

# **Voimalaitoksen höyrynkäytön optimointi tekoälyn avulla**

Matti Tikkanen

Opinnäytetyö

Joulukuu 2018

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Tikkanen, Matti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2018
	Sivumäärä 60	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Voimalaitoksen höyrynkäytön optimointi tekoälyn avulla</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kari Hytönen, Hannariina Honkanen		
Toimeksiantaja(t) Maintpartner Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Maintpartner Oy. Opinnäytetyö toteutettiin Fortum Oy:n omistamalle Suomenojan voimalaitokselle, jonka käytöstä ja kunnossapidosta vastaa Maintpartner Oy. Voimalaitoksella oli havaittu tehotonta omakäyttöhöyryä kohdentamista. Lisäksi lähitulevaisuudessa voimalaitoksen laitoskonstruktiossa on tapahtumassa muutoksia poistuvan kivihiiltä polttavan tekniikan osalta ja tähän haluttiin varautua ennakkoon.</p> <p>Opinnäytetyön alkuperäinen tavoite oli optimoida voimalaitoksen omakäyttöhöyryä kohdentaminen. Siihen mietittiin ratkaisumallia kolmesta eri vaihtoehdosta. Ensimmäinen vaihtoehto oli yrityksen tekoälyn pohjautuvan MP INTELLIGENCE -kunnonvalvontajärjestelmän käyttö optimoinnissa. Toisena vaihtoehtona mietittiin Fortumin TOPi-prosessitietojärjestelmää ja kolmanneksi vaihtoehdoksi muodostui henkilölähtöinen datan keruu ja käsittely. Näistä vaihtoehdoista sopivimmaksi ratkaisuksi todettiin MP INTELLIGENCE. Sen tuoma tekoälyaspekti, mahdollisuus testata järjestelmää optimointitarkoituksissa sekä tehokkuus suurien datamäärien käsittelyssä tekivät siitä optimaalisimman ratkaisun.</p> <p>Opinnäytetyön päätehtäväksi tuli laatia MP INTELLIGENCEllä rakennettu, koko voimalaitoksen höyryverkon kattava, höyrynkäyttöä seuraava työkalu. Työkalun avulla löydettyihin epäkohtiin suunniteltiin ratkaisuehdotuksia, jonka kautta optimointi tulee tapahtumaan.</p> <p>Tuloksena saatiin toimiva, MP INTELLIGENCEllä toteutettu höyrynkäyttöä seuraava systeemi, jonka pohjalta esiteltiin muutama esimerkki höyrynkäytön optimointikohteista. Systeemin koko ajan keräämä data tulee olemaan arvokasta tietoa myös tulevaisuuden laitoskonstruktioita ajatellen. Lisäksi saatiin hyvää kokemusta MP INTELLIGENCEn soveltuvuudesta isojen kokonaisuuksien optimoinnissa.</p> <p>Systeemi on jo otettu käyttöön voimalaitoksella höyrynkäytön seurantaan. Opinnäytetyötä käytetään myös opetustarkoituksessa esimerkkinä, kuinka rakentaa MP INTELLIGENCEllä veden-, sähkön- ja höyrynkäytön laadukkaan käyttötoiminnan varmistava työkalu.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Tekoäly, höyry, voimalaitos, optimointi		
Muut tiedot ( <a href="#">salassa pidettävät liitteet</a> )		

Author(s) Tikkanen, Matti	Type of publication Bachelor's thesis	Date December 2018  Language of publication: Finnish
	Number of pages 60	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Optimizing steam usage in a powerplant with artificial intelligence</b>		
Degree programme Bachelor of Engineering, Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Kari Hytönen, Hannariina Honkanen		
Assigned by Maintpartner Oy		
<p>Abstract</p> <p>The bachelor's thesis was assigned by Maintpartner Oy. The thesis was executed at Fortum's power plant in Suomenoja which is operated and maintained by Maintpartner. Targeting self-usage steam at the power plant was considered inefficient. In addition, there will be changes to the construction of the power plant in the near future as coal burning technology will be removed and this needed to be prepared in advance.</p> <p>The original aim of the thesis was to optimize the targeting of self-usage steam in the power plant. There were three different options for the solution. The first option was to use Maintpartner's artificial-intelligence-based predictive maintenance system MP INTelligence for optimizing. As a second option Fortum's TOPi process information system was considered and the third option was formed around the idea to execute collecting and analyzing the data by a human. Out of these options the MP INTelligence was considered the best-fitting solution. The aspect of artificial intelligence, enabling testing the system for optimizing purposes and its efficiency in handling a great amount of data by MP INTelligence made it the most optimal choice.</p> <p>The main task of the thesis was to create a surveillance tool for the steam usage with MP INTelligence to cover the whole steam grid of the power plant. Faults found were investigated and suggestions to solve some of them were presented as an optimizing solution.</p> <p>The result was a functioning steam-usage surveilling system made by MP INTelligence and some optimizing targets were presented as examples. Also the data collected by the system will be valuable information for the future changes in the plant construction. In addition, valuable experience about the suitability of MP Intelligence in optimizing large entities was gained through thesis.</p> <p>The system has already been implemented in surveilling the steam-usage in the power plant. Also, the thesis will be used in educational purposes as an example on how to build a tool using MP INTelligence that ensures quality in water, electricity and steam usage.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Artificial intelligence, steam, power plant, optimization		
Miscellaneous ( <a href="#">Confidential information</a> )		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Opinnäytetyön lähtökohdat.....</b>	<b>5</b>
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	5
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet.....	5
1.3	Työn kartoittaminen ja rajaus .....	6
1.3.1	Vaihtoehtona MP INtelligence .....	6
1.3.2	Vaihtoehtona TOPi.....	7
1.3.3	Vaihtoehtona Henkilölähtöinen mittausanalyysi .....	7
1.4	Aikaisemmat tutkimukset aiheesta .....	8
1.5	Tutkimusasetelma .....	8
<b>2</b>	<b>Työn osapuolet.....</b>	<b>11</b>
2.1	Maintpartner Oy.....	11
2.2	Fortum Oyj.....	11
2.3	Opinnäytteen avainhenkilöt.....	12
<b>3</b>	<b>Suomenojan voimalaitos .....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Höyry .....</b>	<b>16</b>
4.1	Höyry lämpöenergian tuotannossa .....	16
4.2	Höyryn faasit.....	17
<b>5</b>	<b>Höyrynkäytön ja -tuotannon tekniikka.....</b>	<b>18</b>
5.1	Höyryn tuotanto voimalaitoksella .....	19
5.1.1	Höyrykattila .....	19
5.1.2	Ekonomaisier ja luvot.....	20
5.2	Höyryverkko ja tasausjärjestelmät.....	21
5.2.1	Höyrytukki.....	22
5.2.2	Reduktio- ja varoventtilit.....	22

	2
5.2.3 Ilmaus- ja vesitysjärjestelmä .....	23
5.2.4 Lauhteenpoistin .....	24
5.3 Omakäyttöhöyryjärjestelmä.....	26
5.4 Syöttövesisäiliö .....	27
5.5 Kaasunpoisto .....	28
5.6 Lieriö ja luonnonkiertokattila .....	30
<b>6 Tekoäly ja koneoppiminen .....</b>	<b>31</b>
<b>7 MP Intelligence .....</b>	<b>32</b>
7.1 Tietoa järjestelmästä .....	32
7.2 Valinnan perusteet .....	35
<b>8 Systemin rakentaminen .....</b>	<b>37</b>
8.1 Höyryverkon kartoittaminen .....	37
8.2 Positioiden lisääminen .....	38
8.3 Systemin opettaminen ja uudelleen koulutus .....	38
<b>9 Tulokset .....</b>	<b>40</b>
9.1 Valmis systeemi .....	40
9.2 Esimerkkilöydökset.....	41
9.2.1 Kaasunpoistohöyryn riittämättömyys syvesäiliössä.....	41
9.2.2 Höyryn liikakäyttö paineenpitoon So7:n syvesäiliössä.....	42
9.2.3 Esimerkki KP-lieriön paineen putoaminen nolnaan .....	43
<b>10 Pohdinta.....</b>	<b>44</b>
10.1 Tulosten vertailu tavoitteisiin.....	44
10.2 Luotettavuuden arviointi.....	45
10.3 Lähitulevaisuuden mahdollisuudet ja haasteet .....	46

10.4 Futuristiset skenaariot.....	47
10.5 Loppusanat .....	48

<b>Lähteet .....</b>	<b>50</b>
----------------------	-----------

<b>Liitteet.....</b>	<b>53</b>
----------------------	-----------

Liite 1. Esimerkki kaasunpoistohöyryn riittämättömyydestä.....	53
Liite 2. Esimerkki kaasunpoistohöyryn riittämättömyydestä, PI-kaavio.....	54
Liite 3. Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiirin PI-kaavio.....	55
Liite 4. Esimerkki mallin epätarkkuudesta .....	56
Liite 5. Esimerkki turhasta paineenpidosta So7:n syvesäiliössä .....	57
Liite 6. Esimerkki turhasta paineenpidosta So7:n syvesäiliössä, PI-kaavio....	58
Liite 7. Esimerkki KP-Lieriön paineen putoamisesta nolnaan .....	59
Liite 8. Esimerkki KP-lieriön paineen putoamisesta nolnaan, PI-kaavio .....	60

**Kuviot**

Kuvio 1. Ilmakuva Suomenojan voimalaitoksesta.....	13
Kuvio 2. Kylläisen höyryn kuvaaja .....	18
Kuvio 3. Hörykattilan toimintaperiaate.....	20
Kuvio 4. Esimerkki lämpöpintojen sijoittumisesta kattilaan .....	21
Kuvio 5. Tyypillisiä varoventtiiliratkaisuja .....	23
Kuvio 6. Lauhteenpoistintyytit .....	25
Kuvio 7. Omakäyttöhöyryjärjestelmä.....	27
Kuvio 8. Syöttövesisäiliö .....	28
Kuvio 9. Veden lämpötila suhteessa happisisältöön.....	29
Kuvio 10. Esimerkkiratkaisu kaasunpoistojärjestelmästä .....	30
Kuvio 11. MP Intelligence palvelu kokonaisuutena.....	34
Kuvio 12. Esimerkki MP INTElligencen löytämästä kehittyvästä viasta.....	36

# 1 Opinnäytetyön lähtökohdat

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Opinnäytetyö tehtiin Espoossa sijaitsevalle Suomenojan voimalaitokselle. Työn toimeksiantajana toimi Maintpartner Oy, joka on Pohjoismaiden johtavia teollisuuden käyttö- ja kunnossapitotehtäviin erikoistuneita yrityksiä. Suomenojan voimalaitoksen omistaa Fortum Oyj, mutta käytöstä ja kunnossapidosta on syyskuusta 2016 lähtien vastannut Maintpartner Oy.

Idea kehittämistutkimuksesta syntyi voimalaitoksella vesikemian asiantuntijana toimivan Jere Espon toimesta. Espon alkuperäinen aloite on vuoden 2015 joulukuulta, jossa hän olisi halunnut tarkastella matalapainehöyryverkon toimintaa. Espo oli havainnut potentiaalisen ympäristö- ja energiansäästökohteen omakäyttöhöyryn kohdentamisessa. Alkuperäisen idean mukaan Espo halusi vähentää höyrynkäytön kohdentamiseen liittyviä kenttäkierroksia järkeistämällä höyryn omakäyttöä kokonaisuudessaan.

Aloite nostettiin uudemman kerran esille joulukuussa 2017, kun voimalaitoksella sähkö- ja automaatiotöissä ollut energiatekniikan insinööriopiskelija pohti aihetta opinnäytetyöhön. Uudelleen tarkastelussa havaittiin samat ongelmat kuin vuoden 2015 aloitteessa. Näin ollen työlle nähtiin edelleen olevan tilausta. Työn tarpeellisuutta korosti myös alueella olevien, elinkaarensa päähän tulleiden laitosyksiköiden poistuminen lähitulevaisuudessa. Poistuessaan laitosyksiköt nostavat esiin lisää haasteita liittyen omakäyttöhöyryn tuotantoon.

## 1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön päätavoitteena oli luoda ratkaisu laitoksella havaittuun omakäyttöhöyryn tehostamiseen kohdentamiseen. Laitoksella oli havaittu tilanteita, joissa omakäyttöhöyryä ei joissain tilanteissa riittänyt sekä tilanteita, joissa sitä puhallettiin ulos. Ratkaisun avulla toimeksiantaja saisi työkalun omakäyttöhöyryn parempaan



kohdentamiseen sekä optimaalisimpien ajotapojen löytämiseen. Lisäksi laitosalueella oleva, vanhentuva kivihiiltä käytävä tekniikka poistuu lähitulevaisuudessa suunnitelmien mukaisesti, minkä vuoksi omakäyttöhöyryn tuotannossa tulee olemaan vajetta entistä enemmän.

Opinnäytetyön alkuperäinen tavoite oli siis löytää ratkaisu omakäyttöhöyryä koskevaan ongelmaan. Kuitenkin työn edetessä nousi toistuvasti esiin, että opinnäytetyössä olisi mahdollista testata Maintpartnerin oman MP Intelligence -järjestelmän soveltuvuutta optimointitarkoituksissa ja sen avulla luoda Suomenojan voimalaitokselle koko höyryverkkoa koskeva, tekoälyyn pohjautuva optimointityökalu. Tästä muodostuukin opinnäytetyön päätavoite.

### 1.3 Työn kartoittaminen ja rajaus

Alun perin omakäyttöhöyryn kohdentamisongelmaan lähdettiin hakemaan ratkaisua kolmella eri vaihtoehdolla. Ensimmäisenä mietittiin älykkääseen kunnonvalvontaan perustuvaa MP Intelligence -järjestelmää. Toisena vaihtoehtona oli käyttää Fortumin laitoksilla käytössä olevaa TOPi-prosessitietojärjestelmää. Kolmanneksi vaihtoehdoksi harkittiin myös mittausdatan käsittelyyn pohjautuvaa henkilölähtöistä tiedonkeräämistä ja operointia eli toisin sanoen optimointi pohjautuisi täysin työntekijän tekemään kenttämittausten analysointiin. Työn rajauksen kannalta oli olennaista esitellä eri vaihtoehdot ja niihin vaaditut resurssit. Seuraavassa luvussa esitellään nämä vaihtoehdot sekä niitä puoltavat ja vastaan olevat seikat.

#### 1.3.1 Vaihtoehtona MP Intelligence

MP Intelligenceä harkitessa nousi keskeisimmäksi haasteeksi aikaisemman kokemuksen puuttuminen nimenomaan optimointityökaluna. Jos tämä vaihtoehto valittaisiin, riskinä olisi epävarmuus lopputuloksen toimivuudesta, koska mitään esimerkkiä siitä ei ollut olemassa. Tätä riskiä kuitenkin pienensivät huomattavasti järjestelmästä saadut aikaisemmat tulokset kunnonvalvonnan puolelta. MP Intelligence oli jo kuitenkin ollut toimiva työkalu kunnossapidossa ja Suomenojan voimalaitoksellakin se on ollut

käytössä jo vuoden 2016 loppupuolelta asti. Näihin aikaisempiin kokemuksiin nojaten voitiin myös todeta ohjelmiston olevan monikäyttöinen ja helposti muokattava, mikä puolestaan antaisi hyvät lähtökohdat uusien käyttötarkoitusten testaamiseen. Monikäyttöisyys myös mahdollistaisi isojenkin kokonaisuuksien luomisen, kuten tässä tilanteessa koko voimalaitosalueen höyryverkon optimoinnin. Lisäksi työtä tulisi nopeuttamaan järjestelmässä jo valmiiksi olevat mittaukset, jotka oli tuotu siihen kunnonvalvontatarkoituksessa. Tekoälyyn pohjaava kunnonvalvonta on alalla varsin uusi tulokas, puhumattakaan tekoälyn käyttämisestä energiantuotannon optimoimisessa, joten MP INtelligenceen valinta avasi uusia mahdollisuuksia.

### 1.3.2 Vaihtoehtona TOPi

TOPi-prosessitietojärjestelmästä potentiaalisen vaihtoehdon teki se, että se oli ollut laitoksella jo pitkään käytössä ja kaikki mittaukset historioineen löytyisivät järjestelmästä pitkältä ajalta. Vaihtoehtoa varjosti kuitenkin se, että siinä ei ollut suoraa ominaisuutta optimointiin, vaan optimointi olisi pitänyt tehdä tässä tilanteessa analysoimalla järjestelmässä olevaa dataa työntekijän toimesta. Tämä puolestaan olisi lisännyt työtunteja kohtuuttomasti sekä lisännyt myös inhimillisten virheiden määrää vaarantaen näin tulosten luotettavuuden. Lisäksi TOPi on paria poikkeusta lukuun ottamatta vain Fortumin laitoksilla toiminnassa oleva järjestelmä, eikä näin olisi ollut yhtä monipuolisesti hyödynnettävä vaihtoehto kuin MP INtelligence.

### 1.3.3 Vaihtoehtona Henkilölähtöinen mittausanalyysi

Henkilölähtöinen mittausdataa käsittelevä analyysimenetelmä oli syytä ottaa vaihtoehdoksi opinnäytetyön luonteen vuoksi. Tämä vaihtoehto sisältää kiistattomasti eniten opiskelupotentiaalia. Lisäksi tällä menetelmällä tehtyjä tutkimuksia olisi ollut jo pelkässä Theseus-tietokannassa varsin monia, mikä olisi tehnyt tiedon hankinnasta ja luotettavuuden tarkastelusta suhteellisen mutkatonta. Kuitenkin tämä olisi vaihtoehtoista ylivoimaisesti eniten työtunteja vaativa. Tiedon oikeaoppinen käsittely ja tulkinta olisi näin suuressa mittakaavassa jo vuosia tehneelle ammattilaisellekin iso urakka, puhumattakaan opinnäytetyön tekijästä. Eikä ole syytä jättää huomiotta in-

himillisten tekijöiden vaikutusta työn luotettavuuden arvioinnissa. Manuaalinen työ olisi ollut siis ehdottomasti hyvä vaihtoehto pienemmän mittakaavan tarkasteluihin, mutta näin laajassa kokonaisuudessa aivan liian paljon resursseja vaativa.

#### 1.4 Aikaisemmat tutkimukset aiheesta

Tekoäly itsessään ei ole mitenkään uusi tutkimuksen aihe, mutta teollisuusympäristössä sitä on käsitelty lähinnä kunnonvalvontaan perehtyneissä tutkimuksissa. Ennen kaikkea tekoäly energiantuotannon tai sen osan optimoinnin tukena on lähes koske-maton alue. Työssä optimoinnin työkaluna käytetty tekoälyyn perustuva MP INtelligence -kunnonvalvontajärjestelmä on kuitenkin jo markkinoilla oleva tuote. Työssä siis lähinnä pystyttiin hyödyntämään yleisesti aiheeseen tekoäly ja älykkääseen kunnonvalvontaan perehtyneitä aineistoja. Höyrynkäytön optimointi puolestaan on varsin tutkittu aihealue, mutta tässä opinnäytteessä keskityttiin itse tekoälyohjelman kouluttamiseen hälytysten kautta. Optimointi tapahtuikin reagoimalla näihin hälytyk-siin ja näin ollen aikaisemmista tutkimuksista höyrynkäytön optimoimiseksi ei varsi-naisesti ollut apua.

Tekoälyn osalta pystyttiin eniten hyödyntämään aineistoa Kymenlaakson ai-hankkeen loppuraporttia (Anttila, Hämäläinen, Kolehmainen, Rowley, & Varjonen 2018). Älykkään kunnonvalvonnan osalta hyödynnettiin Maintpartnerin omaa mate-riaalia MP INtelligence -kunnonvalvontajärjestelmästä ja kyseisen järjestelmän poh-jalta tehtyä diplomityötä (Kalabin 2018).

#### 1.5 Tutkimusasetelma

Tekniikan alan opinnäytetyöt ovat lähes poikkeuksetta laadultaan kehittämistutki-muksia, eikä tämäkään ollut siinä poikkeus. Opinnäytetyön keskeisin tavoite oli kehit-tää Suomenojan voimalaitoksella olevaa höyryverkkoa luomalla ratkaisuja siinä ha-vaittuihin ongelmiin. Lisäksi toimeksiantaja halusi varmistua, että työstä jää höyrynkäyttöä seuraava työkalu vastaamaan muutoksiin laitosalueella tulevaisuudessa. Toimeksiannon tavoite oli perusperiaatteeltaan kehittää nykyistä järjestelmää, jolloin

opinnäytetyön tavoitteen juurisyyksi voidaan määrittää tarve muutokselle. Tutkimusprosessi itsessään oli helppo aloittaa, sillä tutkimusongelma oli varsin konkreettinen.

Oli kyseessä mikä tahansa tutkimuksen muoto, tutkimusprosessi noudattaa samaa kaavaa. Alussa on tutkimusongelma, jolle halutaan ratkaisu ja se kiinnostaa tutkijaa. Tutkimusongelman takaa voi aina löytää jonkin käytännön ilmiön. Kehittämistutkimus käytännössä etsii ratkaisua ongelmaan, joka juontaa juurensa tarpeesta muutokseen. Kehittämistutkimuksen tavoitteena on saavuttaa tämä muutos yhdistelmällä kvalitatiivista ja kvantitatiivista tutkimusta tai pelkästään kvalitatiivista tutkimusta. (Kananen 2015, 11, 39.)

Laadullisen eli kvalitatiivisen tutkimuksen aineisto voi olla jo olemassa olevia dokumentteja eli sekundääriaineistoa sekä tutkimusongelmaa varten spesifisti kerättyä materiaalia eli primääriaineistoa. Kaikki dokumentit, kuvat ja muut tallenteet, jotka liittyvät ilmiöön ovat sekundääriaineistoa. Tutkittavaan ilmiöön kohdistettavat havainnoinnit, haastattelut ja kyselyt sekä niistä muodostetut aineistot muodostavat primääriaineiston. (Kananen 2015, 76.)

Tilanteissa, joissa suurelta joukolta ihmisiä halutaan vastauksia rajattuun tutkimusongelmaan, käytetään määrällisen eli kvantitatiivisen tutkimuksen aineistonkeruuta ja tutkimusasetelmaa. Määrällinen aineisto saadaan nopeasti kasaan käyttämällä kyselytutkimusta. Onnistuneen kyselyn toteuttamiseen vaaditaan, että tiedetään mitä kysytään. Lomake on aina määrämuotoinen ja sen tarkoituksena on saada vastauksia ennalta laadittuihin kysymyksiin. Ajankäytön selvittäminen, faktapohjaiset ilmiöt sekä prosessien erilaiset määrät voidaan selvittää kehittämistutkimuksessa käyttäen kyselyn erilaisia muotoja. (Kananen 2015, 96.)

Opinnäytetyön suunnitteluvaiheessa tutkimusote oli luonteeltaan kvalitatiivinen. Alkuvaiheessa teoria-aineistoa ei ollut suuria määriä kasassa, koska ratkaisuvaihtoehtoja oltiin vasta kartoittamassa. Käytännössä suuntaa työn toteutukselle haettiin höyryn käyttöön liittyen aiempien tutkimusten osalta ja tekoälysovellusten tietopohjaksi pystyttiin valitsemaan ainoastaan yrityksen omat havainnot ja kokemukset älyk-

käästä kunnonvalvonnasta. Aikaisemmista tutkimuksista sekä kokemuksista pyrittiin löytämään mahdollisia ratkaisumalleja opinnäytetyön toteutukselle. Vertailupohjan puuttuminen vastaavasta työstä nosti aikaisemmat kokemukset keskeiseen asemaan erityisesti työn alkuvaiheessa.

Höyryverkon kartoittamiseen käytettyä tutkimusmenetelmää voidaan soveltaen kutsua kvantitatiiviseksi menetelmäksi. Kartoituksen alkuvaiheessa keskeistä oli kerätä kaikki mahdollinen tieto höyrykäytöstä prosessikuvien pohjalta. Mittausten laadullinen tarkastelu oli tässä vaiheessa toissijaisen tärkeää, koska höyryverkosta haluttiin muodostaa mahdollisimman kattava kuva.

Opinnäytetyössä aikaisemmin mainittuun, MP INtelligencellä rakennettuun höyrykäytön optimointityökaluun tullaan tästä eteenpäin työssä viittaamaan termillä **systemi** toimeksiantajan käytäntöjen ja ohjeistuksen mukaisesti. Työn keskeisin vaihe oli systeemin opettaminen, mikä avataan luvussa 8.3. Tutkimusotteeltaan vaihe oli täysi laadullista tarkastelua. Systeemin jokainen hälytys oli yksilöllinen ja näin ollen ne vaativat tarkkaa erillistä tutkimustyötä. Tutkimus tehtiin opinnäytetyöntekijän sekä toimeksiantajan yhteyshenkilön yhteistyönä. Tämä tapahtui käytännössä viikoittaisen Skype-palaverin välityksellä, missä hälytykset käsiteltiin yhteistyössä. Systeemin keräämän tiedon käsittelyyn ja näin ollen sen onnistuneeseen koulutukseen käytettiin kvalitatiivisia menetelmiä, kuten asiantuntijoiden haastatteluita ja teknistä havainnointia aikaisempien hälytysten sekä prosessihistorian perusteella. Samalla menettelyllä toteutettiin myös esimerkeissä esiin tulleiden ongelmien ratkaisuehdotukset.

Kehittämistutkimuksen eri vaiheille voidaan mieltää jokaiselle oma tietopohjansa. Ensimmäisessä vaiheessa täytyi kartuttaa tietopohjaa höyrystä, sen tuotannosta ja höyryverkoista. Toisessa vaiheessa etsittiin perusteita eri vaihtoehtojen taakse ongelman ratkaisemiseksi. Kolmannessa vaiheessa, kun työ päätettiin ohjata tekoälyä koskevaan ratkaisuun, alkoi tietopohjan kartuttaminen tekoälystä. Tulosten luotettavan tarkastelun ja työn toteutukseen tietoperustaa kerrytettiin mahdollisimman monipuolisista lähteistä. Jokaiseen vaiheeseen pyrittiin löytämään niin kotimaisia kuin

vieraskielisiä tietolähteitä näkemyksen laajentamiseksi ja varmistukseksi, että tieto ei olisi kyseenalaista. Aiheen laajuus ja tekoälyn käyttö uutena asiana energiantuotannon optimoinnissa tekivät toimeksiantajalla työskennelleistä ammattilaisista ja oikein valitusta lähdemateriaaleista opinnäytetyön kannalta entistä arvokkaampia.

## 2 Työn osapuolet

### 2.1 Maintpartner Oy

Maintpartner Oy perustettiin vuonna 2006 energiateollisuuden sektorille. Nykyään se palvelee useita eri teollisuuden aloja, mutta pääosin yritys toimii energia-, kemian- ja metalliteollisuuden parissa. Maintpartner on Pohjois-Euroopan johtavia teollisuuden käyttö- ja kunnossapitoyrityksiä ja sen asiakkaat koostuvat teollisuusyrityksistä sekä julkisesta sektorista. Yritys räätälöi jokaiselle asiakkaalleen oman ratkaisun monipuolisesta palveluvalikoimastaan. Tavoitteena ovat pitkäaikaiset kunnossapitosopimukset, koska näin asiakkaalle voidaan varmistaa laadukas palvelu, kustannustehokkuus, asiantunteva henkilöstö sekä parantunut käytettävyys ja tuottavuus. Suomessa Maintpartnerilla on reilu 1100 työntekijää ja ulkomailla noin 700. Ulkomaan sektorit sijoittuvat Ruotsiin, Viroon ja Puolaan. Liikevaihtoa yritys teki vuonna 2017 Suomessa noin 121 miljoonaa euroa ja kansainvälisesti noin 167 miljoonaa euroa. Konsernin emoyhtiö Maintpartner Group Oy pitää sisällään operatiiviset yhtiöt Suomen Maintpartner Oy ja Expert Services Oy, Ruotsin Maintpartner AB, Puolan Maintpartner ASI S.p.z.o.o ja Viron Maintpartner OÜ. (Teollisuuden käytön ja kunnossapidon ammattilainen 2018.)

### 2.2 Fortum Oyj

Fortum Oyj on julkinen osakeyhtiö, jonka yksittäinen suurin omistaja on Suomen valtioneuvoston kanslia. Yhtiön liiketoiminta muodostuu voimalaitosten käyttö- ja kunnossapitopalveluista, sähkön ja lämmön tuotannosta sekä myynnistä ja yleisesti energiaan liittyvistä palveluista. Päätuotteiksi yritykselle voidaan määrittää sähkö,

lämpö ja höyry. Yhtiön toiminta keskittyy Pohjoismaihin, Venäjälle, Puolaan, Baltian maihin ja Intiaan. Liikevaihtoa yhtiö teki vuonna 2017 noin 4,5 miljardia euroa. Pörssiin Fortum listautui vuonna 1998. Yhtiö työllisti vuoden 2016 lopulla 8108 henkilöä. (Taloudelliset tiedot 2016 2017; Share information 2018.) Työssä käsiteltävä Suomenojan voimalaitos on Fortumin omistuksessa.

### 2.3 Opinnäytteen avainhenkilöt

Käytännön toteutuksen ja suunnittelun toteutti pääasiallisesti opinnäytetyön tekijänä toiminut energiatekniikan opiskelija Jyväskylän ammattikorkeakoulusta. Aiheen ollessa todella laaja ja lähes koskematon alue tekoällyn osalta, turvautui opiskelija muutamaaan Maintpartnerilla työskennelleeseen ammattilaiseen. Höyryverkon kartoittamisen, MP Intelligence -systeemin luomisen ja hälytysten tulkitsemisen apuna sekä työn yleisenä ohjaajana toimi voimalaitoksen vesikemian asiantuntija ja kehitystiimin jäsen Jere Espo. Voimalaitoksen ajotavoista ja vallitsevista tilanteista sai tietoa voimalaitoksessa vuoromestarina toimineelta Taneli Varjukselta. MP Intelligenceen liitettiin tarkempaan kysymykseen vastasi Maintpartnerilla MP Intelligence -spesialistina toimiva Pekka Mild.

## 3 Suomenojan voimalaitos

Espoossa sijaitseva Suomenojan voimalaitos tuottaa kaukolämpöä ja sähköä Espoon lisäksi Kauniaisiin ja Kirkkonummelle. Kyseessä on siis tuotantomuodoltaan yhdistetty lämmön- ja sähköntuotantolaitos eli CHP-laitos (Combined Heat and Power). Voimalaitos on sähköteholtaan noin 350 MW ja kaukolämpöteholtaan noin 600 MW. Voimalaitoksella on kuusi tuottavaa laitosyksikköä, joihin kuuluu kaksi kivihiltä (So1, So3) ja kolme maakaasua (So2, So6 ja So7) polttavaa yksikköä sekä lämpöpumppuyksikkö (So4). Syyskuusta 2016 lähtien käynnissä- ja kunnossapidosta on vastannut Maintpartner Oy, mutta laitoksen omistaa energiayhtiö Fortum Oyj. Polttoaineena voimalaitos käyttää maakaasua ja kivihiltä. (Suomenojan CHP-laitos n.d.) Kuviossa 1. on Suomenojan voimalaitos.



Kuvio 1. Ilmakuva Suomenojan voimalaitoksesta (Laipio 2018)

Seuraavassa luvussa kerrotaan yleistietoa alueella toimivista yksiköistä, jotta lukijan on helpompi muodostaa käsitys höyrynkäytön kartoittamisen laajuudesta ja siitä kuinka iso kokonaisuus lopulta oli kyseessä. Lyhenne So tarkoittaa Suomenojaa ja numeroperässä laitosta, jolle se on määritetty. Numerot eivät ole kronologisessa järjestyksessä.



### **So1 Vastapainelaitos CHP**

Vuonna 1977 valmistui voimalaitoksen ensimmäinen laitosyksikkö So1. Kyseessä on perinteinen vastapainelaitos, joka muodostuu höyryturbiinista ja generaattorista sekä pölynpolttokattilasta. Pääpolttoaineenaan se käyttää kivihiiltä ja varapolttoaineena toimii maakaasu. So1:n osuus tuotosta on noin 80 MW sähköä ja 160 MW lämpöä. (Suomenojan voimalaitoksen turvallisuustiedote 2017.)

### **So2 Kombivoimalaitos**

Laitosyksikkö So2 valmistui vuonna 2009 ja se on kuudesta tuottavasta yksiköstä suurin niin sähkö- kuin lämpöteholtaan (sähköteho 234 MW, lämpöteho 214 MW). Kyseessä on niin sanottu kombivoimalaitos, joka koostuu kaasuturbiinista, lämmöntalteenottokattilasta ja höyryturbiinista. Kaasuturbiinin tehtävä on pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä. Kaasuturbiinista tulleet savukaasut johdetaan kattilaan, jossa savukaasujen lämpöenergialla tuotetaan höyryä höyryturbiinille sekä lämmitetään kaukolämpövettä. Höyryturbiini puolestaan pyörittää generaattoria tuottaen sähköä, ja höyryturbiinista tuleva lauhde ohjataan kaukolämpövaihtimille. (Suomenojan voimalaitoksen turvallisuustiedote 2017.)

### **So3 Pyroflow-kattila**

So3 tuotantoyksikkö käyttää pääpolttoaineena kivihiiltä ja varapolttoaineena maakaasua. Yksikkö valmistui vuonna 1986, ja se on tyypiltään kiertoleijupetikattila. Kyseinen yksikkö tuottaa ainoastaan lämpöä ja sen lämpöteho on noin 70 MW. Kattilalla lämmitetään kaukolämpövettä lämmönvaihtimen välityksellä ja se on myös kytketty So1 laitoksen lämmönvaihtimien kanssa sarjaan, jotta So1 höyryturbiini pystyy tarvittaessa tuottamaan enemmän sähköä. (Suomenojan voimalaitoksen turvallisuustiedote 2017.)

### **So4 Lämpöpumppulaitos**

Lämpöpumppulaitos So4 eroaa muista yksiköistä siinä, että siellä ei tehdä energiaa polttamalla. Laitos rakennettiin vuonna 2014, ja onkin alueen uusin tuottava yksikkö noin 40 MW tuotantokapasiteetillaan. Laitosyksikkö ottaa talteen lämmön Espoon,

Kauniaisten, Kirkkonummen ja Vantaan länsiosista tulevista puhdisteutuista jätevesistä lämpöpumpputekniikan avulla. Talteenotettu lämpöenergia käytetään kokonaisuudessaan kaukolämpöverkon lämmitykseen. (Suomenojan voimalaitoksen turvallisuustiedote 2017.)

### **So6 Kaasuturbiinilaitos**

Vuonna 1989 valmistunut So6 on kaasuturbiinilaitos. Se koostuu kahdesta osasta, kaasuturbiinista ja lämmöntalteenottokattilasta. Kaasuturbiinilla pyöritetään sähkögeneraattoria ja polttoaineenaan turbiini käyttää maakaasua. Kaasuturbiinista tulevat savukaasut ohjataan lämmöntalteenottokattilaan, jossa niillä lämmitetään lämmönvaihtimien välityksellä kaukolämpöä. Lämmöntalteenottokattila on varustettu lisäpoltolla, ja polttoaineena toimii myös maakaasu. Sähkötehoa So6:sta löytyy noin 45 MW verran ja lämpötehoa noin 110 MW verran. (Suomenojan voimalaitoksen turvallisuustiedote 2017.)

### **So7 Apukattila**

So7 on vuonna 1977 valmistunut apukattila, joka tehtiin So1:n rinnalle. Alun perin sen tehtävänä oli tuottaa So1:lle apuhöyryä käynnistyksen tarpeisiin, mutta myöhemmin sen tehtäväksi tuli myös injektiohöyryn tuottaminen kaasuturbiinille So6, kun So1 ei ole toiminnassa. Injektiohöyryn tehtävä on vähentää kaasuturbiinin typenoksidi-päästöjä. Lämpötehoa maakaasua polttavalta apukattilalta saadaan noin 17 MW verran. (Suomenojan voimalaitoksen turvallisuustiedote 2017.)

### **So8 Rikinpoistolaitos**

Rikinpoistolaitokset yleistyivät olemassa oleviin voimalaitoksiin Suomessa Helsingissä vuonna 1987 tehdyn valtioneuvoston päätöksen myötä. Päätöksessä rajoitettiin kivihiiltä käyttävien voima- ja kattilalaitosten rikkidioksidipäästöjä. (Valtioneuvoston päätös 159/1987.) Suomenojalle rikinpoistolaitos otettiin käyttöön vuonna 1991. Rikinpoisto Suomenojalla tapahtuu sumuttamalla savukaasuun kalkkia ja kiertopölyä sisältävää lietettä. Tätä kutsutaan reaktorissa tapahtuvaksi puolikuivaksi rikinpoisto-

menetelmäksi. Savukaasu johdetaan myös sähkösuodattimien läpi ennen ja jälkeen rikinpoiston.

### **Kaukolämpöakku**

Alueella on myös vuonna 2015 käyttöön otettu kaukolämpöakku. Se on tilavuudeltaan 20 000 m<sup>3</sup>, ja siihen pystytään varastoimaan jopa 800 MWh lämpöenergiaa. Sen tehtävänä on tasata lämmön tuotannon ja kulutuksen välisiä eroja. Esimerkiksi akkua voidaan ladata yöllä, jolloin lämpimän käyttöveden tarve on pienempi ja vastaavasti purkaa akkua pakkasaamuina kulutuksen ollessa isompi. Tällä tavalla saadaan parannettua tuotannon energiatehokkuutta. Kaukolämpöakku nostaa myös toimitusvarmuutta asiakkaille sillä akussa olevaa vettä voidaan hyödyntää esimerkiksi verkon täytössä vuodon sattuessa. (Ikkala 2015.) Kaukolämpöakku ei ole keskeisimpiä toimijoita käsitellessä höyryn käytön optimointia, mutta höyrynkäytön systeemin on otettu myös tarkasteluun kaukolämpöakun toiminta.

## **4 Höyry**

Höyry on helppo esitellä kertomalla sen lukuisista eduista sekä sen mutkattomuudesta energian siirron työkaluna. Höyry ja sen käyttö on edistynyt huimasti ajoista, jolloin se yhdistettiin vetureihin ja teolliseen vallankumoukseen. Tänä päivänä höyry on olennainen ja keskeinen osa modernia teknologiaa, ja ilman sitä ihmiskunnan ruoka-, tekstiili-, kemikaali-, lääke-, energia- eikä logistiikkateollisuus toimisi, kuten se nyt toimii. Löytyy useita syitä, miksi höyryä käytetään yleisesti lämpöenergian siirrossa sekä laajassa kirjossa eri töitä kuten mekaanisentyön tuottamisesta, tilojen lämmitykseen ja teollisuuden prosesseihin. (Steam the energy fluid n.d.)

### **4.1 Höyry lämpöenergian tuotannossa**

Ihmisen tuottama höyry on yleisimmin valmistettu vedestä. Sitä on saatavilla enemmän kuin riittävästi ja se on halpaa eikä se aiheuta vaaraa ympäristölle eikä terveydelle. Kaasumaisessa muodossaan sitä pystytään käsittelemään turvallisesti ja tehok-

kaasti. Massaltaan samaan määrä höyryä pystyy sitomaan viidestä kuuteen kertaan enemmän potentiaalienergiaa kuin vesi. (Steam the energy fluid n.d.)

Lämmittäessä voimalaitoskattilassa vesi alkaa sitoa itseensä energiaa. Vesi muodostaa kiehuessaan höyryä. Veden kiehumispiste on sidoksissa lämpötilaan sekä vallitsevaan paineeseen. Höyry sisältää ison määrän varastoitua energiaa, joka voidaan lopulta siirtää sille mietittyyn kulutuskohteeseen, kuten tilanlämmitykseen tai johonkin prosessin osaan. Kuten aiemmin mainittiin, höyryn muodostuminen on sidoksissa paineeseen ja voidaankin todeta, että mitä korkeampi paine, sen korkeampi höyrystymispiste. Toisin sanoen höyryä voidaan muodostaa korkeassa paineessa, jotta siihen saadaan korkeampi lämpötila eli siihen saadaan näin ollen suurempi energiasäilytys. Tämä puolestaan tarkoittaa höyryn kykyä tehdä työtä isommalla potentiaalilla. (Steam the energy fluid n.d.)

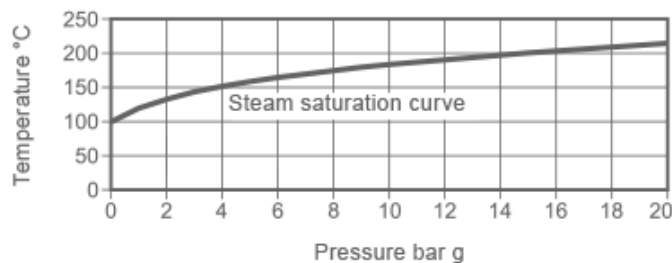
Teollisuuden prosesseissa höyry on paljon käytetty lämmitysaine. Höyry lauhtuessaan vedeksi vapauttaa lauhtuvaa höyrykiloa kohti erittäin suuria määriä lämpöä lämpötilassa, joka on riippuvainen tietyn lauhtumistilan paineesta. Tämä johtaa siihen, että suuria lämpötehoja voidaan siirtää käyttäen pieniä putkikokoja. Höyryn suosio teollisuudessa perustuu tähän. Höyryn muita etuja ovat mm. sen kyky toimia tietyn kohteen lämmittäjänä suoraan ilman lämmönsiirtimiä, kosteuttaa ilmaa tarpeen mukaan ja toimia erinomaisena puhdistajana tai sterilisoijana tuotteille. Lauhtuvan höyryn lämmönsiirtokerroin on erittäin hyvä ja se on edullinen lämmönsiirtoaineena. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 80.)

## 4.2 Höyryn faasit

Keskeistä höyrynkäytöstä varsinkin voimalaitosympäristössä on ymmärtää höyryn eri faasit. Kaikista suurin energiasäilytyksen siirtyminen tapahtuu juurikin faasimuutosten välillä. Esimerkiksi kun kylmä höyry tulistuu tai vastaavasti tulistunut höyry lauhtuu. Karkeasti höyryn faasit voidaan jaotella kylmään höyryyn ja tulistettuun höyryyn. Voimalaitoksella vettä lämmitetään kiehumispisteeseen, jotta höyryä alkaa

muodostumaan. On tärkeää muistaa, että kiehumispiste on sidottu vallitsevaan paineeseen.

Paineen pysyessä muuttumattomana veden lämmittäminen ei nosta sen lämpötilaa, mutta vesi alkaa muodostamaan kylläistä höyryä. Kiehuvan veden ja kylläisen höyryn lämpötila on tilanteessa sama, mutta lämpöenergiasältö suhteessa massaan on paljon suurempi höyryssä. Kuviosta 2 nähdään, missä pisteessä höyry on kylläistä. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että höyryä ja vettä voi esiintyä yhtäaikaaisesti kyseisessä kohdassa, koska molemmat ovat kylläisessä pisteessään. Kun höyryn tila on kuvaajan yläpuolella, puhutaan tulistetusta höyrystä. (What is steam? N.d)



**Fig. 2.2.1 Steam saturation curve**

Kuvio 2. Kylläisen höyryn kuvaaja (What is steam? N.d)

## 5 Höyrynkäytön ja -tuotannon tekniikka

Tässä luvussa kerrotaan lyhyesti, mitä tarkoitetaan voimalaitoksen höyryverkolla sekä selitetään höyryn tuotannon peruseriaate. Voimalaitoksella on useita tärkeitä komponentteja, jotka liittyvät höyryn tuottamiseen ja sen muuttamiseen työksi tai muuksi hyödykkeeksi. Seuraavassa keskitytään kuitenkin vain sen ymmärtämisen kannalta välttämättömien laitteiden ja kokonaisuuksien avaamiseen.

## 5.1 Höyryn tuotanto voimalaitoksella

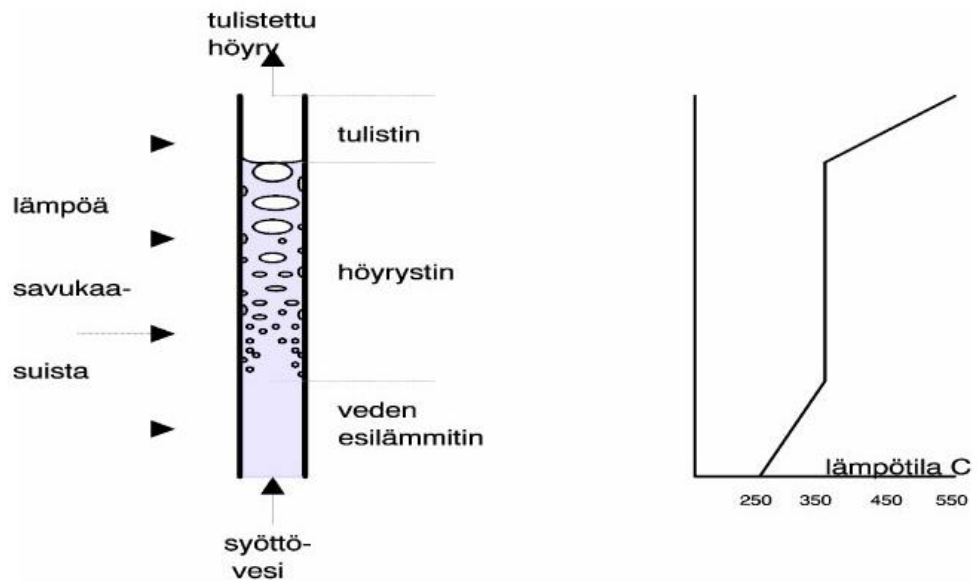
Voimalaitoksen höyryä tuottava yksikkö on ekonomaiserin, höyrystimien, tulistimien ja luvon kompleksi yhdistelmä. Lisäksi kokonaisuuteen kuuluu apulaitteita kuten polttoaineen syöttimet, polttoaineen murskaimet, polttimet, puhaltimet, päästöjen hallintalaitteet, savupiippu ja tuhkan käsittely laitteisto. (El-Wakil 1984, 79.) Opinnäytetyössä keskityttiin pelkästään höyrynkäyttöön liittyvien sovellusten tarkasteluun, joten raportissa ei käsitellä apulaitteiden toimintaa.

### 5.1.1 Höyrykattila

Höyrykattila voidaan hahmottaa suurena metallisena säiliönä, jossa polttoaineen palaessa syntyvä lämpöenergia siirretään kattilaputkistoissa kulkevaan veteen. Kattilaputkistossa veden lämpötila nousee ensin kiehumispisteeseensä, minkä jälkeen vedessä tapahtuva faasimuutos aiheuttaa höyrystymistä. Joissain tilanteissa höyry ohjataan tulistimille, jotka sijaitsevat kattilan kuumimmissa kohdissa. Tulistimissa höyryä lämmitetään edelleen, jolloin nimensä mukaisesti vesihöyry tulistuu. Tulistettu höyry tarkoittaa siis höyryä, jonka lämpötila on kiehumispistettään korkeampi. (Höyrykattilan toimintaperiaate n.d.) Höyryn tulistusasteeksi määritetään lämpötilasteiden määrä, jotka ylittävät vallitsevassa paineessa olevan kylläisen höyryn lämpötilan (Superheated Steam n.d). Kuviossa 3 huomataan, kuinka kattila voidaan ajatella vedenkierröllisesti yhdeksi pitkäksi putkeksi. Putken toisesta päästä vesi syötetään nestemäisenä sisään ja toisesta päästä se poistuu höyrynä ulos.

Liitteessä 3 on esimerkki-PI-kaavio luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiristä. Kuviossa 3 on yksinkertaistettu höyrykattilan toimintaperiaate.

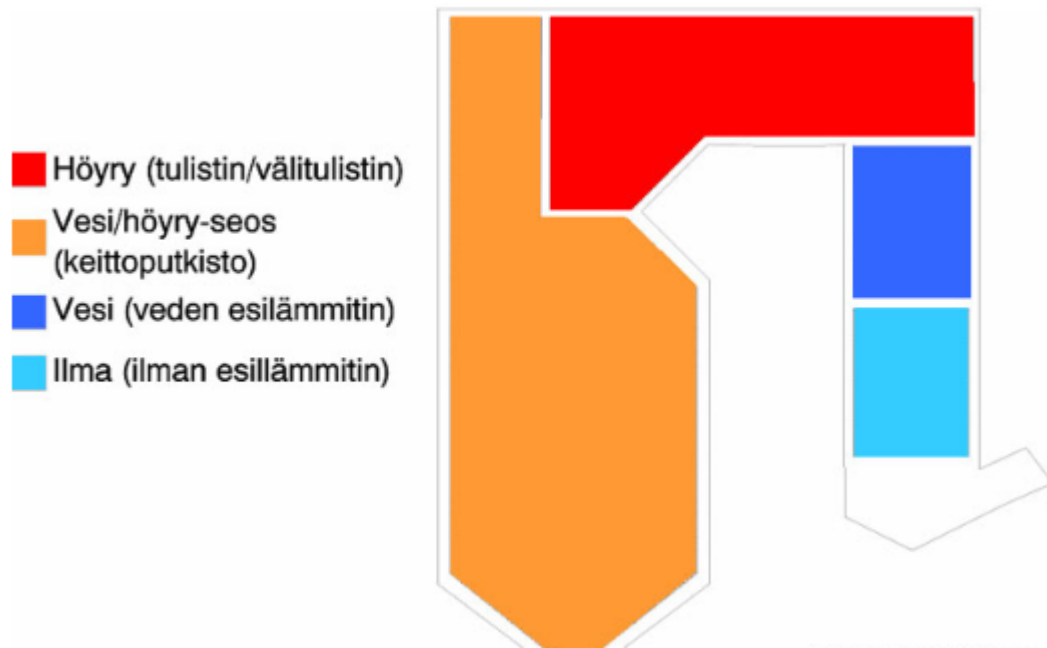
## Höyrykattilan toimintaperiaate



Kuvio 3. Höyrykattilan toimintaperiaate (Höyrykattilan toimintaperiaate n.d)

### 5.1.2 Ekonomaiser ja luvo

Ekonomaiser eli syöttöveden esilämmitin ja luvo eli ilmanesilämmitin ovat kattilakokonaisuuteen kuuluvia lämmönsiirtimiä. Näiden kuten kaikkien kattilan lämpöpintojen tehtävänä on siirtää savukaasujen sisältämä lämpöenergia mahdollisimman tehokkaasti vesihöyrykiertoon. Esilämmittimet parantavat myös voimalaitosprosessin hyötysuhdetta. Ekonomaiser lämmittää syöttövettä ennen kuin se menee kattilan keittoputkistoon ja luvo toimii kattilaan syötettävän palamisilman esilämmittimenä. Palamisilman esilämmityksellä saavutetaan tehokkaampi polttoaineen syttyminen sekä nopeutetaan palamista. Lämmönvaihtimista ekonomaiser on sijoitettuna kattilassa toiseksi viimeisenä katsottuna savukaasujen poistumisen kannalta ja luvo viimeisenä. (Kattilan lämmönsiirtimien rakenne ja toiminta n.d.) Kuviossa 4 esitellään esimerkkiratkaisu kattilan lämpöpintojen sijoittelusta.



Kuvio 4. Esimerkki lämpöpintojen sijoittumisesta kattilaan (Kattilan lämmönsiirtimien rakenne ja toiminta n.d)

## 5.2 Höyryverkko ja tasausjärjestelmät

Useasti voimalaitokset koostuvat monesta eri höyryä tuottavasta yksiköstä kuten kattiloista ja/tai kaasuturbiineista. Höyryn tuottaminen voi tapahtua myös monella eri painetasolla ja lisäksi höyrynkuluttajia, turbiineja ja lämmönvaihtimia on useita. Riippuen höyryverkon kytkennöistä laitokselle toteutetaan tapauskohtaisesti höyrynpaineensäädöt. Kattilat, jotka ovat kytketty samaan höyryverkkoon, ovat samassa paineessa. Joko kattilat säätelevät painettaan itsenäisesti tai paineensäätö saatetaan toteuttaa käyttäen kaasuturbiinia tai apukattilaa, jotka kykenevät nopeisiin tehonmuutoksiin. Höyryverkkoon voidaan kytkeä myös höyryakku, joka tasaa nopeasti muuttuvia höyrynkulutuksia. Reduktioventtiilin kautta voidaan ajaa myös jonkin veran höyryä syvesäiliöön höyryverkon paineen säätämiseksi. Höyrykattilan, kaasuturbiinin tai moottorin teho säätyy kaukolämpöä tuottavissa voimalaitoksissa kaukolämmöntarpeen mukaan. Usean eri höyryä tuottavan laitoksen kokonaisuudessa käytetään niitä myös usein sähkötehon säätöön. (Huhtinen ym. 2013, 160.) Höyryverkko



koostuu putkilinjojen, tuottavien ja kuluttavien laitteiden lisäksi reductio- ja varoventtiileistä, höyrytukeista, ilmaus- ja vesijärjestelmästä sekä monista muista, mutta mainitut laitteet on katsottu hyödyllisimmäksi selittää tarkemmin luvussa 9.2 käytöjen esimerkkien ymmärtämisen kannalta.

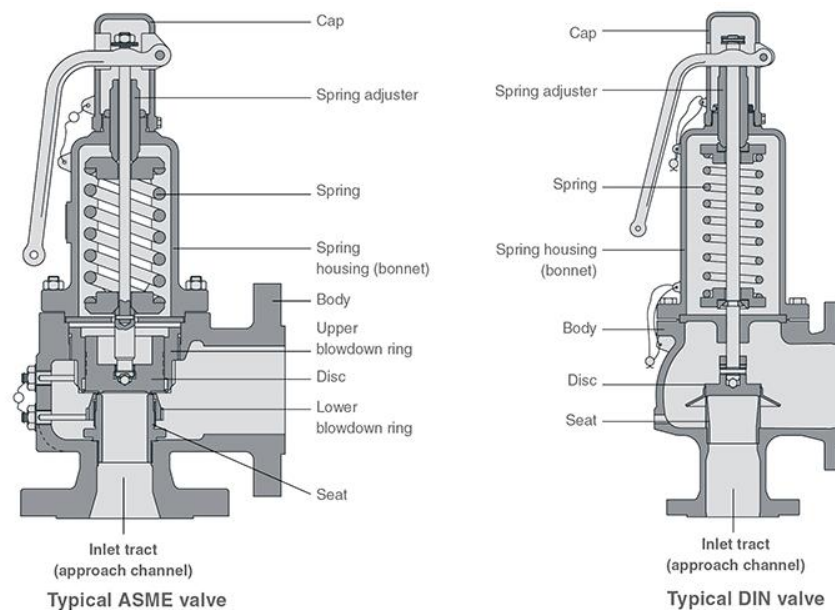
### 5.2.1 Höyrytukki

Höyrytukit voidaan ilmaista myös jakotukkeina, jotka toimivat jakajina rinnakkaisille höyrylinjoille. Voimalaitoksella on hyvin yleisesti käytössä eri painetasoja ja nämä tasot on tyypillisesti jaoteltu korkeapaine-, välipaine- ja matalapainetasoihin. Jokaiselle tasolle on käytössä oma jakotukki. Keskeinen osa höyryverkkojen hallinnassa on näiden paineiden pitäminen vakaana. Jakotukin vesitykseen on syytä kiinnittää huomiota siihen tiivistyvän lauhteen vuoksi. Mitoittaessa höyrytukkia on syytä valita tarpeeksi suuri, jotta vältetään sen aiheuttamilta painehäviöiltä. (Huhtinen ym. 2013, 81; Mönkkönen 2014, 5.) Esimerkkinä Suomenojan voimalaitoksella höyryn painetasot ovat MP 1–7 bar ja KP 12–15 bar.

### 5.2.2 Reduktio- ja varoventtiilit

Reduktioventtiiliin tehtävä on pudottaa höyryn painetasoa halutulle tasolle. Paineen alentaminen tapahtuu ns. paineenalennusasemalla, jossa reductioventtiili on yksi osa. Esimerkiksi paineenalennusasema voi koostua vedenerottimesta, roskasihdistä, reductioventtiilistä ja varoventtiilistä. Käytännössä vedenerotin erottaa tulevasta määrästä höyrystä lauhtuvan veden. Reduktioventtiili toimintansa mukaisesti alentaa paineen halutulle tasolla. Lopuksi asemalla on varoventtiili varotoimenpiteenä, jos paineenalennus epäonnistuu ja näin ollen syntyy vahinkoa laitteistoilla tai pahimassa tilanteessa henkilöstölle. (Introduction to steam distribution n.d.) Tarvittaessa höyryä voidaan myös jäähdyttää ruiskutusveden avulla, jos esimerkiksi höyry on tulistettua ja se halutaan palauttaa kylläiseen tilaan tai sen lämpötilaa halutaan pudottaa alemmas vastaamaan alemman painetason lämpötilaa (Pressure control applications n.d).

Varoventtiilien ensisijainen tehtävä on nimensä mukaisesti toimia varotoimenpiteenä eli toimia turvallisuutta lisäävänä tekijänä. Varoventtiileitä käytetään myös joissain tilanteissa estämään ylimääräisen paineen pääsyä prosessiin, joka voisi mahdollisesti vaurioittaa laitteistoa. Yksinkertaistettuna varoventtiili toimii, kun liian iso paine saavuttaa varoventtiilin sisääntulokohdan ja paine työntää venttiilin auki. Venttiilissä on tietyn määrä painetta vastustava jousi ja kun paine ylitetään jousi antaa periksi. (Introduction to safety valves n.d.) Kuviossa 5 on havainnollistavaa tietoa varoventtiilin tarkemmasta toiminnasta.



Kuvio 5. Tyypillisiä varoventtiiliratkaisuja (Introduction to safety valves n.d)

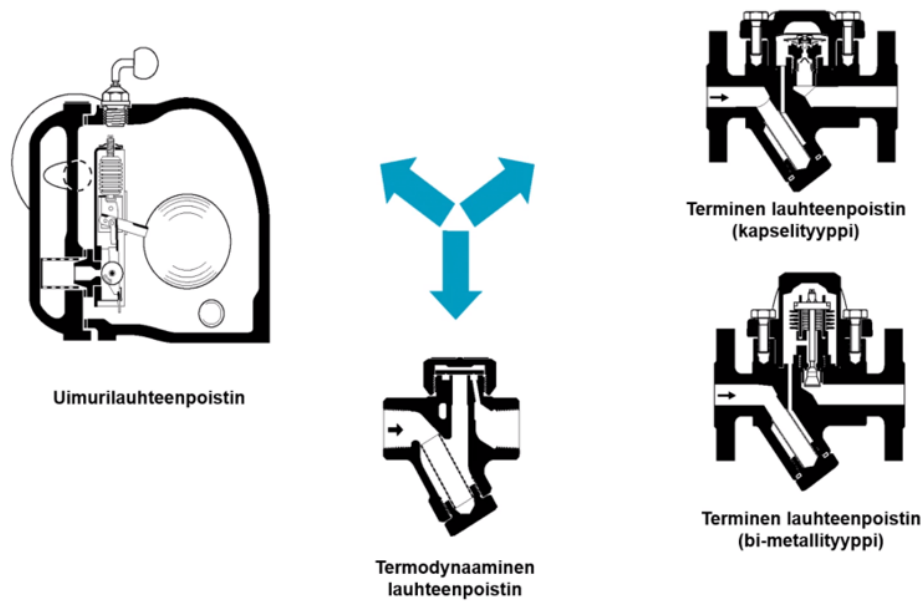
### 5.2.3 Ilmaus- ja vesitysjärjestelmä

Ilmaukset ja tyhjennykset, jatkuva ulospuhallus ja kattilan säilöntä muodostavat yhdessä ilmaus- ja vesitysjärjestelmän. Kattila ilmataan ja vesitetään ylös- ja alasajojen yhteydessä ilmaus- ja vesitysjärjestelmien kautta. Syöttövesi tuo kattilan vesikiertoon mukanaan pieni määrä haihtumattomia aineita. Ongelmaksi muodostuu epäpuhdistuksien rikastuminen kattilaveden ja näin ollen kattilaveden laatu huononee. Tämän vuoksi lieriöstä ulospuhalletaan jatkuvasti epäpuhdasta vettä. Höyryntuotannos-

ta noin 1–2 % koostuu ulospuhallettavan veden määrästä. Tällä toiminnalla vältetään huonolaatuisen veden aiheuttamalta lieriön kuohunnalta ja tulistinputkien sisäpinnoille kertyvältä suolojen kerrostumalta. Ulospuhallettava vesi höyrystyy, kun sen paine tasaantuu ulospuhallussäiliön paineeseen. Ulospuhalluksessa poistuva puhdas höyry voidaan kuitenkin käyttää hyödyksi esimerkiksi ajamalla se syvesäiliöön veden lämmittämiseksi. Vesi poistuu epäpuhtauksien kanssa ulospuhallussäiliön kautta lopulta viemäriin. (Huhtinen ym. 2013, 40.) Suomenojan voimalaitoksella ulospuhalluksesta syntynyt lauhde käytetään pääosin kaukolämmön lisävedeksi.

#### 5.2.4 Lauhteenpoistin

Lauhteenpoistimen tehtävä on poistaa lauhtunut vesi, ilma ja muut kondensoitumatomat kaasut höyryverkosta päästämättä kuitenkaan höyryä hukkaan. Lauhteenpoistin on keskeinen osa lauhteenkäsittelyä, sillä se on suorassa yhteydessä höyrynkäytön lauhteenpalautukseen. Lauhteenpoistin käytännössä puhdistaa lauhteen höyrysystemistä ja näin mahdollistaa höyryn saavuttamisen kohteensa niin kuivassa tilassa kuin mahdollista. Tällöin höyry pystyy tekemään työnsä mahdollisimman taloudellisesti ja tehokkaasti. (Why steam traps? n.d) Kuvion 6 mukaisesti lauhteenpoistimet voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: Uimurilauhteenpoistimiin, termisiin lauhteenpoistimiin (kapselityyppi ja bi-metallityyppi) ja termodynaamisiin lauhteenpoistimiin.



Kuvio 6. Lauhteenpoistintyypit (Lauhteenpoistintyypit 2017)

Termiset lauhteenpoistimet toimivat karkeasti periaatteella, jossa poistimeen virtaavan lauhteen lämpötila aiheuttaa siinä olevan mekanismin aktivoitumisen, joka puolestaan avaa tai sulkee lauhteen poistimen. Bi-metallityypissä mekanismina on kaksoismetallit, jotka lämmitessään kipuristuvat toisiinsa nähden nostaten karaa kiinni suuntaan pyrkien sulkemaan suuttimen. Kapselityypissä on vesi-alkoholiseos, joka lauhteen lämpötilan nousun myötä aiheuttaa kiehumista. Kiehumisen johdosta kapselissa olevan seoksen tilavuus kasvaa ja näin syntyvän paineen aiheuttamana sulkulautanen painuu kiinni-asentoon. (Lauhteenpoistintyypit 2017.)

Uimurilauhteen poistin voidaan käsittää myös mekaanisena lauhteen poistimena. Se on ainoa lauhteenpoistin, joka operoi kylmäisen höyryn rajapinnassa. Sitä mukaan, kun poistimeen virtaa lauhdetta, nostaa se sisällä olevaa uimuria, joka operoi sulkukuulaa poistamalla sen virtausaukon edestä. (Lauhteenpoistintyypit 2017.)

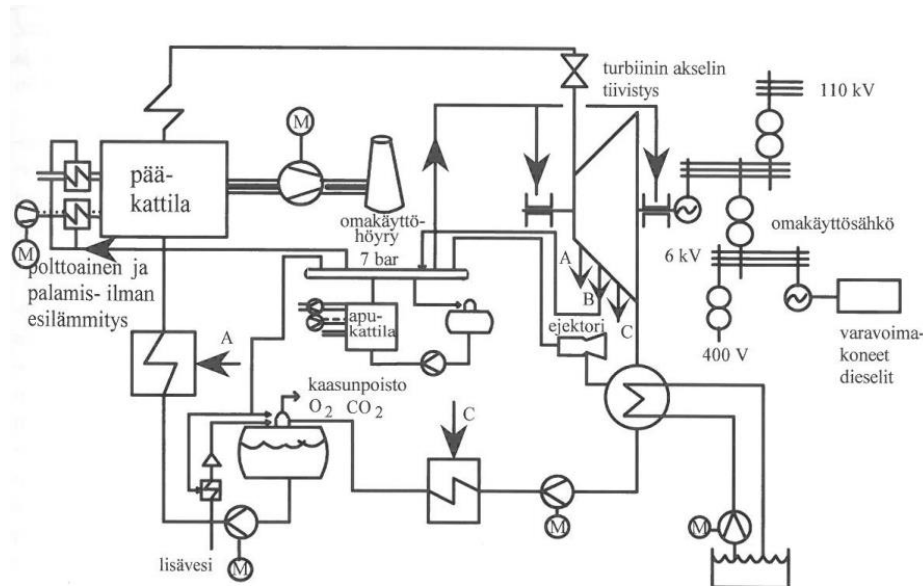
Termodynaaminen lauhteenpoistin koostuu painekammioista ja sen sisällä olevasta kiekosta. Alussa paine nostaa kammiossa olevan kiekon ja viileä lauhde sekä ilma poistuvat sisäkehältä, kiekon alta ja poistuu kolmen reuna-ulostulon kautta. Kuuman lauhteen virratessa sisääntuloaukon kautta kammioon, paine alkaa putoamaan kie-

kon alta aiheuttaen höyryn virtauksen nopeuden kasvun. Tämä korkea nopeus luo kiekon alle kohdan, missä vallitsee vähäinen paine, jonka vuoksi kiekko vetäytyy kohti sen petiä. Samaan aikaan höyryn paine kasvaa kammion sisällä pakottaen kiekon laskeutumaan sisään tulevaa lauhdetta vasten, kunnes se asettuu sisä- ja ulkokehän renkaita vasten. Tässä vaiheessa höyry ei pääse poistumaan kammion yläosasta ja paine kiekon yläpuolella vastaa painetta, jota syötetään kiekon alapuolelle sisäkehän renkaasta. Kuitenkin kiekon päälle vaikuttava voima on suurempi kuin voima alapuolella, koska päällä paine vaikuttaa isommalle pinta-alalle. Termodynaamisten lauhdeenpoistimien etu on niitten käytettävyys kovissa paineissa ja tulistetun höyryn kanssa. Ne eivät ole herkkiä vesi-iskuille ja väristyksille. Lisäksi ruostumattomasti teräksestä tehdyt mallit kestävät hyvin korroosiota. (Thermodynamic steam traps n.d.)

### 5.3 Omakäyttöhöyryjärjestelmä

Voimalaitoksen pääprosessista puhuttaessa tarkoitetaan polttoaineen energian muuttamista lämmöksi tai sähköksi. Pääprosessin höyryä vaativiin aputoimintoihin käytettävää höyryä kutsutaan omakäyttöhöyryksi. Aputoimintoja voivat esimerkiksi olla turbiinin akselin tiivistys, lämpöpintojen nuohoukset, lauhduttimen tyhjiöinjektorit, polttoaineen lämmitys kuten raskaspolttoöljy ja veden käsittely (kts. kaasunpoisto). Laitoksen seisokkiaika sekä ylösajot ovat omakäyttöhöyryn kannalta keskeisiä tilanteita. Näihin tilanteisiin voimalaitoskokonaisuuteen kuuluu apukattila. Apukattilassa tuotetaan kylläistä höyryä polttamalla kevytöljyä tai helposti syttyvää kaasua. Kylläinen höyry tuotetaan suoraan omakäyttöhöyrytukkiin. Laitoksen pääkattilan ollessa ajossa, otetaan omakäyttöhöyry yleensä turbiinin väliotosta. Syynä tälle on yleisesti pääkattilassa poltettava halvempi polttoaine ja lisäksi turbiinille menevä höyry tuottaa sähköä. Noin 10 % osuus koko laitoksen höyrytarpeesta voi koostua omakäyttöhöyrystä. Kyseessä on merkittävä kustannus, joten omakäyttöhöyryä kuluttavat kohteet on syytä varustaa kulutusta seuraavilla mittauksilla. Mittausten avul-

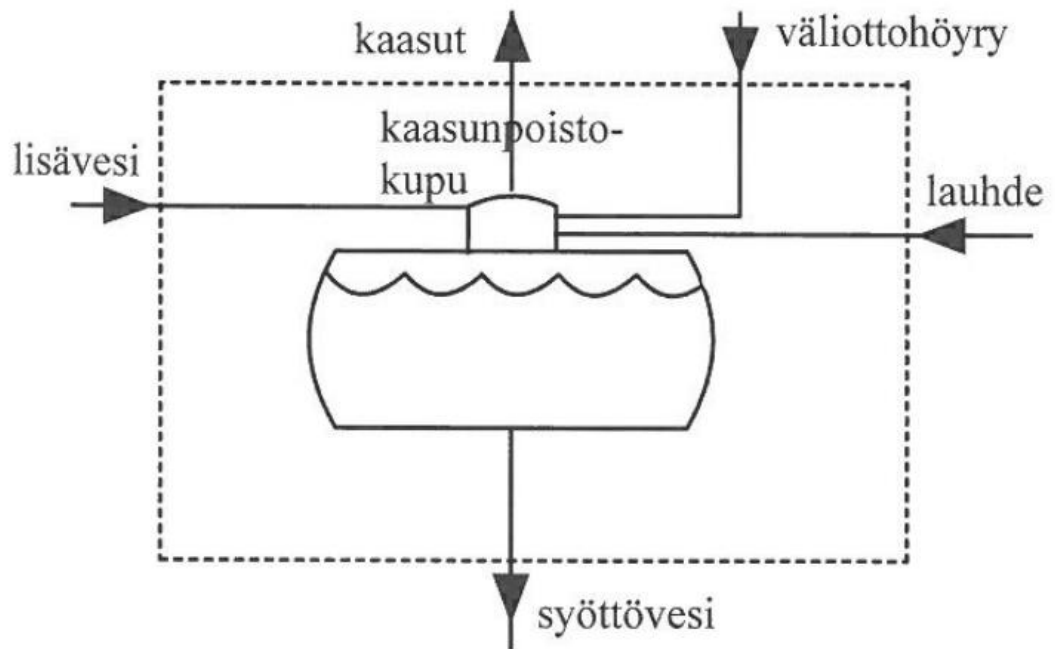
la voidaan karsia turhaa omakäyttöhöyryn kulutusta. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 43–44.)



Kuvio 7. Omakäyttöhöyryjärjestelmä (Huhtinen ja muut 2013, 43)

#### 5.4 Syöttövesisäiliö

Kattilaan syötettävän veden varaajana toimii syöttövesisäiliö eli syvesäiliö. Syöttövesisäiliö on myös osa voimalaitoksen vedenkäsittelyä johtuen siihen sidoksissa olevasta kaasunpoistajasta. Syöttövesi lämmitetään syvesäiliössä turbiiniväliottohöyryllä kylläiseksi vedeksi. Toisin sanoen veden lämpötilaa nostetaan vastaamaan säiliön paineessa olevan höyryn höyrystyslämpötilaa. Syöttövesisäiliön paineistaminen tapahtuu turbiiniväliotosta otetulla höyryllä. Syvesäiliö toimii myös sekoituslämmönsiirtimenä. Lauhdepumpulla säiliöön pumpattu lauhde lämpiää haluttuun lämpötilaan, kun lauhtuva väliottohöyry sekoittuu veteen. Tyypillisesti voimalaitoksen lisävesi päättyy myös vesihöyrykiertoon syvesäiliön kaasunpoistimen läpi, jotta vedessä olevat kaasut saadaan poistettua. Syvesäiliön ollessa märkäsäilönässä pidetään ilmastasta tulevat kaasut säiliön ulkopuolella pitämällä säiliössä pieni ylipaine.



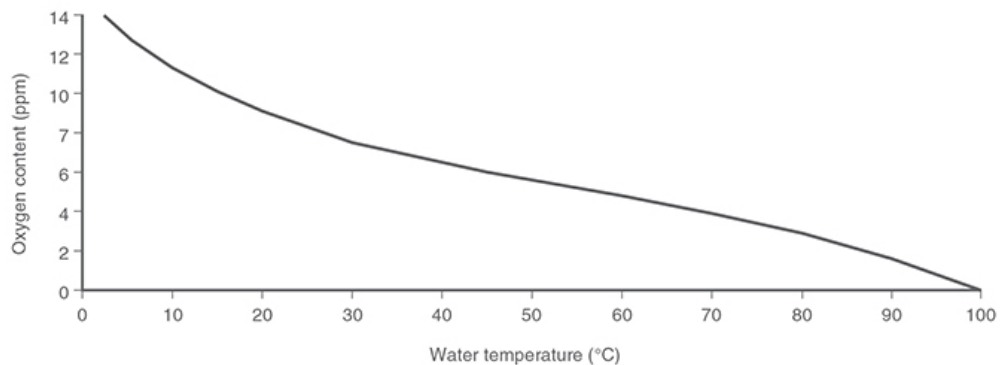
Kuvio 8. Syöttövesisäiliö (Huhtinen ja muut 2013, 23)

## 5.5 Kaasunpoisto

Kattilassa, syöttöpumpuissa, putkilinjoissa ja säiliöissä tapahtuvan korroosion takana on yleisimmin vedessä oleva happi. Jos vedessä myös esiintyy hiilidioksidia, kertoo se yleensä liian matalasta pH-arvosta vedessä. Hiilidioksidia sisältävä vesi on hapanta ja se kiihdyttää tapahtuvaa korroosiota entisestään. Liuenut happi voidaan poistaa vedestä kemiallisin sekä fysikaalisin menetelmin ja usein se tapahtuukin näiden kahden yhdistelmällä. Keskeisimmät korroosiota estävät toimenpiteet ovat pitää veden pH 8.5 ja 9 välillä sekä poistaa kaikki happi vedestä. (Pressurised Deaerators n.d.)

Syöttöveden käsittelyn ensimmäinen vaihe on lämmittää sitä, että siinä oleva kaasu saadaan poistettua. Tyypillisesti syöttövesisäiliön lämpötila tulisi olla 85°C ja 90°C välillä, koska tällöin hapen määrä vedessä on noin 2 mg/litra. Kohdatessaan ilman alkaa vesi hapettumaan ja mitä korkeampi lämpötila tilanteessa vallitsee, sen heikommin kaasut liukenevat veteen. Loput hapestasta tarvittaessa poistetaan lisäämällä

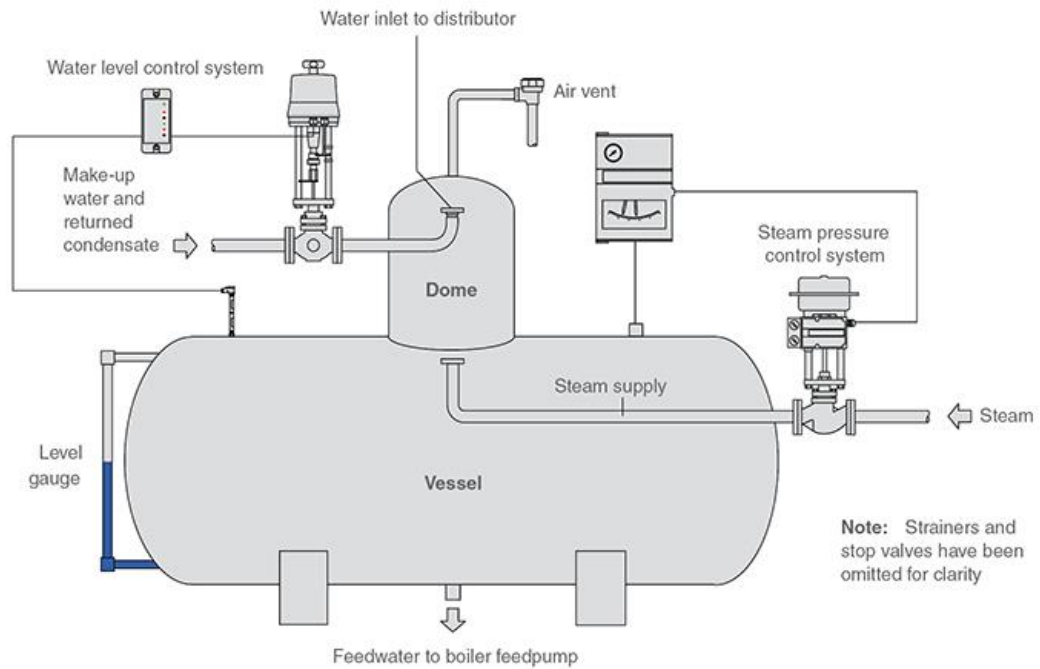
veteen happea keräävää kemikaalia kuten natriumsulfidia, hydratsiiniä tai tanniineja.  
(Pressurised Deaerators n.d.)



Kuvio 9. Veden lämpötila suhteessa happisisältöön (The feedtank and feedwater conditioning n.d)

On yleistä, että isommissa laitoksissa syöttövesisäiliöihin asennetaan lisäksi erillinen kaasunpoistojärjestelmä. Järjestelmä koostuu itse syöttövesisäiliöstä ja ilmanpoistokupolista. Jotta saavutettaisiin mahdollisimman hyvä kaasunpoisto, johdetaan palaa-va lauhde ja lisävesi lokerotyypiseen ilmanpoistokupoliin nesteen läikkymisen maksimoimiseksi. Ilmanpoistokupolissa on useita eri lokeroita, joihin paluulauhde ja lisävesi jaetaan. Lokerot ovat suorassa kosketuksessa alhaaltapäin tuotuun lämmitys-höyryyn. Säiliössä syöttöettä lämmitetään haluttuun lämpötilaan höyrysuuttimien avulla. Vedestä poistuneet kaasut nousevat säiliön yläosaan. Sieltä ne johdetaan ilmanpoistokupoliin, jossa olevasta tuuletuslinjasta ne lopulta poistuvat. (Syöttövesisäiliö ja kaasunpoisto n.d.)





Kuvio 10. Esimerkkiratkaisu kaasunpoistojärjestelmästä (Pressurised Deaerators n.d.)

## 5.6 Lieriö ja luonnonkiertokattila

Lieriö on voimalaitoksen vesihöyrypiirin osa, missä kyllästetty höyry erotellaan kiehuvaasta vedestä. Lieriö on käytössä kaikissa moderneissa höyrykattiloissa lukuunottamatta läpivirtauskattiloita. (El-Wakil 1984.) Kappaleen 9.2.1 esimerkissä, missä kaasunpoistohöyry otetaan lieriöstä, on tyypiltään luonnonkiertokattila, joten tässä kappaleessa käsitellään tämän tyyppisen ratkaisun lieriön toiminta.

Luonnonkiertokattilan toiminta perustuu lieriön ja höyrytimen välillä olevaan paineeroon. Tämä paine-ero muodostuu, kun vesi alkaa höyrystymään lämmityksen johdosta ja näin kevyempi höyry alkaa nousta ylös kohti lieriötä. Lieriön sisällä höyry erottuu vedestä painovoimaisesti, koska veden tiheys on korkeampi kuin höyryn. Sieltä höyry johdetaan edelleen tulistimille tai suoraan tarvittavaan käyttökohteeseen. Lieriössä on siis kylläistä vettä ja höyryä. Lieriöön kylläinen vesihöyryseos tulee höyrytimien nousuputkia pitkin ja höyrystymätön vesi palaa laskuputkia pitkin takaisin höyrytimille. Lieriöitä voidaan käyttää myös veden kemialliseen puhdistamiseen

ja ulospuhallukseen vedessä olevien kiinteiden aineiden poistoon. On syytä ottaa huomioon, että painovoimainen erottelu on riippuvainen veden ja höyryn tiheyseroista. Höyryn paineen kasvaessa se lähestyy veden tiheyttä ja saavuttaessaan 231 barin kriittisen paineen veden ja höyryn tiheys on  $315 \text{ kg/m}^3$ . Yli 160 barin paineissa luonnonkiertokattila ei enää toimi johtuen veden ja höyryn liian pienestä tiheyseroista. (El-Wakil 1984, 94; Huhtinen ym. 2013, 90.)

## 6 Tekoäly ja koneoppiminen

Käytettäessä termiä tekoäly tarkoitetaan sillä hieman eri asioita riippuen kontekstista, eikä sille ole yhtä yleisesti hyväksyttyä rajausta. Kuitenkin voidaan todeta, että tekoälyllä tarkoitetaan koneiden älykästä toimintaa. Tekoälyteknologia erottuu muista teknologioista siinä, että tekoäly on saanut inspiraationsa ihmiskehosta, kuten oppimisesta, päättelykyvystä, toimintakyvystä, aisteista ja hermojärjestelmästä. Tekoälyn muodostaa joukko teknologioita, joiden sovellukset esiintyvät hyvin erilaisissa asiayhteyksissä. Toisin sanoen tekoälyllä voidaan käsittää laajempaa ilmiötä, jossa eri teknologiat ja tekoälynsovellukset vaikuttavat ihmisten elämään tai sen voi käsittää joukkona tietojenkäsittelyyn liittyviä teknologioita. Tekoäly ei sovellu läheskään kaikkeen ja moniin ongelmiin se on liian raskas lähestymistapa, kuitenkin tekoäly tarjoaa paljon ratkaisuja yhteiskunnallisiin ongelmiin ja erilaisiin liiketoimintamalleihin. Esimerkkeinä tekoälyn sovelluksista mainittakoon puheentunnistus, luonnollisen kielen käsittely, suurien datamäärien jäsentely, autonomiset ajoneuvot ja lennokit, algoritmiset suositukset alustapalveluissa, diagnoosi- ja asiantuntijajärjestelmät, chat-botit ja virtuaaliset avustajat. (Anttila ym. 2018, 12.)

Puhuttaessa koneoppimisesta tarkoitetaan sillä itse asiassa juurikin tekoälyä. Oppivien koneiden tutkiminen ja luominen käsittää tietojenkäsittelytieteen alan, jota kutsutaan koneoppimiseksi. Koneoppiminen on tekoälyn alaluokka, joten ei pidä ajatella, että se olisi yhtä kuin tekoäly. Moni tämänhetkisistä tekoälysovelluksista perustuu nimenomaan koneoppimiselle ja näin olleen se on erittäin tärkeässä asemassa puhuttaessa tekoälystä. Koneoppiminen mahdollistaa tietojen analysoinnin tietokoneel-

la ja näihin nojaten pystyy perusteltuun päätöksentekoon opittujen esimerkkien pohjalta. Esimerkiksi prosessissa olevassa mittauksessa tulee pieni poikkeama johtuen jonkun toisen prosessin osan muutoksesta. Tässä tilanteessa koneoppivajärjestelmä aikaisempien esimerkkien pohjalta päättää, onko kyseessä yksittäinen ei-reagoitava tilanne vai joku järjestelmällinen ilmoitus tulevasta ongelmasta, josta täytyy ilmoittaa välittömästi. Koneoppiminen vaatii suurta laskennallista tehoa, koska tekoäly käyttää tiedon analysoinnissa monimutkaisia matemaattisia malleja, jotka koostuvat lukemattomista yhteen liitetystä matemaattisista funktioista. Nämä funktiot pystyvät käsittelemään järjestelmään tulevan tiedon tai käyttämään sitä ennustamaan oletettuja arvoja, korreloimaan arvoja toisiinsa ja huomaamaan epänormaalin käyttäytymisen. Kuitenkin on syytä muistaa, että mallin tehokkaan toimimisen kannalta se täytyy kouluttaa tai sen täytyy toisin sanoa opettaa itseään vertaamalla sille määritettyä epänormaalia käyttäytymistä normaalitilanteeseen. (Anttila ym. 2018, 15; Kalabin 2018, 35.)

## 7 MP INTelligence

MP INTelligence on älykkään kunnossapidon järjestelmä, joka valvoo voimalaitoksia ja kaukolämpöverkkoja. Sen sovelluskohteita on käyttö- ja kunnossapitotoimintojen analysointi, optimointi ja ohjaaminen. Yritys lupaa tuotantohäiriöiden ehkäisyä 30–80 % tasolla, olivat ne sitten käyttövirheitä tai laitevikoja. (Maintpartnerin älykkään kunnossapidon järjestelmä MP INTelligence valvoo voimalaitoksia ja kaukolämpöverkkoja 2017.)

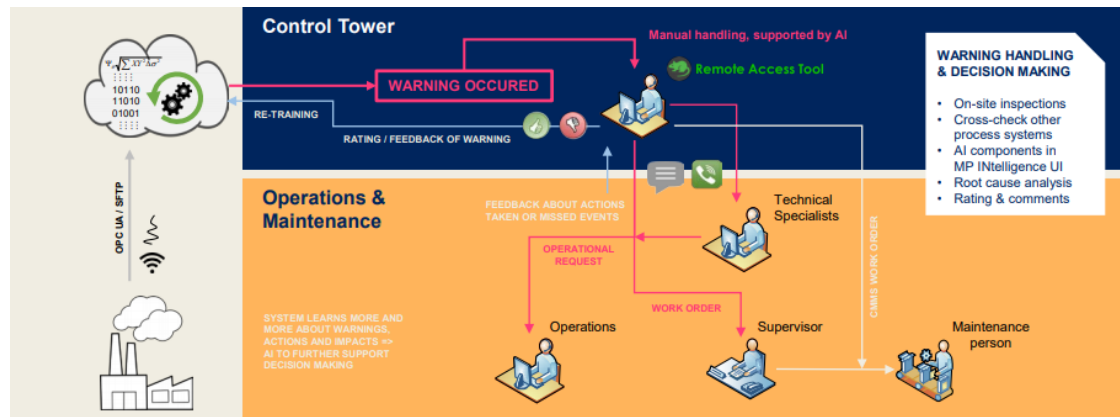
### 7.1 Tietoa järjestelmästä

Järjestelmän taustalla on neuraaliseen hahmojentunnistukseen perustuva koneoppivajärjestelmä, jota valvotaan Maintpartnerin Control Tower -etävalvonnan avulla. Järjestelmällä voidaan hallita kymmeniä tuhansia parametrejä jokaisella laitoksella.

MP INTelligence kykenee valitsemaan laitosten kymmenien tuhansien parametrien joukosta juurin niiden mittausten ja epänormaalien käyttäytymisten seuraamisen,

joiden tarkkailun painoarvo on normaalia suurempi kussakin vallitsevassa tilanteessa. Tämän mahdollistaa järjestelmän taustalla toimiva tekoäly. (Maintpartnerin älykkään kunnossapidon järjestelmä MP Intelligence valvoo voimalaitoksia ja kaukolämpöverkkoja 2017.) Normaalin automaatiojärjestelmän ja MP Intelligencen keskeisin ero on, että automaatiojärjestelmä hälyttää vasta, kun sille määritetty raja-arvo on saavutettu, kun taas MP Intelligence seuraa mittauksen käyttäytymistä pitkältä aikaväliltä, toisin sanoen MP Intelligencessä raja-arvo määräytyy kuhunkin tilanteeseen sopivaksi. Lisäksi MP Intelligence seuraa useaa eri toisiinsa sidoksissa olevaa mittausta sekä niiden välistä korrelaatiota.

MP Intelligencen selittäminen kokonaisuutena on helppoa kuvion 11. pohjalta. Tilanne voisi esimerkiksi mennä esimerkiksi siten, että voimalaitoksella on toiminnassa mittauksia, jotka kulkevat pilven kautta. Pilvessä on järjestelmän matemaattinen ja älyllinen osuus, joka käsittelee mittausdatan. Tässä vaiheessa järjestelmä havaitsee hälytyksen, joka näkyy työpisteellä MP Intelligence -käyttöliittymässä. Työpisteeltä järjestelmään päästään RAT eli remote access tool etäkäyttöohjelman avulla. Hälytyksen käsittelijä avaa hälytyksen ja harkintansa mukaan tulkitsee, onko kyseessä oikea vai väärä hälytys. Kun kyseessä on oikea hälytys, käsittelijä ottaa yhteyden tekniseen asiantuntijaan, esimerkiksi voimalaitoksen prosessivastaavaan. Prosessivastaava tulkitsee hälytyksen oman näkemyksensä mukaan ja antaa prosessia ohjaavalle henkilölle toimenpide-ehdotuksen mahdollisen ongelman korjaamiseksi. Tässä vaiheessa käsittelijä ”opettaa” systeemiä muutamalla eri komennolla (opettamisesta kerrotaan kappaleessa 8.3) riippuen hälytyksen laadusta systeemin kehittämiseksi. Toisessa skenaariossa hälytys voisi käsittää esimerkiksi moottorin laakerin noussutta lämpötilaa, jolloin käsittelijä olisi yhteydessä kunnossapito-organisaation esimieheen. Esimiehelle lähtisi suoraan työpöytä, jonka hän välittäisi kunnossapitäjälle.



Kuvio 11. MP Intelligence palvelu kokonaisuutena (MP Intelligence, Predictive Production Performance Monitoring 2017.)

Järjestelmän käyttöönotto laitokselle voisi karkeasti mennä seuraavalla aikataululla ja se voitaisiin jakaa 4 eri vaiheeseen.

Ensimmäisen 2–4 viikon aikana MP service tekee mallin määrittämisen, mittausten karkean ryhmittämisen, datayhteydet ja sen siirtoon liittyvät käytännön toimet. Ensimmäisen vaiheen aikataulu on vahvasti sidoksissa tiedonsiirtoyhteyksien valmiuksista asiakkaan päässä. Asiakas kerää positiolistan halutuista mittauksista, selvittää laitehierarkiat ja tiedon saatavuudet. Lisäksi asian tiimoilta pidetään yhden päivän mittainen tapaaminen.

Seuraavien 1–2 viikon aikana MP service puhdistaa mittausdataa ja esiprosessoi sitä, laittaa mallin itsenäiseen oppimiseen ja tehostaa mallia. Asiakkaan tehtävänä on ainoastaan nimetä ensimmäiset RAT-käyttäjät ja ohjaustiimin jäsenet.

Näitä seuraavien 1–2 kuukauden aikana MP servicen osuus on saada malli verkkoon ja koulutetuksi, aktiivisesti seurata sekä käsitellä hälytyksiä, tehostaa mallia entisestään ja järjestää usein jopa päivittäisiä soittoja asiakkaalle. Asiakas käy puolenpäivän mittaisen RAT-koulutuksen joko kasvotusten tai puhelimen välityksellä, seuraa RAT:ia ja on MP:n kanssa asian tiimoilta puhelinyhteydessä lähes päivittäin.

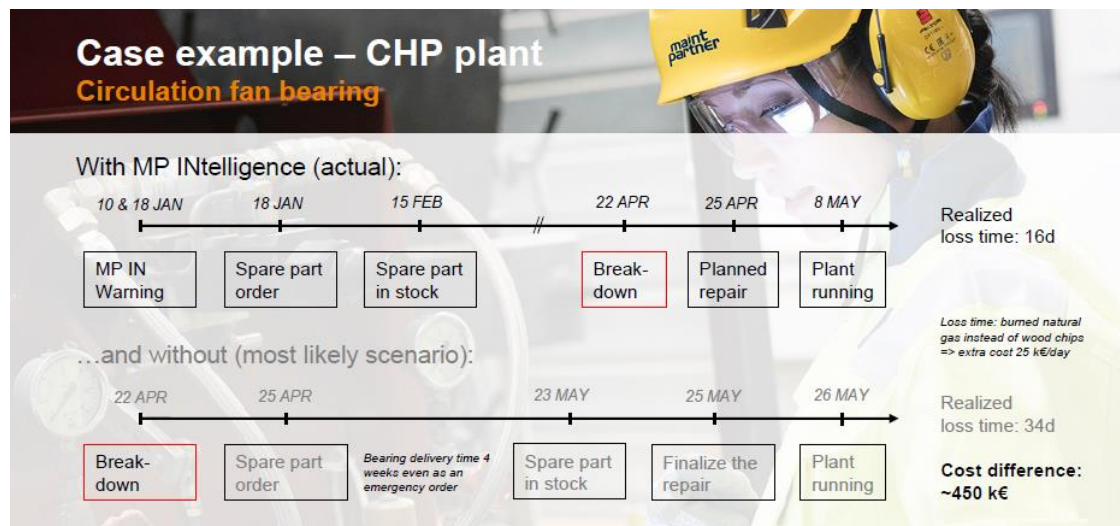
Tämän jälkeen alkaa vaihe, joka pysyy koko palvelun ajan. MP vastaa ohjelmiston ylläpidosta ja päivityksistä, varmistaa hyvin toimivan mallin, valvoo mallin suoritusta,

järjestää tukea MP:n control towerin kautta ja osallistuu viikoittaiseen arvioon. Asiakas käyttää RAT:ia päivittäin, toimittaa näkemyksiä ja käyttäjäkokemuksia ja osallistuu viikoittaiseen arvioon.

## 7.2 Valinnan perusteet

Kappaleessa 1.3.1 käytiin MP Intelligence -järjestelmän etuja ja haasteita opinnäytetyön tutkimusongelman ratkaisemiseksi. Tässä kappaleessa syvennyttään hieman tähän päätökseen ja syihin sen takana. Päätöksen tekoon vaikuttaneet kriteerit voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri pääkohtaan: Tuoko opinnäytetyö itsessään uuttaa alalle ja/tai toimeksiantajalle, kuinka hyvin sen avulla pystytään täyttämään opinnäytetyölle määritetyt tavoitteet sekä kuinka paljon se tuo lisäarvoa toimeksiantajalle niin nykyhetkessä kuin mahdollisesti tulevaisuudessa.

Kuten työssä on aikaisemminkin mainittu, höyrynkäytön tutkiminen ja optimointi on varsin yleinen, mutta erinomainen aihe opinnäytetyölle. Lisäämällä tähän alkuperäiseen ongelmaan teollisuuden mittakaavassa varsin uuden tulokkaan tekoälyn, saatiin ensimmäiseen pääkohtaan päätöstä puoltavia seikkoja. Tietyiltä osin tekoälyn käyttö teollisuudessa on tutkittu aihealue, mutta sen spesifioiminen höyrynkäytön optimointiin karsi huomattavasti aikaisempien tutkimusten määrää. Yrityksellä oli valmiit näytöt järjestelmän toimivuudesta kunnonvalvonnan puolella sekä selkeä visio järjestelmän käyttötarkoituksen laajentamisesta tulevaisuudessa, joten voidaan todeta, että työ toi uutta alalle ja toimeksiantajalle. Kuviossa 12 on esitetty järjestelmän havaitsemasta kehittyvästä ongelmasta, johon puuttuminen ajoissa toi yritykselle suoraa rahallista säästöä. Tämä on haluttu tuoda esille ikään todisteena järjestelmän toimivuudesta ennen tätä työtä.



Kuvio 12. Esimerkki MP INTElligencen löytämästä kehittyvästä viasta (MP INTElligence, Predictive Production Performance Monitoring 2017)

Toiseen pääkohdan perusteluihin on aluksi syytä mainita opinnäytetyön tavoitteet. Pää tavoitteena mainittiin alussa, että opinnäytetyön päätavoitteena oli luoda ratkaisu vastaamaan laitoksella havaittuun omakäyttöhöyryn tehottomaan kohdentamiseen. Myöhemmin työ päätettiin laajentaa koskemaan koko höyryverkkoa, mikä osaltaan myös lisäsi toisen pääkriteerin täyttymistä, jos MP INTElligence valittaisiin ratkaisuksi. Suomenojan voimalaitos on useasta eri laitoksesta koostuva kokonaisuus ja höyryverkko myös tietysti sen mukainen. Tämän seikan vuoksi kokonaiskuvan muodostaminen höyryverkosta ja kaiken siitä tulevan mittausdatan käsittelystä olisi varsin suuritöinen operaatio. Kuitenkaan MP INTElligence ei asettanut tiedon käsittelylle varsinaisesti mitään määrällisiä rajaehdoja, joten voitiin katsoa, että MP INTElligencen kaikki tämä tieto saataisiin hallitusti ja kaikkein tehokkaimmin kerättyä. Lisäksi tiedon käsittely olisi muista vaihtoehdoista mutkattomin, mikä vapauttaisi resursseja varsinaisten epäkohtien käsittelyyn.

Kaikkien ratkaisuvaihtoehtojen onnistunut toteutus olisi tuonut työnantajalle lisäarvoa niin ikään paremmin toimivan höyryverkon osalta. Kuitenkin MP INTElligence toi sitä selkeästi enemmän paristakin eri syytä. Ensinnäkin MP INTElligence on toimeksiantajan oma tuote, joten kaikki siitä tehtävät tutkimukset, kokeilut ja työt ovat arvo-

kasta tietoa. Toiseksi perusteluksi voidaan todeta, että kyseinen ratkaisu on vaihtoehtoista parhaiten tulevaisuuden laitoskonstruktio muutoksiin vastaava työkalu. MP Intelligenceen voidaan jo ennen tapahtuvia muutoksia säilöä valtava määrä tietoa eri ajomallien ja käyttötilanteiden pohjalta. Näissä oleva höyrynkäyttötieto on arvokasta tietoa, kun tuottavia laitoksia alkaa alueelta poistumaan ja ajankohtaiseksi nousee vaihtoehtoisten menetelmien mitoittaminen vähentyneen tuotannon kattamiseksi.

## 8 Systemin rakentaminen

Puhuttaessa systeemistä, tarkoitetaan sillä MP Intelligenceä rakennettua ohjelmistopohjaista työkalua, joka tarkkailee siihen lisättyjen mittausten epänormaaleja käyttäytymiä sekä mittausten välisiä korrelaatioita. Systemin rakentaminen muodostui höyryverkon kartoittamisesta, mittausten lisäämisestä järjestelmään sekä systemin opettamisesta ja uudelleen kouluttamisesta.

### 8.1 Höyryverkon kartoittaminen

Jotta työ voitiin edes varsinaisesti aloittaa, oli syytä perehtyä voimalaitoksen höyryverkkoon. Työn alussa voimalaitoksen höyryverkkoon perehdyttiin Metso DNA -käyttöliittymän välityksellä. Käytännössä käyttöliittymästä avattiin suurin osa höyryyn liittyvistä prosessikuvista ja niihin perehtymällä muodostettiin kokonaiskuva voimalaitoksen höyryverkosta. Kun kokonaiskuva oli saatu muodostettua, alettiin kartoittamaan, mitkä osat verkosta haluttaisiin ottaa osaksi systeemiä. Järjestelmä ei itsessään rajoittanut siihen lisättyjen positioiden määrää, joten parhaaksi vaihtoehdoksi katsottiin mennä ennemmin liikaa kuin liian vähän -periaatteella. Näin ollen systeemiin valikoituivat lähes kaikki höyryyn suoraan tai epäsuorasti vaikuttavat mittaukset, pois lukien binääriarvoa näyttävät mittaukset. Työn ensimmäinen vaihe oli siis kerätä Excel-taulokkoon höyryyn liittyvien mittausten positiotiedot.



## 8.2 Positioiden lisääminen

Suurin osa positioista löytyi jo valmiina MP Intelligencestä, koska sitä on käytetty laitoksella älykkään kunnonvalvonnan työkaluna. Kuitenkin höyryverkkoa ei kokonaisuutena järjestelmässä ollut, joten useita positioita täytyi lisätä sinne. Metso DNA:sta MP Intelligenceen ei kuitenkaan positioita voinut suoraan siirtää, sillä Fortumin käytäntö on, että kaikki systeemiin tuodut positiot pitää kuljettaa heidän oman TOPi-tietojärjestelmän kautta. Positiot siis ensin etsittiin Metso DNA:sta, lista positioista ilmoitettiin TOPi-pääkäyttäjälle, joka lisäsi ne järjestelmään. MP Intelligenceen positiot päätyivät TOPi-järjestelmästä. Näiden positioiden lisäksi järjestelmään lisättiin keinotekoisesti tehdyt käyttötilannetagit, jotka on laskettu jo olemassa olevista positioista. Näiden avulla systeemille voidaan määrittää eri käyttötilanteisiin vastaavia toimintamalleja. Käyttötilannetagiin taustalla on MP Intelligenceen tekoälyn takana oleva Synchron Tech Oy yritys, joka on mahdollistanut alustan näiden tagien luomiselle. Tagit on varsinaisesti ohjelmoitu Maintpartnerilla toimivan ammattilaisen toimesta.

## 8.3 Systeemin opettaminen ja uudelleen koulutus

Kuten luvussa 9 mainittiin, on systeemin tehokkaan toimimisen kannalta välttämättöntä määrittää sille, milloin vallitseva tilanne on normaali ja milloin kyseessä on poikkeama. Tämä opettaminen tapahtui tämän työn systeemissä käytännössä kolmen eri komennon kautta: *truepositive*, *falsepositive* ja *ignore*. Hälytykseen reagoitivaihtoehtoja järjestelmässä oli vielä *unclear* ja *under investigation*, mutta työssä näitä vaihtoehtoja ei käytetty, joten asiasisällön kannalta perehdytään kolmeen alussa mainittuun. Liitteestä 4 voidaan nähdä kuvaajan neljä eri signaaliarvoa: sinisellä värillä oleva *observed*, joka kertoo mittauksen sen hetkisen tiedon, vihreä *expected* joka on systeemin laskema ennuste, punainen *alarm* joka antaa automaatiassa olevan hälytystiedon, oranssi alue eli *warning* joka kuvaa ajanjaksoa, josta systeemi on hälytyksen muodostanut ja turkoosi alue *events* joka näyttää ennalta määrätyn poik-

keavan ajanjakson kuten esimerkiksi huoltoseisokin. Näistä tulkitsemalla käsittelijä muodostaa päätöksen ja opettaa mallia sen vaatimalla tavalla.

Truepositive-komentoa käytetään, kun hälytys on todellinen ja se vaatii reagointia. Toisin sanoen se antaa systeemille viestiä, että reagointi tapahtui syystä ja vastaisuudessa samanlainen käytös on korrektia. Nämä tilanteet otetaan erikseen käsittelyyn ja niihin reagoidaan niiden vaatimalla tavalla. Hälytystä varten kommenttikenttään voidaan kirjoittaa mahdollinen vian aiheuttaja tai spekulatio tiedon siirtämiseksi eteenpäin. Tulokset-osiossa käsitellään kolme eri tapausta, jota opinnäytetyönä tehty systeemi on havainnut ja joihin on reagoitu truepositivena eli oikeana hälytyksenä.

Falsepositive-komennolla annetaan systeemille viestiä, että mallin tulkinta on väärä ja että vastaavassa tilanteessa hälytystä ei ole syytä antaa. Aina kun hälytykseen reagoidaan falsepositivella, on tärkeää olla varma, että kyseessä todella on väärä hälytys. Muuten systeemiä lähdetään kouluttamaan väärille käyttäytymismalleille ja malli epäsuotuisimmassa tilanteessa ei hälytä todellisissa tilanteissa. Falsepositive on varmasti yleisin reagointi varsinkin alussa, kun kouluttamaton systeemi hälyttää lähes kaikesta. Tässä työssä hyvin usein reagointi väärään hälytykseen oli mallin epätarkkuus tai jos esimerkiksi muuttuneen käyttötilanteen vuoksi tullut hälytys kuitattiin normaalina ajotilanteena. Liitteessä 4 on tyypillinen mallin epätarkkuus. Tilanteessa KP-Lierion jatkuvanulospuhalluksen venttiili on ollut 10 % auki, jonka jälkeen se on suljettu normaalisti tilanteen muuttuessa. Vihreästä käyrästä voidaan huomata, kuinka malli on yrittänyt ennustaa muuttuvaa tilannetta, mutta hetken päästä havainnut siihen kykenemättömyytensä ja antanut hälytyksen.

Ignore-komentoa käytetään tilanteissa, kun ei olla varmoja, onko kyseessä oikea vai väärä hälytys. Mallille ei haluta antaa positiivista viestiä, kun toisaalta hälytytystä ei haluta sivuttaa, ja siitä halutaan vastaisuudessakin hälytys.

Systeemille annetut opetukset tulevat voimaan vasta kun sille tehdään uudelleen-koulutus. Käytännössä tässä vaiheessa se tarkastelee sille annetut opetukset ja muodostaa käyttäytymismallit uudestaan. Uudelleen-koulutuksen myötä systeemi myös niputtaa mittaustietoja paketteihin, joiden se uskoo olevan sidoksissa toisiinsa. Näitä

nippuja on myös syytä tarkkailla ja poistaa mahdolliset väärät toisiinsa ei sidoksissa olevat korrelaatiot. Näitä nippuja voi muodostaa myös itse systeemin opettamisen ja parantelun nopeuttamiseksi.

## 9 Tulokset

Työn keskeisimmäksi tulokseksi ja näin ollen myös tutkimusongelman ratkaisuksi muodostui MP INtelligence -järjestelmällä rakennettu optimointisysteemi. Luvussa esitelläänkin valmiin systeemin lisäksi myös kolme esimerkkiä, jotka systeemi havaitsi olleessaan toiminnassa. Lisäksi esimerkeissä paneudutaan havaittujen ongelmien juurisyihin sekä mahdollisiin ratkaisuehdotuksiin, joilla todellinen optimointi tapahtuisi.

### 9.1 Valmis systeemi

Keskeisimpänä tuloksena työssä saatiin aikaiseksi MP INtelligence -palveluun perustuva, koko voimalaitoskombinaation höyryverkon kattava systeemi. Systeemi kattaa lähes 300 mittauspistettä ja se on ollut ”oppimassa” voimalaitoksen höyrynkäyttöä 17.4.2018 alkaen. Tarkennettuna systeemin tarkkailuun kuuluu siis viiden voimalaitosyksikön höyrypiirit, kaukolämpöakku, laitoksen omakäyttöhöyryverkko sekä muutamia mittauksia liittyen kaukolämpöverkkoon ja epäsuoraan höyrynkäyttöön. Työssä rakennettu systeemi on osoittanut toimivuutensa ja tästä syystä tulokseksi voidaan myös nostaa MP INtelligencen soveltuvuus vastaavien kokonaisuuksien optimoinnissa. Systeemi on jo otettu käyttöön laitoksella, eli käyttöhenkilöstö voi sitä halutessaan kouluttaa, löytää sen avulla lisää optimointimahdollisuuksia höyryverkosta sekä käyttää sitä oivana lisänä oman ammattitaidon kehittämiseen. Tähänastisen systeemin käyttökokemuksen pohjalta voidaan luottavaisin mielin todeta, että työ palvelee varmasti myös tulevaisuuden laitoskonstruktioiden tuomien ongelmien ratkaisussa oivana työkaluna. Seuraavassa luvussa käytävien esimerkkien lisäksi systeemin avulla on havaittu muitakin kehittämisen kohteita, kuten märkäsäilönnän automatisoimi-

nen So<sub>2</sub>:lla. Läpikäytävät esimerkit valittiin siksi, että ne ovat hyvin havainnollistavia sekä niistä pystyy näkemään selkeän yhteyden voimalaitoksen höyrynkäyttöön.

## 9.2 Esimerkkilöydökset

Jokaisesta esimerkistä löytyy liiteosiosta MP INtelligence -malli ja PI-kaavio. On myös syytä huomata, että esimerkkien PI-kaaviot eivät ole hälytyksenhetkisessä tilanteessa, vaan ovat ainoastaan tukemassa prosessin kannalta havainnollistavia asioita.

### 9.2.1 Kaasunpoistohöyry riittämättömyys syvesäiliössä

Ensimmäisenä esimerkkinä systeemin havainnoista haluttiin nostaa esille tilanne, missä syvesäiliön lämpötila oli pudonnut liian alas. Kuten kappaleessa 5.3 on selitetty, aiheuttaa liian alhainen lämpötila epätäydellisen kaasunpoiston vedestä ja mitä kaasupitoinen vesi aiheuttaa pahimmassa tapauksessa.

Tilanne lähti liikkeelle, kun So<sub>3</sub> ajettiin alas suunnitellun mukaisesti. Alasajon yhteydessä kattilaan ajettiin lisävedtä syvesäiliön pinnan säätelyyn. Tämä tehdään mm. sen takia, koska veden tilavuus jäähtyessään kattilaputkistossa pienenee ja näin olleen putkistoon syötettävän veden virtausta kasvatetaan, jolloin syvesäiliön pinta alkaa laskemaan. Lisävesi on noin 20°C kaasupitoista vettä, joka pitää saada kaasuvapaaksi. Kaasunpoistoa säätelee ilmanpoistokupoliin syötettävä höyry, joka on toteutettu venttiilitoimilaitteen ohjauksella. Normaalissa tilanteessa kaasunpoistaja ottaa höyrynsä So<sub>3</sub>:n lieriöltä, mutta kattilan ollessa alhaalla ottaa sen höyrynsä voimalaitoksen yhteiseltä omakäyttöhöyrytukilta. Omakäyttöhöyrytükkin ja kaasunpoistimelle menevän putkilinjan välissä on käsiventtiili liitteen 2 mukaisesti.

Hälytystä tutkittaessa (Liite 1. ylin kuvaaja) huomataan, kuinka syvesäiliön lämpötila oli ehtinyt putoamaan 90°C asti sekä olleen liian alhaalla noin 3 tuntia ennen kuin lämpötila saatiin takaisin haluttuun 110°C. Kiertoveteen siirtyvän tehon mittaus (Liite 1. keskimäinen kuvaaja) puolestaan indikoi, onko laitos päällä vai ei. Lisäksi hälytyksen tulkintaan on otettu mukaan So<sub>3</sub>:n lisäveden määrä, jotta tulkinta voitiin osoittaa todeksi (Liite 1. alin kuvaaja). Hälytystä tarkistaessa voidaan myös huomata, kuinka

ysteemi on alkanut reagoida muuttuvaan tilanteeseen useita tunteja ennen lämpötilan romahtamista. Ysteemi tarkkailee nippua hälytyksiä ja tässä tilanteessa se on todennäköisesti alkanut reagoimaan esimerkiksi petilämpötilaan tai syötettävän hiilen määrään.

Juurisyiksi tälle havainnolle voidaan määrittää kaksi tekijää. Ensimmäisenä voidaan todeta, että kaasunpoistohöyryn määrää säättävä venttiilitoimilaite reagoi liian hitaasti syötetyn lisäveden määrään nähden. Toiseksi voidaan pohtia, oliko omakäyttöhöyrytkin ja syvesäiliön välinen käsiventtiili muistettu avata, jotta kaasunpoistohöyryn saanti olisi turvattu So3:n ollessa alhaalla. Ratkaisut olisivat varsin yksinkertaisia tässä tilanteessa. Ensimmäinen tekijä voidaan poistaa pelkällä säätöpiirin parametroinilla. Käytännössä lisäveden syöttöä hillittäisiin suhteessa kaasunpoistohöyryyn. Toiseen tekijään ratkaisuna toimisi käsiventtiilien muuttamiseksi venttiilitoimilaitteiksi ja näin automatisoimalla niiden toiminnan. Esimerkiksi venttiilit aukeaisivat suoraan, kun kiertoveteen siirtyvän tehon mittausta putoaisi tietyn rajan alle.

### 9.2.2 Höyryn liikakäyttö paineenpitoon So7:n syvesäiliössä

Toiseksi esimerkiksi systeemin havainnoista otettiin varsin selkeä höyryn liikakäyttötilanne. Ysteemi antoi hälytyksen, kun apukattilan syvesäiliön lämpötila oli noussut liian korkeaksi verrattuna mallin aikaisempiin kokemuksiin (Liite 5.). Hälytystä tutkittaessa mittausnippuun oli valikoitu apukattilan syvesäiliön paine ja sen massavirta. Massavirtauksesta haluttiin selvittää, ajetaanko syvesäiliöstä vettä pois vai onko se edes ollenkaan toiminnassa. Kun havaittiin, että säiliöstä ei poistunut vettä ollenkaan, haluttiin tarkastaa millaisella ylipaineella syvesäiliö on säilönnässä. Paineenpito tehdään tässä tilanteessa syöttämällä syvesäiliöön höyryä. Höyryn ohjaus on toteutettu tällä hetkellä venttiilitoimilaite säädöllä (Liite 6). Käytännössä syvesäiliössä riittäisi 0.1 barin ylipaine, jotta säiliöön ei pääse ilmaa, joka altistaisi veden siihen liukeneville kaasuille.

Hälytyksestä kuitenkin kävi ilmi, että ylipaine oli noin 0.9 bar, mikä on huomattavasti riittävää painetasoa korkeammalla. Lämpötila oli pikkuhiljaa noussut viimeisten päi-

vien aikana, joten tästä voitiin tulkita sinne syötettävän paineenpito höyryn nostavan syvesäiliön lämpötilaa. Lämpötilan noususta ja tarpeettoman korkeasta ylipaineesta syvesäiliössä voidaan vetää johtopäätöksenä, että paineenpitoon käytetään tilanteeseen nähden liikaa höyryä.

Juurisyyksi tälle voidaan osoittaa, että paineenpito höyryä säätelevän venttiili vuotaa hieman läpi sekä säiliön hönkähöyryyhde ei ole minkään kontrollin alaisena. Kaasunpoistimessa oleva hönkähöyrynsäätö tapahtuu käsiventtiili ohjauksella. Yleisesti käsiventtiili on kokonaan auki kuten sen pitääkin olla tilanteessa, kun kattilaa ajetaan. Säilöntä tilanteessa kuitenkin tätä kautta poistuu merkittäviä määriä höyryä turhaan. Käsiventtiilin säätäminen useasti muuttuvan tilanteen mukaan kuulostaa äärimmäisen epäkäytännöllisestä. Lisäksi tämä aiheuttaa liiallista kuormaa käyttöhenkilöstölle, jonka toimenkuvaan kuuluu paljon muutakin tehtävää joka kriittisyydeltään ylittää tämän. Kyseessä on apukattila, jossa käyttötilanne muuttuu jatkuvasti, koska se luonteen omaisesti käynnistyy tarvittaessa. Tästä syystä vastaava tilanne on varsin yleinen. Ongelman ratkaisuksi ehdotetaan käsiventtiilin muuttamista venttiilitoimilaitteeksi, joka säätelisi säiliön hönkähöyryhdettä säiliön paineen mukaan.

### 9.2.3 Esimerkki KP-lieriön paineen putoaminen nolnaan

Kolmas esimerkki voidaan tulkita epäsuorana höyrynkäyttöön liittyvänä epäkohtana. Kuitenkin se demonstroi hyvin mallin käyttäytymistä myös pienissä tasomuutoksissa ja kuinka se alkaa hälyttämään silti jo hyvissä ajoin muuttuvassa tilanteessa. Tästä syystä kyseinen tapaus on haluttu esittää yhtenä esimerkkinä.

Kolmannessa esimerkissä käsitellään tilanne, missä KP-Lieriön paine pääsi putoamaan aina 0 bariin. Samasta syystä kuin toisessa esimerkissä on selitetty, pitää säiliössä olla aina pieni ylipaine, kun siellä on vettä. Tämä siis tehdään, että ilmaa ei pääse säiliön sisään. Malli oli oppinut tilanteeseen, että lieriössä olisi aina pieni ylipaine, kun siellä on pintaa. Hälytyksen tulkinnessa mittaus nippuun oli valikoitu siis KP-lieriön pinta ja paine. (Liite 7.)

Hälytystä tulkittaessa havaittiin, että hälytys oli sattunut kahden eri painekokeen välissä. Painekoetta tehtäessä suljetaan säiliöön tulevat yhteen, ettei paine pääse karkaamaan mitään reittiä pois, ja säiliöön ajetaan kaasupitoista lisäyettä. Painekokeen jälkeen säiliöön oli jäänyt pieni ylipaine. Hälytystä tutkiessa kävi ilmi, että paine oli todella hitaasti lähtenyt putoamaan ja pudonnut aina nolleen asti.

Todennäköisin syy paineen hitaalle laskulle oli liitteessä 8. nähtävät tulistimien vesittäjät. Kun kokeen jälkeen säiliö palautettiin normaalitilaan ja säiliöön jäi pieni ylipaine, alkoi se kuitenkin päästää painetta hieman läpi tulistimien vesittäjien kautta. Tätä varten olisi yksinkertaisinta ollut avata joko paineenpitoa varten oleva höyrylinja tai typpilinja. Toisena vaihtoehtona olisi ollut hyvä tehdä painekokeen jälkeen mahdollisimman nopeasti kattilan ylösajo. Tällä olisi saavutettu lämpötilan ja paineen nosto sekä uusi kaasuton vesi kattilapiiriin. Hälytys tapahtui karkeasti 0.01 bar tasolla, joten normaalisti epäkohta olisi helposti jäänyt huomaamatta ilman toimivaa mallia.

## **10 Pohdinta**

### **10.1 Tulosten vertailu tavoitteisiin**

Opinnäytetyön alkuperäinen tutkimusongelma oli kehittää ratkaisu Suomenojan voimalaitoksen omakäyttöhöyryn tehottomaan kohdentamiseen. Lopulliseksi päätavoitteeksi muodostui rakentaa systeemi, jolla koko voimalaitoksen höyryverkko voitaisiin ottaa seurantaan ja tehostaa sen toimintaa. Osatavoitteita työn edetessä määrittyi kaksi kappaletta: MP Intelligence -järjestelmän soveltuvuuden testaus ison kokonaisuuden optimoinnissa sekä selvittää, olisiko tästä apua myös tulevaisuuden laitosmuutoksissa.

Kehittämistutkimuksen tuloksena saatiin koko Suomenojan voimalaitoksen höyryverkon kattava MP Intelligence -systeemi. Systeemi oli toiminnassa ja koulutuksen alaisena hieman yli 7 kuukauden ajan. Tänä ajanjaksona kerätyt tulokset ja kokemukset osoittavat, että tuloksena saatiin myös varmistus järjestelmän soveltuvuudesta vastaavan kokonaisuuden hallinnassa. Eikä ole syytä epäillä, etteikö tuloksiksi voida

myös lukea systeemin koko ajan keräämä data höyrynkäytöstä, mikä varmasti on merkittävässä roolissa, kun laitosalueella alkaa tapahtumaan muutoksia.

## 10.2 Luotettavuuden arviointi

Systeemin rakentaminen ja siihen vaadittavan tietotaidon kartuttaminen oli laajan aihealueen takia varsin pitkäjänteinen prosessi. Höyryverkon kartoittaminen, tekoälyaspekti ja systeemin saattaminen luotettavaksi olivat ne keskeisimmät tekijät, jotka aiheuttivat työssä monia kysymyksiä ja haasteita. Osa kysymyksistä jouduttiin tekemään jonkin verran olettamuksia, koska vastaavaa kokonaisuutta ei oltu aikaisemmin tehty sellaisenaan. Olettamukset kuitenkin pyrittiin varmistamaan jo olemassa olevien suuntaa antavien kokemusten ja saatujen tulosten kautta. Opinnäyte-työhön kannattaa suhtautua kriittisyydellä siltä osin, kuinka valmis systeemi on vielä tässä vaiheessa. Kuten ihminen, myös tekoäly oppii koko ajan uutta ja näin voidaankin todeta, että se ei ole ikinä valmis. Varsinkin voimalaitoksen käyttäytymistä seuraava malli vaatii paljon enemmän aikaa ollakseen todella luotettava. Ennen kaikkea usean eri yksikön voimalaitoskombinaatiossa on paljon mahdollisia ajomalleja ja käyttötilanteet vaihtelevat usein. Höyryn tuotanto on sidoksissa ympäristöön ja kelien vaihteluihin ja toisaalta kesällä suurin osa laitoksista ei ole edes ajolla. Lisäksi jokainen ylös- ja alasajo antaa todella arvokasta tietoa ja näissä tilanteissa nähdään myös potentiaalisimmat optimointimahdollisuudet. Näistä syistä työhön käytettyä aikaa haluttiin pidentää luotettavuuden parantamiseksi ja konkreettisten sekä uskottavien esimerkkien löytämiseksi.

Työhön vaadittu teoriapohja pyrittiin rakentamaan kuhunkin aihealueeseen useammasta eri lähteestä. Lähteet valikoituivat niiden luotettavuuden, käyttöasteen ja relevanttiuden pohjalta. Jokaisen aihealueen rakentaminen useammasta kuin yhdestä lähteestä muodosti kokonaisuudesta paremman kuvan ja toi osaltaan luotettavuutta tuloksille. Teoriapohja muodostui kirjallisuudesta, artikkeleista, videosta ja alan alanharjalla olevien yritysten materiaalista. Tietolähteet koostuivat niin kotimaisista, kuin ulkomaalaisista lähteistä. Käytännössä lähteet olivat viimeisen viiden vuoden



ajalta, lukuun ottamatta yhtä vuonna 1984 julkaistua teosta voimalaitosteknologios-  
ta. Tällä toisaalta haluttiin osoittaa, että tekniikka ei sinällään ole muuttunut höyryn-  
tuotannon peruseräiteiden osalta niistä ajoista tähän päivään. Työssä läpikäytyjen  
ratkaisu esimerkkien pohjalle on myös avattu niitä puoltavia teoreettisia näkemyksiä,  
mikä osaltaan lisää tulosten luotettavuutta.

### 10.3 Lähitulevaisuuden mahdollisuudet ja haasteet

Työssä nähdään siihen osallistuneiden henkilöiden keskuudessa paljon potentiaalia.  
Systeemin pitkäjänteinen kehittäminen sekä opettaminen, mahdollisten lisämitta-  
usten hankinta sekä prosessiosaamisen siirtäminen käyttöhenkilöstön keskuudessa toisi  
tulevaisuudessa varmasti hyvin suurta lisäarvoa niin toimeksiantajalle kuin laitoksen  
omistavalle organisaatiolle. Systeemin toimivuus tässä tilanteessa voi mahdollisesti  
olla pelkkä jäävuorenhuippu. Työn voisi miltei sellaisenaan kopioida useammille lai-  
toksille, sekä sen voisi laajentaa esimerkiksi koskemaan muita isoja kokonaisuuksia  
kuten sähkön tuotanto ja omakäyttö. Työn alussakin mainitun laitospuolustus-  
tosten höyrynkäyttöön liittyvien ongelmien ratkaisussa systeemin keräämän datan  
tärkeyttä on syytä korostaa vielä tässäkin luvussa. Kun uudella laitospuolustus-  
malaitosta aletaan käyttämään, systeemi tulee varmasti antamaan paljon näkemystä,  
miten se aikaisemmin on onnistuneesti toteutettu ja mitä ongelmia edellisissä kon-  
struktioiden on mahdollisesti ratkaistu. Käyttöhenkilöstön sitoutuessa systeemin käyt-  
tämiseen ja kehittämiseen mahdollistaa se oivan tavan siirtää prosessiosaamista sekä  
siirtää dataa ratkaistuista ongelmista. Suunnitelmissa on myös käyttää systeemiä  
opetustarkoitukseen, jossa havainnollistetaan vastaavan kokonaisuuden luominen.

Kuitenkaan ei pidä unohtaa, että joka skenaarioita varjostaa haasteet. Keskeisimpänä  
uhkakuvana halutaan nostaa systeemin kehittämiseen sitoutuminen. Käyttöhenkilös-  
tö olisi avainasemassa tämän toteutumiseen, mutta ennakkoluuloja varmasti on.  
Ajatellaanko hyötyjen olevan vaivaan nähden liian vähäisiä tai ajaudutaanko helposti  
miettimään, että onhan sitä ennen ilmankin pärjätty. Ääritapauksena voidaan myös  
pohtia, herääkö tästä kenties kysymys, että entä kun se on koulutettu? Vähentääkö

se kenties työpaikkoja? järjestelmän tämän hetkiseksi haasteiksi voidaan määrittää muutama seikka: systeemiin opettamisen sitoutuminen, käyttötilanteiden vaihtelu ilman indikaattoreita ja isoja viiveitä sisältävien prosessien hallinta. Kaksi ensimmäistä ongelmaa ovat sidoksissa täysin kappaleen alussa esitettyyn haasteeseen. järjestelmälle määritetty hälytysten kuittausaikaväli on tällä hetkellä maksimissaan 3 kuukauden aika. Jos systeemin opettamiseen on sitouduttu, ei tämän pitäisi olla liian lyhyt aika. Käyttötilanteiden vaihtuminen ilman indikaattoreita voisi ratketa, jos esimerkiksi systeemille yrittäisi ennakkoon laatia mahdollisimman monia käyttötilanteita keinoitekoisesti, jotta systeemin olisi helpompaa ymmärtää vallitseva tilanne. Tämä vaatisi jo huomattavaa sitoutumista ja panostamista sekä mahdollisesti jo huomattavasti isompaa kokemusta ja teoreettista osaamista voimalaitosprosesseista. Isojen viiveiden prosesseilla tarkoitetaan prosesseja, jossa mitatut arvot tapahtuvat todella pitkällä aika välillä. Tässä tilanteessa ongelmaksi voi muodostua se, että systeemi ikään kuin tottuu todella hitaasti muuttuvaan tilanteeseen, eikä välttämättä anna hälytystä. Tähän ongelmaan ratkaisuksi voisi toimia eri datankeruutaajuuksien käyttö.

#### 10.4 Futuristiset skenaariot

Lopuksi pohdinnassa halutaan mainita pari todella futuristista ajatusta, jo pelkästään tekoälyaspektin vuoksi. Ensimmäisenä ajatuksena halutaan miettiä voisiko vastaava systeemi ajaa voimalaitosta? Tietysti tämä vaatisi koko voimalaitosprosessin saattamista yhteen kokonaisuuteen ja todella pitkäjänteisen hiomisen mallille. Kun systeemi olisi tarkasti koulutettu ja jokaiseen mahdolliseen skenaarioon olisi varauduttu huolella, voitaisiin se nähdä kertomassa ainakin käyttöhenkilöstölle, kuinka laitosta ajettaisiin. Myöhemmässä vaiheessa laitoksen voisi nähdä saavan ajo-ohjeet suoraan systeemiltä. Kuitenkin olisi hyvin todennäköistä, että kaikki voimalaitoksen tekemät päätökset menisivät ihmisvarmenteisen ratkaisun kautta. Järjestelmä tulisi silti koostumaan systeemistä, automaatiojärjestelmästä ja lopullisen varmistuksen tekevästä asiantuntijasta. Systeemi tekisi päätösehdotukset, ihminen hyväksyisi ne ja systeemi antaisi komennot automaatiojärjestelmälle.

Toisena ajatuksena halutaan herättää pohdintaa siitä, tulisiko tekoäly todella korvaamaan esimerkiksi voimalaitoksen ja tehtaiden prosesseja operoivan ammattikunnan. Tekniikka ja talous -lehden haastattelussa, siihen aikaan Maintparterin liiketoiminnan johtajana toiminut Manu Skyttä vertaa nykyistä tilannetta 20 vuoden takaisin lentokapteenien osaamistarpeisiin toteamalla: ”Tuolloin suurten lentokoneiden ohjaamoissa oli satoja mittareita, joita vain kokenut kapteeni kykeni tulkitsemaan ja lentämään konetta, kuten sitä kuului lentää. Nykyisin suuren Airbusin ohjaimiin pääsee suoraan lentäjäkoulusta, sillä kone itse tietää ja kertoo lentäjälle, mitä milloinkin tulee tehdä” (Keränen 2017). Vaikka on hyvin todennäköistä, että kehityksen suunta on juurikin tämänkaltaista, silti voidaan olettaa, että kuten tässä lentäjäesimerkissä ja ensimmäisessä skenaariossa on kaikkea lopulta varmistamassa ihminen. Isoissa voimalaitos- ja tehdasprosesseissa ollaan kuitenkin tekemisissä isojen paineiden, lämpötilojen, räjähdysherkkien ja ympäristölle vaarallisten aineiden kanssa. Tulevaisuudessa perinteiset prosessiammatillaiset varmastikin vähentyvät, mutta kokonaisen ammattikunnan poistuminen kuulostaa äärimmäisen epätodennäköiseltä.

## 10.5 Loppusanat

Voimalaitoksen höyrynkäytön optimointi tekoälyn avulla oli aiheena äärimmäisen mielenkiintoinen ja haastava. Käytännössä työ nivoi yhteen neljän vuoden aikana koulusta saadun kokemuksen voimalaitoksista ja höyrynkäytöstä sekä toi todella paljon tarkennusta opittuun. Tekoölyyn ei opinnoissa varsinaisesti perehdytty, mutta tästä työstä saaman kokemuksen ja maailmankatsomuksellisen näkemyksen myötä näkisin, että koneoppivatjärjestelmät ja tekoäly yleistyvät huimaa tahtia. Näistä syistä oppilaitostenkin kannattaa näihin opinaloihin panostaa tulevaisuudessa vieläkin enemmän. Aihe käsittelee yhtä teknologiateollisuuden uusimpia suuntauksia ja aikaisempia tutkimuksia vastaavalla sisälöllä ei kovin useaa ole. Nämä seikat lisäsivät työn tekemisen mielekkyyttä ja toisaalta toivat lisähaasteita. On syytä olettaa, että vastaavat tutkimukset tulevat tekoälyn kehittymisen myötä yleistymään runsaastikkin.

Työ oli itsessään todella laaja ja paneutumalla esimerkiksi pelkkään höyrynkäytön optimointiin tai tekoälyyn, olisi voinut tehdä kummastakin montakin oppinäytettä. Tästä syystä työn täsmällinen rajaaminen oli keskeinen asia työn onnistumisen ja resurssitehokkaan tekemisen kannalta. Höyryverkko itsessään on iso kokonaisuus, joten tulokset olisivat varmaan olleet tarkempia, jos optimointi olisi vaikka toteutettu yhdestä voimalaitosyksiköstä. Kuitenkin toimeksiantajalla oli tilausta paljon isomman kokonaisuuden hallintaan ja tätä kautta varmasti pitkäjänteisellä jatkokehittämisellä tulokset tulevat tarkentumaan.

Lopuksi haluan todeta, että työtä oli äärimmäisen mukava tehdä ja aika joka työhön on panostettu, ei varmasti ole mennyt hukkaan. Työ saatiin toteuttaa osaavien ammattilaisten keskuudessa, äärimmäisen monipuolisessa ympäristössä alan uusimpien trendien parissa. Työ toi lisäarvoa niin toimeksiantajalle kuin tekijällekkin, joten voidaan epäilyksettä todeta sen olleen varsin onnistunut entiteetti.

## Lähteet

- Anttila, J., Hämäläinen, M., Kolehmainen, L., Rowley, C. & Varjonen, H. 2018. Selvitys tekoälyn vaikutuksista yhteiskuntaan ja Kymenlaakson elinkeinoelämään. Kymenlaakso.ai-projektin loppuraportti. Demos Helsinki. Viitattu 20.11.2018.  
[https://www.kinno.fi/sites/default/files/tekoaly selvitys\\_kymenlaakso2018.pdf](https://www.kinno.fi/sites/default/files/tekoaly selvitys_kymenlaakso2018.pdf)
- El-Wakil, M.M. 1984. Powerplant Technology. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. 2. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Höyrykattilan toimintaperiaate. N.d. Koulutusmateriaalia KnowEnergy.net sivustolta. Viitattu 19.11.2018.  
[http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt\\_kattilat/5\\_0\\_hoyrykatt\\_periaate/frame.html](http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt_kattilat/5_0_hoyrykatt_periaate/frame.html)
- Ikkala, T. 2015. 20 000 kuution vesisäiliöstä tulee Suomen suurin kaukolämpöakku – varastoi 800 MWh. Artikkelit Tekniikka ja talous lehden sivustolta. Viitattu 23.10.2018.  
<https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2015-03-24/20-000-kuution-vesis%C3%A4ili%C3%B6st%C3%A4-tulee-Suomen-suurin-kaukol%C3%A4mp%C3%B6akku---varastoi-800-MWh-3259630.html1>
- Introduction to safety valves. N.d. Koulutusmateriaalia Spirax-Sarco Engineering plc:n sivustolla. Viitattu 24.11.2018.  
<http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/safety-valves/introduction-to-safety-valves.aspx>
- Kalabin, S. 2018. Machine learning solutions for maintenance of power plants. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Electrical power and energy engineering. Viitattu 20.11.2018.  
[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/33641/master\\_Kalabin\\_Stani\\_slav\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/33641/master_Kalabin_Stani_slav_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja. <https://janet.finna.fi/>, Booky.
- Kattilan lämmönsiirtimien rakenne ja toiminta. N.d. Koulutusmateriaalia KnowEnergy.net sivustolta. Viitattu 23.11.2018.  
[http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt\\_kattilat/7\\_lammonsiirtimet/frame.htm](http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt_kattilat/7_lammonsiirtimet/frame.htm)
- Keränen, M. 2017. Tämä arvostettu ammattikunta katoamassa tehtaista? – ”Tilanne sama kuin lentokoneen ohjaamossa 20 vuotta sitten”. Artikkelit Tekniikka ja talous lehden sivustolta. Viitattu 25.11.2018.  
<https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/tama-arvostettu-ammattikunta->

[katoamassa-tehtaista-tilanne-sama-kuin-lentokoneen-ohjaamossa-20-vuotta-sitten-6614586](#)

Laipio, H. 2018. Ilmakuva Suomenojan voimalaitoksesta. Yksityishenkilön ottama valokuva

Lauhteenpoistintyyppit. 2017. Youtube-video käyttäjältä Konwell-akatemia. Viitattu 24.11.2018. [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=18&v=-vcSRCDhN7E](https://www.youtube.com/watch?time_continue=18&v=-vcSRCDhN7E)

Maintpartnerin älykkään kunnossapidon järjestelmä MP INtelligence valvoo voimalaitoksia ja kaukolämpöverkkoja. 2017. Artikkelin Maintpartnerin nettisivustolta. Viitattu 25.11.2018. <https://www.maintpartner.com/fi/uutisia/499-maintpartnerin-aelykkaeaen-kunnossapidon-jaerjestelmae-mp-intelligence-valvoo-voimalaitoksia-ja-kaukolaempoverkkoja>

MP INtelligence, Predictive Production Performance Monitoring. 2018. Powerpoint esitys syncrontechin verkkosivuilta. Viitattu 14.11.2018. <https://www.syncrontech.com/images/digiloikkaesitykset/Maintpartner-Skytt%C3%A4-MP-INtelligence-Teko%C3%A4lyn-konkreettiset-mahdollisuudet.pdf>

Mönkkönen, T. 2014. Tase-konsepti prosessihöyryverkon hallinnassa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, automaatiotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 25.11.2018. <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22634/monkkonen.pdf?sequence=1>

Pressure control applications. N.d. Koulutusmateriaalia Spirax-Sarco Engineering plc:n sivustolla. Viitattu 24.11.2018. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/control-applications/pressure-control-applications.aspx>

Pressurised Deaerators. N.d. Koulutusmateriaalia Spirax-Sarco Engineering plc:n sivustolla. Viitattu 17.11.2018. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/the-boiler-house/pressurised-deaerators.aspx>

Share information. 2018. Historiatietoja osakkeista Fortum Oyj:n verkkosivuilta. Viitattu 1.12.2018. <https://www.fortum.com/about-us/investors/share-information>

Steam the energy fluid. N.d. Koulutusmateriaalia Spirax-Sarco Engineering plc:n sivustolla. Viitattu 4.10.2018. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/introduction/steam-the-energy-fluid.aspx>

Suomenojan CHP-laitos. N.d. Laitoksen esittelymateriaalia Fortum Power and Heat Oyn verkkosivuilta. Viitattu 18.10.2018. <https://www.fortum.fi/tietoameista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/suomenojan-chplaitos>

Suomenojan voimalaitoksen turvallisuustiedote. 2017. Verkkoaineistoa Fortum Power and Heat Oyj:n verkkosivustolta. Viitattu 18.10.2018.

[https://www.fortum.fi/sites/g/files/rkxiap156/files/documents/fortum\\_turvallisuusti\\_edote\\_suomenoja.pdf](https://www.fortum.fi/sites/g/files/rkxiap156/files/documents/fortum_turvallisuusti_edote_suomenoja.pdf)

Superheated Steam. N.d. Koulutusmateriaalia Spirax-Sarco Engineering plc:n sivustolla. Viitattu 17.11.2018. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/superheated-steam.aspx>

Syöttövesisäiliö ja kaasunpoisto. N.d. Esittelymateriaalia Oy Konwell Ab:n verkkosivustolta. Viitattu 17.11.2018. <https://www.konwell.fi/fi/tuotteet/hoyry-ja-lauhde/teollisuusventtiilit/sailiot/syottovesisailio-ja-kaasunpoisto>

Taloudelliset tiedot 2016. 2017. Taloustilanne raportti. Fortum Oyj. Viitattu 1.12.2018. [apps.fortum.fi/investors/Fortum\\_Taloudelliset\\_tiedot\\_2016.pdf](https://apps.fortum.fi/investors/Fortum_Taloudelliset_tiedot_2016.pdf)

Teollisuuden käytön ja kunnossapidon ammattilainen. 2018. Yritysesittely Maintpartnerin verkkosivuilta. Viitattu 10.11.2018. <https://www.maintpartner.com/index.php/fi/maintpartner-suomi>

The feedtank and feedwater conditioning. N.d. Koulutusmateriaalia Spirax-Sarco Engineering plc:n sivustolla. Viitattu 22.11.2018. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/the-boiler-house/the-feedtank-and-feedwater-conditioning.aspx>

Thermodynamic steam traps. N.d. Koulutusmateriaalia Spirax-Sarco Engineering plc:n sivustolla. Viitattu 24.11.2018. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-traps-and-steam-trapping/thermodynamic-steam-traps.aspx>

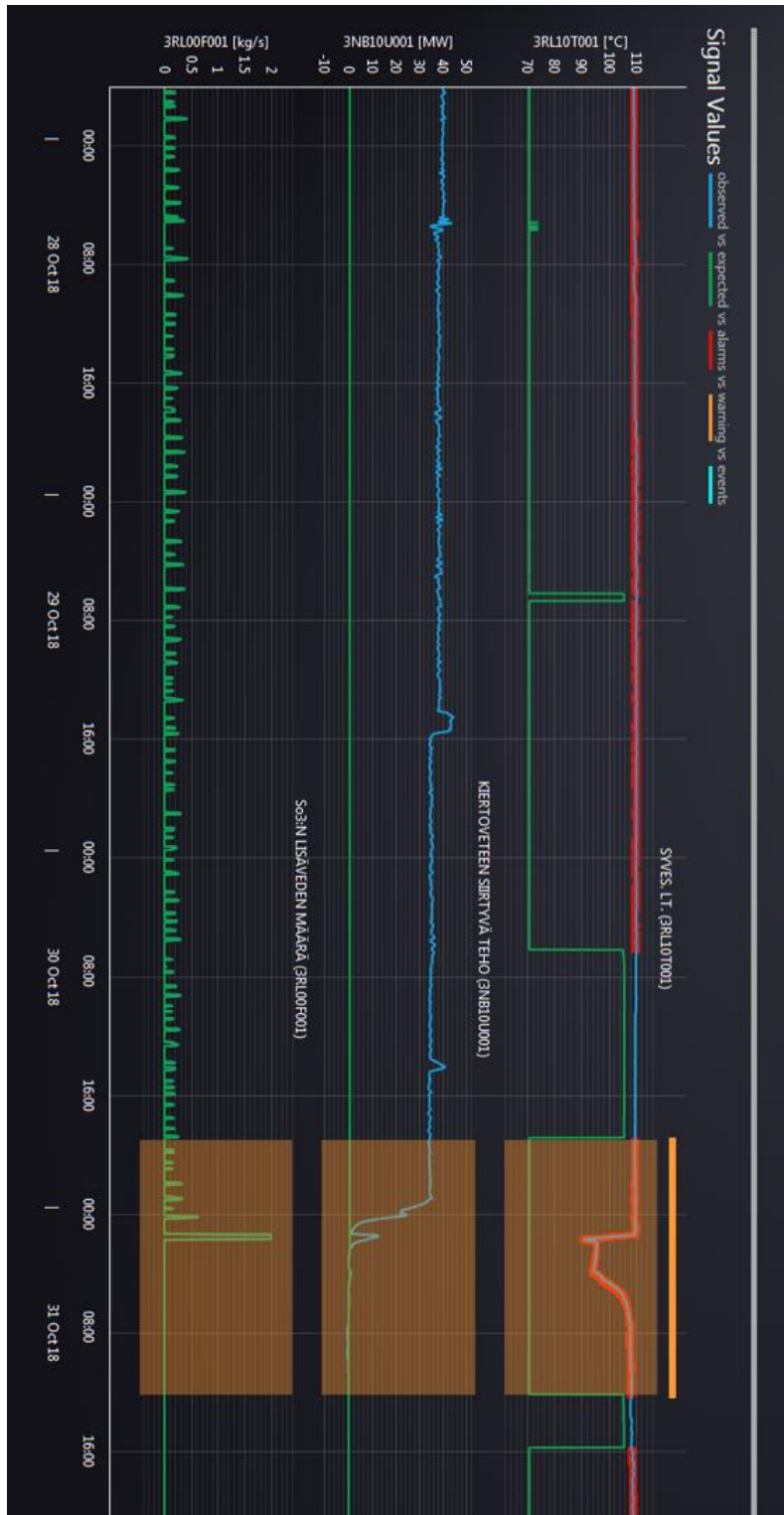
Valtioneuvoston päätös 159/1987. Valtioneuvoston päätös kivihiiltä käyttävien voimalaitosten ja kattilalaitosten rikkidioksidipäästöjen rajoittamisesta. Annettu 12.2.1987. Finlex. Viitattu 10.11.2018 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1987/19870159>

What is steam? N.d. Koulutusmateriaalia Spirax-Sarco Engineering plc:n sivustolla. Viitattu 19.11.2018. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/what-is-steam.aspx>

Why steam traps? N.d. Koulutusmateriaalia Spirax-Sarco Engineering plc:n sivustolla. Viitattu 24.11.2018. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-traps-and-steam-trapping/why-steam-traps.aspx>

## Liitteet

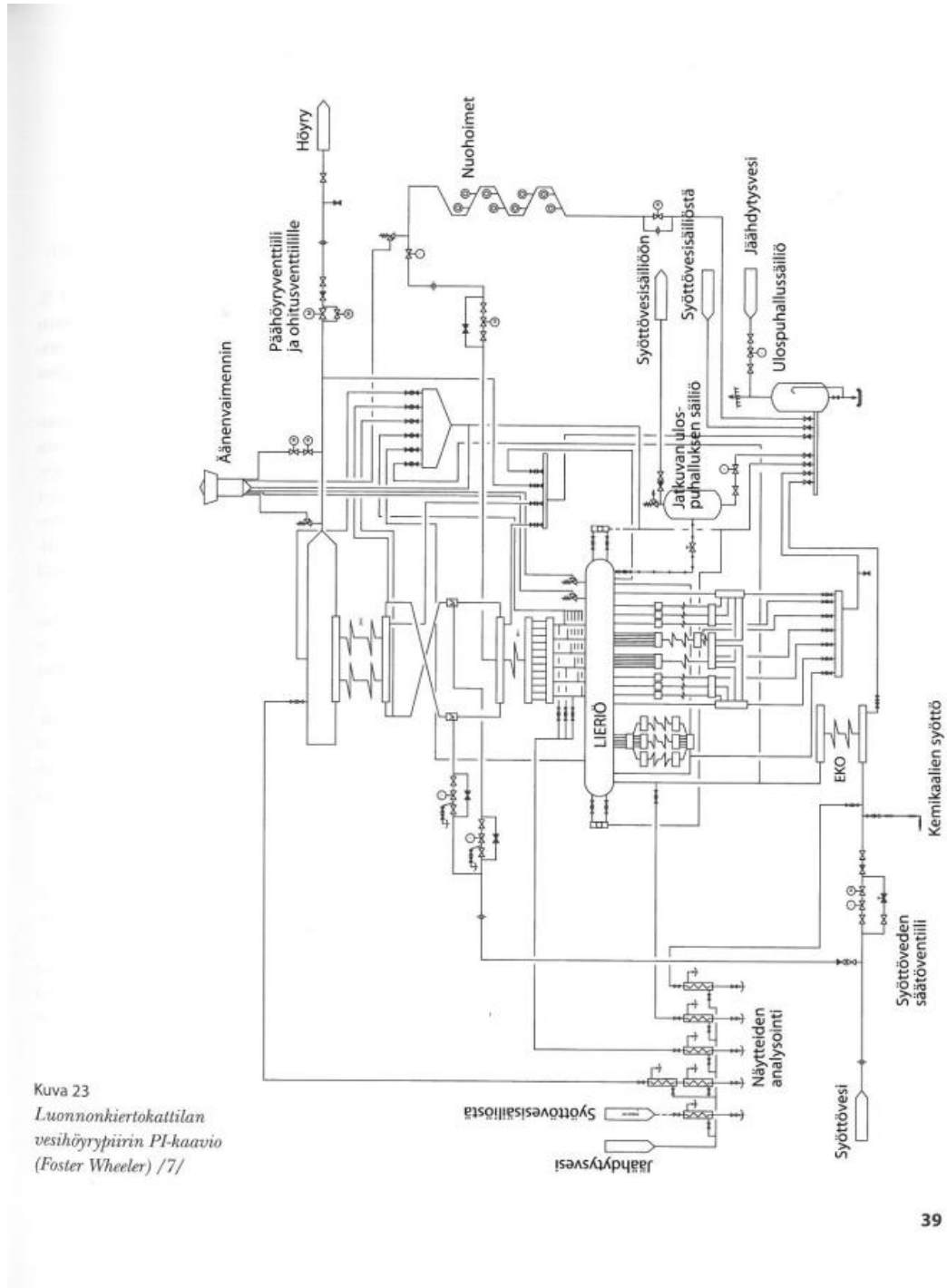
Liite 1. Esimerkki kaasunpoistohöyryn riittämättömyydestä







## Liite 3. Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiirin PI-kaavio

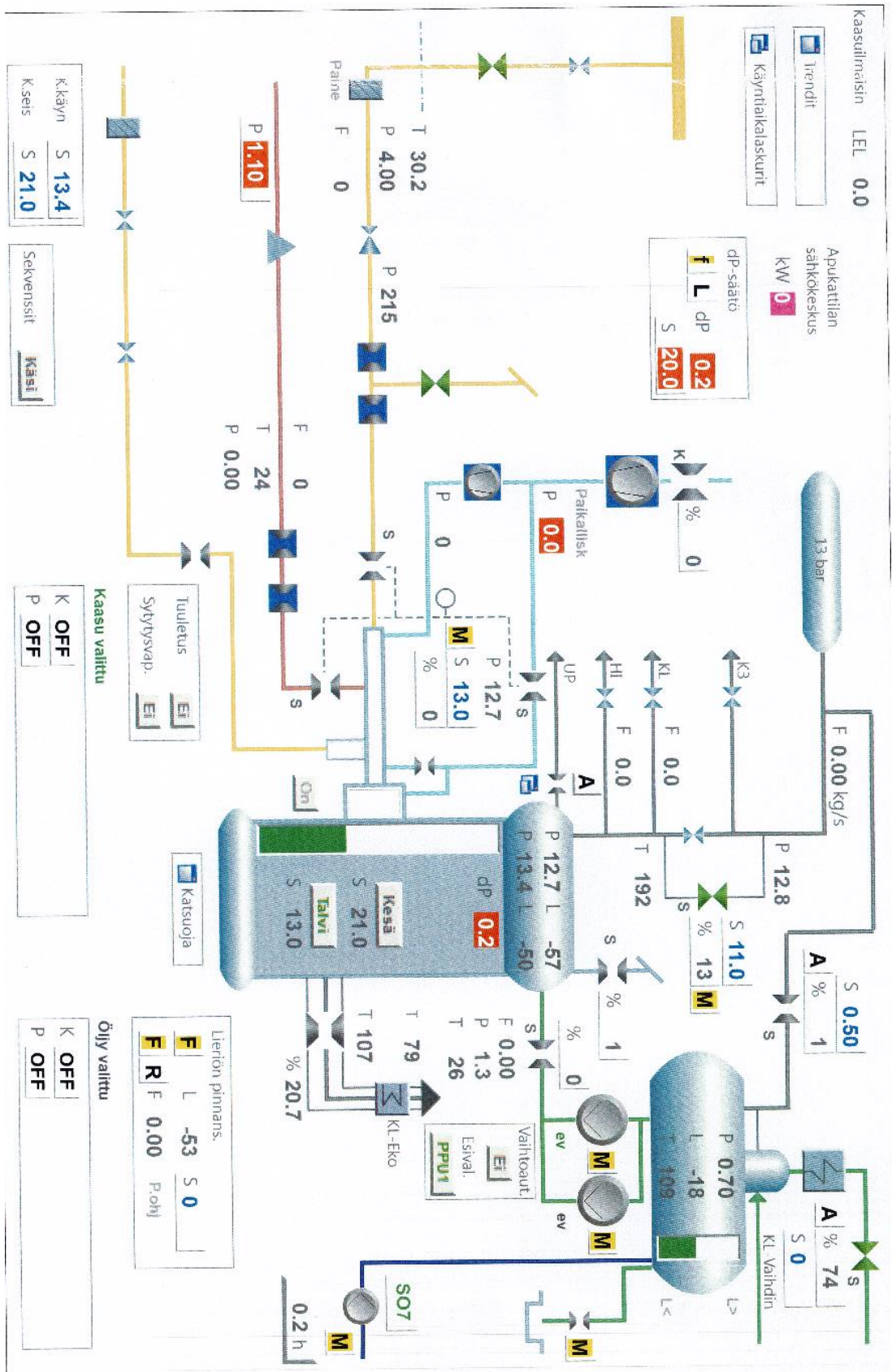


Kuva 23  
Luonnonkiertokattilan  
vesihöyrypiirin PI-kaavio  
(Foster Wheeler) /7/





Liite 6. Esimerkki turhasta paineenpidosta So7:n syvesäiliössä, PI-kaavio



Liite 7. Esimerkki KP-Lieriön paineen putoamisesta noltaan

