



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ALEKSI GRÖNHOLM

Olkiluoto 3 varavoima moottoreiden ennakkohuolto-ohjelman kehittämi- nen

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2025

TIIVISTELMÄ

Grönholm, Aleks: Olkiluoto 3 varavoima moottoreiden ennakkohuolto-ohjelman kehittäminen
Opinnäytetyö, AMK
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Helmikuu 2025
Sivumäärä: 50

Työ tehtiin Teollisuuden Voima Oyj:lle. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Olkiluoto 3 EDG moottoreiden ennakkohuolto-ohjelmaa ja käyttövarmuutta.

Työssä käytiin läpi moottoreiden toimintateoriaa ja niiden käyttöä ydinvoimaloissa, sekä miksi dieselmoottorit ovat valittu ydinvoimalan varavoiman lähteeksi.

Työssä perehdyttiin kriittisyysanalyysin, kunnossapidon ja kunnonvalvonnan teoriaan, jota hyödynnettiin moottoreiden huolto-ohjelman kehittämisessä sekä käyttövarmuuden parantamisessa. Kehittämisessä hyödynnettiin myös muiden vastaavien moottoreiden käyttökokemuksia.

Tarkoituksen oli parantaa moottoreiden kunnonvalvontaa, jotta ennakkohuolto-ohjelma voitaisiin muuttaa aikaan perustuvasta kuntoon perustuvaksi.

Työn tuloksena oli kriittisyysanalyysi moottorin komponenteista ja ehdotus mahdollisista kunnonvalvonta monitoreista, joiden lisääminen parantaisi moottorin käyttövarmuutta.

Avainsanat: Kunnossapito, kriittisyysanalyysi, kunnonvalvonta, ydinvoimala, dieselmoottori, Teollisuuden Voima Oyj, Olkiluoto 3

Abstract

Grönholm, Aleks: Development of the advance maintenance program for the Olkiluoto 3 emergency diesel generators

Bachelor's thesis

Mechanical engineering

February 2025

Number of pages: 50

This thesis was done for Teollisuuden Voima Oyj. The aim of this thesis was to improve the advance maintenance program and operational reliability of the Olkiluoto 3 EDG engines.

The thesis examined the theory of operation of engines and their use in nuclear power plants, as well as why diesel engines have been chosen as a source of backup power for nuclear power plants.

The thesis introduced the theory of criticality analysis, maintenance and condition monitoring, which was used in the development of the engine maintenance program and in improving operational reliability. In the development, the operating experiences of other similar engines were also utilized.

The purpose was to improve the condition monitoring of engines, so that the advance maintenance program could be changed from time-based to condition-based.

The result of the thesis was a criticality analysis of the engine components and a suggestion for possible condition monitoring devices, the addition of which would improve the operational reliability of the engine.

Keywords: Maintenance, criticality analysis, condition monitoring, nuclear power plant, diesel engine, Teollisuuden Voima Oyj, Olkiluoto 3

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------|----|
| 1 | OLKILUOTO | 6 |
| 1.1 | Teollisuuden Voima Oyj..... | 6 |
| 1.2 | Olkiluoto 1 ja 2..... | 7 |
| 1.3 | Olkiluoto 3 | 7 |
| 1.4 | Posiva Oy | 8 |
| 2 | DIESELGENERAATTORIT | 9 |
| 2.1 | Diesel generaattorit ydinvoimalassa | 10 |
| 2.2 | Diesel moottorit muualla | 10 |
| 3 | KRIITTISYYS ANALYYSI | 12 |
| 3.1 | Perusteet | 12 |
| 3.2 | Standardit | 12 |
| 3.3 | Menettely- ja käyttö / soveltamisohjeet..... | 12 |
| 4 | KUNNOSSAPITO | 17 |
| 4.1 | Kunnossapidon määritelmä | 17 |
| 4.2 | Kunnossapidon merkitys | 17 |
| 4.3 | Kunnossapidon lajit | 18 |
| 4.3.1 | Suunniteltu kunnossapito..... | 18 |
| 4.3.2 | Ehkäisevä kunnossapito | 19 |
| 4.3.3 | Häiriökorjaus..... | 19 |
| 5 | KUNNONVALVONTA | 21 |
| 5.1 | Käsite | 21 |
| 5.2 | Määritelmä..... | 21 |
| 5.3 | Kunnonvalvonnan kehittäminen ja suuntaus | 21 |
| 5.4 | Yleisimmät kunnonvalvonnan menetelmät | 22 |
| 5.4.1 | Aistinvaraiset menetelmät..... | 22 |
| 5.4.2 | Lämpötila mittaukset..... | 23 |
| 5.4.3 | NDT-menetelmät | 24 |
| 5.4.4 | Värähtelymittaukset | 25 |
| 5.4.5 | Voiteluaineanalyysit | 26 |
| 5.5 | Kunnonvalvonnan tulokset ja niiden hyödyntäminen | 27 |
| 5.5.1 | Värähtelymittauksella havaittu laakerivika | 27 |
| 6 | OL 3 EDG MÄÄRÄAIKAISHUOLTO-OHJELMA | 29 |
| 6.1 | Moottorin määräaikaishuollot..... | 30 |
| 6.1.1 | 1 vuoden välein..... | 30 |
| 6.1.2 | 2 vuoden välein..... | 30 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 6.1.3 4 vuoden välein..... | 31 |
| 6.1.4 6 vuoden välein..... | 31 |
| 6.1.5 12 vuoden välein..... | 31 |
| 6.2 12 vuoden välein suoritettujen huollon osien kunto..... | 31 |
| 7 EDG MÄÄRÄAIKASIHUOLTO- OHJELMAN KEHITTÄMINEN..... | 33 |
| 7.1 Aikaan perustuva kunnossapito..... | 33 |
| 7.1.1 Esimerkki tapaus moottorin 12- vuotishuollon yhteydestä. | 34 |
| 7.2 Kuntoon perustuva kunnossapito | 35 |
| 8 OL3 DIESELEIDEN KÄYTTÖVARMUUDEN PARANTAMINEN..... | 37 |
| 8.1 Kriittisyysanalyysi | 37 |
| 8.2 Moottorin kunnonvalvonta menetelmät..... | 38 |
| 8.3 Käyttökokemukset | 39 |
| 8.3.1 Turboahtimen vikaantuminen | 39 |
| 8.3.2 Kampikammion paineen nousu | 40 |
| 8.4 Keinoja käyttövarmuuden parantamiseen | 42 |
| 9 YHTEENVETO..... | 45 |
| LÄHTEET..... | 46 |
| LIITE 1: MOOTTORIN KÄYNNIN AIKANA SEURATTAVAT MITTAUKSET | 49 |

1 OLKILUOTO

Olkiluoto sijaitsee saarella Eurajoella. Olkiluodossa toimii kolme ydinvoimalaitosyksikköä, jotka ovat Olkiluoto 1, Olkiluoto 2 ja Olkiluoto 3. Ydinjätteen loppusijoitus tapahtuu myös Olkiluodossa, josta huolehtii Posiva Oy. Olkiluodon ydinvoimalaitokset omistaa Teollisuuden Voima Oyj. (Teollisuuden Voima Oyj, Yhtiö)



Kuva 1. Olkiluoto, vasemmalla OL3 keskellä OL1 ja oikealla OL2. (Teollisuuden Voima Oyj, 2024)

1.1 Teollisuuden Voima Oyj

”Teollisuuden Voima Oyj on listaamaton julkinen osakeyhtiö. TVO:n omistajia ovat Pohjolan Voima Oyj, EPV Energia OY, Fortum Power and Heat Oy, Kemira Oyj ja Oy Mankala Ab. Suurin omistaja on Pohjolan Voima Oy, joka omistaa TVO:sta 58,5 %.” (Teollisuuden Voima Oyj, TVO-konserni.)

1.2 Olkiluoto 1 ja 2

OL1 ja OL2 ovat kiehutusvesireaktoreita, joiden toiminta perustuu veden kierrättämiseen paineastiassa reaktorisydämen läpi, jolloin polttoaineniput kuumentavat veden ja vesi höyrystyy. (Teollisuuden Voima Oyj, Laitosyksiköiden toimintaperiaatteet)

”Kylläinen höyry johdetaan paineastiassa olevan höyrynerottimen ja höyrykuivaimen kautta höyrylinjoja pitkin korkeapaineturbiinille, sieltä välitulistimille ja lopuksi matalapaineturbiineille. Turbiinit on kytketty akselin välityksellä generaattoriin, joka tuottaa sähköä valtakunnan kantaverkkoon.” (Teollisuuden Voima Oyj, Laitosyksiköiden toimintaperiaatteet.)

Molempien laitosten nettosähköteho on 890 megawattia. OL1 laitos alkoi tuottaa sähköä syyskuussa vuonna 1978 ja OL2 puolitoista vuotta myöhemmin helmikuussa 1980. (Teollisuuden Voima Oyj, OL1 ja OL2)

1.3 Olkiluoto 3

OL3 on maailman kolmanneksi tehokkain ydinvoimalaitosyksikkö, jonka teho on noin 1600 megawattia. Laitos kytkettiin sähköverkkoon ensimmäisen kerran maaliskuussa 2022. Laitoksella suoritettiin koekäyttöohjelma, joka päättyi huhtikuussa 2023, jolloin laitos aloitti säännöllisen sähköntuotannon. (Teollisuuden Voima Oyj, OL3)

OL3 laitos on EPR- tyyppinen painevesilaitos, jonka toiminta perustuu veden kierrättämiseen niin kovalla paineella, että vesi ei kiehu. (Teollisuuden Voima Oyj, OL3)

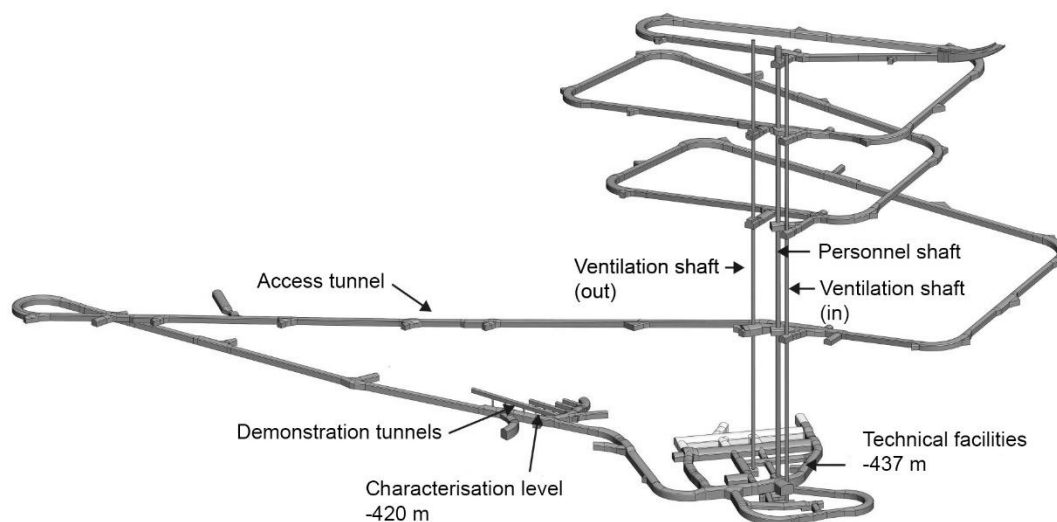
”Painevesireaktorilaitoksessa polttoaine kuumentaa primääripiirissä kiertävää vettä. Primääripiirissä pidetään yllä niin korkea paine, että vesi ei kiehu. Kuuma paineistettu vesi höyrystyy primääripiirin lämmönvaihtimissa, niin sanotuissa höyrystimissä. Kylläinen höyry johdetaan höyrystimistä ensin korkeapaineturbiinille, ja sieltä välitulistimien kautta matalapaineturbiineille. Turbiinit on

kytketty akselin välityksellä generaattoriin, joka tuottaa sähköä.” (Teollisuuden Voima Oyj, OL3, Toimintaperiaate.)

1.4 Posiva Oy

Posiva Oy on TVO:n ja Fortum Power and Heat Oy:n yhteisyritys, joka perustettiin vuonna 1995. Yhtiön tehtävä on huolehtia ydinjätteen loppusijoituksesta, sillä Suomessa ydinjätteen tuottaja on vastuussa kaikista ydinjätehuoltotoimenpiteistä ja niiden kustannuksista. (Posiva, Yhtiö)

Ydinjätteen loppusijoitus tapahtuu onkaloon, joka on rakenteilla oleva maanalainen ydinjätteen loppusijoituskohde. Onkalon rakennustyöt aloitettiin vuonna 2004, jolloin luolasto toimi tutkimustilana. Vuonna 2016 tutkimustilaa alettiin laajentamaan varsinaiseksi loppusijoituspaikaksi. Onkalon tunneleita on louhittu noin kymmenen kilometriä ja ne ulottuvat noin 450 metrin syvyyteen. Loppusijoituslaitos pitäisi valmistua vuonna 2025. (Wikipedia, Onkalo)



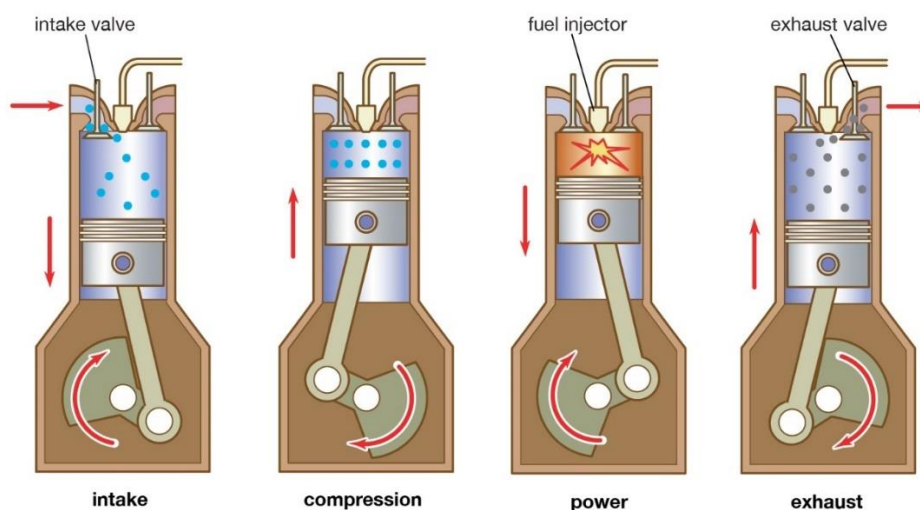
Kuva 2. Onkalon tunnelisto (Posiva,2024)

2 DIESELGENERAAATTORIT

Dieselgeneraattori toimii dieselmoottorin voimalla. Moottori pyörittää akselia, joka on kytkimen välityksellä kiinnitetty generaattoriin, joka tuottaa sähköä. Moottorit ovat 2- tai 4-tahtisia, joka kuvastaa moottorin työvaiheita. Kaksitahti moottorin työvaiheet ovat työ ja huuhtelu, kuin taas nelitahtimoottorissa vaiheet ovat imu, puristus, työ ja pako. Dieselmoottorit ovat 4-tahtimoottoreita. (Accelleron-industries, 2020)



Kuva 3. Kaksitahtimoottorin työvaiheet (Bison generator, 2022)



© Encyclopædia Britannica, Inc.

Kuva 4. Nelitahtimoottorin työvaiheet (Zillions Byer, 2022)

2.1 Diesel generaattorit ydinvoimalassa

Diesel generaattorit ovat ydinvoimalassa varavoima generaattoreita, joiden tehtävä on tuottaa sähköä välittömästi reaktorin jäähdytysketjulle, jos ulkoinen sähkönsyöttö laitokselle katkeaa. (U.S. Regulatory History and Operational and Maintenance Practices, 2014, s. 21)

Varavoima generaattoreille on asetettu vaatimuksia niiden toimivuudesta ja toiminnan testauksista. Moottorin pitää pystyä käynnistymään määrättyssä ajassa ja syöttämään useita kuluttajia ja samalla jännitteen ja taajuuden pitää pysyä hyväksyttävissä rajoissa. (U.S. Regulatory History and Operational and Maintenance Practices, 2014, s. 21)

Yksi syy dieselmoottorien valinnasta varavoiman lähteeksi ydinvoimaloihin on niiden todella pitkä historia luotettavasta toimivuudesta. Toimivuus historiaa on kerätty enimmäkseen jatkuvassa käytössä olleista moottoreista. Ydinvoimala olosuhteissa moottorien käyttö eroaa jatkuvasta käytöstä, sillä ydinvoimaloissa moottorit ovat käynnistys valmiudessa, mutta niitä käytetään vain muutamia kymmeniä tunteja vuodessa. (U.S.NRC, EDG Performance Monitoring and Maintenance, s.4)

2.2 Diesel moottorit muualla

Laivoissa käytetään paljon samanlaisia diesel moottoreita, kuin ydinvoimaloissa. Useimmat nykyaikaiset laivat käyttävät dieselmoottoreita niiden pääasiallisena voiman lähteenä, sillä niiden toiminta on yksinkertaista ja on taloudellisempaa muihin voimanlähteisiin verrattuna. Matalakierros moottoreissa kampiakseli on kiinnitetty suoraan potkuriin. Keski- ja nopeakäyntiset moottorit ovat kytketty alennusvaihteiston välityksellä potkuriin. (Nautilus Shipping, 2022, Marine propulsion systems)

Osa laivoista käyttää dieselsähköistä voimansiirtoa, joka mahdollistaa koneiden joustavamman jakamisen aluksen sisällä. Dieselgeneraattoreita on kaksi tai useampi, jotka syöttävät aluksen sähköjärjestelmää. Aluksen

propulsiolaitteita käyttää suuret sähkömoottorit. Hinta on korkeampi, kuin suorakäyttöisellä potkurilla, mutta se on suositeltava ratkaisu laivoissa, joissa käytetään ohjattavia potkurilaitteita, joiden avulla laiva pystytään pitämään samassa paikassa. (Nautilus Shipping, 2022, Marine propulsion systems)

3 KRIITTISYYS ANALYYSI

3.1 Perusteet

Kriittisyysanalyysi on apuna ennakoivan kunnossapidon suunnittelussa. Sitä käytetään suunnitelman lähtötietona, jossa arvioidaan kriittisen kohteen riskien suuruutta. Riskit voivat olla esimerkiksi henkilövahinkoja, merkittäviä ai-neellisia vahinkoja tai tuotannollisia menetyksiä. (Mikkonen, 2009, s.148)

3.2 Standardit

Kotimaisessa standardissa PSK6800 on määritelty menetelmä, jossa keskity-tään kriittisyyden luokitteluun pääsääntöisesti taloudellisten vaikutusten perus-teella. Standardissa laitteiden kriittisyys määritellään laitetasoon vaikuttavien turvallisuus- ja ympäristötekijöiden sekä tuotantovaikutusten sekä korjaus- ja seurauskustannusten avulla. (PSK 6800, 2008, luku 4.)

3.3 Menettely- ja käyttö / soveltamisohjeet

Kriittisyys analyysi tehdään standardin mukaisilla ohjeilla ja sen mukaan lait-teet/komponentit järjestetään taulukkoon kriittisyysindeksin mukaan.

”Kriittisyyden arviointi tehdään seuraavasti:

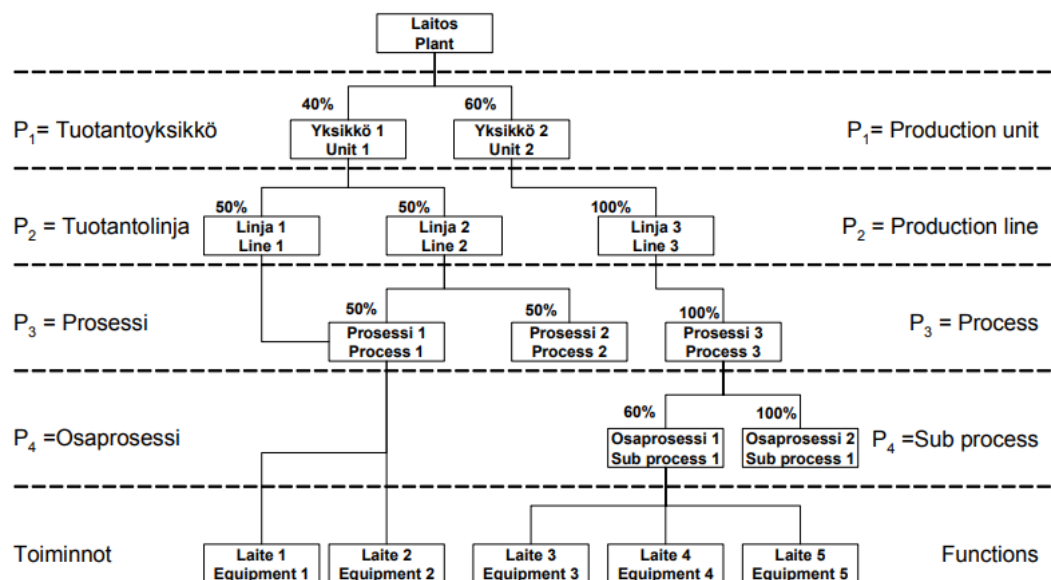
1. Määritellään tarkastelun laajuus.
2. Määritellään standardin kohdan 5 mukaan tuotannon menetyksen painoarvo W_p .
3. Arvioidaan sopivatko taulukossa 1 annetut muut painoarvot sovel-lettavalle teollisuuden toimialoille. Tarvittaessa standardissa annet-tuja painoarvoja muutetaan.

4. Listataan standardin liitteenä 1 olevaan taulukkolaskentaohjelmaan tarkasteltavat laitteet.
5. Valitaan tarkasteltaville laitteille taulukosta 1 käytettävät kertoimet.
6. Ohjelma laskee laitteiden kriittisyysindeksin (K) ja sen osaindeksit (K_s , K_e , K_p , K_q ja K_r)
7. Kriittisyys luokittelu tehdään lajittelemalla laitteet kriittisyysindeksin K mukaiseen järjestykseen.” (PSK 6800, 2008, luku 4.)

Tarkastelun laajuutta määriteltäessä valitaan laitteet ja komponentit, joista analyysi tehdään. Esimerkiksi tuotantolinjan lopputuotteeseen vaikuttavat laitteet ja niiden yksityiskohtaiset komponentit.

”Tuotannon menetyksen painoarvon määrittämistä käytetään ensisijaisesti tuotantoprosessin kriittisyyden tarkasteluun, jolloin oletetaan, että käyttöhyödykeprosessit kuten höyryn, paineilman ja sähkön tuotannot toimivat.” (PSK 6800, 2008, luku 5.2”

Kuvassa 5. näkyy yksi hierarkiamalli, jossa nähdään eri painoarvokertoimet (P_1 , P_2 , P_3 ja P_4), joilla lasketaan tuotannon menetyksen painoarvo kerroin W_p



Kuva 5. Tuotannon vaikutuskertoimet (PSK 6800, 2008, luku 5.2.)

Laitoksen painoarvo kerroin on aina 100 %, joten sitä ei merkata.

P_1 Painoarvokerroin on 100 %. Tuotantoyksiköiden painoarvokertoimet määräytyvät niiden suhteellisesta osuudesta laitoksen tuotokseen. Tuotoksena käytetään joko tuotannon määrää, arvoa tai siitä saatavaa tuottoa. Tuotantoyksikköjen painoarvokertoimien yhteenlaskettu summa on 100 % (PSK 6800, 2008, luku 5.2)

P_2 tuotantolinjan painoarvokerroin on 100 %. ”Tuotantolinjan painoarvokerroin on sen suhteellinen osuus koko tuotantoyksikön tuotoksesta. Painoarvokertoimia määritettäessä tuotoksena käytetään joko tuotannon määrää, arvoa tai siitä saatavaa tuottoa.” (PSK 6800, 2008, luku 5.2)

”Prosessin P_3 painoarvo riippuu sen lähtövirran välttämättömyydestä palvelimilleen kohteille. Mikäli prosessin toimimattomuus pysäyttää tuotantolinjan, niin sen painoarvokerroin on 100 %. Prosessit voivat olla kytkettyinä joko rinnan tai sarjaan. Sarjaan kytkettyjen prosessien painoarvokertoimet ovat keskenään samat. Prosessitasolla käsitellään tuotosta tuotannon määränä.” (PSK 6800, 2008, luku 5.2)

”Osaprosessin painoarvo riippuu sen lähtövirran välttämättömyydestä palvelimilleen kohteille. Mikäli osaprosessin toimimattomuus pysäyttää prosessin tai tuotantolinjan, niin sen painoarvokerroin on 100 %. Osaprosessit voivat olla prosessissa kytkettyinä joko rinnan tai sarjaan. Sarjaan kytkettyjen osaprosessien painoarvokertoimet ovat keskenään samat. Osaprosessitasolla käsitellään tuotosta tuotannon määränä.” (PSK 6800, 2008, luku 5.2)

Tuotannon menetyksen painoarvokerroin saadaan laskemalla osaprosessien painoarvokertoimien tulo.

Kuvassa 6. nähdään laitetaso kriittisyyden tekijät. Tekijöitä voidaan tarvittaessa muuttaa laitteelle sopivaksi. Kuvasta nähdään myös painoarvojen valintakriteerit.

Taulukko 1 Laitetason kriittisyyden tekijät ¹⁾

| Kohde | Painoarvo [W] | Vikaantumisväli [p] | Kerroin [M] | Valintakriteeri |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset | Turvallisuusriskit $W_s = 30$ | 1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta | $M_s = 0$ | Ei turvallisuusriskiä |
| | | | $M_s = 2$ | Vähäinen turvallisuusriski |
| | | | $M_s = 4$ | Kohtalainen turvallisuusriski |
| | | | $M_s = 8$ | Merkittävä turvallisuusriski |
| | | | $M_s = 16$ | Vakava turvallisuusriski |
| | Ympäristöriskit $W_e = 20$ | | $M_e = 0$ | Ei ympäristöriskiä |
| | | | $M_e = 2$ | Vähäinen ympäristöriski |
| | | | $M_e = 4$ | Kohtalainen ympäristöriski |
| | | | $M_e = 8$ | Merkittävä ympäristöriski |
| | | | $M_e = 16$ | Vakava ympäristöriski |
| Tuotanto- ja laatuvaikutukset | Tuotannon menetykset $W_p = 0 \dots 100$ | $M_p = 0$ | Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle | |
| | | $M_p = 1$ | Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤ 3 h) | |
| | | $M_p = 2$ | Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤ 10 h) | |
| | | $M_p = 3$ | Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h) | |
| | | $M_p = 4$ | Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi > 24 h) | |
| | Laatukustannus $W_q = 30$ | $M_q = 0$ | Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatuksannuksia. | |
| | | $M_q = 1$ | Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatuksannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 1 h) | |
| | | $M_q = 2$ | Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatuksannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 3 h) | |
| | | $M_q = 3$ | Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatuksannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h) | |
| | | $M_q = 4$ | Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatuksannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 8 h) | |
| Korjaus- tai seurauskustannukset | Korjaus- tai seurauskustannus $W_r = 20$ | $M_r = 0$ | Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin. | |
| | | $M_r = 1$ | Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 2 h) | |
| | | $M_r = 2$ | Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 10 h) | |
| | | $M_r = 3$ | Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h) | |
| | | $M_r = 4$ | Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 24 h) | |

¹⁾ Lukuarvot ovat ohjeellisia

Kuva 6. Laitetason kriittisyyden tekijät (PSK 6800, 2008, luku 6)

4 KUNNOSSAPITO

Nykykäsityksen mukaan kunnossapito on ensisijaisesti laiteiden jatkuvan käyttökunnan ylläpitämistä. Kunnossapitoon silti kuuluu rikkoutuneitten laitteiden tai komponenttien korjaaminen, mutta tämä ei ole kunnossapidon päätehtävä. (Mikkonen, 2009, s.25)

4.1 Kunnossapidon määritelmä

Kunnossapidon määritelmät ovat hyvin lähellä toisiaan ja niitä löytyy useista eri kansainvälisistä ja kansallisista standardeista sekä useista alan teoksista.

”Standardissa PSK 6201 kunnossapito on määritelty seuraavasti. Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoitus on säilyttää kohde tilassa tai palautta se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” (Mikkonen. 2009, s.26)

Tunnettu alan edelläkävijä John Maubray määrittelee kunnossapidon seuraavasti: ”Kunnossapidolla varmistetaan, että laitteet jatkavat sen tekemistä, mitä käyttäjät haluavat niiden tekevän” (Mikkonen, 2009, s.26)

Yleisesti kunnossapito pyrkii pitämään laitteen kunnossa tai kunnostamaan sen normaaliin toimintakuntoon. Kunnossapitoon liittyy myös teknisen suorittamisen lisäksi hallinnolliset ja johtamistoimenpiteet. (Mikkonen, 2009, s.26)

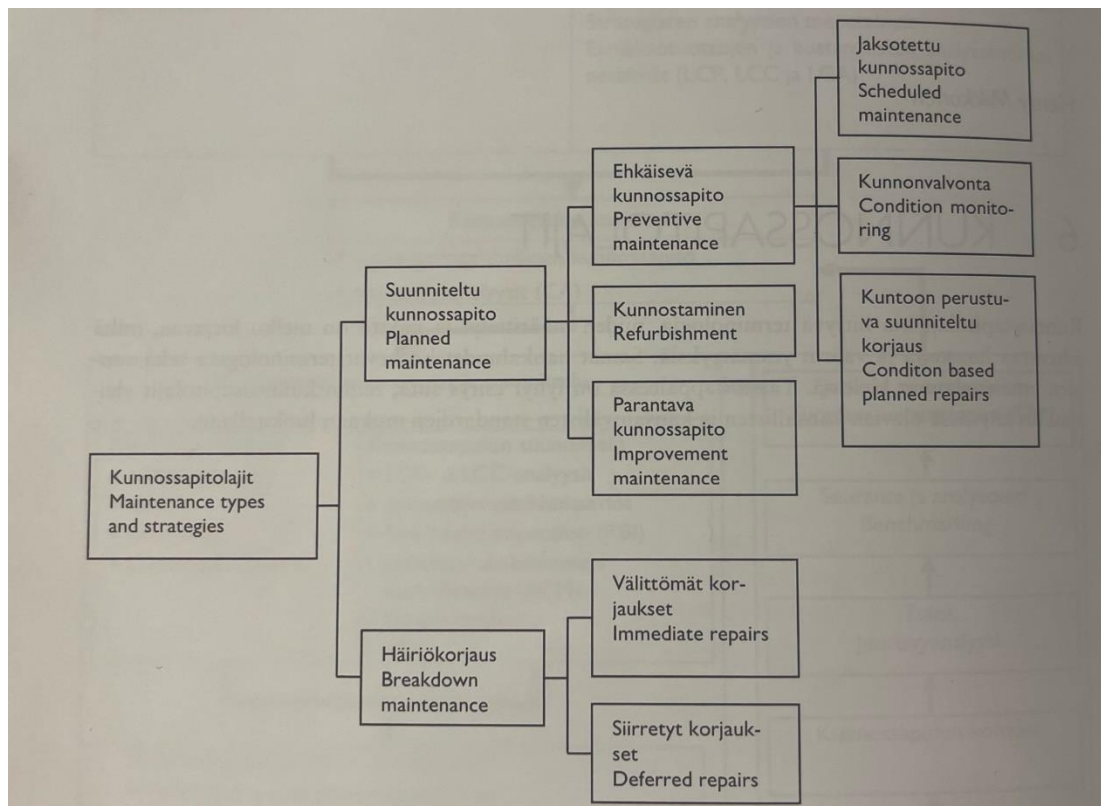
4.2 Kunnossapidon merkitys

Tuotannollisissa yrityksissä kunnossapidon merkitystä arvioidaan yleensä negatiivisin tekijöin, kuten kunnossapidosta johtuvista kustannuksista ja tuotannollisista menetyksistä. Arvostus tästä syystä ei ole kovin korkea, mutta se on erittäin merkittävä tuotannon tekijä. Kunnossapito on suuri kontrolloimaton

kustannuserä ja kunnossapito pitäisikin pyrkiä saamaan hallintaan, jotta kustannukset pysyisivät kontrollissa. (Mikkonen, 2009, s.37)

4.3 Kunnossapidon lajit

Kunnossapidon lajit jaetaan eri toimenpiteisiin. Toimenpide jaot voivat erota toisistaan eri standardeissa. PSK 7501 standardi jakaa toimenpiteet kahteen osaan, suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjaukseen.



Kuva 8. Kunnossapitolajit PSK 7501 (Mikkonen, 2009, s. 96)

4.3.1 Suunniteltu kunnossapito

Suunniteltu kunnossapito tarkoittaa ennalta määrättyjen aikarajojen ja toimenpiteiden mukaan suoritettavia huoltoja ja tarkastuksia, jotka tähtäävät laitteiden ja koneiden toimintakyvyn ylläpitämiseen ja elinkaaren pidentämiseen. Tällöin huolto ei perustu vain vikojen korjaamiseen, vaan ennakoivasti pyritään estämään vikoja ja parantamaan järjestelmän luotettavuutta. Hyvä suunniteltu

kunnossapito vähentää äkillisiä vikatilanteita ja pidemmän päälle alentaa kustannuksia, koska laitteet pysyvät toimintakykyisinä pidempään ja välttyään kalliilta korjauksilta.

4.3.2 Ehkäisevä kunnossapito

”Ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen.” (Mikkonen, 2009, s.97)

Jaksotettu kunnossapito on ehkäisevän kunnossapidon toimenpide, joka tarkoittaa tietyn jakson mukaan suoritettavia huoltoja tai tarkastuksia, joita ovat mm. öljynvaihdot, säädöt, puhdistukset ja rasvaukset. (Mikkonen, 2009, s.97)

Kunnonvalvonta on osa ehkäisevää kunnossapitoa ja se tarkoittaa laitteiden toimintakunnon nykytilanteen määrittämistä. Sen avulla pyritään havaitsemaan mahdolliset ongelmat ja kulumat ennen kuin ne aiheuttavat vikoja tai toimintahäiriöitä. Kunnonvalvontaa käydään tarkemmin läpi luvussa 5.

4.3.3 Häiriökorjaus

Häiriökorjaukset ovat toimenpiteitä, joita suoritetaan, kun laitteessa tai järjestelmässä ilmenee toimintahäiriö tai vika. Tällöin pyritään palauttamaan kohde nopeasti toimintakuntoon ja käyttöturvallisuudeltaan alkuperäiseen tilaansa. Häiriökorjaukset tehdään yleensä ongelman ilmetessä ja tästä syystä ne voivat olla kalliimpia ja aikaa vievempiä kuin suunnitellun kunnossapidon toimenpiteet. (Mikkonen, 2009, s.97)

Kuvassa 8 häiriökorjaukset ovat jaettu kahteen osioon, välittömiin korjauksiin ja siirrettyihin korjauksiin. Välittömät korjaukset ovat korjauksia, joita suoritetaan heti, kun vika on havaittu. Laitte palautetaan toimintakuntoonsa tai vian aiheuttamat seuraukset rajoitetaan hyväksyttävälle tasolle. Siirretyt korjaukset ovat korjauksia, joita ei suoriteta heti vian havaitsemisen jälkeen, vaan ne

suoritetaan, kun kohteen, tuotannon tai organisaation tila sallii toimenpiteiden suorituksen. (Mikkonen, 2009, s.97)

5 KUNNONVALVONTA

5.1 Käsite

”Kunnonvalvonta on kunnossapidon osa-alue ja se tuottaa tehdaslaitoksen investointien, käytön ja kunnossapidon kannalta oleellisia tietoja. Lisäksi kunnonvalvonnan avulla voidaan vaikuttaa yrityksen kannattavuuteen.” (Opetushallitus. 2024. Johdanto kunnonvalvontaan.)

5.2 Määritelmä

Kunnonvalvonnalla seurataan laitteen toimintakuntoa joko jaksollisesti tai jatkuvasti. Sillä yritetään ennakoida laitteen vikaantumista, jotta mahdolliset vikaantumis-, huolto- ja korjaustoimenpiteet voitaisiin ajoittaa ennen laitteen käyttökunnon menettämistä. Kunnonvalvontaan kuuluu erilaiset mittaukset, kuten värähtely-, lämpötila- ja painemittaukset. Kunnonvalvontaa voidaan suorittaa myös aistein, kuten kuuntelemalla, haistamalla tai visuaalisesti tarkastamalla.

Kunnonvalvonta ei itsessään korjaa laitteita. Mittaustuloksia pitää seurata ja osata tulkita, jotta kunnonvalvonta toimii ja laitteen vikaantuminen pystytään ennakoimaan.

5.3 Kunnonvalvonnan kehittäminen ja suuntaus

Kunnonvalvonnan kehittämisellä yritetään vähentää korjaavaa ja aikaan perustuvaa kunnossapitoa.

Korjaava kunnossapito on rahallisesti suuri menetys, koska laitteen vikaantuessa laite menettää toimintakuntonsa ja laitteeseen voidaan joutua uusimaan kalliita osia, tai tuotanto voi keskeytyä sekä työntekijät tuottavat omat kustannuksensa.

Aikaan perustuvassa kunnossapidossa laitteelle on määritetty tietty ajanjakso huollolle. Kuten esimerkiksi laakerin vaihto kahden vuoden välein, mutta jos aikaan perustuvaan huoltoon ei ole otettu huomioon laitteen käyttötunteja voi olla mahdollista, että laitteelle on kertynyt käyttötunteja vain kahden kuukauden verran, silloin laakerin vaihto ei olisi tarpeellista.

Kunnonvalvonnalla kehittämisellä ja oikealla suuntauksella saadaan tietoa laitteen kunnosta ja tulosten avulla voidaan vähentää korjaavia ja aikaan perustuvia huoltoja.

5.4 Yleisimmät kunnonvalvonnan menetelmät

”Aiemmin kunnonvalvontaa suoritettiin pääasiassa aistihavaintojen avulla, mm. kuuntelemalla laakereita puukepin avulla, kokeilemalla koneenosien lämpöä ja tunnustelemalla jaloilla tai kädellä koneen tärinää. Koneiden kuntoa voitiin arvioida myös seuraamalla lopputuotteen laatua. Näitä menetelmiä ei pidä aliarvioida tänäkään päivänä, mutta niitä korvaamaan ja täydentämään on ryhdytty käyttämään yhä enemmän erilaisia mittausmenetelmiä.” (Opetushallitus. 2024. Johdanto kunnonvalvontaan.)

5.4.1 Aistinvaraiset menetelmät

Aistien avulla tehty kunnonvalvonta tarkoittaa ihmisaistein tehtyä koneen tai laitteen kunnan arviointia. Aistit, joita hyödynnetään ovat näkö, kuulo, haju ja tunto. Menetelmä on hyödyllinen, koska aistein tehdyt tarkastukset voidaan tehdä nopeasti ja helposti ilman monimutkaisia laitteita.

Näköaistilla tehdyillä tarkastuksilla (visuaaliset tarkastukset) voidaan tarkastaa koneiden ja laitteiden ulkoinen kunto. Ulkoisesti tehdyillä visuaalisella tarkastuksella voidaan havaita mm. vuotavat nesteet, halkeamat ja kuluneet tai väärin asennetut osat.

Kuuloaistilla voidaan havaita poikkeamia koneen tai laitteen kunnossa. Kuuloaistilla voidaan havaita nopeasti ja yksinkertaisesti koneen vikaantuminen, mutta se vaatii kohteen rakenteen ja käytön hyvää tuntemusta. Menetelmää haittaavat ympäristöstä kuuluvat äänet. Ne voivat olla niin kovia, että ei ole mahdollista kuunnella haluttua kohdetta tai ympäristössä tapahtuvat muutokset aiheuttavat heijastuviin ääniin muutoksia. (Miettinen, 2009, s.424)

”Hajuaistin avulla voidaan havaita vuotoja sekä tunnistaa mitä vuotava aine on. Kun vuotava aine tunnistetaan, voidaan päätellä mistä vuoto on lähtöisin, sekä miten vaarallista se on. Jos jokin koneen osa kuumenee liikaa, se voidaan havaita hajun perusteella. Hajuaistin käytössä on tunnettava tunnistettavien kaasujen terveydelle haitalliset ominaisuudet ja otettava huomioon työturvallisuusnäkökohdat.” (Miettinen, 2009, s.424)

Tuntoaistia käytetään paljon lämpötilan valvonnassa. Lämpötilan muutos voi antaa tietoa laitteen toiminnasta esimerkiksi ylikuumeneminen voi viitata viallisesti toimivaan laitteeseen. Tuntoaistia voidaan käyttää jonkin verran myös värähtelyn havaitsemiseen. Se toimii parhaiten, jos värähtelyn taajuus on alle 200 Hz. Tuntoaistin avulla voidaan hakea laitteesta kohtaa, jossa värähtely on voimakkainta. (Miettinen, 2009, s.425–426)

5.4.2 Lämpötila mittaukset

Lämpötila mittauksia käytetään kunnonvalvonnassa monella tavalla, sillä lämpötilan muutokset voivat kertoa esimerkiksi laitteiden kulumisesta, viallisista komponenteista tai mekaanisista ongelmista. Lämpötilan mittaussmenetelmät voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: koskettavat menetelmät, koskemattomat lämpötilan mittaussmenetelmät ja lämpökamerat. (Miettinen, 2009, s.440)

| Koskettavat menetelmät | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Lasilämpömittarit</i> Lasisäiliössä oleva neste laajentuu ja nousee kapillaariputkeen lämpötilan noustessa. Pinnan korkeus kertoo lämpötilan. Nesteenä on esim. elohopea, -273 °C...750 °C.</p> | <p><i>Metallivastusanturit</i> Vastusanturit ovat metallista valmistettuja antureita. Menetelmä perustuu siihen, että anturien resistanssin lämpötilariippuvuuden avulla voidaan mitata lämpötila, -250 °C ... 850 °C.</p> |
| <p><i>Termoparimittaus</i> Termoparin toiminta perustuu lämpösähkö- eli Seebeckin ilmiöön. Kun kaksi eri metallista valmistettua metallilankaa yhdistetään toisista päästään (kuumapää), lankojen toisten päiden (kylmäpää) välille syntyy kuuma- ja kylmäpään lämpötilaeroon verrannollinen tasajännite, -273 °C... 2200 °C.</p> | <p><i>Bi-metallilämpömittari</i> Bi-metallilla eli kaksoismetallilla tarkoitetaan kahdesta eri metallia olevasta liuskasta yhteen valssaamalla saatua liuskaa. Metallien erilaisten lämpötilakertoimien johdosta liuska taipuu lämpötilan muuttuessa, -70 °C...550 °C.</p> |
| <p><i>Termistorit</i> Puolijohdetyyppinen anturi, jonka herkkyys on suuri, mutta on voimakkaasti epälineaarinen, -100 °C... 320 °C</p> | <p><i>Lämpötilaindikaattorit</i> Lämpötilavärit ja tarrat, jotka muuttavat väriään kun lämpötila muuttuu, kapea lämpötila-alue.</p> |
| Koskettamattomat menetelmät | |
| <p><i>Infrapunälämpötilamittarit</i> Kiinteät</p> | <p><i>Infrapunälämpötilamittarit</i> Skannaavat</p> |
| Lämpökamerat | |
| <p><i>Jäähdytetyllä ilmaisimella toimivat</i> Jäähdytetyjen matriisien toimintalämpötila on noin -200 °C. Soveltuvat erittäin nopeiden ilmiöiden kuvaamiseen.</p> | <p><i>Jäähdyttämättömällä ilmaisimella toimivat</i> Soveltuvat yleisimpiin kuvaustilanteisiin. Tarjoavat mahdollisuuden jatkuvaan valvontaan, koska niissä ei ole jatkuvasti liikkuvia mekaanisia osia.</p> |

Kuva 9. Lämpötilan mittausmenetelmiä ja käyttölämpötiloja (Miettinen, 2009, taulukko 15–9)

5.4.3 NDT-menetelmät

NDT- menetelmät (Non Destructive Testing) eli ei-tuhoavat testausmenetelmät ovat tekniikoita, joita käytetään materiaalien ja rakenteiden tarkastamiseen ilman, että niitä tarvitsee vahingoittaa tai tuhota. NDT-menetelmillä voidaan havaita vikoja, halkeamia, kulumia tai muita rakenteellisia virheitä, jotka voisivat vaikuttaa materiaalin lujuuteen, turvallisuuteen tai luotettavuuteen. Yleisimpiä menetelmiä ovat visuaaliset-, ultraääni-, röntgen-, penetraatio-, endoskooppi-tarkastukset. (Miettinen, 2009, s.447)

NDT-menetelmien etuna on se, että niitä voidaan käyttää ilman, että testattava kohde tai materiaali vaurioituu tai tuhoutuu, mikä tekee niistä kustannustehokkaita ja turvallisia.

5.4.4 Värähtelymittaukset

Värähtelymittauksia käytetään yleisesti pyörivien teollisuuden laitteiden ja koneiden kunnonvalvonnansovelluksissa. Kaikki pyörivät laitteet värähtelevät käydessään. Herätteiksi kutsutaan niitä voimia, jotka saavat rakenteen värähtelemään. Herätteinä toimivat erilaiset dynaamiset voimat, jotka voivat aiheuttaa laitteen normaalista toiminnasta, erilaisista valmistuksen tai asennuksen epätarkkuuksista sekä vikaantumisista. (Mikkonen, 2009, s.223–224)

Värähtelymittaukset ovat paljon käytössä teollisuudessa, koska mittauksilla voidaan saada selville mahdollinen vikaantuminen jo varhaisessa vaiheessa. Värähtelymittauksilla voidaan saada selville mm. epätasapainot, laakeriviat, kytkinviat, linjausviat ja hammaspyöräviat. (Mikkonen, 2009, s.224)

Mittaussuureet värähtelyssä ovat nopeus, kiihtyvyys ja siirtymä. Kunnonvalvonnassa yleisimmin käytetty suure on nopeus.

”Siirtymäanturit mittaavat kohteen etäisyyttä suhteessa anturinpaikkaan ja yleisin käyttökohde on akselin aksiaalisen ja radiaalisen aseman tai värähtelyn mittaaminen. Yleisin siirtymäanturi on ns. pyörrevirta-anturi. Pyörrevirta-anturilla voidaan mitata teoreettisesti 0-10kHz taajuuksia, mutta se rajoittuu yläpäästä noin 200 Hz, sillä siirtymäarvot ovat suhteellisen pieniä suurilla taajuuksilla. Tällöin anturin pieni dynamiikka on esteenä suurien taajuuksien mittaukselle.” (Mikkonen, 2009, s.235)

”Perinteinen nopeusanturi on toimintaperiaatteeltaan seisminen ja se mittaa absoluuttista värähtelyä. Nopeusanturin taajuusalue on varsin suppea, yleensä luokassa 10...1000 Hz. Nopeusantureiden huonopuoli on niiden toimintaperiaatteesta johtuva suuri koko ja ne sisältävät liikkuvia osia, jotka rajoittavat sen käyttöikä. Nopeusanturit ovat myös herkkiä magneettikentille ja anturin suuntaukselle, jotka aiheuttavat helposti virheellisiä tuloksia.” (Mikkonen, 2009, s.237)

Pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi on muihin antureihin verrattuna parempi, sillä se on pienikokoinen, se ei sisällä liikkuvia osia, taajuusalue on hertsin osista satoihin kilohertzeihin ja se on helposti asennettava sekä epäherkkä ympäristökäyttäjöille. Kiihtyvyyssanturin valinnassa pitää ottaa huomioon sen herkkyys, ympäristönlämpötila ja kiinnitysalustan pohjajännitys. (Mikkonen, 2009, s.237 ja s.240)

Värähtelymittaukset ovat erittäin hyvä keino pyörivien laitteiden kunnonvalvomiseen, mutta se edellyttää, että mittauksia suoritetaan säännöllisin väliajoin ja mittaustulokset analysoidaan, jotta mahdolliset poikkeamat havaitaan.

5.4.5 Voiteluaineanalyysit

Voiteluainetta voidaan pitää yhtenä koneen osana ja voiteluaine analyysien avulla saadaan tietoa koneen osista kulumisesta, prosessin toiminnasta, voitelun tehokkuudesta ja itse voiteluaineen kunnosta. Analyysillä saadaan tietoa koneen kunnosta ja voiteluaineen kunnosta sekä mahdollisista epäpuhtauksista. Epäpuhtaudet, koneen kunto ja voiteluaineen kunto vaikuttavat toisiinsa, sillä epäpuhtaudet lisäävät kulumista ja huonontavat öljynlaatua, öljyn huonontunut kunto heikentää voitelua ja laitteen kuluminen lisääntyy ja lisääntynyt kuluminen ja öljyn huonontuminen lisäävät epäpuhtauksia. (Miettinen, 2009, s.428)

”Voiteluaineanalyysit voidaan jakaa analyysityypeittäin. Perusanalyysit, joilla tutkitaan voiteluaineen kuntoa. Hiukkanalyysit, joilla seurataan voiteluaineen puhtautta ja epäpuhtaushiukkasten kokojakaumaa sekä koneen kuntoa. Kulumametallianalyysit, joilla tutkitaan koneen kuntoa seuraamalla voiteluaineessa olevien metallipitoisuuksien muutoksia.” (Miettinen, 2009, s.429)

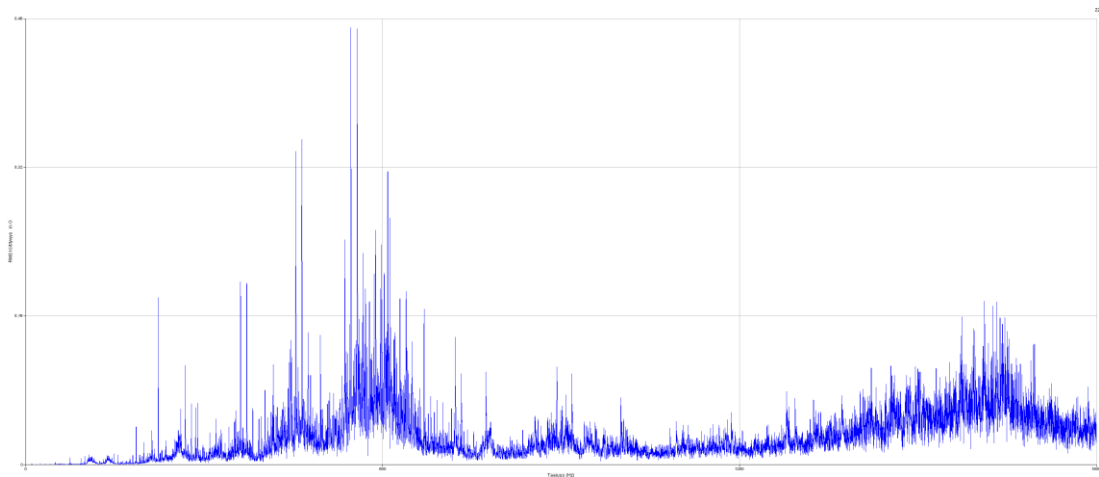
5.5 Kunnonvalvonnan tulokset ja niiden hyödyntäminen

Oikein suoritetulla kunnonvalvonnalla saadaan luotettavaa tietoa laitteen kunnosta, jonka perusteella voidaan suunnitella laitteenhuollot. Varhaisessa vaiheessa havaittu käyttökunnan muutos antaa lisää aikaa kunnossapitotöiden suunnitteluun. Tulokset ovat luotettavia, jos kunnonvalvoja on oikein koulutettu ja kunnonvalvonta menetelmä on oikea.

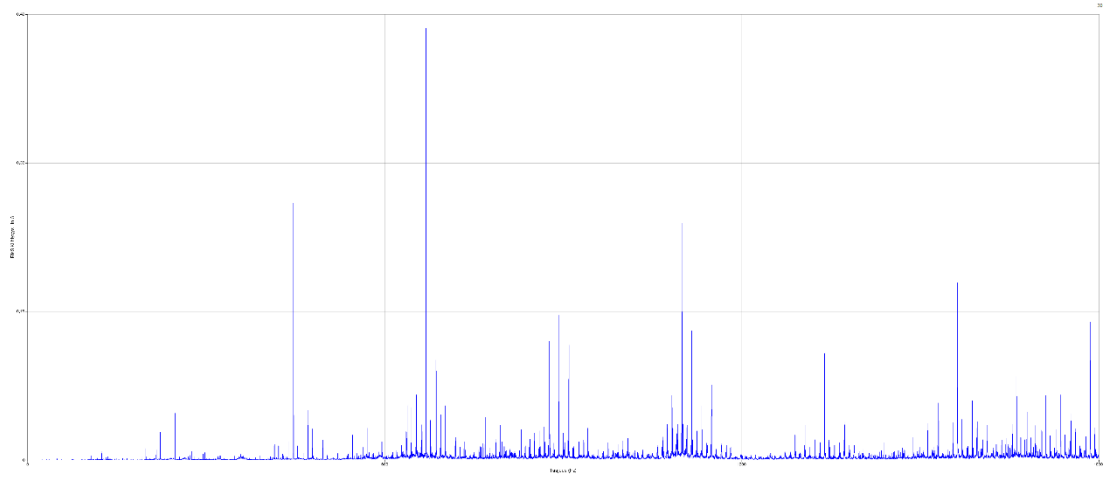
Kunnonvalvontaa hyödynnetään korjaavien toimenpiteiden suunnitteluun, jäljellä olevan käyttöajan arvontiin, kehittyvien vikojen havaitsemiseen ja tunnistamiseen sekä nopeasti kehittyvien vikojen ilmoittamiseen.

5.5.1 Värähtelymittauksella havaittu laakerivika

Voiteluöljypumpulle suoritettiin määräaikainen värähtelymittaus, jossa huomattiin suuria poikkeamia normaaleihin tuloksiin verrattuna. Pumpunlaakeri oli vikaantunut ja oli todella huonossa kunnossa. Värähtelymittauksen jälkeen pumppu purettiin ja laakeri vaihdettiin, jonka jälkeen värähtelyt mitattiin uudelleen ja tulokset olivat normaalit.



Kuva 10. Värähtelymittaus spektri ennen huoltoa. (Aleksi Grönholm, 2025)



Kuva 11. Värähtelymittaus spektri huollon jälkeen. (Aleksi Grönholm, 2025)

6 OL 3 EDG MÄÄRÄAIKAISHUOLTO-OHJELMA

Olkiluoto 3 laitoksella käytössä olevat EDG (Emergency Diesel Generator) moottorit ovat Ranskalaisen S.E.M.T. Pielstick:n valmistamia. Ne ovat turboahdettuja 18 sylinterisiä 4- tahti dieselmoottoreita tyypiltään PA6 B phase 4. Moottoreita on neljä; EDG10, 20, 30 ja 40, jotka toimivat hätätilanteessa omien divisiooniensa varavoiman lähteenä.



Kuva 12. EDG 30. (Aleksi Grönholm, 2025)

EDG moottoreiden määräaikaishuolto-ohjelma perustuu laitevalmistajan huolto-ohjeeseen. Valmistajan määrittelemä huolto-ohjelma on suunniteltu käyttötuntien mukaan, mutta siitä on myös johdettu varavoima moottoreille soveltuva käyttövuosiin perustuva huolto-ohjelma. Ydinvoimalassa moottoreita käytetään vain hätätilanteessa, kuukausittaisissa toimintakokeissa ja huoltojen jälkeisissä toimintakokeissa. Olkiluoto 3 laitoksella moottorin toimintakokeita on kahta erilaista 80 % teholla suoritettava ja kerran vuodessa suoritettava 110

% testiajo. Moottoria ajetaan testeissä noin 3 tuntia, joten moottorille kertyy käyttötunteja vuodessa vain noin 40.

6.1 Moottorin määräaikaishuollot

Määräaikaishuollot ovat ajoitettu käyttötuntien mukaan 3 000 h / 4 000 h, 6 000 h / 8 000 h, 12 000 h / 16 000 h ja 24 000 h / 32 000 h.

Ydinvoimalassa huoltoaikataulua on muokattu aikaan perustuvaksi.

500 h / 1 500 h = 1 vuoden välein

3 000 h / 4 000 h = 2 vuoden välein

6 000 h / 8 000 h = 4 vuoden välein

12 000 h / 16 000 h = 6 vuoden välein

24 000 h / 32 000 h = 12 vuoden välein

6.1.1 1 vuoden välein

Yhden vuoden välein suoritettaviin töihin sisältyy polttoainepumppujen hammastankojen liikkumisen tarkastus, nokka-akselin visuaalinen tarkastus, keskipakoisen öljynsuodattimen pohditus ja tarkastus, tiivisteöljynsuodattimen puhdistus, käynnistysilmanjakajan öljykupin puhdistus ja kierrosnopeuden säätövivuston rasvaus.

6.1.2 2 vuoden välein

Kahden vuoden välein suoritettu huolto sisältää samat toimenpiteet kuin yhden vuoden välein suoritettu huolto ja sen lisäksi tehdään kampiakselin visuaalinen tarkastus, kampiakselin taipumamittaus, turboahtimien kiinnitysruuvien ja putkiliitoksien kireyksien tarkastus ja kierrosnopeuden säätäjän öljynvaihto.

6.1.3 4 vuoden välein

Neljän vuoden välein suoritettu huolto sisältää samat toimenpiteet kuin neljän ja kahden vuoden välein suoritettavat huollot. Lisäksi huollossa tehdään venttiilien väläyksien säätö, käynnistysilmaventtiilien tarkastus, polttoainesuuttimien aukeamispaineen tarkastus ja sylinterienpalotilojen endoskooppi tarkastus.

6.1.4 6 vuoden välein

Kuuden vuoden välein suoritettava huolto sisältää yhden ja kahden vuoden välein suoritettavat toimenpiteet ja niiden lisäksi suoritetaan nokka-akselien ajoituspyörien tarkastus.

6.1.5 12 vuoden välein

12-vuoden välein suoritettava määräaikaishuolto on suurin huolto, joka moottorille tehdään. Siinä irrotetaan ja vaihdetaan sylinterikannet, polttoainepumput, polttoainesuuttimet, sylinteriputket, männät, kiertokanget, kiertokankien laakerit, vesipumput, voiteluöljypumppu, kierrosnopeuden säätäjä ja turboahdit.

Huollossa tarkastetaan kaksi kampiakselinlaakeria, ajoituspyörät, värinänvaimennin, ilmanvälijäähdytin ja kierrosnopeuden säätäjä.

Irrotetut osat tarkastetaan ja huolletaan ja ne käytetään uudelleen seuraavassa moottorin 12 vuoden välein suoritettavassa huollossa.

6.2 12 vuoden välein suoritettujen huollon osien kunto

EDG 40 moottorille suoritettiin ensimmäistä kertaa 12 vuoden määräaikaishuolto syksyllä 2024. Moottorille oli kertynyt käyttötunteja noin 350 ja moottorin käynnistyskertoja noin 100. Moottorin käynnistykset pitää ottaa huomioon, sillä laitevalmistajan mukaan yksi käynnistys vastaa noin kuutta käyttötuntia.

Moottorille oli teoriassa kertynyt käyttötunteja noin 1000, joka on erittäin vähän verrattuna käyttötuntien perusteella tehtävään huoltoon.

Moottorin purkamisen jälkeen ainoat osat, joissa havaittiin virheitä, olivat sylinterinkannet. Sylinterikansien venttiilienistukat vuosivat vähän jäähdytysvettä, jonka juurisyyksi todettiin asennusvaiheessa tehty virhe. Asennusvirhe oli tehnyt painauman istukan o-rengasuraan ja tästä syystä istukat vuosivat. Muissa osissa ei havaittu virheitä ja käytännössä hyvässä kunnossa olevat osat vaihdettiin uusiin. Uuden osat ovat kalliita ja esimerkiksi sylinteriputkille, männille ja kiertokangille olisi voitu suorittaa vain tarvittavat tarkastukset ja käyttää heti uudelleen.

7 EDG MÄÄRÄAIKASIHUOLTO- OHJELMAN KEHITTÄMINEN

Moottoreiden käyttötunteihin perustuvat määräaikaishuolto- ohjelmat eivät sovellu ydinvoimalan käyttöön, koska käyttötunnit ovat vähäiset, joten niille on luoto omat aikaan perustuvat huolto- ohjelmat.

Tässä luvussa käydään läpi aikaan perustuvan huolto- ohjelman haittoja ja miten muutos kuntoon perustuvaan kunnossapitoon olisi hyödyllistä.

7.1 Aikaan perustuva kunnossapito

Aikaan perustuva kunnossapito on tehokas ennakoivan kunnossapidon osa-alue, mutta se tuottaa ylimääräisiä kuluja. Usein osien vaihdot ovat turhia, koska niiden kunto voi olla erinomainen. Aikaan perustuvat tehtävät, kuten laakereiden vaihdot, tiivisteiden vaihdot ja kunnostus työt tuottavat kuluja niin osien kuin työtuntien puolesta. Laitteen tai koneen purkaminen ja uudelleen kasaaminen luo aina riskin inhimilliseen virheeseen, kuten purku- tai asennusvirheeseen. Virhe voi tuottaa lisä kuluja osien tai aikataulun myöhästymisen takia.

Aikaan perustuvasta huolto-ohjelmasta ei voida kokonaan luopua, koska huollot sisältävät elastomeerien vaihtoja. 12- vuotishuollon suurin syy varavoima moottoreille on elastomeerien vanheneminen, joiden käyttöikä on 12 vuotta.

Toinen syy, joka hankaloittaa luopumista aikaan perustuvasta kunnossapidosta on kriittisten komponenttien kunnonvalvonnan puuttuminen. Jotta aikaan perustuvaa kunnossapitoa ei suoritettaisi pitäisi pystyä seuraamaan laitteen osien kuntoa, havaita poikkeamat trendeissä ja ennakoida ilmenevät viat.

7.1.1 Esimerkki tapaus moottorin 12- vuotishuollon yhteydestä.

Moottorin kierrosnopeuden säätäjän vetoakseliin tehtiin laakereiden vaihto. Akselista purettiin laakerit, kulmaratas ja akselin päässä oleva kytkin tappi. Purkaminen tapahtui painamalla osat irti prässillä. Kasausvaiheessa laakerit ja kulmaratas lämmitettiin 110 celsius asteeseen ja ne menivät hyvin paikalleen. Akselin päässä olevan kytkin tapin asennus vaiheessa tapahtui virhe. Akselin reikää ei lämmitetty ja tappia jäädytettiin typellä liian vähän. Asentaja sai tapin painettua paikalleen, mutta lämpötila ero oli liian pieni ja se laajensi akselia painamisvaiheessa, joka aiheutti ylemmän laakerin välyksen pienene-
misen ja huonon pyörimisen. Osat täytyi purkaa, mutta tappi jäi akseliin jumiin ja asentajat yrittivät prässillä irrottaa osat toisistaan, rikkoen akselin ja tapin.



Kuva 13. Vaurioitunut akseli ja tappi. (Aleksi Grönholm, 2025)

Asennusvirheen vuoksi tilattiin uusi akseli ja tappi laitevalmistajalta. Joten kahden laakerin vaihto tuotti huomattavasti suuremmat kulut kuin oli suunniteltu. Laakereiden vaihtotyö kuuluu 12- vuotishuoltoon, mutta sitä voisi harkita pois

jätettäväksi, sillä laakerit ovat todella vähäisellä käytöllä, niihin ei kohdistu muita voimia ja ne ovat suljetussa lämpimässä tilassa.

7.2 Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuva kunnossapito on erinomainen vaihtoehto vähentämään kunnossapito kuluja jos:

- Vikatilat ja vikaantumiset ovat tiedossa.
- Vikaantumisen kehitysvaiheet tiedetään ja ne pystytään havaitsemaan yksinkertaisilla kunnonvalvonta toimenpiteillä.
- Alkavan vikaantumisen vaiheesta on selkeä ja johdonmukainen seuraus kaavio.
- Voidaan osoittaa, että kunnonvalvonnan suorittaminen on kustannustehokkaampaa kuin määräaikaiset tunkeutuvat toimenpiteet.

(EPRI, 2013, luku 2.3)

Muutos aikaan perustuvasta kunnossapidosta kuntoon perustuvaan kunnossapitoon vaatii aikaa, jonka kesto ei voida suoraan määrittellä. Muutosvaiheen aikana, ennakoiva- ja korjaava kunnossapito tulevat lisääntymään, jotta aikaan perustuvaa kunnossapitoa saataisiin vähennettyä. Kaikki päätökset muutosvaiheen aikana eivät tule pysymään ja myöhempiä muutoksia pitää tehdä. (EPRI, 2013, luku 2.2)

Muutos kuntoon perustuvaan kunnossapitoon alkaa kriittisyyskartoituksella, jossa määritellään koneen kriittiset komponentit ja ei kriittiset komponentit. Kriittisten komponenttien määrittelemisen jälkeen suunnitellaan oikeat kunnonvalvonta menetelmät komponenttien vikaantumisten havaitsemiseen. Vaikka komponentti ei ole kriittinen, ei se tarkoita, etteikö kyseisen komponentin kuntoa tarvitse seurata.

Kunnonvalvontastrategioiden ja menetelmien valintaan vaikuttaa laitteiden vikaantuvat komponentit, todennäköisimmät vikaantumismenetelmät ja

valvottavat suureet. Vikaantumisten todennäköinen esiintymisaika vaikuttaa valvonnan suorittamis- aikaväleihin. (Mikkonen, 2009, s. 162)

Laitevalmistaja on yleensä tietoinen laitteen yleisimmistä vikaantumisista ja vikaantumisten seurauksista, joten kun kunnonvalvonta menetelmiä suunnitellaan, on hyvä kääntyä laitevalmistajan puoleen. Laitevalmistaja on voinut myös tuottaa vika- vaikutusanalyysin, jossa on pyritty selvittämään suorituskykyyn liittyvät merkittävimmät viat. Analyysi kertoo myös vikojen vaikutukset ja seuraukset. (Mikkonen, 2009, s. 153)

Analyysiin on hyödyllistä ottaa huomioon käyttökokemukset kyseisestä tai vastaavasta laitteesta. Muilta samanlaisten tai vastaavien laitteiden valmistajilta voi saada erittäin hyödyllistä tietoa, jos kilpailuasetelmat eivät estä tiedonvaihtoa. (Mikkonen, 2009, s. 153)

Aikaan perustuvasta kunnossapito-ohjelmasta kokonaan luopuminen on suuri prosessi ja ydinvoimalan EDG moottorille se on vielä suurempi prosessi, sillä EDG on turvaluokkaa 2 oleva laite. Turvaluokat ovat STUK määrittelemiä ja niillä varmistetaan laitoksen turvallisuus. Turvaluokkia on yhteensä neljä ja turvaluokka 1 on kaikkein korkein. Turvaluokkaan 2 kuuluu järjestelmät, joiden osa-aikainen tai keskeytyksetön käyttö on välttämätöntä onnettomuustilanteessa, vika tai vaurio estäisi laitoksen tuotannon ja estäisi samalla reaktorin jäähdyttämisen tai toiminnan pettäminen aiheuttaisi merkittävän hallitsemattoman kriittisyyden vaaran. (YVL 2.1, 2000, s. 2–4)

Huolto-ohjelman mahdollinen muokkaaminen pitäisi perustella hyvin STUK:lle ja suunnittelussa pitäisi käyttää laitevalmistajaa apuna, jotta mahdollinen kuntoon perustuva kunnossapito olisi mahdollista ja mahdollisimman tehokasta.

Analyysin tuloksesta saatiin selville kriittisimpien komponenttien olevan sylinterinkannet, jäähdytysvesipumput, kampiakseli, kampiakselin laakerit, turboahtimet, männät, kiertokanget ja kiertokankien laakerit.

8.2 Moottorin kunnonvalvonta menetelmät

Moottorinkuntoa seurataan testiajojen aikana erilaisin mittauksin. Jatkuvat mittaukset, joita seurataan ovat mm.

- Moottorin kierrosnopeus ja teho
- Polttoaineen paine moottorille
- Imu ilmanpaine
- Pakokaasujen lämpötilat jokaiselta sylinteriltä ja ennen ja jälkeen turboahtimien
- Kuuman ja kylmän jäähdytysveden paineet ja lämpötilat
- Voiteluöljyn paine
- Kampikammion paine
- Kampikammion roiske öljyn lämpötila
- Kampiakselin laakereiden lämpötila

Liitteessä 1 näkyy kaikki mittaukset, joita seurataan moottorin käynnin aikana.

Moottorille suoritetaan myös ajoitettua kunnonvalvontaa, joita ovat:

- Värähtelymittaukset, joita suoritetaan kerran puolessa vuodessa.
- Voiteluöljy- ja polttoaineanalyysit, jotka analysoidaan kerran puolessa vuodessa.
- Jäähdytysvesianalyysit, jotka analysoidaan kerran neljässä kuukaudessa.
- Sylinterien huippupaine mittaukset, joka suoritetaan kerran vuodessa.

Voiteluöljy- ja polttoaineanalyysit kuuluvat turvallisuus teknisiin käyttöehtoihin (TTKE), joka määrää milloin ja mitä näytteistä kuuluu analysoida.

8.3 Käyttökokemukset

Käyttökokemuksia haettiin erilähteistä ja kaksi hyvää esimerkkiä moottorin vikaantumisista löytyi USA:n kahdesta ydinvoimalaitoksesta.

8.3.1 Turboahtimen vikaantuminen

Vuonna 1995 Brown Ferryn ydinvoimalan toisen laitoksen EDG C moottorille suoritettiin normaali 100 % tehon toimintakunnon todentamistesti. Testin loppu vaiheessa, kun moottoria oli ajettu noin kaksi tuntia moottorille, annettiin pysähtymiskäsäky, jonka jälkeen kierrosnopeus pitäisi laskea täydestä nopeudesta (900 kierrosta minuutissa) puoleen (450 kierrosta minuutissa). Moottorin piti pysyä tässä nopeudessa 11,5 minuuttia, koska se on tärkeää, jotta moottorin ja turboahtimen laakerit viilenevät tasaisemmin. Moottori laski kierrosnopeuden suoraan noin 150 kierrokseen minuutissa ja sammui. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1997, s.3)

Välitön syy oli turbon rattaiden vikaantuminen. Kyseisessä moottorissa moottori pyörittää turboa rattaiden välityksellä, kun teho on alle 70 %. Yli 70 % teholla pakokaasut pyörittävät turboa. Vikaantumisen juuri syy todettiin valmistajan virheeksi. Valmistajan suorittamassa lämpökäsittelyssä rattaisiin oli tullut karkaisuhalkeamia, joka aiheutti rattaiden vikaantumisen. Turbon vikaantumisen takia moottori ei saanut imuilmaa, joten moottori sammui välittömästi. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1997, s.7)

Turbon rattaiden vikaantuminen aiheutti kahden päivän käyttökätkon moottorille. Välittömänä korjaavana toimenpiteenä turbo vaihdettiin uuteen ja kone palautettiin toiminta valmiuteen. Korjaavanatoimenpiteenä toistumisen ehkäisemiseksi moottoriin asennettiin värinämittauslaite turbolle, joka kertoo tärkeää tietoa turbon toiminnasta. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1997, s.11–13)

8.3.2 Kampikammion paineen nousu

Waterford:in ydinvoimalaitoksen EDG "A" moottorille suoritettiin perushuolto, joka alkoi vuonna 1995 syyskuun 25. päivänä. Huolto sisältää 18 kuukauden välein suoritettavat tarkastukset ja huoltotyöt. Huollossa tehtiin pakosarjan vaihto, polttoaine pumpun päivitys ja kolmen sylinterikannen irrotus ja takaisin asennus. Kolmen sylinterikannen irrotuksen syy perustui huollon tai tarkastuksen tarpeelle, joka vaati kansien poiston. Huollossa tarkastettiin myös sylinterinputkien kunto silmämääräisellä tarkastuksella mäntien alapuolelta. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1995, s. 3)

Lokakuun 1. päivänä huolto saatiin valmiiksi ja koneelle suoritettiin useampi käynnistys, jotta moottorin säädöt saatiin kuntoon testiajoa varten. Lokakuun 9. päivänä suoritettiin ensimmäinen testiajo, mutta moottoria ei kuormitettu vielä tässä testissä. Seuraava testiajo tehtiin lokakuun 10. päivä ja moottori kuormitettiin heti noin 2,6 MW tehoon. Moottoria ajettiin noin tunnin verran, jonka jälkeen teho nostettiin 100 % (noin 4,4 MW). Moottori kytkettiin ulkoiseen sähköverkkoon onnistuneesti ja noin 40 minuutin ajon jälkeen moottorin teho nostettiin 110 % (noin 4,7 MW), jonka jälkeen 24 tunnin testiajo alkoi. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1995, s.3–4)

Noin kahden tunnin jälkeen testin aloituksesta, operaattorit kuulsivat konehuoneesta vaimean "tömähdyksen". Tämän jälkeen operaattorit huomasivat välitömän laskun voiteluöljyn määrässä ja kampikammion paineen alennus venttiilit savuamisen. Testi keskeytettiin ja palokunta pyydettiin paikalle turvallisuuden varmistamiseksi. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1995, s.4)

Myöhemmin samana iltana suoritettussa tarkastuksessa huomattiin 5 L (Vasen) männän vikaantumisen. Moottorista irrotettiin 5 L mäntä, sylinterinputki ja kiertokanki tarkastuksia varten. Tarkastuksissa huomattiin laaja vaurioituminen männässä ja sylinterinputkessa. Muiden sylinterinputkien alapuolisessa tarkastuksessa huomattiin 8 R (Oikea) putkessa pientä pystysuoraista pisteytystä. Tarkastuksen takia 8 R mäntä poistettiin, josta huomattiin männänrenkaiden liiallinen kulumisen. Sylinterinputki poistettiin ja pystysuora pisteytys

huomattiin olevan kuudennen ja seitsemännen männänrenkaan kohdalla. Kulumien männänrenkaiden takia haluttiin tarkastaa vielä yksi mäntä. Päätettiin poistaa 6 L mäntä, koska männän 8 R ja 6 L renkaat vaihdettiin samaan aikaan. Tarkastuksessa huomattiin renkaiden olevan normaalissa kunnossa. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1995, s. 4–5)

Entergy Operation, Inc. uskoo että, juurisyy tapahtumalle oli huono voitelu käynnistysten ja nopeiden kuormitusten aikana. Huono voitelu aiheutti tinan irtoamisen männästä jääden sylinterinputken ja männän väliin. Tinan irtoaminen viittaa kulumiseen tai tina materiaalin irtoamiseen valurautamännän helmasta, joka on yleensä peräisin männän yläreunasta. Irronnut tina painautuu sylinteriputken ja männän helman väliin sylinteriputken huokosiin. Sylinteriputkien huokoisuus on suunniteltu säilyttämään voiteluöljy männän helman ja sylinteriputken välissä. Sylinteriputken huokoisuuden katoaminen aiheuttaa öljykalvon pienenemisen tai poistamisen. Tämä aiheuttaa kitkan lisääntymisen ja lämpötilan huomattavan kasvun ja mahdollisesti kampikammion paineen nousun. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1995, s. 5)

Moottori käynnistettiin 16 kertaa kymmenenpäivän aikana, joka luullaan olevan syy nopealle tinan irtoamiselle. Korjaavana toimenpiteenä suoritettiin juurisyy analyysi vioittumiselle. Analyysissä käytiin läpi testinaikana mitatut trendit, jotka osoittivat kaiken olleen kunnossa neljä minuuttia ennen kampikammion paineen nousua. Seuraavaksi moottorin voiteluöljystä otettiin näytteet, jotka lähetettiin kolmeen eri laboratorioon. Näytteistä ei havaittu mitään poikkeavaa. Sylinterin 5 L polttoainesuutin ja käynnistysilmaventtiili tarkastettiin ja molemmat toimivat oikein. Tarkastuksissa ei huomattu muita syitä kampikammion paineen nousulle, joten syy oli useat käynnistykset ja nopeat kuormitukset. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1995, s. 6)

Testiohjeessa käskettiin suorittamaan 110 % tehoajo ensimmäisen kahden tunnin aikana. Testiohjelmaan haettiin muutosta, jossa 110 % tehoajo voitaisiin suorittaa missä tahansa vaiheessa 24 tunnin testiä. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1995, s. 7)

EDG "A" ja "B" moottoreista poistettiin jokaisesta männästä alempi öljyrenkas, jotta öljykalvo pysyisi sylinteriputken ja männän helman välissä, joka vähentäisi hankaamista ja lämpenemistä. Moottoreihin ehdotettiin myös kierrosnopeuden säätäjän vaihtoa kaksi ohjelmaiseen hitaan käynnistyksen kierrosnopeus säätäjään. (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1995, s. 8)

8.4 Keinoja käyttövarmuuden parantamiseen

Turboahtimen värähtelymittaukset

EDG moottoreiden värähtelymittaukset antavat tärkeää tietoa moottorin kunnosta ja mittapisteitä on noin 50, mutta turboahtimelle ei suoriteta värähtelymittauksia, koska turbot ovat eristetty ja niiden luokse pääseminen on hankalaa. Turboahtimet ovat tärkeässä roolissa moottorin toimivuuden kannalta, kuten aiemmin todettu kappaleessa 8.3.1, moottori ei toimi, jos turboahdin viikaantuu, sillä moottori ei saa imuilmaa. Turboahtimiin olisi hyödyllistä lisätä värähtelymittauspisteet, jotta turboahtimien kuntoa voitaisiin seurata ja dokumentoida.

Turboahtimista olisi myös hyödyllistä seurata kierrosnopeutta. EDG moottorien turboahtimissa on jo valmiiksi asennettu kierrosnopeus anturit, mutta niitä ei ole otettu käyttöön.

Moottorianalysointilaitteet

Moottorianalysointilaitteet antaa mahdollisuuden henkilöstölle analysoida moottorin suorituskykyä tietokoneella, käyttämällä sille suunniteltua ohjelmistoa. Analysointilaitteet mittaa jokaisen sylinterin huippupaineet ja värähtelyt moottorin käynnin aikana. Mittauksen jälkeen tuloksia verrataan sylintereiden välillä ja aiempien tulosten kanssa, jotta mahdolliset poikkeamat moottorin kunnossa havaittaisiin. Laite auttaa paikantamaan osat, jotka mahdollisesti vaativat huoltoa, joka auttaa huollon suunnittelua seuraavaan huolto-ohjelmaan. Kuten muutkin kunnonvalvonta laitteet, laite vaatii koulutetun henkilön tulkitsemaan trendejä.

Moottorianalysaattori on yksi kuntoon perustuvan kunnossapidon työkalu, jota käytetään EDG moottoreiden valvontaan ja analysaattorin kanssa pitää käyttää muitakin kunnonvalvonta laitteita kuten pakokaasujen lämpötila mittareita. (U.S. Regulatory History and Operational and Maintenance Practices, 2014, luku 5.2)

Huippupaine mittauksella saadaan selville, jos jossakin sylinterissä on sytytyskatkos, venttiilivuoto, öljyvuoto tai virheellinen polttoaineen ruiskutus. (EPRI, 2006, luku 8)

Moottorianalysaattori olisi hyödyllinen, sillä se mittaisi tietoa jatkuvasti moottorin käydessä. Tällä hetkellä moottorin huippupaineet ja värähtelyt mitataan vain kerran vuodessa. Moottorianalysaattorilla saataisiin heti tieto mahdollisesta vikaantumisesta.

Voiteluöljyn monitorointi

Voiteluöljyn tärkein tehtävä on voidella moottorin liikkuvia osia eli vähentää kitkaa, mutta voitelu öljyn tehtäviä ovat myös lämmön hajauttaminen, viilentäminen sekä moottorin puhtaanapito ja korroosiosuojaus.

Laitevalmistaja MAN tarjoaisi moottorille voiteluöljy monitoria (Fluid monitor for lube oil), joka mittaisi jatkuvasti öljynlaatua. Voiteluöljyn koostumus ja sen käytön huononeminen määräävät sen toiminnan laadun ja vaikuttavat siksi ennen kaikkea moottorin luotettavuuteen.

Voiteluöljyn monitorilla pystytään havaitsemaan vikaantumiset jo varhaisessa vaiheessa. Laite havaitsee öljynlaadun huononemisen ja saastumisen. Suurin osa varhaisen vaiheen vikaantumisista näkyy voiteluöljyssä. Voiteluöljystä voidaan havaita esimerkiksi:

- Laakerin kuluminen
- Sylinterin hankaaminen
- Pumppujen kuluminen

- Jäähdytysvesi vuoto
- Polttoaine vuoto
- Noki saastuminen

Kampikammion öljysumun ilmaisin

Kampikammion öljysumun ilmaisin voi varoittaa moottorin mekaanisista häiriöistä, kuten sylinteriputken tai männän hankaamisesta tai alkavasta laakerin kulumisesta, koska kyseiset tapaukset aiheuttavat paikoittaisia kuumia kohtia, joka johtaa öljyn kiehumiseen ja öljysumun suurenemiseen. Normaali öljysumu kampikammiossa on vähemmän kuin 2 mg/litra. Öljysumun alempi räjähdysraja on noin 50 mg/litra. (U.S.NRC, EDG Performance Monitoring and Maintenance, s.42)

Pakokaasujen analysointi

Pakokaasujen analysointi paljastaa tietoja palamissuorituskyvystä ja voi auttaa tunnistamaan mahdollisen moottorin seurannan tai säädösten tarpeen. Pakokaasujen analysointi pitää suorittaa toistettavissa vertailukelpoisissa olosuhteissa. (U.S.NRC, EDG Performance Monitoring and Maintenance, s.31–32)

Mittauksilla voidaan saada selville esimerkiksi rikas polttoaineen ja ilman suhde, polttoaineen ruiskutuksen ajoitusvirhe tai voiteluöljyn palaminen.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä käytiin läpi dieselmootoreiden toimintaa ja mikä niiden tehtävä on ydinvoimalassa.

Työssä käytiin läpi Olkiluoto 3 laitoksen EDG moottoreiden määräaikaishuolto-ohjelman työt ja suoritusvälit. Työssä pohdittiin, miten huolto-ohjelmaa voitaisiin kehittää. Huolto-ohjelma on aikaan perustuva ja työssä käytiin läpi sen haittapuolia ja miten kuntoon perustuvalla kunnossapidolla saataisiin vähennettyä huollon kustannuksia.

Kuntoon perustuvaan kunnossapitoon siirtymisen vaatimuksena on hyvä kunnonvalvonta. Kunnanvalvonnan kehittämiseksi moottorin komponenteille tehtiin kriittisyysanalyysi ja käytiin läpi moottorin tämänhetkiset kunnonvalvonta menetelmät. Kriittisyysanalyysissä käytiin läpi moottorin komponentit, jotka sijoitettiin exel-taulukkoon ja järjestettiin painoarvojen avulla kriittisyys järjestykseen. Analyysin tulosta käytettiin hyödyksi kunnonvalvonta menetelmien lisäämisehdotukseen.

Kunnanvalvonnan kehittämiseen hyödynnettiin vastaavien EDG moottoreiden käyttökokemuksia. Käyttökokemuksista käytiin läpi kaksi tapahtumaa, joissa moottorit vikaantuivat. Vikaantumisten juurisyöt olivat selvitetty ja niiden avulla parannettiin testikäyttöohjelmaa. Moottoreihin lisättiin kunnonvalvonta monitoreita, jotta vikaantumiset olisi mahdollista ennakoida ennen suurempia vahinkoja.

Työn tuloksena syntyi kriittisyysanalyysin lisäksi ehdotus mahdollisista kunnonvalvonta monitoreista, jotka olisivat hyödyllisiä moottorin käyttövarmuuden parantamiseen ja ensiaskeleet kuntoon perustuvaan kunnossapitoon.

LÄHTEET

Accelleron-industries. (5.11.2020). How Nikolaus August Otto created the 4-stroke internal combustion engine. Haettu 21.10.2024 osoitteesta

[How Nikolaus August Otto created the 4-stroke internal combustion engine](#)

EPRI. (2006). Diesel Engine Analysis Guide. Haettu 30.11.2024 osoitteesta

[Diesel Engine Analysis Guide](#)

EPRI. (2013). Guidelines for Transitioning from Time-Based Maintenance to

Condition-Based Maintenance. Haettu 25.11.2024 osoitteesta [Guidelines for](#)

[Transitioning from Time-Based Maintenance to Condition-Based Maintenance](#)

Mikkonen, H. Miettinen, J. Leinonen, P. Jantunen, E. Kokko, V. Riutta, E. Sulo, P. Komonen, K. Lumme, V. Kautto, J. Heinonen, K. Lakka, S & Mäkeläinen, R. (2009). Kuntoon perustuva kunnossapito. 1. painos. Helsinki: KP-media Oy.

Nautilus Shipping. (16.12.2022). Marine propulsion Systems. Haettu

20.11.2024 osoitteesta [Marine Propulsion Systems | Definition, Types and](#)

[Uses Explained](#)

Opetushallitus. 2024. Johdanto kunnonvalvontaan. Haettu: 4.11.2024

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_joh-](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html)

[danto_kunnonvalvontaan.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html)

PSK 6800. 2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. PSK Standardisointiyhdistys ry. [psk6800 liitteinen.pdf](#)

Posiva. Yhtiö. Haettu 21.10.2024: <https://www.posiva.fi/yhtio.html>

Teollisuuden Voima Oyj. Laitosyksiköiden toiminta periaatteet. Haettu

20.10.2024 osoitteesta [\[yksikoidentoimintaperiaatteet.html\]\(https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol1jaol2/laitosyksikoidentoimintaperiaatteet.html\)](https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol1jaol2/laitos-</p></div><div data-bbox=)

Teollisuuden Voima Oyj. OL1 ja OL2. Haettu: 20.10.2024 osoitteesta <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol1jaol2.html>

Teollisuuden Voima Oyj. OL3. Haettu 20.10.2024 osoitteesta <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol3.html>

Teollisuuden Voima Oyj. OL3. Toimintaperiaate. Haettu 20.10.2024 osoitteesta <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol3/toimintaperiaate.html>

Teollisuuden Voima Oyj. TVO konserni. Haettu 20.10.2024 osoitteesta <https://www.tvo.fi/yhtio/hallintojajohtaminen/tvo-konserni.html>

Teollisuuden Voima Oyj. Yhtiö. Haettu 20.10.2024 osoitteesta <https://www.tvo.fi/yhtio.html>

U.S. Nuclear Regulatory Commission. (1997). Diesel Generator Turbocharger Failure That Resulted In Noncompliance With Technical Specification Limiting Condition For Operation. [LER 95-001-02:on 950123,DG turbocharger failure resulted in noncompliance w/TS LCO.Instituted vibration monitoring program for EDG turbochargers.](#)

U.S. Nuclear Regulatory Commission. (1995). Special Report SR-95-003-00. [Special Rept SR-95-003-00:on 951010,EDG experienced crankcase over-pressurization.Caused by poor lubricating conditions during startup & rapid loading led to tin transfer from piston to cylinder liner.](#)

U.S.NRC. (n.d.). EDG performance monitoring and maintenance. Haettu 22.11.2024 osoitteesta <https://www.nrc.gov/docs/ml1122/ML11229A172.pdf>

U.S. Regulatory History and Operational and Maintenance Practices. (2014). Nuclear Emergency Diesel Generator Systems. Haettu 20.11.2024 osoitteesta [Nuclear Emergency Diesel Generator Systems: U.S. Regulatory History and Operational and Maintenance Practices](#)

Wikipedia. Onkalo. Haettu 21.10.2024: https://fi.wikipedia.org/wiki/Onkalo_%28ydinjätteen_loppusijoitus%29

YVL 2.1.(2000). Ydinvoimalaitosten järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden turvallisuusluokitus. Oy Edita Ab. [Ohje YVL 2.1](#)

Kuva 1. Teollisuuden Voima Oyj. (6.10.2024). Ajankohtaista. Haettu 20.10.2024 osoitteesta <https://www.tvo.fi/ajankohtaista/tiedotteetporssitiedotteet/2024/olkiluoto2palasisahkontuotantoon.html>

Kuva 2. Posiva. (3.7.2024). Introducing ONKALO and its principle of operation Haettu 21.10.2024 osoitteesta <https://www.posiva.fi/en/index/news/pressreleasesstockexchangereleases/2024/thisisonkaloandthisshowitworks.html>

Kuva 3. Bison generator. (20.9.2022). 2-tahtimoottori. Haettu 24.10.2024 osoitteesta <https://fi.bisongenerator.com/Blog/2-stroke-vs-4-stroke.html>

Kuva 4. Zillions Byer. (3.8.2020). Four stroke-diesel engine. Haettu 24.10.2024 osoitteesta <https://www.zillionsbuyer.com/blog/what-is-the-working-of-a-four-stroke-diesel-engine/>

LIITE 1: MOOTTORIN KÄYNNIN AIKANA SEURATTAVAT MITTAUKSET

| EDG10 | Value | Unit | Approximate values at 100% | Saved to this PC | | 21.6.2023 | |
|---------------|----------------------------------------|--------|----------------------------|------------------|---------------------|-----------|-----|
| | | | | nce | Limits | | |
| XJAXKA | Power | | | | | | |
| | Test target output | % | 100 | - | - | 80 | |
| EY602 | Total engine running hours | hrs | - | - | - | 418 | |
| EY601 | Number of starts | | | | | 286 | |
| CS913 | Engine speed | rpm | 1000 | +/- 10 | 1100 trip | 1000 | |
| CE003 | Generator power | MW | 6,135 | +/-1% | 6,762 max | 5,31 | |
| CE010 | Power factor | cos | 0,8 ind | | | 0,828 | |
| XJX | Operating Air | | | | | | |
| CP004 | Start air reservoir pressure | bar | 40 | - | 35 low 19 very | 39,5 | |
| CP003 | Overspeed air pressure | bar | 40 | - | 33 trip | 38,4 | |
| CP006 | Control air pressure | bar | 8 | - | 9 max 6 trip | 7,2 | |
| XJN | Fuel | | | | | | |
| CP008 | Engine inlet pressure | bar | 3 | +/-0.25 | 2 min 1.5 trip | 3,1 | |
| | Fuel rack index | mm | 24,5 | +/-15 | 26 | 22 | |
| XJQXJA | Charge air | | | | | | |
| XJQCP001 | Pressure drop air filter inlet Δ P0-P1 | mbar | - | - | - | 3,7 | |
| XJACP001 | Pressure before cooler P2 | bar | 2,65 | +/-0.25 | - | 2,15 | |
| XJA | Exhaust gas | | | | | | |
| CT010 | Temperature before TC | A-bank | °C | 520 | +/-60 | 620 max | 513 |
| CT030 | | B-bank | | | | | 510 |
| CT011 | Temperature after TC | A-bank | °C | 360 | +/-40 | 500 max | 364 |
| CT031 | | B-bank | | | | | 359 |
| CT001CT021 | Exhaust temperatures | A1 B1 | °C | 460 | +/-50 average value | 550 max | 457 |
| CT002CT022 | | A2 B2 | | | | | 441 |
| CT003CT023 | | A3 B3 | | | | | 452 |
| CT004CT024 | | A4 B4 | | | | | 449 |
| CT005CT025 | | A5 B5 | | | | | 435 |
| CT006CT026 | | A6 B6 | | | | | 429 |
| CT007CT027 | | A7 B7 | | | | | 444 |
| CT008CT028 | | A8 B8 | | | | | 423 |
| CT009CT029 | | A9 B9 | | | | | 426 |
| CT901CT921 | Average value for exhaust | A R | - | - | 520 max | 440 | |
| XJG | Cooling water | | | | | | |
| CT932 | HT Engine outlet temperature | °C | 84 | +/-2 | 95 max 100 trip | 85 | |
| CP001 | HT Engine inlet pressure | bar | 5,5 | +/- 0.5 | 3 min | 7,7 | |
| CT016 | LT engine outlet temperature | °C | 42 | +/-5 | - | 43 | |
| CP026 | LT engine outlet pressure | bar | 3 | +/-0.5 | - | 5,1 | |
| CL001 | HT/LT Expansion tank level | mm | >250 | - | 250 min 150 trip | 375 | |
| CP521 | LT aftercooler outlet pressure | bar | - | - | - | 2,0 | |
| CP522 | Oil cooler inlet pressure | bar | - | - | 1 min | 5,3 | |
| CT522 | Oil cooler inlet temperature | °C | - | - | - | 38 | |
| XJV | Lubricating oil | | | | | | |
| CP902 | Engine inlet pressure | bar | 6 | +/-0.25 | 5.5 min 5 trip | 6,2 | |
| XJVC009 | Crankcase pressure | mbar | 2 | +/-0.5 | 8 max 10 trip | 2,9 | |
| CP503 | Engine auto filter inlet pressure | bar | - | - | - | 7,0 | |
| CP510 | Oil cooler inlet pressure | bar | - | - | - | 8,0 | |
| CP511 | Oil cooler outlet pressure | bar | - | - | - | 7,5 | |
| CP510 - CP511 | Oil cooler pressure Δ | bar | - | - | - | 0,50 | |
| CT510 | Oil cooler inlet temperature | °C | - | - | - | 68,0 | |
| CT511 | Oil cooler outlet temperature | °C | - | - | - | 50,0 | |
| CT510 - CT511 | Oil cooler temperature Δ | °C | - | - | - | 18,0 | |

| | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------|-----|-------|------------------|-----------------------------------------------------------------------|------|------|
| VIMS-cabine | PCOT temperatures - SPLASH OIL - Crank: | 1 | °C | 80 | +/-3 | 95 max, 98 trip, 4 max deviation from average max. trip at 5 | 76,2 | |
| | | 2 | | | | | 75,9 | |
| | | 3 | | | | | 77,4 | |
| | | 4 | | | | | 78,8 | |
| | | 5 | | | | | 78,8 | |
| | | 6 | | | | | 78,1 | |
| | | 7 | | | | | 76,8 | |
| | | 8 | | | | | 76,0 | |
| | | 9 | | | | | 74,4 | |
| | Mean value | Average | | | | | 77,0 | |
| | Main bearing temp - MAIN BEARING: | 1 | °C | 90 | +/-3 | 110 max 120 trip | 82,0 | |
| | | 2 | | | | | 83,5 | |
| | | 3 | | | | | 85,7 | |
| | | 4 | | | | | 82,5 | |
| | | 5 | | | | | 85,6 | |
| | | 6 | | | | | 85,2 | |
| | | 7 | | | | | 82,7 | |
| | | 8 | | | | | 85,6 | |
| | | 9 | | | | | 84,1 | |
| 10 | | 79,1 | | | | | | |
| XKA | Alternator | | | | | | | |
| CE001 | Current L1 | A | 423 | +/- 5 | 465 | 354 | | |
| CE004 | Current L2 | A | 423 | +/- 5 | 465 | 361 | | |
| CE007 | Current L2 | A | 423 | +/- 5 | 465 | 352 | | |
| CT051 | Windings temperatures L1 | °C | | | 130 max 140 trip | 80 | | |
| CT052 | Windings temperatures L2 | °C | | | 130 max 140 trip | 82 | | |
| CT053 | Windings temperatures L3 | °C | - | - | 130 max 140 trip | 81 | | |
| CT055/57 | Drive end bearing temps | brg oil | °C | - | - | 100/85 max | 67,0 | 63,0 |
| CT054/56 | Non-drive end bearing temps | brg oil | °C | - | - | 110/95 trip | 69 | 64 |
| Meteorological conditions | | | | | | | | |
| | Air temperature | | °C | - | - | - | 21 | |
| | Air pressure | | hPa | - | - | - | 1011 | |
| | Relative humidity | | % | - | - | - | 62 | |