Tampereen yliopisto

Eetu Viitanen

AUTOMAATTISEN TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN HYÖDYNTÄMINEN KONTTILUKKIEN ENNAKOIVASSA HUOLLOSSA

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Helmikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Eetu Viitanen: Automaattisen tiedonkeruujärjestelmän hyödyntäminen konttilukkien ennakoivassa huollossa
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Automaatiotekniikka
Helmikuu 2022

Ympäristö- ja ilmastoasiat korostuvat jokapäiväisessä elämässämme. Kertakäyttötalous ja ympäristön laiminlyönti maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi vaikuttavat olevan nykypäivänä yleistä. Tämä kandidaatintyö käsittelee konttilukkien ennakoivaa huoltoa ja miten niistä kerättyä anturidataa analysoimalla voitaisiin ennustaa mahdollinen huollon tai varaosavaihdon tarve. Ennakoiva huolto pidentää komponenttien elinikää ja lieventää ympäristölle aiheutuvaa rasitusta sekä vähentää tapaturmia ja laiteseisokkeja.

Ennakoivaa huoltoa tukevan tiedon keräämiseen tarvitaan tiedonkeruujärjestelmä ja tiedonsiirtoverkko. Tiedonkeruujärjestelmä kuuluu konttilukin ohjausjärjestelmään. Tiedonsiirtoverkon alussa on antureita, joilla data kerätään. Anturit on yhdistetty anturityypistä riippuen joko CAN-väylällä PLC:hen datan lähetystä varten tai moottorin ohjausyksikköön moottorin ohjauksen tueksi. Ohjausyksikkö ohjaa moottorin toimintaa ja lähettää moottorista kerättyä dataa eteenpäin niin ikään PLC:lle CAN-väylää pitkin. PLC:n tehtävä on ohjata lukin eri osakokonaisuuksia sekä lähettää saatua dataa eteenpäin Kalmar gatewaylle. Kalmar gateway on tiedonkeruukomponentti, joka suodattaa tarpeettoman tiedon pois ja lähettää suodatetun datan verkkopalvelimelle, josta tieto siirtyy datankäsittelytyökaluille.

Analysointivaiheessa lukista kerättyä dataa hyödynnettiin siinä ilmenevien poikkeamien tutkimiseen. Poikkeamista pyrittiin löytämään indikaattoreita mahdollisesta huollon tai komponentin vaihdon tarpeesta. Työssä tutkittiin lukin moottorin pakokaasun jälkikäsittelylaitteiston toimintakuntoa ja hydraulijärjestelmän hydrauliöljyn lämpötilaa.

Pakokaasun jälkikäsittelylaitteiston analyysissa tutkittiin siihen kuuluvan katalysaattorin kuntoa, joka tyypillisesti heikkenee pakokaasun sisältämien rikkioksidien vuoksi. Datasta löydettiin indikaattoreita NOx-anturien viallisuudesta sekä katalysaattorin puhdistus- ja vaihtotarpeesta. Hydrauliöljyanalyysissa tarkkailtiin konttilukin kohonneita hydrauliöljyn lämpötilakäyriä. Lämpötila kohoaa tyypillisesti viallisen hydraulipumpun tai huonolaatuisen hydrauliöljyn seurauksena. Analyysissa tultiin johtopäätökseen, että lämpötilan nousun aiheutti viallinen hydraulipumppu.

Tulevaisuudessa konttilukeista tullaan keräämään yhä enemmän dataa ja etsimään uusia analyysin kohteita. Kohteena voisi olla esimerkiksi lukin liikkumis- ja nostokoneiston yksityiskohtaisempi tarkastelu värinämittauksia hyödyntämällä. Lisäksi vikojen ilmetessä olisi tärkeää tutkia uudestaan jo analysoituja vikoja, jotta vikadataa olisi riittävästi yleispätevän vianratkaisun määrittämiseksi.

Avainsanat: Tiedonkeruujärjestelmä, ennakoiva huolto, konttilukki, data-analyysi.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Haluan kiittää Kalmaria tästä kandidaatintyön aiheesta. Varsinkin seuraavat henkilöt Kalmarilta olivat vahvasti mukana tämän kandidaatintyön parissa: tuotetuki-insinööri Juha Vehkaluoma ja tuotetuen esimies Katri Kokkonen. Haluan kiittää myös opiskelukavereitani henkisestä tuesta.

Tampereella, 23.2.2022

Eetu Viitanen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. KALMAR 2
2.1 Historia 2
2.2 Tuotteet 2
3. KONTTILUKIN KOMPONENTTIDATAN PROSESSOINTI 6
3.1 Konttilukin tiedonsiirtoketju 6
3.1.1 CAN-väylä 7
3.1.2 Moottorin ohjausyksikkö (ECU) 8
3.1.3 Ohjelmoitava logiikkaohjausjärjestelmä 9
3.1.4 Anturit 10
3.2 Kalmar Maintenance Remote Support 10
4. ENNAKOIVAA HUOLTOA TUKEVA DATA-ANALYYSI 14
4.1 Moottorin pakokaasun jälkikäsittelylaitteiston toimintakunnon arviointi 15
4.2 Hydrauliöljyn lämpötila 19
4.3 Jatkokehitys 21
5. YHTEENVETO 23
LÄHTEET 25

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CAN	Controller Area Network, tiedonsiirtoväylä
DOC	Diesel Oxidation Catalyst, dieselhapetuskatalysaattori
ECU	Engine Control Unit, moottorin ohjausyksikkö
KPI	Key Performance Indicator, suorituskykymittari
NOx	yhteisnimi typen oksideille
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikkaohjain
PT-100	Platinum Resistance Thermometer, lämpötila-anturi
RMG	Rail Mounted Gantry Crane, kiskoilla liikkuva pukkinosturi
RTG	Rubber Tyred Gantry Crane, mobiilipukkinosturi
SCR	Selective Catalytic Reduction, valikoiva katalyyttinen pelkistäminen

1. JOHDANTO

Ympäristö- ja ilmastoasiat ovat ajankohtaisia nykypäivänä. Ympäristöasiat ja kestävä kehitys ovat myös keskeisiä Cargotecin toiminnassa. Cargotecin tavoitteena on vähentää hiilidioksidipäästöjä miljoonalla tonnilla vuoteen 2024 mennessä. Ennakoivalla huollolla voidaan vähentää päästöjä sekä säästää varaosien valmistamiseen kuluvia luonnonvaroja huoltamalla laitteita ja vaihtamalla osia ennen vakavampaa konerikkoa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia Cargotecin tytäryhtiön Kalmarin konttilukeista saatua anturidataa ja etsiä sen avulla indikaattoreita mahdollisesta huollon tarpeesta. Aihe on ajankohtainen, sillä Kalmar on kehittämässä kaupallista ennakoivan huollon tarjontaa asiakkailleen. Ennakoivan huollon edellytyksenä on toimiva tiedonkeruujärjestelmä. Tiedonkeruujärjestelmä on liitetty konttilukin ohjausjärjestelmään. Ajoneuvoista kerätään nykypäivänä monenlaista tietoa, kuten lämpötilaa, painetta ja ajoneuvon eri komponenteille ominaisia ja tärkeitä arvoja. Edellä mainittujen tietojen avulla pyritään ennakoimaan laitteelle mahdollisesti tapahtuvia komponenttirikkoja.

Työn toisessa luvussa esitellään Kalmar ja sen valmistamat satamakoneet pääpiirteittäin. Kolmannessa luvussa käydään läpi yleisesti tiedonkeruujärjestelmä ja esitellään, mitä komponentteja siihen kuuluu. Lisäksi luvussa esitellään kukin komponentti pääpiirteittäin. Kolmannen luvun lopussa esitellään myös Kalmarin laatima etätukisuunnitelma. Varsinainen data-analyysi toteutetaan luvussa 4. Data-analyysin kohteina ovat konttilukin moottorin pakokaasun jälkikäsittelylaitteiston toimintakunnon arviointi sekä hydrauliöljyn lämpötilan seuranta. Samassa luvussa esitellään myös analyysin tulokset ja mahdollinen jatkokehitys. Työn päättää yhteenveto ja lähdeluettelo.

2. KALMAR

Kalmar on suomalainen satamateollisuuteen erikoistunut yritys, joka tarjoaa lastinkäsittelyratkaisuja sekä -palveluja terminaaleihin, raskaan teollisuuden käyttöön ja jakelukeskuksiin. Kalmar on myös edelläkävijä terminaalien automatisoinnissa ja energiatehokkaassa konttien käsittelyssä. Kalmarin satamaratkaisun avulla siirretään jo joka neljäs kontti maailmassa. Kalmarilla on maailmanlaajuinen palveluverkosto sekä kyky integroida terminaalien laitteet ja prosessit toisiinsa. Vuonna 2020 Kalmarin liikevaihto oli 1,5 miljardia euroa. [1]

2.1 Historia

Kalmarin historia ulottuu 1800-luvulle, jolloin se valmisti nostureita Alankomaissa. 1900-luvun puolivälin paikkeilla se valmisti jakelutraktoreita Pohjois-Amerikassa ja 2000-luvulla Kalmar alkoi keskittyä Tyynenmeren ja Aasian markkinoille. [2]

Kalmar tunnettiin vuoteen 1969 asti nimellä Valmet Oy, kunnes samana vuonna sen nimi vaihtui Sisu Terminal Systemiksi. Sisu Terminal Systems oli olemassa lähes 30 vuotta, kunnes vuonna 1997 sen osti sen aikainen suomalainen teollisuusyritys Partek Oyj ja yrityksen nimeksi vakiintui Kalmar. Kone Oyj jakautui vuonna 2005 kahdeksi yritykseksi, Cargotec Oy:ksi ja Kone Oyj:ksi. Kalmar siirtyi Cargotecin alaisuuteen samaan aikaan. Cargotec on suomalainen suuryritys, jonka tytäryhtiöitä ovat Kalmar, Hiab ja MacGregor.

2.2 Tuotteet

Kalmar tarjoaa monipuolisia kontinkäsittelykoneita satamiin. Niitä ovat muun muassa konttilukit, konttinosturit, terminaalitraktorit ja -trukit sekä konttikurottajat.

Konttilukki

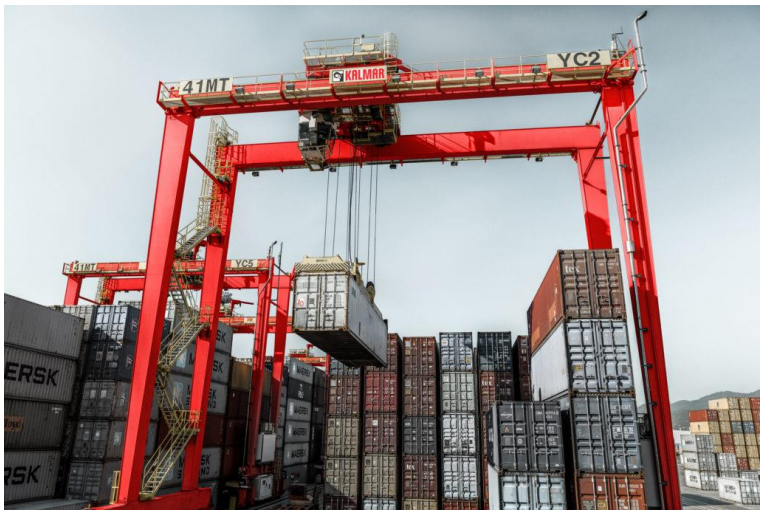
Kalmarin ehkä tunnetuin satamalaite on konttilukki. Konttilukki on kätevä ja monipuolinen laite, jolla pystyy nostamaan jopa 50 tonnisen kontin. Pääasiallisesti konttilukeilla noudetaan kontteja nostoalueelta ja pinotaan niitä.

Konttilukkeja on erikokoisia: 6 pyöräisiä kuljetuslukkeja sekä 8 pyöräisiä pinoavia konttilukkeja. Kuljetuslukeilla voidaan kasata enintään kahden kontin korkuisia konttipinoja ja pinoavilla konttilukeilla kolmen tai neljän korkuisia riippuen mallista. Konttilukit toimivat pääsääntöisesti dieselmoottorilla ja sähkögeneraattorilla. Kalmar tarjoaa myös täyssähköisiä ja täysin automaattisia konttilukkeja.

Kuva 1. *Pinoava konttilukki [3].*

Mobiilipukkinosturi

Mobiilipukkinosturi on satamassa käytettävä konttinosturi, jolla pystyy pinoamaan jopa 7 kontin korkuisia pinoja. Nosturi liikkuu mallista riippuen joko kiskoilla (engl. Rail Mounted Gantry Crane eli RMG) tai kumipyörillä (engl. Rubber Tryed Gantry Crane eli RTG). Kiskoversiot ovat täyssähköisiä ja kumipyörällä liikkuvat nosturit puolestaan käyttävät dieselmoottoria ja sähkögeneraattoria. Konttinosturin tehtävä on pitää kontit järjestyksessä ja tarjota kontteja konttilukeille. Konttinostureita ovat myös aivan sataman reunaan asennettava Ship to Shore (STS)-nosturi, jolla nostetaan kontit suoraan rahtilaivasta satama-alueelle. Myös mobiilipukkinostureissa hyödynnetään hyväksi paljon automaatiota.



Kuva 2. *Mobiilipukkinosturi [4].*

Terminaalitraktori

Terminaalitraktori on pienikokoinen rekka, jonka tarkoitus on satamaoloissa noutaa raskaita kontteja konttilukilta tai mobiilipukkinosturilta. Ne soveltuvat alusten purkamiseen ja lastaamiseen sekä konttien siirtelyyn alueille, joille lukeilla ei pääse. Terminaalitraktori ei sovellu itsekseen konttien käsittelyyn, vaan se tarvitsee aina erillisen lastaajan ja purkajan.

Kuva 3. *Terminaalitraktori [5].*

Haarukkatrukki

Haarukkatrukit ovat järeämpiä trukkeja, jotka ovat suunniteltu teräs- ja puuteollisuuden sekä satamien käyttöön. Trukkeja on saatavilla eri nostokapasiteetilla varustettuna kevyempiin tehtäviin tai erittäin raskaisiin satamatöihin. Nostokapasiteetti vaihtelee 5:n ja 52:n tonnin välillä. Kuvassa 4 on eräs haarukkatrukki.

Kuva 4. *Haarukkatrukki [6].*

Konttikurottaja

Konttikurottaja on näppärä kontin siirtelyyn tarkoitettu satamanosturi. Kontin nosto toteutetaan hydraulisella teleskooppipuomilla, jonka päässä on tarttuja. Konttikurottaja on suosittu varsinkin pienimmissä terminaaleissa, joissa automaatioaste ei ole kovin korkea. Eräs konttikurottaja on kuvassa 5.

Kuva 5. *Konttikurottaja [7].*

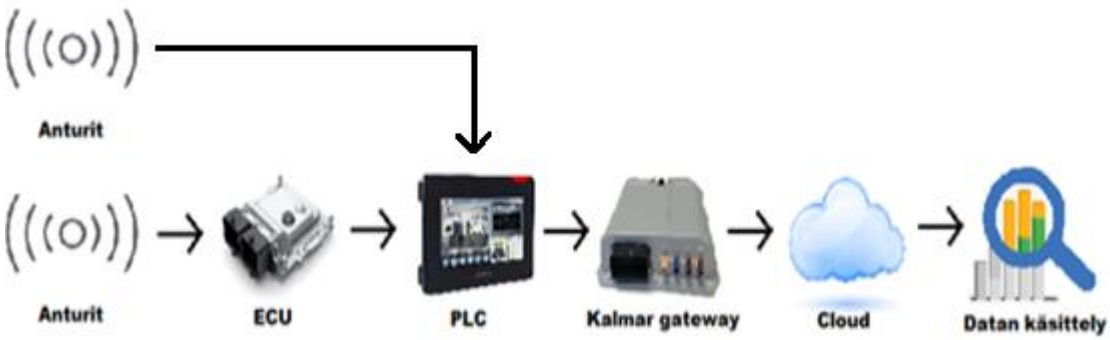
3. KONTTILUKIN KOMPONENTTIDATAN PROSESSOINTI

Ajoneuvoteollisuuden automaatio on kehittynyt huomattavasti muutaman viime vuosikymmenen aikana kohti automaatiota. Ajoneuvot sisältävät nykyään paljon erilaisia sensoreita ja laskentajärjestelmiä, joiden avulla kerätään ajoneuvosta tärkeitä tietoja ja ohjataan ajoneuvon toimintoja halutulla tavalla. Sensoreiden aivoina toimivat sulautetut elektroniset ohjausyksiköt eli ECUt. ECU tarkoittaa myös moottorin ajotietokonetta (engl. Engine Control Unit), joka ohjaa moottorin toimintaa. [8] Tässä työssä ECUlla tarkoitetaan moottorin ajotietokonetta, eikä yleistä sähköistä ohjausyksikköä.

Ajoneuvoissa on lukuisia eri toimintoihin erikoistuneita ohjausyksiköitä, jotka sijaitsevat ajoneuvon eri osissa ja jotka kommunikoivat keskenään ajoneuvon sisäisen viestintäverkon, Controller Area Networkin (CAN), avulla. Sergio Luiz Stevan Jr. ja Felipe Adalberto Farinelli [9] mukaan ohjausyksiköt vastaanottavat signaaleja antureista ja lähettävät ne muihin samaan tietoliikenneväylään kytkettyihin järjestelmiin. Kun yhteys on muodostettu, kaikki saman verkot laitteet voivat vastaanottaa ja käsitellä viestejä. Tämän seurauksena ECU pystyy käsittelemään anturidataa vaivattomammin. [9] ECU ja ajoneuvon muut ohjausyksiköt sekä niitä yhdistävä CAN-verkko muodostavat liikkuvan koneen hermoston, joka ohjaa ajoneuvon kaikkia toimintoja.

3.1 Konttilukin tiedonsiirtoketju

Konttilukin ohjausjärjestelmä koostuu erilaisista komponenteista, jotka kommunikoivat keskenään muun muassa CAN-väylän välityksellä. Erilaiset anturit, esimerkiksi PT-100-lämpötila-anturit, keräävät lukin öljyjen sekä jäähdyttimien lämpötiladataa. Moottorin tapauksessa anturidata, esimerkiksi NOx-anturin keräämä pakokaasun typpioksidipitoisuus, siirtyy moottorin ECUlle, joka prosessoi saadun tiedon ja ohjaa moottoria tarpeen mukaan. ECU välittää tiedot ohjelmoitavalle logiikkaohjaimelle (engl. Programmable Logic Controller eli PLC) CAN-väylää pitkin, jotta laitteen kuljettaja pystyy seuraamaan laitteen tilaa. Muussa kuin moottorin tapauksessa anturit lähettävät datan suoraan PLC:lle. Logiikkaohjain näyttää konttilukin kuljettajalle muun muassa tarttujan kuorman painon, lukin kallistuskulman, koneen nopeuden sekä erilaisia komponenttihälytyksiä ja -huomioita. Tiedonkeruuketju on visualisoitu kuvassa 6.



Kuva 6. *Tietoketju.*

Lukkeihin on edellisten komponenttien lisäksi asennettu Kalmarin oma gateway-moduuli, joka kerää laitteesta muun muassa sijainti- ja kontinnostotietoja sekä polttoaineenkulutustietoja. Gateway on yhdistettynä pilveen, ja se lähettää valitut tiedot pilviverkkopalveluun. Datankäsittelysovellukset poimivat ja suodattavat pilveen kerätyn datan ja muuntavat sen luettavampaan muotoon.

3.1.1 CAN-väylä

CANin kehitys alkoi 1980-luvun alkupuoliskolla, kun Boschin insinöörit arvioivat sen aikaisia sarjaväyläjärjestelmiä ja pohtivat, voisiko niitä hyödyntää henkilöautoissa. Insinöörit eivät löytäneet heitä miellyttävää verkkoprotokollaa, joten Uwe Kiencke aloitti uuden sarjaväyläjärjestelmän kehittämisen vuonna 1983. CANin kehityksessä olivat mukana myös teknologiayhtiö Intel ja autonvalmistaja Merzedes Benz. CANin kehityksen yhteydessä esitetyn uuden protokollan pääidea oli lisätä uusia toimintoja. Sivutuotteena syntyi vähentynyt johtosarjojen tarve, joka ei ollut CANin kehityksen päätavoite. [10]

CANista esiteltiin ensimmäisen kerran Society of Automotive Engineers -kokouksessa (SAE) vuonna 1986. Uuden väyläjärjestelmän nimi oli ”Automotive Serial Controller Area Network”. CAN-väylä perustui kilpavarausmenettelyyn, joka sallii korkeamman prioriteetin viestin pääsyn väylään. Verkolla ei ollut välittäjänä toimivaa tietokonetta. CAN-väylän jatkokehityksessä olivat mukana muun muassa Uwe Kiencken lisäksi Siegfried Dais, Martin Litschel, Wolfgang Borst, Wolfgang Botzenhard, Otto Karl, Helmut Schelling ja Jan Unruh. He toteuttivat CAN-verkolle myös useita virheiden havaitsemis- ja käsittelymekanismeja. [10]

Vain reilu vuosi CANin julkaisun jälkeen yhdysvaltalainen teknologiayhtiö Intel julkaisi 82526 CAN -mikrokontrollerin. Tämä oli ensimmäinen laitteistototeutus CANille. Philips julkaisi oman CAN-mikrokontrollerinsa (82C200) 1990-luvun alussa. Nämä kontrollerit erosivat toisistaan muun muassa viestien suodatuksen ja käsittelyn osalta, minkä seurauksena Intelin kontrolleria käytettiin FullCAN-protokollan yhteydessä ja Philipsin kontrolleria BasicCAN-protokollan yhteydessä. [10]

CAN-väylä kehitettiin alun perin ainoastaan ajoneuvokäyttöön, mutta sen käyttö on laajentunut huomattavasti vuosien kuluessa. Sitä käyttää nykyään esimerkiksi satamakoneita valmistava Kalmar, metsäkoneita valmistava Ponsse sekä hissejä valmistava Kone.

3.1.2 Moottorin ohjausyksikkö (ECU)

Moottorin ohjausyksikkö (engl. Engine Control Unit tai Electronic Control Unit) on moottorissa sijaitseva ajotietokone, joka ohjaa moottorin toiminnan kannalta tärkeitä toimintoja. Se kehitettiin alun perin korvaamaan mekaaninen polttoaineen annostelulaite eli kaasutin. Kaasutin sisältää rivin erikokoisia suuttimia, joiden läpi polttoaine kulkee moottorille. Tiukentuneet päästörajoitukset ja polttoaineen tehokkuusvaatimukset lisäsivät ECUn suosiota kaasuttimen korvaajaksi. [11]

ECUa voidaan pitää moottorin aivoina, ja sen pitää seurata neljää eri toiminta-aluetta suoriutuakseen tehtävistä. ECUn syöte sisältää tietoa moottorista ja ajoneuvon muista komponenteista, joita se tarvitsee päätöksentekoon. Näitä tietoja kerätään erilaisilla antureilla, kuten lämpötila- ja paineantureilla sekä päälle/pois-signaaleilla. Syöte voi olla esimerkiksi kaasupolkimen asennonmuutos tai katalysaattorin kuntoa tarkkailevan lämpötila-anturin lämpötilalukema. [11] Edellä mainittu tiedonsiirto antureiden ja ECUn välillä toteutetaan CAN-väylän avulla [9].

Kun ECU on saanut kerättyä tarvittavat tiedot, se vastaa syötteeseen ennalta määrätyllä tavalla. Esimerkiksi kaasupoljinta painettaessa ECU säätää polttoainesuuttimen pulssin leveyttä. Vasteen lisäksi ECU myös tallentaa ajoneuvon ajokilometrejä, polttoaineseoksen määrästä saatua dataa ja sääntelee sähköä ajoneuvon eri komponenteille. [11]

ECU ohjaa polttoaineen ruiskutusta ja bensiinimoottoreissa kipinän ajoitusta sytytysvaiheessa. Se myös määrittää asentotunnistimen avulla moottorin sisäosien asennon, jotta suuttimet ja sytytysjärjestelmä aktivoituvat juuri oikeaan aikaan. [12]

ECUn toiminta perustuu matemaattisten yhtälöiden ja laskentataulukoiden hyödyntämiseen [11]. Eräs moottorin ohjausyksikkö on kuvassa 7.

Kuva 7. *Moottorin ohjausyksikkö [13].*

ECUn tärkein tehtävä on säädellä moottorissa polttoaineen ja ilman suhdetta. Polttomoottori voidaan ajatella polttoaineella toimivaksi ilmapumpuksi, joka tarvitsee toimiakseen juuri oikean määrän polttoainetta ja ilmaa. Liian suuri polttoaineen ja ilman muodostama seos aiheuttaa sen, että moottori käy täyskaasulla ja liian vähäisen seosmäärän takia moottori ei pystyisi pysymään käynnissä tai edes liikuttamaan ajoneuvoa. Myös seoksen suhteella on väliä, sillä liian suuri polttoainepitoisuus aiheuttaa likaista palamista ja heikentää näin hyötysuhdetta. Pieni polttoainepitoisuus aiheuttaa päinvastaisen lopputuloksen eli polttoaineen palaminen heikentyy ja hidastuu. [11]

3.1.3 Ohjelmoitava logiikkaohjausjärjestelmä

Ohjelmoitava logiikkaohjain eli PLC on teollisuustietokone, joka on suunniteltu toimimaan teollisuuskäytössä, esimerkiksi tehtaan valmistuslinjoilla ja ajoneuvoissa. PLC:n tiedonkäsittely, -varastointi ja prosessoriteho vastaavat kutakuinkin perus pöytätietokonetta. Ohjaimeen voidaan yhdistää LCD-näyttö, joka näyttää PLC:n prosessoiman datan, kuten anturidatan ja paikkatietoja. [14] Anturit on liitetty ohjaimeen CAN-väylällä [9].

PLC:n toiminnallisuuteen kuuluu releohjaus, hajautetut ohjausjärjestelmät ja verkostoituminen. PLC:llä voidaan ohjata sähkömoottoreita, pneumaattisia- ja hydraulisia järjestelmiä, magneettireleitä sekä solenoideja. Tästä syystä ohjaimia käytetään paljon automatisoiduissa ympäristöissä ja liikkuvissa työkoneissa. [14]

3.1.4 Anturit

Konttilukin ohjaukseen tarvitaan suuri määrä erilaista anturidataa siitä, miten lukki ja sen komponentit käyttäytyvät milläkin ajan hetkellä. Antureilla voidaan mitata muun muassa lämpötilaa, painetta, pitoisuuksia, kallistuskulmaa, värinää, kosteutta ja äänen voimakkuutta. Anturit on kytketty suoraan lukin PLC:lle tai moottorin ohjausyksikölle. Seuraavaksi esitellään lyhyesti tämän kandityön data-analyysin kannalta oleelliset anturit eli lämpötila-anturi (PT-100) ja NOx-anturit.

PT-100-anturi on platinasta valmistettu anturi, jolla mitataan lämpötilaa. Se on kätevä, sillä on hyvä lämmönkestävyys- ja hapettumisenestokyky. Anturin yksinkertaisen rakenteen takia se soveltuu massatuotantoon ja sillä on suuri lämpötilan mittausalue, -200 asteesta +850 asteeseen. PT-100:n lämpötilavastuksen resistanssi riippuu halutusta mittausalueesta ja vastusten vaihteluväli on lähes lineaarinen. PT-100:n jännitehäviö on verrannollinen anturin vastuksen resistanssiin ja sen jännitesignaalia tutkimalla saadaan kerättyä lämpötiladataa. [15]

NOx-anturi on pakokaasun typpioksidien mittaamiseen tarkoitettu anturi, joka on PT-100 anturin tapaan myös valmistettu platinasta. NOx-anturit valvovat jatkuvasti muodostuvia typpipäästöjä ja lähettävät dataa ECUlle, joka ohjaa moottoria minimoimaan päästöt. Anturin toiminta perustuu sen läpi kulkevaan diffuusiovirtaan, joka kulkee NOx-anturin diffuusioesteiden läpi. Anturin lämpötilalla on tärkeä vaikutus muodostuvaan diffuusiovirtaan. [16]

3.2 Kalmar Maintenance Remote Support

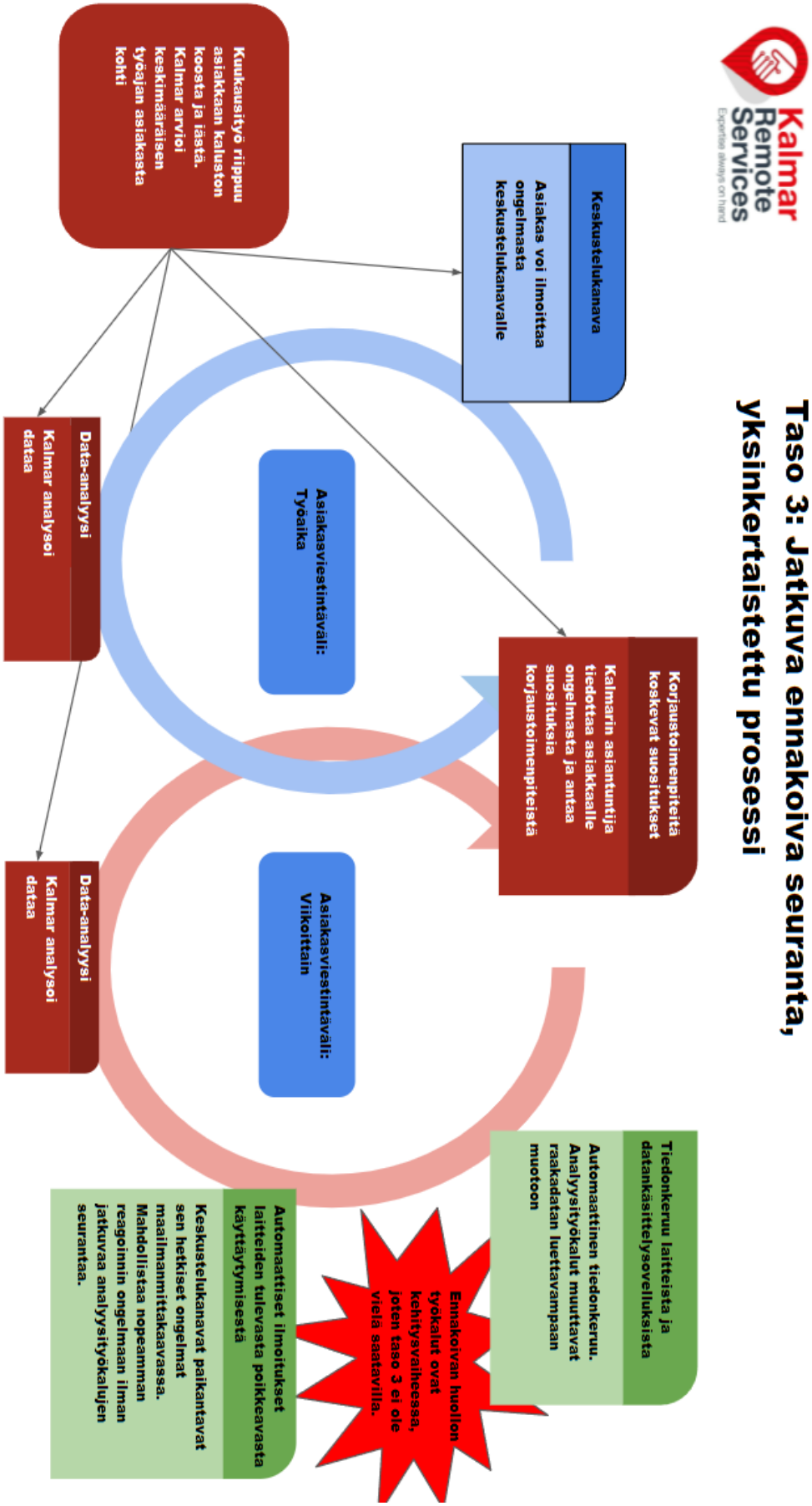
Kalmar Maintenance Remote Support on konttilukeista kerättyyn tietoon perustuva palvelu, jonka avulla pystyy optimoimaan laitteiden käyttöä sekä vähentämään konttilukkien seisonta-aikaa. Palvelun tarkoituksena on varmistaa, että koneet toimivat sataman asettamien tavoitteiden eli Key Performance Indicators (KPI) -mittarien mukaisesti. Palvelu on käytössä kaikille pilveen liitetyille konttilukeille ja sitä tarjotaan kolmella eri tasolla, joista taso 3 on tämän kandityön kannalta oleellisin.

Tason 1 etätukipalveluun kuuluvat kuukausiraportit ja huoltosuositukset, jotka laaditaan lukeista kerättyä dataa analysoimalla. Annettujen suositusten perusteella kehitetään satamakalustoa ja varmistetaan niiden tehokas toiminta. Lukeista kerätty data viedään pilveen, jonka jälkeen se prosessoidaan. Datasta luodaan automaattisesti kuukausiraportti, joka kertoo, kuinka hyvin tarkasteltava lukki on suoriutunut

tehtävistään. Raportissa esitellään esimerkiksi polttoaineen kulutustietoja. Kalmarin asiantuntijat lisäävät vielä omat muistiinpanonsa raporttiin, jonka jälkeen raportti käsitellään asiakkaan kanssa joka kuukausi

Taso 2 sisältää tason 1 ominaisuuksien lisäksi myös Kalmarin tarjoamaa ennakoivaa tukea. Ennakoiva tuki toteutetaan analysoimalla lukeista kerättyä dataa ja etsimällä poikkeamia. Tarjottavan tuen määrä ja lisäominaisuudet riippuvat valitusta palvelutasosta.

Taso 3 sisältää kaikki edeltävien tasojen ominaisuudet ja potentiaalisten laiterikkojen ennakointi. Laiteongelmat pyritään löytämään analysoimalla konttilukeista kerättyä monipuolista dataa, jota tässä kandidaatintyössä käsitellään. Ongelmat pyritään löytämään ennen kuin niistä tulee lukin operaatiota haittaavia tai hidastavia vikoja. Taso 3 on vielä kehitysvaiheessa ja se on esitelty kuvassa 8.



Kuva 8. *Tason 3 etätukisuunnitelma.*

Tasoon 3 liittyy yleisimpien häiriöiden automaattinen raportointi Slack-järjestelmään, jolloin poikkeamiin reagointi nopeutuu. Asiakkaat voivat myös itse ilmoittaa havaituista ongelmista Slack-kanavalle, johon Kalmarin insinööri vastaa ja antaa suosituksen korjaavista toimenpiteistä. Taso mahdollistaa kaksisuuntaisen kommunikoinnin asiakkaan ja Kalmarin kanssa ja asiakkaan viesteihin vastataan toimistoaikoina. Asiakas voi myös itse tarkastella lukkiin liittyviä bin-hälytyksiä ja ottaa tarvittaessa Kalmariin yhteyttä. Bin-hälytyksellä tarkoitetaan algoritmien avulla pilvidatasta poimittuja normaalista poikkeavia arvoja.

Ongelmatilanteissa bin-hälytykset ilmestyvät Slack-järjestelmään, johon Kalmarin insinöörit reagoivat ja ilmoittavat asiasta suoraan asiakkaalle. Viestiin kirjataan ilmennyt vika sekä suositellut korjaustoimenpiteet, jolloin vikaan voidaan reagoida välittömästi asiakkaan päässä. Korjausehdotukset määritetään analysoimalla bin-hälytyksiin liittyvää dataa. Vaihtoehtoisesti viankuvaus ja korjausehdotukset voidaan kirjata suoraan bin-hälytyksen yhteyteen.

Nopea kommunikointi ja reagointi on tärkeää, jotta alkavat, vikoihin johtavat epäkohdat saataisiin poistettua tai korjattua ennen kuin ne kytkevät PLC:n tai ECUn toimintarajoitukset päälle. Tason 3 palveluun sisältyy ennalta sovittu määrä analysointitunteja Kalmarin insinööreiltä.

4. ENNAKOIVAA HUOLTOA TUKEVA DATA-ANALYYSI

Tässä kandidaatintyössä analysoidaan konttilukin moottorin pakokaasun jälkikäsittelylaitteistosta saatua anturidataa, jonka avulla voidaan arvioida katalysaattorin kuntoa ja vaihtotarvetta. Toinen analysoinnin kohde on lukin hydraulijärjestelmässä kulkevan hydrauliöljyn lämpötilan seuranta. Lämpötilasta pyritään etsimään liian suuria lämpötilalukemia, jotka voisivat indikoida hydraulijärjestelmän komponenttien huonosta kunnosta. Molemmista analysoinnin kohteista otettiin tarkasteluun yksi tapaus.

Analysointia tehdään, jotta voitaisiin reagoida mahdollisiin laiterikkoihin ja tapaturmiin etukäteen. Laiterikot ja lukkien seisokit aiheuttavat taloudellisia menetyksiä asiakkaalle sekä Kalmarille. Kalmar tarjoaa asiakkailleen etätukisuunnitelmaa ja data-analyysin tarkoitus on tukea sitä ja mahdollisesti löytää uusia tarjottavia ominaisuuksia. Lisäksi datasta voidaan tutkia, olisiko konttilukin rakenteessa tai osakokonaisuuksissa parannettavaa.

Data-analyysin työkaluina käytetään kahta Kalmarin tarjoamaa datankäsittelytyökalua. Salassapitovelvollisuuden takia työkaluihin liittyvät yksityiskohdat jätetään mainitsematta. Lisäksi sovelluksista otettuja kuvia sensuroidaan osittain. Ensimmäinen käyttämäni työkalu tarjoaa konttilukeista muun muassa lämpötiladataa ja polttoaineen kulutukseen liittyviä tietoja. Toinen analysoinnin työkalu tarjoaa konttilukin PLC:n ja ECUn antamia hälytyksiä ja niiden lukumääriä.

Analyysin tarkoituksena on etsiä kerätystä datasta poikkeamia ja pohtia, miten tilanteeseen kannattaisi reagoida ja mihin toimenpiteisiin tarvitsee ryhtyä. Tavoitteena olisi löytää datan ja käytännön välille indikaattoreita, jotta tulevaisuudessa osattaisiin reagoida ongelmiin hyvissä ajoin. Esimerkiksi äkillinen hydrauliöljyn lämpeneminen voisi indikoida viallisesta hydraulipumpusta. Analyysissa myös verrataan dataa ennen ja jälkeen komponentin vaihtamisen ja tutkitaan, oliko vaihdolla vaikutusta havaittuun poikkeamaan. Mikäli arvot palaavat komponentin vaihdon myötä normaaliksi, voidaan todeta, että kyseinen komponentti aiheutti alun perin poikkeaman datassa.

4.1 Moottorin pakokaasun jälkikäsittelylaitteiston toimintakunnon arviointi

Moottorin pakokaasun jälkikäsittelylaitteiston kunnon tarkastelu on tärkeä analysoinnin kohde. Tässä työssä jälkikäsittelylaitteistolla tarkoitetaan lähinnä moottoriin kytkettyä katalysaattoria. Katalysaattori on teräspeltikoteloon käärityistä keraamisista kennoista muodostuva laite, jonka sisäpinta on päällystetty platinalla. Katalysaattorin tehtävä on muuntaa polttomoottorin aiheuttamia päästöjä vähemmän haitalliseen muotoon. Konttilukkien tapauksessa katalysaattori pyrkii vähentämään dieselmoottorin aiheuttamia typpipäästöjä pelkistämisreaktioilla.

Valikoiva katalyyttinen pelkistäminen (engl. Selective Catalytic Reduction eli SCR) on tekniikka, jossa typen oksideja eli lyhyemmin NOx-päästöjä vähennetään katalysaattorin avulla. Tämän tekniikan avulla typen päästöjä voidaan vähentää jopa 95 %. [17] Korkean muuntosuhteensa takia SCR-tekniikka on yleisesti käytössä.

Konttilukkien SCR-järjestelmän pelkistysaineena käytetään AdBlueta eli ureaa ja vettä sisältävää liuosta. AdBlue hajoaa katalysaattorissa korkeassa lämpötilassa ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi kaavan 1 mukaisesti. Ammoniakki reagoi pakokaasussa olevien typenoksidien kanssa ja tuotteena syntyy typpikaasua ja vettä, kuten kaavasta 2 nähdään. Kaavassa 2 kirjaimet a, b, c ja d ovat kertoimia, jotka määräytyvät eri typenoksidien perusteella.

$$H_2N - CO - NH_2 + H_2O \rightarrow 2NH_3 + CO_2 \tag{1}$$

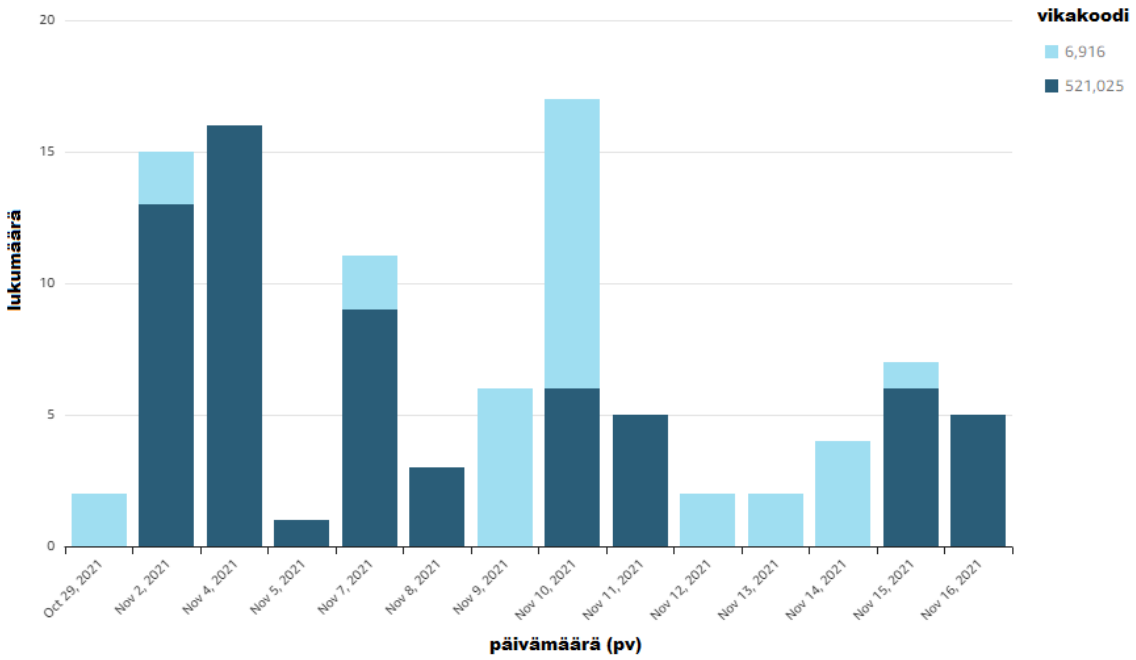
$$aNO_x + bNH_3 \rightarrow cN_2 + dH_2O \tag{2}$$

Pakokaasun jälkikäsittelylaitteiston kunnon arviointi on tärkeää, koska katalysaattorin kunto vaikuttaa suoraan lukin polttoaineenkulutukseen ja päästöjen määrään. Dieselin sisältämä rikki ei pääse katalysaattorin läpi, joten sitä alkaa kertyä katalysaattorin sisäpinnan platinapinnoitteen päälle heikentäen katalysaattorin puhdistustehoa. Katalysaattorille pitääkin aika-ajoin tehdä puhdistus, jossa moottorin lämpötila nostetaan 500°C. Näin korkeassa lämpötilassa pinttynyt rikki palaa irti ja katalysaattorin toimintakunto palaa lähes normaaliksi. Katalysaattorin puhdistus tulisi tehdä jokaisen öljynvaihdon yhteydessä eli 500 tunnin välein. Mikäli puhdistusta ei tehdä tarpeeksi usein, platinapinnalle kerääntyy liian paljon rikkiä, jolloin puhdistus ei enää tehoa ja katalysaattori täytyy vaihtaa.

Moottorin ECUun on ohjelmoitu kaksi katalysaattorin toimintakunnon heikkenemisestä indikoivaa bin-hälytystä. Lukin PLC:lle on asetettu yläraja edellä mainituille hälytyksien määrille, jonka ylittyessä lukin moottorin teho rajoitetaan 30 % maksimitehosta. Tämä

pakottaa asiakkaan ryhtymään toimenpiteisiin, mutta melko usein katalysaattori on jo tässä kohtaa käyttökelvoton.

Kuvassa 9 on esitelty tarkasteltavan konttilukin PLC:n vikakoodihistoriaa analyysin kannalta järkevältä aikaväliltä. AGCO:n virallisen dokumentin mukaan hälytys numero 6916 on katalysaattorin puhdistuspyyntö, jonka mahdollisia aiheuttajia ovat SCR-järjestelmän kykenemättömyys annostella ureaa pakokaasun sekaan tai viallinen ureansyöttömoduuli. Lisäksi urealiuos voi olla saastunut tai pahimmassa tapauksessa koko katalysaattori on viallinen. Mahdollinen ratkaisu ongelmaan on katalysaattorin puhdistus. Hälytys numero 521025 tarkoittaa, että puhdistusjärjestelmän tehokkuus ei ole kunnossa. Tämä on puhdistuspyyntöä astetta vakavampi hälytys, joka vaatii pikaisia toimenpiteitä.

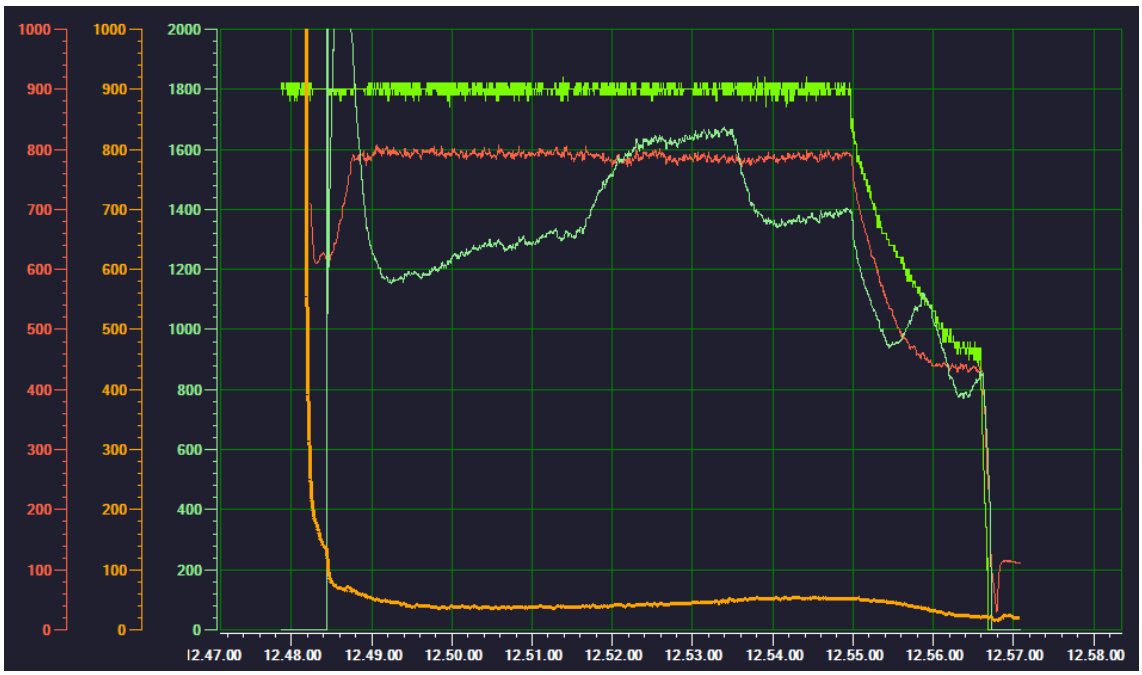


Kuva 9. *Tarkasteltavan lukin vikakoodit ajalta 29.10.2021-16.11.2021.*

Kuvasta 9 nähdään, että lukin PLC on antanut ensimmäisen puhdistuspyyntöhälytyksen 29.10 ja 2.11 PLC täyttyi jo SCR:n vajaatoimintahälytyksistä. Ongelmaan alettiin reagoida 8.11, joka nähdään kuvasta 9, sillä 9.11 PLC:lle ei tullut 521025 hälytystä.

Kuvassa 10 on esitetty lukin katalysaattorista saatua mittausdataa häiriöhetkellä. Vaalean vihreä käyrä ilmaisee moottorin sen hetkistä käyttöastetta. Punainen käyrä kertoo, kuinka suuri pakokaasun NOx-pitoisuus on ennen katalysaattoria ja tätä pitoisuutta mitataan ylävirta NOx-anturilla (engl. upstream NOx-sensor). Oranssi käyrä kertoo NOx-pitoisuuden AdBluen lisäämisen jälkeen, jota mitataan alavirta NOx-anturilla (engl. downstream NOx-sensor) ja sen pitäisi olla noin 5 % NOx-pitoisuudesta ennen urean lisäystä eli punaisesta käyrästä. Pitoisuuksien yksikkö on ppm (particles per

million). Tumman vihreä käyrä ilmaisee puolestaan AdBluen määrää ja sen yksikkö on grammaa tunnissa.

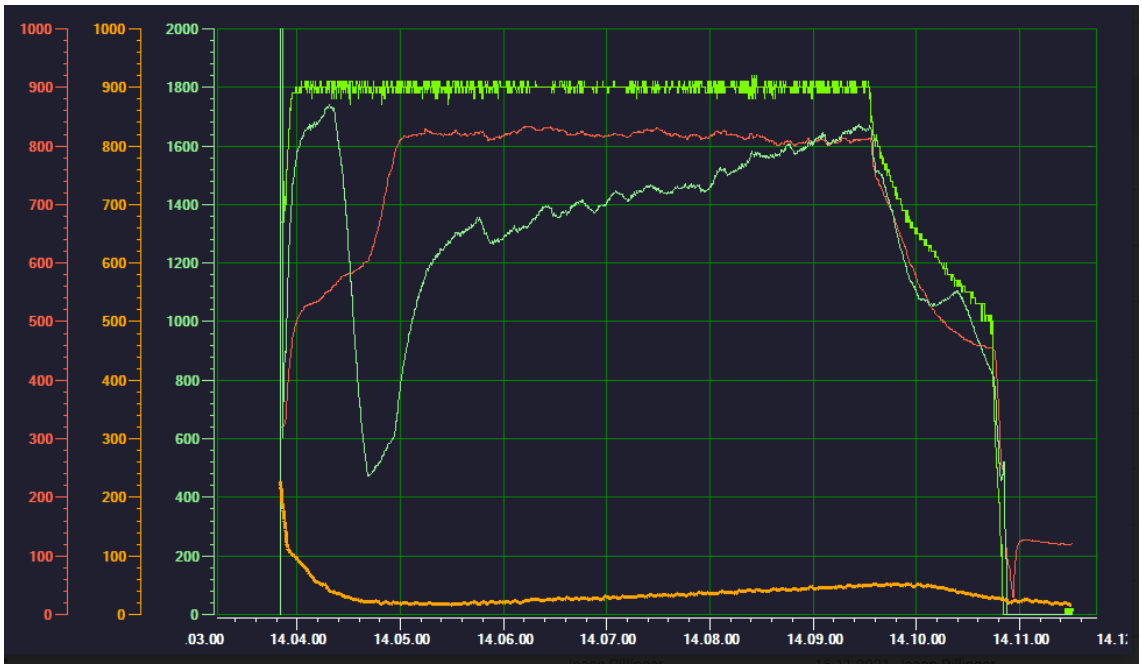


Kuva 10. *Alkutilanne 8.11.2021.*

Kuvasta 10 nähdään, että NOx-pitoisuus ennen puhdistusta on linjassa moottorin kuormituksen kanssa, koska syntyvät päästöt kasvavat lineaarisesti polttoaineenkulutuksen kasvaessa. Puhdistuksen jälkeinen NOx-pitoisuus näyttäisi nopeasti katsottuna olevan kunnossa, mutta yksityiskohtaisemmalla tarkastelulla huomaa, että typen oksidien määrä kasvaa, vaikka ureaa lisätään. Urean lisäämisen pitäisi laskea edellä mainittua typpipitoisuutta, eikä nostaa. Mahdollisia vian aiheuttajia ovat viallinen esipesuyksikkö (engl. Diesel Oxidation Catalyst eli DOC), NOx-anturit tai katalysaattori.

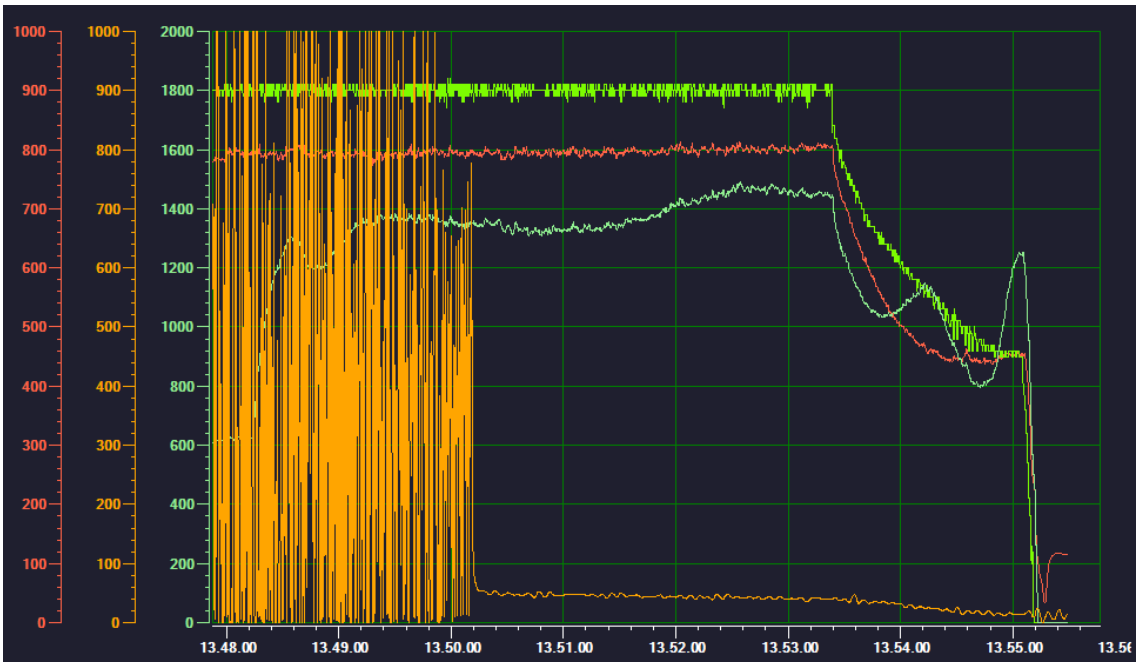
Ensimmäisenä toimenpiteenä lukkiin vaihdettiin 8.11 DOC, jonka tehtävänä on polttaa jäljelle jäänyt polttoaine. Samalla vaihdettiin myös ylävirta NOx-anturi, koska niiden oletettiin olevan heikentyneen puhdistustehon syynä.

Kuvasta 11 nähdään, ettei DOC:n ja ylävirta NOx-anturin vaihto ratkaissut ongelmaa. Myös kuvan 10 vikakoodeista 8. päivänä nähdään, että ongelma ei kadonnut minnekään. Näiden perusteella luultiin, että vika olisi itse katalysaattorissa. Erään asiakkaan laatiman dokumentin mukaan lukille toteutettiin katalysaattorin puhdistus aikavälillä 8.11–14.11. Kuvan 9 perusteella on syytä olettaa, että puhdistus tehtiin 10.11, koska seuraavana päivänä PLC:lle ei tullut puhdistuspyyntöä. Katalysaattorin puhdistus ei kuitenkaan poistanut ongelmaa, joten 11.11 vaihdettiin katalysaattori. Katalysaattorin vaihdon jälkeen alavirta NOx-anturin arvo tippui 9–15 ppm eli normaaliin lukemiin.



Kuva 11. *Tilanne DOC:n ja ylävirta NOx-anturin vaihdon jälkeen 8.11.2021.*

Lukki toimi mallikkaasti 3 päivän ajan, kunnes PLC hälytti taas katalysaattorin huonosta muuntosuhteesta. Tällä kertaa syynä ei voinut olla itse katalysaattori, koska se oli juuri vaihdettu. Kuvasta 12 nähdään, että NOx-pitoisuus urean lisäämisen jälkeen värähtelee radikaalisti, joten voidaan todeta ongelman syynä olevan viallinen alavirta NOx-anturi, sillä muut kuvan käyrät pysyvät normaaleina. Samasta kuvasta nähdään myös tilanne anturin vaihdon jälkeen ja huomataan, että tilanne palautui normaaliksi.



Kuva 12. *Tilanne alavirta NOx-anturin vaihdon aikana ja jälkeen 16.11.2021.*

Katalysaattorin oletettu elinikä on yli 15,000 tuntia, vaikka tarkkaa elinikää valmistaja ei ole luvannut. Lukeissa käytetään kahden eri valmistajan voimantuottoyksikköjä ja toinen valmistaja on edellä mainitun kestoiän luvannut. NOx-anturin kesto on puolestaan 8000–10,000 tuntia. Kyseisellä lukilla on ajettu noin 8000 tuntia eli anturin hajoaminen oli odotettavissa.

Analyysin tuloksena voidaan todeta, että ongelma ei todennäköisesti ollutkaan itse katalysaattorissa, koska katalysaattorin jälkeen ongelma tuli taas esiin. Todennäköisin syy katalysaattorin heikentyneelle teholle oli alavirta NOx-anturi, joka antoi virheellistä dataa ja näin laukaisi hälytykset. Katalysaattori tulisi vaihtaa vasta siinä kohtaa, kun kaikki muut systeemit toimivat, mutta ECU silti valittaa SCR:n heikosta kunnosta.

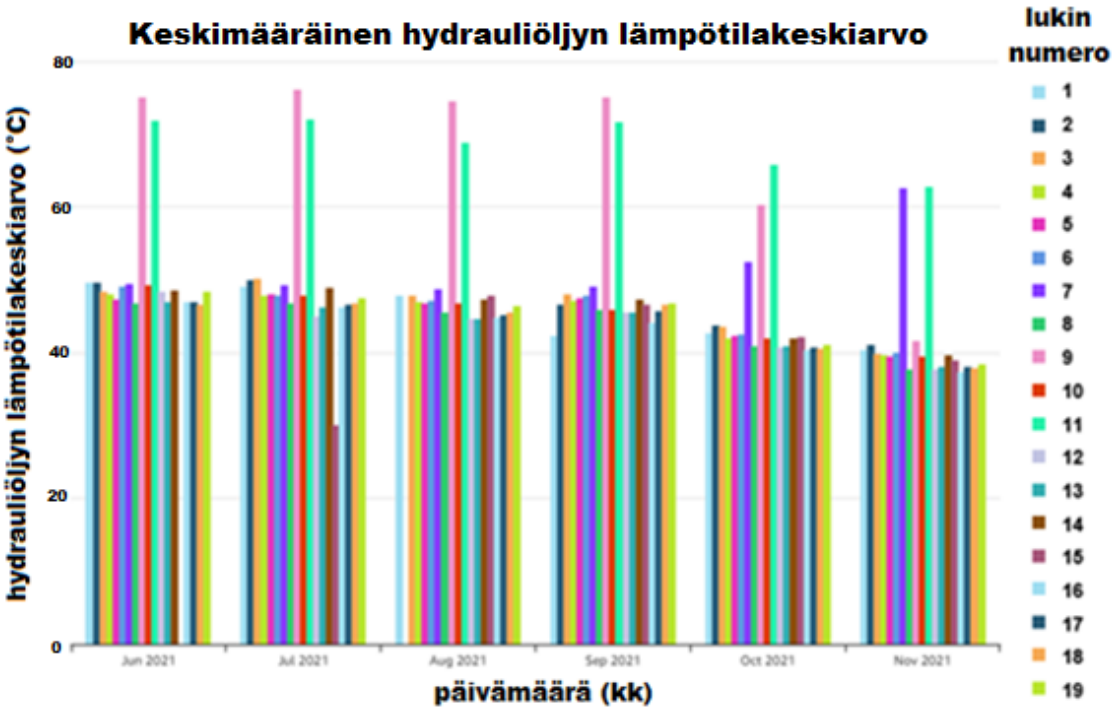
4.2 Hydrauliöljyn lämpötila

Hydrauliöljyn lämpötilan seuranta on myös tärkeä analysoinnin kohde. Korkea hydrauliöljyn lämpötila voi aiheuttaa vakavia ongelmia sekä itse laitteelle, mutta myös ympäristölle ja ihmisille. Liian korkea lämpötila lisää polttoaineen kulutusta, joka puolestaan nostaa hiilidioksidipäästöjä ja lisää käyttökustannuksia. Hydraulijärjestelmään liitetyillä letkuilla on maksimilämmönsietokyky ja liian korkea lämpötila sulattaa letkuun reiän, jolloin hydrauliöljyä pääsee ympäristöön. Pitkittynyt kohonnut lämpötila rasittaa hydraulijärjestelmän komponentteja ja jossain vaiheessa jokin komponentti pettää.

Öljyn lämpenemiselle voi olla monia syitä, esimerkiksi vuoto tai hydraulipumpun vajaatoiminta. Usein korkea hydrauliöljyn lämpötila on ilmaissut, että hydraulipumpussa on jokin sisäinen vika ja se niin sanotusti vatkaa hydrauliöljyä. Kun pumppu ei kunnolla kierrätä öljyä, niin jossain vaiheessa jollakin hydraulijärjestelmän komponentilla ei ole riittävää virtausta. Huonon kierron seurauksena voi olla, että jotkut lukin liikkeet hidastuvat, esimerkiksi tarttujan pidennys tai haluttua liikettä ei tapahdu lainkaan eli laitteistolla ei ole riittävää virtausta tai painetta. Myös huonolaatuinen öljy heikentää hydraulikiertoa. Öljyn laatuun vaikuttaa sen viskositeetti ja mahdollinen öljyn sekaan päässyt vesi. Likainen öljy aiheuttaa venttiilien jumiutumista, jolloin ne eivät vapaudu tai mene kiinni tarvittaessa.

Kuvassa 13 on esitetty konekohtainen keskimääräinen hydrauliöljyn lämpötila kuukausittain tiettyä konttilukkia kohden. Tarkasteluun on otettu eräälle asiakkaalle toimitetun konttilukkitoimituksen kaikki lukit. Vaaka-akselilla on mittausajankohta ja arvot ovat kuukauden välein. Pystyakselilla on päiväkohtainen konttisyklien hydrauliöljyn

maksimilämpötilojen keskiarvo ja akselin riviväli on 20°C. Konttisyklillä tarkoitetaan ajanjaksoa kontin poimimisen ja sen laskemisen välillä. Konttisyklejä voi operaatiosta ja satamasta riippuen olla noin 7–19 tunnissa. Yksittäinen mittauspiste saadaan laskemalla päivittäisten lämpötilamaksimeiden keskiarvo. Jatkossa päiväkohtaista konttisyklien hydrauliöljyn maksimilämpötilojen keskiarvosta käytetään termiä hydrauliöljyn lämpötilakeskiarvo.



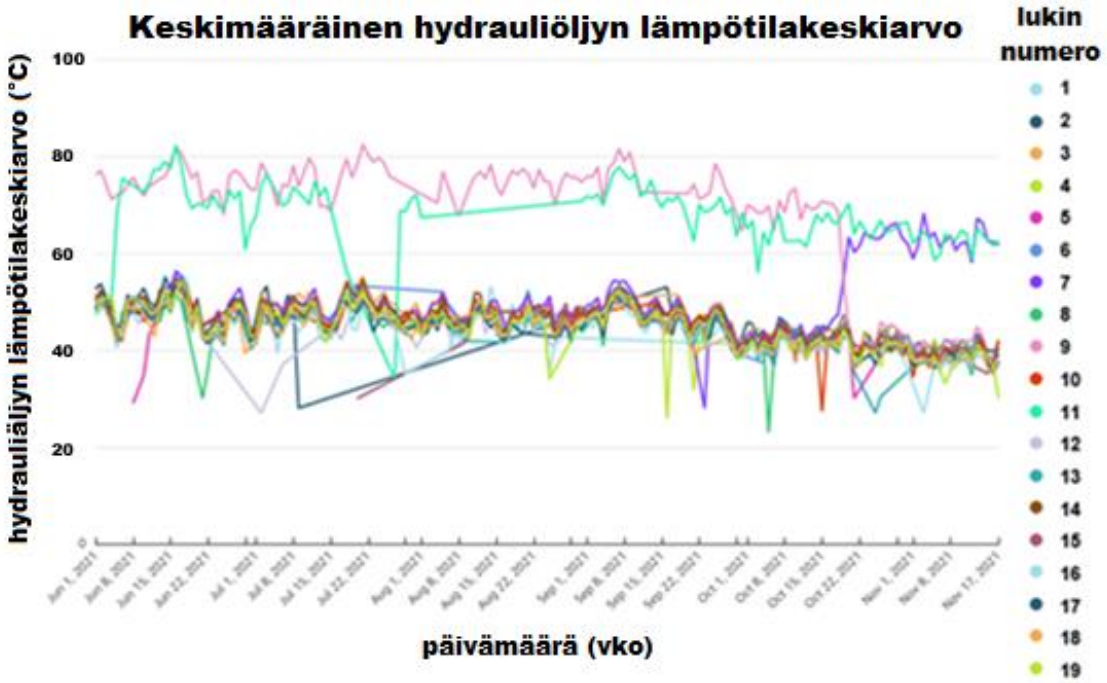
Kuva 13. *Keskimääräinen hydrauliöljyn lämpötilakeskiarvo kuukausittain. Kuva otettu 18.11.2021.*

Kuvaajasta huomataan, että kesäkuusta lokakuuhun lukilla 9 ja 11 hydrauliöljyn lämpötilakeskiarvo on huomattavasti korkeampi kuin muilla saman toimituksen lukeilla. Hydrauliöljyn normaali lämpötila on 40–50°C. Lokakuussa ja varsinkin marraskuun puolella myös lukilla 7 on hydrauliöljyn lämpötilakeskiarvo alkanut nousta. Lämpötilojen tasainen lasku talvea kohti voidaan selittää ulkoilman viilentymisellä.

Lukkiin numero 9 vaihdettiin lokakuun 18. päivä hydraulipumppu, koska sen uskottiin olevan vian aiheuttaja. Kuvaajasta nähdään, että kyseisen konttilukin lämmöt ovat lokakuun aikana pudonneet noin 15°C ja marraskuussa lämmöt ovat palautuneet normaalille tasolle.

Kuvasta 14 nähdään vielä tarkemmin, miten hydrauliöljyn lämpötilakeskiarvo on vaihdellut. Erona edelliseen kuvaajaan on, että tässä vaaka-akseli on esitetty viikon tarkkuudella ja hydrauliöljyn lämpötilakeskiarvo saadaan esitettyä tarkemmin. Kuvassa

näkyvät suorat viivat tarkoittavat sitä, että kyseinen lukki on ollut pois ajosta, sillä lukin lepoaikana pilveen ei tallennu mittausdataa.



Kuva 14. *Keskimääräinen hydrauliöljyn lämpötilakeskiarvo viikoittain. Kuva otettu 18.11.2021.*

Kuvasta nähdään myös, että koneella 11 on edelleen kohonnut lämpötila, koska sille ei olla tehty vielä korjaavia toimenpiteitä. Aikaisemmin mainittu 7 koneen lämmönnousu nähdään myös tästä kuvasta tarkemmin. Voidaan tehdä johtopäätös, että kone 11:n tapauksessa hydrauliöljyn lämpötilan nousun aiheutti viallinen hydraulipumppu.

4.3 Jatkokehitys

Konttilukkien päätehtävä on nostaa merikontteja, joten tämän toiminnon turvaaminen olisi erityisen tärkeää. Lukkiin tarvittaisiin uusia antureita ja tutkimuksen pohjalta tarvittavia hälytyksiä, jotka yhdistetään PLC:lle. Työn mahdollisia jatkokehityskohteita ovat lukin kardaaniakselien ja nostokoneiston värinämittaukset sekä ilmenevän huollon tai varaosavaihdon tarpeen automatisointi.

Kardaaniakselien avulla toteutetaan mekaaninen pyörän kääntöliike. Niitä on lukin tyypistä riippuen joko 1 tai 2 kappaletta per puoli eli 2 tai 4 yhteensä. Kardaaniakselien rikkoutumisen ennustaminen on erityisen tärkeää, koska akselin hajoaminen laittaa lukin seisontaan ja pahimmassa tapauksessa rikkoo akselin päähän liitetyn suhteellisen kalliin sähkömoottorin. Kardaaniakseli alkaa väristä elinkaaren loppupuolella ja juuri ennen hajoamistaan se alkaa kolista. Akseleiden värinää mitataan tällä hetkellä manuaalisesti, mutta se olisi hyvä automatisoida. Akselin värinää voisi mitata esimerkiksi värinäanturilla

tai Motion Amplification -teknologiaan perustuvalla kameralla, jonka avulla pystyy mittaamaan tärinää, mitä ihmissilmä ei kykene havaitsemaan [18].

Lukin nostokoneisto koostuu tarttujasta, väkipyöristä, laakereista sekä hihnasta. Nostokoneisto on koko ajan rasituksen alla, kun lukki käsittelee konttia ja siksi olisi hyvä tietää, missä kunnossa laitteisto on. Laakeri- ja kytkinviat voitaisiin selvittää myös värinämittauksilla ja siihen voidaan hyödyntää kardaaniakseleiden yhteydessä mainittuja keinoja. Viallinen nostokoneisto voi aiheuttaa hengenvaaran, sillä tarttuja sekä kyydissä oleva kontti voivat pudota jonkun päälle.

Jatkossa, kun lukista kerättyä dataa on analysoitu riittävästi ja on saatu yhteneviä tutkimustuloksia, voidaan järjestelmään koodata erilaisia indikaattoreita. Näiden indikaattoreiden avulla voidaan automatisoida lukin huoltaminen tai varaosan tilaus. Esimerkiksi hydrauliöljyn lämpötilan seurannan pohjalta voitaisiin koodata PLC:lle jokin kynnyslämpötila, jonka ylittyessä tietyn ajan verran, esimerkiksi kuukauden ajan tilaisi järjestelmä automaattisesti uuden hydraulipumpun tai hälyttäisi Kalmarin mekaanikot paikalle.

5. YHTEENVETO

Työssä tutkittiin Kalmarin konttilukeista kerättyä anturidataa, josta pyrittiin löytämään indikaattoreita mahdollisesta huollon tai varaosavaihdon tarpeesta. Data-analyysia taustoitettiin kertomalla taustateoriaa analyysin kohteesta sekä itse tiedonkeruujärjestelmästä. Analyysin työkaluina käytettiin Kalmarin omia datankäsittelysovelluksia.

Teorialuvussa esiteltiin yleisesti tiedonkeruujärjestelmä ja miten tieto liikkuu konttilukin sisältä analysoitavaan muotoon datankäsittelyalustoille. Tiedonkeruujärjestelmän komponentit esiteltiin myös pääpiirteittäin. Teoriassa esiteltiin myös Kalmarin etätukisuunnitelma, johon tässä työssä tehty data-analyysi liittyy.

Työssä analysoitiin konttilukille tärkeitä osakokonaisuuksia: moottorin pakokaasun jälkikäsittelylaitteiston toimintakuntoa ja hydrauliöljyn lämpötilaa. Katalysaattorianalyysissä käsiteltiin pilottitapaus vaihe vaiheelta ja hydrauliöljyn tapauksessa tutkittiin koko konttilukkilaivuetta ja pohdittiin korkean lämpötilalukeman syytä.

Katalysaattoritapaus aloitettiin tilanteesta, jossa lukilla havaittiin epätavallista käyttäytymistä pakokaasun puhdistuksessa. Epätavallinen käyttäytyminen huomattiin PLC:lle tulleista puhdistushälytyksistä. Lukkiin vaihdettiin komponentteja, joiden uskottiin olevan ongelman syynä, mutta vikakoodihistoriasta nähtiin, että vika oli jossain muualla. Ongelman perimmäisenä syynä oletettiin olevan viallinen katalysaattori, mutta analyysi todisti oletuksen virheelliseksi. Sen perusteella ongelman aiheuttajana olikin viallinen alavirta NOx-anturi. Analyysista opittiin, että katalysaattori tulisi vaihtaa vasta silloin, kun muut pakokaasun puhdistukseen liittyvät komponentit toimivat ja PLC silti hälyttää huonosta puhdistustehosta.

Hydrauliöljyn lämpötilaa tarkasteltiin erään asiakkaan konttilaivueesta. Laivueen kahdella lukilla oli kohonnut hydrauliöljyn lämpötila, joista toiseen vaihdettiin hydraulipumppu, koska sen oletettiin aiheuttavan lämpötilapoikkeaman. Kuvista huomattiin, että kyseisen lukin hydrauliöljyn lämmöt tippuivat normaalille tasolle pumpun vaihdon jälkeen. Analyysin perusteella voitiin todeta, että kohonneen lämpötilan aiheutti viallinen hydraulipumppu.

Tulevaisuudessa konttilukeista kerätään yhä enemmän dataa, jota tarkastelemalla syntyy uusia analyysin kohteita. Jatkossa voidaan keskittyä esimerkiksi lukin liikkumis- ja nostokoneiston tarkempaan tutkimiseen värinämittauksia hyödyntämällä. Vikojen

ilmetessä on myös tärkeää analysoida uudestaan jo analysoituja vikoja, jotta vikadataa olisi tarpeeksi yleispätevän vianratkaisun määrittämiseksi.

LÄHTEET

[1] Cargotec, ”Kalmar lyhyesti”, copyright 2021, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.9.2021): https://www.kalmar.fi/tietoa-kalmarista/kalmar-in-brief/

[2] Cargotec, ”Kalmar”, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.9.2021): https://www.cargotec.com/fi/cargotec/tarinamme-ja-historiamme/tietoja-kalmarista/

[3] Container News, “Port of Keelung orders new Kalmar machines”, copyright 2021, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.9.2021): https://container-news.com/port-of-keelung-orders-new-kalmar-machines/

[4] Fawn, ”Kalmar toimittaa mobiilipukkinostureita ja prosessiautomaatioteknologiaa Norfolk Southernille”, copyright 2017, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.9.2021): https://intelligentindustry.dimecc.com/news/kalmar-toimittaa-mobiilipukkinostureita-ja-prosessiautomaatioteknologiaa-norfolk-southernille-nostamaan-intermodaaliterminaalien-kapasiteettia-yhdysvalloissa/

[5] Cargotec, ”Kalmar T2”, copyright 2021, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.9.2021): https://used.kalmarglobal.com/kalmar/material-handling/terminal-tractors/kalmar-t2/c044e12e-28a0-4a18-92ce-15f607609c31.html

[6] Cargotec, ”Haarukkatrukit 18–52 tonnia”, copyright 2021, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.9.2021): https://www.kalmar.fi/laitteet-palvelut/haarukkatrukit/haarukkatrukit-1852-tonnia/

[7] Cargotec, ”Gloria, tuottavuuden uusi sukupolvi”, copyright 2021, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.9.2021): https://www.kalmar.fi/laitteet-palvelut/konttikurottajat/drg-gloria--konttikurottaja2/.

[8] M. Bozdal, M. Samie, S. Aslam & I. Jennions, “Evaluation of CAN Bus Security Challenges”, Sensors, vol. 20, no. 8, 2020, pp. 2364. Saatavissa: https://www-proquest-com.libproxy.tuni.fi/docview/2394631384?accountid=14242&pq-origsite=primo

[9] S. Stevan & F. Farinelli, “CAN-Bus Remote Monitoring: Standalone CAN Sensor Reading and Automotive Diagnostics”, SAE Intl. J CAV, vol. 2, no. 1, 2019, pp. 27–46. Saatavissa: https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.4271/12-02-01-0003

[10] Cia, “History of CAN technology”, copyright 2021, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.9.2021): https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history/

[11] ECU Testing, “ECU explained”, copyright 2021, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.10.2021): https://www.ecutesting.com/categories/ecu-explained/

[12] L. Mendonça, D. Luceiro, M. Martins & F. Bisogno, ”Development of an Engine Control Unit: Implementation of the Architecture of Tasks”, Universidade Federal de Santa Maria, 2017. Saatavissa: https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7915523&tag=1

[13] Bosch, “Powerful in diverse applications”, copyright 2022, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.2.2022): https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/vehicle-computer/vehicle-control-unit/

[14] A. Branch & M. Branch, “PLC and its Applications”, International Journal of Multidisciplinary and Engineering, vol. 2, no. 8, 2011, pp. 1–6. Saatavissa: http://www.ijmse.org/Volume2/Issue8/paper9.pdf

[15] X. Li, W. Sun, Z. Zhong & J. Shen, “Design of a temperature transmitter with contactless power and data transmission”, 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2017, pp. 1–6. Saatavissa: https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/document/8056250

[16] M. Aliramezani, C. Koch, R. Hayes & R. Patrick, “Amperometric solid electrolyte NOx sensors – The effect of temperature and diffusion mechanisms”, Solid State Ionics, vol. 313, 2017, pp 7–13. Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167273817307051

[17] Yara, ”Savukaasujen NOx-päästöjen käsittely selektiivisellä katalyyttisellä pelkistämisellä”, copyright 2021, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.12.2021): https://www.yara.fi/kemikaalit-ja-ymparistoratkaisut/nox-paastojen-hallinta-teollisuuden-toimipisteissa/scr-sncr-tai-hybridijarjestelmat/scrtekniikka/

[18] RDI Technologies, “Seeing is believing”, copyright 2021, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.11.2021): https://rditechnologies.com/