

Lauri Salo

Höyrykattilan automatiikan uusiminen jäännöshappiperusteiseksi

Opinnäytetyö

Merenkulkualan insinööri

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Merenkulun ammattikorkeakoulututkinto, insinööri
Tekijä/Tekijät	Lauri Salo
Työn nimi	Höyrykattilan automatiikan uusiminen jäännöshappiperusteiseksi
Toimeksiantaja	Tallink Silja/Silja Serenade
Vuosi	2022
Sivut	27 sivua, liitteitä 4 sivua
Työn ohjaaja(t)	Roopertti Tikkanen, Aleksi Jerohin

TIIVISTELMÄ

Työn aiheena oli tutkia mahdollisuutta kahden 8000 kg/h höyrykattilan polttimen palamisautomaatiikan muuttamiseksi jäännöshappiperusteiksi, arvioida hankkeen kustannukset sekä hankinnan takaisinmaksuaika.

Tavoitteena oli tutkia nykyiset jäännöshapen määrät, erilaiset kiinteät reaaliaikaiset jäännöshapen mittauslaitteet ja nykyinen polttoaineen kulutus verrattuna teoreettiseen kulutukseen happisäädön kanssa.

Jäännöshappimäärät mitattiin höyrykattiloiden polttimien säädön yhteydessä. Mittauslaitteista saatiin tietoa jälleenmyyjiltä ja valmistajilta. Polttoaineen kulutusta seurattiin aluksella, josta saatiin vertailutietoa.

Tutkimustuloksesta selvisi, mikä on hankkeen kannattavuus työn toimeksiantajalle. Tutkimuksesta selvisi myös, että vanha hyvin säädetty poltin voi olla hyötysuhteeltaan tasavertainen jälkiasennettaviin säätölaitteisiin verrattuna.

Avainsanat: jäännöshappi, höyry, polttoaine, öljypoltin

Degree title	Bachelor of engineer
Author (authors)	Lauri Salo
Thesis title	Modernization of boiler automation to allow the use of oxygen burner
Commissioned by	Tallink Silja/Silja Serenade
Time	2022
Pages	27 pages, 4 pages of appendices
Supervisor	Roopertti Tikkanen, Aleksi Jerohin

ABSTRACT

The objective of the thesis was to study the conversion potential of the combustion automation of two 8000kg/h steam boiler burners so that they would utilise residual oxygen. In addition, the purpose was to estimate the cost of the project and the payback time.

The aim was to investigate current residual oxygen levels and different fixed real-time residual oxygen measuring devices, and determine the fuel consumption compared to the theoretical consumption with oxygen control.

Residual oxygen levels were measured during the adjustment of the burners. Information on measuring devices was obtained from retailers and manufacturers. Fuel consumption was monitored on board, to obtain comparable data.

The result of the thesis reveals the profitability of the conversion for the commissioner. The study also shows that an old well-adjusted burner may be as efficient as new retrofit control equipment.

Keywords: excess air, steam, fuel, oil burner

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TUTKIMUKSEN MERKITYS.....	8
2.1	Työn tausta.....	8
2.2	Aiheen rajaus.....	9
3	AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET.....	9
4	TEOREETTINEN POHDINTA.....	9
5	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	11
6	TYÖSUUNNITELMA.....	12
7	KOHDEALUKSEN TIEDOT.....	12
7.1	Yleistä.....	12
7.2	Höyrykattilajärjestelmä.....	12
7.3	Nykyisin käytössä oleva poltinautomatiikka.....	14
7.4	Nykyisen järjestelmän ongelma.....	15
8	SAATAVILLA OLEVIA AUTOMATIIKOITA.....	16
8.1	Lamtec.....	17
8.2	Green Instruments.....	17
8.3	ABB.....	18
9	AINEISTO.....	19
9.1	Aineiston keruu.....	19
9.1.1	Polttoaineen kulutuksen seuranta.....	20
9.1.2	Jäännöshappimittaukset.....	21
9.1.3	Aineiston analyysi.....	22
10	POLTINAUTOMATIIKAN VERTAILU JA VALINTA.....	23
11	TUTKIMUKSEN TULOKSET.....	24
12	YHTEENVETO.....	25

13 LÄHTEET	27
------------------	----

KUVALUETTELO

LIITTEET

Liite 1. RMD80-data sheet

Liite 2. Polttimen relemoduulin PI-kaavio

Liite 3. Boiler 1:n mittaukset

Liite 4. Boiler 2:n mittaukset

Liite 5. Takaisinmaksuaikalaskelma

Lyhenteet

O ₂	happi
Pa	pascal
bar	baari
CO ₂	hiilidioksidi
CO	hiilimonoksidi
ppm	parts per million
NO	typpimonoksidi
NO ₂	typpioksidi
H ₂	vety
°C	celsiusaste
kg	kilogramma

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia edellytyksiä höyrykattilan vanhan poltinautomatiikan vaihtamiseksi nykyaikaisempaan ja polttoainetaloudellisempaan tekniikkaan. Fossiilisten polttoaineiden haittavaikutukset ilmastolle ja polttoaineen kalleus ajavat aluksia koko ajan kohti mahdollisimman vähäpäästöisiä ja polttoainekulutukseltaan tehokkaampia ratkaisuja.

Yksi tapa parantaa aluksen energiatehokkuutta ja vähentää päästöjä, on nykyaikaistaa vanhentuneita laitteistoja. Tutkimus toteutetaan Silja Serenaden höyrykattiloille, mutta tutkimuksesta toivottavasti on hyötyä alustavasti myös muille aluksille.

Aiheesta ei vastaavia tutkimuksia juurikaan löytynyt, oletettavasti johtuen tutkimuskohteen yksilöllisyydestä, jolloin tutkimus ei päde erilaisiin kohteisiin kovin hyvin. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan eri valmistajien polttimoautomatiikoita ja niiden tuomia etuja ympäristön kannalta. Työssä arvioitiin myös laitteiston uusimisesta syntyvät kustannukset ja hankinnan takaisinmaksuaika. Olennaisimmat tutkimusmenetelmät ovat uusien polttimoautomatiikoiden teoreettisten polttoainekulutuksien vertaaminen vanhaan kulutukseen.

Tutkimustuloksia arvioitaessa, ongelmallisena voi pitää vertailussa käytettäviä teoreettisia polttoainekulutuksia. Todellinen kulutus saattaa vaihdella muista muuttujista johtuen. Toinen mahdollinen huomioitava seikka on polttoaineen hinnan muutoksista johtuva takaisinmaksuajan vaihtelu.

Tulosten arviointia varten asetetaan kysymys: ”Onko uudistetun automatiikan kanssa polttoaineen palaminen merkittävästi tehokkaampaa ja taloudellisempaa, jotta vaihto olisi taloudellisesti ja päästöjen kannalta tehokasta.”

Työn toimeksiantaja on Tallink Silja Oy, joka on suomalainen varustamo. Sen omistaa virolainen AS Tallink Grupp. AS Tallink Grupp on yksi Itämeren suurimmista varustamoista 14 aluksen laivastollaan.

2 TUTKIMUKSEN MERKITYS

Aihe on ajankohtainen globaalisti, sillä fossiilisten polttoaineiden päästöjen pienentäminen on ollut jo vuosia kasvava vaatimus merenkulkua ja muita liikennemuotoja kohtaan. Tutkimuksen aihe puhtaamman palamisen, matalampien päästöjen ja polttoainekustannuksien pienentämiseksi tukee niin Itämeren erityisalueen hyvinvointia kuin myös laivayhtiön ”Green Thinking” -ajatusmallia, jossa halutaan vähentää pakokaasupäästöjä merialueilla (Tallink 2009).

Jos tutkimuksessa tullaan siihen tulokseen, että automaation modernisoinnilla saadaan päästövähennyksiä, polttoainesäästöjä ja kohtuullinen takaisinmaksuaika, niin uskon, että projekti tullaan todennäköisesti toteuttamaan Silja Serenadella tulevaisuudessa. Henkilökohtaisesti tutkimus kiinnostaa itseäni alani puolesta jo sen takia, että meriliikenteessä vielä tällä hetkellä käytetään paljon fossiilisia polttoaineita ja osaltani haluan edesauttaa päästöjen vähentämistä luonnon ja tulevien sukupolvien takia.

Tutkimus myös edistää osaamista ammatissani, koska tutkimuksessa käydään läpi myös palamisen teoriaa ja erilaisia sähköteknisiä alueita palamisen ohjaamiseksi.

Jatkotutkimusaiheeksi kyseiseen teemaan liittyen sopisi esimerkiksi pakokaasukattiloiden käytön ohjaaminen lämpötila- ja paineperusteiseksi. Asian tutkimisesta on käyty keskusteluja aluksella.

2.1 Työn tausta

Kyseinen aihe tuli esille noin puolessa välissä opiskelujani. Silja Serenade on yli 30 vuotta vanha alus ja vaikka alus on hyvässä kunnossa sekä päivitettyä tekniikkaa löytyy erittäin paljon, on paljon asioita, joita voidaan vielä päivittää, ja näin ollen saada energiatehokkaampi alus.

Alukselle on jo asennettu maasähkön käytön mahdollistava tekniikka. Tämä tarkoittaa, että höyrykattilan polttimet ovat toiminnassa satamassa oltaessa huomattavasti enemmän, koska generaattorisähkön tuottamisessa tarvittavaa

polttomoottoria ei ole käytössä, eikä myöskään polttomoottorin pakokaasukat-tilaa voida käyttää. Tästä syystä on tärkeää, että höyrykattiloiden hyötysuhde on säädetty mahdollisimman tehokkaaksi.

Näin ollen tuntui luonnolliselta aloittaa tutkimuslaitteistosta, jonka päivittämisellä on mahdollisesti saada hyötyä ilmastolle ja samanaikaisesti myös yhtiölle.

2.2 Aiheen rajaus

Jo aihetta mietittäessä tuli aluksen työnohjaajilta toive, että työ rajattaisiin selkeästi ja tarkkarajaisesti kyseiseen aiheeseen. Jos näin ei tehtäisi, pidettiin mahdollisena, että työ lähtee laajenemaan liialti ja aiheen kannalta merkityksettömiin asioihin. Työssä olisi voitu käsitellä esimerkiksi polttimen ohjauksen logiikkaa ja ilmamäärän teoreettisia määriä suhteessa polttoaineeseen. Tutkimuksessa keskitytään palamistapahtuman jäännöshapen hallintaan ja jäännöshapen reaaliaikaiseen mittaamiseen.

3 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET

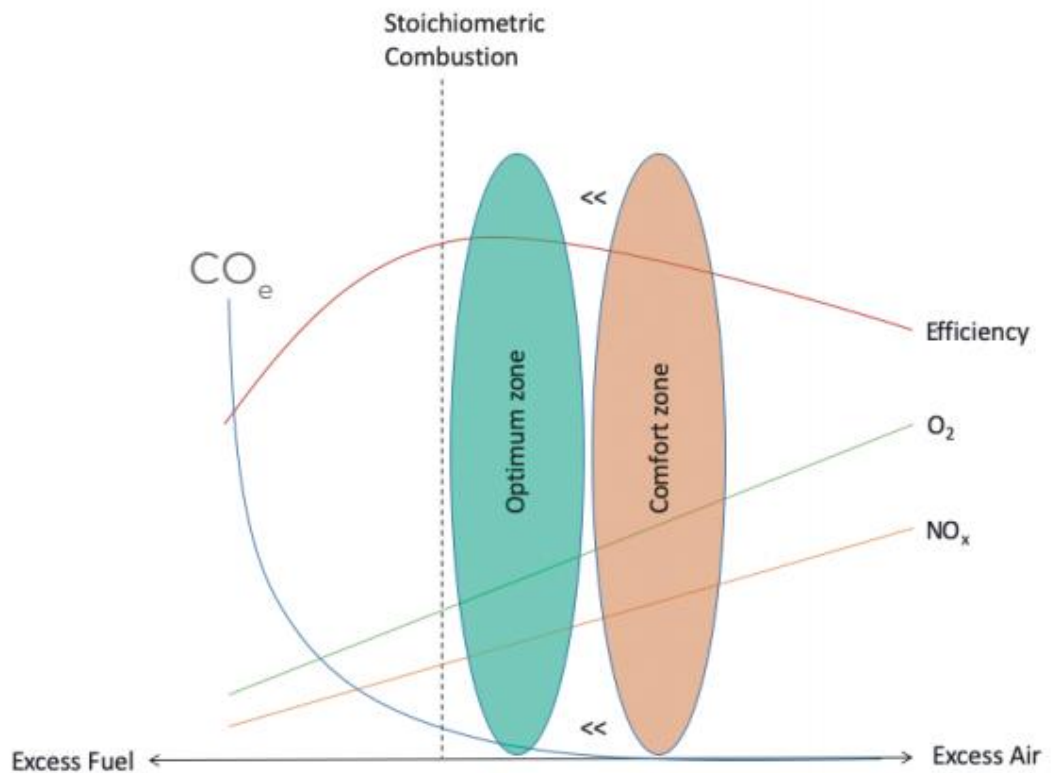
Kyseisestä aiheesta ei kovin montaa tutkimusta ole tehty, mikä johtuu ehkä siitä, että nykyaikana kaikki uudet polttimet jo lähestulkoon ovat jäännöshappiohjattuja. Tästä voimme päätellä, että kyseinen tekniikka on uusia laitoksia rakennettaessa todettu hyväksi. Eräs tutkimus kuitenkin viittaa hyvin tämän oppinäytetyön aiheeseen. Kristinsson & Langin (2010) tutkimus käsittelee kattilalaitosten tehokkuuden parantamista ja laitteistojen säätämistä. Teoreettisen tutkinnan kannalta kyseisestä tutkimuksesta saa hyvän kuvan asiasta.

Parvisen (2011) tutkimus sivuaa hieman aihetta, mutta siinä perehdytään enemmän sähkötekniseen logiikkaan ja turvepoltintekniikkaan öljypolttimen lisäksi.

4 TEOREETTINEN POHDINTA

Tärkeintä palamisessa on stoikiometrinen suhde, kuva 1. Stoikiometrinen suhde tarkoittaa aineiden ja suhteiden määrien tutkimusta sekä näiden muutosta. (Steinberg 2013.)

Tässä työssä tutkitaan hapen ja polttoaineen suhteen parantamista. Polttimen ohjauksen muuttaminen jäännöshappiperusteiseksi perustuu pakokaasujen happimäärän mittaamiseen. Maapuolen teollisuudessa jäännöshapen taso on noin 3–3,5 %, kun taas laivoolosuhteissa, ilman happisäätöä, jäännöshapen määrä on korkeampi, noin 6–7 % (Kurikka 2021).



Kuva 1. Stoikiometrinen palaminen. (TECG Control 2021)

Pakokaasujen jäännöshapen säädöllä voidaan ilmamäärää lisätä tai vähentää, jolloin hyötysuhde paranee ja kattilan häviöt pienenevät. Jäännöshapen reaaliaikainen seuranta tapahtuu happianturilla, joka asennetaan pakoputkistoon mahdollisimman lähelle savukaasujen alkulähdettä. Näin varmistetaan anturin lämpötilan pysyminen happokastepisteen yläpuolella ja savukaasun kulkuaika lyhyenä, niin että kuollut aika säätöpiirissä on lyhyt. (Rönqvist 2021.)

Happianturi antaa tietoa taajuusmuuttajalle, joka ohjaa ilmaa polttimelle ja säätää ilman määrän optimaalisemmaksi. Konehuoneen ilmanpaineen vaihtelusta johtuvat ilmamäärän vaihtelut saadaan näin myös kompensoitua taajuusmuuttajakäytöllä.

Jäännöshappitason alentaminen noin 1 %:lla parantaa hyötysuhdetta noin 0,5 % (Kurikka 2021).

Jos aluksella jäännöshappitasot ovat tasoa 6–7 % ja happitasoja saataisiin laskettua 3–4 %, olisi hyötysuhteen parannus 1,5–2 %, mikä olisi jo iso kustannussäästö polttoaineissa vuositasolla. Tämä on tosin äärimmäisen optimaalinen arvio.

Palavalle polttoaineelle voidaan laskea optimaalinen ilmamäärä, mutta ongelmaksi muodostuu, että optimaalisen ilmamäärän ylläpito ei ole realistisesti mahdollista. Poltin ei esimerkiksi pysty sekoittamaan ilmaa ja polttoainetta täydellisesti. Kompensoidakseen epätäydellisen ilman ja polttoaineen sekoittumisen, pitää happitason olla optimaaliseen määrään verrattuna korkeampi. Jos ilmamäärä jää optimaalisen rajan alapuolelle, ei polttoaine pala kunnolla. Joten liiallinen jäännöshapen määrän alentaminen saattaa vain lisätä päästöjä ja kuluja.

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimukseen on kerätty laivalta höyrykattilan polttimen polttoaineen kulutus-tietoja noin kolmelta kuukaudelta. Kulutuslukemat on kerätty keväällä 2020, jolloin ulkolämpötilat olivat lähellä Suomen keskilämpötilaa.

Höyrykattiloiden pakokaasukattilat eivät olleet käytössä kulutuslukemia kerätessä. Näin varmistetaan optimaalinen kattilan käyntiaika ja lukemat tutkimusta varten. Aluksella teetetään jäännöshappimittaukset, joista saadaan tieto öljypolttimien hyötysuhteesta nykyisellä hapen ja polttoaineen suhteella eri kuormituksilla.

Selvitetään eri toimittajilta laivan kattiloille sopivia öljypolttimia ja automaattikoita. Verrataan teoreettisia kulutuksia laivan toteutuneisiin kulutuksiin. Teoreettiset kulutukset saadaan laskemalla prosentuaalinen kulutuksen vähentyminen, jäännöshapen määrää pienentämällä. Lasketaan laitteille, asennuksille ja muille kustannuksille takaisinmaksuaika.

6 TYÖSUUNNITELMA

Opinnäytetyö toteutetaan työn ohella aluksella, jossa toimin vahtikonemestarina. Työhön liittyvää aineistoa on kerätty ennakkoon ja sitä aloitetaan analysimaan. Työn edetessä aineistoa kerätään sitä mukaan, kun uutta tietoa tulee ja pohditaan, onko tieto tarpeellista tutkimuksen kannalta.

Poltinautomaatiikan toimittajia kartoitetaan ja heille lähetetään kyselyitä tarkoitukseen soveltuvista laitteistoista, niiden kustannuksista ja takaisinmaksuajoista. Polttimien jäännöshappimittaukset suoritetaan aluksella ja samalla saadaan myös päästömittaukset suoritettua. Ennakkoaineiston läpikäynnin ja toimittajilta saatujen vaihtoehtojen tutkimisen jälkeen voidaan aloittaa tuloksien tutkiminen tarkemmin.

7 KOHDEALUKSEN TIEDOT

7.1 Yleistä

Silja Serenade on matkustaja-autolautta, joka on valmistunut vuonna 1990 Masa-Yardsin telakalla. Alus liikennöi väliä Helsinki-Maarianhamina-Tukholma. Alus on 203 metriä pitkä ja 31,5 metriä leveä, ja se oli vuosina 1990-1991 maailman suurin autolautta. Pääkoneina aluksella on neljä Wärtsilä Vasa 9R46 -moottoria. Yhden moottorin teho on 8145 kW. Sähköä alukselle tuottavat kaksi Wärtsilän Vasa 6R32 - ja kaksi 8R32 -moottoria, ne tuottavat sähkötehoa 14 kVA.

Korkeasta iästään huolimatta laiva on hyvässä kunnossa ja laivaa on päivitetty nykyaikaan koko elinkaarensa ajan. Alukselle on asennettu maasähkö, jota voidaan käyttää aluksen reitin molemmissa satamissa. Tätä kirjoitettaessa on aluksella meneillään koko ilmastointilaitteiston modernisointi, jolla sähkökuorma saadaan vähennettyä.

7.2 Höyrykattilajärjestelmä

Aluksella on kaksi Sunrod CPH-80 -tuliputkihöyrykattilaa, joiden tuotto on 8000 kg/h. Niitä tukemassa on 8 kappaletta pakokaasukattiloita (kuva 2), joilla

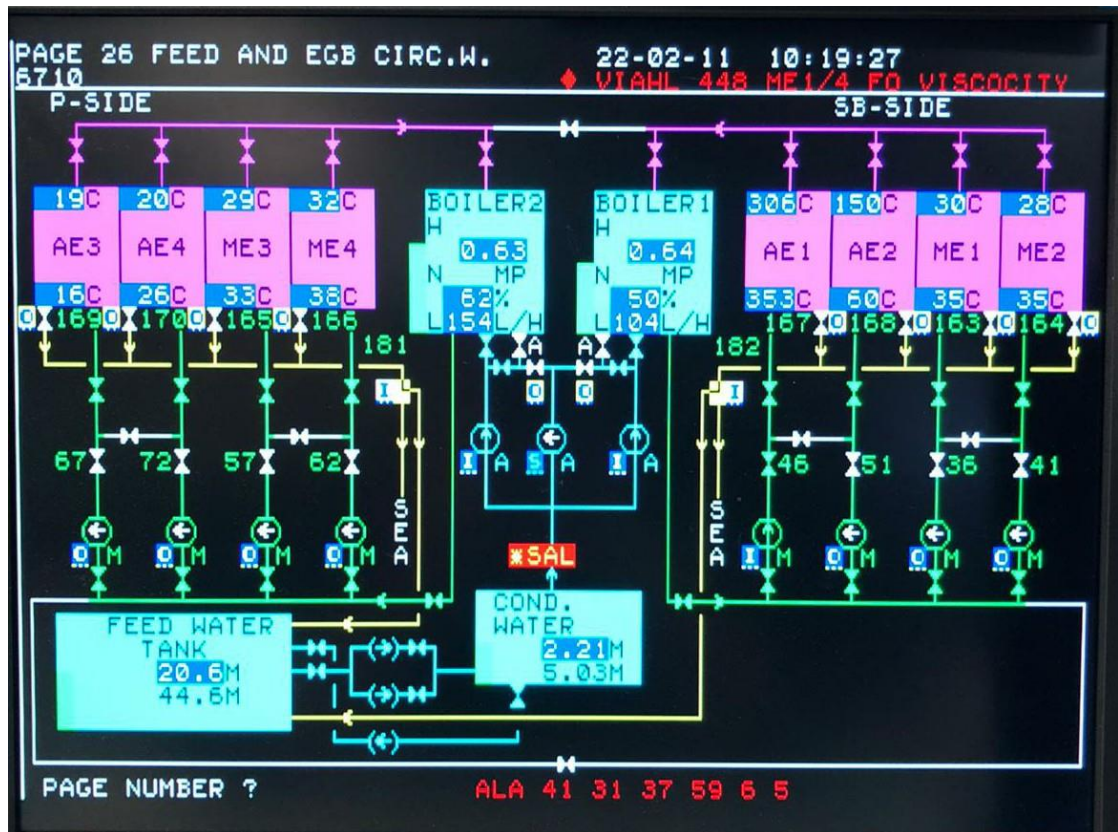
saadaan aluksen liikkeellä ollessa katettua koko höyryn tarve. Satamassa ollessa kattilat toimivat pääsääntöisesti polttimilla.

Höyrykattiloiden käyttöpaine on noin 6,5–7,5 baaria ja tällä hetkellä käytössä on liitteen 1. mukaista RMD80 (ISO 8217) -polttoainetta. RMD80 on erittäin vähärikkinen, raskas polttoöljy. Vaikka kyseessä on raskaaksi luokiteltu polttoaine, tulee palamisesta vähän nokea, mistä johtuen höyrykattiloiden lämmityspinnat pysyvät hyvässä kunnossa. Sama ilmiö on huomattu pakokaasukattiloissa, joita joudutaan puhdistamaan kyseisen polttoaineen käyttöönoton jälkeen huomattavasti harvemmin.

Höyryä käytetään laivalla monissa kohteissa. Suurimmat höyrylämmön kuluttajat ovat kuuma vesi, tankkien lämmitykset ja laivan lämmitys. Höyryllä lämmitetään polttoainetankit, jäteöljytankit, pilssitankki ja lukuisia muita pienempiä tankkeja.

Vettä lämmitetään kahdella levylämmönvaihtimella, jotka on kytketty lämminvesivaraajiin. Laivan lämmitykseen käytetään talvikuukausina suuri määrä höyryä. Höyryn lämpö siirtyy lämmitysveden kiertoon kahden levylämmönvaihtimen kautta.

Hieman pienemmistä kohteista mainittakoon esimerkiksi saattohöyrylinjat pää- ja apukoneissa, joilla pidetään koneiden polttoaineen ylivuotolinjat kuumina.



Kuva 2. Höyry- ja pakokaasukattiloiden ohjaus. (Salo 2021)

7.3 Nykyisin käytössä oleva poltinautomaatiikka

Kuvassa 3 nähdään nykyiset höyrykattiloiden Petro PP/PB7 -polttimet, jotka toimivat painehajotteisesti 1,2 baarin vakiopaineella. Polttimia ohjaa Honeywell EC 7850A -relemoduuli ja Siemens RWF40 -paineensäätömoduuli. Polttimien ilma-polttoainesuhdetta säädetään tällä hetkellä Siemensin SQM5 -aktuuaattorilla.

Polttimissa on ilmaa antamassa ensiöilmapuhallin ja toisioilmapuhallin. Ensiöilmapuhallin antaa ilmaa jatkuvasti saman määrän öljypolttimelle ja toisioilmapuhaltimen ilmaa säädetään ilmansäätöpellin avulla. Ilmansäätöpelti on kytetty samaan aktuaattoriin polttoaineen määrää säätelevän aktuaattorin kanssa.

Käytännössä, kun höyrynpaine laskee, antaa paineensäätömoduuli tiedon poltinta ohjaavalle relemoduulille käynnistää polttimen. Relemoduuli ohjaa ensiöilmapuhaltimen käynnistysksen. Kattilan ilmahuuhtelun jälkeen käynnistää relemoduuli öljypolttimen ja samalla kun polttoainetta aloitetaan syöttää, alkaa myös toisioilman säätö. Prosessin PI-kaavio löytyy liitteestä 2.



Kuva 3. Petro PP/PB poltin. (Salo 2021)

7.4 Nykyisen järjestelmän ongelma

Ongelma nykyisessä järjestelmässä tulee vastaan, kun suurilla kuormilla poltinta käytettäessä ilman määrä on lähes vakio. Kun ensiöilmapuhallin, toisiöilmapuhallin ja ilmaa säättävä säätöpelti ovat täysin auki, ei säätömahdollisuutta enää ole.

Polttimet säädetään aika-ajoin tehtävillä jäännöshappimittauksilla toimimaan mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Mutta koska ilmansäätö polttimelle ei ole kovin nykyaikainen, saattaa palotapahtuma olla epätäydellinen ja jättää liikaa jäännöshappia pakokaasuun. Johtuen esimerkiksi konehuoneen ilmapaineen vaihteluista ei vakionopeuksinen ilmapuhallin pysty korjaamaan ilmamäärää polttimelle.

Aluksella on tehty kokeiluja ajaa yhdellä höyrykattilalla suurella kuormalla ja kahdella kattilalla samaan aikaan pienemmällä kuormalla. Kokeiluissa on todettu, että kahden kattilan samanaikainen käyttö matalalla kuormalla säästää polttoainetta hieman. Näin kattiloita käytettäessä tulee polttimille paljon käynnistyksiä ja pysäytyksiä varsinkin tilanteessa, jossa höyryn tarve aluksella on pieni, kuten esimerkiksi kesällä. Polttimen käynnistyessä ohjaa automatiikka huuhtelemaan kattilan palotilan aina suurella määrällä ilmaa estääkseen palotilan räjähdykset.

Huuhteluilma jäähdyttää kuitenkin myös kattilan palotilaa paljon, jolloin lämpöenergiaa menee hukkaan. Jos polttimet pysähtyvät ja käynnistyvät usein, menee huomattava määrä lämpöenergiaa hukkaan. Tätä ongelmaa ei talvilämpötiloissa esiinny höyrynkulutuksen ollessa iso.

Pienillä kuormilla höyrykattilaa käytettäessä jäännöshapen määrä on korkeampi, jolloin reaaliaikaisella mittauksella ja säädöllä saataisiin pienille kuormille parempi hyötysuhde.

8 SAATAVILLA OLEVIA AUTOMATIIKOITA

Yhteyttä otettiin yhteensä kuuteen eri poltin- ja automatiikkatoimittajaan, joista kolmelta saatiin vastaus.

Heti alkumetreillä kävi ilmi, että vanhoissa polttimissa on vielä runsaasti elinkaarta jäljellä, eikä täysin uusien polttimien hankkiminen olisi takaisinmaksuajan kannalta välttämättä järkevää. Kaikki kolme valmistajaa kuitenkin olivat sillä kannalla, että jäännöshappiperusteinen ohjaaminen saattaisi olla mahdollinen asentaa nykyiseen järjestelmään ja sillä voisi hyötysuhdetta parantaa jonkin verran.

Jokaisella valmistajalla oli periaatteeltaan jäännöshapteen perustuvia mittalaitteita tarjolla. Mittalaitteiden käyttöönotto edellyttää myös taajuusmuuntimen, uuden taajuusmuunninkäyttöä kestävän ilmanpuhaltimen sähkömoottorin sekä tarkoituksen mukaisen kaapeloinnin hankintaa.

8.1 Lamtec

Oilon käyttää uusissa projekteissaan mm. Lamtec-happiantureita ja -lähettämiä. Jäännöshappimittauksen lisäksi Lamtec LT2 KS1D sisältää myös muita ominaisuuksia, kuten:

- Automaattinen kalibrointi
- Integroitu happikontrolli
- Palokaasun ja tuloilman lämpötila
- Palamisen hyötysuhteen laskenta
- Palamattomien jäännöksiä mittaaminen (CO/H₂)
- CO₂-päästöjen laskenta
- Palokammion paineen säätö
- Anturin lämpötilan kesto 450 °C (Lamtec 2021.)

Huolto

- Tarkempia huoltotietoja ei saatu koska yhteys jälleenmyyjään katkesi.



Kuva 4. Lamtec Lambda Transmitter LT2 KS1D (Lamtec 2021)

8.2 Green Instruments

Aalborg Alfa Laval käyttää Green Instrumentsin tuotteita omissa projekteissaan. Jäännöshappimittauksen lisäksi muita ominaisuuksia ovat:

- Automaattinen kalibrointi 6h:n välein
- Anturin back-flushing -puhdistus
- MED A 1/3.54 (Marine Equipment Directive) hyväksytty
- Anturin lämpötilan kesto 500 °C

- Laivakäyttöön suunniteltu vankka asennus (tärinä, kuumuus) (Green Instruments 2021.)

Huolto

- Lambda-anturin uusinta (Anturin kestoikä myyjän mukaan on noin kaksi vuotta.)
- Tarkempi kalibrointi kahden viikon välein
- Ilmavuotojen tarkastus
- Anturin filterin manuaalipuhdistus
- Huollot voi tehdä laivan oma henkilökunta (Syvänen 2021.)



Kuva 5. G3620 Stack Gas Oxygen Analyzing System ejektorin anturin kanssa. (Green Instruments 2021)

8.3 ABB

ABB valmistaa omat anturinsa ja lähettimensä. ABB oli myös ainoa, joka antoi tarjouksen laitteille suoraan sähköpostikyselyyn ilman asennus- ja kaapelointikuluja.

Anturin ominaisuudet:

- Anturin lämmönkesto 800 °C
- Automaattinen kalibrointi

Suosittelut vuosihuolto:

- ABB suorittaa huollot sisältäen:
 - Anturin tarkastus ja puhdistus
 - Happikennon tarkastus
 - Anturin lämmityksen toiminnan tarkastus
 - Kaksipistekalibrointi
 - Kalibrointikaasun
 - Kalibrointipöytäkirjan

- Huollon hinta on 390 € ensimmäiselle laitteelta ja 195 € seuraavilta + kilometrikorvaukset. (Rönqvist 2021.)



Kuva 6. Endura AZ20 Combustion Gaz Oxygen Analyzer. (ABB 2021)

9 AINEISTO

9.1 Aineiston keruu

Aineistoa kerättiin laivalla polttoaineen seurantana keväällä 2020, kun Covid-19-pandemian takia laivaa makuutettiin satamassa. Polttoaineen kulutuksesta saatiin tarkkaa tietoa, koska pakokaasukattiloita ei ollut käytössä kuin yhdessä apukoneessa. Jäännöshappimittaukset suoritettiin syksyllä 2021. Edellä mainitut aineistot ovat tärkeimmät, mitä voidaan laivalla kerätä. Pakokaasun analyysilaitteita kysellessä saimme hintatietoja laitteista ja teoreettisia jäännöshappitason säädöllä saatavia hyötysuhteen parannuksia.

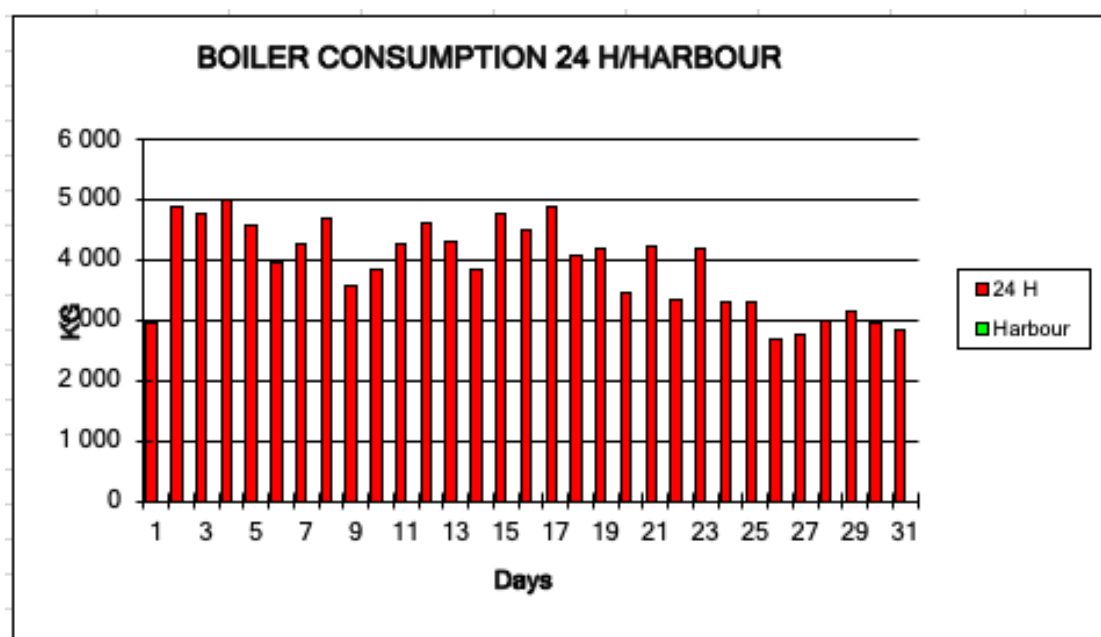
9.1.1 Polttoaineen kulutuksen seuranta

Polttoaineen kulutusta seurattiin vuonna 2020 huhtikuusta kesäkuuhun. Seuranta tapahtui aluksen ollessa Covid-19-pandemian takia seisonnassa Helsingin Olympia-terminaalissa.

Aluksen ollessa laiturissa kiinni, oli käytössä yksi apukone tuottamassa sähköä alukselle, joten käytössä oli myös yksi pakokaasukäyttöinen apukattila. Näin ollen kulutustiedot vastaavat erittäin tarkasti sitä, paljonko höyrykattilan polttimet kuluttavat polttoainetta.

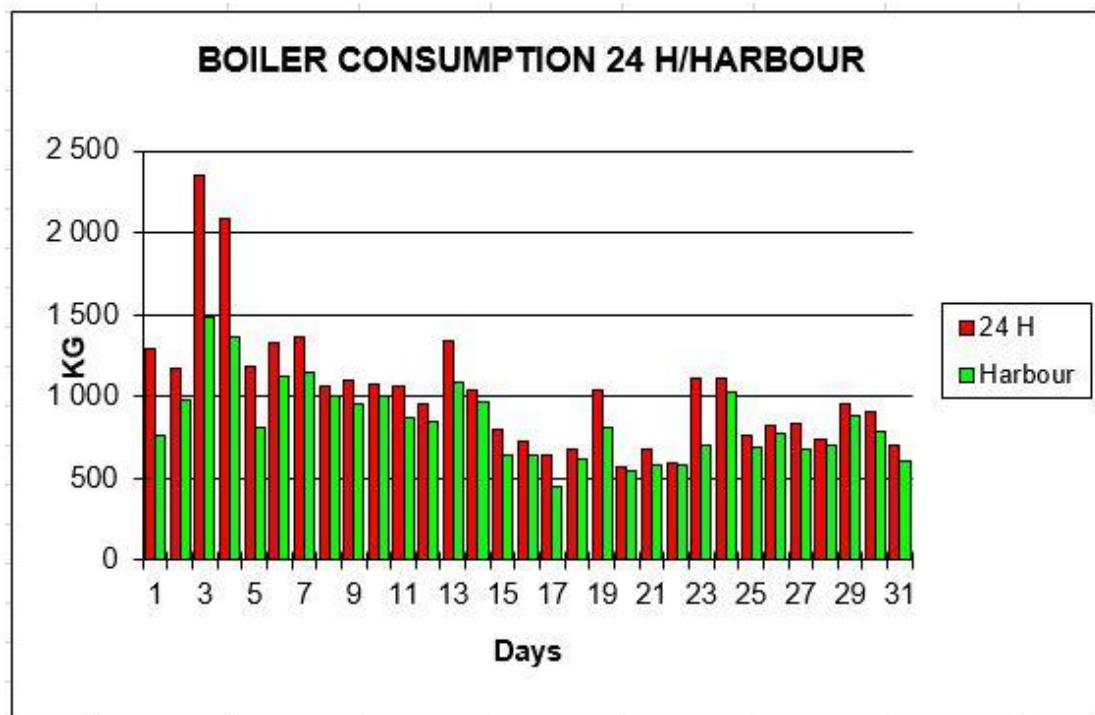
Kuvassa 7 on esitetty toukokuun 2020 päiväkohtainen kulutus, kun käytössä on ollut yksi höyrykattila aluksen kahdesta höyrykattilasta ja yksi pakokaasukattila.

Kulutus keskiarvo / päivä	3904 kg
Alin päiväkohtainen kulutus	2687 kg
Korkein päiväkohtainen kulutus	4994 kg
Kuukauden kokonaiskulutus	121052 kg



Kuva 7. Höyrykattilan polttoaineen kulutus toukokuussa 2020

Vertailun vuoksi kuva 8 näyttää päiväkohtaisen kulutuksen toukokuussa 2019, kun alus on ollut liikenteessä ja pakokaasukäyttöisiä apukattiloita on ollut käytössä 1–6 kappaletta.



Kuva 8. Höyrykattilan polttoaineen kulutus toukokuussa 2019

Kulutus keskiarvo / päivä	1035 kg
Alin päiväkohtainen kulutus	570 kg
Korkein päiväkohtainen kulutus	2345 kg
Kuukauden kokonaiskulutus	32089 kg

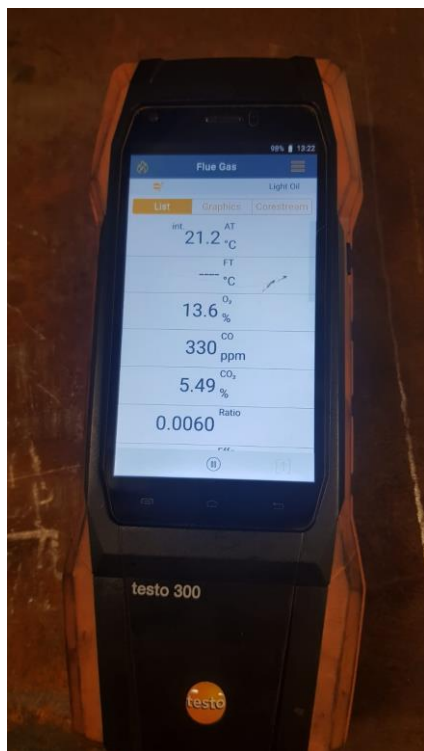
9.1.2 Jäännöshappimittaukset

Jäännöshappimittaukset suoritettiin aluksen nykyisten polttimien säädön yhteydessä 20–22.10.2021 Teknoteam Oy:n toimesta. Kattiloiden polttimet säädetään parhaimpien arvojen mukaan, sillä erillisiä standardeja ei ole. Polttimien ominaisuudet ja ympäristö vaikuttavat säätöön. Käytännössä seurataan kaasuarvoja, ja säädetään arvot niin hyvin, kuin ne suhteessa toisiinsa on mahdollista (Mattila 2022). Mittaukset suoritettiin kuvan 9 mukaisella Testo 300 -savukaasuanalysaattorilla.

Liitteessä 3 esitetyt mittausten tulokset näyttävät höyrykattila 1:n polttimen jäännöshapen määräksi 4,7–6,5% kuormasta riippuen. Korkein hapen määrä mitattiin pienimmällä kuormalla ja pienin hapen määrä puolella kuormalla.

Liitteen 4 mittaustulokset antavat höyrykattila 2:n polttimen jäännöshappimääräksi 3,5–5,5 %. Pienin hapen määrä mitattiin puolella teholla samoin kuin toisessa höyrykattilassa, ja suurin määrä happea korkeimmalla kuormalla.

Huomioitavaa mittauksissa on, että höyrykattila 1:n mittaukset tehtiin konehuoneen ilmanpaineen ollessa 3 Pa ja höyrykattila 2:n mittaukset tehtiin konehuoneen ilmanpaineen ollessa 0 Pa.



Kuva 9. Testo 300 (Salo 2021)

9.1.3 Aineiston analyysi

Kun aineistoa saatiin kerättyä tarpeeksi ja löydettiin siitä tutkimuksen kannalta validi tieto, aloitettiin aineiston analysointi.

Polttoaineen kulutuksen seurantaan valikoitui vuoden 2019 toukokuu. Toukokuu 2019 on alukselle viimeisiä kuukausia, jolloin alus on ollut liikenteessä

normaaliin tapaan, johtuen Covid-19-pandemiasta. Koska polttoaineen kulu-
tusta seurattiin myös toukokuussa 2020, poistetaan ulkolämpötilan suuret
muutokset polttoaineen kulutuksen vaihteluun.

Toukokuussa 2019 mitattu kulutus vastaa lähinnä aluksen höyrykattiloiden
normaalia polttoaineen kulutusta, kun käytössä on pakokaasukattilat. Touko-
kuussa 2020 mittausarvot vastaavat toisaalta sitä kulutusta, minkä höyrykatti-
lat kuluttavat ilman pakokaasukattiloita.

Aluksen höyrykattiloiden jäännöshappimittauksista saimme selville, minkälai-
sella jäännöshapella polttimet kävivät. Näitä arvoja vertailemalla yleisiin arvoi-
hin, niin maateollisuuden kuin laivojen jäännöshappiarvoihin, pystyimme las-
kemaan takaisinmaksuajan jälkiasennetulle jäännöshappilaitteistolle.

10 POLTINAUTOMATIIKAN VERTAILU JA VALINTA

Vertailussa oli kolmen eri valmistajan happianturi: Lamtec, Green Instruments
ja ABB.

Lamtecin anturissa oli paljon erilaisia mittaustoimintoja. Suurin osa niistä oli
kuitenkin sellaisia, joita on vaikea hyödyntää jälkiasennuksena vanhaan katti-
lalaitokseen. Ehkä ainoa meille hyödyllinen lisäominaisuus olisi kattilan poltti-
men ohjaus kombinaationa CO²- ja O₂-pitoisuuksien mukaan.

Lamtecin anturin lämmönkesto oli vertailun matalin, ja se oli jo siinä rajalla.
kestääkö anturi aluksemme höyrykattiloiden pakokaasulämpöjä. Yhteys lait-
teen jälleenmyyjään kuitenkin katkesi jo varhaisessa vaiheessa tutkimusta, jo-
ten informaatio laitteesta ja sen kyvystä jäi hieman vajaaksi.

Alfa Lavalin tarjoama Green Instruments oli ainoa, joka oli suunniteltu erityi-
sesti laivakäyttöön ja MED A 1/3.54 (Marine Equipment Directive) -hyväksytty.
Laitteessa oli toimintoja, jotka ylläpitävät automaattisesti laitteen kuntoa ja mit-
taustarkkuutta. Huollot pystyy tekemään laivan oma henkilökunta, joten erilli-
siä huoltokustannuksia ei synny.

ABB:n anturi vaikutti kaikin puolin lupaavalta ja meille tarkoitukseen sopivalta. Anturin lämmönkesto oli vertailun korkein, mikä ennustaa hyvää kestävyyttä Serenaden kattilapakokaasujen kuumuuden kanssa. ABB kuitenkin suositteli, että laitteen huollot tekee valtuutettu huoltomies, mikä lisää kustannuksia hieman.

Vertailussa käyttämäni tiedon perusteella tulen suosittelemaan laivalle Green Instruments -laitteistoa.

11 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Tutkimuksen kohdealus on rakennettu 1989. Alkuperäisesti asennetut höyrykattilan polttimet ovat edelleen käytössä. Polttimien automatiikkaa on päivitetty uusimalla relemoduuli ja paineensäätömoduuli. Päivitykset eivät kuitenkaan vaikuta polttoaineen ja ilman suhteeseen.

Tutkimuksen aikana teetetyt jäännöshappimittaukset osoittivat, että kattilan polttimet toimivat erittäin hyvällä hyötysuhteella ja erinomaisella jäännöshapella. Jäännöshapen määrä oli 3,5–6,5 % (keskiarvo 5,2 %), kun tavoite laivaolosuhteissa on 6–7 %. Maapuolen teollisuudessa tavoite 3–3,5 %. Voimme todeta, että tämän hetken höyrykattiloiden polttimien tehokkuudella päästään jo hetkittäin maapuolen suosituksiin ja reilusti alle laivaolosuhteiden suosituksen.

Jos tavoite jäännöshapen määräksi asetettaisiin hieman laivaolosuhteiden suosituksien alapuolella, eli noin 5,5 %:iin, tulisi automatiikan uusiminen maksamaan itsensä takaisin 12,2 vuodessa. Jos taas tavoitteena olisi maapuolen teollisuuden jäännöshappimäärä, eli noin 3,5 %, tulisi automatiikan uusiminen maksamaan itsensä takaisin noin 5,5 vuodessa. Takaisinmaksuaika laskettiin vuoden 2019 höyrykattiloiden kokonaispolttoaineen kulutuksen perusteella ja 1,1 %:n ja 0,5 %:n hyötysuhteen parannuksella.

Tutkimuksen aikana RMD80-polttoöljyn hinta oli 560 euroa tonni, minkä mukaan myös takaisinmaksuaika on laskettu. Järkeväksi ajateltuun, kolmen vuoden takaisinmaksuaikaan päästäisiin maapuolen teollisuuden jäännöshapen suosituksilla, jos RMD80:n hinta nousisi 1040 euroon tonni.

Taajuusmuuttajan, suodattimen ja sähkömoottorin hinnat saatiin laivan ilmastointilaitteiston uusimisen yhteydessä saatujen tarjousten, vastaavien laitteiden hinnoista. Työn hinta määriteltiin myös edellä mainitun projektin työ kustannusten mukaan. Tarkemmat tiedot laskelmista löytyy liitteestä 5.

Silja Serenadella konehuoneen paine pysyy matka-ajossa lähes vakiona tasan generattorikuorman johdosta. Ainoat suuret konehuoneen ilmanpaineen vaihtelut tapahtuvat satamaan tullessa ja satamasta lähtiessä kuorman vaihdellessa suuresti, kun käytössä on perä- ja keulapotkurit. Silloin polttimien automatiikan uusinnasta olisi suurin hyöty. Satama-ajo on kuitenkin erittäin pieni osa kokonaisajosta vuorokaudessa.

Konehuoneen ilmastointilaitteisto on uusittu vuonna 2020 niin, että ilmastointikoneikot ovat taajuusmuuntimien ohjauksessa ja taajuusmuuntimia ohjataan konehuoneen paineen mukaan, mikä jo tasaa konehuoneen painetta osaltaan.

Tutkimusten tulosten perusteella en voi antaa suosituksia, että höyrykattiloiden polttimien automatiikan uusiminen olisi kannattavaa päästöjen ja polttoaineen kulutuksen kannalta tällä hetkellä. Työn tarkoituksena oli antaa toimeksiantajalle mahdollisimman tarkkaa tietoa uudesta automatiikasta ja sen tuomista hyödyistä, joten tutkimustulosten tulkitseminen ja lopullisten päätösten tekeminen jätetään toimeksiantajalle.

12 YHTEENVETO

Tämän opinnäytteen tarkoituksena oli tutkia uuden jälkiasennetun automaatio-tekniikan tuomaa hyötyä vanhaan höyrykattilalaitteistoon. Perimmäisenä tavoitteena oli pienentää polttoaineenkulutusta ja vähentää päästöjä. Lähtökohteisena oletuksena oli, että uusi automatiikka toimii paremmin kuin vanha automatiikka.

Tulos kuitenkin yllätti, koska vanha järjestelmä osoitti toimivansa erittäin hyvin. Vielä 30 vuoden jälkeenkin polttimet toimivat hyvällä hyötysuhteella verrattuna siihen, että jäännöshappimittaukseen perustuva ohjausautomatiikka asennet-

taisiin jälkiasennuksena. Jälkiasennuksena happiantureita tarjonneet molemmat toimittajat totesivat mittausten jälkeen myös saman: kattilat toimivat hyvällä jäännöshapella.

Automatiikan uusinnalla olisi varmasti myös saavutettu hyötyä. Takaisinmaksajat osoittautuivat kuitenkin melko pitkiksi. Aluksen korkean iän takia hyöty olisi ollut minimaalinen. Vaikka alus vielä liikennöisi 20 vuotta, on laitteiston päivityksen tuoma säästö pieni.

Päästöjen kannalta automatiikan uusiminen ei olisi tuonut suuria parannuksia. Polttimien toimiessa hyvällä jäännöshapen määrällä pysyvät pakokaasulämmöt matalalla ja NO₂-päästöt maltillisina. Säännölliset huollot, mittaukset ja säädöt edesauttavat polttimia toimimaan jatkossakin hyvällä hyötysuhteella.

Tutkimuksen tekeminen oli mielenkiintoista, koska pääsin hyvin sisälle palamisreaktioon, mikä vielä tällä hetkellä on keskeinen prosessi merenkulun energiatarpeen täyttämässä. Tulevaisuuden kannalta tutkimus tukee omaa osaamistani hyvin, koska savukaasujen analysointi tulee olemaan entistä tärkeämpää kaikilla aloilla, joissa fossiilista polttoainetta tullaan käyttämään.

Lopuksi haluaisin kiittää toimeksiantajaa ja ohjaajia työn toteutuksen avustamisessa.

13 LÄHTEET

Steinberg, B. 2013. Stoichiometric combustion impact on boiler efficiency. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://sagemetering.com/combustion-efficiency/stoichiometric-combustion-and-its-impact-on-boiler-efficiency/> [Viitattu 5.12.2021].

Green Instruments. 2021. G3621 Stack gas oxygen analysing system. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://greeninstruments.com/maritime/oxygen-analyzers/g3621-stack-gas-oxygen-analyzing-system> [Viitattu 10.1.2022].

Kristinsson, H. & Lang, S. 2010. Boiler Control – improving efficiency of boiler systems. PDF-dokumentti. Saatavilla: https://www.iea.lth.se/publications/MS-Theses/Full%20document/5278_full_document.pdf [Viitattu 14.1.2022].

Kurikka, J. 2021. Sales Manager. Sähköpostiviesti 6.10.2021. Oilon Oy.

Lamtec. 2021. Lamtec Transmitter LT2 KS1D. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.lamtec.de/en/products/measuring-systems/o2coe-measuring-systems/lt2-ks1d.html> [Viitattu 10.1.2022].

Mattila, T. 2022. Site Specialist. Sähköpostiviesti 25.2.2022. Teknoteam Oy.

Parvinen, M. 2011. Poltinhjauksen modernisoinnin esiselvitys. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. PDF-dokumentti. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/28965/Parvinen_Mika.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Viitattu 24.12.2021].

Rönqvist, J. 2021. Area Sales Manager. Sähköpostiviesti 19.10.2021. ABB Oy.

Syvänen, S. 2021. Sales Manager. Sähköpostiviesti 13.11.2021. Alfa Laval.

Tallink. 2009. Tallink Grupp Sustainability Report. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.tallink.com/documents/12397/79510926/2009-2010-Tallink-Grupp-Sustainability-Report-en.pdf/a3953fdb-5f03-74c6-3e07-c4edbc99f696>, 19 [Viitattu 16.11.21].

KUVALUETTELO

Kuva 1. Kuvatallennus yrityksen verkkosivuilta. TEGC Control. 2021. Saatavissa: <https://www.tecgcontrol.com/boiler-optimisation/combustion-condition-analyser/> (Viitattu 12.2.2022)

Kuva 2. SELMA-automaatiojärjestelmä. Salo, L. 12.2.2022

Kuva 3. Petro PP/PB poltin. Salo, L. 26.9.2021.

Kuva 4. Kuvatallennus yrityksen verkkosivuilta. Lamtec. 2021. Saatavissa: <https://www.lamtec.de/en/products/measuring-systems/o2coe-measuring-systems/lt2-ks1d.html> (Viitattu 25.10.2021)

Kuva 5. Kuvatallennus yrityksen verkkosivuilta. Green Instruments. 2021. Saatavissa : <https://greeninstruments.com/products/oxygen-analyzers/g362x-stack-gas-oxygen-analyzing-system/> (Viitattu 25.10.2021)

Kuva 6. Kuvatallennus yrityksen verkkosivuilta. ABB. 2021. Saatavissa: <https://new.abb.com/products/measurement-products/analytical/continuous-gas-analyzers/zirconia-in-situ-oxygen-and-combustion/endura-az20-combustion-gas-analyzer> (Viitattu 25.10.2021)

Kuva 7. Kuvatallennus Silja Serenaden polttoainelakanasta (Viitattu 27.1.2022)

Kuva 8. Kuvatallennus Silja Serenaden polttoainelakanasta (Viitattu 28.1.2022)

Kuva 9. Testo 300 savukaasuanalysointilaitteisto. Salo, L. 21.10.2021.



Member of LUKOIL Group



1.1.2019

Tuotetiedote/ Product data – Teboil RMD 80 0,1

Teboil RMD 80 0,1	Yksikkö Unit	Laaturaja Specification		Määrittäminen Test method
		min.	max.	
Rikki Sulphur content	mass %		0,1	EN ISO 8754, ASTM D2622
Leimahduspiste Flash point	°C	60,0		EN ISO 2719
Tiheys, 15 °C Density at 15 °C	kg/m ³		975	EN ISO 12185
Tehollinen lämpöarvo Net heat of combustion	MJ/kg	42,3		ASTM D4809
Viskositeetti, 50 °C Viscosity at 50 °C	mm ² /s		80,0	EN ISO 3104
CCAI			860	Calculated
Rikkivety Hydrogen sulfide	mg/kg		2,00	IP 570
Happoluku Acid number	mg KOH/g		2,5	ASTM D664
Kokonais sedimentti Total sediment	mass %		0,10	ISO 10307-2
Hapetuskestävyys Oxidation stability	g/m ³		25	EN ISO 12205
Hiltojännös (MCR) Micro Carbon residue	mass %		14,00	EN ISO 10370
Jähmepiste, kesä Pour point, summer	°C		30	ISO 3016, D7346, ASTM D5950
Jähmepiste, talvi Pour point, winter			30	
Ulkonäkö Appearance		Tumman ruskea Dark brown		ASTM D 4176
Vesi Water content	vol %		0,50	EN ISO 3733, ASTM D6304
Tuhka Ash content	mass %		0,070	EN ISO 6245
Voitelevuus / HFRR 60°C Lubricity / HFRR 60°C	µm/kg		460	EN ISO 12156-1
Vanadiini (V) Vanadium (V)	mg/kg		150	IP 501, IP 470, DIN 51399-2
Natrium (Na) Sodium (Na)	mg/kg		100	IP 501, IP 470, DIN 51399-2
Alumiini (Al) + Pii (Si) Aluminum (Al) + Silicon (Si)	mg/kg		40	IP 501, IP 470, DIN 51399-2
Kalsium (Ca) ja Sinkki (Zn) tai Kalsium (Ca) ja Fosfori (P) Calcium (Ca) and Zinc (Zn) or Calcium (Ca) and Phosphorus (P)	mg/kg		Ca <30, Zn <15 Ca <30, P <15	

Varastointilämpötila/ Storage temperature +30°C till +40°C

Spesifikaation tulkinnassa käytetään ISO 4259 mukaista käytäntöä.

Practices according to ISO 4259 will be used when interpreting specification.

OY TEBOIL AB

Pääkonttori Huvudkontoret
Postiosoite Postadress
PL 57 PB
01511 Vantaa VandaKäyttökeskus
Plaza Loiste
Äytilä 20 Örevågen
01510 Vantaa VandaPuhelin Telefon
020 470 01
Faksi Fax
09 643 858Y-tunnus FO-nummer
0114795-2
Kotipaikka Helsinki
Henrot Helsingfors

www.teboil.fi

EC7830A, RM7830A, EC7850A, RM7850A 7800 SERIES RELAY MODULES

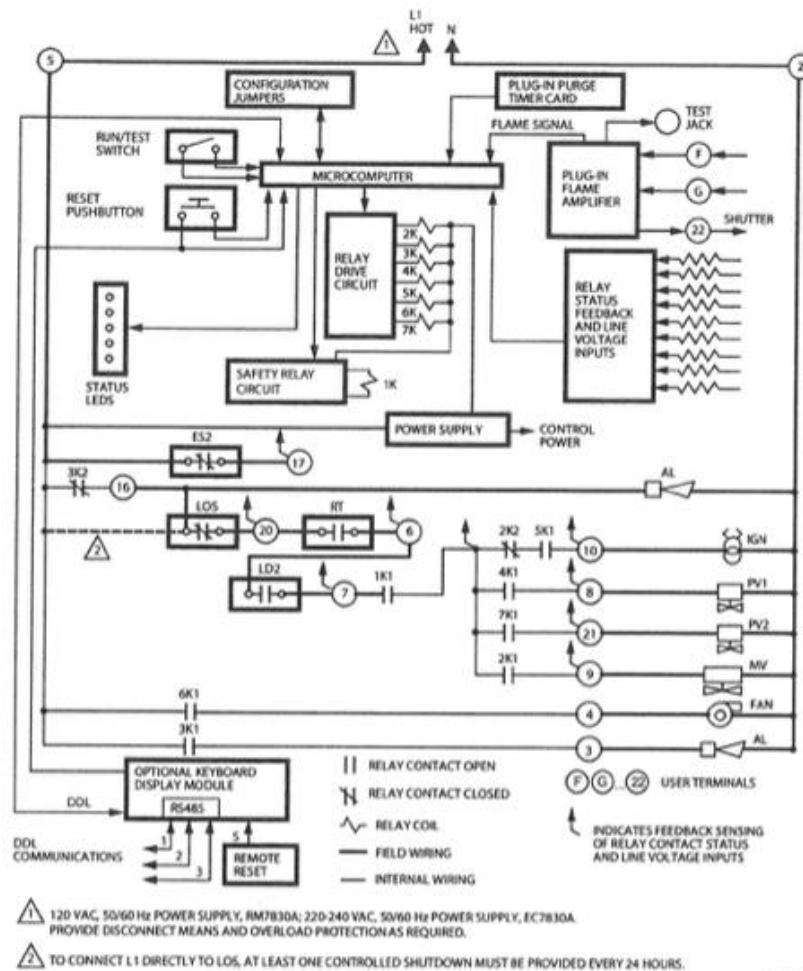


Fig. 1. Internal block diagram of EC/RM7830A (see Fig. 3 for detailed wiring instructions).

Liite 3.

Teknoteam Oy		MITTAUSPÖYTÄKIRJA RASKASÖLJYPOLTTIMELLE												
Piiskakuja 1, 20380 Turku p. 02-255 0055 f. 02-2550284		Pvm: 21.10.2021				Testaajat: Tapio Mattila								
Asiakas: Tallink Silja		Kattila: Aalborg OS				Teho: 4 t/h								
Osoite: Serenade		Poltin: Petro PP9/PB7				Tehoalue: 180-920 kg/h								
		Öljyl: MDODMB				No:								
Öljymäärä mittaus l/h	Öljynpaine Bar	Säätömoottori		Öljyn lämpö C°	Kattilan paine Bar	Noki kuva Bac	Savukaas lämpötila C°	Savukaasuanalysointori					suhde säätäjän asento	
		Asento	asento %					O ₂ %	NO _x (NO ₂) ppm	NO _x laskettu mg/MJ	NO _x mg/m ³ (ref 3% O ₂)	CO ppm		CO ₂ %
112	1,25			n.50	6,2	1	240	6,5	113	81	288	0		Min/0
	1,15			n.50	5,9	1	260	5,6	135	91	324	0		1
	1,05			n.50	6,1	1	300	4,7	147	94	333	0		2
	1,00			n.50	6,4	1	320	5,3	141	94	332	0		3
	0,95			n.50	6,6	1	325	5,6	148	100	355	0		4
	0,95			n.50	6,6	1	330	5,5	150	101	358	0		5
424	0,9			n.50	5,9	1	350	6,2	150	106	375	0		Max/6
										0	0			
										0	0			
										0	0			
Huomio: Säädetty jokainen piste paikoilleen, jonka jälkeen jousikaari tasoitettu ja mitattu hapet.														
Isolla teholla, jousi mikä painaa kaarta vasten kiristyy ja säätö alkaa nykiä jos kaarta ei suoritettu.														
Hapet säädetty 3 pa konehuoneen paineella.														

Liite 4.

Teknoteam Oy		MITTAUSPÖYTÄKIRJA RASKASÖLJYPOLTTIMELLE												
Piiskakuja 1, 20380 Turku p. 02-255 0055 f. 02-2550284		Pvm: 20.10.2021				Testaajat: Tapio Mattila								
Asiakas: Tallink Silja		Kattila: Aalborg OS				Teho: 4 t/h								
Osoite: Serenade		Poltin: Petro PP9/PB7				Tehoalue: 180-920 kg/h								
		Öljyl: MDODMB				No:								
Öljymäärä mittaus l/h	Öljynpaine Bar	Säätömoottori		Öljyn lämpö C°	Kattilan paine Bar	Noki kuva Bac	Savukaas lämpötila C°	Savukaasuanalysointori					suhde säätäjän asento	
		Asento	asento %					O ₂ %	NO _x (NO ₂) ppm	NO _x laskettu mg/MJ	NO _x mg/m ³ (ref 3% O ₂)	CO ppm		CO ₂ %
140	1,3			n.50	6,5	1	260	5,4	147	98	348	0		Min/0
	1,15			n.50	6,0	1	260	4,8	154	99	351	0		1
	1,05			n.50	6,2	1	300	4,2	161	100	354	0		2
	1,05			n.50	6,3	1	320	3,5	167	99	353	1		3
	0,95			n.50	5,9	1	330	4,5	166	105	372	0		4
	0,95			n.50	5,8	1	340	5,3	167	111	393	0		5
480	0,85			n.50	5,9	1	370	5,5	164	110	391	4		Max/6
										0	0			
										0	0			
										0	0			
Huomio: Säädetty jokainen piste paikoilleen, jonka jälkeen jousikaari tasoitettu ja mitattu hapet.														
Isolla teholla, jousi mikä painaa kaarta vasten kiristyy ja säätö alkaa nykiä jos kaarta ei suoritettu.														
Hapet säädetty 0 kpa konehuoneen paineella.														

Takaisinmaksuaika		
ABB tarjous		
AZ20 analyser	2 800,00 €	
Probe adapter	190,00 €	
Pressure reducer	150,00 €	
ABB huolto	585,00 €	
Sähkömoottori 11kW	811,00 €	
Taajuusmuunnin 11kW	744,00 €	
DU/dt-suodatin	441,00 €	
Kaapelointi	100,00 €	
Työ	4 000,00 €	
Yhteensä 1 kattila	9 821,00 €	
yhteensä 2 kattilaa	19 642,00 €	
RMD80/t/ €	560,00 €	
Kattiloiden kulutus/t/v 2019	577	
RMD80/v/€	323 120,00 €	
Jäännöshappi industry	3-3,5%	
Jäännöshappi marine	6-7%	
Nykyinen jäännöshappi	3,5-6,5%	
Nykyinen jäännöshappi ka	5,2	
Hyötysuhde parannus industry	1,1	
Hyötysuhde parannus marine	0,5	
RMD80/v/1,1% parannus	3 554,32 €	
RMD80/v/0,5% parannus	1 615,60 €	
Takaisin maksuaika maaolosuhteet	5,5	Vuotta
Takaisin maksuaika laivaolosuhteet	12,2	Vuotta

