

**SÄHKÖMOOTTOREIDEN KUNNOSSAPITO-OHJELMAN
LAADINTA TORNION VOIMA OY:LLE**

Aino Saloniemi

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka

Tekijä	Aino Saloniemi	Vuosi	2015
Ohjaaja	Jaakko Etto, DI		
Toimeksiantaja	Tornion Voima Oy, Janne Koppari		
Työn nimi	Sähkömoottoreiden kunnossapito-ohjelman laadinta Tornion Voima Oy:lle		
Sivu- ja liitemäärä	70 + 4		

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia sähkömoottoreiden kunnossapito-ohjelma ja moottoriluettelot Tornion Voima Oy:lle. Tornion Voima Oy:llä ei ole aiemmin ollut käytössään kattavaa moottoreiden kunnossapito-ohjelmaa. Sen laatiminen tuli ajankohtaiseksi, kun yritys hankki uuden toiminnanohjausjärjestelmän.

Työn teoriaosassa käsitellään oikosulkumoottoreita, niiden ominaisuuksia ja teknisiä tietoja. Teoriaosassa perehdytään kunnossapitoon sekä moottoreiden kunnonvalvontaan ja kunnonvalvonnanmittauksiin. Lisäksi käsitellään yleisellä tasolla kunnossapitojärjestelmää ja sen toimintoja.

Työn sovellusosuudessa kerättiin voimalaitosten prosessikäytössä olevien moottoreiden tekniset tiedot, tarkastettiin niiden oikeellisuus ja varamoottoritalanne sekä laadittiin moottoriluettelot. Moottoriluetteloiden avulla Tornion Voima Oy arvioi moottoreiden kriittisyydet. Edellisten tietojen pohjalta sekä moottoreiden käyttöolosuhteiden ja laitevalmistajien huoltosuositusten perusteella laadittiin moottoreiden kunnossapito-ohjelma ja ennakkohuoltokortit. Kunnossapito-ohjelman mukaiset työsuunnitelmat tehtiin Excel-tiedostoon, josta ne voitiin siirtää suoraan toiminnanohjausjärjestelmään. Edellä mainitut tehtävät ja niistä saadut tulokset esitetään työn soveltamisosuudessa, jossa kerrotaan myös kahden laitevalmistajan suositukset moottoreiden huoltoon ja kunnonvalvontaan.

Opinnäytetyö tarjoaa pohjan moottoreiden säännöllisesti tehtäville kunnonvalvontatoimenpiteille. Tällä tavoin järjestelmällinen moottoreiden ennakkohuolto saadaan osaksi muuta kunnossapitoa. Opinnäytetyön luomaa pohjaa kehittämällä saadaan kartutettua moottoreiden vikahistoria, jota kautta moottoreiden käyttövarmuus paranee ja kunnossapitotehtävät saadaan kohdennettua paremmin vastaamaan käyttökohteena olevaa moottoria.

Avainsanat sähkömoottorit, kunnossapito, kunnonvalvonta, suunnitelmat / suunnittelu

Industry and Natural Resources
 Electrical engineering

Author	Aino Saloniemi	Year	2015
Supervisor(s)	Jaakko Etto, M.Sc (Tech.)		
Commissioned by	Tornion Voima Oy, Janne Koppari		
Subject of thesis	Compilation of Maintenance Plan for Electric Motors in Tornion Voima Oy		
Number of pages	70 + 4		

The objective of this Bachelor Thesis was to create a maintenance plan for induction motors for Tornion Voima Oy. Before this Tornion Voima Oy did not have a comprehensive maintenance plan for induction motors. So it became relevant to create a maintenance plan when the company acquired a new enterprise resourcing planning (ERP).

The theoretical part of this Bachelor Thesis includes induction motors and electrical and mechanical properties of theirs. In the theory part, the maintenance, condition monitoring and its measurements were being to get familiar with. In addition, the theory part deals with the maintenance system and functions at the general level.

In the application part, technical data of the power plant process drive motors was collected, their accuracy and spare engine situation were examined and the lists of the motors were drawn up. With the help of the motors lists Tornion Voima Oy evaluated the criticality of the motors. On the basis of the above data, as well as on the basis of operating conditions of the motors and the component manufacturers' maintenance recommendations engine maintenance program and preventive maintenance cards were drawn up. Working plans in accordance with the maintenance program for the Excel file were also drawn up, from which they could be transferred directly to the enterprise resourcing planning. The above mentioned tasks and the results of them are shown in the application part, which also describes the two device manufacturers' recommendations for service and condition monitoring of motors.

This Thesis offers a base for the regular condition monitoring measures. In this way, a systematic preventive maintenance of induction motors can be integrated into other maintenance. By developing the created base on the Thesis, the failure history of the motors will increase, working reliability of motors will improve and maintenance tasks can be targeted to better respond the use of the subject motor.

Key words electric motor, maintenance, condition monitoring, planning

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	OIKOSULKUMOOTTORI	12
2.1	Arvokilpimerkinnät	13
2.2	Asennusmitat	14
2.3	Rakenne- ja asennuslaji.....	16
2.4	Hyötysuhdeluokat	18
2.5	Käyttötavat.....	20
2.6	Suojaus- ja kotelointiluokat	21
2.7	Jäähdytystavat.....	22
2.8	Eristysluokat	24
2.9	Käyttöolosuhteet	24
3	KUNNOSSAPITO	27
3.1	Kunnossapitolajit.....	27
3.2	Ehkäisevä kunnossapito	29
3.3	Käyttöseuranta ja kunnonvalvonta.....	30
4	MOOTTOREIDEN KUNNONVALVONTA.....	32
4.1	Tarkastus ja puhdistus	32
4.2	Laakerit	33
4.2.1	Voitelu	36
4.2.2	Värähtelymittaukset.....	37
4.2.3	Lämpötilanmittaukset	39
4.3	Käämitykset	41
5	KUNNOSSAPITOJÄRJESTELMÄ.....	43
5.1	Kunnossapitojärjestelmän toiminnot	43
5.2	Ennakkohuoltosuunnitelmat.....	45
5.3	Solax-toiminnanohjausjärjestelmä	46
6	KUNNOSSAPITO-OHJELMAN SUUNNITTELU.....	47
6.1	Laitetietojen selvittäminen.....	47
6.2	Moottoriluettelot	50
6.3	Huoltojen nykytila.....	51
6.4	Kriittisyysluokitus	52
6.5	Moottorivalmistajien huoltosuositukset	54

6.6	Moottoreiden kunnossapidon suunnitteleminen	58
6.7	Ennakkohuoltokortit	61
6.8	Toiminnanohjausjärjestelmän työsuunnitelmat	62
6.9	Kunnossapidon kehittäminen	62
7	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	64
	LÄHTEET.....	66
	LIITTEET	70

ALKUSANAT

Haluan kiittää Tornion Voima Oy:n sähkö- ja automaatiokunnossapitopäällikköä Janne Kopperia mielenkiintoisesta työn aiheesta ja työn aikana saaduista neuvoista. Lisäksi haluan kiittää Mauri Kemppaista ja Timo Kusminia avustamisesta moottoreiden kuvaamisessa sekä kehitysinsinööri Katariina Tolosta hänen antamistaan tiedoista toiminnanohjausjärjestelmään liittyen.

Työn ohjaajana Lapin ammattikorkeakoulun puolesta on toiminut diplomi-insinööri Jaakko Etto, jota haluan kiittää hänen antamistaan neuvoista ja palautteesta.

Haluan kiittää myös perhettäni heidän antamastaan ymmärryksestä ja tuesta opinnäytetyön valmiiksi saattamiseksi. Erityiskiitos kuuluu miehelleni, Henri Saloniemelle, hänen näkemyksensä kunnossapidosta ja ATEX-asioista sekä opinnäytetyön oikoluenta ovat olleet minulle korvaamaton apu.

Torniossa 13.6.2015

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ATEX	Atmosphères Explosibles
CE	Conformité Européenne; merkintä tuotteen EU-lainsäädännön mukaisuudesta
CENELEC	European Committee For Electrotechnical Standardization; eurooppalainen sähköalan standardisoimisjärjestö
DIN	Deutsches Institut für Normung; saksalainen standardointi-instituutti
EFF	Eurooppalainen hyötysuhdeluokitus
ERP	Enterprise Resource Planning; toiminnanohjausjärjestelmä
Excel	Taulukkolaskentaohjelma
IC	International Cooling; jäähdytysluokka
IE	International Efficiency, IEC 60034-standardin määrittelemä hyötysuhdeluokitus
IEC	International Electrotechnical Commission; kansainvälinen sähköalan standardisoimisjärjestö
IM	International Mounting; sovitelmatunnus
IP	International Protection; koteloitiluokka
MEPS	Minimum Energy Performance Standard
PSK	Prosessiteollisuuden Standardoimiskeskus
RTF	Run To Failure;
SAP	Systems, Applications and Products in data Processing, tiedonhallintajärjestelmä
SEE	Spectral Emitted Emission, korkeataajuinen värähtelymittausmenetelmä
SFS	Suomessa vahvistettu standardi
SFS-EN	Suomessa ja Euroopassa vahvistettu standardi
ToVo	Tornion Voima Oy

VDE

Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik; saksalainen sähkö-, elektroniikka- ja tietotekniikka-alanyhdistys

1 JOHDANTO

Nykypäivänä kunnossapidolla on merkittävä rooli tuotantolaitoksen toiminnalle. Mikään laite tai kone ei pysy koko elinikänsä käyttökunnossa ilman ylläpitoa. Laitteiden ja koneiden kunnossapidolla hidastetaan niiden ”huononemista”, jotta tuotantoprosessit pysyvät toimintakäykyisinä. Siten kunnossapidon avulla pystytään varmistamaan tuotantolaitoksen tuotanto ja kilpailukyky sekä ehkäisemään laitteiden ja koneiden mahdolliset vikaantumiset riittävän aikaisessa vaiheessa. Heikosti hoidettu kunnossapito voi aiheuttaa monia ongelmia, kuten laitteiden rikkoutumista ja tuotantokatkoksia. Nämä puolestaan aiheuttavat tuotantolaitoksille taloudellisia vahinkoja ja alentavat laitosten tuottavuutta.

Toimiakseen parhaalla mahdollisella tavalla kunnossapitotoiminta vaatii sitä tukevia tietojärjestelmiä. Tietojärjestelmät ohjaavat koko tuotantolaitoksen kunnossapitotoimintaa; ne tehostavat tuotantolaitoksen toimintaa ja vähentävät sen kustannuksia. Tietojärjestelmien käytössä tärkeään asemaan nousevat käyttäjät vastatessaan suurelta osin uusien tietojen tuottamisesta tietojärjestelmään.

Opinnäytetyön tavoitteena on kerätä Tornion Voima Oy:n laitosten prosessikäytössä olevien moottoreiden tekniset tiedot ja luoda kunnossapito-ohjelma näille moottoreille. Yrityksellä ei ole ollut aiemmin käytössään moottoreille kunnossapito-ohjelmaa vaan kunnossapitotoimet ovat keskittyneet lähinnä silmämääräisiin tarkastuksiin ja voiteluhuoltoon. Yrityksen hankittua uuden toiminnanohjausjärjestelmän moottoreiden kunnossapito-ohjelman tekeminen tuli ajankohtaiseksi.

Moottoreiden kunnossapito-ohjelman tarkoituksena on luoda moottoreille säännöllisesti suoritettavat tarkastus- ja huoltotoimenpiteet, joiden avulla parannetaan moottoreiden käytettävyyttä ja pidennetään niiden käyttöikää. Kunnossapito-ohjelman suunnittelussa on tärkeää määritellä moottoreille oikeat ennakkohuoltojen suoritusvälit, jotta ennakkohuoltotoimenpiteet suoritetaan oikeaan aikaan. Siten kunnossapito-ohjelma mahdollistaa mahdollisesti syntyvien vikojen

havainnoinnin ja ennalta ehkäisee niiden syntymistä, jolloin moottoreiden luotettavuus ja kokonaistehokkuus kasvavat.

Opinnäytetyössä käsitellään aiheeseen oleellisesti liittyviä moottoreita, tässä tapauksessa oikosulkumoottoreita sekä niiden kuntoon perustuvaa kunnossapitoa ja sen suorittamiseen käytettäviä mittausmenetelmiä. Lisäksi tutkitaan kunnonvalvonnan ja huollon merkitystä kunnossapitoon. Opinnäytetyön sovellusosuudessa esitetään moottoreiden kilpiarvotietojen pohjalta tehdyt moottori-luettelot. Moottorit luokitellaan prosessikriittisyyden mukaan ja laaditaan kunnossapitosuunnitelma moottoreiden vuosittaisen huoltomäärän ja -tarpeen mukaan Excel-tiedostoon, josta ne on mahdollista siirtää yrityksen käyttöönotta-
maan toiminnanohjausjärjestelmään.

Toimeksiantajan esittely

Tornion Voima Oy (ToVo) on huomattava sähkön ja lämmön tuottaja Tornion alueella. Yhtiön omistaa EPV Energia Oy ja se on perustettu vuonna 2005. Yhtiön omistamia laitoksia ovat Outokumpu Stainless Oy Tornion tehtaiden tehdasalueella Röyttässä sijaitsevat vastapainevoimalaitos ja kattilalaitos, Tornion Pirkkiössä sijaitseva lämpökattilalaitos sekä Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksella sijaitsevat lämpökattilalaitokset. (Tornion Voima Oy 2015.)

Kuvassa 1 on Tornion Voima Oy:n Röyttässä sijaitseva vastapainevoimalaitos, joka tuottaa höyryä ja lämpöä Outokumpu Stainless Oy Tornion tehtaiden tuotantoprosesseihin, lämpöä Tornion Energialle ja sähköä valtakunnan verkkoon. Niin ikään Röyttässä sijaitseva kattilalaitos toimii edellä mainitun voimalaitoksen varalla, tuottaen prosessihöyryä ja kaukolämpöä voimalaitoksen huoltoseisokkien ja häiriötilanteiden aikana sekä silloin, kun voimalaitoksen tuotantokyky ei yksin riitä kattamaan lämmöntarvetta. Pirkkiössä sijaitseva lämpökattilalaitos toimii ToVo:n apuna tuottaen lämpöenergiaa Tornion ja Haaparannan alueen kaukolämpöverkkoon, kun ToVo itse ei pysty tuottamaan kaikkea tarvittavaa kaukolämpöä. Kemissä miehittämättömänä jatkuvakäyttöisesti toimiva biolämpökeskus tuottaa Kemin kaivosalueen rakennusten lämmittämiseen tarvittavaa

energiaa. Lisäksi Kemien kaivosalueella on tilojen lämmitykseen ja prosessihöyryn tuottoon tarkoitettu raskasöljykattila. (Tornion Voima Oy 2015; Meri-Lapin ympäristölautakunta, 2015 1-2; Aluehallintovirasto 2012, 4-5.)

Vuonna 2014 Tornion Voima Oy:n voimalaitoksilla tuotettiin sähköenergiaa 174,9 GWh ja lämpöä 448 GWh. Pirkiön ja Kemien laitosten osuus tuotetusta lämpöenergiasta oli yhteensä 21,4 GWh. (EPV Energia Oy 2014, 15.)

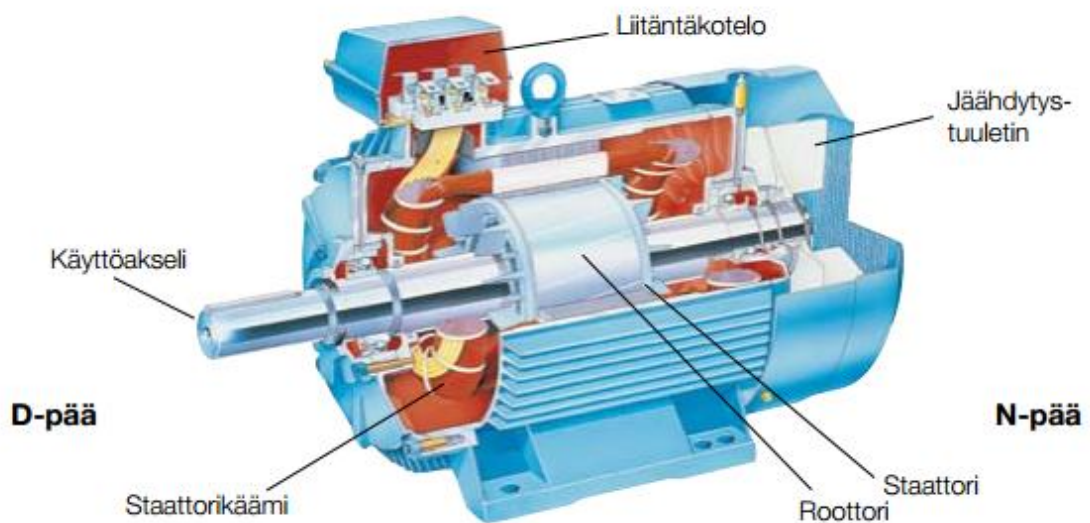


Kuva 1. Ilmakuva Tornion Voima Oy:n voimalaitoksesta Outokumpu Stainless Oy Tornion tehtaiden tehdasalueella. (Tornion Voima Oy 2015.)

2 OIKOSULKUMOOTTORI

Oikosulkumoottorit ovat kestäviä ja rakenteeltaan yksinkertaisia. Moottoreita valmistetaan suuria eriä, joten ne ovat edullisia verrattuna saman tehoisiin tahti- ja tasavirtakoneisiin, ja niiden saatavuus eri tehoalueille on hyvä. Moottoreiden ohjaus- ja säätötekniikan kehittymisen vaikutuksesta ne soveltuvat moniin eri käyttötarkoituksiin ja ovat teollisuudessa yleisimmin käytetty sähkömoottorityyppi. (Hietalahti 2012, 55, 58; Kauppila, Tiainen & Ylinen 2013, 7.)

Oikosulkumoottorin mekaanisen rakenteen tärkeimmät, sähköisen toiminnan aktiiviset osat ovat roottori ja staattori käämityksineen. Moottorin muut osat ovat passiivisia, joiden tarkoituksena on pitää aktiiviset osat paikoillaan, johtaa sähkö moottoriin tai siitä pois sekä välittää pyörivä liike moottorista työkoneseen. (Aura & Tonteri 1996, 119.)



Kuvio 1. Epätahtimoottorin rakenne (ABB 2011, 10.)

Kuviossa 1 on esitetty epätahtimoottorin rakenne. Moottorin paikallaan pysyvä osa on staattori, joka ympäröi roottorin. Staattori rakentuu metallilevyistä valmistetusta staattorisydäimestä, jonka käämitysuriin on asetettu käämivyyhdit. Staattorin kiinteään rakenteeseen kuuluvat lisäksi sähköiset liitännät kytkentäkoteloi-neen, laakerikilvet ja jäähdytyspuhaltimen suoja. Pienjänniteoikosulkumoottorei-ta valmistetaan yleisimmin alumiinista ja valuraudasta. Valurautaiset ovat tyypil-

lisesti raskaan teollisuuden käytössä; alumiiniset soveltuvat paremmin kevyempiin sovelluksiin kuten pumppu- ja puhallinkäyttöihin. (Mäkinen, Kallio & Tantarimäki 2009, 116; ABB 2014b, 70.)

Roottori on moottorin sisällä oleva laakeroitu pyörivä osa, joka on kiinnitetty akseliin. Se koostuu akselin suuntaisista, useimmiten eristämättömistä alumiini- tai kuparikäämisauvoista, jotka ovat yhdistetty roottorin päissä olevilla renkailla oikosulku- eli häkkikäämitykseksi. (Hietalahti 2013a, 139.)

Kun vaihtovirta kulkee staattorikäämin läpi, se aiheuttaa moottorin ympärille pyörivän magneettikentän. Staattorin pyörivän magneettikentän muutokset indusoivat roottoriin virran, jonka vaikutuksesta roottorisauvoihin muodostuu oma magneettikenttä. Staattorin magneettikenttä pyörii verkkotaajuudella ja napaluvun määräämällä nopeudella vetäen puoleensa roottorin magneettikenttää. Roottori lähtee seuraamaan staattorin magneettikenttää pyörien aina hieman sitä hitaammin. (Mäkinen ym. 2009, 121.)

2.1 Arvokilpimerkinnät

Sähkömoottoreita säätelevät standardit. Kansainvälisiä standardeja ovat IEC-standardit, VDE- ja DIN-normit. Näistä tärkeimmät standardit ovat IEC 34- ja 72-sarjan standardit, joissa määritetään muun muassa sähkökoneiden yleiset ominaisuudet, pyörimissuunnat, mitat, kotelointiluokitukset, asennusasennot sekä jäähdytystavat (IC-koodi). Tyypillisin teollisuusmoottorityyppi on täysin suljettu, kotelointiluokan IP 55 omaava oikosulkumoottori, joka on ripajäähdytteinen ja jossa tuuletus tapahtuu koneen ulkopuolelle sijaitsevalla, sen omalle akselille kytketyllä puhaltimella. (Hietalahti 2013a, 160.)

Moottorin runkoon on kiinnitetty helposti luettavaan paikkaan arvokilpi, jossa on ilmoitettu moottorin valmistus-, tunnistus- ja sähkötietoja sekä mekaanisia tietoja. Tietojen perusteella moottori voidaan asentaa paikalleen, liittää sähköverkkoon ja kuormittaa kyseiselle moottorille tarkoitettulla tavalla. (Hietalahti 2013a, 165.)

ABB		CE					
3~ Motor M3BP 180 MLB4				CI,F	IP 55	IEC 60034-1	
V	Hz	kW	r/min	A	cos φ	duty	
400	Δ	50	22	1475	40,9	0,84	S1
690	Y	50	22	1475	23,7	0,84	S1
415	Δ	50	22	1477	39,8	0,83	S1
460	Y	60	22	1780	35,7	0,83	S1
3GBP 182 032-ADG				No.			
50 Hz: IE2-92,4(100%)-93,3(75%)-93,0(50%)						2013	
60 Hz: IE2-93,1(100%)-93,4(75%)-92,6(50%)							
6310/C3		6209/C3		222 kg			
spare-parts:www.abb.com/portsonline							

Kuvio 2. ABB:n rautarunkoisen moottorin arvokilpi (ABB 2014a, 21.)

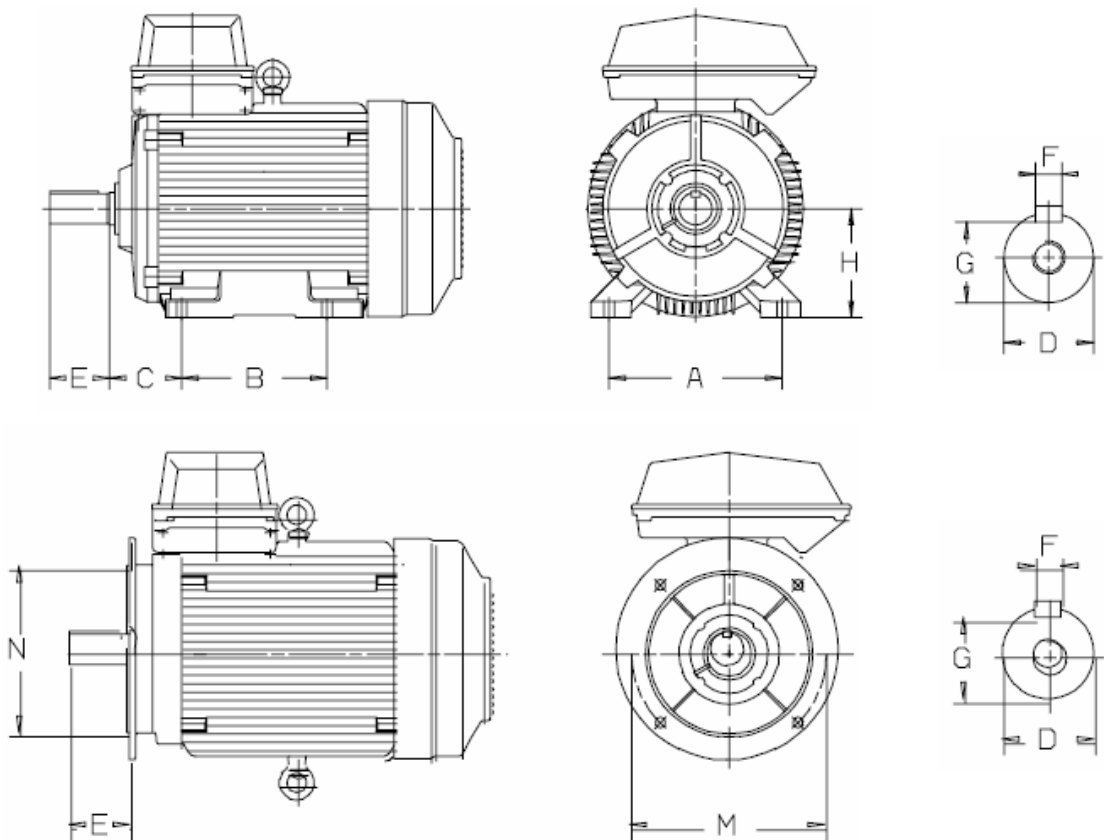
Kuviossa 2 on tyypillinen moottorin arvokilpi. Arvokilvessä ylärivillä on moottorin valmistaja, seuraavalla rivillä tyyppi, eristysmateriaaliluokka (CI), koteloitiluokka (IP) ja standardi. Sitten on esitettyä moottorin sallitut jännitteet ja taajuudet eri kytkennöillä sekä niiden mukaiset tehot, pyörimisnopeudet, virrat ja tehokerroimet ($\cos\varphi$) sekä moottorin käyttötapa (S1). Seuraavana ovat moottorin tuotekoodi ja tämän alla moottorin hyötysuhde eri kuormilla sekä moottorin valmistusvuosi ja sallitut pyörimissuunnat (molempiin suuntiin). Viimeisellä rivillä ovat moottoriakselin laakerityypit (D- ja N-päässä) ja moottorin paino. (Kauppila ym. 2013, 19; ABB.)

2.2 Asennusmitat

IEC on kehittänyt standardisarjat sähkömoottoreiden asennusmitoille ja määrittellyt niitä vastaavat moottorin kokoa ilmaisevat tunnuksat. Saman tunnuksen omaavat moottorit ovat asennusmittojen puolesta keskenään vaihtokelpoisia. Siten samassa asennuspaikassa voi käyttää minkä tahansa valmistajan standardisarjan mittojen mukaan valmistamaa moottoria ilman, että moottoreiden kiinnityksiin tai kaapelointiin tarvitsee tehdä muutoksia. (Aura & Tonteri 1996, 203; Kauppila ym. 2013, 7.)

Moottorin tärkein fyysinen mitta on sen runkokoko, eli millimetrein ilmoitettava mitta moottorin alustasta akselin keskikohtaan. Kun akselikorkeus on enintään

400 mm, jalallisen moottorin tunnuksen kuuluu rungon tunnus ja vapaan akselipään halkaisija, esimerkiksi 112 M 28. Runkotunnus muodostuu akselinkorkeudesta ja rungon pituusluokan ilmaisevasta kirjaimesta, S (short), M (medium) tai L (long). Jos jalallinen moottori on varustettu lisäksi käyttöpäässä olevalla kiinnityslaipalla, lisätään runkotunnuksen perään laipan tunnus, esimerkiksi 112M 28 FF215. Pelkästään laippakiinnitykseen tarkoitetut moottorit merkitään akselipään halkaisijalla ja laipan tunnuksella, esimerkiksi 28FF215, jolloin laipan tunnus muodostuu kirjaimista FF (laipassa läpimenevät, ilman kierteitä olevat reiät) tai FT (laipassa kierrereiät) sekä kiinnitysreikien jakoympyrän halkaisijasta. Kuviossa 3 on esitetty jalallisen ja laipallisen moottorin mittasuhteet. (ABB 2000a, 1.)



Kuvio 3. Ylempänä jalallisen moottorin mitat ja alempana laipallisen moottorin mitat (ABB 2000a, 2.)

Moottoreiden nimellistehot ovat sidottu moottoreiden runkokokoon, jotka ovat myös standardisoitu normisuosituksin. Euroopassa käytetään CENELECin

standardia EN 50347, joka kattaa täysin suljetut ilmajäähdytteiset oikosulkumoottorit 50Hz taajuudella runkokoossa 56 M–315 M. Tämä vastaavuussuhde on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 1). (ABB 2014b, 38.)

Taulukko 1. Tehon vastaavuussuhde runkokokoon CENELECin mukaan (ABB 2014b, 38.)





































Runko- koko	Akselin halkaisija (mm)		Nimellisteho (kW)				Laipan tun- nus	
	2- napainen	4-, 6-, 8- napainen	2- napai- nen	4- napai- nen	6- napai- nen	8- napai- nen	Vapaa- reiät	Kier- re- reiät
56	9	9	0,9 / 0,12	0,06 / 0,09			F100	F65
63	11	11	0,18 / 0,25	0,12 / 0,18			F115	F75
71	14	14	0,37 / 0,55	0,25 / 0,37			F130	F85
80	19	19	0,75 / 1,1	0,55 / 0,75	0,37 / 0,55		F165	F100
90S	24	24	1,5	1,1	0,75	0,37	F165	F115
90L	24	24	2,2	1,5	1,1	0,55	F165	F115
100L	28	28	3	2,2 / 3	1,5	0,75 / 1,1	F215	F130
112M	28	28	4	4	2,2	1,5	F215	F130
132S	38	38	5,5 / 7,5	5,5	3	2,2	F265	F165
132M	38	38	-	7,5	4 / 5,5	3	F265	F165
160M	42	42	11 / 15	11	7,5	4 / 5,5	F300	F215
160L	42	42	18,5	15	11	7,5	F300	F215
180M	48	48	22	18,5	-	-	F300	
180L	48	48	-	22	15	11	F300	
200L	55	55	30 / 37	30	18,5 / 22	15	F350	
225S	55	60	-	37	-	18,5	F400	
225M	55	60	45	45	30	22	F400	
250M	60	65	55	55	37	30	F500	
280S	65	75	75	75	45	37	F500	
280M	65	75	90	90	55	45	F500	
315S	65	80	110	110	75	55	F600	
315M	65	80	132	132	90	75	F600	

2.3 Rakenne- ja asennuslaji

Sähkömoottorit ovat rakennemuodoltaan jalallisia, laipallisia ja niiden yhdistelmiä. IEC60034-7 -standardissa määritellään sovitelmatunnus IM (International Mounting), jolla ilmaistaan moottoreiden rakenne- ja asennuslaji. Standardissa määritellään kaksi tunnusjärjestelmää:

- Koodi I: kirjain-numeroyhdistelmä koneille, joissa laakeroitu päätysuoja ja yksi ulkoneva akseli
- Koodi II: laaja numeerinen määrittäminen, sisältää myös Koodi I:n mukaiset koneet. (ABB 2000a, 22; Puttonen 2011, 19.)

Koodi I:n mukainen määrittely koostuu kirjaimista IM, joita seuraa kirjain B tai V riippuen akselin suunnasta ja numero/numeroita. Lisänä voi olla yksi kirjain ilmaisemaan ohjauslaatikon sijaintia. Koodi II koostuu niin ikään kirjaimista IM. Näitä seuraa neljä numeroa, joista kolme ensimmäistä ilmaisevat moottorin rakennetta ja neljäs numero akselin jatketta. Lisänä voi olla kirjain ilmaisemaan ohjauslaatikon sijaintia, kuten Koodi I:n mukaisessa määrittelyssä. Kuviossa 4 on esitettyä molempien koodien mukaisia moottoreiden asennusasentoja. (Puttonen 2011, 20–27.)

	Koodi I/Koodi II						Tuotekoodi, kohta 12
Jalkamoottori.	IM B3 IM 1001	IM V5 IM 1011	IM V6 IM 1031	IM B6 IM 1051	IM B7 IM 1061	IM B8 IM 1071	A = jalkamoottori, liitäntäkotelo päällä R = jalkamoottori, liitäntäkotelo oikealla L = jalkamoottori, liitäntä- kotelo vasemmalla
							
Laippamoottori, suuri laippa	IM B5 IM 3001	IM V1 IM 3011	IM V3 IM 3031	*) IM 3051	*) IM 3061	*) IM 3071	B = laippamoottori, suuri laippa
							
Laippamoottori, pieni laippa	IM B14 IM 3601	IM V18 IM 3611	IM V19 IM 3631	*) IM 3651	*) IM 3661	*) IM 3671	C = laippamoottori, pieni laippa
							
Jalka- ja laippamoottori, jalat, suuri laippa	IM B35 IM 2001	IM V15 IM 2011	IM V36 IM 2031	*) IM 2051	*) IM 2061	*) IM 2071	H = jalka/laippamoottori, liitäntäkotelo päällä S = jalka/laippamoottori, liitäntäkotelo oikealla T = jalka/laippamoottori, liitäntäkotelo vasemmalla
							
Jalka- ja laippamoottori, jalat, pieni laippa	IM B34 IM 2101	IM V17 IM 2111	IM 2131	IM 2151	IM 2161	IM 2171	J = jalka/laippamoottori, pieni laippa
							
Jalkamoottori, kaksi akselinpää	IM 1002	IM 1012	IM 1032	IM 1052	IM 1062	IM 1072	
							

*) Ei mainittu IEC 60034-7 -standardissa.

Kuvio 4. Moottoreiden asennusasentoja (ABB 2004, 6.)

2.4 Hyötysuhdeluokat

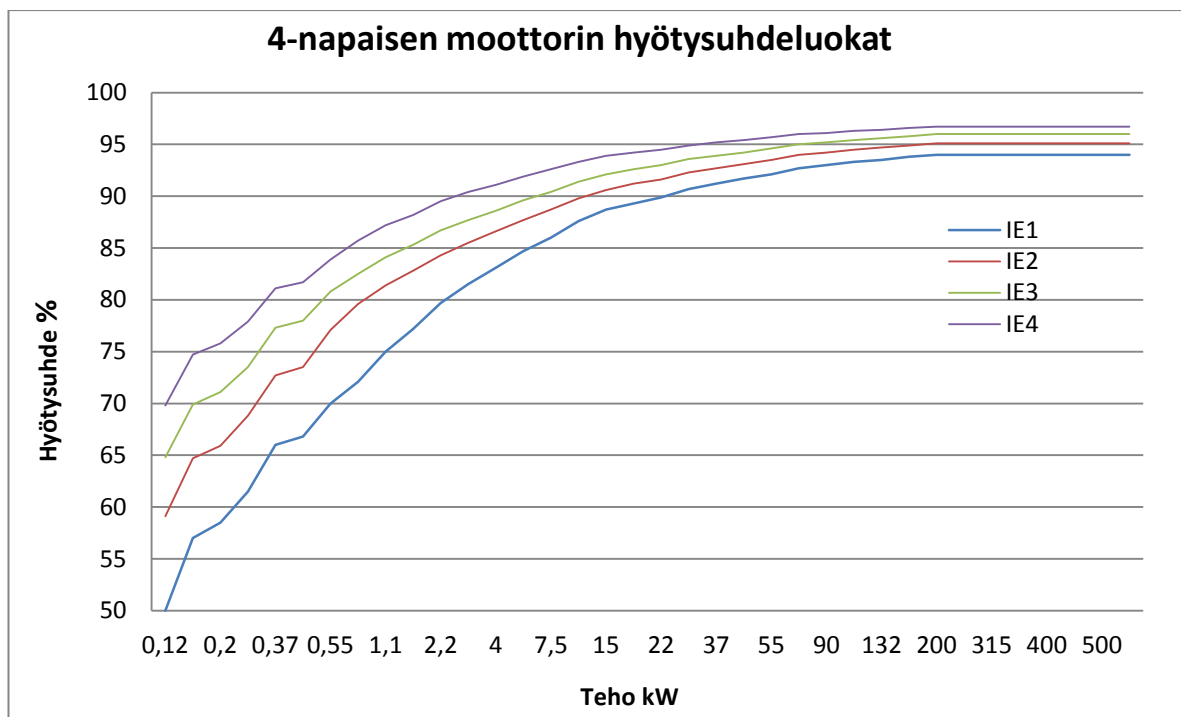
Moottorin hyötysuhde kuvaa moottorin kykyä muuttaa sähköenergia mekaaniseksi energiaksi. Hyötysuhteella on suuri merkitys moottorin elinkaarikustannusten kannalta. Kustannussäästön lisäksi korkean hyötysuhteen omaava moottori käy viileämpänä, mikä puolestaan pidentää moottorin kestoikää ja esimerkiksi kuumentaa laakereita vähemmän. Hyötysuhdeluokkien tarkoituksena on antaa tietoa moottoreiden hyötysuhteista ostajille ja käyttäjille sekä helpottaa eri valmistajien moottoreiden hyötysuhteiden vertailua. (SLO 2010; Kauppila ym. 2013, 7–8.)

IEC-standardi 60034-30:2008 pyrkii yhtenäistämään kansallisten ja yleismaailmallisten standardien hyötysuhdeluokat yhdeksi. Standardi määrittelee maailmanlaajuisesti käytettävät moottoreiden IE-hyötysuhdeluokat (International Efficiency), jotka korvaavat vanhat Euroopassa käytössä olleet EFF-luokat. Luokitus koskee jatkuvaan käyttöön (S1) tai jaksolliseen ajoittaiskäyttöön (S3) kun ajoittaiskäyttökerroin on 80 % tai suurempi, tarkoitettuja 2-, 4- ja 6-napaisia kolmivaiheisia oikosulkumoottoreita, joiden jännite on enintään 1000 V, taajuus 50 Hz tai 60 Hz ja teho 0,75–375 kW. Standardiin sisältyvät myös ATEX- ja jarumootorit. (Kauppila ym. 2013, 9; Kinnunen, 2014.)

Standardia päivitettiin vuonna 2014 ja julkaistiin standardi IEC/EN 60034-30-1:2014. Tämä standardi sisällyttää luokitteluun mukaan 8-napaiset, yksivaiheiset ja kestromagneettimoottorit. Lisäksi se esittelee IE4-hyötysuhdeluokan moottorit. Standardi koskee yksinopeusmoottoreita (yksi- tai kolmivaihe), joiden taajuus on 50 Hz tai 60 Hz, teho 0,12–1000 kW, jännite 50–1000 V, napaluku 2, 4, 6 tai 8, ympäristön lämpötila -20 °C – +60 °C sekä asennuskorkeus enintään 4000 m merenpinnasta. Standardin mukaiset IE-hyötysuhdeluokat ovat:

- IE1 = standard (vanha EFF2), normaali hyötysuhde
- IE2 = high (vanha EFF1), korkea hyötysuhde
- IE3 = premium, erittäin korkea hyötysuhde
- IE4 = super premium efficiency. (ABB 2014a, 4–5; Kinnunen, 2014.)

Jokaiselle teholuokalle ja napaluvulle on määritelty erikseen hyötysuhdeluokkien raja-arvot. Kuviossa 5 on esitettyä standardin mukaiset, nelinapaisen moottorin minimihyötysuhdearvot. (ABB 2014a, 5.)



Kuvio 5. 4-napaisen moottorin IEC-standardin mukainen minimihyötysuhdeluokittelu tehon mukaan (ABB 2014a, 6.)

Standardi määrittelee reunaehdot hyötysuhdeluokille; se ei ota kantaa luokituksen käyttöönottoon. Euroopan Unionissa vuonna 2009 hyväksytty MEPS-asetus (Minimum Energy Performance Standard) asettaa oikosulkumoottoreilla pakolliset energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset. Asetukset otetaan käyttöön vaiheittain seuraavasti:

- 16.6.2011 alkaen: moottoreiden on täytettävä hyötysuhdeluokka IE2.
- 1.1.2015 alkaen: teholuokassa 7,5–375 kW moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 tai IE2-luokan moottorit on asennettava taajuusmuuttajakäyttöisinä.
- 1.1.2017: Edellä mainitun lisäksi teholuokassa 0,75–7,5 kW moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 tai IE2-luokan moottorit on asennettava taajuusmuuttajakäyttöisinä. (Kauppila ym. 2013, 9.)

2.5 Käyttötavat

Moottoreiden nimelliskäyttötavat on standardoitu IEC 60034-1 -standardissa. Käyttötapojen ryhmittelyllä on pyritty siihen, ettei jokaista käyttöä varten tarvitsisi valmistaa juuri siihen sopivaa moottoria ja että yhden ryhmän käyttötapauksiin sopii ominaisuuksiltaan samanlainen moottori. Käyttötavat ilmaistaan moottorin kilpeen leimatulla tunnuksella S1–S10. Tunnus ilmaisee moottorin käyttötavan kuormitukselle, jonka moottorivalmistaja takaa moottoreilleen. Taulukossa 2 on esiteltyinä standardin mukaiset käyttötavat ja niiden määrittelyt. (Kauppila ym. 2013, 10; Hietalahti 2013a, 162.)

Taulukko 2. Moottoreiden käyttötavat määrittelyineen (Kauppila ym. 2013, 10–12.)

Käyttötavat

S1: Jatkuva käyttö

Moottori toimii vakiokuormituksella niin pitkän ajan, että loppulämpötila saavutetaan.

S2: Lyhytaikainen käyttö

Moottori toimii vakiokuormituksella määrätyn, lyhyen ajan, jolloin loppulämpötilaa ei saavuteta. Jokaista toiminta-aikaa edeltää niin pitkä tauko, että moottori saavuttaa ympäröivän ilman tai muun jäähdytysaineen lämpötilan. Suositeltuja käyttöaikoja 10, 30, 60 ja 90 min, jolloin leimaus esimerkiksi S 2 60 min.

S3: Jaksollinen ajoittaiskäyttö

Moottorin käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisona-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana eivätkä käynnistykset sanottavasti vaikuta lämpenemiseen. Ajoittaiskäyttökerroin on 15, 25, 40 tai 60 % ja jakson pituus 10 min. Leimaus esimerkiksi S3 25 %.

S4: Jaksollinen käynnistyskäyttö

Moottorin käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella ja seisona-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Moottori pysähtyy luonnollisella tavalla hidastuen tai mekaanisella jarrulla jarruttaen, jolloin moottori ei rasitu termisesti.

S5: Jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö

Moottorin käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella, jarrutusaika ja seisona-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Jarruna käytetään sähköistä jarrutusta, esimerkiksi vastavirtajarrutusta.

S6: Pysähtymätön ajoittaiskäyttö

Moottorin käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella ja tyhjäkäyntiaika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Ajoittaiskäyttökerroin on 15, 25, 40 tai 60 % ja jakson pituus 10 min.

S7: Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutuskäyttö

Moottorin käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä jarrutusaika. Jarrutus tapahtuu sähköisesti esimerkiksi vastavirtajarrutuksella. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana.

S8: Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö

Moottorin käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella määrättyllä nopeudella, jota seuraa välittömästi toiminta-aika toisella nopeudella ja toisella vakiokuormituksella. Pyörimisnopeuksia voi olla kaksi tai useampia. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Voidaan käyttää esimerkiksi napavaihtokoneilla.

S9: Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella

Moottorin käyttö muodostuu sallitulla käyttöalueella tapahtuvista kuorman ja nopeuden vaihteluista, jotka eivät yleensä ole jaksollisia. Käyttö sisältää usein tapahtuvia ylikuormituksia, jotka voivat merkittävästi ylittää nimelliskuormaa. Ylikuormituksen suuruus on huomioitava moottorin nimellistehon valinnassa.

S10: Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella

Moottorin käyttö muodostuu enintään neljästä osajaksosta erisuurella vakiokuormalla. Käyttöaika jokaisella vakiokuormalla on niin pitkä, että loppulämpötila saavutetaan.

2.6 Suojaus- ja kotelointiluokat

Standardeissa määritellään moottorin asennustavan ja -mittojen lisäksi moottorin kotelointitapa. Kotelointitavalla tarkoitetaan moottorin mekaanista suojausta ulkoisia tekijöitä (kuten kosteutta, pölyä) ja vieraiden esineiden sisään tunkeutumista vastaan. Merkintänä käytetään kirjain-numero-yhdistelmää, jossa ovat kirjaimet IP (International Protection) ja kaksi numeroa. Numeroista ensimmäinen (Taulukko 3) kertoo kotelolon kyvyn suojata käyttäjää, sekä koneen sisällä olevaa liitännää ulkopuolisilta tekijöiltä. Toinen numero (Taulukko 4) kertoo kotelolon vesi- ja kosteustiivyyden. Näiden lisäksi voidaan käyttää muita kirjaimia antamaan tarkempaa tietoa moottorin suojauksesta. Moottoreiden IP-luokka vaihtelee käyttökohteen mukaan, standardiliitännäkotelon suojausluokka on IP55. (Aura & Tonteri 1996, 524; ABB 2004, 7.)

Taulukko 3. Ensimmäisen IP-numeron merkitys (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2009.)

Ensimmäinen numero	Mekaaninen suojaus
0	Suojaamaton
1	Suojattu, kun esineen $\varnothing > 50$ mm
2	Suojattu, kun esineen $\varnothing > 12,5$ mm
3	Suojattu, kun esineen $\varnothing > 2,5$ mm
4	Suojattu, kun esineen $\varnothing > 1,0$ mm
5	Pölysuojattu
6	Pölytiivis

Taulukko 4. Toisen IP-numeron merkitys (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2009.)

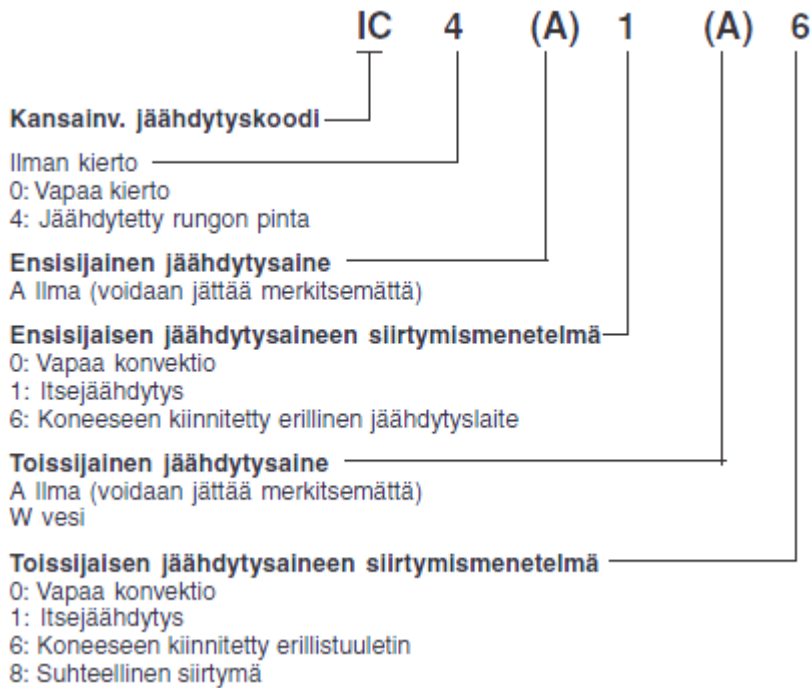
Toinen numero	Vesisuojaus
0	Suojaamaton
1	Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä
2	Suojattu tippuvalta vedeltä, kulma +/- 15°
3	Suojattu satavalta vedeltä, kulma +/- 60°
4	Suojattu roiskevedeltä
5	Suojattu joka suunnasta tulevalta vesisuihkulta
6	Suojattu voimakkaalta vesisuihkulta
7	Suojattu lyhytaikaiselta upotukselta
8	Suojattu jatkuvalta upottamiselta

2.7 Jäähdytystavat

Moottorin ottamasta tehosta osa muuttuu lämpöenergiaksi. Lämpeneminen rajoittaa kuormitusta ja lämpenemistä on poistettava jäähdyttämällä konetta. Pienehköissä moottoreissa jäähdytysaineena toimii yleensä ilma, suuremmissa vesi. Koteloiduilla moottoreilla on yleensä ulkopuolinen tuuletin, joka johtaa jäähdytysilmaa staattorin pintaa pitkin koteloinnin sisäpuolelle moottorin kuumiin osiin. (Kauppila ym. 2013, 14.)

Moottori on sijoitettava siten, että sen jäähdytys ei esty normaalissa käytössä, se ei ole alttiina likaantumiselle ja sen puhdistus on helposti suoritettavissa. Moottorin jäähdytyksen kannalta on tärkeää, että moottori saa riittävästi alle 40 °C:sta jäähdytysilmaa. Sijoitettaessa moottori tilaan, jossa esiintyy syövyttäviä kaasuja, pölyä tai muita epäpuhtauksia tai korkeita lämpötiloja, moottori on hyvä liittää ilmakanavaan, josta saadaan puhdasta ja viileää jäähdytysilmaa. (ABB 2000a, 13; Kauppila ym. 2013, 14.)

Jäähdytystapa riippuu kotelointiluokasta ja se ilmaistaan kotelointiluokan tavoin kirjain- ja numerosarjoilla. Kirjainyhdistelmä IC (International Cooling) kuvaa jäähdytystapaa, jota seuraa numeroiden (ja kirjainten) sarja. Niistä ilmenevät moottorin jäähdytysaineen kierron toteutustapa, jäähdytysaine ja kiertotapa. IEC-standardissa 60034-6 on esitetty sähkökoneiden jäähdytystavat ilmaiseva IC-luokitusjärjestelmä sekä yksinkertaistettu merkintäjärjestelmä. Kuviossa 6 on esimerkki jäähdytysmenetelmien merkitsemisestä standardin mukaisesti ja taulukossa 5 on sähkömoottoreiden tavallisimmat IC-luokat. (Aura & Tonteri 1996, 525; Puttonen 2011, 13; ABB 2000a, 13.)



Kuvio 6. Jäähdytysmenetelmien merkitseminen (ABB 2004, 7.)

Taulukko 5. Tavallisimmat sähkömoottoreiden IC-luokat (Kauppila ym. 2013, 14.)

Merkintä-koodi	Määritelmä
IC 00	Moottoria ympäröivä jäähdytysaine (yleensä ilma) jäähdyttää moottorin sisäosat.
IC 01	Kuten IC 00, paitsi että akselilla tai roottoriin asennettu tuuletin saa aikaan jäähdytysaineen (yleensä ilma) virtauksen.
IC 03	Jäähdytysmenetelmä sama kuin kohdassa IC 01, mutta koneeseen on asennettu itsenäinen tuuletin, jonka toiminta riippuu päämoottorista (esim. syöttö samasta liitännästä).
IC 06	Jäähdytysmenetelmä sama kuin kohdassa IC 01, mutta jäähdytysaineen virtaus saadaan aikaan moottoriin asennetulla tuulettimella, jonka toiminta on riippumaton päämoottorista.
IC 11	Koneeseen kanavan kautta tuleva jäähdytysaine virtaa vapaasti ympäristöön. Jäähdytysaineen virtaus saadaan aikaan tuulettimella, joka on asennettu akselilla tai roottoriin.
IC 31	Tuleva ja lähtevä jäähdytysaine virtaa kanavien kautta. Virtauksen aiheuttava tuuletin on kiinnitetty akselilla ja roottoriin.
IC 00 41	Suljettu, sisäinen jäähdytysaineenvirtaus ja vaippajäähdytys ilman ulkopuolista tuuletinta.
IC 01 41	Kuten IC 00 41, mutta lämmön poisto vaipan pinnalta tapahtuu ulkopuolisella akselille asennetulla tuulettimella, joka saa aikaan jäähdytysaineen virtauksen.
IC 01 51	Suljettu, sisäinen jäähdytysaineen virtaus. Lämpö johdetaan moottorin sisään rakennetun ilma-ilma-lämmönvaihtimen kautta (tavallisesti ns. putkijäähdytin) ulkopuoliseen jäähdytysaineeseen, jonka virtaus saadaan aikaan akselille asennetulla tuulettimella.
IC 01 61	Kuten IC 01 51, mutta lämmönvaihdin on rakennettu moottorin päälle.
IC W37 A71	Suljettu, sisäinen jäähdytysaineen virtaus. Lämpö johdetaan koneen sisään rakennetun vesi-ilma-lämmönvaihtimen kautta jäähdytysveteen, jonka virtaus saadaan aikaan joko verkkopaineella tai apupumpulla.
IC W37 A81	Kuten IC W37 A71, mutta lämmönvaihdin rakennettu moottorin päälle.

2.8 Eristysluokat

Moottorit on jaettu standardin IEC 60034-1 mukaan eristysluokkiin. Eristysluokkia on kolme B, F ja H ja ne ilmaisevat moottorin eristysmateriaalin korkeimman käyttölämpötilan normaaleissa käyttöolosuhteissa (Taulukko 6). Valmistajat käyttävät yleisimmin B- ja F-luokan eristysluokkia. Käämityksen eristeet valitaan siten, että niillä saavutetaan tietyssä eristysluokassa kohtuullinen elinikä. Jos moottori joutuu toimimaan liian kuumana esimerkiksi ylikuormituksen tai heikon jäähdytyksen johdosta, sen eristysluokan elinikä lyhenee puoleen jokaista 8–10°C:een lämpötilan nousua kohti. (PSK 7712, 1; Hietalahti 2013a, 168–169.)

Taulukko 6. Standardin mukaiset suurimmat sallitut käämityksen lämpötilat / lämpenemäarvot lämpötila-antureilla mitattuina ympäristön lämpötilan ollessa 40°C (PSK 7712, 1.)

Eristysluokka	B		F		H	
	Moottorin teho (MW)	< 5	5	< 5	5	< 5
Korkein sallittu lämpötila (°C)	130		155		180	
Korkein sallittu käämityksen lämpötila (°C)	130	125	150	145	170	170
Korkein sallittu käämityksen lämpenemä (°C)	90	85	110	105	130	130

2.9 Käyttöolosuhteet

Moottorin valintaan vaikuttavat sen käyttöolosuhteet: lämpötila, kosteus, värinä, käyttöpaikalla esiintyvät syövyttävät kaasut/höyryt, räjähdysvaaralliset aineet ja asennuspaikan korkeus merenpinnasta. (Hietalahti 2013b, 116.)

Käyttöympäristön lämpötilalla on pienentävä vaikutus moottorin kuormitettavuuteen (mitä korkeampi ympäristön lämpötila, sitä matalampi on sallittu kuormitusprosentti nimelliskuormituksesta) sekä moottorin elinikään. Moottorin ominaisuuksiin vaikuttaa myös asennuskorkeus. Jos asennuskorkeus on yli 1000 metriä meren pinnan yläpuolella, moottorin nimellisteho on pudotettava. Taulukos-

ta 7 on nähtävissä ympäristön lämpötilan ja asennuspaikan korkeuden vaikutus moottorin nimellistehoon. (Motiva 2012, 11.)

Taulukko 7. Ympäristöolosuhteiden muutoksen vaikutus nimellistehoon (Hieta-lahti 2013a, 109.)

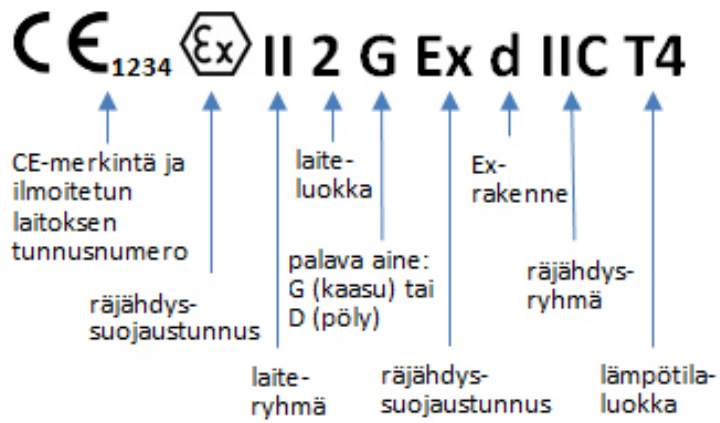
Lämpötila (°C)	30	40	45	50	55	60	70	80
Käyttöteho (%)	107	100	96,5	93	90	86,5	79	70
Korkeus (m)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	
Käyttöteho (%)	100	96	92	88	84	80	76	

ATEX-tilat

ATEX-tilalla (Atmosphères Explosibles) tarkoitetaan räjähdysvaarallista tilaa eli tilaa, jossa palavat nesteet, kaasut tai pölyt voivat aiheuttaa räjähdysvaaran. ATEX- (tai ex-) tilat luokitellaan vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten esiintymistodennäköisyyden mukaan eri tilaluokkiin. Tilaluokkia on kuusi ja niissä käytetään vain sinne sopivia laitteita. (Turvatekniikan keskus 2012, 4, 10–11.)

ATEX-laitedirektiivi 94/9/EY koskee räjähdysvaarallisissa normaali-ilmanpaineisen ilmaseoksen omaavissa tiloissa käytettäviä sähkölaitteita, joissa on syttymislähde. Räjähdysvaaran ilman kanssa voi aiheuttaa palava kaasu, sumu, höyry tai pöly. Ex-laitteita ovat kaikki Ex-tiloissa käytettäviksi tarkoitetut koneet ja laitteet. ATEX-laitesäädösten vaatimukset koskevat Ex-tiloissa käytettäviä laitteita ja niiden tulee täyttää säädöksissä määritellyt olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Ex-laitteet jaetaan kahteen ryhmään I ja II. Ryhmän I laitteet jaetaan kahteen laiteluokkaan (M1 ja M2) ja ryhmän II laitteet kolmeen eri laiteluokkaan (1, 2 ja 3) niiltä vaaditun turvallisuustason mukaan. Laiteluokan perusteella määräytyy myös laitteen sijoituspaikka sekä se, millaista tarkastusmenettelyä valmistajan on noudatettava vaatimuksen mukaisuuden osoittamiseksi ja CE-merkityksi. Ex-laitteen tunnistaa CE-merkinnän lisäksi olevasta räjähdysuojauksen erityismerkinnästä, joka sisältää Ex-merkin, laitteen ryhmän, laiteluokan ja tarkoitetun käyttöympäristön. Tällainen erityismerkintä on esitetty

kuviossa 7. (Turvatekniikan keskus 2012, 7–8; Suomen standardisoimisliitto 2011, 3.)



Kuvio 7. Räjähdyssuojauksen erityismerkintä (Tukes 2012.)

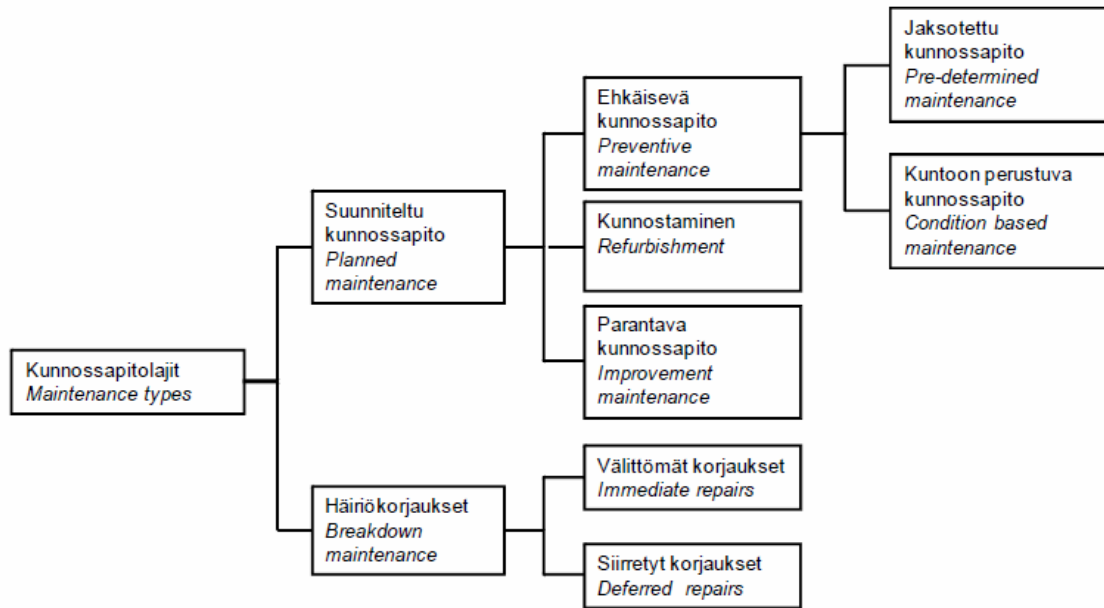
3 KUNNOSSAPITO

Kunnossapidon tavoitteena on pitää laitteet käyttökunnossa. Sen avulla ylläpidetään, säädetään ja säilytetään laitteiden toimintakuntoa siten, että tuotanto voi tapahtua mahdollisimman turvallisesti, tehokkaasti ja taloudellisesti. Kunnossapitoon kuuluvat myös rikkoutuneiden laitteiden ja komponenttien korjaukset, mutta nämä toimenpiteet eivät ole kunnossapidon päätarkoitus. (Mikkonen, Miettine, Leinonen, Jantunen, Kokko, Riutta, Sulo, Komonen, Lumme, Kautto, Heinonen, Lakka & Mäkeläinen 2009, 25; Järviö, Piispa, Parantainen & Åström 2007, 12.)

Kunnossapito määritellään monissa standardeissa; kansainvälisessä SFS-EN13306 -standardissa, kotimaisissa PSK 6201- ja PSK 7501-standardeissa, sekä useissa alan teoksissa (muun muassa John Moubray). Nämä määritelmät ovat pääosin toistensa kaltaisia. Niiden perusolettamuksena on, että kunnossapidolla pyritään pitämään laite toimintakunnossa tai kunnostamaan se normaaliin toimintakuntoon teknisten, hallinnollisten ja johtamisen toimenpitein. (Mikkonen ym. 2009, 26.)

3.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapito voidaan jaotella usealla tavalla, karkeasti jaoteltuna suunniteltuun ja korjaavaan kunnossapitoon. SFS-EN 13306 -standardi jaottelee kunnossapidon vian havaitsemisen mukaan ennen vikaa perustuvaan kunnossapitoon ja vikaantumisen tapahduttua perustuvaan kunnossapitoon. Standardit PSK 6201 ja PSK 7501 puolestaan jaottelevat kunnossapidon sen mukaan ovatko ne suunniteltuja vai aiheuttavatko ne tuotantohäiriön (Kuvio 8). Suunnitellussa kunnossapidossa kunnossapitotoiminto suoritetaan suunnitellusti joko käynnin tai seisokin aikana. Häiriökorjauksessa kunnossapitotoiminto suoritetaan häiriöseisokin eli tuotantokatkoksen aikana, jolloin voidaan tehdä myös suunniteltua kunnossapitoa. (Mikkonen ym. 2009, 95–98; Järviö ym. 2007, 47.)



Kuvio 8. Kunnossapitolajit PSK 6201-standardin mukaan (PSK 6201-standardi, 22.)

Standardit eivät huomioi kunnossapidon uudistumista, eivätkä tunne käsitettä RTF eli Run To Failure. Käsitteellä tarkoitetaan sitä, ettei kone ole ehkäisevän kunnossapidon piirissä, eli sille tehdään vain normaalit huoltotoimenpiteet ja käynninseuranta. Jos kone rikkoutuu, se korjataan tai korvataan. Tätä käytetään kohteissa, jotka ovat vähäisiä arvoltaan, eikä niiden vikaantuminen häiritse muuta tuotantoa. (Järviö ym. 2007, 48.)

Kunnossapitoyhdistys ry:n mukaan kunnossapitotoiminnassa on tunnistettavissa viisi pääalajia, joiden avulla hallitaan tuotantolaitoksen kunnossapitoa. Nämä pääalajit ovat huolto, ehkäisevä kunnossapito, korjaava kunnossapito, parantava kunnossapito sekä vikojen ja vikaantumisen selvittäminen. (Järviö ym. 2007, 49.)

Huolto

Huollolla pidetään koneen toimintaympäristö ja edellytykset mahdollisimman hyvänä. Huolto tapahtuu yleensä jaksotetusti eli päivittäin, viikoittain, vuosittain jne. (Järviö ym. 2007, 49.)

Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevään kunnossapitoon sisältyvät jaksotettu kunnossapito, kunnonvalvonta, kuntoon perustuva kunnossapito sekä ennustettava kunnossapito. Ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteet tehdään tarkoituksellisesti etukäteen ehkäisemään laitteen rikkoutumista. (Järviö ym. 2007, 49.)

Korjaava kunnossapito

Korjaavaan kunnossapitoon sisältyvät kunnostaminen ja korjaaminen. Sen avulla esiin tulleet viat korjataan ja palautetaan laite toimintakuntoon. (Järviö ym. 2007, 49.)

Parantava kunnossapito

Parantavassa kunnossapidossa parannetaan koneiden käytettävyyttä ja luotettavuutta. Sen avulla koneet myös modernisoidaan vastaamaan uudistuneita vaatimuksia ja uusinta tekniikan kehitystä. (Järviö ym. 2007, 49.)

Vikojen ja vikaantumisen selvittäminen

Vikojen ja vikaantumisen selvittämisellä paikannetaan tuotantoprosessiin epäsuotuisasti vaikuttavia tekijöitä (esimerkiksi väärä käyttötapa). (Järviö ym. 2007, 49.)

Tämä opinnäytetyö keskittyy ehkäisevään kunnossapitoon sekä kuntoon perustuvaan kunnossapitoon ja kunnonvalvontaan.

3.2 Ehkäisevä kunnossapito

Vaadittaessa koneelta luotettavaa toimintaa häiriöitä ei saa esiintyä ja koneen on pystyttävä suorittamaan haluttu toiminto suunnitellulla tavalla. Ehkäisevän kunnossapidon avulla prosessin luotettavuus saadaan paremmaksi, koska tehtävät toimenpiteet voidaan suunnitella, varaosat ja tarvikkeet hankkia sekä aika- tauluttaa työt hyvissä ajoin niin, että ne häiritsevät mahdollisimman vähän tuotantoa. (Järviö ym. 2007, 72–73.)

Ehkäisevä kunnossapito on suunniteltua kunnossapitoa, jonka avulla ylläpidetään koneen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion synty. Ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteet voivat olla jaksotettuja, jatkuvasti suoritettavia tai tarvittaessa tehtäviä. Pääsääntöisesti ehkäisevä kunnossapito on kuitenkin suunniteltua säännöllistä toimintaa joko koneen käydessä tai seisokkien aikana. (PSK 6201, 22; Järviö ym. 2007, 50.)

Jaksotettu kunnossapito

Jaksotettu kunnossapito on ehkäisevän kunnossapidon toimenpide, joka tehdään suunnitelluin jaksotuksin ilman edeltävää toimintakunnon tutkimusta. Jaksotetun kunnossapidon toimenpiteitä ovat huolto ja tilanteen mukainen huolto. Huolto sisältää kohteen tarkastamisen, säädön, puhdistamisen, rasvauksen, öljyn- ja suodattimen vaihdot sekä muut vastaavat toimenpiteet. Tilanteen mukainen huolto on kohteen, tuotannon tai organisaation tilan salliessa tehtävä toimenpide. (PSK 6201, 22.)

Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa seurataan laitteen kuntoa ja laite korjataan, kun laitteen kunto sitä vaatii. Seuranta voi olla aikataulutettua, jatkuvaa tai sitä tehdään vaadittaessa. Kuntoon perustuva kunnossapito perustuu pitkälti kunnonvalvontaan, tarkastuksiin sekä käyttöparametrien seurantaan. Kuntoon perustuva kunnossapito on tärkeää keskeytymättömissä prosesseissa, joissa yllättävät tuotannon pysäytykset ovat kalliita sekä kohteissa, joissa vikaantumiset voivat aiheuttaa turvallisuusriskejä. (Mikkonen ym. 2009, 97, 100 & 139.)

3.3 Käyttöseuranta ja kunnonvalvonta

Käyttöseuranta muodostaa kunnossapidon selkärangan ja on perusta kaikelle kunnossapitotoiminnalle. Käyttöseuranta on jatkuvaa, pienimuotoista normaalin

toiminnan yhteydessä suoritettua tarkkailua, hoitoa ja huoltoa. Yleensä käyttöseuranta suorittavat käyttäjät, mutta myös kunnossapitohenkilökunta osallistuu siihen. Käyttöseurannan toimenpiteisiin kuuluu muun muassa järjestyksen ja siisteyden ylläpito, pienet säätö- ja kunnostustoimenpiteet sekä kunnan seuranta. (Ansaharju 2009, 301–302.)

Kunnonvalvonnalla täydennetään käyttöseuranta ja hankitaan tietoa kunnostustarpeesta. Käyttöseuranta voidaan oikeastaan luokitella kunnonvalvonnan osaksi. Kunnonvalvonnan toimenpiteitä ovat aistein ja mittalaittein tehtävät tarkastukset ja valvonta sekä mittaustulosten analysointi. Kunnonvalvonnalla tuotetaan tietoja ehkäisevän kunnossapidon ja korjauksen suunnitteluun. Tuotettujen tietojen avulla koneita ja laitteita voidaan käyttää keskeytyksettä suunnittelun käyttöjakson ajan ja suorittaa korjaukset, huollot ja parannukset oikeaan aikaan. (Ansaharju 2009, 302; Mikkonen ym. 2009, 101.)

4 MOOTTOREIDEN KUNNONVALVONTA

Sähkömoottoreita on kaikissa teollisuuslaitoksissa, joissa ne pyörittävät mekaanisia laitteita. Moottorit kuitenkin vikaantuvat ja vanhenevat, joko moottorin käytöstä tai rakenteesta johtuvista syistä. Moottorin käytöstä johtuvia vikaantumisia aiheuttavat muun muassa verkon syöttöhäiriöt, väärät kuormitusolosuhteet, asennusvirheet, vaikeat ympäristöolosuhteet tai puutteellinen huolto. Moottorin rakenteen aiheuttamia vikaantumisia ovat muun muassa eristysten ikääntyminen tai kostuminen, tasapainotusvirheet, epäkeskeisyysvirheet, laakerien kuluminen ja vaurioituminen tai akselin taipuminen. Jotta moottorit pysyisivät käyttökuntoisina ja toimisivat hyvin, niiden vanhenemis- ja vikaantumistilanteiden havaitsemiseen tarvitaan kunnonvalvontaa. Kunnonvalvonnan kannalta taas on tärkeää tuntea erilaisia valvontamenetelmiä, joiden avulla kunnon heikkeneminen ja vikaantuminen voidaan tunnistaa hyvissä ajoin, ennen kuin kone rikkoutuu tai suojausjärjestelmä laukeaa. (Mikkonen ym. 2009, 369–370; PSK 7703, 2; ABB 2000b, 2.)

Erilaisia kunnonvalvonnan mittauksia on hyvin paljon. Ne voidaan kuitenkin luokitella aistinvaraisiin (näkö, kuulo, haju ja tunto) tarkastuksiin, fysikaalisten (lämpötila, paine) ja sähköisten (jännite, virta, teho, resistanssi) perussuureiden mittaamiseen, ainetta rikkomattomiin (ultraääni, röntgen) mittauksiin, värähtely- ja äänimittauksiin sekä öljyanalyyseihin (hiukkas- ja kemiallinen analyysi). Moottoreiden kunnonvalvonnan kannalta tärkeimpiä mittaushetkiä ovat laakerit, käämitykset ja jäähdytys. Mittausten suorittamisen lisäksi oleellista on mittaus tulosten järkevä käsittely ja dokumentointi. Ilman näitä ei pystytä havaitsemaan vaurion kehitystä eikä arvioimaan vaurioitumisen ajankohtaa. (Ansaharju 2009, 303; Aura & Tonteri 1996, 208; Kunnossapito menestystekijä 2015.)

4.1 Tarkastus ja puhdistus

Jotta moottori toimisi luotettavasti ja kestäisi normaalin käyttöiän verran, tulee se tarkastaa ja puhdistaa säännöllisin väliajoin. Tärkeintä moottorin kunnon kannalta on pitää se puhtaana ja kuivana puhdistamalla se säännöllisin välein,

koska lika nostaa helposti moottorin lämpötilaa 10–15 °C. Tuuletusilman pääsy moottoriin ei saa estyä, jonka takia myös tuuletusjärjestelmä on tarkistettava ja puhdistettava säännöllisesti. (ABB 2014c, 57; Kauppila ym. 2013, 30.)

Moottoria tarkkaillaan lähinnä aistinvaraisin havainnoin muun muassa kokeilemalla koneenosien lämpöä tai tunnustelemalla käsin tai jaloin moottorin värähtelyä. Näköhavaintojen avulla voidaan tarkkailla moottorin tiiviyyttä, liitosten lujuutta, korroosiota, voiteluöljyn laatua, arvokilven paikallaan oloa yms. asioita. Kuuloaistin avulla puolestaan voidaan tarkkailla moottorin käyntiääntä ja sen muutoksia sekä verrata niitä muistiin tallentuneisiin ääniin. Tuntoaistia voidaan käyttää tärinän, lämpötilan ja vuotojen tarkkailuun, ja hajuaistin avulla on mahdollista havaita vuotoja sekä tunnistaa vuotava aine. (Mikkonen ym. 2009, 418–427.)

4.2 Laakerit

Laakereiden tehtävänä on sallia akselin pyörivä liike kannatusrakenteessa, tukea ja ohjata toisiinsa nähden liikkuvia osia sekä kantaa koneen toiminnasta aiheutuvaa kuormitusta. Yleensä käytetään vierintälaakereita ja liukulaakereita. Vierintälaakereista yksiriviset urakuulalaakerit ovat nykyisin ylivoimaisesti eniten käytetty laakerityyppi. Vierintälaakerit koostuvat kahdesta vierintäradallisesta laakerirenkaasta, joiden välissä on vierintäelimiä eli kuulia, lieriö-, neula-, kartiotai tynnyrirullia. Normaalisti pidin ohjaa vierintäelimiä, pitää vierintäelimet toisistaan erillä sekä oikeassa asennossa, tasaisen välin päässä toisistaan. Vierintälaakerit soveltuvat erinomaisesti suurille pyörintänopeuksille, ja niitä voidaan kuormittaa säteittäisesti ja aksiaalisesti. Lisäksi on laakerityyppejä, jotka soveltuvat molemmilla tavoilla tapahtuvaan kuormitukseen. Eniten käytetty vierintälaakeri on urakuulalaakeri (Kuvio 9). (Ansaharju 2009, 135–148; Schaeffler Finland Oy 2015.)

Liukulaakerit koostuvat yleensä sisä- ja ulkorenkaasta, jotka on valmistettu eri materiaaleista (Kuvio 9). Liukulaakereiden liike on joko aksiaalinen, pyörivä tai näiden yhdistelmä ja liukumisliike tapahtuu suoraan laakerirungon liukupinnan

ja laakeroidun osan välillä. Liukulaakerit jaotellaan niiden rakenteen ja voitelutavan mukaan. Liukulaakereita käytetään yleensä suhteellisen hitaasti pyörivissä ja kohtalaisen suuren kuormituksen omaavissa kohteissa, korkeissa ja matalissa lämpötiloissa sekä erityisesti silloin, kun tilaa on niukasti. Monipuolisten ominaisuuksien ansiosta niitä käytetään melkein kaikilla teollisuuden aloilla. (Schaeffler Finland Oy 2015.)



Kuvio 9. Vierintälaakeri (urakuulalaakeri) ja liukulaakeri (säteittäisnivellaakeri) (Schaeffler Finland Oy 2015.)

Laakereiden nimelliset kestoiät

Laakereiden kestoikä tarkoittaa pyörimisnopeutta, tai tietyllä vakiopyörimisnopeudella tapahtuvaa käyttötuntimäärää, jonka laakeri voi pyöriä ennen kuin niihin ilmaantuu väsymisen merkkejä. Laakereiden nimellistä kestoikää kuvataan kirjainnumeroyhdistelmillä L_1 ja L_{10} . L_1 tarkoittaa, että 99 % laakereista, ja L_{10} , että 90 % laakereista, saavuttaa tai ylittää laskennallisen kestoiän. Laakereiden kestoikä riippuu useista tekijöistä, kuten laakereiden kuormituksesta, moottorin nopeudesta, käyttölämpötilasta ja voiteluaineen laadusta. Laakereiden yleisiä kestoikäaikoja standardimoottoreilla on 40 000 h hihnavetoisilla ja 100 000 h suorakytkentäisillä. (ABB 2014b, 73 & 98; ABB 2004, 17.)

Laakeriviat

Yleisin moottorivian syy johtuu laakereista. Tosin vain murto-osa käytössä olevista laakereista vaurioituu. Tyypillisimpiä syitä laakerivaurioihin ovat lika, kos-

teus, ylikuormitus, voitelun puute, tehottomat tiivisteet tai sovitteet ja valmistusprosessin jälkeen aiheutetut vauriot. Jokainen mekanismi aiheuttaa erilaisen vaurion jättäen oman leimansa laakeriin. Yleensä tutkimalla vahingoittunut laakeri löydetään vahingon aiheuttamisen syy ja siten vahingon toistuminen voidaan estää. (Kunnossapito menestystekijä 2015.)

Laakerivirrat

Laakerivirrat ovat seurausta laakerin voitelukalvon yli vaikuttavasta vierintäraton välisestä jännitteestä eli akselijännitteestä. Akselijännitteen voivat aiheuttaa muun muassa moottorin magneettinen epäsymmetria, akselin staattinen jännite tai taajuusmuuttajakäytöt. Kun akselin jännite ylittää laakerin voitelukalvon läpilyöntikestoisuuden, se synnyttää virtaimpulsseja, jotka toistuessaan voivat vähitellen kuluttaa laakerin vierintäpintaa. Seurauksena tapahtuu laakereiden ja tiivisteiden mekaanista vaurioitumista, jonka vuoksi laakerit voidaan joutua vaihtamaan jo lyhyen käyttöajan jälkeen. Laakerivirtojen aiheuttamia vahinkoja voidaan ehkäistä oikealla kaapeloinnilla, varmistamalla kunnollinen maadoitus sekä suurtaajuisten yhteismuotoisten virran vaimentamisella. (Mikkonen ym. 2009, 342–343, 404; ABB 2000c, 5–6, 15.)

Laakereiden kunnontarkkailu

Moottorin käyntiääntä on hyvä tarkkailla laakerivaurioiden välttämiseksi. Myös laakereiden lämpötilaa voidaan mitata sekä seurata voitelua, erityisesti kun kyseessä ovat tärkeät ja rasitetuimmat laakeroinnit. Laakeri voi varoittaa vaurioitumisesta jo useita viikkoja ennen lopullista vaurioitumista. Laakerin kunto voidaan arvioida yksinkertaisesti painamalla puukepin toinen pää korvaa vasten ja toinen laakeripesää vasten. Jos kuuluu hiljaista hyrinää, laakeri on kunnossa. Jos kuuluu viheltävää tai kitisevää ääntä, voi kyseessä olla puutteellinen voitelu tai liian pieni välilyös. Rätisevä ja raapiva ääni on merkki laakerin likaantumisesta ja kolina vioittumisesta. Laakerin käyntiääntä voidaan kuunnella myös stetoskoopilla tai sähköisillä, värähtelyä mittaavilla laitteilla. (Kauppila ym. 2013, 29; Ansaharju 2009, 165.)

Laakerin lämpötilaa voidaan tarkkailla käsin tunnustelemalla laakeripesää, pintalämpömittarilla tai laakeriin asennetulla kiinteällä vastuslämpömittarilla (Pt-100). Kohonnut lämpötila on usein merkki siitä, että laakerin toiminnassa on jotain vikaa. Laakereiden korkein sallittu lämpötila riippuu muun muassa käyttöoloista ja voiteluaineesta. Vaikka laakeri kestää jopa 120 °C lämpötilan, on tarkkailua hyvä tehostaa, jos lämpötila kohoaa yli 60 °C. Korkeassa lämpötilassa voiteluaineen ominaisuudet heikkenevät ja laakeri voi sen seurauksena vaurioitua nopeasti. Jatkuva lämpötilan nousu voi olla merkki alkavasta laakerivauriosta. Nopea ja jatkuva lämpötilan kohoaminen voi johtua liiasta, liian vähästä tai sopimattomasta voiteluaineesta, liian pienestä laakerivällyksestä, akselin ja laakeripesän välillä vallitsevasta suuntavirheestä, laakeroinnin ylikuormituksesta tai hankaavista tiivisteistä. (Ansaharju 2009, 165; ABB 2000a.)

Yksistään kohonnut lämpötila ei vahingoita laakeria, ellei se ole sitä ennen pillannut voiteluainetta. Laakerin toimintaa voidaan arvioida myös laakeripesässä olevan ja voiteluventtiilistä poistuvan rasvan väristä ja laadusta. Rasvan tumma väri johtuu yleensä siitä, että laakerista on kulumisen seurauksena irronnut pieniä hiukkasia, jotka ovat sekoittuneet rasvaan. (Kauppila ym. 2013, 30.)

4.2.1 Voitelu

Voitelu on tehokkain tapa vähentää kitkaa ja pienentää kulumista. Sen avulla myös voidaan erottaa pinnat toisistaan, jäähdyttää kosketusta, vaimentaa värähtelyä, suojata osia korroosiolta, estää epäpuhtauksien tulo voideltavaan kohtaan ja toisaalta poistaa epäpuhtaudet pois kosketusalueelta. Hyvän voitelun perusteena on oikein valittu voiteluaine, varastoinnin ja jakelun puhtaus, voiteluaineen oikeamääräinen käyttö oikeassa paikassa sekä säännölliset puhdistukset ja tarkastukset. (Kunnossapitoyhdistys Promaint ry 2013, 11 & 199.)

Laakerit ovat yleisin koneen voideltava komponentti. Oikean voitelun avulla voidaan vaikuttaa huomattavasti koneen käyttövarmuuteen ja eliniän pitenemiseen sekä tuotannon ja kunnossapidon kustannuksiin saaden aikaan taloudellista hyötyä. Laakerit ovat joko jälkivoideltuja tai kestavoideltuja. Jälkivoideltujen laa-

kereiden käyttöikä on pidempi. Laakereiden jälkivoiteluun voidaan käyttää keskusvoitelujärjestelmiä tai käsinvoitelua riippuen voitelukertojen tiheydestä. Voiteluväli määritellään usein kokemusten avulla ottaen huomioon käyttöolosuhteet. Tavallisesti käytetään rasva- tai öljyvoitelua, riippuen koneen teknisistä vaatimuksista, rakenteesta, kuormituksesta ja pyörimisnopeudesta. (Kunnossapitoyhdistys Promaint ry 2013, 202, 205–206; Ansaharju 2009, 141.)

Suuri osa laakereista on rasvavoideltuja, laakerivalmistajien mukaan 90 %. Yleisimmin rasvavoitelua käytetään vierintälaakereiden voitelussa, mutta myös hitaasti pyörivissä liukulaakereissa, edestakaista liikettä tekevissä akselitapeissa ja hitaasti pyörivissä hammaskosketuksissa. Rasvavoitelu voidaan tehdä manuaalisena kertavoiteluna tai kestavoideltujen laakereiden tai keskusvoitelujärjestelmän avulla. Voitelussa laakerista ulos pursuava rasva muodostaa laakeria suojaavan kerroksen, joka estää lian, pölyn ja nesteiden pääsyn laakeriin. Voiteluaine ei kuljeta lämpöä pois laakerista, vaan lämpö poistuu säteilemällä ilmaan ja johtumalla akselia pitkin muihin rakenteisiin. Tämän vuoksi laakerin käyntilämpötila saa kohota enintään noin 60°C:een, koska korkeammissa lämpötiloissa rasvan voitelukyky heikkenee. (Kunnossapitoyhdistys Promaint ry 2013, 43 & 203; Ansaharju 2009, 141.)

Öljyvoitelua käytetään tavallisimmin nopeasti pyörivissä koneissa ja kuormitusten ollessa suuria. Voitelu on usein järjestetty kiertovoiteluna, jossa öljypumppu kierrättää öljyä putkistoa pitkin laakereihin ja ylimääräinen öljy valuu säiliöön. Öljyvoitelulla on siten voitelun lisäksi jäähdyttävä vaikutus. (Ansaharju 2009, 141.)

4.2.2 Värähtelymittaukset

Koneet, tai yleensä niiden roottori tai akseli, värähtelevät käydessään. Värähtelyt kulkeutuvat tavallisesti laakereiden kautta koneen runkoon, josta ne voidaan mitata. Yleisimmin käytetty menetelmä on värähtelymittaus, jota käytetään koneiden kunnon- ja käytönvalvontaan sekä vikaselvityksiin. Useimmiten värähtelymittauksilla voidaan mahdolliset viat todeta jo hyvissä ajoin ennen niiden ke-

hittymistä kriittiseksi koneen käytön kannalta. (ABB 2000b; Mikkonen ym. 2009, 281.)

Värähtelymittauksiin perustuvia menetelmiä pidetään tehokkaimpina koneiden kunnonvalvonnassa kun arvioidaan dynaamisia ilmiöitä, kuten laakeroinnin kuntoa tai tasapainoa. Värähtelymittausmenetelmillä valvottavat suureet perustuvat tärinän valvontaan siirtymänä, nopeutena, kiihtyvyytenä tai kiihtyvyyden derivaattoina. Useimmiten tärinää valvontaan nopeutena. Matalataajuisen värähtelyn (alle 10 Hz) tärinää voidaan valvoa siirtymänä ja suuritaajuisista (yli 1000 Hz) värähtelyä kiihtyvyytenä. Liukulaakeroitujen moottoreiden akselivärähtelyä valvotaan siirtymänä, jonka avulla voidaan valvoa myös akselin asemaa laakerin sisällä. (PSK 5706, 2.)

Käytettyjä värähtelyvalvontamenetelmiä on hyvin monia. Yleisimmät niistä ovat tunnuslukujen kehittyminen, eli trendin seuranta, sekä taajuusanalyysiin perustuva valvonta, eli spektrianalyysi. Trendin seurannassa suunnitellaan mittausmääritykset ja tunnusluvut. Tunnuksiluku ilmaisee yksittäisen vian kehitystä, jolloin tunnusluvusta voidaan päätellä, mistä viasta on kysymys ja miten nopeasti se kehittyy eli tunnusluvusta muodostetaan trendi. Yleisesti käytettyjä tunnuslukuja ovat muun muassa pyörimistaajuudella tapahtuvan värähtelyn voimakkuus, valitun taajuuskaistan tehollisarvo tai aikatasosta laskettu tehollisarvo. Tunnuksilukuvalvonnassa voidaan käyttää myös prosessiparametrejä, kuten lämpötilaa tai pyörimisnopeutta. Spektrianalyysissä tarkastelukohteina ovat värähtelynopeus tai värähtelykiihtyvyys. Analyysissä lasketaan aikatasosignaalista FFT-muunnoksella (Fast Fourier Transform) taajuusspektri, jonka suuruus kertoo värähtelyn voimakkuuden. Värähtelymittauksissa käytettävät analyyttorit tekevät muunnoksen automaattisesti. (Mikkonen ym. 2009, 232–283; PSK 5706, 2–7.)

Edellä mainitut menetelmät sopivat matalataajuisen värähtelyn mittaukseen. Korkeataajuisen (yli 20 kHz:n) värähtelyn mittaamiseen on myös useita mittausmenetelmiä, joista tunnetuimpia ovat iskusysäysmittaus, akustinen emissio, SEE (Spectral Emitted Energy) ja verhokäyrämenetelmä. Tyypillisesti näillä

menetelmillä valvotaan vierintälaakereiden, hammasvaihteiden ja liukulaakereiden kuntoa sekä niiden voitelutilannetta ja voiteluaineen sisältämiä epäpuhtauksia. (Mikkonen ym. 2009, 247 & 289.)

Värähtelymittauksessa käytettävä mittausjärjestelmä valitaan mahdollisten vikojen kehittymisnopeuden ja kohteen suojaustarpeen mukaan. Mittausjärjestelmänä käytetään:

- kiinteästi asennettua järjestelmää, kun laitteen vikaantumisenopeus ja häiriöherkkyys ovat suuria, mittausväli lyhyt tai kuormitusvaihtelu niin suurta, että vertailukelpoisia mittausarvoja on vaikea saada. Tapahtuva tiedonkeruu voi olla jatkuvaa (vikojen kehittyminen vaurioiksi hyvin nopeaa) tai määrävälein tapahtuvaa.
- puolikiinteää järjestelmää, kun laitteen luokse on vaikea päästä tai kun halutaan parantaa kohteen mittausten luotettavuutta siirrettävän anturin käyttöön verrattuna. Näissä tapauksissa laitteeseen on asennettu kiinteästi anturit, jotka on johdotettu sellaiseen paikkaan, jossa mittaus suoritetaan.
- kannettavaa mittalaitetta, kun laitteen luokse on helppo päästä, vikaantuminen on hidasta suhteessa mittausväliin tai täydentämään kiinteiden mittalaitteiden antamia tietoja. Kannettavassa mittalaitteessa mittaus tapahtuu siirrettävällä anturilla. (PSK 5705, 6–7.)

Värähtelymittausten mittausvälin määrittämisessä tulee huomioida käytettävä valvontamenetelmä, kriittisyys, häiriöherkkyys, vikojen kehittymisnopeudet ja kunnossapitohistoria. Mittausvälin määrittämiseen voidaan käyttää apuna PKS 5705 standardin taulukkoa 1 (Liite 1.) (PSK 5705, 8–9.)

4.2.3 Lämpötilanmittaukset

Lämpötilaa voidaan mitata koskettavilla ja koskemattomilla menetelmillä. Koskettavina mittausmenetelminä käytetään pintalämpömittaria ja lämpötilantureita. Näistä jälkimmäinen on yleisimmin käytetty. Käytettävät lämpötila-

anturit ovat kiinteästi moottorin käämitykseen, laakereihin tai jäähdytysilmaan valmistusvaiheessa kiinnitettyjä metallivastusantureita (Pt-100 ja Pt-1000) tai termopariantureita. Metallivastusanturin mittaussuunnitelma perustuu anturin resistanssin muutoksen havaitsemiseen muuttuneen lämpötilan mukaan. Termoparianturin mittaussuunnitelma perustuu siihen, että anturin virtapiiriin muodostuu lämpötilaeroon verrannollinen jännite, josta mitattava lämpötila voidaan havaita jännitteen lineaarisoinnin jälkeen. (Mikkonen ym. 2009, 439–441; PSK 7712, 2.)

Koskettamattomat, ainetta rikkomattomat lämpötilanmittausmenetelmät, perustuvat lämpösäteilyn vastaanottamiseen. Saatua mittaus tulosta on verrannollinen mitattavan kohteen emissiokertoimeen, joka on erilainen eri materiaaleilla. Mittauksen absoluuttinen arvo ei ole tarkka. Sitä voidaan kuitenkin parantaa kalibroimalla laitteelle sopiva emissiokorjauskerroin mitattavan kohteen mukaan tai merkkamalla mittauspiste mustalla maalilla. Jos halutaan selvittää lämpötilajakaumaa, käytetään lämpökameraa. Lämpökamera mittaa kuvauskohteen lähettämän lämpösäteilyn voimakkuutta ja muuntaa sen lämpötilajakauman mukaan kuvaksi. Saatua kuvaa voidaan tarkastella reaaliaikaisesti näytöltä tai kameran omalla etsimellä. Koska lämpökameralla on helppo havaita lämpötilaeroja, se soveltuu hyvin esimerkiksi laakerien lämpötilan mittaamiseen, jolloin mahdolliset laakeriviat saadaan selville, ennen kuin ne ehtivät pahentua ja aiheuttaa vahinkoa (kuten tulipaloja). (PSK 7712, 2; Mikkonen ym. 2009, 439–446.)

Seuraamalla käämityksen, laakereiden, jäähdytysilman ja koneen ulkopinnan lämpötiloja voidaan havaita sellaisia lämpötilamuutoksia, jotka voivat olla eriasteisten vikojen tai epänormaalien käyttöolosuhteiden aiheuttamia. Jotta kyetään parhaiten havaitsemaan poikkeavat lämpenemiset, eri ajankohtien mittausarvojen tulisi perustua samanlaiseen moottorin kuormitus tilanteeseen. (PSK 7712, 2.)

4.3 Käämitykset

Hyvin yleinen moottorivian syy johtuu käämityksessä. Vian aiheuttajana voi olla muun muassa käämien kuumeneminen, kuluminen, kosteus tai moottorin jumitilanteet. Käämien kuumenemista aiheuttavat moottorin jumitilanteet, kuten käynnistyksen epäonnistuminen tai liian suuri kuorma. Ensimmäisessä jumitilanteessa käämityksissä kulkee suuri käynnistysvirta, joka kuumentaa niitä sekä moottorin levypakettien rakenteita. Jälkimmäisessä jumitilanteessa ylikuormitus kuumentaa käämitystä aiheuttaen käämilangan pinnalla olevan eristeen ja johdinkuparin välisen rajapinnan heikkenemisen. Tämä johtaa staattorikämmityksen kierrosten väliseen oikosulkuun ja sitä kautta kuumentaa käämitystä. (Mikkonen 2009, 371–372.)

Erilaiset virransyötöstä johtuvat ongelmat aiheuttavat niin ikään moottorin kuumenemista. Tällaisia ongelmia ovat staattorikämmityksen vaihesyötön liitoksen löystymisen tai katkeamisen aiheuttamat virtaepäsymmetriat sekä staattorikämmityksen yhden vaiheen eristyksen vaurioitumisen aiheuttamat jänniteepäsymmetriat. (Mikkonen 2009, 375–376.)

Myös esimerkiksi moottorin pitkäaikainen ylikuormitus, puutteellinen jäähdytys tai usein tapahtuvat käynnistykset ja pysäytykset nostavat staattorikämmityksen lämpötilaa ja lyhentävät siten myös moottorin käyttöikä. Kuumentunut roottori puolestaan nostaa akselin lämpötilaa, joka voi aiheuttaa akselin taipumisen tai laakereiden lämpötilan nousun. Edellä mainitut vikaantumismekanismit, sekä muun muassa sähköiset rasitukset, voivat aiheuttaa käämieristeiden vanhetessa osittaispurkauksia heikentäen eristemateriaalien välillä olevia käämieristeen sidoksia. (Mäkinen & Kallio 2004, 157; Mikkonen 2009, 371, 377–378.)

Staattorikämmitys voi myös kostua esimerkiksi pidempien seisokkien yhteydessä, etenkin kesällä, kun ilmankosteus on korkeampi. Pahimmassa tapauksessa käämitys vettyy ja sen erityskyky romahtaa, jolloin voi aiheutua maa- tai oikosulku. Sen vuoksi moottorin eristyskyky tulee varmistaa eristysvastusmittauksella pidemmän seisokin tai pitkäaikaisen varastoinnin jälkeen. Staattorikämmi-

tyksen eristys voi heikentyä ja vaurioitua myös likaantumisen tai syövyttävien aineiden johdosta aiheuttaen muun muassa eroosiota. (Mikkonen 2009, 372–372.)

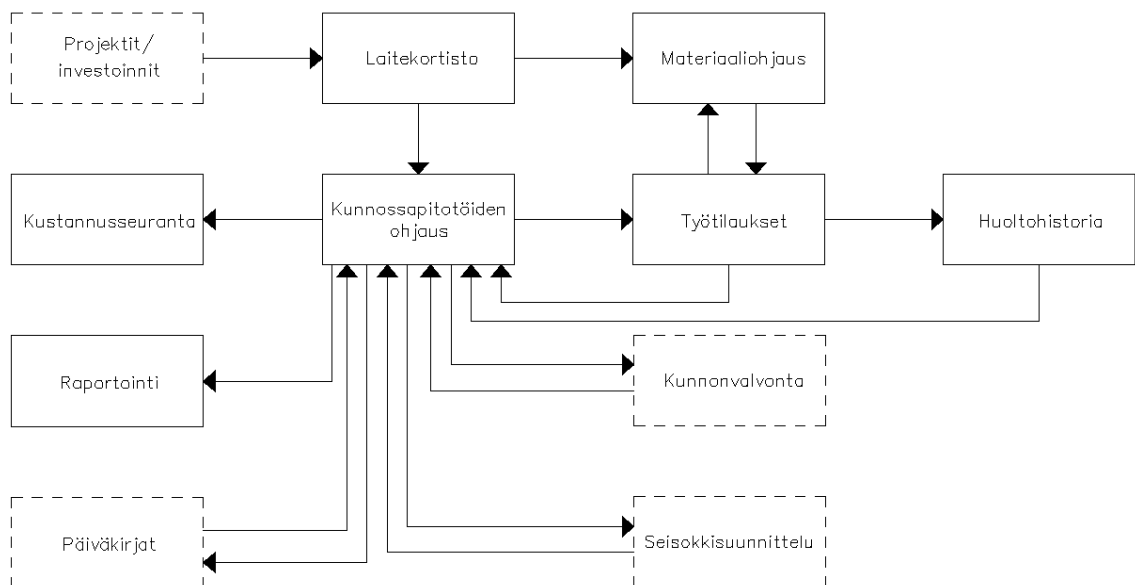
Eristysresistanssin mittauksella tarkastetaan moottorin käämitysten kunto. Eristysvastusmittaus voidaan suorittaa moottorin huollon yhteydessä, tai kun epäillään moottorin käämierityksessä olevan vikaa. Lisäksi eristysvastusmittaus suoritetaan yleensä uusille moottoreille ennen niiden käyttöönottoa. Uuden, puhtaan ja kuivan käämityksen eristysvastus on yleensä 200 M Ω - 20 000 M Ω ja vanhan, kuivan ja suhteellisen puhtaan käämityksen eristysvastus on kymmenistä M Ω :sta satoihin M Ω :hin. Eristyksen rakenteesta ja kunnosta riippuen kosteus saattaa vaikuttaa voimakkaasti eristysvastusarvoon. (PSK 7704, 1–2.)

Vikaantumismekanismeja voidaan valvoa muun muassa relesuojauksella, käynninaikaisilla osittaispurkausmittauksilla tai ohjaukseen liitetyllä käämin lämpötilamittauksella. Moottori on mahdollista myös käämiä uudelleen, mutta silloin moottorin hyötysuhde pienenee. Korkealaatuisilla moottoreilla hyötysuhteen pieneneminen ei ole niin huomattavaa kuin heikkolaatuisilla moottoreilla. (Mikkonen 2009, 370–379; ABB 2003, 6.)

5 KUNNOSSAPITOJÄRJESTELMÄ

Kunnossapitojärjestelmä liittyy olennaisesti ennakoivaan kunnossapitoon ja onkin ennakoivan kunnossapidon perustyökalu. Kunnossapitojärjestelmällä hallitaan kunnossapidon toiminnanohjausta ja materiaalivirtoja, ja siitä saatuja tietoja hyödynnetään koneiden kunnonvalvonnassa. Kunnossapitojärjestelmästä on yhteydet tuotantolaitoksen muihin tietojärjestelmiin, kuten tuotannonohjaus- ja automaatiojärjestelmiin, joista saatuja tietoja täydennetään kunnonvalvontajärjestelmän tuottamilla tiedoilla. Kunnossapitojärjestelmää käyttävät oma kunnossapitohenkilöstö ja tuotannon henkilöstön sekä kunnossapitoa mahdollisesti hoitava ulkopuolinen yritys. (Mikkonen ym. 2009, 111–116.)

5.1 Kunnossapitojärjestelmän toiminnot



Kuvio 10. Kunnossapitojärjestelmän ominaisuuksia ja toiminnallisuuksia (Mikkonen ym. 2009, 116.)

Kunnossapitojärjestelmiä on useita erilaisia; integroituja, erillisiä tai asiakkaille tehtyjä pakettiohjelmiä. Kunnossapitojärjestelmät ovat toteutettavissa eri tavoilla ja niissä voi olla monipuolisia laajennusmahdollisuuksia, mutta perusominaisuuksiltaan ne ovat kuitenkin hyvin samanlaisia (Kuvio 10). Tavallisesti kunnossapitojärjestelmä sisältää seuraavia toimintoja:

- Laitekortisto on koko kunnossapitojärjestelmän ydin. Se on eräänlainen tietokanta laitoksen kunnossapidon kohteista, jonka tietoja muut sovellukset hyödyntävät. Kortisto sisältää kuvauksen tuotantoprosessista ja sen järjestelmistä hierarkioineen. Kortistossa on omat kortistot laitepaikoille, laitteille, varaosille jne. ja siitä nähdään näiden yhteydet toisiinsa.
- Päiväkirjat ovat yksinkertaisia muistivihkoja tuotannon ja kunnossapidon tapahtumista. Niihin voidaan kirjata tietoja tuotannossa tapahtuneista vioista ja häiriöistä sekä tehdyistä kunnossapitotoimista. Päiväkirjojen avulla viestitään muille kunnonvalvontajärjestelmän käyttäjille kunnossapidossa tapahtuneista muutoksista.
- Posti on kunnossapitojärjestelmän oma sisäinen postijärjestelmä, jonka avulla käsitellään ja hyväksytään kunnossapidon työtilaukset, tilauskehotukset ja laskut sekä lähetetään ja vastaanotetaan viestejä eri käyttäjien kesken.
- Kunnossapitotöiden ohjaus on sovellus, joka pitää huolta työtilauksista, vikailmoituksista, ennakkohuolloista sekä työ-, seisokki- ja projekti-suunnittelusta. Kunnossapitotyöt jaotellaan kolmeen ryhmään; vikaseuranta, ennakkohuolto ja työaikasuunnittelu, joihin on omat sovelluksensa.
- Materiaalien ohjaus on sovellus, joka sisältää varasto- ja ostojärjestelmät. Varastojärjestelmä kertoo laitteen varaosatilanteen sekä varaosien toimittajat hintoineen. Järjestelmässä on rekisteri, johon kirjataan varastotapahtumat ja joka huolehtii tiettyjen minimivarastojen olemassaolosta. Ostojärjestelmä huolehtii tavallisista kunnossapidon hankinnoista, tilausten kirjaamisesta ja seuraamisesta.
- Kustannuslaskenta kirjaa ylös kunnossapidon alueella syntyneet kustannukset ja sen avulla seurataan kunnossapitotoiminnan taloudellisuutta.

- Myynti- ja laskutusjärjestelmät-osasovellus, joka huolehtii sellaisten kunnossapito-organisaatioiden, joiden on pidettävä kirjaa asiakkaiden tekemistä kunnossapitotilauksista, myyntitilauksista ja niiden laskuttamisesta.
- Pääkäyttäjän toiminnot-osasovellus, joka sisältää järjestelmän ylläpitoon tarvittavia toimintoja kuten käyttäjätunnuksien ylläpitoa.
- Raportointi-sovellus vastaa kunnossapitojärjestelmän sovelluskohtaisten, valmiiden raporttien tekemisestä, joita voidaan rajata erilaisilla rajausehdoilla. (Mikkonen ym. 2009, 111–119; Järviö ym. 2007, 220.)

5.2 Ennakkohuoltosuunnitelmat

Ennakkohuoltojärjestelmä on kunnossapitotöiden ohjaukseen kuuluva osasovellus, jonka avulla hallitaan määrätyn välein tehtäviä huolto-, tarkastus-, mittaus- ja puhdistustöitä. Laitteille, jotka kuuluvat ennakkohuolto-ohjelmaan, on määriteltävä tehtävät toimenpiteet ja niiden jaksotus. Yleinen jaksottelutapa perustuu kalenteri-, käyttötunti- tai tuotantomäärään, kehittyneimmissä järjestelmissä laitteista saatavaan reaaliaikaiseen kuntotietoon. (Järviö ym. 2007, 233.)

Kalenteriaikainen ennakkohuoltojen ajoitustapa mahdollistaa viikkolistojen ja sitä kautta resurssien ja materiaalitarpeden suunnittelun etukäteen, koska aikataulu pysyy suhteellisen muuttumattomana. Aikataulun muuttumattomuuden vuoksi se ei kuitenkaan reagoi laitteen muuttuneisiin olosuhteisiin. Tämä puolestaan johtuu siitä, että huoltovälit ja toimenpiteet määritellään keskiarvo-olosuhteisiin eli kevyeen rasitukseen joutuvat koneet huolletaan liian usein ja raskaissa olosuhteissa olevat koneet liian harvoin. Ongelma voidaan ratkaista laitteen kunnon mittaamisella ja huolto-ohjelman sopeuttamisella mitatun tiedon mukaan. (Järviö ym. 2007, 233.)

5.3 Solax-toiminnanohjausjärjestelmä

Toiminnanohjausjärjestelmä eli ERP (Enterprise Resource Planning) on yrityksen toimintaa ohjaava tietojärjestelmä. Järjestelmä rakennetaan erilaisista ohjelmaosioista vastaamaan asiakkaan tarpeita. Järjestelmä yhdistää eri toimintoja, kuten tuotantoa, jakelua, varastohallintaa ja laskutusta, joita sillä myös ohjataan. Toiminnanohjausjärjestelmä toimii yrityksen ydinjärjestelmänä kooten tiedon yhteen paikkaan. (Mikkonen ym. 2009, 121.)

Solax on kotimaisen ohjelmistopalveluyhtiö Solteq Oyj:n kehittämä toiminnanohjausjärjestelmä, joka on tarkoitettu kunnossapidon, huoltopalveluiden ja liikkuvan työn hallintaan. Solax on kehitetty Microsoft Dynamics AX-alustalle toimien samantlaisilla periaatteilla kuin muutkin Microsoft-ohjelmistot. Solax on siten käytettävissä kiinteänä osana Microsoft Dynamics AX- toiminnanohjausjärjestelmää, mutta se on myös integroitavissa mihin tahansa muuhun toiminnanohjausjärjestelmään, kuten SAP:iin, tai sitä voidaan käyttää itsenäisenä kunnossapitoympäristönä. (Soltex Oyj 2014, 1–2.)

Solaxin käyttöliittymät soveltuvat kaikkien huollettavien kohteiden hallintaan ja töiden ohjaukseen, aikataulutukseen ja resursointiin. Päivittäisten tehtävien suorittaminen tapahtuu laite-, paikka-, työ- ja projektihierarkioiden avulla. Solax tukee töiden operatiivista suunnittelua, ohjausta, seuranta ja laskutusta. Lisäksi se automatisoi ja valvoo työnkulkua. Solaxin avulla voidaan suunnitella omien ja yhteistyökumppaneiden toimittamia huoltopalveluja, resursoida oikeat henkilöt ja hallita huoltokohteiden tietoja, huoltoreittejä ja -suoritusvälejä sekä kerätä huoltohistoriaa. (Soltex Oyj 2014, 1–2.)

6 KUNNOSSAPITO-OHJELMAN SUUNNITTELU

Opinnäytetyön sovellusosuuden tarkoituksena oli tehdä Tornion Voima Oy:n (ToVo) laitosten: ToVon, kattilalaitoksen sekä Pirkkiön ja Kemin lämpökattilalaitosten, moottoriluettelot ja moottoreiden kunnossapitosuunnitelmat. Kunnossapitosuunnitelmat suunniteltiin vain laitosten prosesseihin liittyville moottoreille.

Yrityksellä ei ole ollut aiemmin käytössään moottoreille kunnossapito-ohjelmaa. Tämän hetkinen moottoreiden kunnonvalvonta on koostunut pääasiassa rasvaushuollosta, jonka yhteydessä on suoritettu silmämääräisiä tarkastuksia. Tarpeen vaatiessa on suoritettu värähtelymittauksia. Suurimmat moottorit ovat yhdistetty Sensodec-kunnonvalvontajärjestelmään, joka valvoo jatkuva-aikaisesti moottoreiden värähtelyä ja tahdistusta.

6.1 Laitetietojen selvittäminen

Työn ensimmäisenä vaiheena oli moottoreiden laitetietojen kerääminen. Tämä toteutettiin kiertämällä laitoksissa valokuvaamassa moottoreiden turvakytkimet ja arvokilvet. Turvakytkimet kuvattiin sen vuoksi, että laitetietoja kirjatessa turvakytkimessä olevan laiteposition avulla oikea moottorikuva kyettiin yhdistämään oikeaan laiteposition. Kuvassa 2 on kuvattuna erään moottorin turvakytkin, jossa on ympäröitynä moottorin positiotunnus. Seuraavassa kuvassa (Kuva 3) on kyseinen moottori ja kuvassa 4 moottorin arvokilpi. Yleensä moottoreista ei otettu kuvan 3 kaltaista kokonaiskuvaa, vaan kuva otettiin ainoastaan arvokilvestä.



Kuva 2. Erään kuvatun moottorin turvakytin



Kuva 3. Moottori, jonka turvakytin ylemmässä kuvassa on kuvattu



Kuva 4. Moottorin arvokilpi

Osa kuvatuista arvokilvistä oli kuluneita tai heijastivat salaman valon. Tietokoneelle siirrettyinä ja kuvankäsittelyohjelman avulla retusoituina lähes kaikista arvokilvistä saatiin näkyviin tarvittavat tiedot. Myös arvokilven sijaintipaikka saattoi olla vaikeasti saavutettavissa, esimerkiksi lähes lattiatasossa olevan moottorin arvokilpi sijaitsi moottorin alla. Pienien toimenpiteiden avulla arvokilvet saatiin pääsääntöisesti kuvattua. Seuraavassa kuvassa (Kuva 5) on esitetty hitaasti pyörivä polttoaineen ruuvipurkain, jossa ympyröitynä arvokilpi. Moottorin arvokilven kuvausmahdollisuutta oli odotettava tikkailta seisten, jotta moottori tuli niin lähelle, että kuvan ottaminen oli mahdollista.

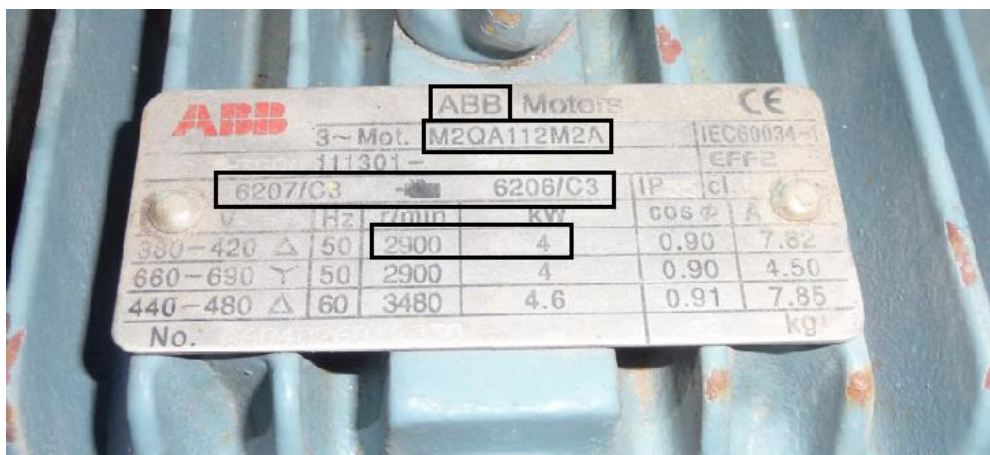


Kuva 5. Pyörivä polttoaineen ruuvipurkain

6.2 Moottoriluettelot

Arvokilpien tietojen perusteella luotiin laitoskohtaiset moottoriluettelot Excel-tiedostoon, jokainen laitos omalle välilehdelle. Tehtävien moottoriluetteloiden Excel-pohjana toimi ToVo:n ja Kattilalaitoksen rasvattavista moottoreista valmiina ollut moottoriluettelo (Liite 2).

Moottoriluetteloon kirjattaviksi arvokilpiedoiksi haluttiin moottorin valmistaja, tyyppimerkintä, teho, pyörimisnopeus ja laakerityypit. Turvakytkimestä kirjattiin positiotunnus ja sijoituspaikka, jos se oli tiedossa. Kuvassa 6 on esimerkki moottorin arvokilvestä, jossa ympyröityinä kirjattavat tiedot.



Kuva 6. Moottorin arvokilvestä kirjattavat tiedot

Koska ToVo:n ja Kattilalaitoksen rasvattavista moottoreista oli jo ennestään moottoriluettelot ja huoltokortit, niiden tietojen yhdenmukaisuus tarkistettiin ja havaitut eroavaisuudet muutettiin vastaamaan reaaliaikaista tilannetta. Kattilalaitoksen osalta olemassa olevat moottoriluettelot olivat hieman vajavaisia, joten siellä päätettiin kuvata kaikki prosessiin kuuluvat moottorit. ToVo:n osalta olemassa oleva moottoriluettelo oli rasvattavien moottoreiden osalta kattava, joten siellä kuvattiin vain prosessiin kuuluvat, ei rasvattavat moottorit.

Pirkiön lämpövoimalaitoksen osalta olemassa oleva moottoriluettelo ei sisältänyt kaikkia prosessikäytössä olevia moottoreita ja oli niitä koskevien tietojen osalta vaillinainen. Kemin lämpövoimalaitoksista vain toisesta oli vaillinaisilla

mootoreilla ja moottoritiedoilla oleva moottoriluettelo. Näissä kolmessa laitoksessa kuvattiin kaikki prosessiin kuuluvat moottorit, joista tehtiin niin ikään omat moottoriluettelot. Näiden moottoriluetteloiden moottoritiedot pohjautuvat hyvin suurilta osin moottoreista otettujen kuvien arvokilpitietoihin. Tehdyistä moottoriluetteloista yksi on liitteenä (Liite 3).

6.3 Huoltojen nykytila

Moottoreiden huollon nykytilanne on rajoittunut lähinnä voiteluhuoltoon, jonka suoritustiheys on vaihdellut 1 - 4 rasvauskertaa vuodessa riippuen moottorin käyttötuntimäärästä. Voiteluhuollon ohessa on suoritettu silmämääräisiä tarkastuksia, kuten moottorin kiinnityksen, kannen tiiviiden ja johtojen kiinnitysten tarkastuksia. Suurimpien moottoreiden (45 - 1588 kW) värähtelyjä ja tahdistusta on seurattu jatkuva-toimisella Sensodec-kunnonvalvontajärjestelmällä (Kuva 7). Lisäksi on suoritettu värähtelymittauksia, jos tarvetta on ilmennyt.



Kuva 7. Anturi, josta yhteys Sensodec-kunnonvalvontajärjestelmään

Osassa tärkeimmistä moottoreista on rinnankäyttö. Varamoottoreita laitoksilla ei ole ollenkaan. Jos moottorissa on havaittu vika, on mietitty, onko sen korjaaminen järkevää, eli onko kyseessä ollut iso moottori, muussa tapauksessa mootto-

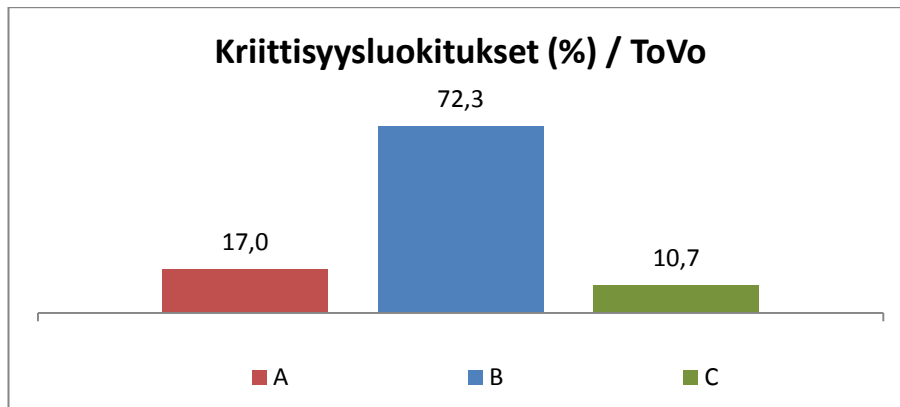
ri on uusittu. Korjaamiseen päädyttäessä moottoriin on hankittu tarvittavat varaosat ja korjaus on hoidettu joko oman henkilökunnan toimesta tai teetetty ulkopuolisella toimijalla. Korjaus on tehty mahdollisuuksien mukaan joko heti tai seisakissa. Moottoreiden uudelleen käämintää on tehty jonkin verran riippuen iästään ja aiheutuvista kustannuksista.

6.4 Kriittisyysluokitus

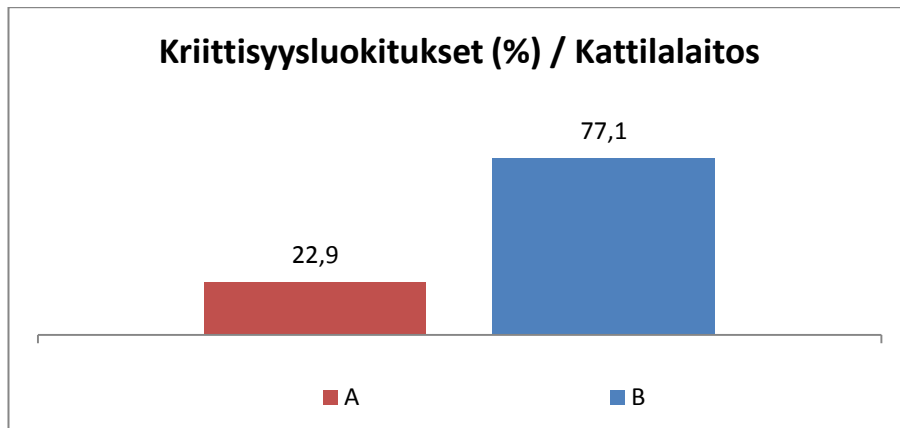
Kriittisyysluokituksella kuvataan kohteeseen liittyvän riskin suuruutta. Moottoreiden kriittisyysluokitus tehtiin Tovo:n henkilökunnan toimesta. He jaottelivat moottorit kolmeen luokkaan riippuen siitä, minkälaista haittaa niiden vioittuminen tai rikkoutuminen aiheuttaa tuotannolla. Kriittisyysluokat olivat seuraavat:

- A = pysäyttää tuotannon ja aiheuttaa vakavaa haittaa tuotannolle (laitteen rikkoutumisella on välitön vaikutus prosessin ajoin)
- B = aiheuttaa haittaa tuotannolle, muttei pysäytä sitä (laitteella ei ole välitöntä vaikutusta prosessin ajoin)
- C = ei haittaa tuotantoa tai haitta on vähäistä (laitteella ei ole vaikutusta prosessin ajoin).

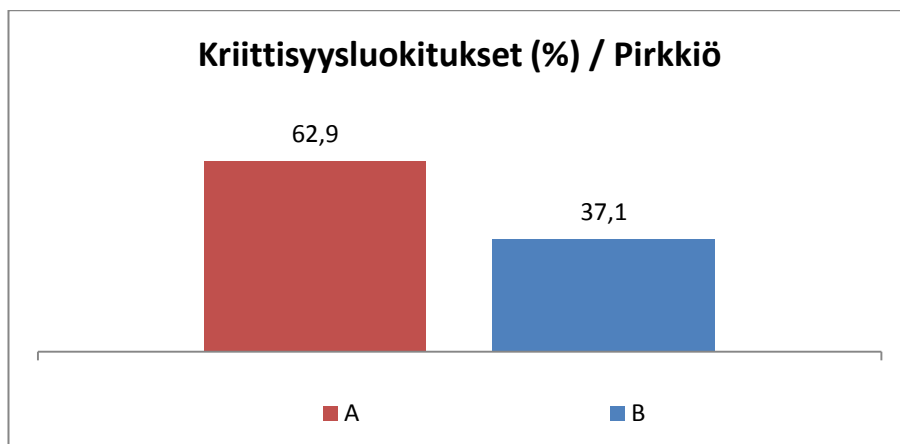
Alla olevista kuvioissa (Kuviot 11, 12 ja 13) on havainnollistettu laitoksittain moottoreiden jakautuminen kriittisyysluokkiin. Kriittisyysluokituksia hyödynnettiin kunnossapito-ohjelman suunnittelussa, jotta prosessin kannalta kriittisemmille laitteille osattiin kohdentaa tarpeellinen määrä niille oikein suunnattuja kunnossapitotoimenpiteitä ja arvioida toimenpiteiden suoritustiheys.



Kuvio 11. ToVo:n moottoreiden jakauma kriittisyysluokkiin



Kuvio 12. Kattilalaitoksen moottoreiden jakauma kriittisyysluokkiin



Kuvio 13. Pirkkiön moottoreiden jakauma kriittisyysluokkiin

6.5 Moottorivalmistajien huoltosuositukset

Moottoreiden ennakkohuollon suunnittelua varten päätettiin tiedustella muutamien moottorivalmistajan suosituksia moottoreiden huollolle. Tiedusteltaviksi moottorivalmistajiksi valittiin ABB ja Siemens, koska heidän valmistamia moottoreita laitoksissa oli eniten käytössä. ABB:n suositukset antoi tuotepäällikkö Jarkko Iisakka ja Siemensin myynninasiantuntija Pyry-Pekka Lehto.

ABB

ABB:n suositusten antajan, Iisakan, mukaan moottorivalmistajien huoltosuositukset ovat luonteeltaan yleisluontoisia ja riippuvat moottoreiden fyysisestä koosta ja rakenteesta. Ne eivät yleensä huomioi laitepaikan kriittisyyttä, moottorin huollontarpeeseen vaikuttavia olosuhteita, laitepaikan kunnossapidettävyyttä ja varamoottoritulannetta. Nämä asiat olisi hänen mielestään syytä huomioida huoltosuunnitelmaa tehtäessä. (Iisakka 2015.)

ToVo:n laitosten suurimmille moottoreille, ABB:n AMA-moottoreille (teho 750–1588 kW), valmistajan antamat huoltosuositukset jakautuvat neljään tasoon, L1, L2, L3 ja L4. Suosituksia noudatetaan käyttötuntien mukaan. Tasot L1 ja L2 ovat tarkoitettu tarkastushuolloille, tasot L3 ja L4 laajemmille huolloille. Tarkat tiedot huolloissa tehtävistä toimenpiteistä ja tarvittavista varaosista löytyvät moottoreiden käyttöohjeesta. Käyttöohjeessa ilmoitetut huoltosuositukset edustavat vain huoltotöiden minimitasoa. Tämän lisäksi edellytetään koneen kunnan normaalia valvontaa ja tarkkailua, jotta normaaleista käyttöolosuhteista poikkeavat tilanteet havaitaan. Iisakan mukaan AMA-moottoreista runkokokovälille IEC 200-500 ABB on suositellut yleensä tason L4 perushuoltoa 10–15 vuoden välein, laitepaikan kriittisyydestä sekä käytön ja ympäristöolosuhteiden kuormittavuudesta riippuen. (ABB 2014c, 55–59; Iisakka 2015.)

ABB:n suositusten mukaan ToVo:n laitosten pienemmille (esimerkiksi HXUR-, M2BA- ja M3BP-tyyppisille) moottoreille on tehtävä käyttö- ja huolto-ohjeen mukaisia toimenpiteitä:

- moottorin tarkistus säännöllisesti, vähintään kerran vuodessa, kosteus ja paikalliset sääolot huomioiden
- moottorin puhdistus ja jäähdytysilman vapaa kulku sekä pölyisessä ympäristössä käytettävän moottorin tuuletusjärjestelmän tarkistus ja puhdistus säännöllisesti
- akselitiivisteiden kunnontarkkailu ja uusiminen tarvittaessa
- kytkentöjen ja kiinnitysruuvien kunnontarkkailu
- laakerien kunnontarkkailu
- lisäksi jos moottori on valmiustilassa tärisevässä ympäristössä pidemmän aikaa, on sen akselia joko pyöritettävä kahden viikon välein käynnistämällä järjestelmä tai kerran viikossa kääntämällä akselia käsin. (ABB 2012, 15.)

Laakereiden voiteluväleistä on myös omat käyttötunteihin perustuvat huolto-ohjeet, jotka saadaan selville joko moottorin käyttöohjeesta tai moottorin rungossa olevasta voiteluohjekilvestä. Moottorin voiteluohjekilvessä olevia ohjeita tulee ensisijaisesti noudattaa, koska siinä voiteluväli ilmoitetaan asennustavan, ympäristön lämpötilan ja pyörimisnopeuden mukaisesti. Voiteluväli ilmoitetaan moottorin käyttötunteina, joka laakereiden tulisi kestää kun moottori on asennettu vaaka-asentoon. Pystyasentoon asennetulla moottorilla käyttötuntimäärä puolittuu. Kestovoideltujen laakereiden voiteluväli noudattaa L_{10} -periaatetta ja jälkivoideltujen laakereiden L_1 -periaatetta (ks. 34). Seuraavassa taulukossa (Taulukko 8) on esitetty kestovoideltujen laakereiden käyttötunnit 25 °C ja 40 °C lämpötiloissa. Taulukossa 9 on puolestaan jälkivoideltujen laakereiden käyttötunnit 25 °C lämpötilassa. Laakerin lämpötilan nousu 15 °C:lla puolittaa laakerin käyttötuntimäärän, ja vastaavasti laakerin lämpötilan lasku 15 °C:lla kaksinkertaistaa käyttötuntimäärän. (ABB 2012, 15–17.)

Taulukko 8. Jälkivoideltujen laakereiden voiteluvälit (ABB 2012, 16–17.)

Runko- koko	Voiteluaineen määrä g/laakeri	kW	3600 r/min	3000 r/min	kW	1800 r/min	1500 r/min	kW	1000 r/min	kW	500-900 r/min
Kuulalaakerit											
Voiteluväli käyttötunteina											
112	10	kaikki	10000	13000	kaikki	18000	21000	kaikki	25000	kaikki	28000
132	15	kaikki	9000	11000	kaikki	17000	19000	kaikki	23000	kaikki	26500
160	25	≤ 18,5	9000	12000	≤ 15	18000	21500	≤ 11	24000	kaikki	24000
160	25	> 18,5	7500	10000	> 15	15000	18000	> 11	22500	kaikki	24000
180	30	≤ 22	7000	9000	≤ 22	15500	18500	≤ 15	24000	kaikki	24000
180	30	> 22	6000	8500	> 22	14000	17000	> 15	21000	kaikki	24000
200	40	≤ 37	5500	8000	≤ 30	14500	17500	≤ 22	23000	kaikki	24000
200	40	> 37	3000	5500	> 30	10000	12000	> 22	16000	kaikki	20000
225	50	≤ 45	4000	6500	≤ 45	13000	16500	≤ 30	22000	kaikki	24000
225	50	> 45	1500	2500	> 45	5000	6000	> 30	8000	kaikki	10000
250	60	≤ 55	2500	4000	≤ 55	9000	11500	≤ 37	15000	kaikki	18000
250	60	> 55	1000	1500	> 55	3500	4500	> 37	6000	kaikki	7000
280 ^{II}	60	kaikki	2000	3500	-	-	-	-	-	-	-
280 ^{II}	60	-	-	-	kaikki	8000	10500	kaikki	14000	kaikki	17000
280	35	kaikki	1900	3200	-	-	-	-	-	-	-
280	40	-	-	-	kaikki	7800	9600	kaikki	13900	kaikki	15000
315	35	kaikki	1900	3200	-	-	-	-	-	-	-
315	55	-	-	-	kaikki	5900	7600	kaikki	11800	kaikki	12900
355	35	kaikki	1900	3200	-	-	-	-	-	-	-
355	70	-	-	-	kaikki	4000	5600	kaikki	9600	kaikki	10700
400	40	kaikki	1500	2700	-	-	-	-	-	-	-
400	85	-	-	-	kaikki	3200	4700	kaikki	8600	kaikki	9700
450	40	kaikki	1500	2700	-	-	-	-	-	-	-
450	95	-	-	-	kaikki	2500	3900	kaikki	7700	kaikki	8700

Rullalaakerit											
Voiteluväli käyttötunteina											
160	25	≤ 18,5	4500	6000	≤ 15	9000	10500	≤ 11	12000	kaikki	12000
160	25	> 18,5	3500	5000	> 15	7500	9000	> 11	11000	kaikki	12000
180	30	≤ 22	3500	4500	≤ 22	7500	9000	≤ 15	12000	kaikki	12000
180	30	> 22	3000	4000	> 22	7000	8500	> 15	10500	kaikki	12000
200	40	≤ 37	2750	4000	≤ 30	7000	8500	≤ 22	11500	kaikki	12000
200	40	> 37	1500	2500	> 30	5000	6000	> 22	8000	kaikki	10000
225	50	≤ 45	2000	3000	≤ 45	6500	8000	≤ 30	11000	kaikki	12000
225	50	> 45	750	1250	> 45	2500	3000	> 30	4000	kaikki	5000
250	60	≤ 55	1000	2000	≤ 55	4500	5500	≤ 37	7500	kaikki	9000
250	60	> 55	500	750	> 55	1500	2000	> 37	3000	kaikki	3500
280 ^{II}	60	kaikki	1000	1750	-	-	-	-	-	-	-
280 ^{II}	70	-	-	-	kaikki	4000	5250	kaikki	7000	kaikki	8500
280	35	kaikki	900	1600	-	-	-	-	-	-	-
280	40	-	-	-	kaikki	4000	5300	kaikki	7000	kaikki	8500
315	35	kaikki	900	1600	-	-	-	-	-	-	-
315	55	-	-	-	kaikki	2900	3800	kaikki	5900	kaikki	6500
355	35	kaikki	900	1600	-	-	-	-	-	-	-
355	70	-	-	-	kaikki	2000	2800	kaikki	4800	kaikki	5400
400	40	kaikki	-	1300	-	-	-	-	-	-	-
400	85	-	-	-	kaikki	1600	2400	kaikki	4300	kaikki	4800
450	40	kaikki	-	1300	-	-	-	-	-	-	-
450	95	-	-	-	kaikki	1300	2000	kaikki	3800	kaikki	4400

Taulukko 9. Kestovoideltujen laakereiden voiteluvälit (ABB 2012, 16.)

Runkokoko	Napa-luku	Käyttötunteja 25 °C	Käyttötunteja 40 °C
56-63	2-8	40 000	40 000
71	2	40 000	40 000
71	4-8	40 000	40 000
80-90	2	40 000	40 000
80-90	4-8	40 000	40 000
100-112	2	40 000	32 000
100-112	4-8	40 000	40 000
132	2	40 000	27 000
132	4-8	40 000	40 000
160	2	40 000	36 000
160	4-8	40 000	40 000
180	2	38 000	38 000
180	4-8	40 000	40 000
200	2	27 000	27 000
200	4-8	40 000	40 000
225	2	23 000	18 000
225	4-8	40 000	40 000
250	2	16 000	13 000
250	4-8	40 000	39 000

Siemens

Siemensin suositusten antajan, Lehdon, mukaan moottorien kunnossapito perustuu tyypillisesti käyttötunteihin. Normaalikäytössä tämä tarkoittaa laakerien jälkivoitelua määräajoin, jota valmistajat suosittelevat käyttöolosuhteista riippuen, tai vaihtoa. Laakereiden tyyppi ja kuormitus tulisi huomioida suunnitteluvaiheessa. Suuremmille moottoreille suositellaan värähtelymittausta määräajoin ja jos käyttöolosuhteet poikkeavat merkittävästi normaalista, tehdään muita toimenpiteitä kuten laakerivirtojen mittausta. (Lehto 2015.)

Myös Siemensin huoltosuositusten mukaan moottoreiden käyttötilanteet ja ominaisuudet voivat vaihdella suuresti. Tämän vuoksi huoltovälit voidaan määrittää vain yleisellä tasolla, ja ne täytyy suunnitella sopimaan käytettäviin olosuhteisiin (lika, kuormitus, käyttöaajuus jne.). Suositusten mukaan moottoreille on suoritettava huolelliset ja säännölliset tarkastukset, huollot ja korjaukset vian varhaisessa vaiheessa ja poistaa ne, ennen kuin ne voivat aiheuttaa lisää vahinkoa. ToVo:n laitoksilla oleville Siemensin moottoreille (muun muassa tyypit

1LA7/9 ja 1LG4/6) käyttö- ja huolto-ohjeen mukaan kerran vuodessa tehtäviä tarkastus- ja huoltotoimenpiteitä ovat:

- käyntiäänen tarkkailu (pehmeää)
- laakerit eivät ole lämmenneet
- perustassa ei ole painumia tai halkeamia
- koneen linjaus on kunnossa
- kaikki mekaanisten ja sähköisten liitosten kiinnityspultit ja -ruuvit ovat tiiviit
- käämien eristysresistanssit ovat riittävän korkeat
- kaapelit ja eristävät osat ja komponentit ovat hyvässä kunnossa eivätkä ole värjäytyneet
- voitelukanavien ja vanhan rasvan pois puhdistaminen
- tarkistettava, että jäähdytyskanavat eivät ole peitettynä sekä puhdistettava ne säännöllisesti esimerkiksi kuivalla paineilmalla
- normaalissa käytössä olevien moottoreiden laakereiden suositeltu vaihtoväli on taulukon 10 mukainen. (Siemens 2012, 92–97.)

Taulukko 10. Laakerin vaihtoväli (Siemens 2012, 97.)

Jäähdytysnesteen lämpötila	Käyttötapa	Laakerin vaihtoväli
40° C	horisontaalinen kytkinkäyttö	40 000 h
40° C	aksaali- ja radiaalivoimilla	20 000 h

6.6 Moottoreiden kunnossapidon suunnitleminen

Moottoreiden kunnossapitoa lähdettiin suunnittelemaan ennakkohuoltotarpeiden tarkastelulla. Saman huoltotarpeen omaavia moottoreita oli useita, joten ne voitiin liittää laitoksittain saman huoltosuunnitelman alle. Suunnittelussa kiinnitettiin huomiota valmistajan huoltosuosituksiin ja moottoreiden käyttöohjeissa oleviin kunnossapito-ohjeisiin. Suunnittelussa otettiin huomioon myös laitepaikan kriitti-

syys ja laitteen käyttöympäristö. Kriittisyysluokan A- ja B-moottoreille suunniteltiin tehtäväksi enemmän ennakoivia huoltotoimenpiteitä kuin prosessin kannalta vähemmän merkittävimmille, C-luokan moottoreille.

Kunnossapito-ohjelma koostuu ennakoivista huoltotoimenpiteistä, jotka tullaan suorittamaan kaikille moottoreille kerran vuodessa. Kerran vuodessa tehtävät ennakoivat huoltotoimenpiteet nimettiin vuosienkokoiseksi. Ennakoiviksi huoltotoimenpiteiksi muodostuivat valmistajien huolto-ohjelmien mukaisesti erilaiset silmämääräiset tarkastukset, voiteluhuolto ja puhdistukset. Tehtävät ennakoivat tarkastus- ja huoltotoimenpiteet ovat seuraavat:

- moottorin rungon puhdistus
- moottorin jäähdytysripojen ja tuuletusritilän puhdistus
- tyyppikilven paikallaan olon ja sen tekstin luettavuuden tarkastus
- turvakytkimen tekstin luettavuuden ja kunnon tarkastus ja sekä turvakytkimen puhdistus
- jäähdytysilman vapaan kierron pääsyn tarkastus
- kytkinkopan, kaapeleiden ja kaapelipäätteiden kunnon tarkastus ja puhdistus
- kiinnitysruuvi kunnon tarkastus ja tarvittaessa kiristys
- moottorin lämpötilan tarkastus (ei poikkeaa normaalista)
- ympäristön lämpötilan tarkastus (ei poikkeaa normaalista)
- laakeriäänien tarkastus (ei poikkeaa normaalista)
- laakereiden voitelu ja käytetyn voiteluainemäärän kirjaaminen
- akselitiivisteiden kunnon tarkastus ja tarvittaessa vaihto
- poistuvan voiteluaineen värin tarkkailu (väri on normaalin väristä) ja tarvittaessa ylimääräisen rasvan poisto tarvittaessa.

Jos moottorissa on kestovoidellut laakerit, niin luonnollisesti laakereita ei silloin voidella vaan tarkastetaan, ettei moottorista vuoda mitään. Muut yllä mainitut tarkastukset ja toimenpiteet suoritetaan.

Vuosiennakkohuollon lisäksi osalle moottoreista tullaan tekemään sitä täydentäviä ennakkohuoltotoimenpiteitä, kuten kunnontarkastusta, puhdistusta ja voiteluhuoltoa. Toimenpiteiden suoritustiheys (1–3 kertaa vuodessa vuosiennakkohuollon lisäksi) riippuu moottorin prosessikriittisyydestä ja ympäristön olosuhteista. Näiden tarkkailu- ja puhdistuskierrosten avulla saadaan moottoreiden käynti säilymään luotettavampana ja ennakoimaan mahdollisesti tulevia vikoja. Kierrokset kartuttavat myös tietoja moottoreiden sen hetkisestä kunnosta ja auttavat havainnoimaan kunnossa tapahtuvia muutoksia.

Värähtelymittaukset otettiin mukaan kunnonvalvontaan tehtäviksi kerran vuodessa. Värähtelymittaukset suorittaa tällä hetkellä ulkopuolinen toimija, Polar Käämintä Oy, jonka mittauksen suorittamista päästiin seuraamaan. Värähtelymittauksia tehtiin teholuokaltaan yli 15 kW:n moottoreille ja mittalaitteena toimi kannettava Schaefflerin FAG Detector III (Kuva 8). Mittalaite mittasi moottoreiden värähtelyn ja laski sen perusteella värähtelynopeuden ja -kiihtyvyyden sekä verhoikäyrän. Polar Käämintä Oy suoritti samalla myös muutamille moottoreille laakerivirtamittauksia, joissa he käyttivät mittalaitteena SKF:n TKED 1:stä (Kuva 9). Mittalaitteella voidaan tunnistaa moottorin laakerissa kulkevat sähköpurkaukset ja vaurioille alttiit laakerit voidaan havaita.



Kuva 8. Värähtelymittaus kannettavalla FAG Detector III:lla



Kuva 9. Laakerivirtamittaus SKF TKED 1:llä

Vastaisuudessa moottoreille tullaan tekemään myös lämpökuvaukset kerran vuodessa. Lämpökuvauksia ei suoriteta samaan aikaan vuosiennakkohuollossa vaan sähkökeskuksille tehtävien lämpökuvauksen yhteydessä. Lämpökuvaukset suorittaa laitoksen oma henkilökunta.

6.7 Ennakkohuoltokortit

Kunnossapidon onnistumisen avuksi moottoreille suunniteltiin konekohtaisesti täytettävät ennakkohuoltokortit, joissa kerrottiin tehtävät tarkastukset ja toimenpiteet. Ennakkohuoltokortit on tarkoitus ottaa mukaan suoritettaville kunnossapitokierroksille, joissa ne täytetään ja allekirjoitetaan suoritetuiksi. Jos tarkastuksessa ilmenee jotain huomautettavaa, on ne kirjattava ja niitä on ilmoitettava. Tämän jälkeen työ voidaan kuitata toiminnanohjausjärjestelmään tehdyksi. Toiminnanohjausjärjestelmään kirjataan myös mahdolliset huomautettavat asiat, jolloin laitteiden vikaistoria pääsee karttumaan. Tämä edesauttaa moottoreiden vikaantumisen ennustettavuutta ja ennakointia vikaantumiseen riittävän hyvissä ajoin. Liitteessä 4 on esimerkkinä moottorikohtainen ennakkohuoltokortti.

6.8 Toiminnanohjausjärjestelmän työsuunnitelmat

Tehdyt kunnossapitosuunnitelmat on tarkoitus siirtää toiminnanohjausjärjestelmä Solaxiin työsuunnitelmiin. Solaxiin merkityt työtilaukset ilmestyvät järjestelmään pääsääntöisesti 30 päivää ennen suunniteltua työajankohtaa. Tämä antaa pelivaraa varautua tehtäviin tarkastuksiin ja toimenpiteisiin, mahdollisten varaosien hankintaan ja tarvittavan työvoiman varaamiseen suoritettavaan työhön.

Solaxin siirrettäviä työsuunnitelmia varten moottorit, joille tehdään samanlaisia ennakkohuoltotoimenpiteitä (tässä tarkoitetaan myös tarkastuksia, puhdistuksia, voiteluhuoltoa, värähtelymittauksia ja lämpökuvausta), ryhmiteltiin. Ryhmittely toteutettiin sen vuoksi, koska jokaisesta moottorista ei haluttu erillistä työtilausta. Ryhmittelyn avulla saatiin samoja moottorikohtaisia ennakkohuoltotehtäviä sisältävät työt generoitua yhdelle työsuunnitelmalle. Siten yksi työsuunnitelma sisälsi useita moottoreita, joille tehdään samat ennakkohuoltotoimenpiteet. Esimerkkinä kaksi kertaa vuodessa rasvattavat moottorit, joille tehdään lisäksi tarkastus niiden kriittisyyden mukaan. Näille moottoreille suunniteltiin kaksi työsuunnitelmaa, vuosiennakkohuolto ja tarkastus- ja voiteluhuolto. Molemmissa ennakkohuolloissa tehtäviin toimenpiteisiin viitataan työsuunnitelmien ohjeetkentässä. Ohjeetkentässä kehoitetaan moottoreiden tarkastamista ja voitelua varten ottamaan jokaiselle moottorille oma ennakkohuoltokortti, jossa määritetään tehtävät tarkastukset ja toimenpiteet. Lisäksi ilmoitetaan, että huomautettavat asiat on kirjattava ylös. Työsuunnitelmien selitekentässä luetellaan vastaavasti moottorit, joita kyseiset ennakkohuollot koskevat.

6.9 Kunnossapidon kehittäminen

Kun moottoreiden kunnossapito on saatu toimimaan hyvin, olisi aiheellista miettiä, miten sitä voisi parantaa vastaamaan laitoksen tarpeita. Moottoreiden käytönseurannalla ja vika historian analysoinnilla on suuri merkitys kunnossapidon hyvään ja luotettavaan toimintaan. Näistä saatujen tietojen karttuessa voidaan moottoreiden mahdollisesti syntyviä vikaantumisia arvioida paremmin ja reagoi-

da niihin aikaisemmassa vaiheessa. Myös esimerkiksi jonkin moottorin toistuvat viat onnistutaan paremmin huomaamaan, kun moottorin vikahistoriasta nähdään, mikä vika toistuu.

Ympäristöoloiltaan huonoimmista (turvepöly, vesi/lumisade) kohteissa olisi syytä harkita moottorin suojien (Kuva 10) hankkimista. Moottorisuoja pitää moottorin tasalämpöisenä, koska ilmavirtaus kulkisi jäähdytysripoja pitkin. Näin ollen moottorisuojan avulla säästettäisiin laakereita ja pidennettäisiin moottorin elinikää.



Kuva 10. Moottorisuojat vaakamoottoriin (vas.) ja pystymoottoriin (oik.) (Laurilan asennus 2010.)

Lämpötilamittausten ja/tai värähtelymittausten tihentäminen kriittisimmille moottoreille ja mittauksissa saatujen tulosten dokumentointi antaisi yleiskuvaa moottorin kunnosta. Moottorin lämpötilaa/värähtelyjä seuraamalla saataisiin tietoa alkavasta viasta ja vikojen kehittymisestä, jolloin pystyttäisiin suunnittelemaan paremmin moottorin huoltohetki tai vaihtotarve. Toimenpiteisiin ei kuluisi mahdollisesti aikaa, ja voitaisiin tehdä joko oman henkilökunnan tai ulkopuolisen yrityksen toimesta.

Moottoreiden toimittajilta olisi hyvä kysellä kriittisimpien moottoreiden varakoneiden toimitusaikoja ja hintoja erilaisille toimitusajoille. Lisäksi voisi miettiä olisiko joitain kriittisimpiä moottoreita tai niiden varaosia järkevää varastoida. Tällöin kulunut, vaihdon tarpeessa oleva osa olisi heti vaihdettavissa. Vaikka tämä vaatisi paljon resursseja, se parantaisi tehokkuutta ja helpottaisi töiden sujuvuutta.

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen, haastava ja ajankohtainen. Nykykäsit-tyksen mukaan kunnossapito on kustannuserän lisäksi tärkeä tuotannontekijä, jolla varmistetaan tuotantolaitoksen kilpailukyky. Toki se on tätäkin, mutta en-nen kaikkea se on ennakoivaa toimintaa, jolla laitteet pyritään pitämään kun-nessa, jotta ne toimisivat ennako-odotusten mukaisesti.

Opinnäytetyö onnistui tavoitteissaan hyvin. Työn tuloksena saatuja moottoriluet-teleja varten onnistuttiin keräämään tarvittavat moottoreiden tekniset tiedot sekä tarkistamaan niiden oikeellisuus ja täydentämään puuttuvat tiedot. Opinnäyte-työssä onnistuttiin luomaan kunnossapito-ohjelma, joka vastasi moottoreiden perus kunnossapidon tasoa. Lisäksi tehtiin ennakkohuoltokortit, jotka toimivat kunnossapitohenkilökunnan apuna kertoen, mitä kyseiselle moottorille on millä-kin ennakkohuoltojaksolla tehtävä.

Opinnäytetyö antaa toimeksiantajalle suuntaviivat kunnossapito-ohjelman käy-tölle ja luulen, että se on hyvä perusta tulevaisuuden kunnossapidon kehityksel-le ja sen tehokkuuden parantamiselle. Moottoreiden vikahistorian karttuessa kyetään paremmin havainnoimaan vikojen syntymissyyt ja ennakoimaan niiden muodostumisen ajankohtaa. Siten mahdollisesti syntyviin vikoihin voidaan pa-remmin varautua. Laitekannan vanhetessa yrityksen olisi hyvä miettiä omien mittalaitteiden hankkimista, jolloin mittauksen suoritusiheyttä voisi nostaa.

Suunnittelemalla laitteiden, tässä tapauksessa moottoreiden, ennakkohuolto, voidaan niiden elinkaaren pituus ennakoida. Tästä seuraa osien / laitteiden vaihtamisen hallittu suorittaminen aiotusti joko seisokeissa tai muuten harkittuna ajankohtana. Samanaikaisesti vioista aiheutuvat tuotannon katkeamiset ja viko-jen aiheuttaneiden syiden selvittämiseen kulunut aika vähenevät. Ennakkohuol-olla ei tietenkään voida ennakoida kaikkia vikoja, eikä se ole tarkoitukseen, vaan sillä edesautetaan moottoreita toimimaan niille asetettujen odotusten mu-kaan ja pyritään välttymään ennakoimattomilta häiriöiltä.

Kunnossapito-ohjelman laatiminen on pitkälinen prosessi. Teoriatasolla suunniteltuna kunnossapito-ohjelma voi olla niin hyvä kuin mahdollista, mutta toimiakseen hyvin se vaatii kokemuksen karttuessa päivittämistä, vastatakseen paremmin sille asetettuja tarpeita. Tulevaisuutta ajatellen olisi tärkeää kirjata moottoreiden viat / häiriöt kunnossapito-ohjelmaan, jolloin moottoreiden vikahistoria karttuisi ja kyettäisiin havainnoimaan, mikä vian aiheutti ja / tai mistä vika aiheutui.

Opinnäytetyön tekemiseen toi haastetta tarvittavan tietomäärän kerääminen ja käsitteleminen. Sähköalan opiskelijana esimerkiksi laakereihin liittyvät asiat sekä koneiden kunnossapito olivat asioita, joihin koulutuksen tai työkokemuksen puolesta ei ollut juurikaan valmiuksia. Sähköalalla on kuitenkin yhtä tärkeää ymmärtää kunnossapidon merkitys tuotannon ja tuotanto-omaisuuden hyvänä säilymisen kannalta kuin konealalla. Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli opettavainen ja erittäin antoisa prosessi.

LÄHTEET

Aalto, H. 1994. Kunnossapitotekniikan perusteet. Rajamäki: Kustannus Oy Kunnossapitotekniikka.

ABB 2000a. TTT-käsikirja 2000-07. 17. Moottorit ja generaattorit. Viitattu 16.1.2015.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/17_Moottorit%20ja%20generaattorit.pdf

ABB 2000b. TTT-käsikirja 2000-07. 23. Kunnonvalvonta ja huolto. Viitattu 16.1.2015. http://heikki.pp.fi/opetus/pedanet/papkem/230_0007.pdf

ABB 2000c. Tekninen opas nro.5 Laakerivirrat uusissa vaihtovirtakäytöissä. Viitattu 11.3.2015.

[http://www08.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/\\$file/Tekninenopasnro5.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/$file/Tekninenopasnro5.pdf)

ABB 2003. Laatuopas. Viitattu 26.1.2015.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot259.nsf/veritydisplay/49d50c78179dab40c2256d28002bfd63/\\$file/moottoreiden%20laatuopas%2003-2003.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot259.nsf/veritydisplay/49d50c78179dab40c2256d28002bfd63/$file/moottoreiden%20laatuopas%2003-2003.pdf)

ABB 2004. Drive^{IT} Pienjännitteiset vakimoottorit. Viitattu 20.1.2015.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/f99be400a43336a8c1257b130056f076/\\$file/Drive%20IT%20pienjannitteiset%20vakimoottorit%20FI%2010-2004.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/f99be400a43336a8c1257b130056f076/$file/Drive%20IT%20pienjannitteiset%20vakimoottorit%20FI%2010-2004.pdf)

ABB 2011. Pehmökäynnistinopas. Viitattu 16.1.2015.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/\\$file/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/$file/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf)

ABB 2012. Pienjännitemoottorit. Käyttöohje. Viitattu 16.3.2015.

https://library.e.abb.com/public/742083e5ed30ca63c12579ed003dbeed/Standard_Manual_Low_Voltage_FI_revE%20lores.pdf?filename=Standard_Manual_Low_Voltage_FI_revE%20lores.pdf

ABB 2014a. Low voltage Process performance motors according to EU MEPS. Viitattu 11.3.2015.

[http://www09.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/763e1d7b087332afc1257e1a002745f5/\\$file/Catalog_Process_performance_acc_to_EU_MEPS_9A_KK105944%20EN%2011_2014.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/763e1d7b087332afc1257e1a002745f5/$file/Catalog_Process_performance_acc_to_EU_MEPS_9A_KK105944%20EN%2011_2014.pdf)

ABB 2014b. Low voltage motors. Motor guide. Viitattu 24.3.2015.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/a7c16f0e10f4a826c1257c9000270ce0/\\$file/MotorGuide_february2014_low_FINAL%20with%20bookmarkmarks.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/a7c16f0e10f4a826c1257c9000270ce0/$file/MotorGuide_february2014_low_FINAL%20with%20bookmarkmarks.pdf)

ABB 2014c. Induktiomoottoreiden ja generaattoreiden käyttöohje. Viitattu 1.4.2015.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/6782ccd7168dd354c1257cca00270606/\\$file/Manual_for_Induction_Motors_and_Generators_3BFP000060R0105_rev_G%20FI_lores.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/6782ccd7168dd354c1257cca00270606/$file/Manual_for_Induction_Motors_and_Generators_3BFP000060R0105_rev_G%20FI_lores.pdf)

Aluehallintovirasto 2012. Lupapäätös Nro106/12/1.

http://www.avi.fi/documents/10191/56960/psavi_paatos_106_12_1-2012-10-11.pdf

Aura, L. & Tonteri, A.J. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. 1. painos. Porvoo: WSOY.

EPV Energia Oy 2014. Vuosikertomus 2014. Viitattu 30.4.2015.

http://issuu.com/bocksoffice/docs/epv_vuosikertomus_2014?e=6942936/12041314

Hietalahti, L. 2013a. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Hietalahti, L. 2013b. Teollisuuden sähkökäytöt. 1. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Iisakka, J. 2015. Suositukset moottoreiden huollolle. Email. 26.1.2015.

Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T. & Åström, T. 2007. Kunnossapito. 4. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Kauppila, J., Tiainen, E. & Ylinen, T. 2013. Sähköasennukset 3. Espoo: Sähköinfo Oy.

Kinnunen, J. 2014. ABB:n pienjännitemoottorit. PowerPoint-esitys. Viitattu 15.1.2015. Helsinki: KP-Media Oy.

Kunnossapito menestystekijä 2015. Viitattu 21.1.2015.

<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/index.html>

Kunnossapitoyhdistys Promaint ry, voitelutekninen toimikunta. 2013. Teollisuusvoitelu: käsikirja. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Laine, H. S. 2010. Tehokas kunnossapito. 1. painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Laurilan asennus 2010. Kotisivut. Viitattu 17.4.2015.

<http://www.laurilan.com/index.php?id=100&lang=fi>

Lehto, P-P. 2015. Suositukset moottoreiden huollolle. Email. 25.2.2015.

Meri-Lapin ympäristölautakunta 2015. Tornion kaupungin ympäristönsuojeluviranomaisen lausunto Tornion Voima Oy:n kattilalaitoksen ympäristöluvan tarkastamisesta koskien TNP-joustopolttokäytön käyttöä ja polttoainelaitoksen polttoainete-

hon vahvistamista. Viitattu 30.3.2015.

<http://212.50.147.150/d5web/kokous/20153249-6.PDF>

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

Motiva. 2012. Energiatehokkaat sähkömoottorit. PDF-tiedosto. Viitattu 16.1.2015.

Mäkinen, J.J. & Kallio, R. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Mäkinen, J.J., Kallio, R. & Tantarimäki, R. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

PSK 5705. 2006. Kunnonvalvonta. Värähtelymittaus. Mittaustoiminnan suunnittelu. 5. painos. Standardi.

PSK 5706. 2015. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Valvontamenetelmät. 4. painos. Standardi.

PSK 7712. 2000. Kunnonvalvonnan sähköiset menetelmät. Pyörivät epätahtikoneet. Lämpötilamittaukset. Standardi.

Puttonen, V. 2011. Sähkökoneiden suunnitteluun ja valmistukseen vaikuttavat standardit. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö. Viitattu 9.3.2015. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69708/nbnfi-fe201105171581.pdf?sequence=3>

Schaeffler Finland Oy 2015. Viitattu 24.3.2015.
<http://www.schaeffler.fi/content.schaeffler.fi/fi/index.jsp>

Siemens 2012. SIMOTICS Low-voltage motors. Käyttöohjeet. Email-liitetiedosto. aino.saloniemi@edu.lapinamk.fi . 25.2.2015.

SLO 2010. Sähkömoottoreiden EFF-hyötysuhdeluokat historiaan! Tuoteuutisarkisto. Viitattu 20.1.2015.
<http://www.slo.fi/www/fi/Ajankohtaista/tuoteuutisarkisto/Sivut/SahkomoottoreidenEFF-hyotysuhdeluokathistoriaan.aspx>

Soltex Oyj 2014. Solax-tuotekortti. Viitattu 10.2.2015.
http://www.solteq.com/download/993/tuotekortti_solax.pdf?redirect=node/179

Suomen standardisoimisliitto 2011. Räjähdyksivaarallisten tilojen, laitteiden, asennusten ja tilaluokituksen standardit. Viitattu 27.1.2015.
<http://www.sfs.fi/files/60/atexesite.pdf>

Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2009. IP-numeroiden merkitys. Viitattu 1.5.2015.

http://www.stek.fi/sahkoturvallisuus/sahkolaitteiden_ip_luokitus/fi_FI/ip_numeroiden_merkitys/

Tornion Voima Oy 2015. Kotisivut. Viitattu 3.2.2015. <http://www.tovo.fi/>

Tukes 2012. Lisätietoa ATEX-direktiivistä. Viitattu 20.1.2015.

<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/ATEX---Rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet/Lisatietoa-ATEX-direktiivista/>

Turvatekniikan keskus 2012. ATEX räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus. Tukes-opas. Viitattu 20.1.2015.

http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/ATEX_opas.pdf

LIITTEET

- Liite 1. PSK-standardin 5705 mukaiset värähtelymittausten suositellut tois-
tovälit
- Liite 2. Moottoriluettelon mallipohja
- Liite 3. Osa valmiista ToVo:n moottoriluettelosta
- Liite 4. Esimerkki moottorikohtaisesta ennakkohuoltokortista

PSK-standardin 5705 mukaiset värähtelymittausten suositellut toistovälit

Taulukko 1 Suositeltavia värähtelyn mittausvälejä jatkuvatoimisille laitteille.			Table 1. Recommended vibration measurement intervals for machines in continuous operation.							
Konetyyppi Machine type	Kriittisyys Criticality	Rasitus Stress	Suositeltava mittausväli Recommended measurement interval							
			Jaksottainen kunnonvalvontamittaus				Tarkastusmittaus ¹⁾			
			kiinteä on-line	2 vko 2 weeks	4 vko 4 weeks	2 kk 2 months	4 kk 4 months	6 kk 6 months	12 kk 12 months	24 kk 24 months
Pumppu ja puhallin Pump and fan / blower	kriittinen critical	kova heavy	X							
	kriittinen critical	kevyt light	X							
	ei kriittinen non critical	kova heavy								
	ei kriittinen non critical	kevyt light								
Turbogeneraattori Turbo generator	kriittinen critical	kaikki all	X						T	
Ruuvikompressori Screw compressor	kriittinen critical	kova heavy	X							
	kriittinen critical	kevyt light	X							
	ei kriittinen non critical	kova heavy								
	ei kriittinen non critical	kevyt light								
Vaihteisto Gear	kriittinen critical	kova heavy	X						T	
	kriittinen critical	kevyt light	X						T	
	ei kriittinen non critical	kova heavy							T	
	ei kriittinen non critical	kevyt light								
Moottori Motor	Mittausväli määritetään käytettävän laitteen mukaan. Värähtelymittauksia täydennetään tarvittaessa erikoismittauksilla. The measurement interval shall be based on the driven machine.									
Telat Cylinders	kriittinen critical	kova heavy	X							
	kriittinen critical	kevyt light	X							
	ei kriittinen non critical	kova heavy								
	ei kriittinen non critical	kevyt light								

^{x)} kiinteä järjestelmä on ensisijainen kriittisille koneille, toteutus määritellään taloudellisilla perusteilla
^{x)} a permanent online system is the primary choice for critical machines and is implemented on economical grounds

Tumma Mittausväli jaksottaisessa kunnonvalvonnassa tulisi sijaita tällä alueella. Mittausväli tarkennetaan kokemukseräisesti. Mittausvälit on esitetty aika-alueina todennäköisimmän vikaantumismekanismin etenemisnopeuden mukaan olettaen, että suoritetaan muutakin valvontaa kuin värähtelymittauksia.

Dark The measurement interval in periodical condition monitoring should fall in this range. The measurement interval shall be adjusted based on experience. The measurement intervals have been presented as time slots according to the progress rate of the most probable fault mechanisms and assuming that other methods than vibration measurements are used for monitoring.

¹⁾ Kertaluonteisella tarkastusmittauksella täydennetään säännöllisin mittausvälein tai kiinteällä järjestelmällä tehtyjä mittauksia. Menetelmänä käytetään monipuolisempia mittausmenetelmiä kuin säännöllisessä kunnonvalvonnassa.

¹⁾ Occasional checks are used to supplement the measurements performed at regular intervals or by online systems. More versatile measurement methods than during the periodic condition monitoring shall be used.

Moottoriluettelon mallipohja

	Laitteen nimi	Laitteen postito	Moottorin sijainti	Vaihtaja	Moottorin tyyppi	Moottorin teho	Pyörimisnopeus	Suositeltu huoltoväli	Voiteluaine	Voiteluainemäärä DIN g	Huomautukset
Kattilalaitos											
	Lauhevesipumppu 1	11PK-709-02	Lk-500 maataso	ABB	M3BP 250 SMA 2	50	2970	4000	Albida EMS2	60/60	
	Lauhevesipumppu 2	11PK-710-02	Lk-500 maataso	ABB	M3BP 250 SMA 2	50	2970	4000	Albida EMS2	60/60	
	Kaukolämpöpumppu	PK741	Kattilalaitos	STR	HXUR 635 G2 B3	160	1482	4000	Albida EMS2	50/50	M3789
	Kaukolämpöpumppu	PK742	Kattilalaitos	ABB	HXR 315 4 B3 E	200	1485	4000	Albida EMS2	50/50	
	Kaukolämpöpumppu	PK743	Kattilalaitos	STR		200	1485	4000	Albida EMS2	35/35	
	Kaukolämpöpumppu 3	PK745	Kattilalaitos	ABB	HXR 315 4 B3 E	132	1485	4000	Albida EMS2	50/50	M7942
	Palamisilmapuhallin	PU104	Kattilalaitos LK100	STR	HXUR 565 G2 B3		1478	5000	Albida EMS2	35/35	M7396
	Hajotusilmapuhallin	PU103	Kattilalaitos LK100	STR	HXUR 388 G2 B3	22	1460	8000	Albida EMS2	20/20	M7281
	Hajotusilmapuhallin	PU203	Kattilalaitos LK200	STR	HXUR 385 G2 B3		1460	8000	Albida EMS2	20/20	M3431
	Palamisilmapuhallin	PU204	Kattilalaitos LK100	STR	HXUR 565 G2 B3		1478	5000	Albida EMS2	35/35	M3050
	Hajotusilmapuhallin	PU303	Kattilalaitos LK300	STR	HXUR 328 K1 B3		2910	3000	Albida EMS2	20/20	M3051
	Palamisilmapuhallin	PU304	Kattilalaitos LK300	STR	HXUR 455 G2 B3		1472	8000	Albida EMS2	25/25	M3052
	Palamisilmapuhallin	PU404	Kattilalaitos LK400	ABB	HXR 260 MB 4 B3		1473	5000	Albida EMS2	35/35	
	Palamisilmapuhallin	PU504	Kattilalaitos LK500 / ylhäällä	ABB	M2BA 315 MLA 4 B3	200	1485	4000	Albida EMS2	50/50	
	Kaukolämpöpumppu 1	PK746	Kattilalaitos LK500 maataso	ABB	M2BA 315 MLA 4 B3	200	1485	4000	Albida EMS2	50/50	
	Kaukolämpöpumppu 2	PK747	Kattilalaitos LK500 maataso	ABB	M2BA 315 MLA 4 B3	200	1485	4000	Albida EMS2	50/50	
TOVO											
	Tovo 4 x vuodessa voidellavat										
	Syöttövesipumppu 1	10-HLP01AN801Q2	Halli 1	ABB	AMA 450 L 2L BAFH	1588	3561	1600	Albida EMS2	45/45	
	Syöttövesipumppu 2	10-HLP01AN801Q2	Halli 1	ABB	AMA 450 L 2L BAFH	1588	3561	1600	Albida EMS2	45/45	
	Tovo 2 x vuodessa voidellavat										
	Kaukolämpöpumppu 1	10-NDCC21AP101Q2	Halli 1	ABB	M3BP 315 SMC 4 B3	160	1487	4250	Albida EMS2	50/50	
	Kaukolämpöpumppu 2	10-NDCC22AP101Q2	Halli 1	ABB	M3BP 315 SMC 4 B3	160	1487	4250	Albida EMS2	50/50	
	Poistovesipumppu 1	10-LCV10AP101Q1	Halli 1	ABB	M3BP 250 SMA 2	55	2970	4000	Albida EMS2	80/80	
	Poistovesipumppu 2	10-LCV20AP101Q1	Halli 1	ABB	M3BP 250 SMA 2	55	2970	4000	Albida EMS2	80/80	
	LV-lauhepumppu	10-LGV10AP101Q2	Halli 1	ABB	M3BP 280 SMB 2 B3	90	2978	3500	Albida EMS2	35/35	
	Raaka-veden piskapumppu	10-GHC80AP001Q2	Halli 1	ABB	M3BP 180 M2	22	2930	4200	Albida EMS2	20/20	
	Jäähdytysvesipumppu 1	10-PGC11AP401Q2	Halli 1	ABB	M3BP 225 SMB 4	45	1480	8500	Albida EMS2	25/25	
	Jäähdytysvesipumppu 2	10-PGC12AP401Q2	Halli 1	ABB	M3BP 225 SMB 4	45	1480	8500	Albida EMS2	25/25	
	Kaukolämpöpumppu 1	10-NDCC21AP101Q2	Halli 1	ABB	M3BP 355 LKA 4 B3	500	1460	8000	Albida EMS2	120/70	
	Kaukolämpöpumppu 2	10-NDCC22AP101Q2	Halli 1	ABB	M3BP 355 LKA 4 B3	500	1460	8000	Albida EMS2	120/70	
	Turbiinilauhepumppu 1	10-LCB11AP101Q2	Halli 1	Siemens	1LG6 313 4AA 60Z	132	1488	8000	Albida EMS2	40/40	
	Turbiinilauhepumppu 2	10-LCB12AP101Q2	Halli 1	Siemens	1LG6 313 4AA 60Z	132	1488	8000	Albida EMS2	40/40	
	Primääri-ilmapuhallin	10-HLB10AN101Q2	Välihalli	ABB	AMA 450 4L BAFH	1238	1478	4400	Albida EMS2	80/80	
	Korkeapainepuhallin 1	10-HLP01AN801Q2	Välihalli	ABB	M3BP 315 SMC 2 B3	160	2981	3500	Albida EMS2	35/35	
	Korkeapainepuhallin 2	10-HLP02AN801Q2	Välihalli	ABB	M3BP 315 SMC 2 B3	160	2981	3500	Albida EMS2	35/35	
	Korkeapainepuhallin 3	10-HLP03AN801Q2	Välihalli	ABB	M3BP 315 SMC 2 B3	160	2981	3500	Albida EMS2	35/35	
	Kiertokaasupuhallin	10-HFN10AN201Q2	Takahalli 3	ABB	AMA 400 L 4L BAFH	750	1969	3600	Albida EMS2	70/70	
	Kolapurkain	10-ENB10AF001	Sivurakennus 1 maataso	ABB	M3BP 225 SMA 4	37	1480	8250	Albida EMS2	50/50	
	Sekundääri-ilmapuhallin	10-HLB20AN101Q2	Välihalli	ABB	M3BP 355 LKA 4 B3	500	1460	8000	Albida EMS2	60/35	
	Tovo 1 x vuodessa voidellavat										
	Savukaasupuhallin	10-HNB50AN201Q1	Takahalli 3	ABB	AMA 450 L6L BAFH	950	1017	8800	Albida EMS2	80/80	
	Repijätela	10-ENB30AJ101	Sivurakennus 1 maataso	ABB	M3BP 180 L4	22	1470	16000	Albida EMS2	30/30	
	Kolapurkain	10-ENB20AR001	Sivurakennus 1 ylätaso	ABB	M3BP 160 M4	11	1465	17000	Albida EMS2	25/25	
	Murskain	10-EPD10AJ101	Sivurakennus 2 maataso	ABB	M3BP 315 SMC	160	1487	8500	Albida EMS2	90/70	
	Kiekkoseula 1	10-EPD10AT401	Keskellä pihaa	ABB	M3BP 160 L4	15	1460	8500	Albida EMS2	25/25	
	Kiekkoseula 2	10-EPD10AT402	Keskellä pihaa	ABB	M3BP 160 L4	15	1460	8500	Albida EMS2	25/25	
	Hihnakuuljetin seuloon	10-EPA10AF101	Keskellä pihaa ylätaso	ABB	M3BP 180 L4	22	1470	16000	Albida EMS2	30/30	
	Hk.puupolttain seuloon	10-EPA30AF101	Lähinnä laitosta oleva sillo	ABB	M3BP 160 L4	15	1460	17000	Albida EMS2	25/25	
	Hihnakuuljetin silloille	10-EPA20AF101	Kauimmainen sillo	ABB	M3BP 225 SMB 4	45	1480	12500	Albida EMS2	50/50	
	Jakokola	10-EPA50AF101Q2	Ylhäällä sivuhuone / kerros 11	ABB	M3BP 160 L4	15	1460	17000	Albida EMS2	25/25	
	Hk. voimalaitokselle	10-EPA40AF001	Huipulla / kerros 12 / sivuovi	ABB	M3BP 225 S/M 60	45	1480	12500	Albida EMS2	50/50	
	Kolakuuljetin 1	10-HGA11AF101Q2	Kattilakerrokset / kerros 8	ABB	M3BP 160 M4	11	1465	17000	Albida EMS2	25/25	
	Kolakuuljetin 2	10-HGA21AF101Q2	Kattilakerrokset / kerros 8	ABB	M3BP 160 M4	11	1465	17000	Albida EMS2	25/25	
	Kolakuuljetin 3	10-HGA22AF101Q2	Kattilakerrokset / kerros 8	ABB	M3BP 160 M4	11	1465	17000	Albida EMS2	25/25	
	Ruuvikuuljetin	10-HGB22AF301Q2	Kattilakerrokset / kerros 8	ABB	M3BP 160 M4	11	1465	17000	Albida EMS2	25/25	
	Ryöstöruuvi 1	10-HGB10AF301Q2	Kattilakerrokset / kerros 8	ABB	M3BP 160 MLC 4 (EE)	11	1470	17000	Albida EMS2	25/25	
	Ryöstöruuvi 2	10-HGB11AF301Q2	Kattilakerrokset / kerros 8	ABB	M3BP 160 M4	11	1465	17000	Albida EMS2	25/25	
	Sulkusyötin 1	10-HGB10AF501Q2	Kattilakerrokset / kerros 7	ABB	M3BP 160 L4	15	1460	17000	Albida EMS2	25/25	
	Sulkusyötin 2	10-HGB20AF501Q2	Kattilakerrokset / kerros 7	ABB	M3BP 160 L4	15	1460	17000	Albida EMS2	25/25	
	Sulkusyötin 3	10-HGB30AF501Q2	Kattilakerrokset / kerros 7	ABB	M3BP 160 L4	11	1465	17000	Albida EMS2	25/25	
	Syöttöruuvi 1	10-HGB20AF301Q2	Kattilakerrokset / kerros 7	ABB	M3BP 160 M4	11	1465	17000	Albida EMS2	25/25	
	Syöttöruuvi 2	10-HGB20AF302Q2	Kattilakerrokset / kerros 7	ABB	M3BP 160 M4	11	1465	17000	Albida EMS2	25/25	

Osa valmiista ToVo:n moottoriluettelosta

Laitteen nimi	Turnus	Laitteen osasto	Moottorin sijainti	Valmistaja	Moottorin tyyppi	Moottorin teho (kW)	Pyörimisnopeus (r/min)	Voitteleväine	Voitteleväinemäärä (g/kt määrää)	Suositeltu voiteluväline (l/kt määrää)	Laskentatila (D-pää/N-pää)
Sivupurkauksen kolapurkain	0-10BGA 03A	10ENB10AF001	Sivurakennus 1 maataso (Tavarain vastaanotto)	ABB	M3BP 225 SMA 4	37,0	1480	Albida EMS2	50 / 6250	6250	6813-C3 / 6812-C3
Peräpurkauksen kolapurkain	0-10BGA 04B	10ENB20AF001	Sivurakennus 1 ylätaso	ABB	M3BP 160 M4	11,0	1465	Albida EMS2	25 / 17000	17000	6809-C3 / 6809-C3
Reppäritähti	0-10BGA 04C	10ENB30AJ01	Tavarain vastaanotto	ABB	M3BP 180 L4	22,0	1470	Albida EMS2	30 / 16000	16000	6810-C3 / 6809-C3
Biosilikon ruuvipurkain		10ENB41AF301		ABB	M3BP 355SMB 4 B 8	315	1488				6206-C3 / 6206-C3
Bopurkain kääntö 1		10ENB41AE301		ABB	M2BA100L4B	3	1415				6206-C3 / 6206-C3
Bopurkain kääntö 2		10ENB41AE302		ABB	M2BA100L4B	3	1415				6206-C3 / 6206-C3
Turvesilikon ruuvipurkain		10ENB42AF301		ABB	M3BP 355SMB 4 B 8	315	1488				6822-C3 / 6316M/C3V10241
Turvesilikon kääntö 1		10ENB42AE301		ABB	M2BA100L4B	3	1415				6206-C3 / 6206-C3
Turvesilikon kääntö 2		10ENB42AE302		ABB	M2BL100L4B	3	1415				6206-C3 / 6206-C3
Sililojen jakoluuku		10EPA20AM001		ABB	M2BP 80M4B	0,75	1500				
Jakoluuku päiväsiiloihin	0-10BMA07H	10EPA50AA751		SEW-Eurodrive	R47 DV112M4/TF/RI	4	1420				
Hihnakuuletin seulomoon	0-10BGA04D	10EPA10AF101	Sivurakennus 2 keskeillä pihaa, murskalla ylätaso	ABB	M3BP 180 L4	22,0	1470	Albida EMS2	30 / 16000	16000	6810-C3 / 6809-C3
Hihnakuuletin siloilla	0-10BFE 07A	10EPA20AF101	Silo 2, huipulla, kaulimmainen silo	ABB	M3BP 225 SMB 4	45,0	1480	Albida EMS2	50 / 12500	12500	6813-C3 / 6812-C3
Bio-poittoaivon täyttökuljetin	0-10BFE 08D	10EPA30AF101	Silo 1, huipulla, lähinnä laitosta oleva silo	ABB	M3BP 160 L4	15,0	1460	Albida EMS2	25 / 17000	17000	6809-C3 / 6809-C3
Hihnakuuletin päiväsiiloille	0-10BFE 07B	10EPA40AF101	Huipulla / kerros 12 / sivuovi	ABB	M3BP 225 S/M 60	45,0	1480	Albida EMS2	50 / 12500	12500	6813-C3 / 6812-C3
Jakokola päiväsiiloille	0-10BMA 09C	10EPA50AF101	Yhdistelmäsiivuhuone / kerros 11	ABB	M3BP 160 L4	15,0	1460	Albida EMS2	25 / 17000	17000	6809-C3 / 6809-C3
Hihnakuuletin päiväsiiloon harjam.	0-10BFC06N	10EPA40AT001	ei saa tietoa, on sellä siilillä	SEW-Eurodrive	F7/S112GD DV100M4/TF/11	2,2	1410/81				
Raudanerotusmagneetti		10EFC10CE102	Ex 113D T140°C -								
Murskain	0-10BGA 04J	10EPD10AJ101	Sivurakennus 2 maataso (keskeillä pihaa)	ABB	M3BP 315 SMC	160,0	1487	Albida EMS2	90 / 8500	8500	6819-C3 / 6816-C3
Kiekkoseula 1	0-10BGA046	10EPD10AT101	Sivurakennus 2 keskeillä pihaa, murskalla	ABB	M3BP 160 L4	15,0	1460	Albida EMS2	25 / 8500	8500	6809-C3 / 6809-C3
Kiekkoseula 2	0-10BGA04H	10EPD10AT102	Sivurakennus 2 keskeillä pihaa, murskalla	ABB	M3BP 160 L4	15,0	1460	Albida EMS2	25 / 8500	8500	6809-C3 / 6809-C3
Pohjatuikka kolajuljetin pohjajuuksu	0-10BFC06J	10ETG01AA751		SEW-Eurodrive	FA47/G D190L4	1,5	1410				
Pohjatuikka kolajuljetin	0-10BFC02A	10ETG01AF101		SEW-Eurodrive	R107 R77 DV100M4/TF/RI	2,2	1410				
Pohjatuikka aseula	0-10BFA04K	10ETG01AT101		SEW-Eurodrive	FA67/G DV100M4/TF/RI	2,2	1410				
Pohjatuikka jakoruuvi	0-10BFC06K	10ETG02AF301		ABB	M2BA90L4A	1,5	1300				6205-C3 / 6205-C3
Pohjatuikka alava 1 ruuvi	0-10BFC06L	10ETG03AF301				1,5	1500				
Pohjatuikka alava 2 ruuvi	0-10BFC06M	10ETG04AF301				1,5	1500				
Lentotuhkan kuivapurun sulkuosien	0-10BFC06F	10ETH10AF301		SEW-Eurodrive	FA67GDV100M4 ?	2,2	1410/26				
Lentotuhkan kuivapurun nostosäiliö	0-10BFC06M	10ETH10AF301		ABB	VA 71B-2 ? (3GV/A071002-BC	0,55	2850				
Lentotuhkan kostutusruuvi	0-10BFC06C	10ETH20AF301		SEW-Eurodrive	FA97/GDV180M4	18,5	1465/38				
Lentotuhkan mikkipurun sulkuosien	0-10BFC06G	10ETH20AF301		SEW-Eurodrive	FA67GDV100M4 ?	2,2	1410/26				6208-ZZ/C3 / 6206-ZZ/C3
Lentotuhkan polynipostipuhallin	0-10BFA04J	10ETH10AN401		ABB	M2AA 132 SA-2	5,5	2855				
Raaka-ved. piikkapump.	0-10BFC08A	10GHC60AP001	Huili 1	ABB	M3BP 180 M2	22,0	2980	Albida EMS2	20 / 4200	4200	6810-C3 / 6809-C3
Pohjatuikka ruuvi 1	0-10BFC09A	10HDAG0AF301		SEW-Eurodrive	FAL27/6 R77 D190L4/TF/RI	1,5	1410				
Pohjatuikka ruuvi 2	0-10BFC04A	10HDAA0AF301		SEW-Eurodrive	FAL27/6 R77 D190L4/TF/RI	1,5	1410				
Pohjatuikka ruuvi 3	0-10BFC05A	10HDAS0AF301		SEW-Eurodrive	FAL27/6 R77 D190L4/TF/RI	1,5	1410				
Kiertokasupuhallin	0-10BFA03	10HFN10AN201	Takahuili 3	ABB	AMA 400 L 41 B AFH	750,0	1969	Albida EMS2	70 / 3600	3600	6824-C3 / 6819-C3
Poittoainesilto 1 ruuvipurkain		10HGAI0AF301		SEW-Eurodrive	R137 DV225M4/TF/RI	45	1470				
Poittoainesilto 1 jakolaite	0-10BFD18A	10HGAI0AM001		SEW-Eurodrive	R167 DT90L/TF/RI	1,5	1410/20				

Esimerkki moottorikohtaisesta ennakkohuoltokortista

OIKOSULKUMOOTTORIN ENNAKKOHUOLTOKORTTI RASVATTAVILLE MOOTTOREILLE, JOILLE LISÄKSI PUHDISTUS.

POSITIO: 10ENB20AF001

MOOTTORI: Peräpurkauksen kolapurkain

TYYPPI: ABB / M3BP 160 M4

VOITELUVAINE JA MÄÄRÄ: Albida EMS2 25g / 17000kt

Tarkastus/toimenpide																				
Päivämäärä / tekijä																				
Käyttötunnit																				
Tyypikkilven paikallaan olon ja sen tekstin luettavuuden tarkastus																				
Turvakytkimen tekstin luettavuuden ja kunnan tarkastus sekä turvakytkimen puhdistus																				
Jäähdytysilman vapaan kierron tarkastus																				
Kytinkopan, kaapeleiden ja kaapelipäätteiden kunnan tarkastus ja puhdistus																				
Kiinnitysruuvien kunnan tarkastus ja tarvittaessa kiristys																				
Moottorin lämpötilan tarkastus (ei poikkea normaalista)																				
Ympäristön lämpötilan tarkastus (ei poikkea normaalista)																				
Laakeriäänien tarkastus (ei poikkea normaalista)																				
Laakereiden voitelu (kirjaa käytetty voiteluainemäärä)																				
Akselitiivisteiden kunnan tarkastus ja tarvittaessa vaihto																				
Poistuvan voiteluaineen värin tarkastus (väri normaali) ja tarvittaessa ylimääräisen rasvan poisto																				

Tarkastus/toimenpide																				
Päivämäärä / tekijä																				
Moottorin rungon puhdistus																				
Jäähdytysriipojen ja tuuletusritilän puhdistus																				

JOS HUOMAUTETTAVIA ASIOITA ILMENEE, NE ON KIRJATTAVA YLÖS JA NIISTÄ ON ILMOITETTAVA.