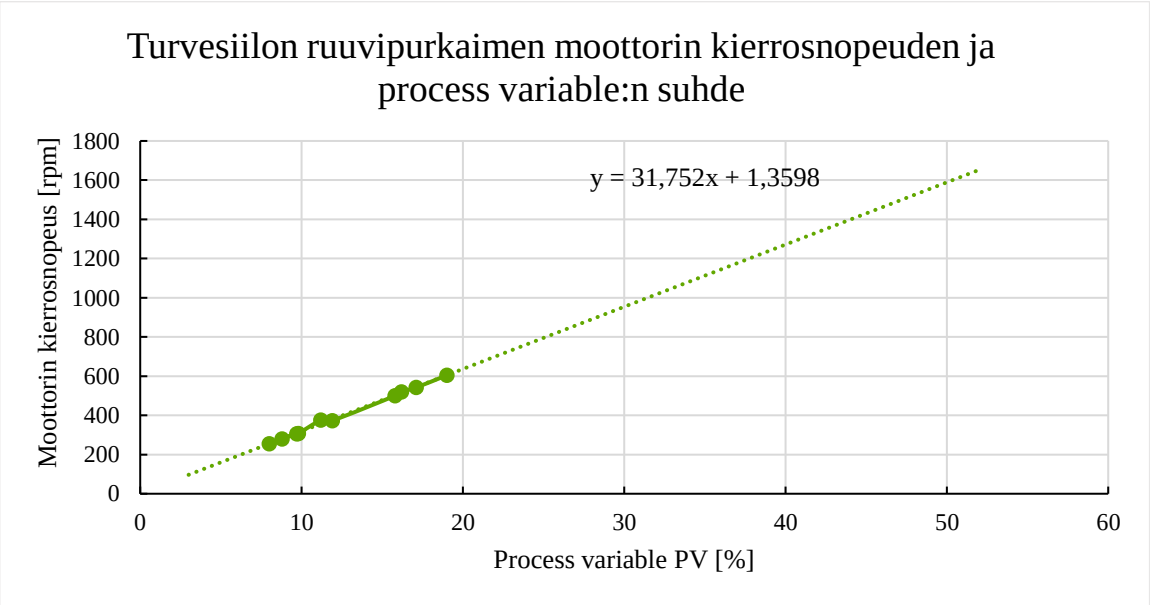
,jossa	$n_{\mathrm{moottori,\ turve}}$	kierrosnopeus, purkaimen moottori	[rpm]

Sähkömoottorin tiedoista process variable (PV) oli saatavilla ohjausjärjestelmästä. PV:n ja sähkömoottorin välinen yhteys selvitettiin mittausten avulla. Mittaukset toteutettiin muuttamalla sähkömoottorin pyörimisnopeutta ja lukemalla sitä vastaava PV:n arvot kymmenestä mittauspisteestä taajuusmuuttajalta. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Process variable:n ja turvepurkaimen sähkömoottorin kierrosnopeuden määrityksen mittaustulokset

mittauspiste	Process Variable [%]	Kierrosnopeus [rpm]
1	8	255
2	8,8	280
3	9,7	306
4	9,8	307
5	11,2	375
6	11,9	373
7	15,8	500
8	16,2	520
9	17,1	542
10	19	604

Mittaustuloksista piirrettiin kuvaaja. Kuvaajalle määritettiin trendiviiva, joka extrapoloitiin. Turvesiilon ruuvipurkaimen moottorin kierrosnopeuden ja PV:n suhde on esitetty kuvaajassa 18.



Kuva 18. Turvesiilon ruuvipurkaimen moottorin kierrosnopeuden ja PV:n suhde

Kuten kuvaajasta nähdään, mittaustulokset muodostavat suoran. Suoran yhtälöstä voidaan laskea turvesiilon ruuvipurkaimen sähkömoottorin kierrosnopeus PV:n funktiona yhtälöllä 3.

$$n_{moottori,turve} = 31{,}7520 * PV_{moottori,turve} + 1{,}3598 \qquad (3)$$

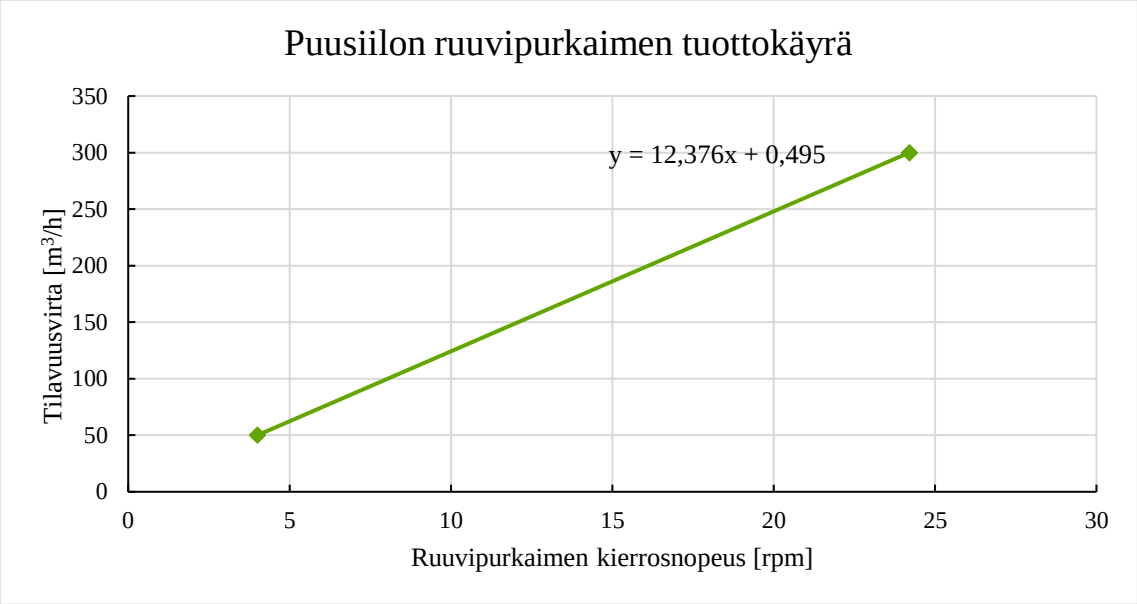
,jossa $PV_{\text{moottori,turve}}$ process variable [%]

Ohjausjärjestelmään tulevan PV:n ja turvesiilon ruuvipurkaimen tuoton välille johdettiin yhteys. Kun yhtälö 3 sijoitetaan yhtälöön 2 ja tästä saatu yhtälö sijoitetaan vielä yhtälöön 1 ja sievennetään, voidaan turvesiilon ruuvipurkaimen tuotto laskea PV:n funktiona yhtälöllä 4.

$$q_{v,turve} = 2{,}1008 * PV - 0{,}0268 \qquad (4)$$

6.2 Puusiilon ruuvipurkaimen mallinnus

Puusiilon ruuvipurkaimen tuottoa mallinnetaan samalla tavalla kuin turvesiilon purkaimen tuottoa. Puusiilon ruuvipurkaimen maksimituotto on 300 m^3/h ja minimituotto on 50 m^3/h. Maksimituotolla ruuvipurkaimen pyörimisnopeus on 24,2 rpm ja minimituotolla vastaavasti 4,0 rpm. Puusiilon ruuvipurkaimen tuottokäyrä on esitetty kuvaajassa 19.



Kuva 19. Puusiilon ruuvipurkaimen tuottokäyrä

Tuottoalueellaan myös puusiilon ruuvipurkaimen tuottokäyrä on lineaarinen. Kuvaajan perusteella puusiilon ruuvipurkaimen tuotolle johdettiin yhtälö. Puusiilon ruuvipurkaimen tuotto voitiin laskea ruuvin kierrosnopeuden funktiona yhtälöllä 5.

$$q_{v,puu} = 12{,}376 * n_{purkain,puu} + 0{,}495 \qquad (5)$$

,jossa	$q_{v,puu}$	tilavuusvirta, polttoaine	[m3/h]
	$n_{purkain,\ puu}$	kierrosnopeus, puupurkain	[rpm]

Ruuvipurkainta pyörittää sähkömoottori, jossa on vaihde. Voimansiirto on toteutettu rullaketjukäytön avulla. Alennusvaihteen välityssuhde on 31,5 ja rullaketjukäytön välityssuhde on 21:68. Näin ollen puusiilon ruuvipurkaimen pyörimisnopeus voidaan johtaa sitä pyörittävän sähkömoottorin pyörimisnopeudesta. Ruuvipurkaimen pyörimisnopeus voidaan laskea yhtälöllä 6.

$$n_{purkain,puu} = \frac{n_{moottori,puu}}{31,5} * \frac{21}{68} \quad (6)$$

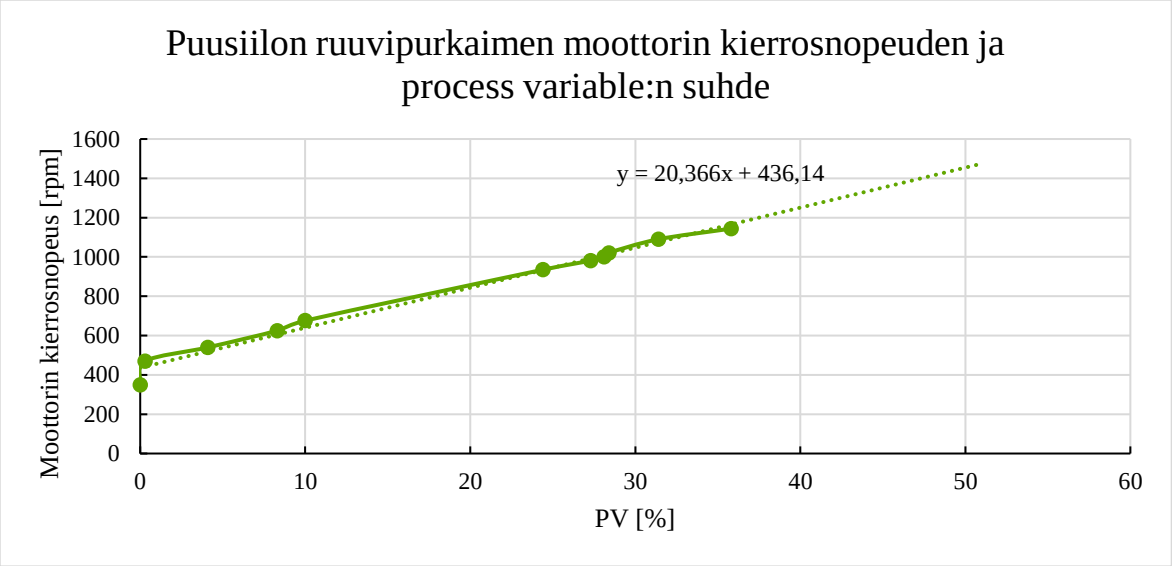
,jossa $n_{\text{moottori, turve}}$ kierrosnopeus, purkaimen moottori [rpm]

PV:n ja sähkömoottorin välinen yhteys selvitettiin mittausten avulla samaan tapaan kuin turvesiilon purkaimenkin osalta. Mittaukset toteutettiin muuttamalla moottorin pyörimisnopeutta ja lukemalla sitä vastaava PV:n arvo yhdestätoista mittauspisteestä taajuusmuuttajalta. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Process variablen ja puupurkaimen sähkömoottorin kierrosnopeuden määrityksen mittaustulokset

mittaus-piste	Process Variable [%]	Kierrosnopeus [rpm]
1	0	350
2	0,3	470
3	4,1	540
4	8,3	625
5	10	676
6	24,4	935
7	27,3	981
8	28,1	1000
9	28,4	1021
10	31,4	1090
11	35,8	1144

Mittaustuloksista piirrettiin kuvaaja. Kuvaajalle määritettiin trendiviiva, joka extrapoloitiin. Puusiilon ruuvipurkaimen moottorin kierrosnopeuden ja PV:n suhde on esitetty kuvaajassa 20.



Kuva 20. Puusiilon ruuvipurkaimen moottorin kierrosnopeuden ja PV:n suhde

Kuten kuvaajasta nähdään, mittaustulokset muodostavat suoran. Suoran yhtälöstä voidaan laskea puusiilon ruuvipurkaimen sähkömoottorin kierrosnopeus PV:n funktiona yhtälöllä 7.

$$n_{moottri,puu} = 20{,}366 * PV_{moottori,puu} + 436{,}14 \qquad (7)$$

,jossa $PV_{\text{moottori,puu}}$ process variable [%]

Ohjausjärjestelmään tulevan PV:n ja puusiilon ruuvipurkaimen tuoton välille johdettiin yhteys. Kun yhtälö 7 sijoitetaan yhtälöön 6 ja tästä saatu yhtälö sijoitetaan vielä yhtälöön 5 ja sievennetään, voidaan puusiilon ruuvipurkaimen tuotto laskea PV:n funktiona yhtälöllä 8.

$$q_{v,puu} = 2{,}4711 * PV - 53{,}413 \qquad (8)$$

6.3 Mallinnuksen haasteet

Järjestelmän teknisen toteutuksen lisäksi siihen liittyy useita käytännön haasteita. Tunnistetut haasteet liittyvät pääosin ulkopuolisten kuljetusyrittäjien toimintaan ja tarkkaavaisuuteen. Oikean kuorman purkupaikan ja polttoainelajin merkitseminen on mallinnuksen todenmukaisuuden kannalta ratkaisevan tärkeää. Pyörökuormaajan ajamien kuormien tiedot eivät tällä hetkellä siirry polttoaineiden hallintajärjestelmä Onceen. Tiedonsiirtoyhteys on saatava toimimaan, ennen kuin järjestelmä voidaan ottaa käyttöön. Lisäksi polttoainejakeet sekoittuvat hieman siilossa. Tämän mallintaminen on haastavaa ja tästä syystä mallia yksinkertaistetaan olettamalla, että polttoainejakeet eivät sekoitu siiloissa.

Siilojen purkausruuvien tuottoa arvioitaessa on huomattu, että todellisuudessa tuottokäyrien lukemiin on vaikea päästä. Tämä johtuu todennäköisesti purkausruuvien kulumisesta, vaihtelevista polttoainejakeista ja ruuvien käytöstä tuottokäyrien ilmoittamien minimi kierrosnopeuksien alapuolella. Tästä johtuen ruuvien tuottoa laskettaessa on käytettävä korjauskerrointa, joka muuttaa purkausruuvin teoreettisen tuoton todelliseksi tuotoksi. Turvesiilon ruuvipurkaimen osalta tuottoa on verrattu Oncen kuormadataan. Vertailun perusteella on huomattu, että ruuvipurkaimen todellinen saanto on noin 80 prosenttia tuottokäyrän ilmoittamasta arvosta. Puusiilon ruuvipurkaimen mallinnuksen toimivuutta ei ole päästy testaamaan, sillä tieto pyörökoneen ajamista polttoainekuormista ei siirry Onceen. Mikäli mallin toimivuutta ei päästä testaamaan historiadatan perusteella, voidaan tehdä alkuoletus, että ruuvipurkaimen todellinen saanto on myös 80 prosenttia tuottokäyrän ilmoittamasta arvosta. Korjauskertoimia joudutaan todennäköisesti säätämään järjestelmän käyttöönoton jälkeen saatavien havaintojen perusteella.

7 Muut suorituskykymittarit

Tässä kappaleessa esitellään muita suorituskykymittareita, joista käyttöhenkilökunnan kanssa käytyjen keskustelujen perusteella arvioidaan olevan hyötyä laitoksen hallittavuuden kannalta. Uudelta analytiikkajärjestelmältä toivotaan monipuolisuutta. Nykyaikaisten visualisointityökalujen avulla halutaan visualisoida prosessin kannalta oleellisia asioita helposti ja nopeasti ymmärrettävään muotoon. Prosessiarvoille määritetään tilastollisin menetelmin normaalit vaihteluvälit, jotka pyritään esittämään selkeästi mittaustuloksen yhteydessä. Häviöitä arvioitaessa halutaan tuoda esille taloudellinen näkökulma. Euroina esitettävien häviöiden toivotaan motivoivan käyttöhenkilökuntaa aiempaa aktiivisempaan prosessin ohjaukseen.

7.1 Höyryn ominaiskustannus

Höyryn tuottaminen aiheuttaa merkittäviä kustannuksia. Kustannusten arvioimiseksi ja seuraamiseksi höyryn ominaiskustannukset ovat osana suorituskykymittaristoa. Tunnusluvun tavoitteena on kohdistaa henkilöstön huomio höyryn tekemisen aiheuttamiin kustannuksiin ja kustannusten vähentämiseen. Lisäksi muissa suorituskykymittareissa laskettujen häviöiden muuttamiseksi euromääräisiksi luvuiksi tarvitaan tieto höyryn kustannuksista. Mittausdataa kerätään ohjausjärjestelmä PHD:stä ja polttoaine järjestelmä Oncesta. Suorituskykymittarin käyttöperiaatelomake on esitetty liitteessä 4 ja laskennassa käytettävät ohjausjärjestelmän positiot on esitetty liitteessä 5. Höyryn ominaiskustannukset lasketaan yhtälöllä 9.

$$k_{höyry} = \frac{K_{pa}}{\Phi_{höyry}} \tag{9}$$

,jossa	$k_{höyry}$	ominaiskustannus, höyry	[EUR/MWh]
	K_{pa}	polttoainekustannukset	[EUR]
	$\Phi_{höyry}$	tuotettu höyry yhteensä	[MWh]

Tuotetun höyryn määrä Simpeleellä lasketaan höyryvirtojen summana yhtälöllä 10.

$$\Phi_{höyry} = \Phi_{KK3,4bar} + \Phi_{KK3,11bar} + \Phi_{massa} + \Phi_{kl} + \Phi_{VP2} + \Phi_{al} \quad (10)$$

,jossa	$\Phi_{KK3,4bar}$	KK3 4 bar netto höyryenergia yhteensä	[MWh]
	$\Phi_{KK3,11bar}$	KK3 11 bar netto höyryenergia yhteensä	[MWh]
	Φ_{massa}	massaosasto höyryenergia yhteensä	[MWh]
	Φ_{kl}	kaukolämpö höyryenergia yhteensä	[MWh]
	Φ_{VP2}	vastapaineturbiini energia yhteensä	[MWh]
	Φ_{al}	apulauhduttimien höyryenergia yhteensä	[MWh]

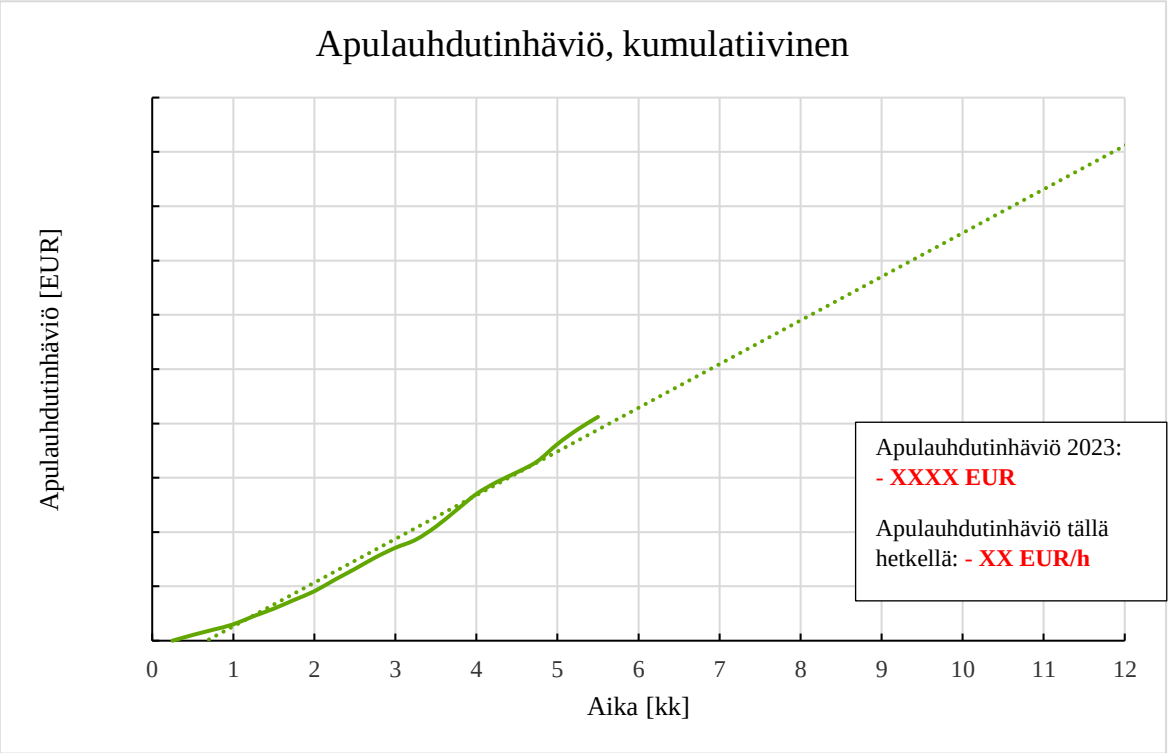
7.2 Apulauhduttimet

Simpeleen tapauksessa höyryn lauhtuminen pitäisi tapahtua pääsääntöisesti kartonkikoneen prosesseissa. Voimalaitoksella on kuitenkin kaksi apulauhdutinta, joilla höyry voidaan lauhduttaa esimerkiksi kartonkikoneen häiriötilanteissa. Apulauhduttimet lauhduttavat höyryn Simpelejärven vedellä, eikä lämpöä näin ollen saada hyödynnettyä tehokkaasti. Turhaa apulauhduttimien käyttöä tulisi välttää kattilan kuorman aktiivisella ohjaamisella. Kuvaajan tarkoituksena on kohdistaa henkilöstön huomio apulauhduttimien käytön aiheuttamiin kustannuksiin ja sitä kautta motivoida käyttöhenkilökuntaa seuraamaan apulauhduttimien käyttöä tarkemmin. Apulauhdutinhäviöiden käyttöperiaatelomake on esitetty liitteessä 6 ja laskennassa käytettävät ohjausjärjestelmän positiot on esitetty liitteessä 7.

Apulauhduttimien käytölle on perusteltuja syitä, jotka tulee ottaa huomioon määriteltäessä apulauhduttimien käytön tarpeellisuutta ja häviöitä laskettaessa. Tällaisia syitä ovat esimerkiksi pääkattilan minimikuorma. Leijupetikattilan pedin leijuttaminen vaatii tietyn määrän leijutusilmaa. Kuormataso on pidettävä tietyllä tasolla, jotta ilmasuhde ei kasva liian suureksi ja aiheuta ongelmia savukaasupäästöjen kanssa. Simpeleen K6 pääkattilalle minimi kuormataso on noin 15 kg/s tuorehöyryä. Savukaasupäästöt nousevat kuitenkin herkästi apulauhduttimien käytön optimointia rajoittavaksi tekijäksi. Päästörajat olivat CO 250 mg/m^3, NO_x 250 mg/m^3, SO2 250 mg/m^3 ja hiukkaset 20 mg/m^3 alku vuonna 2023.

Minimikuormilla leijutusilman suhteellinen osuus kasvaa merkittävästi ja palamisilmojen vaiheistaminen vähenee. Tämä johtaa typenoksidien päästöjen nousuun. Toisaalta vuoden 2022 energiakriisin myötä noussut sähkön hinta voi tuoda eteen tilanteita, jolloin sähkön tuotannon lisääminen apulauhduttimia hyödyntäen on kannattavaa. Vastaavasti tuuli- ja aurinkovoiman osuuden lisääntyminen energiajärjestelmässä saattaa laskea sähkön hinnan ajoittain negatiiviseksi. Tästä syystä sähkön hinta on syytä ottaa huomioon arvioitaessa apulauhduttimien käyttöä.

Apulauhdutinhäviötä laskettaessa lasketaan kumulatiivista energiamäärä, joka apulauhduttimissa on lauhdutettu. Ajanhetkiä, jolloin kattilan kuormataso on minimitasolla (tuorehöyryn virtaus 15 kg/s) tai päästörajoihin ei päästä, tai sähkön hinta on merkittävän korkea ei lasketa mukaan häviöksi. Kuvassa 21 esitetään malli kumulatiiviselle apulauhdutinhäviöiden kuvaajalle.



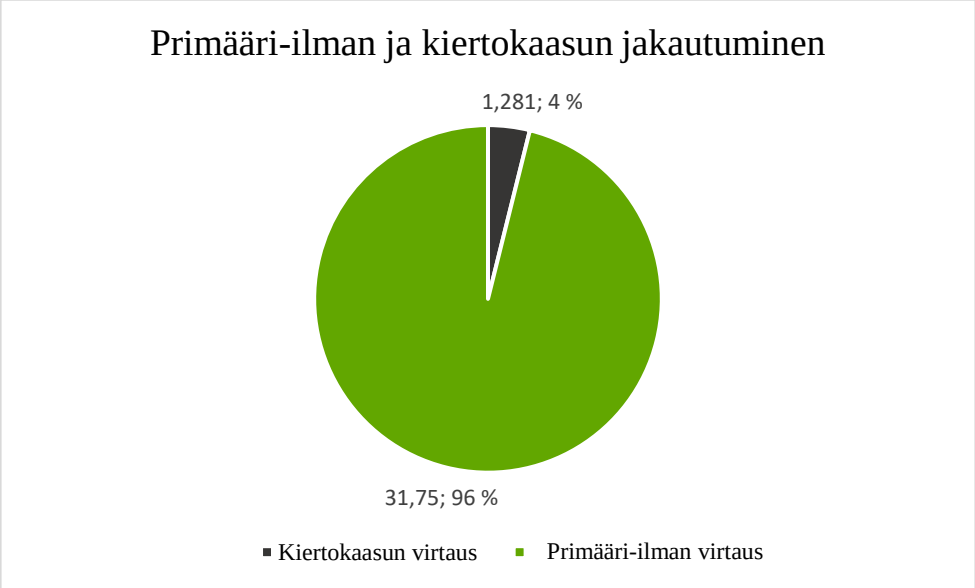
Kuva 21. Apulauhdutinhäviöt

7.3 Palamisilmat

Kattilan palamisilmoja seurataan virtausmittausten perusteella. Ohjausjärjestelmässä esitettävistä virtausmittareiden lukemista on kuitenkin vaikea hahmottaa kokonaisuutta, sillä lukuja on useita ja ne on esitetty allekkain. Lukujen sijainnista on haastavaa tulkita esimerkiksi miten ilmat jakautuvat kattilan eri sivujen välillä. Palamisilmojen visualisoinnin kehittämisellä on tavoitteena parantaa käyttöhenkilökunnan ymmärrystä ilmojen jakautumisesta ja helpottaa päivittäistä työskentelyä ja vinokuorman hallintaa.

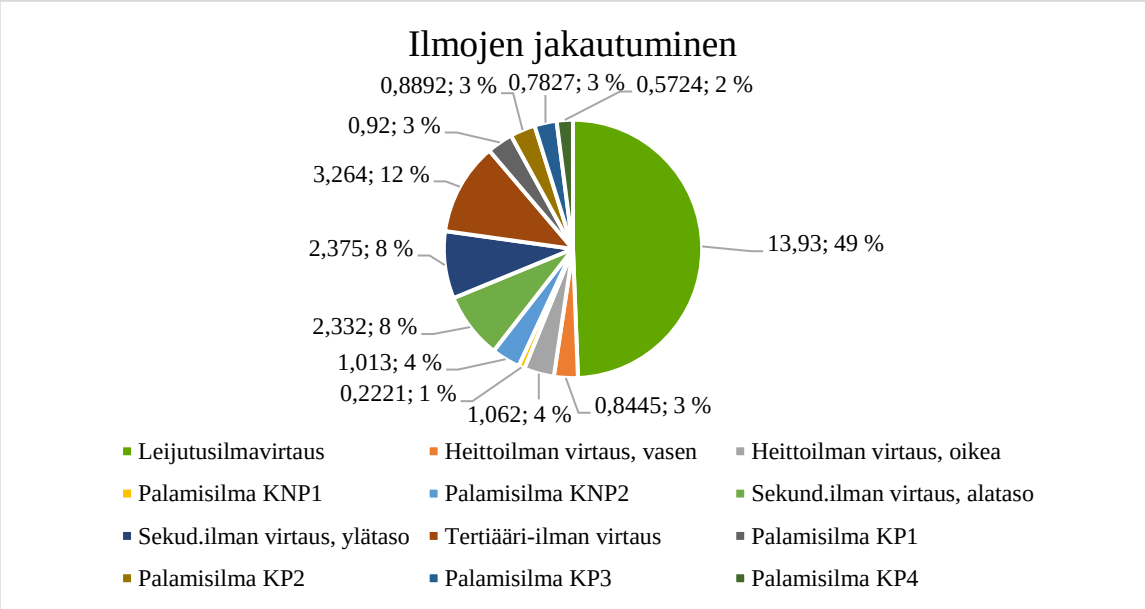
7.3.1 Ilmojen jakautuminen

Ilmojen jakautumista visualisoidaan kahden ympyräkaavion avulla, joista toisessa esitetään kiertokaasun suhde primääri-ilman määrään verrattuna ja toisessa leijutusilman osuus muihin vaiheistettuihin ilmoihin verrattuna. Kuvassa 22 esitetään kuvaaja primääri-ilman ja kiertokaasun jakautumisesta. Primääri-ilmalle ja kiertokaasulle on omat virtausmittarit, joiden tulokset visualisoidaan ympyräkaaviossa. Lisäksi kaaviossa on esitetty molempien ilmajakeiden virtausmäärät normikuutioissa, sekä niiden prosentuaaliset osuudet. Mittarin käyttöperiaatelomake on esitetty liitteessä 8 ja laskennassa käytettävät ohjausjärjestelmän positiot on esitetty liitteessä 10.



Kuva 22. Primääri-ilman ja kiertokaasun osuudet

Ilmojen jakautumista eri ilmakanavien välillä on kuvattu kuvan 23 ympyräkaaviossa. Leijutusilman virtaukselle, heittoilmojen virtaukselle, käynnistyspolttimien virtaukselle, ala- ja ylätason sekundääri-ilmojen virtaukselle, tertiääri-ilmojen virtaukselle, sekä kuormapolttimien virtaukselle on olemassa virtausmittaukset. Lisäksi kaaviossa on esitetty ilmajakeiden virtausmäärät normikuutioissa, sekä niiden prosentuaaliset osuudet.



Kuva 23. Ilmojen jakautuminen eri ilmakanavien kesken

7.3.2 Palamisilmakartta

Palamisilmojen kokonaismäärien lisäksi niiden jakautumista kattilan eri puolille halutaan visualisoida. Palamisilmankartan käyttöperiaatelomake on esitetty liitteessä 9 ja laskennassa käytettävät ohjausjärjestelmän positiot on esitetty liitteessä 10. Palamisilmakartassa palamisilmat on jaettu kahteen ryhmään, pedin ilmoihin ja yläilmoihin. Pedin ilmoihin sisältyy heittoilmat, käynnistyspolttimien palamisilmat, alatason sekundääri-ilmat, ja ylätason sekundääri-ilmat. Leijutusilmoja ei ole huomioitu tässä kuvaajassa, koska niiden oletetaan jakautuvan tasaisesti koko arinan pinta-alalle. Yläilmoihin sisältyy tertiääri-ilmat ja kuormapolttimien ilmat. Heittoilmoja syötetään kattilaan oikealta ja vasemmalta sivulta, kuten myös alatason sekundääri-ilmoja. Pedin vasemman sivun palamisilmojen summa voidaan laskea yhtälöllä 11.

$$q_{v,peti,v} = q_{v,h,v} + q_{v,s,v} \tag{11}$$

, jossa	$q_{v,\,peti,v}$	pedin ilmavirtaus, vasen	[nm^3/s]
	$q_{v,h,v}$	heittoilmavirtaus, vasen	[nm^3/s]
	$q_{v,s,a,v}$	sekund.ilman virtaus, alataso, vasen	[nm^3/s]

Sekundääri-ilmojen jakautuminen kattilan vasemman ja oikean puolen välillä voidaan laskea ilmakanavien ilmapeltien asentojen ja alasekundääri-ilmojen virtausmittauksen avulla yhtälöllä 12.

$$q_{v,s,a,v} = q_{v,s,a} * \left(\frac{\alpha 1}{(\alpha 1 + \alpha 2)}\right) \tag{12}$$

,jossa	$q_{v,s,a}$	sekund.ilman virtaus, alataso, yhteensä	[nm^3/s]
	$\alpha 1$	sekund.ilman säätöpellin asento vasen	[%]
	$\alpha 2$	sekund.ilman säätöpellin asento oikea	[%]

Vastaavasti kattilan oikealle puolelle menevän alatason sekundääri-ilman määrä voidaan laskea yhtälöllä 13 vähentämällä kokonaissekundääri-ilman määrästä yhtälöllä 12 laskettu vasemman puolen alatason sekundääri-ilman määrä.

$$q_{v,s,a,o} = q_{v,s,a} - q_{v,s,a,v} \tag{13}$$

Kun oikealta puolelta syötettävien alatason sekundääri-ilmojen määrä tiedetään voidaan pedin oikealta puolelta syötettävien ilmojen määrä laskea vasemman puolen tapaan lisäämällä sekundääri-ilmoihin heittoilmojen määrä (yhtälö 11). Käynnistyspolttimilta tuleva palamisilma ja ylätason sekundääri-ilmat syötetään kattilaan etu- ja takaseinän kautta. Käynnistyspolttimilta syötettäville ilmoille on olemassa omat erilliset mittaukset. Oletetaan, että ylätason sekundääri-ilmat jakautuvat tasaisesti etu- ja takaseinän välillä. Etu- ja takaseinältä syötettävien peti-ilmojen määrä voidaan laskea yhtälöllä 14.

$$q_{v,peti,e} = q_{v,knp1} + \frac{q_{v,s,y}}{2} \tag{14}$$

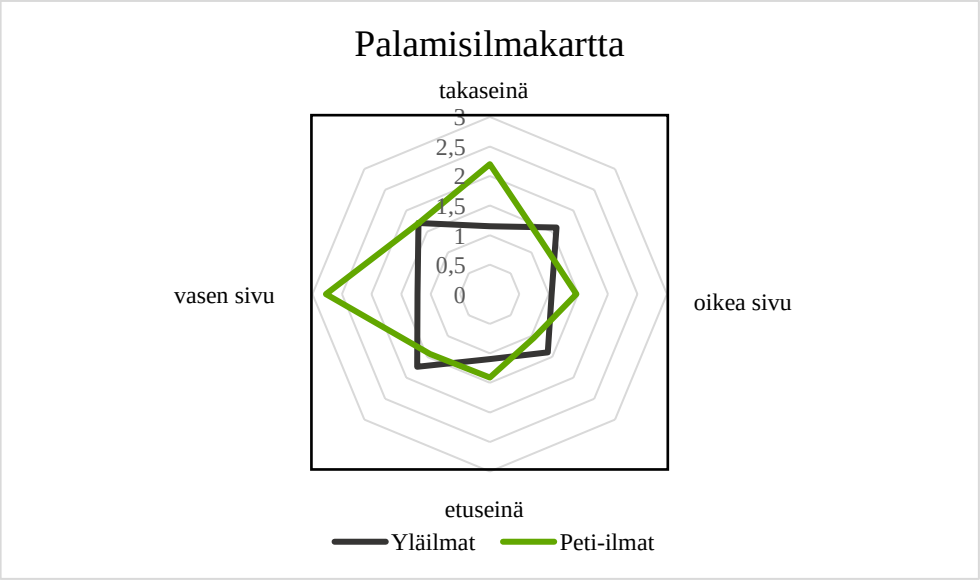
,jossa	$q_{v,\ peti,\ e}$	pedin ilmavirtaus, etuseinä	[nm^3/s]
	$q_{v,\ knp1}$	ilmavirtaus, käynnistyspolttimelta	[nm^3/s]
	$q_{v,s,y}$	sekund.ilman virtaus, ylätaso, yhteensä	[nm^3/s]

Yläilmat (tertiääri-ilmat ja kuormapolttimien palamisilmat) syötetään kattilan nurkista. Kuormapolttimilta syötettäville ilmoille on olemassa omat erilliset mittaukset. Tertiääri-ilmojen kokonaismäärää mitataan ja sen oletetaan jakautuvan tasaisesti kattilan nurkissa sijaitsevien syöttöpisteiden välillä. Yksittäisen nurkan kautta syötettävän yläilman määrä voidaan laskea yhtälöllä 15.

$$q_{v,ylä,x} = q_{v,KPx} + \frac{q_{v,ti}}{4} \tag{15}$$

, jossa	$q_{v,ylä,x}$	yläilmojen virtaus, yksittäinen nurkka	[nm^3/s]
	$q_{v,KPx}$	ilmavirtaus, kuormapolttimelta	[nm^3/s]
	$q_{v,ti}$	tertiääri-ilman virtaus	[nm^3/s]

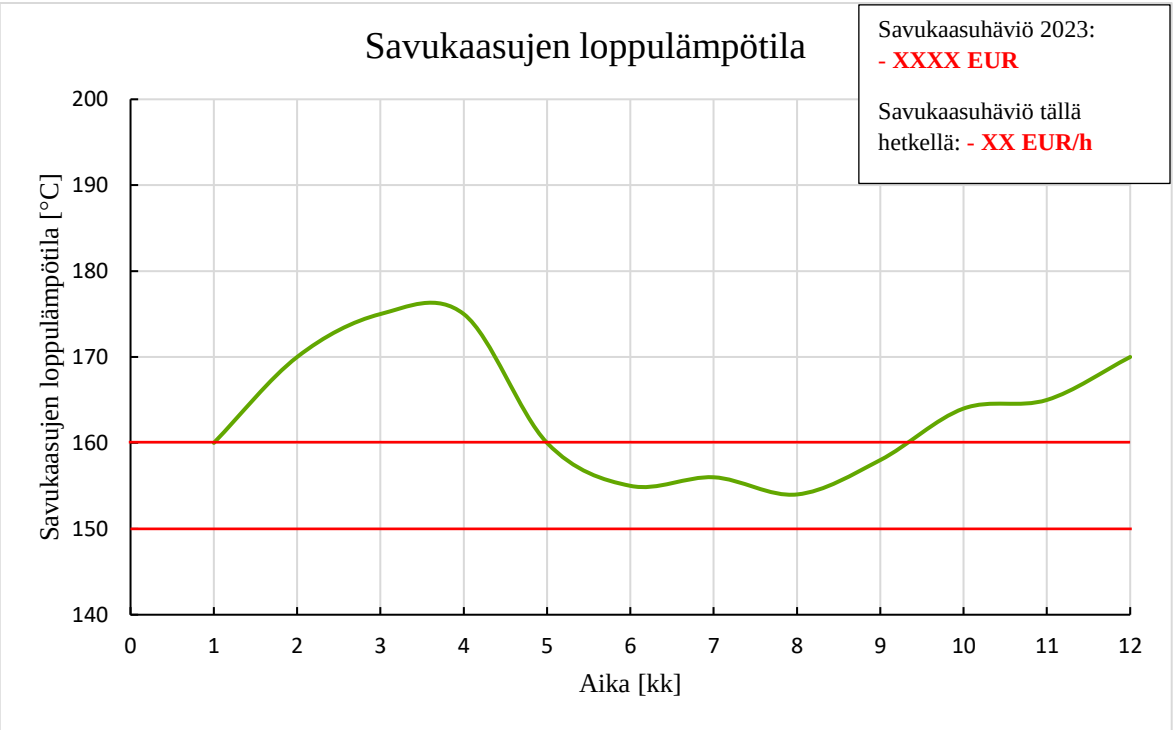
Kun kattilan jokaisen sivun kautta tulevien palamisilmojen määrä on selvitetty voidaan niistä piirtää kuvaaja. Kuvaajan tavoitteena on visualisoida palamisilmojen jakautuminen kattilassa nopeasti ja helposti ymmärrettävässä muodossa. Esimerkki arvoilla piirretystä kuvaajasta nähdään, että yläilmat ovat melko hyvin tasapainossa, mutta pedille palamisilmaa tulee huomattavasti enemmän kattilan vasemmalta puolelta ja takavedon puolelta. Palamisilmakartta on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Palamisilmakartta

7.4 Savukaasuhäviöt

Savukaasuhäviöt ovat kattilalaitosten merkittävimpiä häviöitä. Savukaasujen lämpötilaa seurataan ohjausjärjestelmässä olevien lämpömittausten perusteella. Mittarin tarkoituksena kohdistaa henkilöstön huomiota savukaasujen loppulämpötilan seurantaan ja optimointiin. Tavoitteena on pitää savukaasujen loppulämpötila alle 160 celsiusasteen. Happokastepiste ja lämmönsiirtimien lämmönsiirto teho voivat kuitenkin rajoittaa lämpötilan optimointia. Savukaasujen loppulämpötila pyritään pitämään yli 150 celsiusasteen, jotta minimoidaan korroosioriski. Savukaasuhäviöiden mittarin käyttöperiaatelomake on esitetty liitteessä 11 ja laskennassa käytettävät ohjausjärjestelmän positiot on esitetty liitteessä 12. Savukaasuhäviöiden kuvaaja on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Savukaasujen loppulämpötila

7.5 Vedet

Vedenkulutus on yleinen mittari monissa suorituskyvyn mittaristoissa. Simpeleen voimalaitoksen kannalta lisäveden kulutuksen lisääntyminen lisää vedenkäsittelyn tarvetta ja voi olla merkki vuodosta prosessissa. Lisäveden käytön lisääntyminen kertoo usein ongelmista lauhteiden palautumisessa. Lauhteessa on paljon energiaa, jonka hyödyntäminen tehokkaasti vähentää veden lämmittämiseen kuluvan energian tarvetta ja parantaa laitoksen hyötysuhdetta.

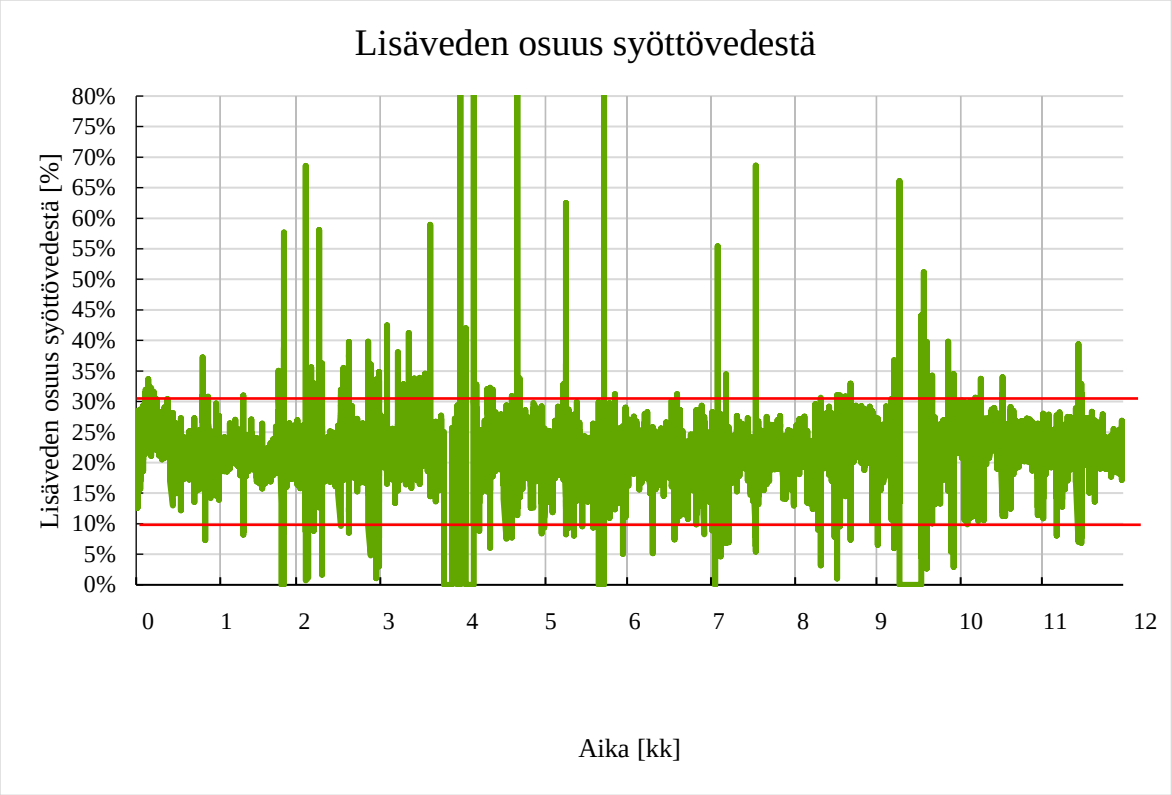
7.5.1 Lisäveden osuus syöttövedestä

Lisäveden osuus syöttövedestä -mittarin tarkoituksena on kohdistaa henkilöstön huomio lisäveden käyttöön visualisoimalla lisäveden kulutusta. Lisäveden käytön lisääntyminen voi kertoa vuodosta tai auki jääneestä venttiilistä. Tavoitteena on nopeuttaa häiriötilanteiden tunnistamista ja siten vähentää lisäveden käyttöä. Lisäveden kulutus on suhteutettu kattilan kuormatasoon, koska sillä on havaittu olevan vaikutusta lisäveden kulutukseen. Lisäveden osuus syöttövedestä lasketaan yhtälöllä 16.

$$f = \frac{q_{m,lv}}{q_{m,sv}} \tag{16}$$

,jossa	f	lisäveden osuus syöttövedestä	[%]
	$q_{m,lv}$	lisäveden massavirta	[kg/s]
	$q_{m,sv}$	syöttöveden massavirta	[kg/s]

Lisäveden osuus syöttövedestä -mittarin käyttöperiaatelomake on esitetty liitteessä 13 ja laskennassa käytettävät ohjausjärjestelmän positiot on esitetty liitteessä 14. Lisäveden kulutuksen kuvaaja on esitetty kuvassa 26. Tyypillisesti lisäveden osuus syöttövedestä vaihtelee 10 ja 30 prosentin välillä, joten ne on määritetty normaalin vaihteluvälin raja-arvoiksi.



Kuva 26. Lisäveden osuus syöttövedestä

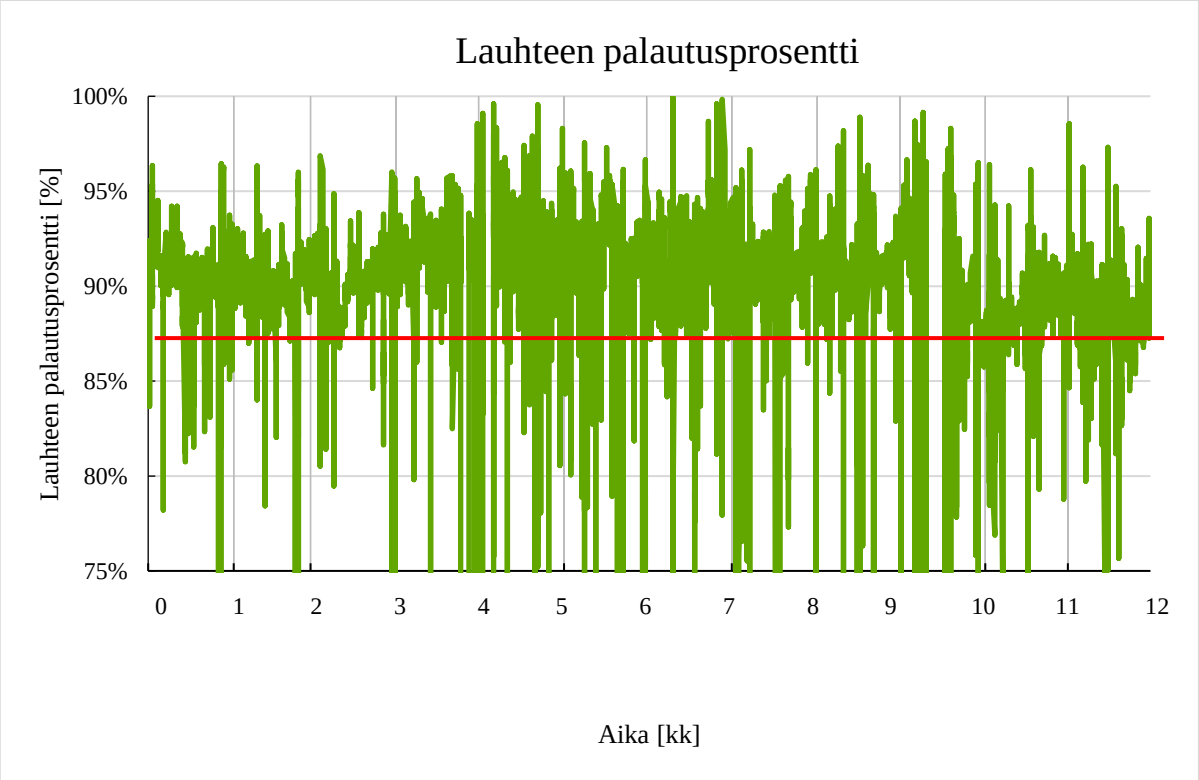
7.5.2 Lauhteen palautusprosentti

Lauhteen palautusprosentti on höyry- ja lauhdejärjestelmille tyypillinen tunnusluku teollisuudessa. Lauhteen palautusprosentin tarkoituksena on kohdistaa henkilöstön huomio lauhteiden palautumiseen. Tavoitteena on nopeuttaa prosessissa olevien vuotojen ja muiden häiriöiden havaitsemista ja maksimoida lauhteiden hyötykäyttö. Toimiva lauhteiden palautusjärjestelmä vähentää lisäveden käyttöä ja parantaa laitoksen hyötysuhdetta. Lauhteen palautusprosentti lasketaan yhtälöllä 17.

$$X_l = \frac{q_{m,l}}{q_{m,ph}} \tag{17}$$

, jossa	X_l	lauhteen palautusprosentti	[%]
	$q_{m,l}$	palautuvat lauhteet, massavirta	[kg/s]
	$q_{m,ph}$	prosessihöyry, massavirta	[kg/s]

Lauhteen palautusprosentin tunnusluvun käyttöperiaatelomake on esitetty liitteessä 15 ja laskennassa käytettävät ohjausjärjestelmän positiot on esitetty liitteessä 16. Lauhteen palautusprosentin esimerkki kuvaaja on esitetty kuvassa 27. Historiatietojen perusteella raja-arvoksi lauhteen palautusprosentille on asetettu 87 prosenttia.

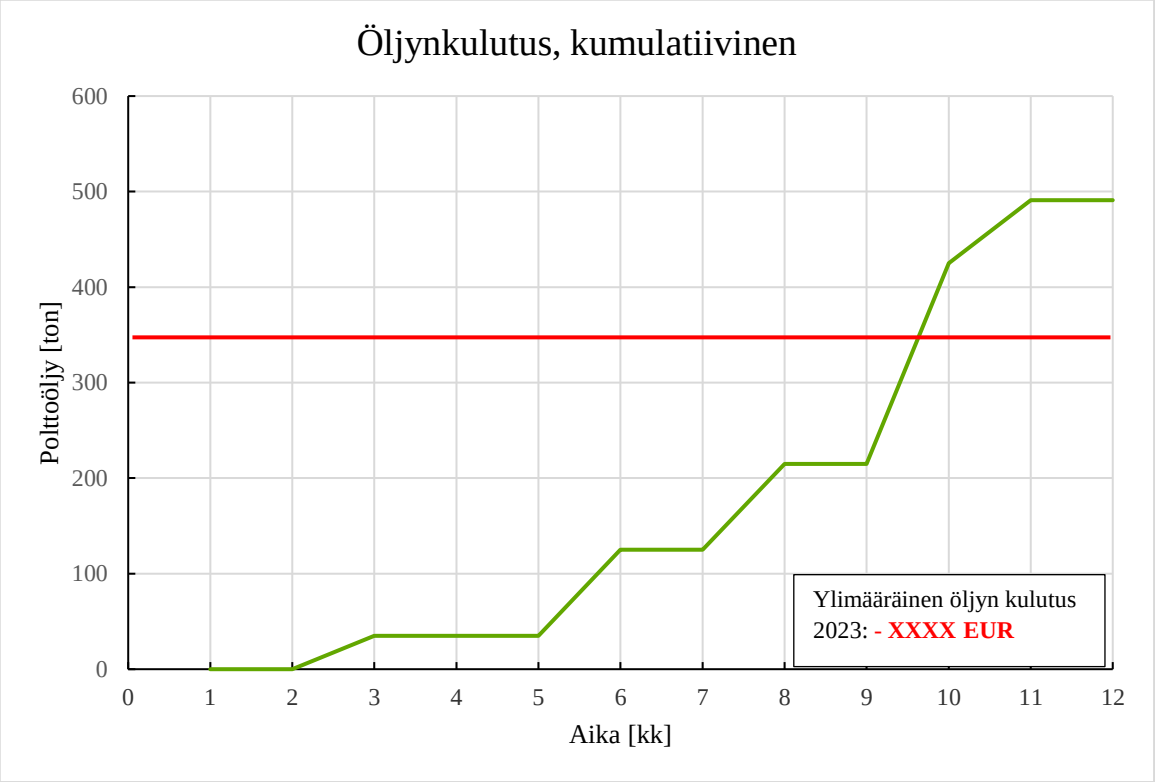


Kuva 27. Lauhteen palautusprosentti

7.6 Öljynkulutus

Raskas polttoöljy toimii Simpeleen voimalaitoksella pääkattilan tukipolttoaineena ja varakattilan pääpolttoaineena. Tyypillisesti raskasta polttoöljyä joudutaan käyttämään pääkattilan vuosittaisen huoltoseisakin aikana, kun höyryä tehdään varakattilalla. Lisäksi polttoöljyä joudutaan käyttämään pääkattilan häiriötilanteissa. Esimerkiksi ongelmat kiinteän polttoaineen syötössä tai huonolaatuinen polttoaine voivat aiheuttaa tällaisia tilanteita. Öljynkulutuksen mittarin tarkoituksena on kohdistaa henkilöstön huomio öljyn käytön aiheuttamiin kustannuksiin. Tavoitteena on tunnistaa öljyn käytön aiheuttamat ylimääräiset kustannukset ja juurisyyt niiden taustalta ja motivoida henkilöstöä pohtimaan keinoja polttoöljyn käytön vähentämiseen.

Öljynkulutusen tunnusluvun käyttöperiaatelomake on esitetty liitteessä 17 ja laskennassa käytettävät ohjausjärjestelmän positiot on esitetty liitteessä 18. Öljynkulutuksen esimerkki kuvaaja on esitetty kuvassa 28. Historiatietojen perusteella tavoitearvoksi öljyn käytölle on asetettu 350 tonnia vuodessa. Tämä kattaa vuosihuoltoseisakissa keskimäärin käytettävän polttoöljyn määrän.



Kuva 28. Öljynkulutus

Polttoöljyn määrää arvioidaan varastosäiliön pinnankorkeuden perusteella ja kulutusta pinnankorkeuden muutoksen perusteella. Polttoöljyn määrä voidaan laskea yhtälöllä 18.

$$m_{ö} = \pi * r_{vs}^2 * h_{ö} * \rho_{ö} \tag{18}$$

,jossa	$m_{ö}$	massa, polttoöljy	[kg]
	r_{vs}	säde, varastosäiliö	[m]
	$h_{ö}$	pinnankorkeus, polttoöljy	[m]
	$\rho_{ö}$	tiheys, polttoöljy	[kg/m^3]

Geometrialtaan polttoöljyn varastosäiliö on suoraympyrälieriö, jonka tilavuus on 500 m^3 ja säde 10 metriä. Raskaan polttoöljyn tiheys on 910 kg/m^3 ja lämpöarvo on 41,5 MJ/kg.

8 Johtopäätökset

Tämän diplomityön päätavoitteena oli uuden kattilan analytiikkajärjestelmän (Izana) määrittely, toteutus ja käyttöönotto Simpeleen voimalaitoksen pääkattilalla. Tämä tavoite saavutettiin, kun analytiikkajärjestelmän perusversio saatiin toteutettua ja otettua käyttöön aikataulussa.

Työn aikana tunnistettiin analytiikkajärjestelmien luomia mahdollisuuksia. Mittaustietoa on tarjolla paljon ja sen hyödyntäminen mahdollistaa prosessien monitavoitteellisen optimoinnin. Tyypillisesti ulkoisten järjestelmien käyttö datan analysoinnissa ja visualisoinnissa on järkevää, koska ne ovat kevyempiä käyttää ja niissä on paremmat visualisointityökalut kuin pääautomaatiojärjestelmissä. Visualisointityökalujen avulla on mahdollista esittää tieto nopeasti ja helposti ymmärrettävässä muodossa, ja kohdistaa henkilöstön huomio tärkeisiin asioihin. Järjestelmien avulla on mahdollista tunnistaa säästö- ja tehostamismahdollisuuksia, vähentää ajovirheitä, parantaa resurssitehokkuutta, lisätä tuotantoa, laskea käyttökustannuksia ja parantaa luotettavuutta. Lisäksi dataan ja analytiikkaan perustuvien järjestelmien avulla voidaan parantaa prosessien ennustettavuutta, nopeuttaa vikojen havaitsemista ja selvittämistä, sekä parantaa henkilöstön ymmärrystä prosesseista. Käytännöntasolla järjestelmät tarjoavat käyttökelpoista tietoa päätöksenteon tueksi.

Analytiikkajärjestelmän kehitysprojekti on luonteeltaan monivaiheinen ja vaatii monenlaista osaamista. Tästä johtuen siihen on varattava riittävästi resursseja ja aikaa. Projektiryhmässä olisi syytä olla ainakin prosessituntemusta, tietojärjestelmien tuntemusta sekä osaamista järjestelmien kehittämisestä. Järjestelmässä esitettävät mittarit on valittava ja määriteltävä huolella. Mittareiden tulisi olla merkityksellisiä, ajankohtaisia, luotettavia, tarkkoja, käytännöllisiä, kustannustehokkaita ja havainnollistavia. Järjestelmän kehitys ei saisi päättyä järjestelmän käyttöönottoon, vaan sitä tulisi jatkaa käytön rinnalla. Täten varmistetaan järjestelmän ajantasaisuus, toimivuus ja hyödyllisyys. Henkilökunnan osallistaminen läpi kehitysprojektin on tärkeää, jotta henkilökunta omaksuu järjestelmän omakseen ja ottaa sen käyttöön. Lisäksi erilaiset näkökulmat voidaan huomioida jo järjestelmän suunnitteluvaiheessa.

Analytiikkajärjestelmän toiminta perustuu mitattuun tietoon. On tärkeää ymmärtää, ettei analytiikan tulosten luotettavuus tai tarkkuus parane esitystarkkuutta muokkaamalla, jos analytiikan perustana olevien mittausten mittaustarkkuus ei parane. Tästä johtuen

mittalaitteiden toiminnan luotettavuutta ja tarkkuutta on tarkasteltava kriittisesti järjestelmää kehitettäessä ja käytettäessä. Mittalaitteiden kunnosta on syytä pitää huolta säännöllisten huolto- ja kalibrointiohjelmien avulla. Mittaamista rajoittaa mittaamisen kustannukset. Uusia mittalaite investointeja suunniteltaessa on arvioitava mittaamisesta saatavia hyötyjä ja sen aiheuttamia kustannuksia.

Kattilan analytiikkajärjestelmän kehittämistä on syytä jatkaa, vaikka järjestelmän perusversio saatiin toteutettua ja otettua käyttöön. Izanalla on potentiaalia toimia monipuolisena, henkilöstön päivittäistä työskentelyä tehostavana ja helpottavana kokonaisuutena. Polttoaineensyötön mallintaminen helpottaisi polttoaineseoksen laadun valvontaa ja hallintaa. Haasteena polttoaineen syötön mallintamiselle on tällä hetkellä pyörökuormaajan polttoainekentältä ajamat kuormat, joista ei siirry tietoa Once polttoaineiden hallintajärjestelmään. Lisäksi polttoaineiden vastaanottoprosessia on kehitettävä ja toimittajien ohjeistuksia on parannettava, jotta inhimillisistä virheistä johtuvat häiriöt polttoaine datassa voidaan välttää. Nuohouksen optimointityökalun kehittämistä tulee jatkaa, jotta se mahdollistaisi kattilan lämpöpintojen vaiheistetut osanuohoukset. Nuohouksen vaiheistamisella on mahdollista vähentää nuohoushöyryn ja polttoaineen kulutusta, kun nuohoukset tehdään oikea-aikaisesti todellisen tarpeen mukaan. Myös muiden tämän työn aikana esiteltyjen suorituskykymittareiden lisäämistä Izanaan suositellaan. Muut mittarit helpottaisivat henkilökunnan päivittäistä työntekoa ja lisäisivät kokonaisvaltaista ymmärrystä laitoksen toiminnasta. Järjestelmän monipuolisuuden uskotaan myös lisäävän sen käyttöastetta. Yhteenvetosivua, joka kokoaa tärkeimpien mittareiden tunnusluvut samalle sivulle suositellaan, mikäli mittareiden määrä Izanassa kasvaa. Vikaantuneet ja epäluotettavat mittalaitteet pitää uusia tai kalibroida seuraavassa seisakissa. Lisäksi mittalaitteiden ennakkohuoltoon ja kalibrointeihin pitää panostaa jatkossa enemmän, jotta analytiikkajärjestelmän tulokset pysyvät luotettavina.

Työn aikana esille nousi useita laitoksen toimintaan liittyviä asioita, joita kannattaa arvioida tulevaisuudessa. Aurinko- ja tuulivoiman lisääntyminen energiajärjestelmässä voi johtaa tilanteisiin, jolloin sähkön hinta on negatiivinen. Tällaisia tilanteita varten on syytä suunnitella toimintamallit. Sähkön hinta on otettava huomioon myös suorituskykymittareita määriteltäessä. Esimerkiksi arvioitaessa apulauhduttimien käytöstä aiheutuneita häviöitä. Polttoaineiden käsittelystä ilmeni useita kehityskohteita, joita kannattaa arvioida kokonaisuutena. Työssä esitelty polttoaineseoksen hallintatyökalu voisi olla osa ratkaisua. Polttoaineseoksen mallintamisen kannalta olisi järkevää lisätä kuorimolta tulevan oman kuoren siirtolinjaan

määrämittaus, sillä tällä hetkellä oman kuoren määrää on vaikea arvioida päivä tai tuntitasolla. Toisaalta pelkästään kosteusmittauksen lisääminen lähemmäs polttoaineiden sekoituspaikkaa kattilasiilon hihnakuljettimen alkupäähän parantaisi polttoaineseoksen laadun hallittavuutta. Lisäksi kannattaa arvioida voisiko polttoaineiden näytteenottoa automatisoida esimerkiksi mekaanisten ratkaisuiden, infrapunamittausten tai röntgenmittausten avulla. Tämä parantaisi työturvallisuutta, sekä estäisi näytteiden manipuloinnin. Analytiikkajärjestelmän kehitysprojektin aikana havaittiin savukaasujen lämpötilan ja happimittausten perusteella, että savukaasukanavassa on vuotoja. Vuotokohdat olisi syytä paikantaa ja korjata, sillä ne lisäävät savukaasuhäviöitä ja heikentävät kattilan hyötysuhdetta. Kartonkikoneen nopeat höyrynkulutuksen muutokset aiheuttavat haasteita voimalaitokselle. Tästä johtuen höyryakkujen ja apulauhdutin automatiikan kehittämisen mahdollisuuksia kannattaa arvioida. Yleisesti ottaen laitoksen energiatehokkuutta parantavia toimia on jatkettava. Izanan kaltaiset analytiikkajärjestelmät ovat käyttökelpoisia työkaluja energiatehokkuuden mittaamiseen ja energiansäästö kohteiden etsimiseen.

9 Yhteenveto

Simpeleen voimalaitoksen vanha kattilan analytiikkajärjestelmä oli tullut elinkaarensa päähän. Tämän työn päätavoitteena oli uuden kattilan analytiikkajärjestelmän määrittely, toteutus ja käyttöönotto Simpeleen voimalaitoksella. Lisäksi tavoitteena oli tutkia suorituskykymittareiden ja mittaristojen ominaisuuksia sekä mittaamiseen liittyviä erityispiirteitä voimalaitos ympäristössä.

Työn teoriaosuudessa käsiteltiin kahta teemaa. Ensimmäiseksi tarkasteltiin suorituskyvyn mittaamista laaja-alaisemmin, jonka jälkeen arvioitiin suorituskyvyn mittaamisen erityispiirteitä ja haasteita biovoimalaitoksella. Johdatuksena suorituskyvyn mittaamiselle esiteltiin the Balanced Scorecard, joka on laajasti käytetty suorituskykymittariston malli. Mittareiden merkitystä ja tärkeimpiä ominaisuuksia arvioitiin sisäisten prosessien kehittämisen näkökulmasta. Mittarit ja mittaristot nähtiin päätöksentekoa tukevina järjestelminä, jotka mahdollistavat organisaation ja sen prosessien ohjauksen, valvonnan, arvioinnin ja kehittämisen. Mittaristot korostavat organisaation kannalta merkityksellisiä menestystekijöitä ja ohjaavat tekemään oikeita asioita. Mittaristot voivat myös selkeyttää tavoitteita ja motivoida henkilöstöä. Mittareiden tärkeimpiä ominaisuuksia arvioitaessa esille nousi mittareiden merkityksellisyys, ajankohtaisuus, luotettavuus, tarkkuus, käytännöllisyys, kustannustehokkuus ja havainnollisuus. Mittariston kehitysprosessille esiteltiin viitekehys, sekä erilaisia mittaustiedon analysointimenetelmiä. Mittariston kehitysprosessista tunnistettiin kolme päävaihetta, jotka olivat määrittely, toteutus ja käyttöönotto. Projektissa korostui henkilöstön osallistaminen, jonka avulla erilaiset näkökulmat voitiin huomioida jo mittariston suunnitteluvaiheessa. Projektin onnistumisen kannalta tärkeäksi nähtiin myös riittävien resurssien ja ajan varaaminen, sekä tietojärjestelmien kehittäminen. Mittaustiedon analysointiin ja esittämiseen löydettiin useita erilaisia vaihtoehtoja. Nykyaikaisten datan visualisointityökalujen avulla voitiin parantaa käyttäjäkokemusta ja helpottaa mittareiden tulkintaa. Biovoimalaitosten erityispiirteiden arviointi aloitettiin käsittelemällä höyry-lauhdejärjestelmän ominaisuuksia. Tämän jälkeen esiteltiin tyypillisimpiä mitattavia suureita sekä niiden mittaustapoja. Virtaus, paine, lämpötila, kosteus ja sähköteho tunnistettiin voimalaitos ympäristön tärkeimmiksi mitattaviksi suureiksi. Lopuksi arvioitiin mittaustulosten luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ja esiteltiin tyypillisimpiä energiatehokkuuden tunnuslukuja. Oikeiden mittalaitteiden valinta ja sijoittelu prosessiin, sekä säännölliset huolto- ja kalibrointiohjelmat

tunnistettiin tärkeimmiksi keinoiksi mittaustulosten luotettavuuden varmistamiseksi. Lisäksi mittaustulosten säännöllinen valvonta todettiin tärkeäksi häiriöiden nopean havaitsemisen kannalta.

Työn empiriaosuudessa esiteltiin Simpeleen tehdas ja voimalaitos pääpiirteittäin. Kohteen esittelyssä keskityttiin erityisesti voimalaitoksen prosesseihin. Voimalaitoksen prosesseista esiteltiin pääkattila, varakattila, turbiini, sekä käytössä olevat järjestelmät ja palvelut. Empiriaosuuden keskiössä oli kattilan analytiikkajärjestelmän kehitysprojekti. Kehitysprojekti oli jaettu kolmeen päävaiheeseen, jotka olivat määrittely, toteutus ja käyttöönotto. Määrittelyvaiheessa arvioitiin vanhan analytiikkajärjestelmän hyviä ja huonoja puolia, sekä laitokselle tyypillisiä haasteita. Selvityksen perusteella luotiin tavoitteet ja vaatimukset uudelle järjestelmälle. Toteutusvaiheessa rakennettiin tiedonsiirtoyhteydet eri tietolähteiden välille ja tarkasteltiin mittausdatan luotettavuutta. Projektin aikana havaittiin useita mittalaitteita, joiden tuloksia pidettiin epäluotettavina. Nämä mittalaitteet listattiin ja niiden kalibrointia tai uusimista suositeltiin. Lisäksi toteutusvaiheessa määriteltiin uuden analytiikkajärjestelmän käyttöliittymä ja toiminnallisuudet tarkemmin. Uuden analytiikkajärjestelmän tärkeimmät toiminnallisuudet olivat pedin hallinta, vinokuorman hallinta, nuohouksen optimointi, tasetyökalu ja prosessinäkymä. Lisäksi järjestelmään rakennettiin taulukkomuotoinen raportointityökalu. Käyttöönottovaihe sisälsi henkilökunnan kouluttamista ja palautteen keräämistä. Järjestelmää kehitettiin henkilökunnalta saadun palautteen perusteella. Työn aikarajoitteen vuoksi kaikkia suunniteltuja ominaisuuksia ei ehditty toteuttamaan analytiikkajärjestelmässä projektin aikana. Nämä ominaisuudet on esitelty empiriaosuuden lopussa. Analytiikkajärjestelmän kehitysprosessi ei pääty mittariston käyttöönottoon, vaan sitä on jatkettava käytön rinnalla, jotta voidaan varmistaa järjestelmän toimivuus ja hyödyllisyys.

Lähteet

Eurostat. 2022. Natural gas supply statistics. Luettu 10.10.2022. Saatavissa: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_supply_statistics#Supply_structure

Finlex. 2022. Osakeyhtiölaki (624/2006). Oikeusministeriö. Luettu 2.1.2023. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060624

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu. ISBN 978-952-13-3476-4.

Incropera, F., Dewitt, D., Bergman, T. & Lavine, A. 2007. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 6. painos. Yhdysvallat, John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-471-45728-2.

Kankkunen, K., Matikainen, E. & Lehtinen, L. 2005. Mittareilla menestykseen. Sokkolennosta hallittuun nousuun. Helsinki, Talentum Media Oy. ISBN 952-14-0967-3.

Kaplan, R. & Norton, D. 1996. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Yhdysvallat, Harvard College. ISBN 0-87584-651-3.

Lönnqvist, A., Kujansivu, P. & Antikainen R. 2006. Suorituskyvyn mittaaminen. Tunnusluvut asiantuntijaorganisaation johtamisvälineenä. Helsinki, Edita Prima Oy. ISBN 951-37-4768-9.

Metsä Group. 2022. Tietoa Metsä Groupista. Luettu 12.12.2022. Saatavissa: https://www.metsagroup.com/fi/tietoa-metsa-groupista/

Metsä Group. 2022. Paper profile: MetsäBoard Classic FBB 200-340 g/m^3. Luettu 12.12.2022. Saatavissa: https://www.metsagroup.com/contentassets/84b88cf26a0d4050b2d797215e2e64ec/product-paper-profile-metsaboard-classic-fbb.pdf

Motiva. 2015. Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä. Koulutusmateriaali. Luettu 26.1.2023. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/10350/Energiatehokas_hoyry-_ja_lauhdejarjestelma_VERKKOKOULUTUSAINEISTO_2015.pdf

Motiva. 2014. Energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmän hankinta. Luettu 27.1.2023. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/9845/Energiatehokkuuden_mittaus-_ja_seurantajarjestelman_hankinta.pdf

Motiva. 2012. Höyry-lauhde-siirtojärjestelmä. Energiatehokkuuden mittausopas. Luettu 27.1.2023. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/8898/Hoyry-_lauhdesiirtojarjestelman_energiatehokkuuden_mittausopas_verkkoon.pdf

Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2012. Johdon laskentatoimi. Helsinki, Edita Prima Oy. ISBN 978-951-37-4109-9.

Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja Palaminen. Jyväskylä. ISBN 951-666-604-3.

Spadacini, C. & Rizzi, D. 2017. Radial outflow turbines for Organic Rankine Cycle expanders. Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems. Luettu 19.12.2022. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100510-1.00011-9

Vakkilainen, E. 2017. Steam Generation from Biomass. Construction and Design of Large Boilers. Lappeenranta. ISBN 978-0-12-804389-9.

Liite 1: Käyttöhenkilökunnan kokemusten perusteella tehty SWOT-analyysi

	Vahvuudet (S) +	Heikkoudet (W) -
Smartboiler	- Taselaskenta - Hyötysuhteen laskenta - Seulontanäyte	- Kosteusprosentin laskennan luotettavuus - Selainpohjainen, hidas ja kankea käyttöliittymä - Polttoaineen massavirran laskennan luotettavuus - Pedin laatuindeksin hälytysrajat - Nuohouksen hälytysrajat - Pedin määrän laskennan luotettavuus - Petinäytteen seulonnassa eroja operaattoreiden välillä. - Laskennan perusteena olevien mittausten luotettavuus - Liikaa ”turhia” hälytyksiä - Petianalyysin luotettavuus
	Mahdollisuudet (O)	Uhat (T)
Izana	- Pedin näytteenoton standardointi - Pedin alkuaineanalyysin lisääminen osaksi pedin kunnonseurantaa - Lisäveden käytön seuranta - Lauhteiden palautumisen seuranta - Energian kokonaiskulutuksen seuranta suhteessa kuormaan - Polttoaineen kosteuden hallinta - Pohjatuhkan visuaalinen seuranta kameralla - Polttoaineseoksen tarkempi hallinta - Nuohoushöyryn kulutuksen optimointi - Tiedon visualisointi	- Epäluotettavat mittaustulokset ja mittausvirheet - Hälytysrajojen epäonnistunut asettelu - Yleinen luotettavuus - Yksipuolisuus - Epämiellyttävä käyttöliittymä - Liika informaatio vie huomion oleellisella tiedolta - Tiedon ajantasaisuus - Alhainen käyttöaste

Liite 2: Työn aikana havaitut epäluotettavat ja vialliset mittarit

Epäluotettavien ja viallisten mittareiden positio ja säätöpiiri.

- VML.FI06025.MES MUUNTOASEMAN JÄÄHDYTYSVESI
    - Todennäköisesti näyttää alakanttiin
- VML.FI06043.MES NUOHOUSHÖYRY VIRTAUS
    - Virtaus mittaus näyttää todennäköisesti alakanttiin
- VML.FI06024.MES LISÄVESI
    - Virtaus mittaus näyttää todennäköisesti yläkanttiin
- VML.TI06255.MES SAVUKAASUJEN LÄMPÖTILA
    - Luvon jälkeinen lämpötilan mittaus
    - Savukaasuhäviöt lasketaan kyseisen mittauksen perusteella
    - Savukaasujen lämpötila laskee melko paljon tämän mittauspisteen ja piipun välillä
    - Onko savukaasujen lämpötila häviö todellista vai näyttääkö lämpömittaus yläkanttiin? Vastaako mittaustulos kokonaisuutta?
    - Lämpötila-anturi vaihdettu
- VML.TI06215.MES 4 BAR HÖYRYN LÄMPÖTILA
    - 4 barin tukin vesittymisen epäillään aiheuttavan häiriötä lämpömittaukseen
- VML.TI06199.MES HÖYRYN LT 3.TULISTIMEN KESKELLÄ
    - Mittaus näyttää todennäköisesti yläkanttiin
- VML.WI06178.KGS POLTTOAINEVAAKA VASEN MÄÄRÄ
    - Laskenta näyttää merkittävästi alakanttiin
- VML.WI06188.KGS POLTTOAINEVAAKA OIKEA MÄÄRÄ
    - Laskenta näyttää merkittävästi alakanttiin

Liite 3: Keruuseen lisätyt PHD-positiot

Keruuseen lisätyt säätöpiirit ja positiot Simpeleen PHD:stä.

POSITIO	SÄÄTÖPIIRI	YKSIKKÖ
VML.06H042.MES	SAVUKAASUPUHALLIN 2	%
VML.06H102.MES	SYÖTTÖVESIPUMPPU 2	%
VML.06H135.MES	TEHDASTELULAUHDEPUMPPU 1	%
VML.06H138.MES	OMALAUHDESÄILIÖN PUMPPU 1	%
VML.06H139.MES	OMALAUHDESÄILIÖN PUMPPU 2	%
VML.06H141.MES	APULAUHDUTTUIMEN PUMPPU 1	%
VML.06H142.MES	APULAUHDUTTUIMEN PUMPPU 2	%
VML.06H176.MES	LISÄVESIPUMPPU 1	%
VML.06H183.MES	KULJETINTUNNELIN PESUVESIPUMP.	%
VML.06H184.MES	JÄÄHDYTYSVESIPUMPPU 1	%
VML.06H186.MES	LAUHDETURB LAUHDUT JÄÄHDVESIP1	%
VML.LI06123.MES	VARASTOÖLJYSÄILIÖN PINTA	m
VML.06H215.kot	NUOHOIN 15 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H216.kot	NUOHOIN 16 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H217.kot	NUOHOIN 17 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H218.kot	NUOHOIN 18 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H219.kot	NUOHOIN 19 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H220.kot	NUOHOIN 20 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H221.kot	NUOHOIN 21 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H222.kot	NUOHOIN 22 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H223.kot	NUOHOIN 23 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H224.kot	NUOHOIN 24 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H225.kot	NUOHOIN 25 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H226.kot	NUOHOIN 26 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H227.kot	NUOHOIN 27 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H228.kot	NUOHOIN 28 KOTIRAJATIETO	-
VML.06H201.LSO	NUOHOUSHÖYRYVENTTIILI	%
VML.06H204.LSO	NUOHOUSHÖYRYN VESITYSVENTT. 1	%
VML.06H205.LSO	NUOHOUSHÖYRYN VESITYSVENTT. 2	%
VML.QI06192.MES	POLTTOAINEEN SYÖTTÖ, KOSTEUS	%
VML.FI06024.MES	LISÄVESI	kg/s
VML.06W630LI.MES	LIPEÄSÄILIÖN PINTA	%
VML.06W621LI.MES	RIKKIHAPPOSÄILIÖN PINTA	%
VML.06B045SC.KGH	LISÄ RIKINSYÖTTÖ	kg/s
VML.WI06195.MES	HIEKKASIILON PINTA	1000 kg
VML.06505QI.MES	SAVUKAASUN KOSTEUS ABS.	TIL-%
VML.06530QI.MES	SAVUKAASUJEN HAPPI, O2	%
VML.06H181T.MES	K7, RAAKAVESIPUMPPU 1	%
VML.A02K08.MES	HIOMO MUUNTAJAN T21 PÄTÖENERGI	MW
VML.A02K13.MES	HIOMO MUUNTAJAN T22 PÄTÖENERGI	MW

VML.06430FI.MES	KOKONAISILMAMÄÄRÄ	Nm3/s
VML.06442FI.MES	HEITTOILMAN VIRTAUS, VASEN	Nm3/s
VML.06450FI.MES	HEITTOILMAN VIRTAUS, OIKEA	Nm3/s
VML.06441FC.MES	LEIJUTUSILMA VIRTAUS	Nm3/s
VML.06449FC.MES	KIERTOKAASUN VIRTAUS	Nm3/s
VML.06298LI.MES	LIERIÖN PINTA	mmH2O
VML.06299LI.MES	LIERIÖN PINTA	mmH2O
VML.06300LC.MES	LIERIÖN PINTA	mmH2O
VML.06067PI.MES	TULIPESÄN PAINE 3	mbar
VML.06115PI.MES	LIERIÖN PAINE	bar
VML.06432PI.MES	LEIJUKAASUN PAINE 1	mbar
VML.06465PI.MES	LEIJUKAASUN PAINE 2	mbar
VML.06466PI.MES	LEIJUKAASUN PAINE 3	mbar
VML.06467PI.MES	INSTRUMENTTI-ILMAN PAINE 1	bar
VML.06468PI.MES	INSTRUMENTTI-ILMAN PAINE 2	bar
VML.06469PI.MES	INSTRUMENTTI-ILMAN PAINE 3	bar
VML.06501PI.MES	SAVUKAASUJEN PAINE	kPa
VML.06065PC.MES	TULIPESÄN PAINE 1	mbar
VML.06066PC.MES	TULIPESÄN PAINE 2	mbar
VML.PIC06104.MES	UR3 4bar JAKOTUKINPAINE	bar
VML.PI06262.MES	APULAUHDUTIN 2 PAINE	bar
VML.06500QI.MES	SAVUKAASUJEN HIUKKASPÄÄSTÖ	mg/nm3
VML.06505QI.MES	SAVUKAASUN KOSTEUS ABS.	TIL-%
VML.06506QI.MES	SAVUKAASUN CO	mg/nm3
VML.06507QI.MES	SAVUKAASUJEN TYPEN OKSIDI, NOX	mg/nm3
VML.06508QI.MES	SAVUKAASUJEN RIKKIDIOKSIDI, SO2	mg/nm3
VML.06510QI.MES	SAVUKAASUJEN ORGAANINEN HIILI TOC	mg/nm3
VML.06512QI.MES	SAVUKAASUJEN SUOLAHAPPO HCL	mg/nm3
VML.06513QI.MES	SAVUKAASUJEN FLUORIVETY	mg/nm3
VML.06529QI.MES	SAVUKAASUJEN HIILIDIOKSISI, CO2	g/m3
VML.06709QI.MES	SAVUKAASUN HAPPI, VASEN	%
06h140.RNG	APULAUHD JÄÄHDYTYSVESIPUMPPU	%
06W402.MES	KATTILAN RAAKAVEDEN LT. SÄÄTÖ	°C
VML.TIC06271.MES	APULAUHDUTIN 1 LAUHDE LT	°C
VML.TIC06378.MES	SYVE-PUMPPU 1, KYTKIMEN ÖLJY LÄHTÖLÄMPÖTILA	°C
VML.TIC06418.MES	TULOILMAN LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ	°C
VML.06451TI.MES	PETILÄMPÖTILA 1	°C
VML.06452TI.MES	PETILÄMPÖTILA 2	°C
VML.06453TI.MES	PETILÄMPÖTILA 3	°C
VML.06454TI.MES	PETILÄMPÖTILA 4	°C
VML.06455TI.MES	PETILÄMPÖTILA 5	°C
VML.06456TI.MES	PETILÄMPÖTILA 6	°C
VML.06457TI.MES	PETILÄMPÖTILA 7	°C
VML.06458TI.MES	PETILÄMPÖTILA 8	°C
VML.TI06581.MES	PETILÄMPÖTILA 9, ETU SIVUSEINÄ	°C

VML.TI06582.MES	PETILÄMPÖTILA 10, VASEN SIVUSEINÄ	°C
VML.TI06583.MES	PETILÄMPÖTILA 11, TAKA SIVUSEINÄ	°C
VML.TI06584.MES	PETILÄMPÖTILA 12, OIKEA SIVUSEINÄ	°C
VML.TIC06211.SET	UR2 11bar HÖYRYN LÄMPÖTILA	°C
VML.TI06419.MES	KATTILAHUONEEN LÄMPÖ 6 KERROS	°C
VML.06710QI.MES	SAVUKAASUN HAPPI, OIKEA 2	%
VML.FI06028.MES	RAAKAVESI PK3 - VOIMALA	l/min
KK3.03215FI.MES	RUNKO KIERTOV.MÄÄRÄ KUORIMOLLE	l/min
KK3.013811FI.MES	PK1:N RAAKAVEDEN VIRT.HIOMOLTA	l/min
KK3.013812FI.MES	PK1:N RAAKAVEDEN VIRT. PK3:LTA	l/min
KK3.03096FQ.MES	RAAKAVEDEN VIRTAUS	m3/d
VML.FI06002.KUM	PÄÄHÖYRYN MÄÄRÄ KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06002.NKU	PÄÄHÖYRYN MÄÄRÄ NETTOKUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.06907FI.KUM	K7, PÄÄHÖYRYN MÄÄRÄ KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.06907FI.NKU	K7, PÄÄHÖYRYN MÄÄRÄ NETTOKUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06560.KUM	KATTILA 6 HÖYRY OMA KÄYTTÖ, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06575.KUM	KATTILA 7 HÖYRY OMA KÄYTTÖ, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.06G200M10.JAT	VASTAP.TURBIINI VP2 PÄTÖENERGI, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.FI06559.KUM	KK3 4 bar HÖYRY YHTEENSÄ, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06555.KUM	KK3 LAUHTEIDEN YHTEISMÄÄRÄ, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI03336.KUM	KONEHÖYRY 11 BAR VIRTAUS KK3 , KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06932.KUM	MASSAOS HÖYRYLINJ VIRTAUS VOIM , KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.XI06569.JAT	KAUKOLÄMPÖ HÖYRYSTÄ, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.F06528.JAT	KAUKOLÄMPÖ ENERGIAM. KOTELOHAA, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06017.KUM	APULAUHDUTIN LAUHDE, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06265.JAT	APULAUHDUTIN 2 LAUHT.VIRTAUS, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.F06527.JAT	KAUKOLÄMPÖ ENERGIAM. KONTTORIH, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.A05K05P02.JAT	SYÖTTÖVESIPUMPPU 1 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A05K06P02.JAT	SYÖTTÖVESIPUMPPU 2 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A03K07P02.JAT	PK1 JA KATTILA K7 MUUNT.T3 PÄT, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A05K09P02.JAT	MUUNTAJA T10 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A05K07P02.JAT	TURVEV.MUUNTAJA T11 PÄTÖENERGI, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A05K08P02.JAT	TURVEV.VALAIST.MUUNT.T12 PÄTÖE, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A03K09P02.JAT	POLTTOAINEKENTTÄ MUUNT.T40 PÄT, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.06H009P02.JAT	K6 LEIJUTUSILMAPUHALLIN, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A03K13P2O.JAT	K6 LEIJUTUSILMAPUHALLIN, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A03K15P02.JAT	JUANKOSKI PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.06G200M10.JAT	VASTAP.TURBIINI VP2 PÄTÖENERGI, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.06M102P1O.JAT	PÄÄMUUNT.PM2 PÄTÖENERGIA OSTO, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.06M106P61.JAT	PÄÄMUUNT.PM6 PÄTÖE. OSTO, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A03K14P01.JAT	KANGASKOSKI D8 PÄTÖE, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.06A131.JAT	PAINEILMAKOMPRESSORI 4, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.06A134.JAT	PAINEILMAKOMPRESSORI 5 (ZR250), KUMULATIIVINEN	MWh
VML.06A135.JAT	PAINEILMAKOMPRESSORI 6 (XR4), KUMULATIIVINEN	MWh
VML.03A101.JAT	RAAKAVESIPUMPPU 1, KUMULATIIVINEN	MWh

VML.03A102.JAT	RAAKAVESIPUMPPU 2, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.03A103.JAT	RAAKAVESIPUMPPU 3, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K04.JAT	JÄTEVEDEN PUHD. MUUNTAJA T24, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A01K03G03.JAT	JÄTEVEDENPUHD.LINJA2 MUUNT.T26, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A03K02P02.JAT	LAVATEHDAS MUUNTAJA T14 PÄTÖE, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.09E001.JAT	TEOLLISUUSHALLI VANKKAPUU +14k, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.04D111.JAT	HIOMAKONE 1 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.04D121.JAT	HIOMAKONE 2 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.04D131.JAT	HIOMAKONE 3 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.04D141.JAT	HIOMAKONE 4 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.04D151.JAT	HIOMAKONE 5 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.04D161.JAT	HIOMAKONE 6 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A02K08.JAT	HIOMO MUUNTAJAN T21 PÄTÖENERGI, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A02K13.JAT	HIOMO MUUNTAJAN T22 PÄTÖENERGI, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A02K04.JAT	HIOMO MUUNTAJA T25, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A02K02.JAT	HIOMO MUUNTAJA T27 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A01K13.JAT	HIOMO VAL.MUUNT.T16 PÄTÖENERGI, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.04E241.JAT	HIOMO JAUHIN 3 HMF003, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.04E245.JAT	HIOMO JAUHIN 4 HMF009, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A03K05P02.JAT	PK1 MUUNT.T1 KONTT.JA KORJ.PÄT, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A03K12P02.JAT	KOTELOTEHDAS MUUNTAJA T13 PÄTÖ, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A03K06P02.JAT	PK1 MUUNTAJA T42 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A01K12.JAT	HAJOITUS MUUNTAJA T20 PÄTÖE, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K14.JAT	KK3 LINJAKÄYTÖN MUUNTAJA T53, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K05.JAT	KK3 LINJAKÄYTÖN MUUNTAJA T56, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K09.JAT	PK3 MUUNTAJA T31 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K08.JAT	PK3 MUUNTAJA T32 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K07.JAT	PK3 MUUNTAJAT T33-T34 PÄTÖE YH, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K02.JAT	PK3 VARM.MUUNTAJA T35 PÄTÖE, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K06.JAT	PK3 MUUNTAJA T39 PÄTÖENERGIA, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K12.JAT	KK3 KALANTERIN MUUNTAJA T51, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K13.JAT	KK3 KUIV.OSAN MUUNTAJA T52, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K15.JAT	KK3 PITUUSLEIKK. MUUNTAJA T54, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K16.JAT	KK3 MASSAOS. MUUNTAJA T55, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A01K11.JAT	PK3 VALAIST.MUUNTAJA T15 PÄTÖE, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A04K03.JAT	PK3 JÄLKIK.MUUNTAJA T36 PÄTÖE, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.A01K05.JAT	ARKITTAMON MUUUNT.T61 PÄTÖE, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.06h102El.MES	SYÖTTÖVESIPUMPPU 2, TEHO	kW

Liite 4: Höyryn ominaiskustannus, käyttöperiaatelomake

Otsikko	Selite
1. Mittari	Höyryn ominaiskustannus
2. Käyttötarkoitus	Kohdistaa henkilöstön huomio höyryn tekemisen kustannuksiin
3. Mihin liittyy?	Höyryn ominaiskustannusten seurantaan
4. Tavoite	Kohdistaa henkilöstön huomio höyryn tekemisen kustannuksiin ja kustannusten minimointi
5. Laskentakaava	Esitetty kappaleessa 7.1
6. Taajuus	Mittausdataa kerätään 10 sekunnin välein
7. Kuka laskee ja raportoi?	Laskenta Sumitomon pilvipalvelussa ja visualisointi Izana-järjestelmässä
8. Datan lähde	Ohjausjärjestelmä PHD, Once polttoaineiden hallintajärjestelmä
9. Kuka reagoi?	Toimihenkilöt
10. Miten tulosten perusteella toimitaan?	Tunnistetaan höyryn tekemisen aiheuttamat kustannukset ja pohditaan keinoja kustannusten vähentämiseen
11. Huomautukset	

Liite 5: Höyryn ominaiskustannusten laskennassa käytettävät positiot

Höyryn ominaiskustannusten laskennassa käytettävät säätöpiirit ja positiot Simpeleen PHD:stä.

POSITIO	SÄÄTÖPIIRI	YKSIKKÖ
VML.FI06555.KUM	KK3 LAUHTEIDEN YHTEISMÄÄRÄ, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06559.KUM	KK3 4 bar HÖYRY YHTEENSÄ, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI03336.KUM	KONEHÖYRY 11 BAR VIRTAUS KK3 , KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06932.KUM	MASSAOS HÖYRYLINJ VIRTAUS VOIM , KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.F06528.JAT	KAUKOLÄMPÖ ENERGIAM. KOTELOHAA, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.F06527.JAT	KAUKOLÄMPÖ ENERGIAM. KONTTORIH, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.06G200M10.JAT	VASTAP.TURBIINI VP2 PÄTÖENERGI, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.FI06017.KUM	APULAUHDUTIN LAUHDE, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06265.JAT	APULAUHDUTIN 2 LAUHT.VIRTAUS, KUMULATIIVINEN	MWh

Polttoainetiedot Once polttoaineen hallintajärjestelmästä.

Liite 6: Apulauhdutinhäviöt, käyttöperiaatelomake

Otsikko	Selite
1. Mittari	Apulauhdutinhäviöt
2. Käyttötarkoitus	Kohdistaa henkilöstön huomion apulauhduttimien käyttöön
3. Mihin liittyy?	Apulauhduttimien tarpeettoman käytön vähentämiseen
4. Tavoite	Laitoksen energiatehokkuuden parantaminen
5. Laskentakaava	Esitetty kappaleessa 7.2
6. Taajuus	Mittausdataa kerätään 10 sekunnin välein
7. Kuka laskee ja raportoi?	Laskenta Sumitomon pilvipalvelussa ja visualisointi Izana-järjestelmässä
8. Datan lähde	Ohjausjärjestelmä PHD
9. Kuka reagoi?	Käyttöhenkilökunta
10. Miten tulosten perusteella toimitaan?	Tunnistetaan apulauhduttimen käytön taustalla olevat syyt ja pohditaan keinoja niiden poistamiseen sekä mahdollisuuksien mukaan vähennetään apulauhduttimien käyttöä
11. Huomautukset	Päästörajat, kartonkikoneen ajotilanne sekä sähkön hinta huomioitava

Liite 7: Apulauhdutinhäviöiden laskennassa käytettävät positiot

Apulauhdutinhäviöiden laskennassa käytettävät säätöpiirit ja positiot Simpeleen PHD:stä.

POSITIO	SÄÄTÖPIIRI	YKSIKKÖ
VML.FI06017.KUM	APULAUHDUTIN LAUHDE, KUMULATIIVINEN TEHO	MWh
VML.FI06265.JAT	APULAUHDUTIN 2 LAUHT.VIRTAUS, KUMULATIIVINEN	MWh
VML.FI06002.MES	PÄÄHÖYRYN MÄÄRÄ	kg/s
VML.06506QI.MES	SAVUKAASUN CO	mg/m3
VML.06507QI.MES	SAVUKAASUJEN TYPEN OKSIDI, NOX	mg/m3
VML.06508QI.MES	SAVUKAASUJEN RIKKIDIOKSIDI, SO2	mg/m3
VML.06500QI.MES	SAVUKAASUJEN HIUKKASPÄÄSTÖ	mg/m3

Liite 8: Ilmojen jakautuminen, käyttöperiaatelomake

Otsikko	Selite
1. Mittari	Ilmojen jakautuminen
2. Käyttötarkoitus	Kohdistaa henkilöstön huomio kiertokaasun käyttöön
3. Mihin liittyy?	Palamisilmojen hallinta osana pedin hallintaa
4. Tavoite	Visualisoinnin keinoin lisätä henkilöstön ymmärrystä kiertokaasun käytöstä ja ilmojen vaiheistamisesta ja sen vaikutuksista prosessiin
5. Laskentakaava	Esitetty kappaleessa 7.3.1
6. Taajuus	Mittausdataa kerätään 10 sekunnin välein
7. Kuka laskee ja raportoi?	Laskenta Sumitomon pilvipalvelussa ja visualisointi Izana-järjestelmässä
8. Datan lähde	Ohjausjärjestelmä PHD
9. Kuka reagoi?	Käyttöhenkilökunta
10. Miten tulosten perusteella toimitaan?	Tunnistetaan kiertokaasun ja ilmojen vaiheistuksen vaikutukset pedin hallintaan ja pohditaan keinoja käytön optimointiin
11. Huomautukset	

Liite 9: Palamisilmakartta, käyttöperiaatelomake

Otsikko	Selite
1. Mittari	Palamisilmakartta
2. Käyttötarkoitus	Kohdistaa henkilöstön huomio palamisilmojen jakautumiseen kattilan eri puolille
3. Mihin liittyy?	Palamisilmojen hallinta osana vinokuorman hallintaa
4. Tavoite	Visualisoinnin keinoin lisätä henkilöstön ymmärrystä palamisilmojen jakautumisesta kattilan eri puolille
5. Laskentakaava	Esitetty kappaleessa 7.3.2
6. Taajuus	Mittausdataa kerätään 10 sekunnin välein
7. Kuka laskee ja raportoi?	Laskenta Sumitomon pilvipalvelussa ja visualisointi Izana-järjestelmässä
8. Datan lähde	Ohjausjärjestelmä PHD
9. Kuka reagoi?	Käyttöhenkilökunta
10. Miten tulosten perusteella toimitaan?	Tunnistetaan ilmojen jakautumisen vaikutukset pedin ja vinokuorman hallintaan ja pohditaan keinoja käytön optimointiin
11. Huomautukset	

Liite 10: Palamisilmakartassa ja ilmojen jakautumisen laskennassa käytettävät positiot

Palamisilmakartassa ja ilmojen jakautumisen laskennassa käytettävät säätöpiirit ja positiot Simpeleen PHD:stä.

POSITIO	SÄÄTÖPIIRI	YKSIKKÖ
VML.06449FC.MES	KIERTOKAASUN VIRTAUS	nm3/s
VML.06430FI.MES	KOKONAISILMAMÄÄRÄ	nm3/s
VML.06441FC.MES	LEIJUTUSILMA VIRTAUS	nm3/s
VML.06442FI.MES	HEITTOILMAN VIRTAUS, VASEN	nm3/s
VML.06450FI.MES	HEITTOILMAN VIRTAUS, OIKEA	nm3/s
VML.FIC06443.MES	PALAMISILMA KNP 1	nm3/s
VML.FIC06444.MES	PALAMISILMA KNP 2	nm3/s
VML.FIC06445.MES	SEKUND.ILMAN VIRTAUS ALATASO	nm3/s
VML.06H024.MES	SEKUND.ILMAN SÄÄTÖP.SIVU VASEN	%
VML.06H021.MES	SEKUND.ILMAN SÄÄTÖP.SIVU OIKEA	%
VML.FIC06446.MES	SEKUND.ILMAN VIRTAUS YLÄTASO	nm3/s
VML.FIC06447.MES	TERTIÄÄRI-ILMAN VIRTAUS	nm3/s
VML.FIC06087.MES	PALAMISILMA KP 1	nm3/s
VML.FIC06088.MES	PALAMISILMA KP 2	nm3/s
VML.FIC06089.MES	PALAMISILMA KP 3	nm3/s
VML.FIC06090.MES	PALAMISILMA KP 4	nm3/s

Liite 11: Savukaasuhäviöt, käyttöperiaatelomake

Otsikko	Selite
1. Mittari	Savukaasuhäviöt
2. Käyttötarkoitus	Kohdistaa henkilöstön huomio poistuvien savukaasujen aiheuttamiin häviöihin
3. Mihin liittyy?	Savukaasujen poistumislämpötilan optimointiin
4. Tavoite	Pitää savukaasujen poistumislämpötila, niin matalana kuin mahdollista, mutta kuitenkin happokastepisteen yläpuolella
5. Laskentakaava	Esitetty kappaleessa 7.4
6. Taajuus	Mittausdataa kerätään 10 sekunnin välein
7. Kuka laskee ja raportoi?	Laskenta Sumitomon pilvipalvelussa ja visualisointi Izana-järjestelmässä
8. Datan lähde	Ohjausjärjestelmä PHD
9. Kuka reagoi?	Käyttöhenkilökunta
10. Miten tulosten perusteella toimitaan?	Tunnistetaan lämmöntalteenotto potentiaali savukaasuista ja mahdollisuuksien mukaan optimoidaan savukaasujen lämpötilaa
11. Huomautukset	Happokastepiste ja lämmönsiirtimien teho rajoittaa lämmöntalteenottoa savukaasuista

Liite 12: Savukaasuhäviöiden laskennassa käytettävät positiot

Savukaasuhäviöiden laskennassa käytettävät säätöpiirit ja positiot Simpeleen PHD:stä.

POSITIO	SÄÄTÖPIIRI	YKSIKKÖ
VML.06500QI.MES	SAVUKAASUJEN HIUKKASPÄÄSTÖ	mg/m3
VML.06506QI.MES	SAVUKAASUN CO	mg/m3
VML.06507QI.MES	SAVUKAASUJEN TYPEN OKSIDI, NOX	mg/m3
VML.06508QI.MES	SAVUKAASUJEN RIKKIDIOKSIDI, SO2	mg/m3
VML.06510QI.MES	SAVUKAASUJEN ORGAANINEN HIILI TOC	mg/m3
VML.06512QI.MES	SAVUKAASUJEN SUOLAHAPPO HCL	mg/m3
VML.06501FI.MES	SAVUKAASUJEN VIRTAUS	nm3/s
VML.06501PI.MES	SAVUKAASUJEN PAINE	kPa
VML.06505QI.MES	SAVUKAASUN KOSTEUS ABS.	til-%
VML.06501TI.MES	SAVUKAASUJEN LÄMPÖTILA	°C
VML.06530QI.MES	SAVUKAASUJEN HAPPI, O2	til-%
VML.06529QI.MES	SAVUKAASUJEN HIILIDIOKSISI, CO2	g/m3
VML.06513QI.MES	SAVUKAASUJEN FLUORIVETY	mg/m3
VML.TI06255.MES	SAVUKAASUJEN LÄMPÖTILA LUVON JÄLKEEN	°C

Liite 13: Lisäveden osuus syöttövedestä, käyttöperiaatelomake

Otsikko	Selite
1. Mittari	Lisäveden osuus syöttövedestä
2. Käyttötarkoitus	Kohdistaa henkilöstön huomio lisäveden käyttöön
3. Mihin liittyy?	Lisäveden käytön seurantaan ja vuotojen nopeampaan hä-väitsemiseen
4. Tavoite	Vuotojen nopea havaitseminen ja veden käytön mini-mointi
5. Laskentakaava	Esitetty kappaleessa 7.5.1
6. Taajuus	Mittausdataa kerätään 10 sekunnin välein
7. Kuka laskee ja rapor-toi?	Laskenta Sumitomon pilvipalvelussa ja visualisointi Izana-järjestelmässä
8. Datan lähde	Ohjausjärjestelmä PHD
9. Kuka reagoi?	Käyttöhenkilökunta
10. Miten tulosten pe-rusteella toimitaan?	Tunnistetaan lisäveden kulutuksen taustalla olevat syyt ja pohditaan keinoja niiden poistamiseen sekä mahdollisuuk-sien mukaan vähennetään lisäveden käyttöä
11. Huomautukset	Kattilan kuormataso vaikuttaa lisäveden käyttöön

Liite 14: Lisäveden osuus syöttövedestä laskennassa käytettävät positiot

Lisäveden osuus syöttövedestä laskennassa käytettävät säätöpiirit ja positiot Simpeleen PHD:stä.

POSITIO	SÄÄTÖPIIRI	YKSIKKÖ
VML.061019XF.MES	SYÖTTÖVEDEN VIRTAUSSÄÄTÖ	kg/s
VML.FI06024.MES	LISÄVESI	kg/s

Liite 15: Lauhteen palautusprosentti, käyttöperiaatelomake

Otsikko	Selite
1. Mittari	Lauhteen palautusprosentti
2. Käyttötarkoitus	Kohdistaa henkilöstön huomio lauhteen palautumiseen
3. Mihin liittyy?	Kartonkikoneen lauhdehäviöiden seurantaan ja minimoimiseen
4. Tavoite	Lauhde vuotojen nopea havaitseminen ja lauhteen hyötykäytön maksimoiminen
5. Laskentakaava	Esitetty kappaleessa 7.5.2
6. Taajuus	Mittausdataa kerätään 10 sekunnin välein
7. Kuka laskee ja raportoi?	Laskenta Sumitomon pilvipalvelussa ja visualisointi Izana-järjestelmässä
8. Datan lähde	Ohjausjärjestelmä PHD
9. Kuka reagoi?	Käyttöhenkilökunta
10. Miten tulosten perusteella toimitaan?	Tunnistetaan lauhteen palautumisen häiriöiden taustalla olevat syyt ja pohditaan keinoja niiden poistamiseen sekä pyritään minimoimaan lauhdehäviöt
11. Huomautukset	Yhteistoiminta kartonkikoneen henkilökunnan kanssa on tärkeässä roolissa ongelman ratkaisussa

Liite 16: Lauhteen palautusprosentin laskennassa käytettävät positiot

Lauhteen palautusprosentin laskennassa käytettävät säätöpiirit ja positiot Simpeleen PHD:stä.

POSITIO	SÄÄTÖPIIRI	YKSIKKÖ
VML.FI06554.MES	KK3 HÖYRYJEN YHTEISMÄÄRÄ	kg/s
VML.FI06555.MES	KK3 LAUHTEIDEN YHTEISMÄÄRÄ	kg/s

Liite 17: Öljynkulutus, käyttöperiaatelomake

Otsikko	Selite
1. Mittari	Öljynkulutus
2. Käyttötarkoitus	Kohdistaa henkilöstön huomio polttoöljyn käytön kustannuksiin
3. Mihin liittyy?	Kattilan käyttövarmuuden seurantaan
4. Tavoite	Kohdistaa henkilöstön huomio kiinteän polttoaineen käytön häiriöistä johtuvan öljyn käytön aiheuttamiin kustannuksiin ja kustannusten minimointi
5. Laskentakaava	Esitetty kappaleessa 7.6
6. Taajuus	Mittausdataa kerätään 10 sekunnin välein
7. Kuka laskee ja raportoi?	Laskenta Sumitomon pilvipalvelussa ja visualisointi Izana-järjestelmässä
8. Datan lähde	Ohjausjärjestelmä PHD
9. Kuka reagoi?	Toimihenkilöt
10. Miten tulosten perusteella toimitaan?	Tunnistetaan öljyn käytön aiheuttamat kustannukset ja pohditaan keinoja öljyn käytön vähentämiseen
11. Huomautukset	Suunniteltujen pääkattilan huoltoseisakkien aikana joudutaan käyttämään usein polttoöljyä

Liite 18: Öljynkulutuksen laskennassa käytettävät positiot

Öljynkulutuksen laskennassa käytettävät säätöpiirit ja positiot Simpeleen PHD:stä.

POSITIO	SÄÄTÖPIIRI	YKSIKKÖ
VML.LI06123.MES	VARASTOÖLJYSÄILIÖN PINTA	m
VML.TI06122.MES	VARASTOÖLJYSÄILIÖN LÄMPÖTILA	°C