

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Sami Talo

Moottorin etäseurantatietojen hyödyntäminen ehkäisevän kunnossapidon
suunnittelussa

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2019



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2019
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
p. (013) 2606900

Tekijä(t)
Sami Talo

Nimeke
Moottorin etäseurantatietojen hyödyntäminen ehkäisevässä kunnossapidossa ja sen suunnittelussa

Toimeksiantaja
Mantsinen Group Ltd Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten viiden eri Mantsinen Group Ltd Oy:n valmistaman koneen moottoreiden toimintaa seuraavien anturien lähettämää dataa voidaan hyödyntää ehkäisevässä kunnossapidossa ja sen suunnittelussa. Seurattavia suureita olivat käyttötunnit, keskikuormitus, moottorin lämpötila, kierrosluku ja puomin paine.

Tässä opinnäytetyössä pyritään myös selvittämään, mitä mahdollista lisähyötyä voidaan tuottaa Mantsinen Group Ltd Oy:n asiakkaille tulkitsemalla saatua dataa. Tiedon keräys opinnäytetyön teoriaosuutta varten tapahtui internetin ja aiheeseen liittyvän kirjallisuuden avulla. Nostureilla nostettavia kuormia ei tarkastella tässä opinnäytetyössä.

Työn tuloksista voi päätellä, että testaus onnistui kaiken kaikkiaan hyvin ja tehtävän asettelussa määritellyt tavoitteet täyttyivät eli antureista saadun datan avulla voidaan havaita muutoksia koneen käytettävyydessä. Tuloksien perusteella asiakkaalle voi olla mahdollista tuottaa lisähyötyä muun muassa, jos tulevaisuudessa pystytään kehittämään automaattinen seuranta- ja hälytysjärjestelmä, jolla olisi mahdollista seurata koneenosien kulumista ja näin ollen suunnitella koneenosien huolto ennakoivammin.

Kieli
suomi

Sivuja 51
Liitteet 0
Liitesivumäärä 0

Asiasanat

kunnossapito, moottorin lämpötila, kierrosluku, puomin paine, anturi, huolto



THESIS
April 2019
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +358 (13) 260 6900

Author (s)
Sami Talo

Title
Utilization of Motor Remote Information for Preventive Maintenance and Its Planning

Commissioned by
Mantsinen Group Ltd Oy

Abstract

The purpose of this study was to find out how the data transmitted by the sensors of five different machine engines manufactured by Mantsinen Group Ltd Oy can be used for preventive maintenance and planning. The monitored variables were operation hours, medium load, engine temperature, speed and pressure of the boom.

This thesis also aimed to find out what are the possible additional benefits to Mantsinen Group Ltd Oy's clients of interpreting the data obtained. Data collection for the theoretical parts of the thesis took place in the Internet and with the help of related literature. Loads lifted by crane are not considered in this thesis.

It can be concluded from the results of the work that the test was all in all successful, and the objective specified in the assignment was fulfilled. Thus, the data obtained from the sensors can be used to detect changes in the usability of the machine. Based on the results, it may be possible to produce an additional benefit to the client, among other things, if in the future Mantsinen Group Ltd Oy was able to develop an automatic monitoring system and an alarm system, where it would be possible to monitor the wear of machine parts and, therefore, to design proactive maintenance of machine parts.

Language

Finnish

Pages 51

Appendices 0

Pages of Appendices 0

Keywords

maintenance, engine temperature, engine speed, boom pressure sensor, maintenance

Käytetyt merkit ja lyhenteet

IIC	Industrial Internet Consortium eli teollisen internetin konsortio.
I-MR	Liukuva vaihteluvälikuvaaja.
ISO	International Organization for Standardization eli kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
LCL	Lower Control Limit eli alempi kontrolliraja.
OHSAS 18001	Occupational health and safety management systems eli työterveys- ja työturvallisuusjohtamisjärjestelmien vaatimusten standardi.
SFS-EN 13306	EU-standardi, kunnossapitosanasto.
SFS-EN 15341	Maintenance Key Performance Indicators eli Huollon avainmittarit.
SFS	Finlands Standardiseringsförbund eli Suomen standardisoimisliitto.
Six Sigma	Johtamis- ja laatumenetelmä.
Sigma (σ)	Kreikkalainen kirjain.
UCL	Upper Control Limit eli ylempi kontrolliraja.

Sisältö

1	Johdanto.....	1
1.1	Työn tavoitteet	1
1.2	Työn rajausta.....	1
2	Yritysesittelyt	2
2.1	Mantsinen Group Ltd Oy	2
2.2	Remion Oy	4
3	Teollinen internet	4
4	Mitä on kunnossapito, ja miksi sitä tarvitaan?	6
4.1	Ehkäisevä kunnossapito	8
4.2	Kunnossapidon suorituskyky	9
4.3	Parantava kunnossapito.....	10
4.4	Koneiden käytön vaikutus vikaantumiseen.....	11
4.5	Koneiden kunnonvalvonta	12
4.6	Kunnonvalvontamittaukset	13
4.7	Kunnonvalvontamittauksissa käytettäviä suureita	14
5	Trendivaihtelujen käsittelyssä käytetty laatutyökalu ja tilastolaskentaohjelma.....	15
5.1	Six Sigma	15
5.2	Minitab	16
6	Seurantaan valittujen koneiden spesifikaatioita	17
6.1	Kone 1, Suomi (70).....	17
6.2	Kone 2, Venäjä (120)	19
6.3	Kone 3, Englanti (120).....	21
6.4	Koneet 4-5, Brasilia (160).....	23
7	Trendivaihtelut, visualisointi ja analysointi Minitab-ohjelmaa hyödyntäen	25
8	Tulosten tulkinta.....	27
8.1	I-MR-valvontakortti:	27
8.2	Graafinen yhteenvetoraportti	30
8.3	Parittainen T-testi	32
8.4	Kahden otoksen keskiarvojen T-testi	36
8.5	Anova eli varianssianalyysi	41
9	Pohdinta.....	50
	Lähteet.....	52

1 Johdanto

Kilpailun kiristytessä koneiden valmistuksessa kunnossapidon merkitys korostuu yritysten pyrkiessä optimoimaan viimeisetkin kuluja aiheuttavat osa-alueet. Isoja ostoja tehdessään yritykset kiinnittävät huomiota niin koneen ostohintaan kuin sen huollettavuuteen, korjattavuuteen ja kunnossapidettävyyteen. Isoimmat kulut syntyvät koneiden seisoessa, jolloin työtkin seisovat.

Kunnossapidon kehityksen seuraava askel on antureilta saatavan datan hyödyntäminen huollon ja kunnossapidon suunnittelussa. Mantsinen Group Ltd Oy:llä on nostureita ympäri maailmaa ja on ymmärrettävää, että huollon ja kunnossapidon ennakoitavuus herättää mielenkiintoa. Isojen koneiden huoltotoimenpiteet ja ohjelmistopäivitykset vaativat erikoisosaamista, ovat aikaa vieviä ja koneiden osat jo itsessään massiivisia sekä vaikeasti liikuteltavia. Käyttöönotto, asennus, huolto ja korjaus vaativat myös erikoisosaamista sekä edellä mainitut toimenpiteet täytyy myös suunnitella huolellisesti ennen toteutusta.

1.1 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten viiden eri Mantsinen Group Ltd Oy:n valmistaman koneen moottoreiden suureita seuraavien antureiden lähettämää etäseurantadataa voidaan hyödyntää ehkäisevässä kunnossapidossa ja sen suunnittelussa. Tässä opinnäytetyössä pyritään myös selvittämään, mitä mahdollista lisähyötyä voidaan tuottaa Mantsinen Group Ltd Oy:n asiakkaille tulkitsemalla saatua dataa.

1.2 Työn rajaus

Työ rajattiin tiettyihin Mantsinen Group Ltd Oy:n valmistamiin nostureihin ja niistä saatuihin moottorin arvoihin sekä näiden koneiden tiettyihin ominaisuuksiin kuten käyttötunnit, keskikuormitus, moottorin lämpötila, kierrosluku ja puomin paine. Nostureilla nostettavia kuormia ei tarkastella tässä opinnäytetyössä. Päätös rajata näihin tiettyihin nostureihin tulee siitä, että nämä koneet ovat käyttöarvoiltaan lähellä toisiaan, siten

myös verrattavissa toisiinsa ja näistä nostureista oli eniten kertynyttä analysoitavaa dataa saatavilla opinnäytetyötä varten. Datan keräystaajuutena käytettiin 2,5 sekuntia. Myös maantieteellinen sijainti vaikutti valintaan. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, voidaanko näiden kerättyjen arvojen pohjalta muodostaa komponenttien kulumista käytössä ennakoivaa huoltoväliä ennustettavampaan suuntaan Minitab-ohjelmaa hyväksi käyttäen. Antureista saatavan dataseurantapalvelun tarjoajana toimii Remion Oy.

2 Yritysesittelyt

2.1 Mantsinen Group Ltd Oy

Mantsinen Group Ltd Oy on perheyritys, jonka päätoimipiste on Ylämyllyllä. Yrityksessä työskentelee n. 500 työntekijää. Liikevaihto vuonna 2017 oli 70 miljoonaa euroa. Mantsinen Group Ltd Oy on perustettu vuonna 1974. Liiketoimintayksiköt ovat seuraavat: materiaalinkäsittelykoneiden valmistus vuodesta 1999 ja logistiikkapalvelut vuodesta 1963 asti. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Mia Mantsinen, Mikko Mantsinen on kalustepäällikkö ja Veli Mantsinen on perustajajäsen. [1.]

Mantsinen aloitti toimintansa tarjoamalla logistiikkapalveluita metsäteollisuudelle niin Suomessa kuin Venäjällä. Logistiikkapalvelut ovat edelleen tärkeä osa yrityksen toimintaa. Yritys käsittelee vuosittain pyöreää puuta ja muuta irtotavaraa noin 25 miljoonaa tonnia. Nykyään Mantsinen on kansainvälinen yritys, jolla on vahvat paikalliset juuret. [1.]

Tämä operatiivinen tausta antoi Mantsiselle poikkeuksellisen asiakasnäkökulman, kun yritys aloitti hydraulisten materiaalinkäsittelykoneiden valmistuksen 1990-luvun lopussa. Koneita on valmistettu erilaisiin käyttökohteisiin kuten satamiin, tehdasympäristöihin ja terminaaleihin. Koneilla voidaan esimerkiksi purkaa tai lastata hiiltä, romumetallia ja muuta irtotavaraa terästeollisuuden lopputuotteita, pyöreää puuta metsäteollisuuden lopputuotteita sekä muita kappaletavaroita. [1.]

Mantsinen Group Ltd Oy:n visiona on tuottaa asiakkailleen taloudellisin ja ympäristöystävällisin ratkaisu irto- ja kappaletavaraan käsittelyyn. Hybrilift-energiantalteenotto- ja kierrätysjärjestelmä tuotiin markkinoille jo 2008 ja se mahdollistaa jopa 35 prosentin energiasäästön. [2-3.]



Kuva 1. Mantsinen Group Ltd Oy:n sertifikaatit. [3.]

Mantsinen Group Ltd Oy:llä noudatetaan ISO 9001, ISO 14001 ja OHSAS 18001-standardeja, lisäksi yritys on DNV:n sertifioima (kuva 1.). Mantsinen on myös sitoutunut laatu- ja ympäristöjärjestelmän sekä työturvallisuuden jatkuvaan parantamiseen. Logistiikkapalveluissa Mantsinen kehittää prosessejaan jatkuvasti sekä uusii konekantaansa päästöjen alentamiseksi ja polttoainetehokkuuden parantamiseksi. Mantsinen Group Oy:n nostureita (kuvassa 2.). [3.]



Kuva 2. Mantsinen Group Ltd Oy. [1.]

2.2 Remion Oy

Remion Oy rakentaa teollisen internetin (IoT) palveluita Suomen teollisuudelle. Remion on perustettu Tampereella 2001. Tampereen seutu on merkittävä teknologiaosaamisen keskittymä ja Skandinavian suurin valmistavan teollisuuden keskittymä. Remionilaiset ovat joukko insinöörejä, käytettävyyden ammattilaisia ja teollisuuden eri aloja konsultoivia teollisen internetin asiantuntijoita. Remionilaisilla on käytössä oma tuotteistettu IoT-alusta.

Remion on teollisen internetin palveluita tuottava yritys. Remion suunnittelee ja toteuttaa teollisen internetin palveluratkaisuja ja niihin liittyviä sovelluksia tiedon keräämisen, analysointiin ja esittämiseen.

- Remion Oy:llä on yli 2.8 miljoonaa sensoria aktiivisessa käytössä.
- Remionin kehittämiä ratkaisuja käytössä vuodesta 2003 lähtien tuotantokäytössä.
- Regatan avulla teollisen internetin ratkaisu 2 kuukaudessa käyttöön projektin aloituksesta.
- Remionin sovellukset huolehtivat kymmenientuhansien koneiden ja laitteiden seurannasta. [4.]

3 Teollinen internet

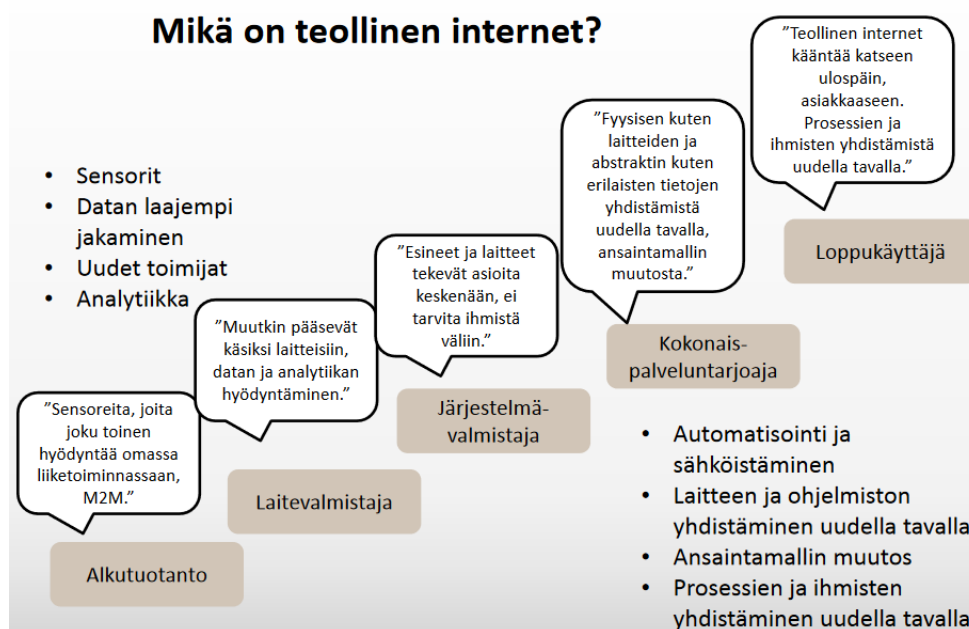
Kansainvälinen teollisen internetin konsortio IIC esittää tämän määritelmän:

Teollinen internet on esineiden, koneiden, tietokoneiden ja ihmisten internet, joka mahdollistaa älykkäät teolliset operaatiot käyttäen kehittyntä data-analytiikka muutoksiin johtavien liiketoiminnallisten tulosten aikaansaamiseksi. Se ilmentää sitä, kuinka globaali teollinen ekosysteemi, kehittynyt tietojenkäsittely, kehittynyt valmistus, kaikkialle leviävä anturointi ja kaikkialle ulottuvat verkot yhdistyvät. [5.]

Olipa kyse mistä toimialasta tahansa teollinen internet on mukana tavalla tai toisella valvomassa laitteita ja prosesseja hyödyntäen automaatiota, internetin sisäisiä leikkaus-

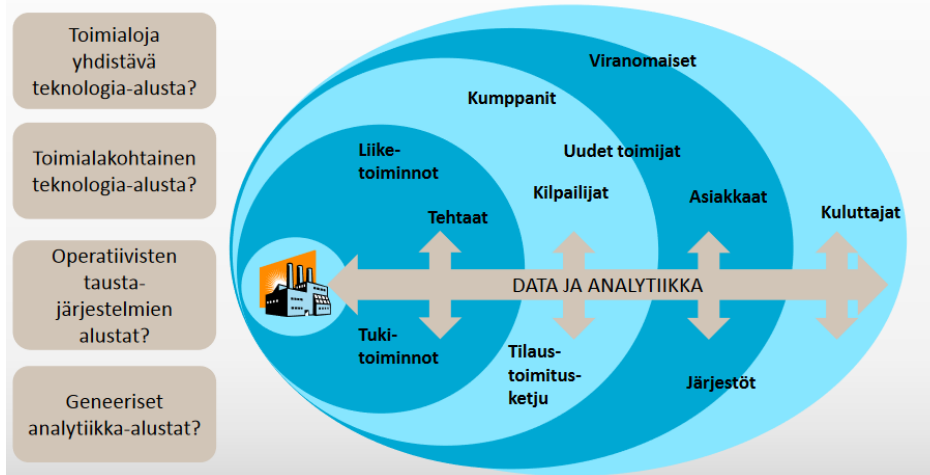
pintoja, analytiikkaa ja visiointia sekä mahdollistamaan tällä tavalla huomattavia liiketoimintahyötyjä. [5, 34-35.]

Teollinen internet muodostuu, kun yritysten omat liiketoimintaprosessit sekä myytävät hyödykkeet ja palvelut kytkeytyvät verkkoon, mikä painottaa datan merkitystä ja luo uusia datapohjaisia palveluita. Merkittävä muutos entiseen verrattuna on siinä, että ohjelmistoilla voidaan tuoda älytoimintoja myös aineellisiin hyödykkeisiin. Ennen ohjelmiston mukana tulevat ”älytoiminnot” kuuluivat omana osanaan hyödykkeisiin, mutta tulevaisuudessa tilanne muuttuu päinvastaiseksi: hyödykkeet ja palvelut liitetään osaksi ohjelmistoja. Ohjelmistoilla voidaan luoda uudenlaisia ominaisuuksia hyödykkeille ja palveluille sen hetken tarpeen sekä tilanteen mukaan. Enää ei tarvitse ostaa uutta laitetta, joka vastaa sen hetkistä tarvetta vaan ohjelmistolla voidaan päivittää hyödykkeen ominaisuuksia tarpeen mukaan. Teollisen internetin käyttökohteita, käyttäjiä ja sen hyödyntämistä on havainnollistettu seuraavissa (kuvioissa 1-2.). [5, 34-35.]



Kuvio 1. Mikä on teollinen internet? [6, 5.]

Teollisen internetin alustat pohjaavat kykyyn analysoida ja hyödyntää dataa uudella tavalla ja uusiin tarkoituksiin



Kuvio 2. Miten teollista internetiä voi hyödyntää? [6, 9.]

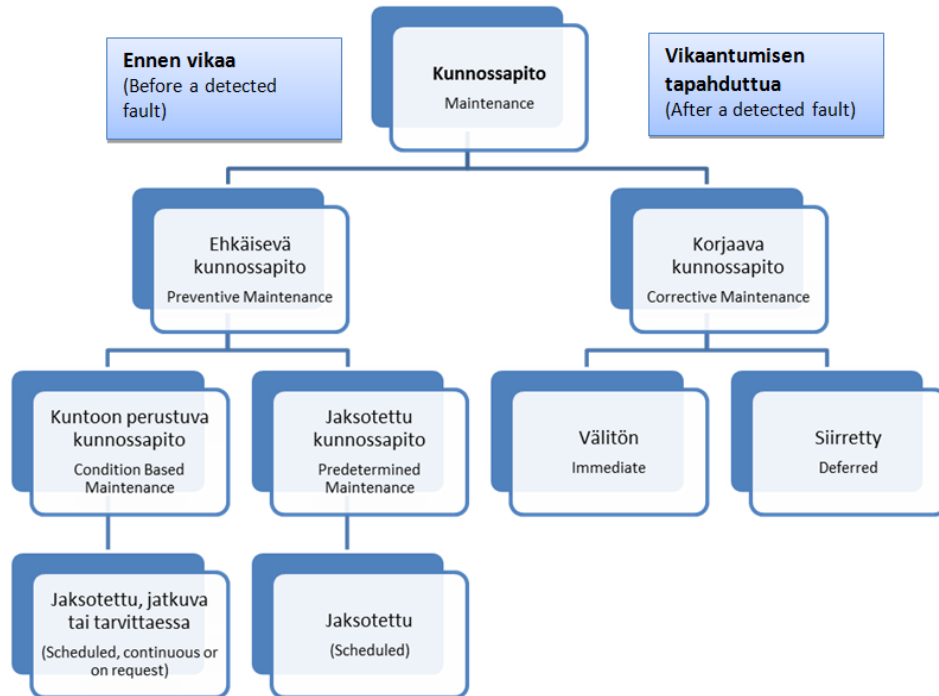
4 Mitä on kunnossapito, ja miksi sitä tarvitaan?

Kunnossapidosta tulee yleensä mieleen rikkiäinen laite, joka on korjattava tai ostettava kokonaan uusi. Toiseen maailmansotaan asti kunnossapitoa pidettiin pakollisena pahana, joka tehtiin sitten kun laite tai kone meni rikki. Siihen aikaan teknologia ja prosessit eivät olleet vielä tarpeeksi kehittyneitä, jotta voitaisiin tehokkaasti välttyä rikkoontumisilta. Kunnossapitoa piti harjoittaa ajatuksella, että on maksettava kyseiset korjaukset niiden sattuessa, jotta toimintaa voitaisiin jatkaa normaalisti, eikä lisää katkoja prosessissa syntyisi.

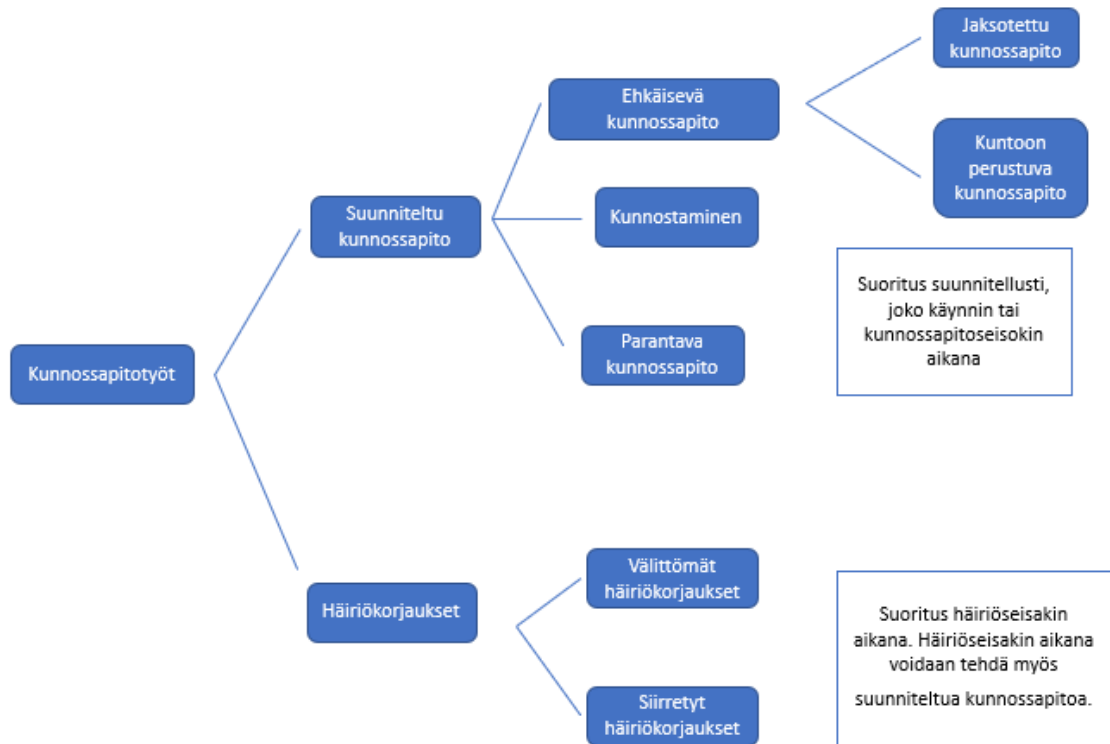
Termodynamiikan toisen perussäännön mukaisesti prosessit muuttuvat. Muuttuminen tapahtuu aina huonompaan suuntaan: tuotanto-omaisuus kuluu ja rikkoontuu. Tuotanto-omaisuuden oikealla huoltamisella pyritään pitämään koneiden ja laitteiden kunto asiallisena. Toimintakunnon hoitaminen on jokaisen sellaisen henkilöryhmän ja siihen kuuluvan jäsenen harteilla, joka on kyseisen omaisuuden kanssa tekemisissä. Jokainen ryhmä osallistuu toimintakunnon hyvinvointiin omalla tavallaan. Kunnossapitotöihin liittyviä osa-alueita ja toimintatapoja on esitetty (kuvioissa 3-4.).

Suomen standardoimisliiton standardi SFS-EN 13306 määrittelee kunnossapidon seuraavasti:

Kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suorittamaan halutun toiminnon. (Standardi SFS-EN 13306, 2010) [8.]



Kuvio 3. Kunnossapitolajit (SFS-EN 13306) [7, 47.]



Kuvio 4. Kunnossapitotyöt [7, 48.]

4.1 Ehkäisevä kunnossapito

SFS-EN 13306 -standardissa toimenpiteet jaetaan vian havaitsemisen mukaan. Vika määriteltiin ennen tilaksi, jossa kohde ei kykene suorittamaan vaadittua toimintoa. Tämän määritelmän johdosta ehkäisevään kunnossapitoon kuuluvat kaikki ne toimenpiteet, joita tehdään ennen kuin vika estää komponentin käyttämisen. [8, 50.]

Ehkäisevässä kunnossapidossa pyritään valvomaan halutun kohteen tyypillisiä parametreja tai suorituskykyä. Tarkoituksena on minimoida ongelmien esiintymistodennäköisyyttä, laitteen tai sen osan toimintakyvyn degeneroitumista. Ehkäisevää kunnossapitoa tehdään säännöllisesti (aikataulutettuna tai jatkuvana) tai tarpeen mukaan. Ehkäisevän kunnossapidon tuloksien mukaan voidaan suunnitella ja aikatauluttaa kunnossapidon tehtäviä. [8, 50.]

Ehkäisevään kunnossapitoon sisältyvät muiden muassa:

- kunnonvalvonta (condition monitoring)
- käynninvalvonta (monitoring)
- määräystenmukaisuuden toteaminen (compliance check)
- tarkastaminen (inspection, overhaul)
- testaaminen tai toimintakunnon toteaminen (visual & functional test)
- vikaantumistietojen analysointi (trend analysis, equipment history analysis). [8, 50.]

Kunnonvalvontaa voidaan tehdä kohteen toimiessa tai seisokin aikana. Kunnonvalvonnan avulla voidaan etsiä oireilevia vikoja tai todeta havaintojen perusteella kohteen olevan toimintakuntoinen. [8, 50.]

4.2 Kunnossapidon suorituskyky

Kunnossapito pitää pystyä järjestämään tehokkaasti, kustannuksia välttämällä mahdollisimman nopeasti ja hyvin ilman kunnossapitäjien loukkaantumista.

Kunnossapidon suorituskyky on tulos sellaisten resurssien aktiivisesta käytöstä, joilla ylläpidetään tai palautetaan kohteen toimintakyky sellaiseksi, että se pysyy suorittamaan halutun toiminnon. Siitä voidaan käyttää ilmaisua saavutettu tai odotettu tulos. (Standardi SFS-EN 15341, 2007) [8.]

Kunnossapidon suorituskyky riippuu seuraavista tekijöistä, jotka voidaan jakaa ulkoisiin ja sisäisiin: sijainti, kulttuuri, toiminta- ja palveluprosessit kuuluvat sisäisiin tekijöihin ja koko, käyttöaste ja ikä ulkoisiin tekijöihin. Kunnossapidon paras suorituskyky saavutetaan, kun käytetään korjaavaa, ehkäisevää ja parantavaa kunnossapitoa. Ne yhdistävät monin tavoin informaatiota, materiaaleja, organisaation metodeja, työtä, työkaluja ja työntekotekniikoita. [8, 17-19.]

Kunnossapito kuuluu tuotanto-omaisuuden hallintaan ja sillä pyritään tuotanto-omaisuuden tuottokyvyn kehittämiseen, säätämiseen, säilyttämiseen ja ylläpitämiseen. Tämän määritelmän mukaan kunnossapitoon kuuluvat seuraavat asiat:

- koneen modernisointi
- käyttö- ja kunnossapitotaitojen kehittäminen
- laitteen elinjakson hallinta (jäljellä olevan elinjakson määrittäminen)
- laitteen käytön turvallisuus
- laitteen laaduntuottokyky
- laitteen toimintakunnon ylläpitäminen (koneen ei anneta huonontua ja/tai hajota)
- laitteen toiminnoista kerätyn tiedon analysointi ja johtopäätöksien tekeminen
- oikeiden käyttöolosuhteiden noudattaminen
- palauttaminen alkuperäiseen kuntoon
- suunnitteluheikkouksien korjaaminen. [8, 17-19.]

4.3 Parantava kunnossapito

Parantava kunnossapito jaetaan yleensä kolmeen pääryhmään. Ensimmäisessä pääryhmässä kohteeseen vaihdetaan uudet osat tai komponentit kuin mitä siinä on aikaisemmin ollut, tällä toimenpiteellä ei varsinaisesti muuteta kyseessä olevan kohteen suorituskykyä. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää esimerkiksi vanhojen tasavirtakäyttöjen korvaamista taajuusohjatuilla oikosulkumoottoreilla. [8, 51.]

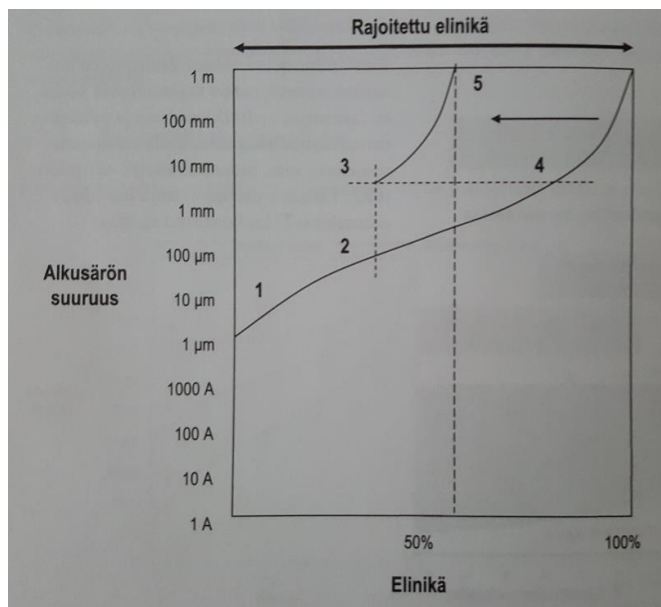
Toinen pääryhmä pitää sisällään erilaisia uudelleensuunnitteluja ja korjauksia, joitten on tarkoitus parantaa koneen luotettavuutta. Kyseessä on siis koneen toiminnan muuttamisesta luotettavammaksi, eikä sekään itsessään muuta suorituskykyä. [8, 51.]

Kolmas pääryhmään koostuu modernisaatiosta, jolla kohteen suorituskykyä saadaan parannettua. Kohdetta modernisoidessa täytyy uudistaa myös valmistusprosessia. Esimerkiksi jos vanhentuneella koneella ei pystytä valmistamaan kilpailukykyisesti uutta tuotetta, mutta koneella on vielä elinaikaa jäljellä, on usein taloudellisempaa uudistaa vanha kone kuin viedä se kaatopaikalle ja ostaa täysin uusi kone sen tilalle. Tämä on tyypillistä yhä useammille koneille, koska koneen elinjakso on pitempi kuin sen valmis-

tamien tuotteiden elinkaaret eli vuosia sitten ostetulla koneella ei enää kyetä taloudellisesti tuottamaan sellaisia tuotteita kuin mitä markkinoilla myydään. [8, 51.]

4.4 Koneiden käytön vaikutus vikaantumiseen

Ympäristössä ja niissä olevissa koneissa ja laitteissa, olosuhteiden muuttuessa, tapahtuu muutoksia. Näiden muutoksien vaikutus on termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan aina epäedullista. Tuloksena on kulumista, hallittua tai hallitsematonta. Jos kokoonpanoa tai laitetta käytetään sille ominaisella tavalla ja sille määrättyssä toimintaympäristössä, se pysyy toimintakykyisenä sille tarkoitetun käyttöajan. Jos kokoonpanon tai laitteen käyttö poikkeaa suunnitellusta, joudutaan tilanteeseen, joka on havainnollistettu (kuviossa 5.). [7, 74.]



Kuvio 5. Vikaantumisen vaikutus rakenteen elinaikaan. [7.]

Rakenteiden ja laitteiden vikaantumisprosessissa on paljon samankaltaisuuksia. Koneen saavuttaessa kuviossa 5 kohdan 1 siinä alkaa tapahtua vikaantumista tai kulumista, tässä kohdassa se pysyy vielä sallituissa rajoissa. Kohdassa 2 alkaa rakenteessa tapahtua ”siirtymistä”, joka voi olla aiheutunut muun muassa äkillisesti tapahtuneesta liikakuormituksesta (esim. kuljettaja vapauttaa vahingossa ohjauksen ja kuorma pääsee heilahtamaan aiheuttaen näin kuormituspiikin). Muita syitä ”siirtymiseen” voivat olla esimerkiksi maanjäristys, törmäys tai äkillinen lämpötilan kohoaminen. [7, 74.]

Edellä mainittujen tilanteiden yhteydessä tapahtunut ”siirtyminen” nopeuttaa rakenteen säröytymistä kohdassa 2. Tämän johdosta siirrytään kohdasta 2 kohtaan 3 käyrällä, joka tarkoittaa sitä, että molempien rakenteiden eliniän odotukset ovat samat liikkueensa eteenpäin kohdasta 3 tai liikkueensa eteenpäin kohdasta 4 kohti kohtaa 5. [7, 74.]

Jos rakenteita ei tarkasteta/huolleta voi siinä tapahtunut muutos 2→3 jäädä havaitsematta ja rakenteen toiminta muuttua. Hankalan tilanteesta tekee se, että muutos on yleensä niin vähäinen, että se löytyy vain tarkkailemalla ja vertailemalla, jos tällaista tarkastelua ei tehdä rakenne voi hajota liian aikaisin. [7, 74.]

4.5 Koneiden kunnonvalvonta

Käyttämällä mittaustoimintaan voimavaroja niin miestyötunteina kuin käyttöpääomana, voidaan saada aikaan merkittävän isoja rahallisia säästöjä teollisuuslaitoksen eri kustannuksissa. Asiallisin keinoin suoritettuna kunnonvalvonnan avulla voidaan mm. vähentää odottamattomia seisokkeja (joista syntyy kuluja), välttää turhia koneiden avaamisia (joissa koneen herkat sisäosat saattavat mennä epäkuntoon tai pois asetuksista), pienentää varaosavarastoja (turhan tilan käyttö jää muuhun tarkoitukseen) sekä lyhentää välttämättömiä, suunniteltuja seisokkeja (säästää selvää rahaa ja tuottaa rahaa valmiina tuotteina). [9.]

Ennen vanhaan kunnonvalvontaa pantiin toimeen etupäässä aistihavaintojen avulla, mm. katsomalla omin silmin, onko osa vioittunut tai näkykö osassa pintamuutoksia, kuuntelemalla laakereista kuuluvaa melua, käsin tunnustelemalla koneenosien kuumuutta ja arvioimalla koneen tärinää koskemalla siihen. Koneiden tilaa kyettiin tarkastella myös valvomalla tuotoksen laadun tasoa. Näitä menetelmiä ei pidä vähätellä nykyäänkään, mutta niiden rinnalle kompensoimaan ja täydentämään on ryhdytty käyttämään yhä enemmän erilaisia mittausmenetelmiä. [9.]

Seuraavassa listassa on syitä siihen, miksi on otettu käyttöön mittavaa kunnonvalvonta:

- Aistinvaraisista huomioista ei saada kirjattua tunnuslukuja, joiden avulla koneiden kuntoa voitaisiin valvoa.
- Huolto- ja käyttöhenkilökunnan vähentäminen aiheuttaa sen, että säännöllinen aistienvarainen valvonta koneiden luona on vähentynyt.
- Koneiden rakenteiden keventäminen on tuonut tärinänvalvonnan rakenteiden keston kannalta yhä tärkeämmäksi.
- Meluisa, vaarallinen tai muuten epämiellyttävä ympäristö on antanut aiheen siirtä käyttämään mittauksia aistinhavaintojen sijasta.
- Prosessien säätöjen muuttuessa yhä enemmän kierroslukusäätöisiksi vaihtelee koneiden tärinäkäyttäytyminen huomattavasti eri kierroslukualueella.
- Pyörimisnopeuksien kasvu on aiheuttanut sen, että vikojen kehittyminen tapahtuu nopeammin.
- Tietoa keräilevien mittalaitteiden kehittyminen on madaltanut niiden käyttöönottokynnystä.
- Tuotantolinjoja rakennetaan ilman varakoneita. Tällöin yksittäisen koneen käynti tulee kriittisemmäksi koko tehtaan kannalta.
- Tuotantomäärien kohoaminen on aiheuttanut sen, että seisokkituntien hinnat ovat nousseet. [9.]

4.6 Kunnonvalvontamittaukset

Kunnonvalvonnan järjestyksen takana on se, että yritetään havaita alkavan vikaantumisen johdosta syntynyt muutos mitattavassa suureessa. Kunnonvalvonnassa ratkaisevin asia on siis normaalista eroavan tilanteen tunnistaminen. Tämä ei kuitenkaan tavallisesti riitä vaan olennaista on myös ratkaista se, mikä on vian vakavuusaste ja se, millaisiin korjaaviin toimenpiteisiin on syytä valmistautua. [10, 4.]

Periaatteessa kunnonvalvonta voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin.

- Arvio siitä, kuinka vakava poikkeama on (prognosi)
- Poikkeaman alkusyy selvittäminen ja mahdollinen parantava toimenpide

- Poikkeaman syyn selvittäminen (diagnoosi)
- Poikkeavan tilanteen havaitseminen (detektio)
- Toimenpidesuositus.

Kun poikkeama tunnistetaan tarpeeksi aikaisin, jää sen jälkeen tulevien vaiheiden toimenpiteille tarpeeksi aikaa ja välttämättömät päätökset voidaan tehdä pohjautuen varsinaisiin faktoihin. Tämä tietysti vaatii myös sitä, että havaitut poikkeamat ovat kouriintuntuvia poikkeamia eli että virheellisiä hälytyksiä tulee mahdollisimman vähän. [10, 4.]

4.7 Kunnonvalvontamittauksissa käytettäviä suureita

Kunnonvalvonta pohjautuu erilaisten rakenteellisten suureiden määrittämiseen laitteesta, kun se on käynnissä tai sitä käytetään. Luotettavimmat tulokset saavutetaan, kun kunnonvalvontamittauksia suoritetaan jatkuvasti siten, että eri otteilla mitatut tulokset ovat keskenään verrattavissa olevia. Näin mitatut merkitsevyydet voidaan luokitella samalle mitta-asteikolle ja tutkia niiden edistymistä eli trendiä. Mikäli samasta laitteesta tutkitaan monia eri suureita, on analyysien käytännöllisyys yksittäisiin mittauksiin verrattuna parempi. Tällöin käytetään nimitystä moniparametrivalvonta. [10, 4.]

Kunnonvalvonta perustuu muun muassa seuraavien arvojen mittaukseen:

- lämpötila
- paine, virtaus, käyntinopeus ym. prosessisuureet
- sähkövirta
- tärinä (useita eri mittasuureita)
- voiteluöljyn puhtaus ja ominaisuudet

Näistä tärinän eli värähtelyn mittaukset ovat selkeästi kriittisin kunnonvalvonnan mittausmetodi. Jotta koneen kuntoa voidaan parhaimmalla saavutettavissa olevalla tavalla seurata, on tunnettava eri mittausmetodien hyödyt ja rajoitukset. [10, 4.]

Kunnonvalvontaohjelmaa perustettaessa on tiedettävä mm.:

- mistä kohdasta mittaukset on järkevintä tehdä
- miten ne tehdään
- mitä mittauksia kannattaa tehdä ja miksi.

Esimerkiksi tärinämittauksissa ilmaisimen paikan ja kiinnityksen valinnalla on kovin iso yhteys mittauksen onnistumiselle. [10, 4.]

5 Trendivaihtelujen käsittelyssä käytetty laatutyökalu ja tilastolaskentaohjelma

5.1 Six Sigma

Trendivaihtelujen käsittelyyn valitsin Six Sigman, tilastotieteeseen perustuvan laatujohtamisen työkalun.

Sigma (σ) on kreikkalainen kirjain, jolla tilastomatematiikassa kuvataan standardipoikkeamaa. Sigmalla mitataan, kuinka kaukana mittaustulokset ovat keskiarvosta, eli kuinka paljon tarkasteltavassa otoksessa on vaihtelua. Six Sigma ohjelmassa keskimittaan arvoksi asetetaan ymmärrettävästi 6, jolloin prosessin saanto (virheettömiä tuotteita) on 99.99966 % eli miljoonassa tuotteessa saa olla vain 3.4 virhettä. [7.]

Tavanomaiset laatuohjelmat on suunniteltu siten, että laadun hallinta perustuu virheiden tekemisen välttelemiseen ja virheellisten suorituksien erottelemiseen virheettömistä. Tämä ei kuitenkaan nykyään riitä vaan toimintamallit ovat osoittautumassa vaikutukseltaan puutteellisiksi. Vaikeaselkoiset tuotteet ja valmistusmenettelyt tuovat mukanaan niin suuren volyymin virhemahdollisuuksia, että vastaamalla niihin ei saavuteta asianmukaista luotettavaa laatua, vaan edellytetään ennakoivia metodeja. [7, 100.]

Six Sigma-ohjelma keskittyy prosessin ja tuotteiden vakauttamiseen poistamalla vaihte-
lut. Kun toimintaparametrit saadaan vakioitua tarpeeksi, näin ollen itse prosessikin va-
kautuu, ja tavoiteltu laatutaso saadaan saavutettua. [7, 100.]

Six Sigma -ohjelmassa haetaan kyseessä olevalle prosessille, tuotteelle tai palvelulle
syötearvot. Yksittäisille toiminnoille tarkennetaan täsmälliset ja mitattavissa olevat ylä-
ja alavalvontarajat (UCL, upper control limit ja LCL, lower control limit), joiden arvo-
jen väliin saatu arvo tulee. Tavoiteltu laatutaso saadaan aikaan, kun UCL ja LCL säily-
vät tarpeeksi saman suuruisina ja tarpeeksi lähellä toisiaan. [7, 100.]

Six Sigmaa käytetään teollisuuden aloilla, joissa tuotteet ovat teknisesti vaativia, esi-
merkiksi elektroniikkateollisuudessa. Six Sigmaa käyttävät yritykset harvoin puhuvat
omista projekteistaan, varsinkaan epäonnistuneesta projektista ei puhuta. Myöskään on-
nistuneista projekteista ei haluta puhua, vaan mieluummin pidetään onnistuneet inno-
vaatiot itsellään ja näin ollen säilytetään etulyöntiasema markkinoilla. Suomessa toimii
joitain yrityksiä, joissa Six Sigma on viety myös kunnossapito-osastoille. [7, 101-102.]

5.2 Minitab

Tällä hetkellä Minitab johtaa tilastollisten tietokoneohjelmistojen alaa. Minitabia käyte-
tään akateemisesti yli 400 yliopistossa ja korkeakoulussa maailmanlaajuisesti. Maail-
malla opetetaan eniten Minitab-ohjelman kuin minkään muun tilastosoftwaren avulla. [11.]
Minitabista löytyy melkein kaikki tavalliset tilastolliset ominaisuudet, tilastollisen pro-
sessin ohjauksen, koe suunnittelun, luotettavuusanalyysit ja mittausjärjestelmän analy-
soinnin. [11.]

Tässä työssä käytettiin Minitab-ohjelmaa, jotta saataisiin esille trendivaihteluja kerätys-
tä datasta. Minitab-ohjelma valittiin sen käyttökelpoisuuden vuoksi ja sen vuoksi, että
sillä voi käsitellä ja analysoida suuriakin määriä erilaista dataa sekä sen ominaisuudesta
muuttaa se mielekkääseen visuaaliseen muotoon. [11.]

6 Seurantaan valittujen koneiden spesifikaatioita

Tässä luvussa esitetään seurantaan valittujen koneiden kokoluokkien moottoriin, massaan, rakenteeseen ja toimintaan liittyvät arvot, jotka vaikuttavat koneiden käyttöön, turvallisuuteen ja niiden kulutukseen. Mukana myös kuva nostureista, tärkeimmät osat nimettyinä ja aakkostettuna sekä nostureiden kokonaismassat (kuvilla 3-6.). Seurantaan valittujen nostureiden kokomallit ovat suuruusjärjestyksessä 70, 120 ja 160.

6.1 Kone 1, Suomi (70)

Mitat:

Paino: 90 000 kg

Ulottuma: 21,1 m

Nostopuomi: 11,0 metriä, suora

Taittopuomi: 10,0 metriä

Vastapaino: 19 450 kg

Moottori:

Malli: Volvo TAD1171 VE / Tier 4

Teho: 265kW / 1800 rpm

Iskutilavuus: 10,84 l

Sylinterin läpimitta ja iskunpituus: 123mm * 125mm

Sylinterien lukumäärä: 6

Sähköjärjestelmä:

Jännite: 24 V

Akut: 2 * 225 Ah

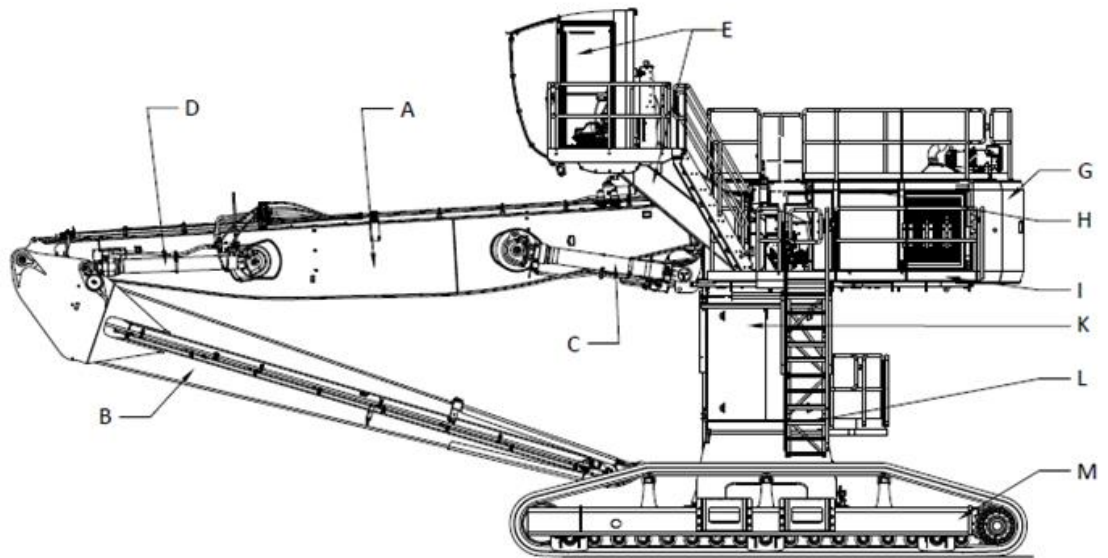
Vaihtovirtageneraattori: 100 A

Tankit:

Hydrauliöljysäiliö: 800 l (netto)

Pääpolttoainesäiliö: 870 l

Moottoriöljy: 24 l



Kuva 3. Kone 1.

Nostopuomi (hydrauliikka huomioitu)	A		
Taittopuomi (hydrauliikka huomioitu)	B		
Nosto/HybriLift® -sylinterit	C		
Taittosylinterit	D		
Ohjaamo + ohjaamokorotus	E		
Vastapaino	G		
Ylävaunu ilman ohjaamo	H		
Ylävaunun huoltotasot	I		
Nesteet			
Ylävaunu kokonaispaino		n.	55 300 Kg
Alavaunun huoltotasot	J		
- Runko	K		
- Pylon sis. Läpivienti	L		
Telat, 2 kpl, + sileät telalaput	M		
Alavaunu kokonaispaino		n.	34 700 Kg
Kokonaismassa ilman kahmaria ja taakkaa		n.	90 000Kg

6.2 Kone 2, Venäjä (120)

Mitat:

Paino: 125 500 kg

Ulottuma: 23 m

Nostopuomi: 13,0 metriä, suora

Taittopuomi: 11,0 metriä

Vastapaino: 27 100 kg

Moottori:

Malli: Volvo TAD1344 VE / Tier 2

Teho: 352kW / 2100 rpm

Iskutilavuus: 12,78 l

Sylinterin läpimitta ja iskunpituus: 131mm * 158mm

Sylinterien lukumäärä: 6

Sähköjärjestelmä:

Jännite: 24 V

Akut: 2 * 225 Ah

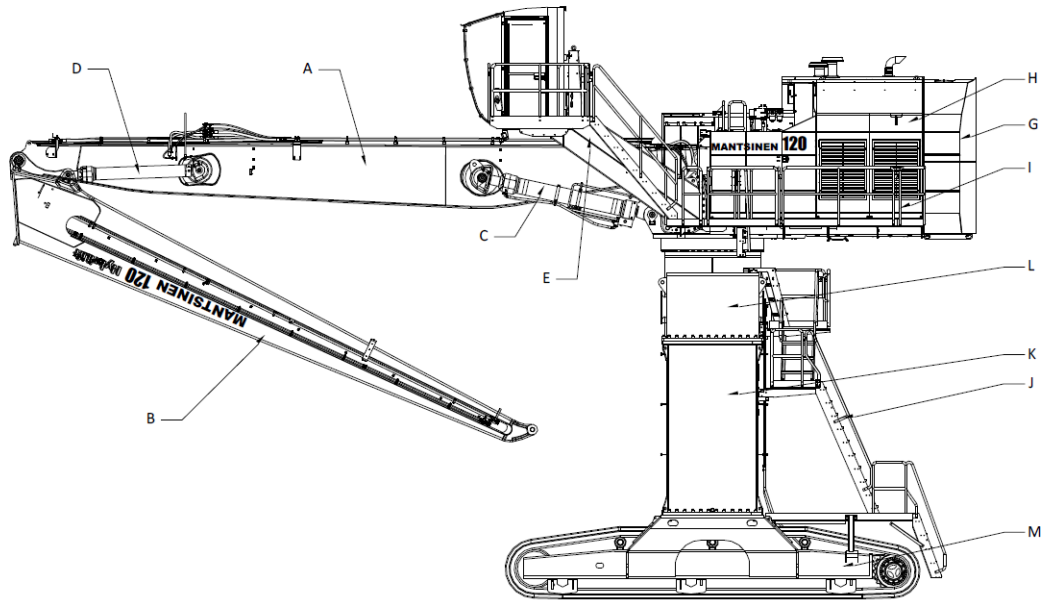
Vaihtovirtageneraattori: 80 A

Tankit:

Hydrauliöljysäiliö: 1000 l (netto)

Pääpolttoainesäiliö: 1500 l

Moottoriöljy: 36 l



Kuva 4. Kone 2.

Ylävaunu			
Nostopuomi (hydrauliikka huomioitu)	A		
Taittopuomi (hydrauliikka huomioitu)	B		
Nosto/HybriLift® -sylinterit	C		
Taittosylinterit	D		
Ohjaamo + ohjaamokorotus	E		
Vastapaino	G		
Ylävaunu ilman ohjaamo	H		
Ylävaunun huoltotasot	I		
Ylävaunu kokonaispaino	n.	77 500 Kg	
Alavaunun huoltotasot	J		
Portaalikorotus, kokoonpano			
- Rungon korotus - pilari sis. polttoainesäiliön	K		
- Runko korotus – telaportaalin runko	L		
Telat, 2 kpl, + sileät telalaput	N		
Kiinnitys tarvikkeet jne.			
Alavaunu, kokonaispaino	n.	52 100 Kg	
Kokonaismassa ilman kahmariä ja taakkaa	n.	129 600 Kg	

6.3 Kone 3, Englanti (120)

Mitat:

Paino: 133 000 kg

Ulottuma: 24,9 m

Nostopuomi: 14,0 metriä, kaartuva

Taittopuomi: 12,0 metriä

Vastapaino: 28 000 kg

Moottori:

Malli: Volvo TAD1374 VE / Tier 4

Teho: 375kW

Iskutilavuus: 12,8 l

Sylinterien lukumäärä: 6

Sähköjärjestelmä:

Jännite: 24 V

Akut: 2 * 225 Ah / 12V

Vaihtovirtageneraattori: 110 A

Tankit:

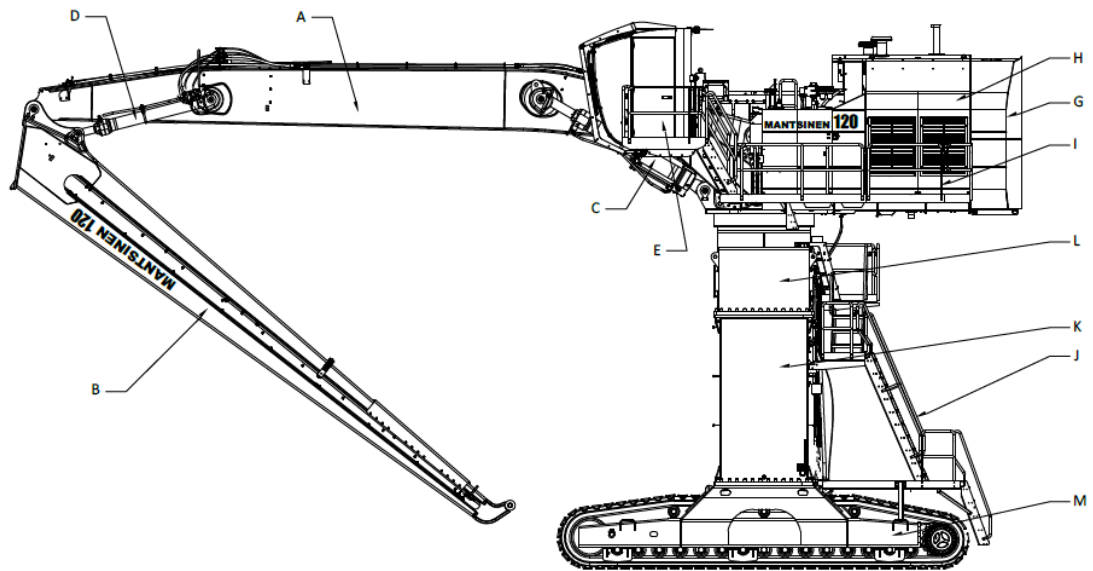
Hydrauliöljysäiliö: 1000 l (netto)

Pääpolttoainesäiliö: 1500 l

Tankki: 200 l Tier 4 lopullinen diesel

Moottoriöljy: 40 l

Lisätankit: 2 * 2000 l



Kuva 5. Kone 3.

Ylävaunu			
Nostopuomi (hydrauliikka huomioitu)	A		
Taittopuomi (hydrauliikka huomioitu)	B		
Nosto/HybriLift® -sylinterit	C		
Taittosylinterit	D		
Ohjaamo + ohjaamokorotus	E		
Vastapaino	G		
Ylävaunu ilman ohjaamo	H		
Ylävaunun huoltotasot	I		
Ylävaunu kokonaispaino		n.	79 900 Kg
Alavaunun huoltotasot	J		
Portaalikorotus, kokoonpano			
- Rungon korotus - pilari sis. polttoainesäiliön	K		
- Runko korotus – telaportaalin runko	L		
Telat, 2 kpl, + sileät telalaput	N		
Kiinnitys tarvikkeet jne.			
Alavaunu, kokonaispaino		n.	53 100 Kg
Kokonaismassa ilman kahmariä ja taakkaa		n.	133 000 Kg

6.4 Koneet 4-5, Brasilia (160)

Mitat:

Paino: 211 000 kg

Ulottuma: 30,4 m

Nostopuomi: 17,5 metriä, kaartuva

Taittopuomi: 14,0 metriä

Vastapaino: 33 200 kg

Moottori:

Malli: Volvo TAD1643 VE / Tier 2

Teho: 565kW / 1800 rpm

Iskutilavuus: 16,1 l

Sylinterin läpimitta ja iskunpituus: 144mm * 165mm

Sylinterien lukumäärä: 6

Sähköjärjestelmä:

Jännite: 24 V

Akut: 2 * 225 Ah / 12V

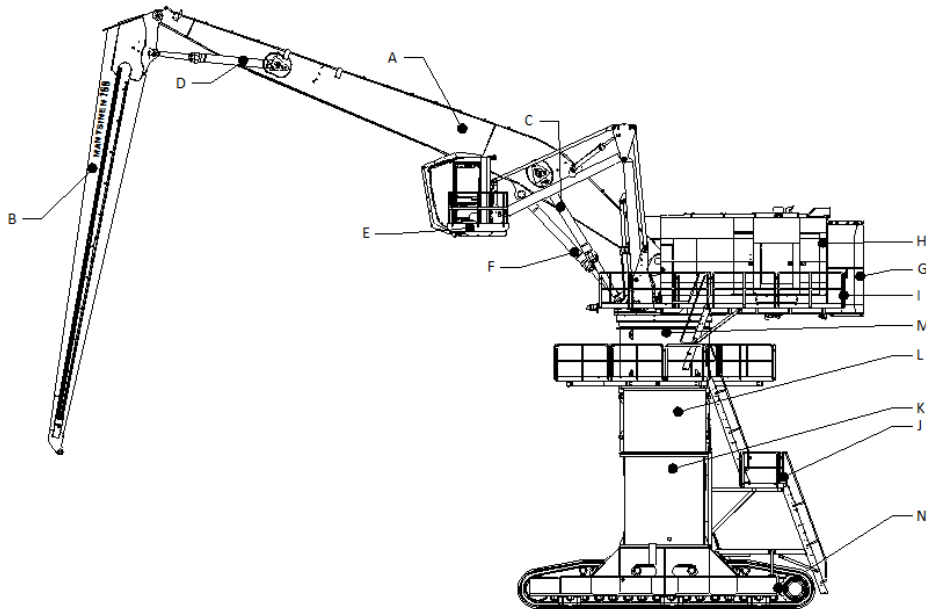
Vaihtovirtageneraattori: 110 A

Tankit:

Hydrauliöljysäiliö: 1650 l (netto)

Pääpolttoainesäiliö: 3000 l

Moottoriöljy: 48 l



Kuva 6. Koneet 4-5.

Ylävaunu			
Nostupuomi (hydrauliikka huomioitu)	A		
Taittopuomi (hydrauliikka huomioitu)	B		
Puomin sylinterit	C		
Nosto/HybriLift® -sylinterit			
Taittosylinterit	D		
Ohjaamo + ohjaamokorotus	E		
Vastapaino	G		
Ylävaunu ilman ohjaamo	H		
Ylävaunun huoltotasot	I		
Ylävaunu kokonaispaino		n.	117 500 Kg
Alavaunun huoltotasot	J		
Portaalikorotus, kokoonpano			
- Rungon korotus - pilari sis. polttoainesäiliön	K		
- Runko korotus – telaportaalin runko	L		
- Pyloni	M		
Telat, 2 kpl, + sileät telalaput	N		
Hydrauliikka nesteet			
Alavaunu, kokonaispaino		n.	93 500 Kg
Kokonaismassa ilman kahmariä ja taakkaa		n.	211 000 Kg

7 Trendivaihtelut, visualisointi ja analysointi Minitab-ohjelmaa hyödyntäen

Datan tulkinta suoritettiin Minitab-ohjelman tilastollisia testaustyökaluja hyödyntäen. Päädyin Minitab-ohjelmaan ja sen tarjoamiin tilastollisiin työkaluihin, sekä siinä oleviin datan esitysmahdollisuuksiin, koska ohjelma soveltuu hyvin isojen datamäärien analysointiin. Myös opettajani Jani Kangas suositteli sitä minulle tätä opinnäytetyötä varten.

Testaamiseen käytin seuraavia testimenetelmiä:

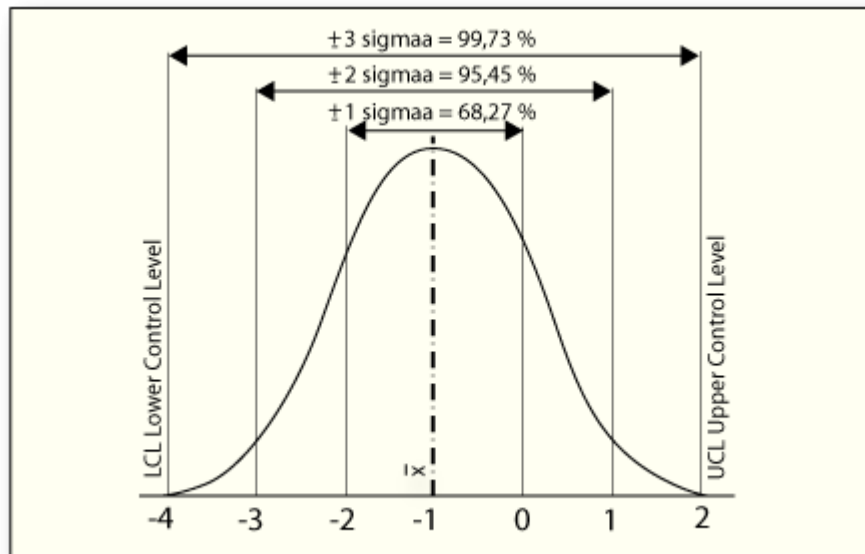
- I-MR-valvontakortti.
- graafinen yhteenvetoraportti.
- parittainen T-testi.
- kahden otoksen T-testi.
- anova (variانسianalyysi) testi.

Näihin käytettyihin menetelmiin päädyin keskusteltuani Jani Kankaan kanssa sekä sen takia, että nämä edellä mainitut ohjelmat antavat parhaimman mahdollisuuden seurata nostureissa tapahtuvia numeerisia vaihteluja ja eroja niiden välillä. Edellä mainituista menetelmistä tulee parempi kuvaus luvussa 8.

I-MR ja graafisessa yhteenvetoraporttitestissä käytettyjen otosten määrä oli 400 ja jäähdytysnesteen lämpötilatesteissä sekä muissa kokeissa noin 4000. Muissa testeissä otosten määrä oli 500 ja 5000. Kaikkiin tapauksiin sekään ei riittänyt ja siinä tapauksessa otin koko datan käyttöön otoksia varten. Joissain tapauksissa otosten määrä oli pienempi, koska saman aikajakson sisällä oli, joko tehty lyhempi vuoro tai kone oli seisonut esimerkiksi koneen huollosta johtuen.

Normaalijakaumaa käytetään todennäköisyyslaskennassa ja tilastotieteessä. Sillä pyritään näyttämään satunnaiskoetta toistettaessa tarpeeksi monta kertaa satunnaismuuttujien summan läheneminen normaalijakaumaan. Luottamusväliä käytetään myös todennäköisyyslaskennassa ja tilastotieteessä. Sillä pyritään osoittamaan satunnaisotoksista laskettuihin lukuihin sisältyvää virhemarginaalia. Molemmat tarkasteltaviin lukuarvoihin liittyvät menetelmät ovat käytössä tulosten tulkintaosiossa.

Normaalijakauma: Tilastollisten menetelmien tärkein jatkuva todennäköisyysjakauma on normaalijakauma, jota kutsutaan myös Gaussin jakaumaksi. Sen tiheysfunktion kuvaajaa sanotaan myös Gaussin käyräksi tai kellokäyräksi. Monet reaali maailman satunnaismuuttujat noudattavat likimain normaalijakaumaa. Havainnollistettu (kuviossa 6.). [12, 202.]



Kuvio 6. [12, 202.]

Luottamusväli: Otoksesta laskettujen estimaattien perusteella voidaan määrittää luottamusväli eli väli, jolla perusjoukon vastaava tunnusluku sijaitsee tietyllä todennäköisyydellä. Luottamustaso kuvaa myös virhearvioinnin todennäköisyyttä. Mitä suurempaa luottamustasoa käytetään, sitä pienempi on virhemahdollisuus. Usein käytetään 95%:n luottamustasoa, mikä tarkoittaa, että perusjoukon tunnusluku, esimerkiksi odotusarvo μ , sijaitsee 95%:n varmuudella ilmoitetulla luottamusvälillä. [12, 215.]

Keskiarvo (\bar{x}) tai (Mean), keskihajonta (MR) tai (StDev) ja Mediaan (Md) tai (Median): Keskiarvo lasketaan summaamalla havaintojen arvot ja jakamalla saatu luku havaintojen lukumäärällä. Koska keskiarvo yksinään ei välttämättä kerro tutkittavasta kohteesta paljoakaan lasketaan sen rinnalle yleensä keskihajonta. Keskihajonta kuvaa arvojen keskimääräistä vaihtelua saadun keskiarvon ympärillä. Mitä suurempi keskihajonta saadaan, sitä enemmän saaduissa havainnoissa on vaihtelua. Keskihajontakaavoilla saadaan laskettua havaintoarvojen keskimääräinen etäisyys keskiarvosta.

Keskihajonta lasketaan luokitellun aineiston keskihajonnan kaavalla.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Missä s = keskihajonta

n = tulosten kokonaismäärä

\bar{x} = keskiarvo

x_i = luokkakeskus (tämä tarkoittaa kunkin luokan keskimmäistä arvoa)

Mediaani on eräs tilastollisessa matematiikassa käytetty keskiluku, joka ilmoittaa jakauman tyypillisen arvon eli keskiluvulla tarkoitetaan jakauman keskimmäistä havaintoarvoa, kun havainnot on järjestetty suuruusjärjestykseen.

8 Tulosten tulkinta

Tuloksien merkittävyyttä arvioidaan p-arvolla, mitä pienempi se on, sitä suurempi tilastollinen merkitys sillä on.

P-arvon ollessa $< 0,05$ tulos on tilastollisesti melkein merkitsevä (*)

P-arvon ollessa $< 0,01$ tulos on tilastollisesti merkitsevä (**)

P-arvon ollessa $< 0,001$ tulos on tilastollisesti erittäin merkitsevä (***)

8.1 I-MR-valvontakortti:

I-MR-kaavio on hyvä graafinen menetelmä, jolla voidaan havainnollistaa prosessin suorituskykyä. I-MR-kaavio koostuu kahdesta kaaviosta: yksittäisestä (I)-kaaviosta ja Vaihtelualue (MR)-kaaviosta. I-kaaviolla voi seurata prosessin tasoa ja MR-kaavion avulla voi seurata prosessin vaihtelua. I-kaavio näyttää prosessin jokaisen yksittäisen arvon ja näiden arvojen keskiarvon. MR-kaavio näyttää vaihtelun jokaisesta mittauksesta edelliseen mittaukseen (eli prosessin vaihtelun). I-MR testiä käytetään lähinnä kahteen tarkoitukseen:

- Saadaksemme selville, onko prosessi hallinnassa ja erityisistä syistä johtuvien syiden löytämiseksi, jotka saattavat johtaa prosessin joutumiseen pois hallinnasta.
- Voidaksemme vertailla suorituskkyä prosessin eri vaiheissa, esim. ennen ja jälkeen muutoksen toteuttamisen.

Alempi (LCL) ja ylempi (UCL) valvontaraja I-MR-kaaviossa voivat olla harhaanjohtavia riippuen lukuarvojen valinnasta ja käytännön arvojen vaihtelusta konetta käytettäessä. LCL ja UCL asetetaan automaattisesti siten, että vain 1 tuhannesta otannasta jää tämän alueen ulkopuolelle, eli 99,9 % arvoista kuuluu tälle alueelle. Tämä tehdään mahdollisten poikkeaminen poistamiseksi ja jotta saataisiin parempi arvoja kuvaava visuaalinen kuvanto. [13.]

I-MR-kaaviosta saaduista testauksen tuloksista kävi ilmi, että tulosten huoltoa ennen- ja jälkeen-tilanteissa näkyy muutosta, kun verrataan keskiarvoja ja hajontoja toisiinsa. Jälkeen-tilanteiden datan hajonta pienenee eli vaihtelu on pienempää kuin ennen-tilanteessa tästä voidaan päätellä, että huollolla on ollut merkitystä. (Taulukoissa 1-8.) laskeneet arvot on merkitty sinisellä ja nousseet punaisella. Ennen-tilanteet sinisellä pohjalla ja jälkeen-tilanteet keltaisella. (Ks. taulukko 1.)

Keskiarvo (\bar{x}) puomin paineesta oli laskenut 6,2 %. Moottorin jäähdytysnesteen lämpötilan keskiarvon poikkeama oli laskenut vain 1,4 %. Moottorin kuormituksen keskiarvo oli laskenut 19,7 % ja moottorin todellinen kierrosluku 8,4 %. Tämä voi johtua koneen pienemmästä yleisestä kuormitusasteesta. Koneen käyttö perustuu nosturin kuormitukseen ja on yksilöllistä sen käytölle samoin kuin puomin paineen vaihtelut ovat paljolti kiinni kuormista ja koneen käyttäjistä. Kone voi olla myös tyhjäkäynnillä varsinkin kylminä jaksoina, joka voi vaikuttaa ainakin moottorin todellisen kierrosluvun arvoihin.

Keskihajonta (MR) puomin paineesta oli laskenut 33,5 %, joka voi johtua kuormien massojen laskusta tai käyttötuntien vähäisyydestä kyseisissä otoksissa. Moottorin jäähdytysnesteen lämpötilan keskihajonta oli laskenut 48,5 %, joka voi johtua siitä, että moottori käynnistetään uudelleen ja jäähdytysnesteen lämpötila on käynnistyshetkellä sama kuin ulkoilman tai hallin lämpötila. Moottorin kuormitus oli laskenut 27,4 % ja

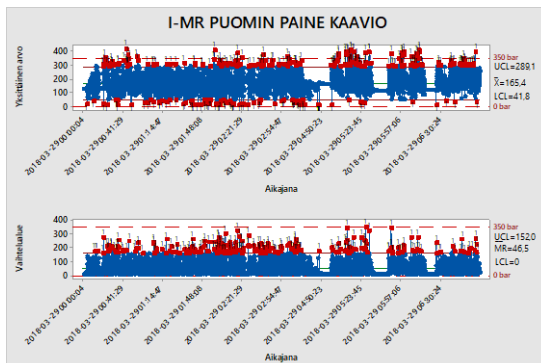
moottorin todellinen kierrosluku oli laskenut 22,9 %. Samat syyt kuin edellä keskiarvon tapauksissa pätevät myös keskihajonnan tapauksissa.

Kierroslukujen vaihteluun vaikuttavat 0 lukemat ja käynnistys koska silloin lukemat nousevat 0:sta 1300-1800 rpm:n paikkeille. Kierroslukujen tarkastelussa on myös otettava huomioon, että käyttöalue on 1300-1800 kierrosta ja rajaus on tehty 500 kierroksen alueelle eli isoimmat poikkeamat ovat suurimmaksi osaksi koneen käynnistyksestä sekä tyhjäkäynnistä johtuvia. (Kuvat 7-14.) (Taulukko 1.)

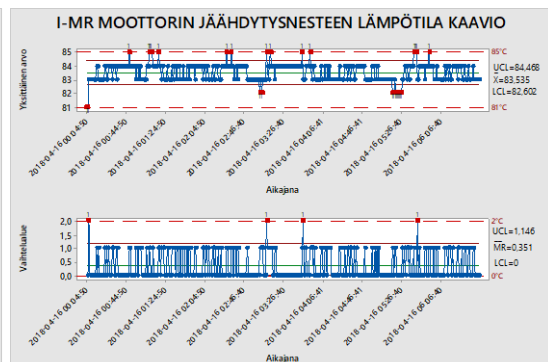
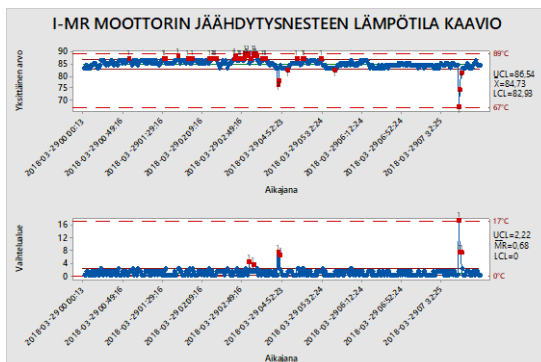
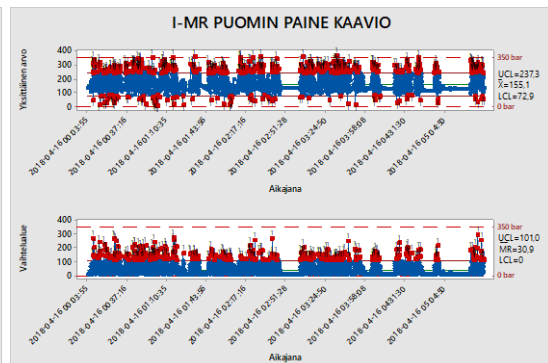
Taulukko 1. I-MR-valvontakorteista saadut tulokset.

	I-MR tulokset:		Keskiarvon muutos %	Keskihajonta (MR)		Keskihajonnan muutos %
	Keskiarvo (\bar{x})	Jälkeen		Ennen	Jälkeen	
Brasilia kone 5	Ennen	Jälkeen		Ennen	Jälkeen	
Puomin paine:	165,4 bar	155,1 bar	6,2 %	46,5	30,9	33,5 %
Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila:	84,73 °C	83,54 °C	1,4 %	0,68	0,35	48,5 %
Moottorin kuormitus:	36,6 %	29,4 %	19,7 %	21,2	15,4	27,4 %
Moottorin todellinen kierrosluku:	1610 RPM	1475 RPM	8,4 %	70	54	22,9 %

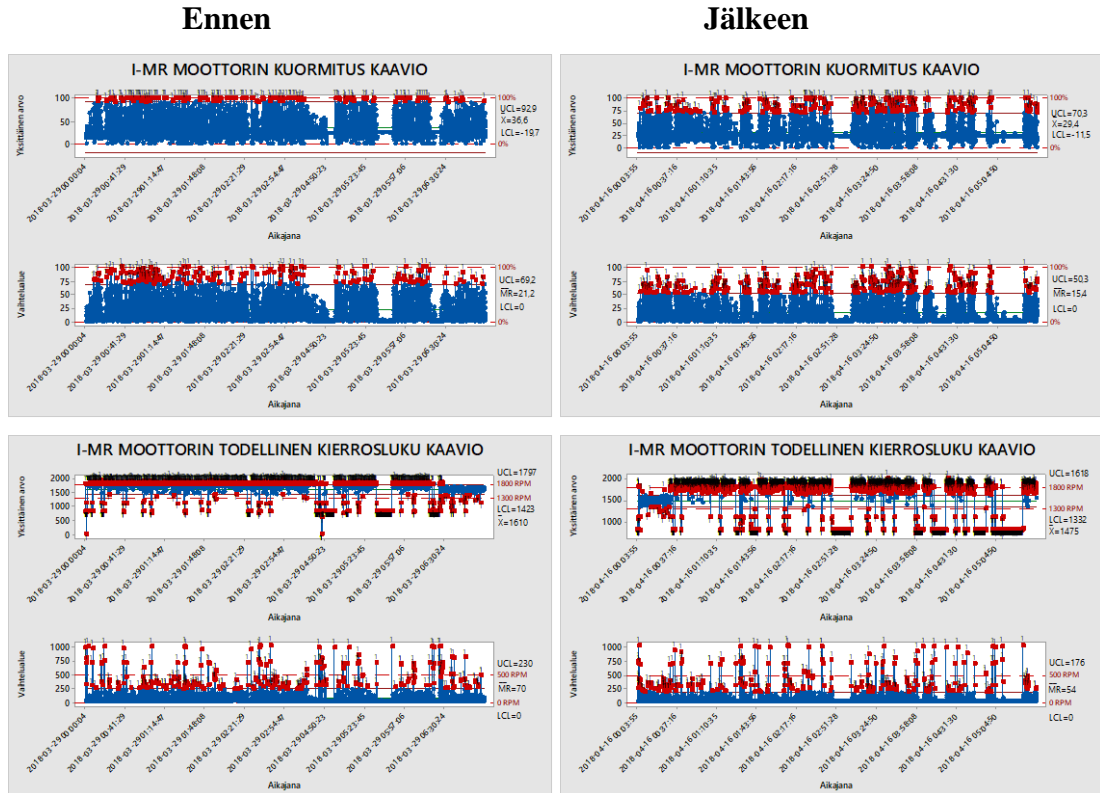
Ennen



Jälkeen



Kuvat 7-10. I-MR ennen ja jälkeen kaaviot. Tässä tarkastellaan dataa 2500 tunnin kohdalla, kuvat vierekkäin I-MR ennen- ja jälkeen-tilanteesta.



Kuvat 11-14. I-MR ennen ja jälkeen kaaviot. Tässä tarkastellaan dataa 2500 tunnin kohdalla, kuvat vierekkäin I-MR ennen- ja jälkeen-tilanteesta.

8.2 Graafinen yhteenvetoraportti

Graafinen raportti esittää I-MR-valvontakortin tulokset graafisessa muodossa, lukuarvot ovat muutoin samat, mutta uutena esityslukuarvona tulee mediaani. Graafisista kuvaajista voimme nähdä mm. sen, että puomin painetta kuvaavat pylväät ovat enemmän kallillaan vasemmalle kuin jäähdystynesteen lämpötilan tapauksessa ja hajonta pienenee mm. koska arvojen vaihteluväli on pienempi. Raportin lukuja voi verrata toisiinsa siten, että verrataan ennen- ja jälkeen-tilanteita, esim. puomin paine, jossa verrattavana on luottamusvälin keskiarvo (Mean) ennen-tilanteet sinisillä pohjilla ja jälkeen-tilanteet keltaisella pohjalla. Näitä lukuja vertaamalla saadaan keskiarvojen muutosprosentti puomin paine ennen-tilanteesta. Taulukosta 2 olevista lukujen keskiarvoista ja (kuvien 15-22.) kuvaajien vaihteluiden laskuista voidaan näin ollen havaita ja olettaa, että kone toimii varmemmin sekä paremmin sille tarkoitetulla tavalla. Testistä kävi myös ilmi, että kokeet olivat tilastollisesti erittäin merkittäviä, P-arvot $< 0,005$.

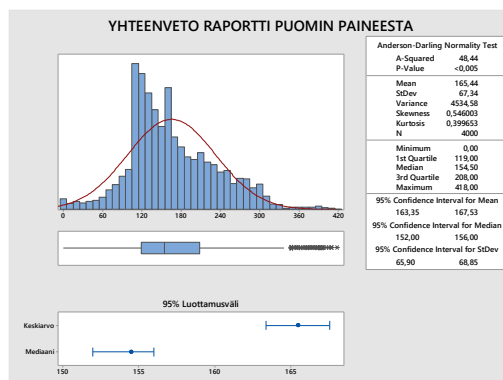
Mediaani (Median) ennen-tilanteet sinisillä pohjilla ja jälkeen-tilanteet keltaisella pohjalla. Näitä lukuja vertaamalla saadaan muutosprosentti puomin paine ennen-tilanteesta, jossa puomin mediaanipaine oli laskenut 13,3 %, moottorin jäähdytysnesteen lämpötila oli laskenut 1,2 %, moottorin kuormitus oli laskenut 18,5 % ja moottorin todellinen kierrosluku oli laskenut 0,3 %.

Keskihajonta (StDev) ennen-tilanteet sinisillä pohjilla ja jälkeen-tilanteet keltaisella pohjalla. Näitä lukuja vertaamalla saadaan muutosprosentti puomin paine ennen-tilanteesta, jossa puomin keskihajonnan paine oli laskenut 19,7 %, moottorin jäähdytysnesteen lämpötila oli laskenut 63,6 %, moottorin kuormitus oli laskenut 16,4 % ja moottorin todellinen kierrosluku oli noussut 19,2 %, tämä voi johtua kuormituksen kasvusta tai kuormien kasvusta, jolloin tarvitaan korkeampia kierroksia. (Kuvat 15-22.) (Taulukko 2.)

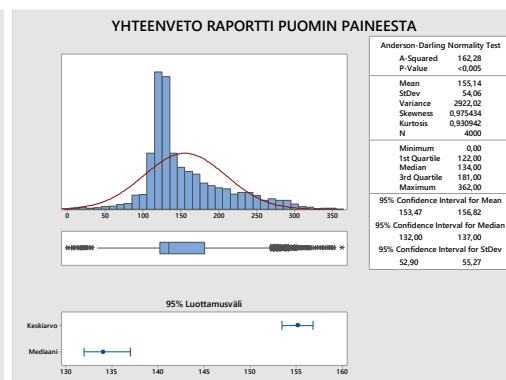
Taulukko 2. Graafisista yhteenvetoraporteista saadut tulokset.

Graafisen yhteenvetoraportin tulokset:									
	Luottamusväli		Keskiarvon muutos %	Ennen	Jälkeen	Mediaanin muutos %	Ennen	Jälkeen	Keskihajonnan muutos %
	Ennen	Jälkeen							
Brasilian kone 5	Keskiarvo (Mean)	Keskiarvo (Mean)		Ennen	Jälkeen		Ennen	Jälkeen	
Puomin paine:	165.44	155.14	6,1 %	154.5	134	13,3 %	67.34	54.06	19,7 %
Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila:	84.74	83.54	1,4 %	85	84	1,2 %	1.76	0.64	63,6 %
Moottorin kuormitus:	36.62	29.4	19,7 %	27	22	18,5 %	24.21	20.25	16,4 %
Moottorin todellinen kierrosluku:	1610.1	1474.5	8,4 %	1780	1774	0,3 %	357.1	441.7	19,2 %

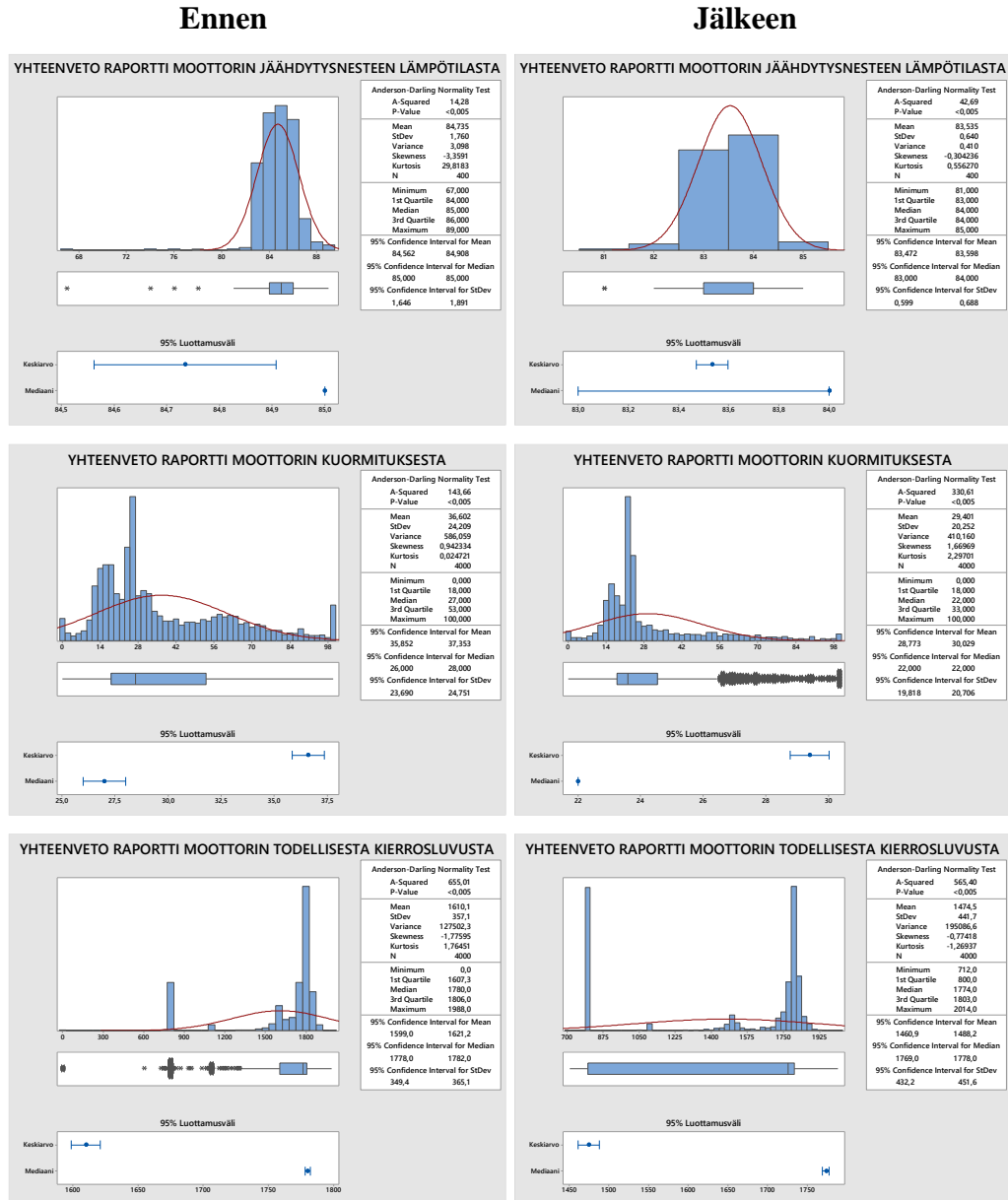
Ennen



Jälkeen



Kuvat 15-16. Graafinen yhteenvetoraportti. Tässä tarkastellaan dataa 2500 tunnin kohdalla, yllä kuvat vierekkäin Graafisesta yhteenvetoraportista ennen- ja jälkeen-tilanteesta.



Kuvat 17-22. Graafinen yhteenvetoraportti. Tässä tarkastellaan dataa 2500 tunnin kohdalla, yllä kuvat vierekkäin Graafisesta yhteenvetoraportista ennen- ja jälkeentilanteesta.

8.3 Parittainen T-testi

Parittaisen T-testin tarkoituksena on selvittää, poikkeavatko tutkittavan perusjoukon odotusarvo μ ja jonkin tietty luku μ_0 toisistaan. Testaus suoritetaan otoksesta saatuun keskiarvoon perustuen. [12, 228.]

Parittaisen T-testin yhteenvetoraportti: Voidaan todeta, että arvojen C1 ja C2 välillä on eroja mm. keskiarvossa ja hajonnassa. Otosten määrä on riittävä eroavaisuuden määrittämiseen ja että huollolla on ollut merkitystä, koska keskiarvon vaihtelu on vähäisempää jälkeen-tilanteessa. Hajonnan eroavaisuus riippuu kuormista, joita kuljettaja käsittelee ja itse kuljettajasta. Testistä kävi myös ilmi, että kokeet olivat tilastollisesti merkittäviä, P-arvot < 0,05.

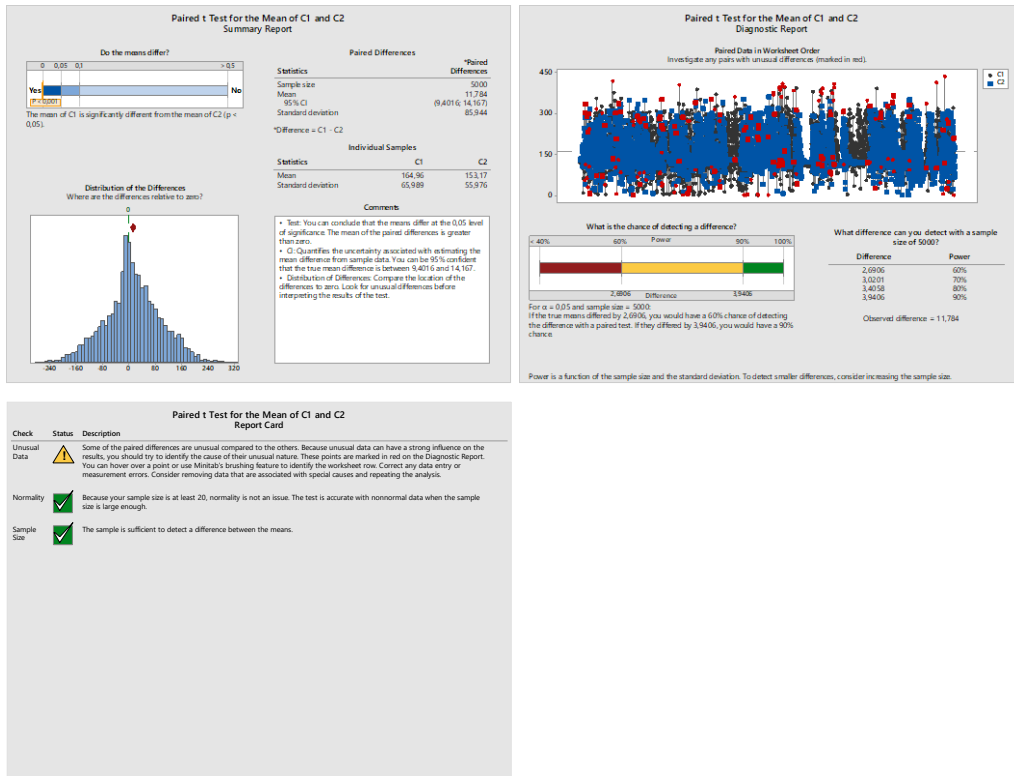
Keskiarvon puomin paine oli laskenut 7,1 %, moottorin jäähdytysnesteen lämpötila oli laskenut 1,2 %, moottorin kuormitus oli laskenut 19,7 % ja moottorin todellinen kierros-luku oli laskenut 5,4 %.

Keskihajonnan prosentit ovat laskua 15,2 %, kasvua 3,9 %, laskua 16,4 % ja kasvua 17,1 %. Kuvista voi myös lukea tekstin, jossa lukee *sample size: the sample is sufficient to detect a difference between the mean* eli näyte-erän koko on riittävän suuri keskiarvon poikkeaman havaitsemiseen. Luottamusvälistä voimme todeta, että 95 %:n varmuudella arvot vaihtelevat suluissa olevien lukujen välillä. Samat syyt pätevät vaihte-luihin kuin edellä mainituissa tapauksissa. (Kuvat 23-34.) (Taulukko 3.)

Taulukko 3. Parittaisista T-testeistä saadut tulokset.

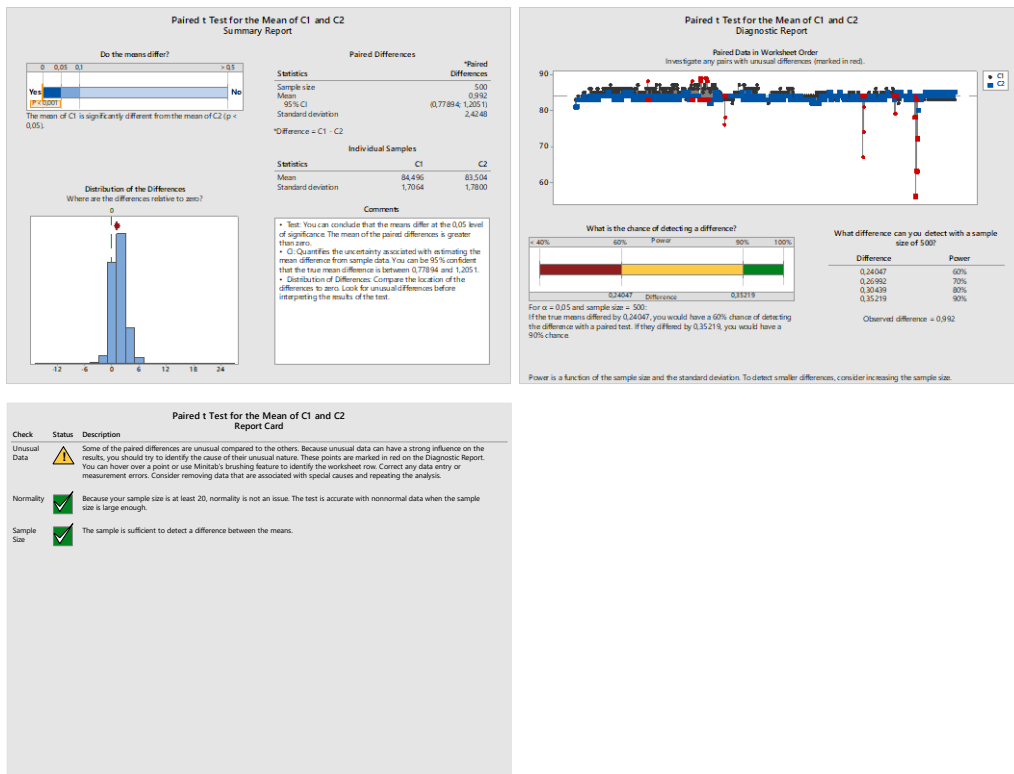
	Parittaisen T-testin yhteenveto raportin tulokset:									
	Parittaiset erot			Yksittäiset otokset			Yksittäiset otokset			
	Keskiarvo	Keskihajonta	Luottamusväli	Keskiarvo (Mean)		Keskiarvon muutos %	Keskihajonta (Standard deviation)		Keskihajonnan muutos %	
			C1=Ennen	C2=Jälkeen		C1=Ennen	C2=Jälkeen			
Brasilila kone 5										
Puomin paine:	11.78	85.94	(9.4;14.17)	164.96	153.17	7,1 %	65.99	55.98	15,2 %	
Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila:	0.99	2.42	(0.78;1.21)	84.5	83.5	1,2 %	1.71	1.78	3,9 %	
Moottorin kuormitus:	7.08	31.41	(6.21;7.95)	35.97	28.90	19,7 %	24.05	20.11	16,4 %	
Moottorin todellinen kierros-luku:	86.24	537.89	(71.32;101.15)	1605.6	1519.4	5,4 %	353.72	426.69	17,1 %	

Brasilia puomin paine, C1= Ennen ja C2= Jälkeen:



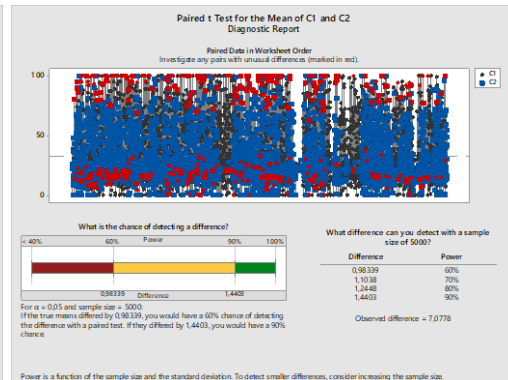
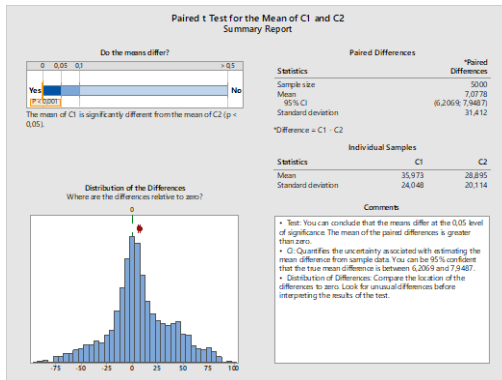
Kuva 23-25. Parittaisen T-testin yhteenvetoraportti.

Brasilia moottorin jäähdytysnesteen lämpötila:



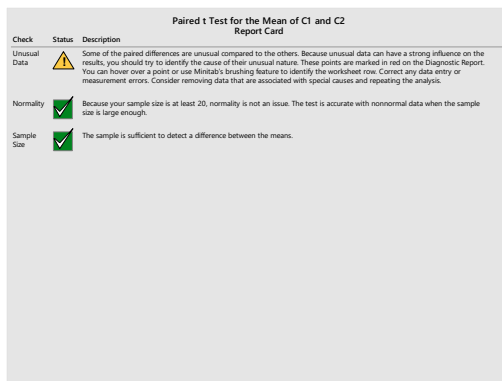
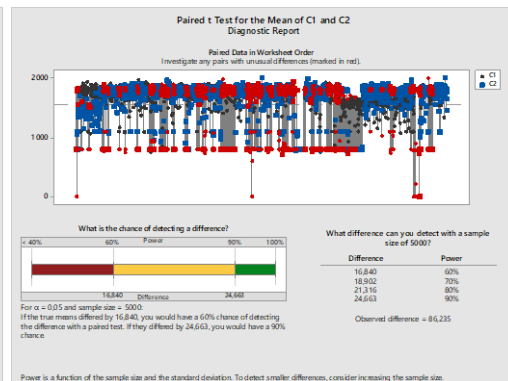
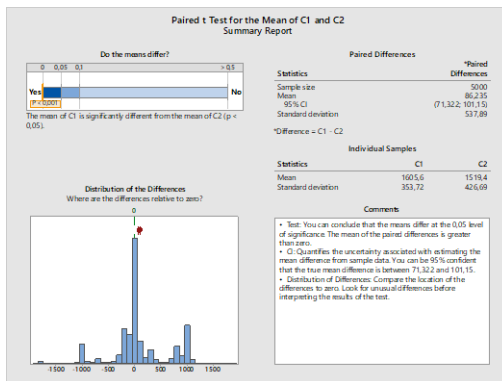
Kuvat 26-28. Parittaisen T-testin yhteenvetoraportti.

Brasilia moottorin kuormitus:



Kuvat 29-31. Parittaisen T-testin yhteenvetoraportti.

Brasilia moottorin todellinen kierrosluku:



Kuvat 32-34. Parittaisen T-testin yhteenvetoraportti.

8.4 Kahden otoksen keskiarvojen T-testi

On testimenetelmä, jossa perusjoukosta saatujen otosten keskiarvojen perusteella testataan, poikkeavatko kahden ryhmän keskiarvot mahdollisesti toisistaan. Jos ryhmät ovat riippumattomia, käytetään riippumattomien otosten t-testiä. Riippuvien otosten kuten toistomittausten tapauksessa käytetään riippuvien otosten t-testiä. Tyypillisesti mittaukset on tehty samoista tilastoyksiköistä esimerkiksi ennen- ja jälkeen-tilanteista. [12, 230.]

Kahden otoksen T-testin yhteenvetoraportti: Tässä testissä näkyy selvästi C1 ja C2 ennen- ja jälkeen-tilanteessa huollon merkityksen datan keskiarvossa ja hajonnassa. Jälkeen-tilanteesta kuvaajasta ja diagnostiikasta näkee vaihtelujen korjautuminen pienemmälle vaihtelu välille. Testissä on ollut tarpeeksi otoksia (sample size) ja otoksissa on selvä ero kuten edellisessäkin testissä. Osa datapisteistä on epätavallisia (unusual data), nämä datapisteet voivat olla seurausta siitä, miten konetta käytetään sekä mihin konetta käytetään ja kuka sitä käyttää. Epätavallisen datan määrällä on merkitystä (ks. punaiset pisteet datassa). Nämä pisteet voivat johtua rajojen ylityksestä mutta syitä rajojen ylitykselle tulisi etsiä kunnes juurisyy löytyy, koska epätavallisella datalla voi olla iso vaikutus koneen käytettävyyteen ja näin ollen koneista saatuun dataan ja tuloksiin. Testistä kävi myös ilmi, että kokeet olivat tilastollisesti merkittäviä, P-arvot < 0,05.

Brasilia-koneiden keskiarvon erot prosentteina verrattaessa toisiinsa: Puomin paine ennen-tilanteessa Brasilia-koneessa 4 oli 3,3 % pienempi kuin koneessa 5 sekä 7,8 % suurempi jälkeen-tilanteessa. Tässä tapauksessa on mahdollista, että koneita on kuormitettu eri tavalla, mistä johtuen tulos voi vaihdella.

Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila ennen-tilanteessa Brasilia-koneella 4 oli 2 % pienempi kuin koneella 5 ja jälkeen-tilanteessa Brasilia-koneella 4 oli 0,4 % pienempi kuin koneella 5.

Moottorin kuormitus ennen-tilanteessa koneella 4 oli 36,3 % pienempi kuormitusaste kuin koneella 5 ja jälkeen-tilanteessa koneella 4 oli 6,1 % pienempi kuormitusaste kuin koneella 5.

Moottorin todellinen kierrosluku ennen-tilanteessa Brasilia-koneella 4 oli 15,4 % pienempi kuin koneella 5 ja jälkeen-tilanteessa koneella 4 oli 2,5 % pienempi kuin koneella 5. Vain pieniä muutoksia koneita verrattaessa toisiinsa, joten jo pelkkä käyttöaste ratkaisee todella paljon, miten koneiden prosentit eroavat toisistaan.

Brasilia-koneiden keskihajonta erot prosentteina verrattaessa toisiinsa: Puomin paine ennen-tilanteessa Brasilia-koneessa 4 oli 3,9 % pienempi kuin koneessa 5 ja jälkeen-tilanteessa 5,3 % suurempi.

Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila ennen-tilanteessa Brasilia-kone 4 oli 17 % pienempi kuin koneella 5 ja jälkeen-tilanteessa 34,8 % pienempi kuin koneella 5.

Moottorin kuormitus ennen-tilanteessa koneella 4 oli 16,5 % pienempi kuormitusaste kuin koneella 5 ja jälkeen-tilanteessa koneella 4 oli 6,2 % suurempi kuormitusaste kuin koneella 5.

Moottorin todellinen kierrosluku ennen-tilanteessa Brasilia-kone 4 oli 35,6 % suurempi kuin koneella 5 ja jälkeen-tilanteessa koneella 4 oli 14,4 % pienempi kuin koneella 5.

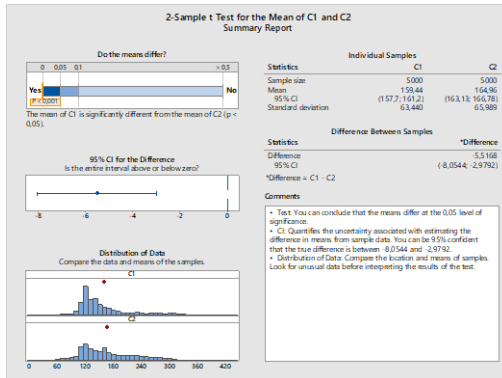
Kuvista voi myös lukea tekstin, jossa lukee *sample size: the sample is sufficient to detect a difference between the mean* eli näyte-erän koko on riittävän suuri keskiarvon poikkeaman havaitsemiseen. Luottamusvälistä voimme todeta, että 95 %:n varmuudella arvot vaihtelevat suluissa olevien lukujen välillä. Samat syyt pätevät vaihteluihin kuin edellä mainituissa tapauksissa. (Kuvat 35-58.) (Taulukko 4.)

Taulukko 4. Kahden otoksen keskiarvojen T-testeistä saadut tulokset.

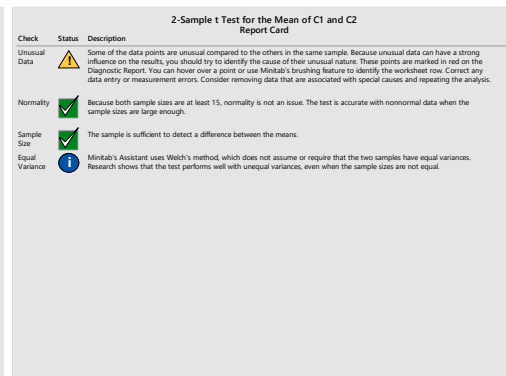
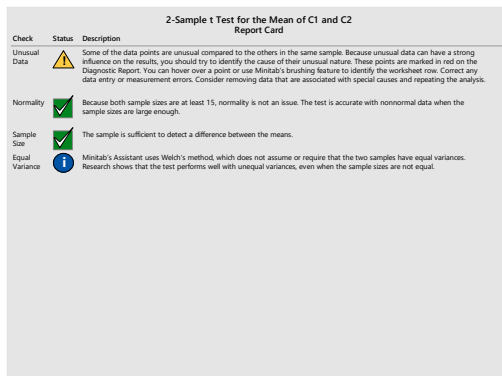
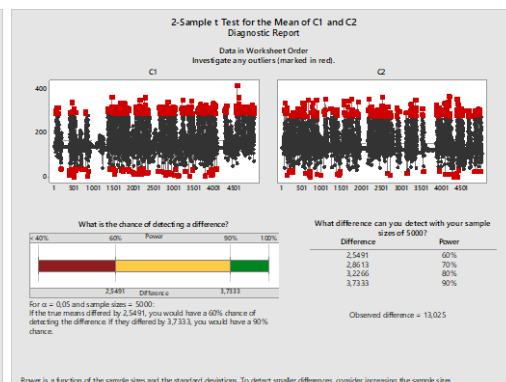
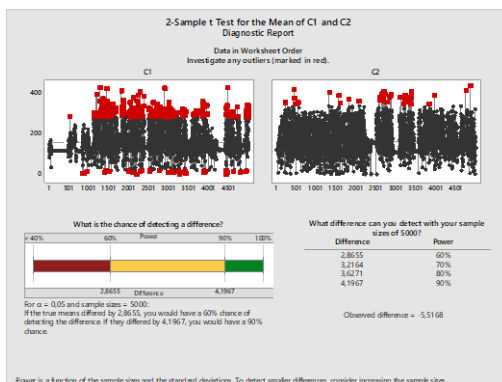
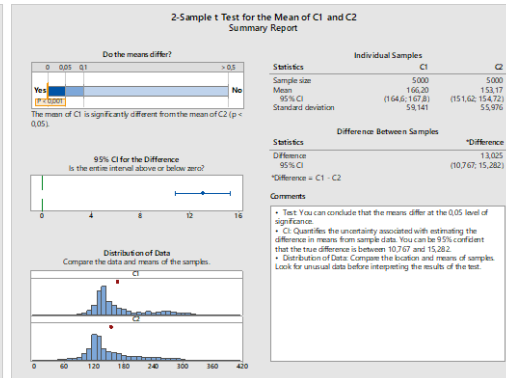
	Kahden otoksen T-testin yhteenveto raportin tulokset:				Yksittäiset otokset		Yksittäiset otokset		Keskihajonnan muutos %	Yksittäinen luottamusväli
	Kahden otoksen ero ja luottamusväli			Keskiverto (Mean)	Keskihajonta (Standard deviation)		Keskihajonnan muutos %			
Brasilia kone 4 ja 5	Ennen	Jälkeen	Luottamusväli	Brasilia 4 (C1)	Brasilia 5 (C2)	Brasilia 4 (C1)	Brasilia 5 (C2)	Brasilia 4 (C1)	Brasilia 5 (C2)	
Puomin paine:	-5,52	13,03	(-8,05;-2,98)	159,44	164,96	63,44	65,99	3,9 %	5,3 %	
						(157,7;161,2)	(163,13;166,78)			
Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila:	-1,66	-0,35	(-1,85;-1,46)	82,84	84,5	1,42	1,71	17,0 %	34,8 %	
						(82,71;82,96)	(83,35;84,65)			
Moottorin kuormitus:	-13,04	-1,74	(-13,91;-12,17)	22,93	35,97	20,08	24,05	16,5 %	6,2 %	
						(22,38;23,49)	(35,31;36,64)			
Moottorin todellinen kierrosluku:	-246,92	-38,53	(-265,04;-228,8)	1358,7	1605,6	549,68	353,72	39,6 %	14,4 %	
						(1343;1374)	(1595,8;1615,4)			
				1480,8	1519,4	365,18	426,69			
						(1471;1491)	(1507,5;1531,2)			

Brasilia puomin paine, C1= Ennen ja C2= Jälkeen:

Ennen



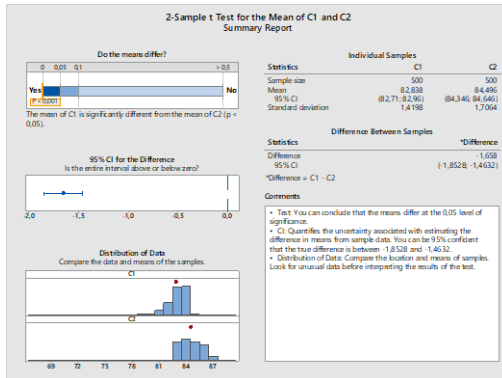
Jälkeen



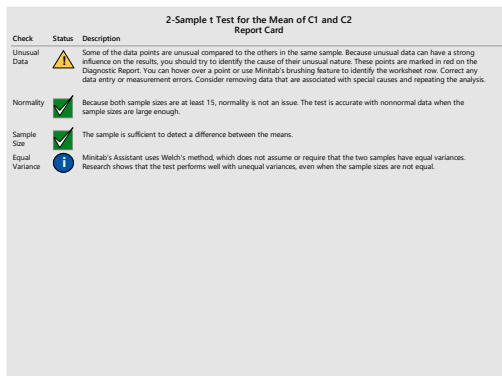
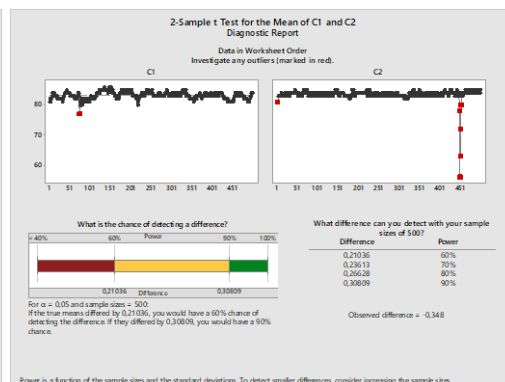
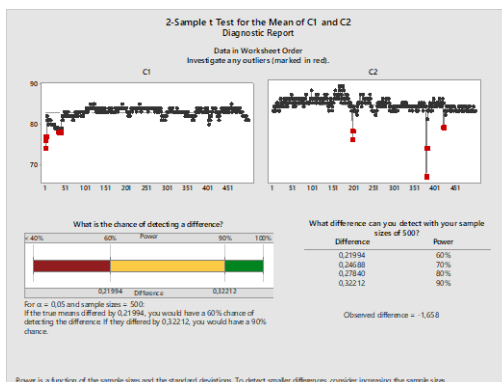
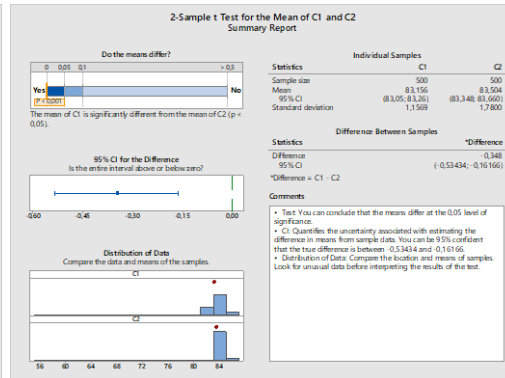
Kuvat 35-40. Kahden otoksen keskiarvojen T-testin yhteenvetoraportti. Tässä tarkastellaan dataa 2500 tunnin kohdalla, yllä kuvat vierekkäin kahden otoksen keskiarvojen T-testistä ennen- ja jälkeen-tilanteesta, puomin paine.

Brasilia moottorin jäähdytysnesteen lämpötila:

Ennen



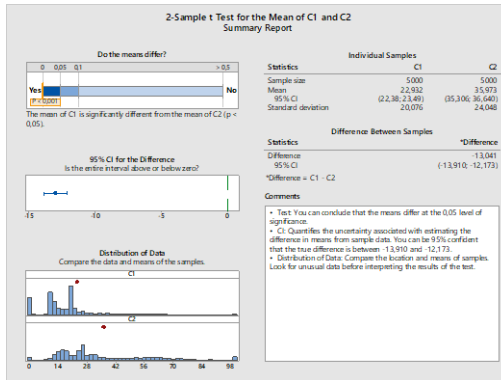
Jälkeen



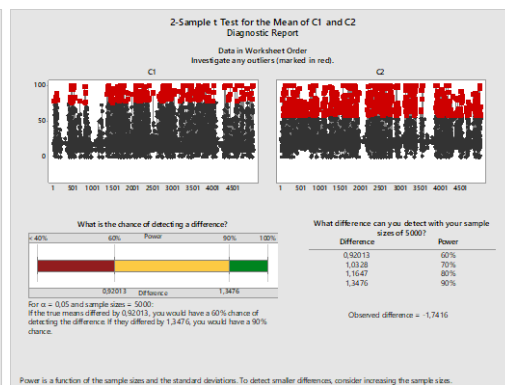
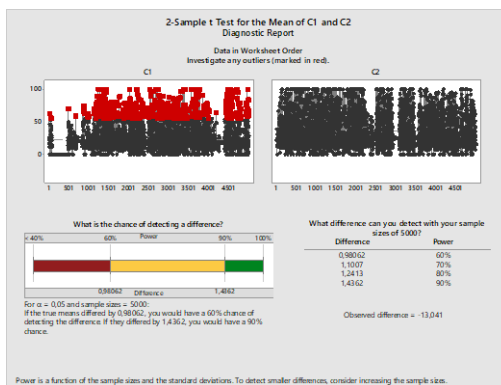
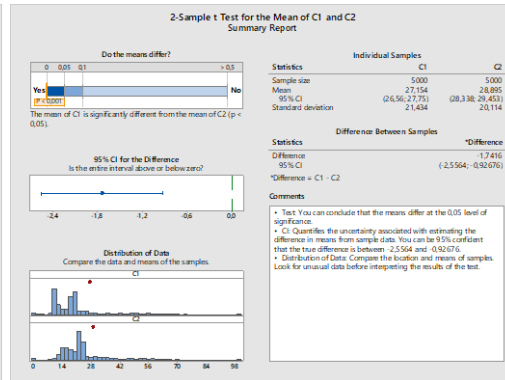
Kuvat 41-46. Kahden otoksen keskiarvojen T-testin yhteenvetoraportti. Tässä tarkastellaan dataa 2500 tunnin kohdalla, yllä kuvat vierekkäin kahden otoksen keskiarvojen T-testistä ennen- ja jälkeen-tilanteesta, jäähdytysnesteen lämpötila.

Brasilia moottorin kuormitus:

Ennen



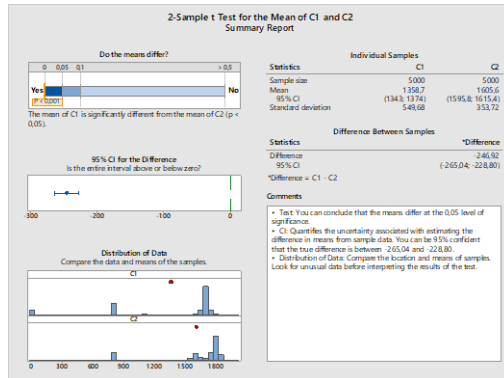
Jälkeen



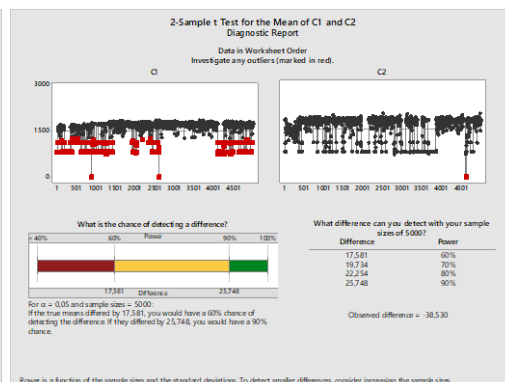
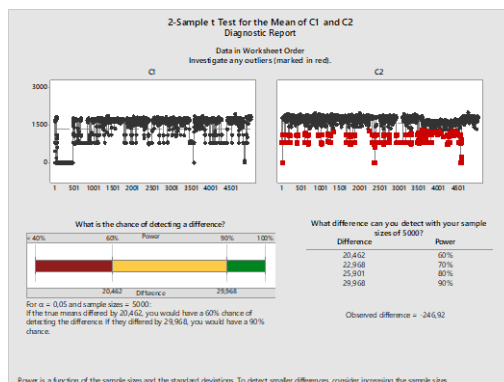
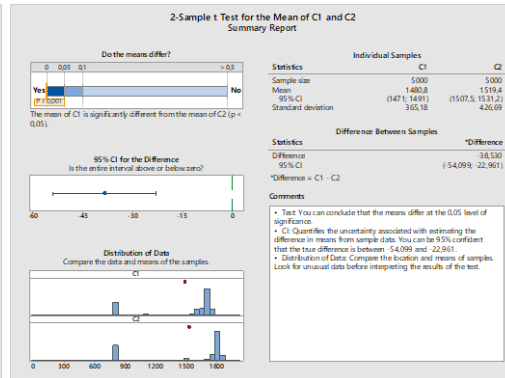
Kuvat 47-52. Kahden otoksen keskiarvojen T-testi yhteenvetoraportti. Tässä tarkastellaan dataa 2500 tunnin kohdalla, yllä kuvat vierekkäin kahden otoksen keskiarvojen T-testistä ennen- ja jälkeen-tilanteesta, moottorin kuormitus.

Brasilia moottorin todellinen kierrosluku:

Ennen



Jälkeen



Kuvat 53-58. Kahden otoksen keskiarvojen T-testin yhteenvetoraportti. Tässä tarkastellaan dataa 2500 tunnin kohdalla, yllä kuvat vierekkäin kahden otoksen keskiarvojen T-testistä ennen- ja jälkeen-tilanteesta, moottorin todellinen kierrosluku.

8.5 Anova eli varianssianalyysi

Anova on paljon käytetty perusmenetelmä, jonka avulla pyritään selittämään ryhmien välillä esiintyviä eroja tai muuttujien välisiä vaikutussuhteita. Menetelmä on testimenetelmä, jossa verrataan ryhmien keskiarvoja ja testataan erojen tilastollista merkitsevyyttä.

tä. Nimitys varianssianalyysi tulee siitä, että menetelmässä tutkitaan vaihtelun lähdettä vertaamalla ryhmien sisäistä vaihtelua ja ryhmien välistä vaihtelua. Tätä vaihtelua arvioidaan variansseilla. Kun ryhmitteleviä (selittäviä) tekijöitä on yksi, puhutaan yksisuuntaisesta varianssianalyysistä. Jos selittäviä muuttujia on useampia kuin yksi, kyseessä on monisuuntainen varianssianalyysi. [12, 232.]

Anova eli varianssianalyysin yhteenvetoraportti: Anova-testissä oli kolme erilaista konemallia C1 (nosturimalli 70), C2 ja C3 (nosturimalli 120) sekä C4 ja C5 (nosturi malli 160). Tuloksista näkyy, että siitä huolimatta, vaikka koneet ovat samanmallisia samoissa olosuhteissa ja jopa tehtävissä niiden käyttöarvoissa on silti selvää vaihtelua. Testissä katsottiin eroja aloitustilanteen ja viimeisimmän otoksen välillä viidessä eri koneessa sekä neljän eri tuloksen numeerisia arvoja verrattiin toisiinsa. Kuvista voi myös lukea tekstin, jossa lukee *sample size: the sample is sufficient to detect a difference between the mean* eli näyte-erän koko on riittävän suuri keskiarvon poikkeaman havaitsemiseen. Luottamusvälistä voimme todeta, että 95 %:n varmuudella arvot vaihtelevat suluissa olevien lukujen välillä. Testistä kävi myös ilmi, että kokeet olivat tilastollisesti merkittäviä, P-arvot < 0,05. (Kuvat 59-90.) (Taulukko 5-8.)

Puomin paineita tarkasteltaessa keskiarvoerot pysyivät samanlaisina aloitusotoksessa kuten myös viimeisimmässä otoksessa, pienin ero syntyi Brasilia-koneiden välille. Testissä kävi myös ilmi, että eroavaisuudet olivat tarpeeksi merkittävät ja että otoksien määrä oli riittävä testaukseen.

Kun aloitustilanteen puomin paineen keskiarvoa (Mean) verrataan lopetustilanteeseen, Suomi nousee 7,6 %, Englanti laskee 3 %, Venäjä nousee 24,5 %, Brasilia 4 nousee 7,9 % ja Brasilia 5 laskee 6 %.

Kun aloitustilanteen puomin paineen keskihajontaa (St Dev) verrataan lopetustilanteeseen, Suomi laskee 4,2 %, Englanti nousee 5,8 %, Venäjä laskee 4,3 %, Brasilia 4 nousee 88,5 % ja Brasilia 5 laskee 7,3 %.

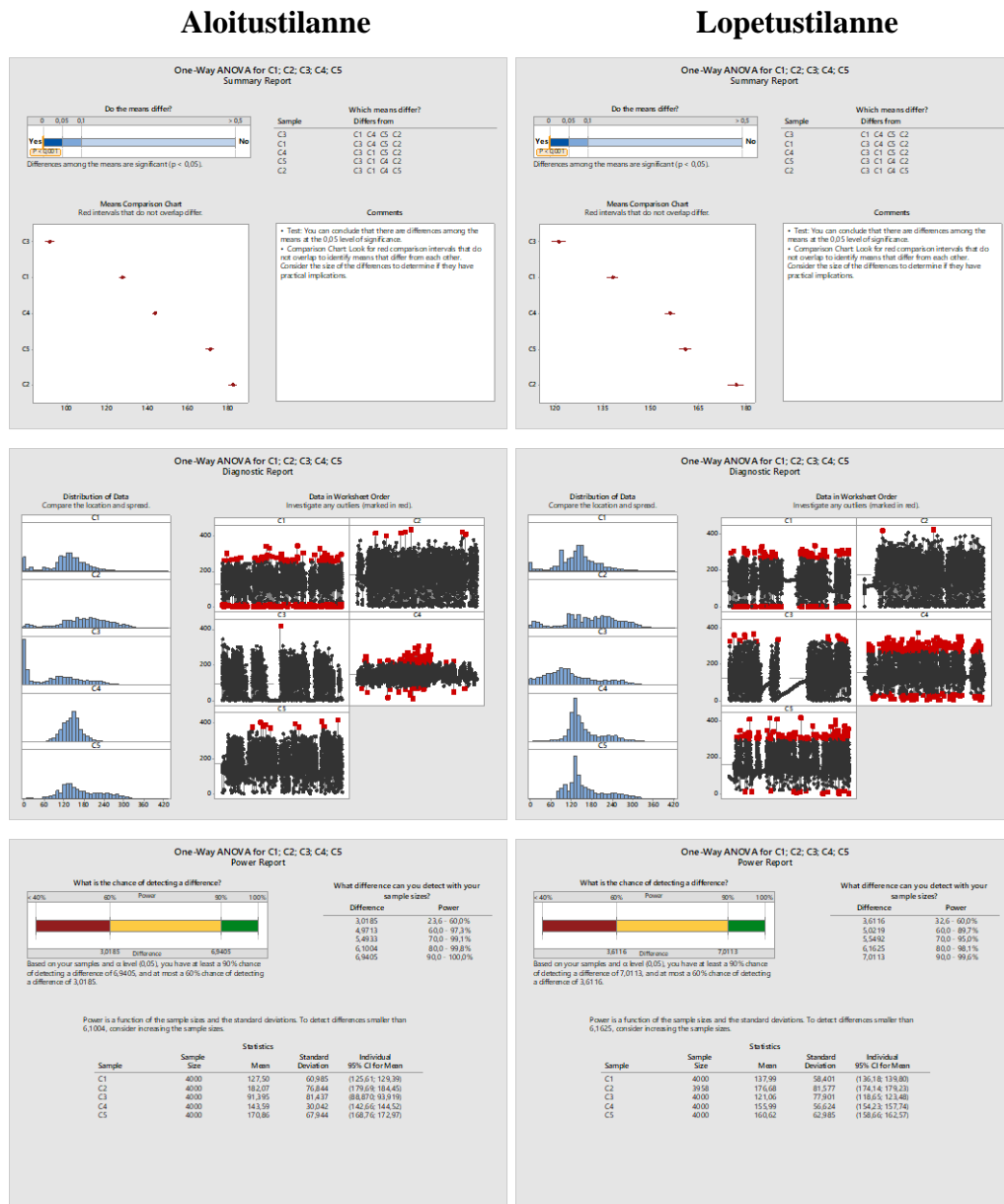
Samat syyt pätevät vaihteluihin kuin edellä mainituissa tapauksissa. Brasilia 4-koneen tapauksessa on mahdollista, että suuri vaihtelu johtuu kuormien kasvusta tai kokemat-

tomasta kuljettajasta, joka antaa ohjaussauvojen palautua itsekseen neutraaliasentoon, mistä suuret piikit otoksissa johtuvat. (Kuvat 59-66.) (Taulukko 5.)

Taulukko 5. Anova eli varianssianalyysin tulokset.

Anova eli varianssianalyysin yhteenveto raportin tulokset									
Puomin paine (bar)	Keskiarvo (Mean)		Keskiarvon muutos %	Keskihajonta (Standard deviation)		Keskihajonnan muutos %	Yksilöllinen vaihteluväli ja keskiarvo		
	Aloitustilanne	Loppu tilanne		Aloitustilanne	Loppu tilanne		Aloitustilanne	Loppu tilanne	
Suomi (C1)	127.5	137.99	7,6 %	60.99	58.4	4,2 %	(125.61;129.39)	(136.18;139.8)	
Englanti (C2)	182.07	176.68	3 %	76.84	81.58	5,8 %	(179.69;184.45)	(174.14;179.23)	
Venäjä (C3)	91.44	121.06	24,5 %	81.44	77.90	4,3 %	(88.87;93.92)	(118.65;123.48)	
Brasilia 4 (C4)	143.59	155.99	7,9 %	30.04	56.62	88,5 %	(142.66;144.52)	(154.23;157.74)	
Brasilia 5 (C5)	170.86	160.62	6 %	67.94	62.99	7,3 %	(168.76;172.97)	(158.66;162.57)	

C1=Suomi, C2=Englanti, C3=Venäjä, C4=Brasilia 1 ja C5= Brasilia 2.



Kuvat 59-64. Yhdensuunnan Anova-yhteenvetoraportti. Kaikki koneet, aloitustilanne- ja lopetustilanne-kuvat vierekkäin, puomin paine.

Aloitustilanne

One-Way ANOVA for C1; C2; C3; C4; C5 Report Card		
Check	Status	Description
Unusual Data		Some of the data points are unusual compared to the others in the same sample. Because unusual data can have a strong influence on the results, you should try to identify the cause of their unusual nature. These points are marked in red on the Diagnostic Report. You can hover over a point or use Minitab's brushing feature to identify the worksheet row. Correct any data entry or measurement errors. Consider removing data that are associated with special causes and repeating the analysis.
Sample Size		The sample is sufficient to detect differences among the means.
Normality		Because all your sample sizes are at least 15, normality is not an issue. The test is accurate with nonnormal data when the sample sizes are large enough.
Equal Variance		Minitab's Assistant uses Welch's method, which does not assume or require that the samples have equal variances. Research shows that the test performs well with unequal variances, even when the sample sizes are not equal.

Lopetustilanne

One-Way ANOVA for C1; C2; C3; C4; C5 Report Card		
Check	Status	Description
Unusual Data		Some of the data points are unusual compared to the others in the same sample. Because unusual data can have a strong influence on the results, you should try to identify the cause of their unusual nature. These points are marked in red on the Diagnostic Report. You can hover over a point or use Minitab's brushing feature to identify the worksheet row. Correct any data entry or measurement errors. Consider removing data that are associated with special causes and repeating the analysis.
Sample Size		The sample is sufficient to detect differences among the means.
Normality		Because all your sample sizes are at least 15, normality is not an issue. The test is accurate with nonnormal data when the sample sizes are large enough.
Equal Variance		Minitab's Assistant uses Welch's method, which does not assume or require that the samples have equal variances. Research shows that the test performs well with unequal variances, even when the sample sizes are not equal.

Kuvat 65-66. Yhdensuunnan Anova-yhteenvetoraportti. Kaikki koneet, aloitustilanne- ja lopetustilanne-kuvat vierekkäin, puomin paine.

Jäähdytysnesteen lämpötilojen tapauksessa tilanne olikin toisenlainen. Aloitustilanteessa Suomi- ja Brasilia 1-koneiden keskiarvot olivat melko lähellä toisiaan muiden poiketessa kaikista keskiarvoista. Viimeisimmän otoksen tilanteessa puolestaan Englannin ja Brasilia 2-koneiden keskiarvot olivat melko lähellä toisiaan muiden poiketessa kaikista keskiarvoista. Testissä kävi myös ilmi, että eroavaisuudet olivat tarpeeksi merkittävät ja että otoksien määrä oli riittävä testaukseen. Koe oli tilastollisesti merkittävä, P-arvo < 0,05.

Kun aloitustilanteen moottorin jäähdytysnesteen lämpötila keskiarvoja (Mean) verrataan lopetustilanteeseen, Suomi laskee 0,7 %, Englanti laskee 0,4 %, Venäjä nousee 1,2 %, Brasilia 4 nousee 3 % ja Brasilia 5 nousee 2,2 %.

Kun aloitustilanteen moottorin jäähdytysnesteen lämpötila keskihajontaa (St Dev) verrataan lopetustilanteeseen, Suomi laskee 4,2 %, Englanti nousee 9,2 %, Venäjä laskee 24,9 %, Brasilia 4 laskee 37,3 % ja Brasilia 5 nousee 37 %. Samat syyt pätevät vaihteluihin kuin edellä mainituissa tapauksissa. (Kuvat 67-74.) (Taulukko 6.)

Taulukko 6. Anova eli varianssianalyysin tulokset.

Anova eli varianssianalyysin yhteenveto raportin tulokset								
Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila (°C)	Keskiarvo (Mean)			Keskihajonta (Standard deviation)		Keskihajonnan muutos %	Yksittäinen vaihteluääli ja keskiarvo	
	Aloitustilanne	Loppu tilanne	Keskiarvon muutos %	Aloitustilanne	Loppu tilanne		Aloitustilanne	Loppu tilanne
Suomi (C1)	80.39	79.80	0.7 %	1.44	1.38	4.2 %	(80.25;80.53)	(79.67;79.94)
Englanti (C2)	82.58	82.23	0.4 %	4.34	4.78	9.2 %	(82.16;82.99)	(81.71;82.75)
Venäjä (C3)	83.94	84.97	1.2 %	3.85	2.89	24.9 %	(83.56;84.32)	(84.69;85.25)
Brasilia 4 (C4)	80.79	83.29	3.0 %	5.42	3.40	37.3 %	(80.25;81.32)	(82.96;83.63)
Brasilia 5 (C5)	83.3	85.14	2.2 %	1.87	2.97	37 %	(83.12;83.48)	(84.85;85.43)

C1=Suomi, C2=Englanti, C3=Venäjä, C4=Brasilia 1 ja C5= Brasilia 2.

Aloitustilanne

Lopetustilanne

One-Way ANOVA for C1; C2; C3; C4; C5 Summary Report

Do the means differ? **Yes** (p < 0.05)
Differences among the means are significant (p < 0.05).

Which means differ?
Differs from:
C1 C2 C3 C4
C2 C3 C4
C1 C4 C2 C3
C1 C4 C2 C3
C1 C4 C2 C3

Means Comparison Chart
Red intervals that do not overlap differ:

Comments:
• Test: You can conclude that there are differences among the means at the 0.05 level of significance.
• Comparison Chart: Look for red-comparison intervals that do not overlap to identify means that differ from each other. Consider the size of the differences to determine if they have practical implications.

One-Way ANOVA for C1; C2; C3; C4; C5 Summary Report

Do the means differ? **Yes** (p < 0.05)
Differences among the means are significant (p < 0.05).

Which means differ?
Differs from:
C1 C2 C4 C3 C5
C2 C1 C4 C3 C5
C1 C2 C4 C3
C1 C2 C4
C1 C2 C4

Means Comparison Chart
Red intervals that do not overlap differ:

Comments:
• Test: You can conclude that there are differences among the means at the 0.05 level of significance.
• Comparison Chart: Look for red-comparison intervals that do not overlap to identify means that differ from each other. Consider the size of the differences to determine if they have practical implications.

One-Way ANOVA for C1; C2; C3; C4; C5 Diagnostic Report

Distribution of Data
Compare the location and spread:

One-Way ANOVA for C1; C2; C3; C4; C5 Diagnostic Report

Distribution of Data
Compare the location and spread:

One-Way ANOVA for C1; C2; C3; C4; C5 Power Report

What is the chance of detecting a difference?
Based on your sample and a level (0.05), you have at least a 90% chance of detecting a difference of 1.3525, and at most a 60% chance of detecting a difference of 0.33320.

Difference	Power
0.33320	10.1 - 60.0%
0.96894	60.0 - 100.0%
1.0708	70.0 - 100.0%
1.1891	80.0 - 100.0%
1.3525	90.0 - 100.0%

Power is a function of the sample size and the standard deviations. To detect differences smaller than 1.0891, consider increasing the sample sizes.

Sample	Sample Size	Statistics		
		Mean	Standard Deviation	Individual 95% CI for Mean
C1	400	80.392	1.4435	(80.251; 80.534)
C2	400	82.378	4.2372	(81.161; 83.596)
C3	400	83.938	3.8524	(83.358; 84.318)
C4	400	80.785	5.4238	(80.252; 81.318)
C5	400	83.3	1.8745	(83.116; 83.484)

One-Way ANOVA for C1; C2; C3; C4; C5 Power Report

What is the chance of detecting a difference?
Based on your sample and a level (0.05), you have at least a 90% chance of detecting a difference of 1.2347, and at most a 60% chance of detecting a difference of 0.45077.

Difference	Power
0.45077	17.4 - 60.0%
0.88446	60.0 - 99.7%
0.97748	70.0 - 100.0%
1.08555	80.0 - 100.0%
1.2347	90.0 - 100.0%

Power is a function of the sample size and the standard deviations. To detect differences smaller than 1.0855, consider increasing the sample sizes.

Sample	Sample Size	Statistics		
		Mean	Standard Deviation	Individual 95% CI for Mean
C1	400	79.802	1.3796	(79.667; 79.938)
C2	308	82.332	4.7835	(81.712; 83.731)
C3	400	84.97	2.8870	(84.686; 85.254)
C4	400	83.293	3.3972	(82.659; 83.928)
C5	400	85.138	2.9700	(84.846; 85.429)

One-Way ANOVA for C1; C2; C3; C4; C5 Report Card

Check	Status	Description
Unusual Data	⚠	Some of the data points are unusual compared to the others in the same sample. Because unusual data can have a strong influence on the results, you should try to identify the cause of their unusual nature. These points are marked in red on the Diagnostic Report. You can hover over a point or use Minitab's brushing feature to identify the worksheet row. Correct any data entry or measurement errors. Consider removing data that are associated with special causes and repeating the analysis.
Sample Size	✅	The sample is sufficient to detect differences among the means.
Normality	✅	Because all your sample sizes are at least 15, normality is not an issue. The test is accurate with nonnormal data when the sample sizes are large enough.
Equal Variance	ⓘ	Minitab's Assistant uses Welch's method, which does not assume or require that the samples have equal variances. Research shows that the test performs well with unequal variances, even when the sample sizes are not equal.

One-Way ANOVA for C1; C2; C3; C4; C5 Report Card

Check	Status	Description
Unusual Data	⚠	Some of the data points are unusual compared to the others in the same sample. Because unusual data can have a strong influence on the results, you should try to identify the cause of their unusual nature. These points are marked in red on the Diagnostic Report. You can hover over a point or use Minitab's brushing feature to identify the worksheet row. Correct any data entry or measurement errors. Consider removing data that are associated with special causes and repeating the analysis.
Sample Size	✅	The sample is sufficient to detect differences among the means.
Normality	✅	Because all your sample sizes are at least 15, normality is not an issue. The test is accurate with nonnormal data when the sample sizes are large enough.
Equal Variance	ⓘ	Minitab's Assistant uses Welch's method, which does not assume or require that the samples have equal variances. Research shows that the test performs well with unequal variances, even when the sample sizes are not equal.

Kuvat 67-74. Yhdensuunnan Anova-yhteenvetoraportti. Kaikki koneet, aloitustilanne- ja lopetustilanne-kuvat vierekkäin, moottorin jäähdytysnesteen lämpötila.

Moottorin kuormituksen tapauksessa aloitustilanteessa kaikkien koneiden keskiarvot poikkesivat toisistaan. Viimeisimmän otoksen tilanteessa kaikkien koneiden keskiarvot poikkesivat toisistaan. Testissä kävi myös ilmi, että eroavaisuudet olivat tarpeeksi merkittävät ja että otoksien määrä oli riittävä testaukseen. Koe oli tilastollisesti merkittävä, P-arvo < 0,05.

Kun aloitustilanteen moottorin kuormitus keskiarvoja (Mean) verrataan lopetustilanteeseen, Suomi nousee 5,2 %, Englanti nousee 4,6 %, Venäjä nousee 3,4 %, Brasilia 4 nousee 15,8 % ja Brasilia 5 laskee 2,5 %.

Kun aloitustilanteen moottorin kuormitus keskihajontaa (St Dev) verrataan lopetustilanteeseen, Suomi nousee 11,8 %, Englanti nousee 1,1 %, Venäjä nousee 1,1 %, Brasilia 4 nousee 96,4 % ja Brasilia 5 nousee 17,5 %.

Samat syyt pätevät vaihteluihin kuin edellä mainituissa tapauksissa. Brasilia 4-koneen tapauksessa on mahdollista, että suuri vaihtelu johtuu kuormien kasvusta tai kokemattomasta kuljettajasta, joka antaa ohjaussauvojen palautua itseksen neutraaliasentoon, mistä suuret piikit otoksissa johtuvat. (Kuvat 75-82.) (Taulukko 7.)

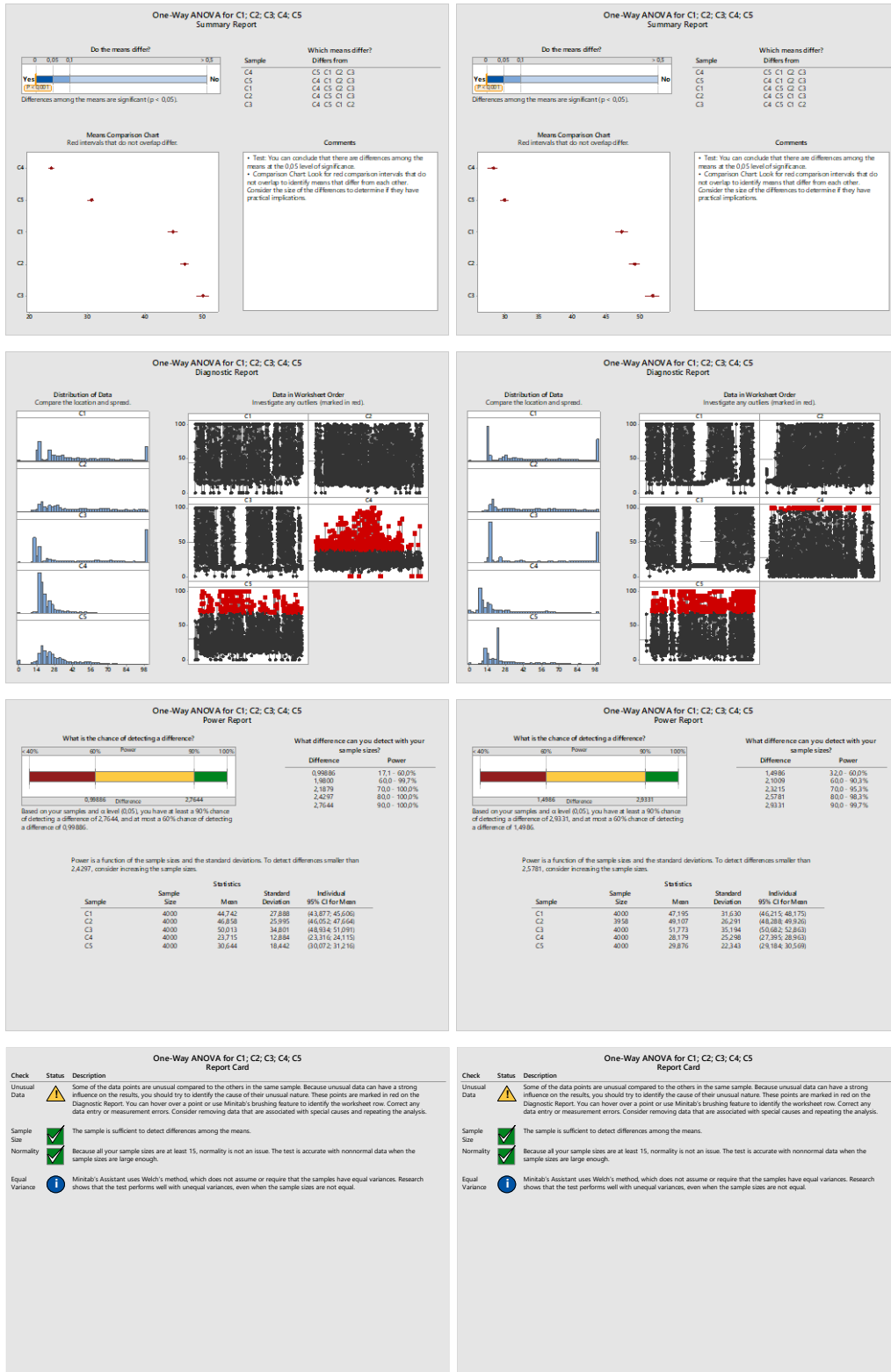
Taulukko 7. Anova eli varianssianalyysin tulokset.

Anova eli varianssianalyysin yhteenveto raportin tulokset								
Moottorin kuormitus (%)	Keskiarvo (Mean)		Keskiarvon muutos %	Keskihajonta (Standard deviation)		Keskihajonnan muutos %	Yksilöllinen vaihteluväli ja keskiarvo	
	Aloitustilanne	Loppu tilanne		Aloitustilanne	Loppu tilanne		Aloitustilanne	Loppu tilanne
Suomi (C1)	44.74	47.2	5,2 %	27.89	31.63	11,8 %	(43.88;46.61)	(46.22;48.18)
Englanti (C2)	46.86	49.11	4,6 %	26	26.29	1,1 %	(46.05;47.66)	(48.29;49.93)
Venäjä (C3)	50.01	51.77	3,4 %	34.80	35.19	1,1 %	(48.93;51.09)	(50.68;52.86)
Brasilia 4 (C4)	23.72	28.18	15,8 %	12.88	25.30	96,4 %	(23.32;24.12)	(27.40;28.96)
Brasilia 5 (C5)	30.64	29.88	2,5 %	18.44	22.34	17,5 %	(30.07;31.22)	(29.18;30.57)

C1=Suomi, C2=Englanti, C3=Venäjä, C4=Brasilia 1 ja C5= Brasilia 2.

Aloitustilanne

Lopetustilanne



Kuvat 75-82. Yhdensuunnan Anova-yhteenvetoraportti. Kaikki koneet, aloitustilanne- ja lopetustilanne-kuvat vierekkäin, moottorin kuormitus.

Moottorin todellista kierroslukua tarkasteltaessa Suomi ja Venäjä koneiden otokset olivat lähellä toisiaan muiden poiketessa toisistaan. Viimeisimmän otoksen tilanteessa Englannin ja Brasilia 1 koneiden ollessa lähellä toisiaan muiden poiketessa muista keskiarvoista. Testissä kävi myös ilmi, että eroavaisuudet olivat tarpeeksi merkittävät ja että otoksien määrä oli riittävä testaukseen. Koe oli tilastollisesti merkittävä, P-arvo < 0,05.

Kun aloitustilanteen moottorin todellisen kierrosluvun keskiarvoja (Mean) verrataan lopetustilanteeseen, Suomi nousee 0,9 %, Englanti laskee 3,9 %, Venäjä laskee 1,9 %, Brasilia 4 nousee 6,5 % ja Brasilia 5 laskee 7,2 %.

Kun aloitustilanteen moottorin todellisen kierrosluvun keskihajontaa (St Dev) verrataan lopetustilanteeseen, Suomi nousee 18 %, Englanti nousee 29,9 %, Venäjä nousee 2,5 %, Brasilia 4 nousee 99,4 % ja Brasilia 5 nousee 8,1 %.

Samat syyt pätevät vaihteluihin kuin edellä mainituissa tapauksissa. Brasilia 4-koneen tapauksessa on mahdollista, että suuri vaihtelu johtuu kuormien kasvusta tai kokemattomasta kuljettajasta, joka antaa ohjaussauvojen palautua itsekseen neutraaliasentoon, mistä suuret piikit otoksissa johtuvat. Koneiden keskihajonnan nousu voi johtua muun muassa käyttötarkoituksen muutoksesta, työnkuvan muutoksesta tai uudesta käyttäjästä. (Kuvat 83-90.) (Taulukko 8.)

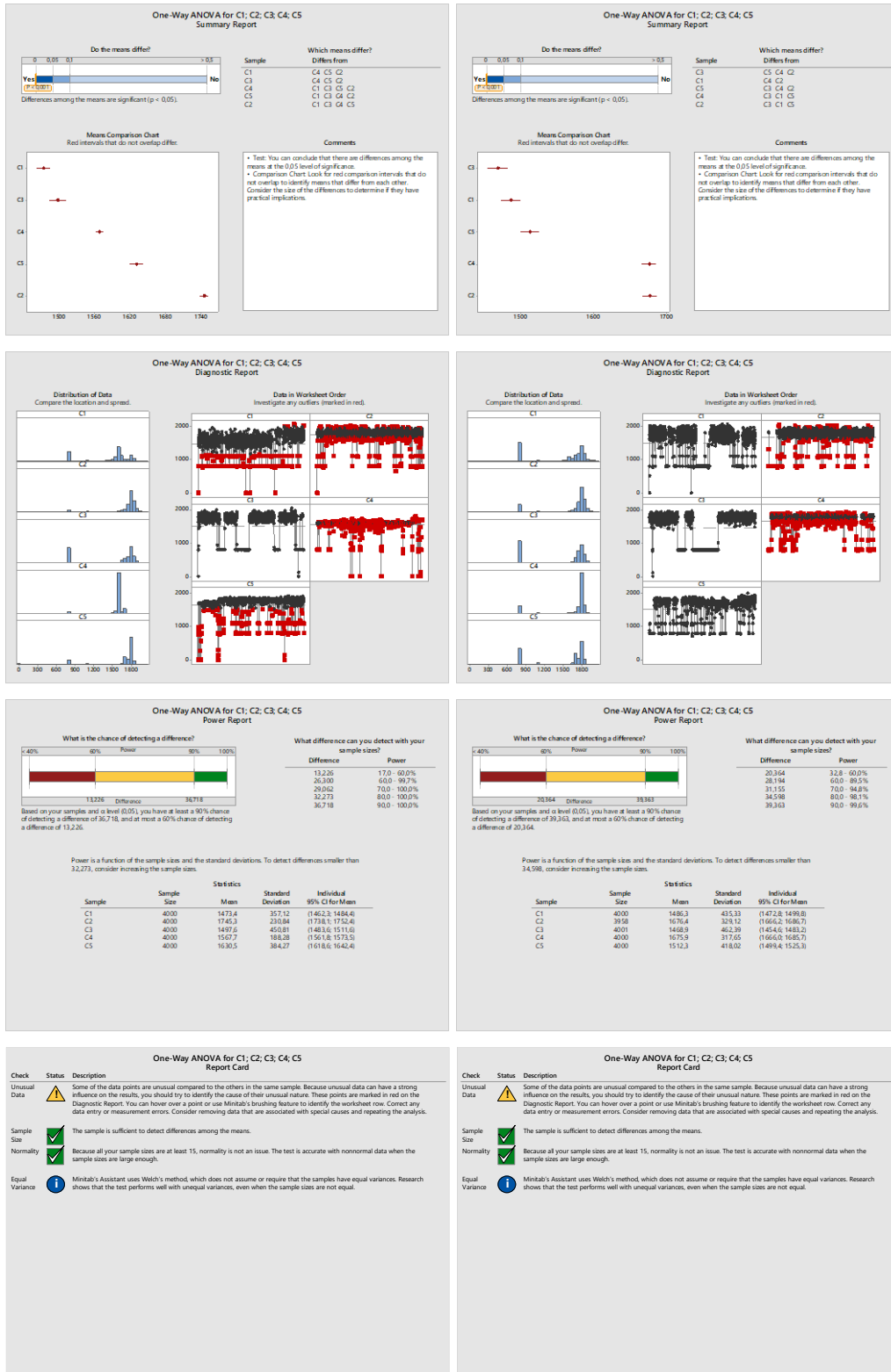
Taulukko 8. Anova eli varianssianalyysin tulokset.

Anova eli varianssianalyysin yhteenveto raportin tulokset								
Moottorin todellinen kierrosluku (RPM)	Keskiarvo (Mean)		Keskiarvon muutos %	Keskihajonta (Standard deviation)		Keskihajonnan muutos %	Yksilöllinen vaihteluväli ja keskiarvo	
	Aloitustilanne	Loppu tilanne		Aloitustilanne	Loppu tilanne		Aloitustilanne	Loppu tilanne
Suomi (C1)	1473.4	1486.3	0,9 %	357.12	435.33	18 %	(1462.3;1484.4)	(1472.8;1499.8)
Englanti (C2)	1745.3	1676.4	3,9 %	230.84	329.12	29,9 %	(1738.1;1752.4)	(1666.2;1686.7)
Venäjä (C3)	1497.6	1468.9	1,9 %	450.81	462.39	2,5 %	(1483.6;1511.6)	(1454.6;1483.2)
Brasilia 4 (C4)	1567.7	1675.9	6,5 %	188.28	317.65	99,4 %	(1561.8;1573.5)	(1666;1685.7)
Brasilia 5 (C5)	1630.5	1512.3	7,2 %	384.27	418.02	8,1 %	(1618.6;1642.4)	(1499.4;1525.3)

C1=Suomi, C2=Englanti, C3=Venäjä, C4=Brasilia 1 ja C5= Brasilia 2.

Aloitustilanne

Lopetustilanne



Kuvat 83-90. Yhdensuunnan Anova-yhteenvetoraportti. Kaikki koneet, aloitustilanne- ja lopetustilanne-kuvat vierekkäin, moottorin todellinen kierros-luku.

9 Pohdinta

Testaus onnistui kaiken kaikkiaan hyvin ja tehtävän asettelussa määritelty tavoite täyttyi, eli antureista saadun datan avulla voidaan havaita muutoksia koneen käytettävyydessä. Esimerkiksi kun konetta käytetään pitkään ilman huoltoa moottorin jäähdytysnesteen lämpötila voi kohota normaalia ylemmäs käytön aikana, kierrokset voivat nousta korkeammalle moottoria kuormitettaessa ja puomin paine voi kohota käytössä korkeammalle kuin normaalisti. Tämä voi johtua välyksestä koneen tiivisteissä ja osien välissä niiden kuluessa, jonka seurauksena myös energiankulutus voi kasvaa ja nosturin hyötysuhde voi laskea sekä nosturi voi myös hajota, jos sitä ei huolleta suositusten mukaisesti.

Koneen datan arvojen vaihtelua saadaan hyvällä oikeaan aikaan tehdyllä huollolla korjattua. Tulosten esittelyyn valittiin pääasiallisesti molemmat Brasilia-koneet, joista otokset on otettu 2500 huoltotunnin kohdalta datasta. Anova-testissä käytettiin kaikkien koneiden aloitus- ja lopetusdataa Minitab-ohjelmalla testaukseen. Testit ovat helposti toistettavissa sekä tietojen keräys ja tallennus Remion Oy:n tuottamasta datasta oli vaivatonta, joskin huoltovälien havaitseminen oli hiukan hankalaa, koska selvää huoltovälimerkintää ei ohjelmassa ainakaan vielä silloin ollut näkyvissä.

Testatessani huomasin myös, että sopiva otosten määrä liikkui noin 1-2 päivän datan välillä eli on hyvä olla riittävä määrä otoksia, jotta Minitab-ohjelmalla voidaan tehdä luotettavia data-analyyskejä. Nolla-arvot voidaan hyvin todennäköisesti poistaa datasta kokonaan niin, että se ei vaikuttaisi tuloksiin vääristävästi, esimerkiksi moottorin kuormitusprosentin ollessa tyhjäkäynnillä tai hyvin vähäisellä kuormituksella lähellä nollaa. Tämä vaikuttaa nosturista saatuihin arvoihin, koska nolla-arvot vaikuttavat laskennallisiin tuloksiin.

Datan käyttö huoltovälin määrittämisessä vaatii lisää dataa, ainakin tiedon huollon ajankohdasta (tarkka huoltopäivä). Tulosten luotettavuus riippuu siitä, onko mahdollista saada luotettavaa dataa tulosten vertailuun ulkoisista tekijöistä, kuten kuljettajasta, kuljettajan koulutuksesta, paikallisesta nosturin käyttölämpötilasta ja siitä mihin koneita käytetään kohteessa (koneen rasisusaste verrattuna muihin verrattaviin koneisiin). Näin

ollen pyritään pois sulkemaan koneiden mahdolliset erilaiset käyttötarkoitukset testauksesta ja varmistamaan, että data olisi vertailukelpoista.

Dataa olisi voinut olla pitemmältä ajalta ja hieman enemmän, jotta voitaisiin olla absoluuttisen varmoja syy- ja seuraussuhteesta sekä näin osoittaa tässä testauksessa nähtyjen trendien paikkansapitävyys pitemmällä aikavälillä, vaikka muutoksien tapahtuminen datassa onkin ilmeistä. Pitäisi myös pohtia, tarvitaanko lisää dataa pitemmältä aikaväliltä ja tarvitaanko ottaa dataa lyhyemmältä otosväliltä. Eli ovatko valittu otoskoko ja -väli tarkoituksenmukaisia?

Tällä hetkellä on vielä hankalaa yhdistää datasta saatu tieto suoraan käytännössä ilmenneisiin ongelmatapauksiin, esimerkiksi vian sattuessa ei voida olla täysin varmoja onko sattunut vikahälytys aito vai virheellinen.

Tulevaisuudessa simuloinnin ja digitaalidatan yhdistäminen tutkimuskohteeseen voi tarjota tarkempaa ja luotettavampaa dataa vikailmoituksista. Riittävän suuren koneryhmän datan kerääminen vertailua ja analyysia varten mahdollistaa tulosten paikkansapitävyyden sekä datan vertailun koneryhmittäin. Se voi myös antaa lisää vastauksia ja uusia mahdollisuuksia kerätyn datan hyödyntämiseen sekä uusien palvelujen tarjoamiseen asiakkaille (esimerkiksi ilmoitus lähenevästä huoltopäivästä asiakkaalle ohjelman välityksellä tai kuluneen osan huomautusilmoitus, jotta asiakas pystyy huomioimaan sen omassa huoltotoiminnassaan).

Asiakkaalle potentiaalista hyötyä saataisiin synnytettyä, jos tulevaisuudessa pystytään kehittämään automaattinen seuranta- ja hälytysjärjestelmä, joka hyödyntäisi käyttödataa. Jolla olisi mahdollista seurata koneen osien kulumista sekä näin ollen suunnitella koneen osien huolto ennakoivammin (sujuvasti, vaivattomasti ja rahaa säästäen).

Tällä hetkellä vastaavanlaisia tutkimuksia ei löytynyt Theseuksesta tai mistään muusta lähteestäkään, mutta Henri Vänskä tekee vastaavanlaista opinnäytetyötä hydrauliiikan osalta, jota voi sen valmistuttua käyttää tulosten vertaamiseen keskenään.

Lähteet

1. Mantsinen Group Ltd Oy. Mantsinen Group. <http://www.mantsinen.com/fi/yritys/>. 21.5.2018.
2. Mantsinen Group Ltd Oy. Strategia ja visio. <http://www.mantsinen.com/fi/yritys/strategia-ja-visio/>. 21.5.2018.
3. Mantsinen Group Ltd Oy. Laatu ja ympäristö. [http://www.mantsinen.com/fi/yritys/laatu-ja-ympäristö/](http://www.mantsinen.com/fi/yritys/laatu-ja-ymparisto/). 21.5.2018.
4. Remion Oy. <https://www.remion.fi/me/>. 21.5.2018.
5. Collin & Saarelainen, 2016. Teollinen internet. Helsinki: Talentum.
6. Teknologiateollisuus. Teollinen internet Suomessa 2014. https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/teollineninternetsuomessa-tutkimustuloksia_1.pdf. 21.5.2018.
7. Järviö, Piispa, Parantainen & Åström, 2007. Kunnossapito 4. uudistettu painos 2007. Helsinki: KP-Media Oy.
8. Järviö & Lehtiö, 2012. Kunnossapito tuotanto-omaisuuden hoitaminen 5. uudistettu painos 2012. Helsinki: KP-Media Oy.
9. Opetushallitus. Kunnossapito. Johdanto kunnonvalvontaan. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnon_valvontaan.html. 21.5.2018.
10. Oulun Ammattikorkeakoulu kunnonvalvonta. Koulutusmateriaali. https://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/-23_Kunnonvalvonta%20ja%20huolto.pdf. 21.5.2018.
11. Laatutieto. Minitab. https://www.laatutieto.fi/product_catalog.php?c=52. 21.5.2018.
12. Binu John. Understanding SIX Sigma basics. <http://sixsigmacharts.blogspot.com/2010/02/understand-i-mr-chart.html> 24.9.2018.
13. Leila Karjalainen, 2015. Tilastotieteen perusteet 2. painos 2015. Otava Helsinki.