Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Taajuusmuuttajan eri kunnossapitostrategiat

Riku Nykänen

Kandidaatintyö
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

3.3.2020

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Riku Nykänen
Taajuusmuuttajan eri kunnossapitostrategiat
2020

Kandidaatintyö.
28 s.
Tarkastaja: Olli Liukkonen

Tämä kandidaatintyö tehtiin LUT yliopistolle ja sen tarkoituksena oli tutkia taajuusmuuttajan eri kunnossapitostrategioita. Työssä keskityttiin kolmeen toisistaan eroavaa kunnossapitostrategiaan ja nämä strategiat ovat run-to-failure, aikapohjainen kunnossapito ja tapahtumapohjainen kunnossapito. Keskeisenä tavoitteena työssä oli etsiä tietoa kuinka eri kunnossapitostrategiat vaikuttavat laitteiden kunnonvalvontaan, varaosien tarpeeseen ja henkilöstön tarpeeseen ja koulutukseen. Tietoa kerättiin internetistä laitevalmistajien sivuilta ja tieteellisistä julkaisuista. Eri laitevalmistajien tarjoamia palveluita ja mahdollisuuksia, esimerkiksi varaosien osalta tai kunnonvalvonnan osalta, esitellään myös työssä.

Työhön kuului myös haastattelu UPM Lappeenrannan Kaukaan sellutehtaalla. Haastateltavana henkilönä oli kuivauskoneiden Sähköautomaatiomestari. Haastattelussa otettiin selvää, kuinka kunnossapito ja kunnonvalvonta on toteutettu kyseisellä alueella. Haastattelussa selvitettiin myös, kuinka varaosien varastointi on hoidettu ja kuinka paljon yhteistyötä tehdään laitevalmistajan kanssa.

Lopputuloksissa esitellään kunkin kunnossapitostrategian paras käyttökohde. Run-to-failure sopisi parhaiten ei kriittisille taajuusmuuttajakäytöille, esimerkiksi ilmanvaihto-sovellukseen, jos se on toteutettu usealla poistoilmapuhaltimella. Aikapohjainen kunnossapito taas soveltuisi parhaiten taajuusmuuttajille, joita käytetään säännöllisesti ja joille on helposti määritettävissä huoltovälit. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi prosessiteollisuudessa säiliöiden sekoittajat, joita käytetään jatkuvasti ja joita voidaan huoltaa ainoastaan seisokin yhteydessä. Viimeisenä oleva tapahtumapohjainen kunnossapito seuraa laitteen kuntoa jatkuvasti ja se soveltuu parhaiten kaikista kriittisimmille taajuusmuuttajille. Sen kunnonvalvontakustannukset ovat suurimmat, mutta sillä voidaan ehkäistä ylimääräisiä seisokkeja.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Riku Nykänen
Variable frequency drives different maintenance strategies
2020

Bachelor's Thesis.
28 p.
Examiner: Olli Liukkonen

This bachelor´s thesis was made to LUT university and its purpose was to research different maintenance strategies in variable frequency drive. In this thesis we focused to three different maintenance strategy which was run-to-failure, time-based maintenance and condition-based maintenance. We focused on how the different maintenance strategies affect to condition monitoring, the need of spare parts and personnel who can change the drive and their training. All the information is collected from the internet from drive manufacturers home pages and from scientific publications. Also different service opportunities from the manufacturer is demonstrated. For example service to condition monitoring and spare parts storage.

To the bachelor´s thesis was involved a interview form UPM Lappeenranta Kaukas pulp mill. We interviewed the drying machines electrical supervisor about how the maintenance and condition monitoring is implemented there. Also how the spare parts storage is carried out and what contracts they have whit the drive manufacturer.

In the results we sum up the good sides and the bad sides of every maintenance strategy. Also there is showed the best use for different strategy. The run-to-failure strategy is best for drives which are not important. For example the air ventilation if there are many air fans. The time-based maintenance strategy is best for drives which is used often and the service interval is easy to define. This kind of strategy would be best for different tank mixers in process industry which can only be maintenance in process stops. The last condition-based maintenance monitors the drives condition in real time. That´s why it is best for the most critical drives. The cost of the condition monitoring is high but if you can prevent any unnecessary stops it will pay itself back.

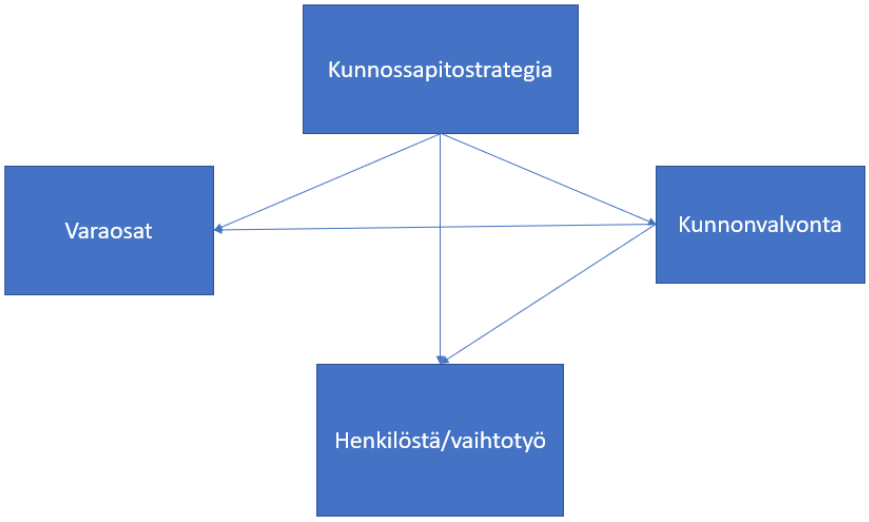
SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto 5
1.1 Työn tarkoitus ja sen rajaus 5
1.2 Taajuusmuuttaja ja sen käyttötarkoitus 6
2. Eri kunnossapitostrategiat 8
2.1 Run-to-Failure 8
2.2 Tapahtumapohjainen kunnossapito 8
2.3 Aikapohjainen kunnossapito 9
3. Kunnossapitoa vaativat komponentit taajuusmuuttajassa ja ympäristöolosuhteiden vaikutus 10
3.1 Kuiva ja puhdas ympäristö 12
3.2 Viileä ympäristö 12
3.3 Liitosten tiukkuuden varmistaminen 12
3.4 Ympäristöolosuhteiden vaikutus eri kunnossapitostrategioihin 12
4. Kunnonvalvonta 14
4.1 Kunnonvalvonta eri kunnossapitostrategioissa 14
4.2 Laitetoimittajien kunnonvalvontapalvelut 14
5. Varaosat 16
5.1 Varaosien määrän määrittäminen Poissonin yhtälöllä 16
5.2 Varaosien tarve eri kunnossapitostrategioissa 17
5.3 Taajuusmuuttajien elinkaarivaihemalli ABB 18
6. Työvoiman saatavuus 19
6.1 Työvoiman saatavuus eri kunnossapitostrategioissa 19
6.2 ABB koulutuspalvelu 19
7. Kunnossapito käytännössä 20
8. Johtopäätökset 23
9. Lähteet 25
10. Liitteet 27

1. JOHDANTO

1.1 Työn tarkoitus ja sen rajaus

Sähkömoottoreiden ohjauksessa käytettävät taajuusmuuttajat ovat yksi prosessiteollisuuden keskeisimmistä laitteista. Tämän työn tavoitteena on tutkia kolmea eri taajuusmuuttajan kunnossapitostrategiaa. Työssä tutkittavat strategiat ovat run-to-failure, aikapohjainen kunnossapito ja tapahtumapohjainen kunnossapito. Työssä vertaillaan, kuinka varaosien hallinta, henkilöstö ja kunnonvalvonta eroavat eri kunnossapitostrategioiden välillä ja vertaillaan esimerkiksi kunnonvalvonnan kriittisyyttä eri kunnossapitostrategioiden välillä. Kuvassa 1.1 on esitetty työn tarkoitusta havainnoiva kaavio.



Kuva 1.1 Eri kunnossapitostrategioiden vaikutus kunnonvalvontaan, varaosiin ja henkilöstöön

Työssä esitellään jokaisen kunnossapitostrategian hyvät ja huonot puolet ja esitellään sopiva käyttökohde jokaiselle eri strategialle. Työssä tuodaan myös esille eri laitevalmistajien tarjoamia palveluita ja ohjelmistoja, esimerkiksi kunnonvalvontaan liittyen. Työtä varten on haastateltu UPM Lappeenrannan Kaukaan sellutehtaalla kuivauskoneiden sähkö ja automaatiomestaria ja esitetty kuinka taajuusmuuttajien kunnossapito on toteutettu kyseisessä kohteessa.

Työ suoritetaan pääosin kirjallisuuskatsauksena, mutta myös haastatteluna. Työn näkökulma pyritään pitämään hyvin etäisenä yksityiskohdista ja esille tuodaan vain pääpiirteittäiset asiat eri kunnossapitostrategioista. Työssä keskitytään prosessiteollisuuteen ja tehokooltaan yli 15 kW kokoluokan taajuusmuuttajiin.

1.2 Taajuusmuuttaja ja sen käyttötarkoitus

Taajuusmuuttaja on sähkölaite, joka kytketään syöttävän verkon ja sähkömoottorin väliin, ja sen tarkoitus on nimensä mukaan muokata moottorin syöttötaajuutta sekä jännitettä. Maailmanlaajuisesti taajuusmuuttajamarkkinat ovat hyvinkin suuret ja vuonna 2017 liikevaihto koko alalla oli 11bn($) Yhdysvaltain dollaria. Maailman suurimpia taajuusmuuttajien valmistajia ovat mm. ABB, Danfoss, Siemens, Schneider Electric (Lloyd 2017). Kuvassa 1.2 on esitetty ABB ACS880 taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajia löytyy hyvin eri kokoisia, aina pienistä ABB:n ACS 55 taajuusmuuttajista, jonka koko on 70 mm x 226 mm x 159 mm, suuriin ABB:n ACS800-07 luokan taajuusmuuttajiin, jotka ovat sähkökeskukseen asennettavia ja leveydeltään noin 3.2 m.

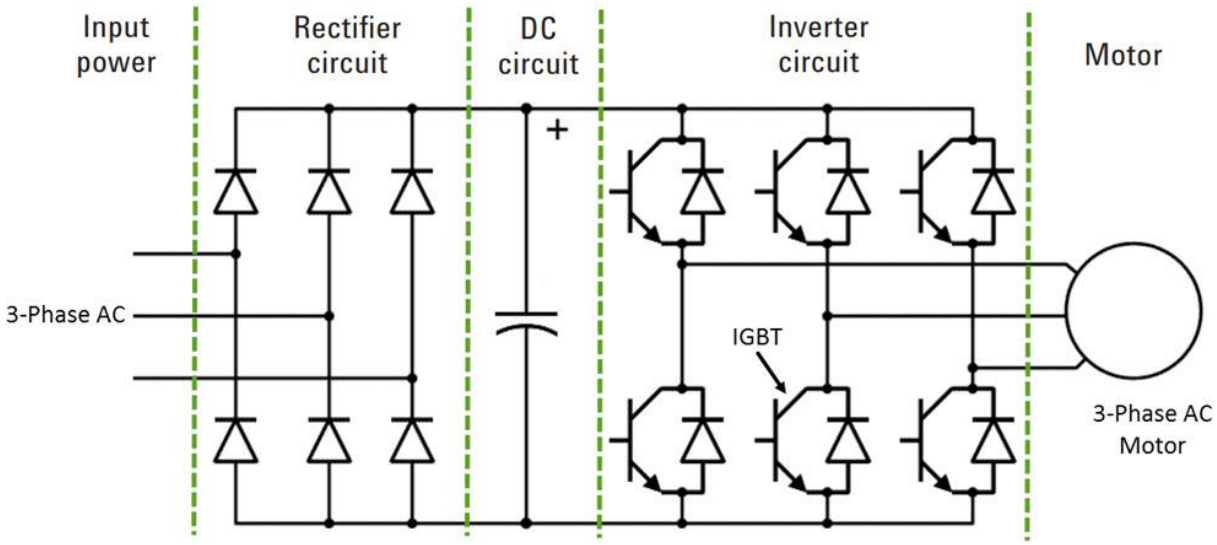
Kuva 1.2 ABB ACS880 taajuusmuuttaja

Erityisesti teollisuudessa, jossa on paljon kuljetin-, sylinteri- tai pumppukäyttöjä taajuusmuuttajien käyttö on yleistä. Taajuusmuuttajilla voidaan helposti ohjata moottorien pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia portaattomasti. Taajuusmuuttaja kytketään verkkojännitteeseen, yleensä kolmivaihe järjestelmään, joka suomessa on pääjännitteeltään 400 V ja taajuudelta 50 Hz, mutta teollisissa jakeluverkoissa esiintyy jopa 11 kV suuruisia jännitteitä.

Ensimmäisenä taajuusmuuttajassa on vaihtovirran tasasuuntaaja, joka muuntaa vaihtovirran tasavirraksi. Tasasuuntaus tehdään yleensä diodeilla. Tämä piiri voi olla myös useampisuuntainen, jolloin taajuusmuuttaja voi syöttää sähköenergiaa takaisin verkkoon. Takaisinsyöttö on käytössä, jos moottorien hidastuessa liike-energia muutetaan takaisin sähköenergiaksi.

Tämä jälkeen löytyy tasavirtapiiri eli välipiiri. Kapasitiivinen välipiiri toimii sähköenergian välivarastona, jossa energia on varastoitu kondensaattoreihin. Tämän tarkoitus on tasata tasasuunnatun virran vaihteluita ja antaa lisäenergiaa esimerkiksi moottorin käynnistyksessä.

Viimeisenä osana löytyy invertteripiiri eli vaihtosuuntaaja, jossa tasajännite muunnetaan halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi transistoreiden avulla ja syötetään moottorille. Kuvassa 1.3 on esitetty taajuusmuuttajan piirikaavio, jossa löytyy eri osa-alueet. (Olli Tevä 2013) (ABB 2019)



Kuva 1.3 Taajuusmuuttajan pääkomponentit ja osat

Taajuusmuuttajan hyötyjä ovat helppo prosessin ohjaaminen, järjestelmän kuormituksen vähentäminen ja energian säästäminen. Taajuusmuuttajalla varustettuja sähkökäyttöjä voidaan ohjata suoraan nopeus- tai vääntömomenttiohjeella. Tämä mahdollistaa keskitetyn ohjauksen suurelle määrälle sähkökäyttöjä ja voidaan synkronoida useita käyttöjä toimimaan yhdessä. Esimerkkinä tästä voidaan mainita sellutehtaan kuvauskoneiden ratanopeus, jota säädetään usealla sähkökäytöllä. Taajuusmuuttajalla voidaan myös käynnistää suuria sähkömoottoreita rampilla, jolloin verkosta otettavat virtapiikit jäävät pienemmiksi. Myös välipiiri, johon energia on varastoitunut, kompensoi suuria piikkejä, joten ne eivät näy yhtä suurina verkossa. Optimoimalla sähkömoottoreiden sähkönkulutus taajuusmuuttajilla voi kokonaiskulutusta vähentää jopa 20-50 prosenttia. Kuitenkin ensisijainen tehtävä on optimoida prosessi. (Olli Tevä 2013)

2. ERI KUNNOSSAPITOSTRATEGIAT

Työssä keskitytään kolmeen eri kunnossapitostrategiaan, jotka ovat run-to-failure, aikapohjainen kunnossapito ja tapahtumapohjainen kunnossapito. Seuraavaksi esitellään kuinka nämä kolme strategiaa toimivat ja kuinka ne eroavat pääpirteittäin toisistaan.

2.1 Run-to-Failure

Run-to-Failure kunnossapidolla tarkoitetaan kunnossapitostrategiaa, jossa laite asennetaan käyttöön ja laitteelle ei tehdä erillistä kunnonvalvontaa tai huoltotoimenpiteitä, ennen kuin se vikaantuu. Tämä kunnossapitostrategia on yksinkertaisin kaikista tavoista, koska se ei sisällä ollenkaan minkäänlaista käytön aikaista kunnossapitoa tai kunnonvalvontaa. Tämä kunnossapitostrategia käy laitteille, joilla ei ole suurta merkitystä turvallisuuteen tai tuotantoon tuotantolaitoksessa. (Fiix 2014)

Run-to-failure kunnossapitostrategian etuina on vähäinen käytönaikainen suunnittelu, koska laitteelle tehdään huoltotoimenpiteet vasta kun se vikaantuu. Erityistä suunnitelmaa kunnossapidolle, esimerkiksi aikapohjaista suunnitelmaa ei ole, vaan varaudutaan muulla tavoin mahdollisiin vikatilanteisiin. Koska erityistä suunnitelmaa kunnossapitostrategiassa ei ole, on se helposti ymmärrettävissä. Haittoina taas on heikko ennustettavuus, koska vika voi ilmetä milloin vain. Sen takia myös varaosien ja osaavan henkilöstön paikalle saanti on haastavaa yllättävissä tilanteissa. Mikäli käyttäjän prosessi ei salli pitkiä käyttökeskeytyksiä, varaosat tai varalaite on oltava aina saatavissa, mikä puolestaan sitoo pääomia varaosiin. Mikäli laite ilmaisee vikaantumisesta etukäteen, esimerkiksi pätkimisenä, on järkevä ajoittaa laitteen vaihto seuraavaan sopivaan ajankohtaan, jolloin vältytään yllättävältä laitteen vikaantumiselta. Tällöin myös resurssien varaaminen paikalle on helpompaa, kun se voidaan suunnitella etukäteen. (Fiix 2014)

Esimerkki run-to-failure kunnossapidosta on polttimien vaihto valaisimessa. Valaisin annetaan palaan niin pitkään, kunnes se vikaantuu. Tämän jälkeen varataan resurssit valaisimen korjaamiseen paikalle eli hankitaan uusi valaisin ja vaihdetaan se. (Fiix 2019)

2.2 Tapahtumapohjainen kunnossapito

Tapahtumapohjaisessa kunnossapidossa pyritään laitteen kuntoa seuraamaan aktiivisesti ja havaintojen pohjalta määrittämään laitteen senhetkinen tila. Tavoitteena on pyrkiä huoltamaan laite ennen sen vikaantumista, jolloin yllättäviltä käyttökeskeytyksiltä vältytään. Tämän avulla saadaan optimoitua huoltotarpeet, minimoitua kustannukset ja pidennettyä laitteen käyttöikää. (Fiix 2019)

Tapahtumapohjaisen kunnossapidon kannustimena toimii se, että jopa 99% vikatilanteista voidaan havaita etukäteen. Tässä avainasemaan nousee kunnonvalvonta ja mittausten suorittaminen. Mittauksien perusteella voidaan havaita muutoksia esimerkiksi tärinässä, lämpötilassa tai sähkövirran suuruudessa. Kunnonvalvonnan yhteydessä myös ihmisten asteilla on suuri merkitys havaitsemaan esimeriksi likaisuuden, pölyn määrän tai lisääntyneen äänen. Mittausten ja aistimusten perusteella voidaan kartoittaa laitteen kunto ja tehdä päätöksiä laitteen huoltotoimenpiteistä. Pitkään kestänyt laitteiden kunnonvalvonta ja tapahtumapohjainen kunnossapito parantavat laitteiden toiminnan ymmärrystä ja näin tarvittavien huoltotoi-

menpiteiden määrittäminen mittausdatan perusteella helpottuu. Esimerkiksi kunnonvalvonnassa havaittava tärinän lisääntyminen voi indikoida laakerin hajoamisesta. (Rosmaini and Shahrul, 2010)

Kunnonvalvontaa voidaan suorittaa kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on käynninaikainen kunnonvalvonta, jossa mittaukset suoritetaan, kun kone on käynnissä ja käytössä. Käynninaikaista kunnonvalvontaa voidaan toteuttaa erilaisilla laitteilla esimerkiksi endoskoopeilla tai lämpökameroilla. Myös Online mahdollisuuksia on tullut tarjolle, jossa seurattavaan laitteeseen asetetaan anturi, joka mittaa reaaliaikaisesti laitteen kuntoa. Esimeriksi COREIoT tarjoaa anturia ja järjestelmää, joka kerää tietoa antureista langattomasti 4G tekniikan avulla järjestelmään, analysoi sitä ja hälyttää käyttäjälle havaitusta poikkeamasta tai alkavasta viasta (COREIoT, 2019). Toinen käytetty metodi on seisokin aikainen kunnonvalvonta, jolloin laitteelle voidaan suorittaa erilaisia mittauksia, kun se on käyttämättömänä. (Rosmaini and Shahrul, 2010)

2.3 Aikapohjainen kunnossapito

Aikapohjaisessa kunnossapitostrategiassa pyritään minimoimaan suunnittelemattomien käyttökeskeytyksien määrä huoltamalla laitetta ennalta määrätyn huolto-ohjelman mukaisesti. Aikapohjaisessa kunnossapidossa aluksi tutkitaan kyseessä olevan laitteen historiaa ja analysoidaan niiden perusteella laitteen eri osa-alueiden ja osien vikaantumistiheyksiä. Tämän tarkoituksena on määrittää eri komponenttien käyttöiät ja näin valita niiden vaihtoväli juuri ennen kuin ne normaalisti vikaantuisivat. Esimerkkejä aikapohjaisesta kunnossapidosta on auton huolto-ohjelma, jossa öljyt täytyy vaihtaa joko vuoden tai 10000 kilometrin välein.

Hyötyjä aikapohjaisella kunnossapidolla saadaan siitä, ettei se vaadi jatkuvaa kunnonvalvontaa eri osien kestävyyden selvittämiseksi ja osien vaihtotoimenpiteistä ei tarvitse tehdä erillistä päätöstä. Haittapuolena taas on, että täysin kunnossa olevia osia saatetaan vaihtaa laitteisiin. Jopa 30% aikapohjaisista huolloista tehdään liian usein. Kunnossapitostrategia vaatii laitteelle käyttökeskeytyksen huoltotoimenpiteiden ajaksi ja tämä tuottaa keskeytyskustannuksia. Tilanteet, jossa vika esiintyy ennen huoltovälin täyttymistä, aiheuttavat ongelmia, koska tällöin varaosia ja osaavaa henkilöstöä ei olla ehditty varata paikalle. Aikapohjaisen kunnossapidon huoltoaikataulua tulee päivittää säännöllisesti ja ottaa huomioon ympäristö olosuhteet. Ympäristöolosuhteen vaikutusta taajuusmuuttajalle on käsitelty tarkemmin luvussa kolme. (Upkeep 2019)

3. KUNNOSSAPITOA VAATIVAT KOMPONENTIT TAAJUUSMUUTTAJASSA JA YMPÄRISTÖOLOSUHTEIDEN VAIKUTUS

Monesti taajuusmuuttajat pyörittävät teollisuusprosessien keskeisiä sähkökäyttöjä ja niiden vikaantuminen pysäyttää koko prosessin. Monessa tilanteessa yksinkertaisin konstein ja ennakkohuolloin voidaan taajuusmuuttajan luotettavuutta parantaa ja elinikää kasvattaa. (Nikolay 2017)

Laitevalmistajat tarjoavat valmiita materiaaleja aikapohjaisen kunnossapitostrategian perustaksi. Jotta taajuusmuuttaja pysyy luotettavana ja toimintakuntoisena, täytyy tarkastuksia ja mittauksia toteuttaa vuosittain. Tarkastellaan ABB uusimmille ACS taajuusmuuttajille tarkoitettua huoltopohjaa, mitä komponentteja he suosittelevat vaihtamaan ja mikä on niiden vaihtoväli. Liitteessä 1 on ABB ACS taajuusmuuttajien ennakkohuoltoaikataulu. Huoltopohja on tarkoitettu 2017 ja uudemmille ACS taajuusmuuttajille. Taulukossa 3.1 on listattu eri komponentit ja niiden vaihtovälit.

Taulukko 3.1 ABB ACS880 taajuusmuuttajan komponenttien vaihtovälit

Komponenti	Vaihtoväli [vuotta]
Kondensaattorit -BLCL -NSIN -JCAP silta -Välipiirin kondensaattorit	9
Tuulettimet (Riippuen rungosta ja taajuudesta)	3-9
Jäähdyttimen suodatin	9
Paristot	
-Ohjausyksikkö	6
-Ohjauspaneeli	9
Ohjausyksiköt	12

Taulukosta 3.1 havaitaan, että pääosin komponenttien vaihtovälit ovat pitkiä, jos sitä vertaa taajuusmuuttajan käyttöikään, mikä on yleensä 15-20 vuotta kunnes laite kannattaa päivittää (Halcyon 2016). Lyhin vaihtoväli on taajuusmuuttajan laitetuulettimella. Vaihtoväli riippuu tuulettimella laitteen runkokoosta, tyypistä ja syöttötaajuudesta. Tyypillisesti se on kolmesta yhdeksään vuotta. Komponenttien vaihtovälit ovat vain suuntaa antavia. ABB ilmoittaakin omilla sivuillaan. että mikäli ympäristöolosuhteet poikkeavat määritellystä, voi vaihtovälit komponenteilla muuttua ja huoltoaikataulua tulee päivittää. Toinen huoltoväliin vaikuttavista asioista on raskas kuormitus, jos taajuusmuuttajaa käytetään pitkiä aikoja lähellä sen nimelliskuormitusta. Ennakkohuoltopohja on monesti perusta aikapohjaiselle kunnossapidolle. (ABB 2019)

Taulukkoon 3.2 on listattu ABB ACS huoltopohjassa olevat vuotuiset tarkastukset ja mittaukset.

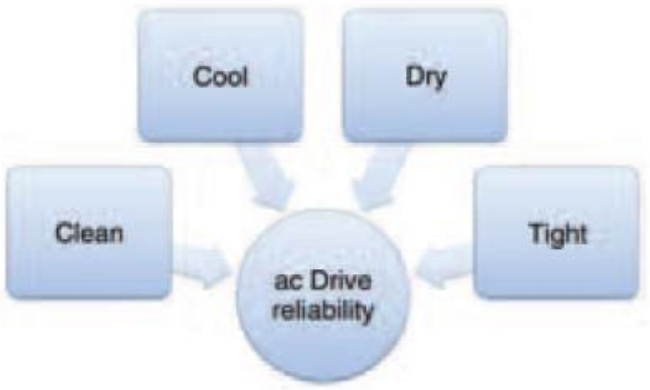
Taulukko 3.2 ABB vuosittain suositellut toimet ACS880 taajuusmuuttajalle

Kohde	Toiminta
Oven suodatin	Vaihto
Syöttöjännite	Tarkistus/mittaus
Varaosat	Tarkistus/mittaus
Ilmanvaihto	Tarkistus
Liitokset	Tarkistus/kiristys
Pölyisyys	Tarkistus
Korroosio	Tarkistus
Lämpötila	Tarkistus/mittaus
Jäähytin	Tarkistus/puhdistus

Vuosittain tehtävät tarkastukset ja mittaukset on tärkeä suorittaa, koska niillä varmistetaan taajuusmuuttajan kunto fyysisesti paikan päällä. Tarkastuksen yhteydessä havaitaan laitteessa mahdollisesti ilmenevä korroosio, laitteeseen kertynyt pöly sekä laitteen kohonnut käyttölämpötila. Samalla voidaan toteuttaa suodattimen vaihto taajuusmuuttajalle. Mikäli tarkastuksissa havaitaan poikkeamia normaalista, voidaan tilanteeseen puuttua ennen kuin se johtaa laitteen vikaantumiseen. Esimerkiksi mikäli taajuusmuuttajan lämpötila on kohonneella tasolla, voidaan laitteen tuuletin vaihtaa etukäteen tai ympäristön lämpötilaa laskea. (ABB 2019)

Varaosat tulee tarkastaa myös vuosittain, koska vain niin varmistetaan varaosien toimivuus. Varaosat tulee säilyttää niille määritellyssä ympäristöolosuhteissa. Taajuusmuuttajien kondensaattorit vaativat elvytyksen kolmen vuoden välein. Tällöin kondensaattoreihin kytketään jännite 60 minuutin ajaksi, jolloin ne latautuvat. Näin varmistetaan varaosakondensaattoreiden toimivuus. (ABB 2019)

Yhteenvetona voidaan todeta, että vuosittain tehtävillä tarkastuksilla varmistetaan taajuusmuuttajan toiminta paikan päällä. Kuvassa 3.1 on esitetty eri osa-alueita, mitkä vaikuttavat laitteen luotettavuuteen. Kappaleissa 3.1, 3.2 ja 3.3 on kerrottu jokaisen osa-alueen vaikutuksesta taajuusmuuttajan luotettavuuteen.



Kuva 3.1 Taajuusmuuttajan luotettavuuteen vaikuttavat yksinkertaiset asiat.

3.1 Kuiva ja puhdas ympäristö

Taajuusmuuttaja pitäisi pysyä koko ajan puhtaana niin ulko- kuin sisäpuolelta ja pysyä kuivana. ABB ACS880 taajuusmuuttaja laiteoppaassa sivulla 203 on mainittu laitteelle soveltuva käyttöympäristö (ABB 2019). Ilmassa leijuva lika tai muut pölyhiukkaset imeytyvät taajuusmuuttajan sisälle niiden tuulettimien kautta ja näin kertyvät kerroksiksi sen sisälle. Tämä voi haitata jäähdytysilman kiertoa. Tämä johtaa siihen, että taajuusmuuttaja alkaa kuumenemaan tarpeettoman paljon ja mahdollisesti vikaantuu. Pöly ja lika, joka kertyy taajuusmuuttajan sisälle, kerää myös itseensä kosteutta. Mikäli sähköiset komponentit ovat pitkään kosteudelle ja vedelle alttiina, se aiheuttaa korroosiota, joka taas voi johtaa taajuusmuuttajan vikaantumiseen. (Nikolay 2019 ja Variable Frequency Drives 2019)

Taajuusmuuttajat sijoitetaan yleensä sähkötiloihin, jossa likaisuus ja kosteus ei ole ongelma. Lian poistaminen paineilmalla tai muulla vastaavalla ehkäisee myös likaantumista. Esimerkiksi Kaukaan sellutehtaalla sähkötilat on ylipaineistettuja, joten likaa ei pääse kertymään (Haastattelu 2019) Kuitenkin paineilman käytössä tulee kiinnittää huomiota paineilman likaisuuteen, koska monesti teollisuusympäristön paineilma sisältää öljyä ja vettä. Pölyn poistaminen kannattaakin tämän takia tehdä suihkepullolla, joka ei tuota staattista varausta taajuusmuuttajaan. (Variable Frequency Drives 2019)

3.2 Viileä ympäristö

Taajuusmuuttajalle on asetettu tiettyjä vaatimuksia, millaisissa ympäristössä ja lämpötilassa sen on pysyttävä. Esimerkiksi ABB:n ACS 880 sarjalle ilmoitetaan sallituksi ympäristön lämpötilaksi -15 ◦C – 50 ◦C (Patrik 2017). Tarvittaessa sähkötilan lämpötilaa voidaan säätää erillisellä jäähdytyskoneikolla, joka toimii osana tilan ilmanvaihtojärjestelmää. Mikäli lämpötila eroaa kolmesta viiteen astetta asetetusta arvosta, on suositeltavaa säätää lämpötilaa. Tämä kuuluu osana tapahtumapohjaiseen kunnossapitoon, jossa kerätään tietoa laitteesta ja ympäristöstä. (Variable Frequency Drives 2019).

3.3 Liitosten tiukkuuden varmistaminen

Sähköiset liitokset löystyvät ajan kuluessa, johtuen mekaanisista tärinöistä, sähkövirran taajuudesta ja lämpötilan vaihteluista. Löysät liitokset aiheuttavat ylimääräistä vastustusta piiriin ja näin ollen alkavat lämpenemään. Tämä taas johtaa yleisesti taajuusmuuttajan lämpenemiseen ja mahdollisesti vikaantumiseen. Myös mahdollisia sähkön laadullisia ongelmia voi esiintyä liitosten vikaantumisen myötä. Laitetoimittajat suosittelevatkin tarkistamaan liitokset tietyn ajan välein ja tämä kuuluisi aikapohjaiseen kunnossapitoon. Tapahtumapohjaisessa kunnossapidossa löysät liitokset voidaan havaita kohonneena lämpötilana. Löysän liitoksen löytämiseksi paras tapa on käyttää infrapunakameraa, joka indikoin lämmenneen liitoksen. (Nikolay 2017)

3.4 Ympäristöolosuhteiden vaikutus eri kunnossapitostrategioihin

Run-to-failure:
Ympäristössä olevat epäpuhtaudet ja lämpötila vaikuttavat suoraan taajuusmuuttajan elinikään. Run-to-failure kunnossapidossa laitteelle ei tehdä tarkastuksia tai kunnonvalvontaa, joten ympäristöolosuhteita ei voida ottaa huomioon ja taajuusmuuttaja on altis vikaantumiselle herkemmin.

Aikapohjainen kunnossapito:
Aikapohjaisessa kunnossapidossa ympäristöolosuhteet vaikuttavat komponenttien vaihtoväliin. Esimerkiksi ilman epäpuhtaudet kertyvät taajuusmuuttajan sisälle ja keräävät itseensä kosteutta. Tällöin komponenttien vaihtoväli suositellusta vaihtovälistä voi lyhentyä. Aikapohjaisen kunnossapidon vahvuus ympäristöolosuhteita vastaan on vuosittain tehtävien tarkastuksien suorittaminen, jolloin tarkastetaan laitteen kunto ja liitosten tiukkuus. Tällöin ympäristöolosuhde ei pääse vaikuttamaan laitteeseen pitkään.

Tapahtumapohjainen kunnossapito:
Kunnonvalvonnan avulla voidaan vertailla laitteen kuntoa ja havainnoida eri komponenttien vikaantuminen. Tämän ansiosta ympäristöolosuhteet eivät vaikuta laitteen käytettävyyteen. Esimerkiksi, mikäli lämpötila kohoaa liian korkeaksi, voidaan tähän reagoida välittömästi ja vaikutus taajuusmuuttajaan jää lyhyeksi. Ympäristöolosuhteet voivat kuitenkin lyhentää taajuusmuuttajan elinikää, jolloin komponenttien ja laitteen vaihtoväli lyhenee.

4. KUNNONVALVONTA

Kunnonvalvonta on kunnossapidon yksi keskeinen osa-alue. Tässä kappaleessa vertaillaan, millaisessa roolissa kunnonvalvonta on eri kunnossapitostrategioissa. Kappaleessa 4.2 on esitetty laitetoimittajan tarjoamia kunnonvalvontapalveluita.

4.1 Kunnonvalvonta eri kunnossapitostrategioissa

Tapahtumapohjainen kunnossapito:
Tapahtumapohjaisessa kunnossapidossa koko kunnossapito perustuu kunnonvalvonnalle. Laitteesta kerätään reaaliaikaista tietoa esimerkiksi tärinä, lämpötila tai jännite. Mitattujen tietojen perusteella tehdään päätöksiä kunnossapitotoimista. (Yinhua ja Sheng)

Monesti kunnonvalvontaan on yhdistetty tiedon kerääminen ja analysointi. Järjestelmä itse antaa käyttäjälle tiedon, jos jokin mitattu tieto indikoi laitteen vikaantumiseen. Kappaleessa 4.2 on käsitelty laitetoimittajien tarjoamia kunnonvalvontamahdollisuuksia ja kuinka se lisää riippuvuutta laitetoimittajasta.

Aikapohjainen kunnossapito:
Itse kunnonvalvontaa ei tässä kunnossapidossa tarvita, koska komponenttien huoltoajat ja välit on ennalta määrättyjä. Toki ympäristöolot ja muut yllättävät tilanteet voivat vikaannuttaa laitteen ennenaikaisesti. Tällöin tarvitaan kunnonvalvontaa, joka on lähinnä toteaminen, että laite on vikaantunut. Tällaisen tilanteen ilmaannuttua täytyy huoltosuunnitelmaa päivittää, jottei vastaavaa tilannetta pääsisi syntymään uudestaan. (J.Schutz, N.Rezg, J.B.Leger)

Run-to-failure kunnossapito:
Kappaleessa kaksi esitellyssä run-to-failure kunnossapidossa kunnonvalvonnan rooli on hyvin vähäinen. Ainoa asia, mitä käyttäjän tulee laitteesta havaita, on se, milloin laite on vikaantunut. Tämä voi prosessiteollisuudessa ilmetä esimerkiksi prosessin häiriintymisenä. (Daniel 2015)

4.2 Laitetoimittajien kunnonvalvontapalvelut

Monesti laitetoimittajat eivät tyydy vain taajuusmuuttajan myymiseen vaan pyrkivät saamaan pitkäkestoisen kumppanuussuhteen ja myymään laitteen lisäksi erinäköisiä palveluita. Tällaisia palveluita tarjoaa muun muassa ABB ja Danfoss omille laitteilleen. Kunnonvalvontaan liittyvässä palvelussa taajuusmuuttajan tiedot kerätään kootusti yhteen järjestelmään, josta voidaan jokaisen laitteen kuntoa tarkastella jatkuvasti. Järjestelmän ominaisuutena se voi toimia selainpohjaisena, jolloin loppukäyttäjällä on pääsy tarkastelemaan laitteiden kuntoa mistä vaan ja hälytysominaisuus, jossa järjestelmä lähettää loppukäyttäjälle ilmoituksen taajuusmuuttajan mahdollisesta vikaantumisesta. Esimerkiksi jos laitteen sisäinen lämpötila kasvaa asetettua raja-arvoa suuremmaksi lähettää järjestelmä hälytyksen. (ABB 2018) (Danfoss 2019)

Lisäksi kunnonvalvontapalvelu voidaan yhdistää kunnossapitopalveluun molemmilla palveluntarjoajilla. Tällöin laitetoimittajan asiantuntijoilla on pääsy seuraamaan kunnonvalvonnasta kerättyjä tietoja ja laitetoimittajat voivat antaa loppukäyttäjälle ehdotuksia suoritetta-

vista kunnossapitotoimista kerätyn datan perusteella. Palveluun voi sisältyä myös kunnossapitotoimien suorittamista tai varaosien hankintaa laitetoimittajan puolesta. (ABB 2018) (Danfoss 2019)

Kunnossapitostrategiaan peilaten yllä esitetyt palvelut kuuluvat tapahtumapohjaiseen kunnossapitoon. Run-to-failure kunnossapidossa ja aikapohjaisessa kunnossapidossa voidaan hyödyntää laitetoimittajan tarjoamia kunnossapitopalveluita, jossa laitetoimittajalta tulee ammattilainen huoltamaan ja vaihtamaan komponentteja, tai varaosien varastointia ja hallintaa. Ensimmäisessä kappaleessa esitetty kunnonvalvontapalvelu on välttämätön tapahtumapohjaisessa kunnossapidossa, koska muutoin laitteesta ei voida kerätä tietoa jatkuvasti ja mahdollisiin vikatilateisiin ei voida reagoida nopeasti. Toki tällöin riippuvuus laitetoimittajaan kasvaa, koska yhä enemmän palveluita on laitetoimittajalta. Mikäli loppukäyttäjä ottaa laitetoimittajalta lisäksi kunnossapitoon liittyviä kunnonvalvonnan analysointipalveluita tai kunnossapitotoimien suorittamista palveluita lisääntyy riippuvuus laitetoimittajaan entisestään. Ideaalitilanteessa tällöin loppukäyttäjän henkilöstön ei tarvitse osaamista laitteiden kunnonvalvonnasta tai kunnossapitotoimien suorittamisesta, koska laitetoimittajan suorittaa nämä tehtävät.

5. VARAOSAT

Toisena keskeisenä pääkohtana kunnossapidossa on varaosat ja niiden saatavuus. Kappaleessa kolme on esitetty taajuusmuuttajan tarvitsemat varaosat taulukossa. Taajuusmuuttajan vikaantuessa varaosien hallinta voi nosta suureen rooliin. Jos varaosia ei saada nopeasti, voi prosessin keskeytymisestä kertyvät haitat nousta äkkiä kalliiksi. Kappaleessa 5.2 esitellään eri kunnossapitostrategioiden varaosien tarve ja hallinta. Esitetään myös tapoja, kuinka varaosien varastointi voidaan toteuttaa. Myös laitteen elinkaaren yli varaosien saatavuus muuttuu ja kappaleessa 5.3 on esitetty ABB taajuusmuuttajien elinkaarivaihemalli, jossa on esitetty eri vaiheessa olevan laitteen varaosien saatavuutta laitevalmistajan puolelta.

5.1 Varaosien määrän määrittäminen Poissonin yhtälöllä

Taajuusmuuttajien luotettavuutta voidaan arvioida todennäköisyyslaskennan avulla, mikäli tiedetään varaosien vikatiheys, laitteen käyttöikä ja varaosien lukumäärä. Käyttäjän on määritettävä luotettavuus prosentteina, mitä paremmaksi se halutaan. Tietyn osan luotettavuus voidaan määrittää yhtälöllä

$$R(t) = \sum_{x=0}^{n} \frac{(\lambda t)^{x} e^{-\lambda t}}{x!} \tag{5.1}$$

, missä λ on osan vikatiheys, t on laitteen käyttöaika ja n on varaosien määrä. Kun kerrotaan λ ja t saadaan vikojen määrä ajassa t. Vastaukseksi saadaan luotettavuusprosentti R(t) ja sitä verrataan määritettyyn luotettavuuteen P. Kun vastaukseksi saatu luotettavuus on suurempi kuin määritelty luotettavuus, saadaan tarvittavien varaosien määrä käytetystä n arvosta. Tätä yhtälöä käytetään, kun laitetta tai varaosaa ei korjata vaan sen vaihdetaan suoraan uuteen.

Esimerkiksi, jos määritetään luotettavuus taajuusmuuttajan kondensaattorille. Kondensaattorin vikatiheys on 0.300 (Anderson 2012). Oletetaan käyttöajaksi 20 vuotta. Halutaan, että luotettavuus R(t) on yli 90 %. Määritetään luotettavuus yhtälöllä 5.1 eri varaosien määrillä. Tulokset on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1. Kondensaattorien luotettavuus R(t) eri varaosien määrillä.

Varaosien lukumäärä n (kpl)	Luotettavuus R(t)
1	1.74 %
2	6.20 %
3	15.12 %
4	28.51 %
5	44.57 %
6	60.63 %
7	74.40 %
8	84.72 %
9	91.61 %

Haluttiin saada luotettavuus R(t) yli 90 %, joten taulukosta havaitaan, että varaosia täytyy olla ainakin 9 kappaletta. Vastaava tarkastelu tulee tehdä jokaiselle osalle. (JFukuda 2008)

5.2 Varaosien tarve eri kunnossapitostrategioissa

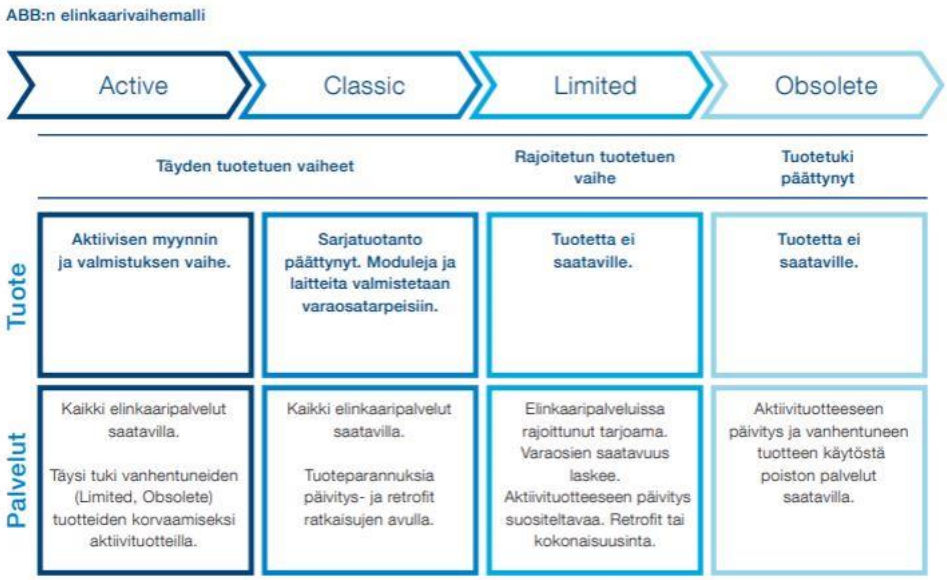
Run-to-failure:
Kappaleessa kaksi esitellyssä run-to-failure kunnossapidossa voi esiintyä yllättäviä vikoja ja tämän takia on erittäin tärkeää, että tarvittavat varaosat löytyvät välittömästi. Näin saadaan mahdolliset tuotannon menetykset ja siitä syntyvät tappiot minimoitua. Mahdollisuutena on tehdä sopimus laitetoimittajan kanssa, jotta he pitävät tarvittavat varaosat omassa varastossaan, josta ne saadaan nopeasti aina tarpeen vaatiessa. Tällöin riippuvuus laitetoimittajasta kasvaa ja tulee laitteiden elinkaarivaihemalliin kiinnittää huomiota, jotta varaosia on aina saatavilla. Jos varaosat on varastoituna omassa varastossa, voidaan laitteita käyttää pitempään varaosien saatavuuden kannalta ja päivittää laitekanta vasta kun varaosat uhkaavat loppua. (Fiix 2019)

Aikapohjainen kunnossapito:
Aikapohjaisessa kunnossapidossa yllättäviä vikoja tapahtuu harvemmin kuin run-to-failure:ssa. Ideaalisessa aikapohjaisessa kunnossapidossa vikoja ei esiinny huolto toimenpiteiden välissä ja varaosia ei tarvitse varastoida ollenkaan. Kuitenkin yllättävien vikojen todennäköisyys pitkän pitoajan tai suuren laitemäärän johdosta kasvaa ja niihin tulee varautua. Kappaleessa kolme esitetyssä taulukossa on kerätty ACS 880 yleisiä komponentteja, joita vaihdetaan aikapohjaisessa kunnossapidossa. Näitä taulukon komponentteja olisi hyvä olla varastoituna omassa varastossa tai saatavilla laitetoimittajalta. Aikapohjaisessa kunnossapidossa laitetoimittajan elinkaarivaihemalli on keskeisemmässä asemassa kuin run-to-failure kunnossapidossa, koska varaosien kannalta loppukäyttäjä tukeutuu enemmän laitetoimittajan palveluun ja omassa varastossa varaosien ei ole yhtä paljoa. Kokemus pitkästä aikapohjaisesta kunnossapidosta mahdollisesti nostaa esille joitakin tiettyjä osia tai laitteita, jotka vikaantuvat muita herkemmin. Tällöin näille tulee optimoida varaosat, jotka vikaantuvat. (Mobility work 2019) (Upkeep 2019)

Tapahtumapohjainen kunnossapito:
Koska 99 % tapauksista vikaantuminen voidaan havaita ennakkoon, ei varaosia tarvita välittömästi vaan ne voidaan hankkia vasta tarpeen ilmaannuttua. Näin yrityksen ei tarvitse sitoa pääomia varaosiin tai niiden hankintaan vaan hankinta voidaan toteuttaa vasta kun niitä tarvitaan. Myös varaosien vanheneminen ja mahdollinen rikkoutuminen omassa varastossa poistuu. Tällöin riippuvuus laitetoimittajan varaosien varastoon on suurempi kuin muissa kunnossapitostrategioissa ja laitekantaa täytyy päivittää aktiivisesti varaosien saatavuuden turvaamiseksi. (Fiix 2019)

5.3 Taajuusmuuttajien elinkaarivaihemalli ABB

Eri laitetoimittajilla on erilaiset taajuusmuuttajan elinkaarivaihemallit, joka kertoo, kuinka kattavasti taajuusmuuttajalle on tarjolla varaosia ja palveluita. Kuvassa 5.1 on esitetty ABB elinkaarivaihemalli (ABB 2016)



Kuva 5.1 ABB elinkaarivaihemalli

Kuvasta 5.1 havaitaan hyvin, kuinka tuotteen saatavuus ja palveluiden määrä muuttuvat eri vaiheiden välillä.

- Active vaiheessa taajuusmuuttaja on vasta saapunut markkinoille ja siihen saa kaikki mahdolliset tuotetuet. Aktiivinen myynti ja varaosien valmistus, joten osien saatavuus hyvä. Pyritään vanhoja malleja korvaamaan kyseisen vaiheen laitteilla, jolloin saadaan parannettua laitetukea.
- Classic vaiheessa laitteelle saa edelleen täyden tuotetuen. Kyseisessä vaiheessa oleva laite ei enää ole sarjatuotannossa, mutta varaosien saatavuus on edelleen turvattu. Palveluina laitteille saa päivitys paketteja, joilla laitetta voidaan muuttaa nykypäiväisemmäksi.
- Limited vaiheessa laitteelle ei enää taata varmaa varaosien saatavuutta ja sen valmistus varaosiksi on lopetettu. Elinkaaripalveluita on rajoitetusti ja kannatetaan laitteiden uusimista Active mallin tuotteeseen.
- Obsolete vaiheessa tuotetuki on päättynyt ja varaosien saatavuus on loppunut. Ainoa palvelu jäljellä on laitteiden päivitys uuteen Active malliin.

6. TYÖVOIMAN SAATAVUUS

Viimeisenä tarkasteltavana osa-alueena on työvoiman saatavuus ja kriittisyys eri kunnossapitostrategioissa. Esitellään myös ABB tarjoamaa koulutuspalvelua taajuusmuuttajille, jotka ovat elinkaarivaiheen alkutaipaleella. Kunnossapitotoimet on mahdollista myös ulkoistaa laitetoimittajalle tai palvelua tarjoavalle yritykselle.

6.1 Työvoiman saatavuus eri kunnossapitostrategioissa

Run-to-failure kunnossapito:
Kappaleessa kaksi esittellyssä run-to-failure kunnossapidossa laite voi vikaantua milloin vain ja tämän takia osaavan henkilöstön varaaminen on mahdotonta etukäteen (Fiix 2019). Jos laite vikaantuu yöllä tai juhlapyhien aikaan, täytyy omalla henkilöstöllä olla tiedot ja taidot selviytyä tilanteesta ja mahdollisesti aloittaa taajuusmuuttajan vaihto. (Haastattelu 2019)

Aikapohjainen kunnossapito:
Aikapohjaisessa kunnossapidossa laitteen huoltovälit ja huoltoajat on ennakkoon tiedossa ja näin osaavan työvoiman varaaminen on mahdollista etukäteen. (Upkeep 2019) Tämä mahdollistaa yhteistyön laitetoimittajan kanssa ja heidän henkilöstö voi tulla tekemään huolto ja vaihtotyön.

Tapahtumapohjainen kunnossapito:
Tapahtumapohjaisessa kunnossapidossa taajuusmuuttajat ovat jatkuvassa kunnonvalvonnassa ja kerättyjen tietojen perusteella voidaan määrittää huoltotoimenpiteet. Loppukäyttäjän on suotavaa osata tulkita kerättyä tietoa ja sen pohjalta määrittää suoritettavat kunnossapitotoimet. Kappaleessa neljä on esitetty laitetoimittajan tarjoamia palveluita kuinka kerättyjen tietojen analysointi ja kunnossapitotoimet voidaan ulkoistaa myös laitetoimittajalle. (Fiix 2019)

6.2 ABB koulutuspalvelu

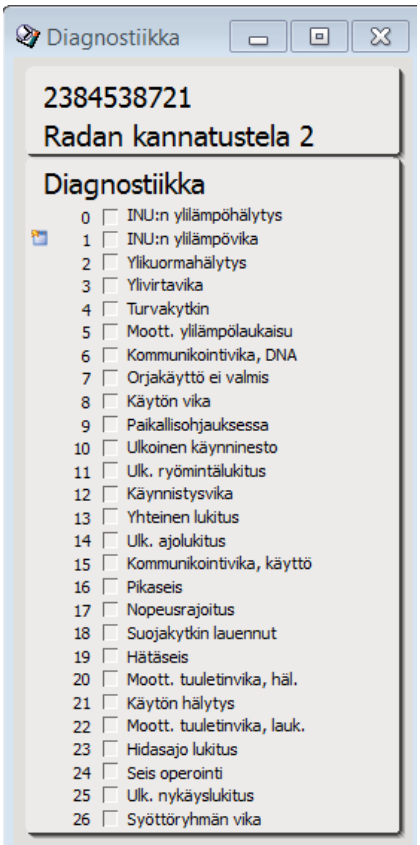
Mikäli oma henkilöstö suorittaa taajuusmuuttajien huollot niin täytyy henkilöstöllä olla tarvittavat tiedot ja taidot laitteen oikeaan käyttöön. ABB tarjoaa koulutuspalvelua taajuusmuuttajille, jotka ovat elinkaarivaiheen alkupäässä. Elinkaarivaiheet on esitetty kappaleessa viisi. Active ja Classic vaiheessa oleville tuotteille tarjotaan käyttö- ja huoltokoulutusta, jossa voi vanhoja taitoja ja tietoja päivittää tai oppia uuden laitteen käyttöä. Koulutusta voi saada luokkatilassa, käytännössä ja verkko-opintoina. (ABB 2019)

7. KUNNOSSAPITO KÄYTÄNNÖSSÄ

Taajuusmuuttajien kunnossapitoon liittyen haastateltiin Lappeenrannan UPM Kaukaan sellutehtaan kuivauskoneiden sähkö- ja automaatiomestaria. Haastattelussa käsiteltiin kyseisen alueen taajuusmuuttajien kunnossapitoa, varaosien hallintaa ja kunnonvalvonnan toteutusta.

Kuvauskoneilla on yhteensä muutamia satoja taajuusmuuttajia. Kuivauskoneiden alueella on laitetoimittajan A ja B toimittamia taajuusmuuttajia. Laitetoimittajan B taajuusmuuttajia on ainoastaan muutama ja loput ovat toimittajalta A. Toimittajan A laitekannasta vanhempia taajuusmuuttajia on yhteensä 29 kappaletta ja ne tullaan uudistamaan seuraavan vuoden aikana. Tämän jälkeen laitekanta on uudistettu ja yhtenäistetty. Taajuudenmuuttajat toimivat kahdella eri perustekniikalla, jotka ovat erilliskäyttö (Single drive) ja linjakäyttö. Erilliskäyttöinä toimivat taajuusmuuttajat, jotka tekevät ainoastaan yhtä tehtävää kuten kuljettimien ketjukäyttö, nostot, siirrot tai käännöt. Linjakäyttö kattaa itse kuivauskoneen, jossa ei ohjata ainoastaan yhtä moottoria vaan kokonaisuutta aina kuivauskoneen perältä loppupäähän. Ohjattavana suureena on esimerkiksi selluradan nopeus koko koneen matkalta tai kahden tietyn puristimen välinen radan kireys. Jotta useita moottoreita sisältävän järjestelmän toimintaa voidaan ohjata riittävän tarkasti, tulee taajuusmuuttajien ohjauksen tapahtua yhtäaikaisesti.

Kuivauskoneiden alueella taajuusmuuttajista tuodaan järjestelmään kriittiset tiedot, jotka on nähty tarpeellisiksi. Taajuusmuuttajan hälytykset ja tiedot tuodaan kenttäväylän (Profibus) kautta ohjaavaan DCS-järjestelmään (Valmet DNA). Jokaisesta taajuusmuuttajasta järjestelmään tuodaan niiden lämpötila, virta ja tasapiirin jännite. Linjakäytöistä halutaan tietää tarkemmat tiedot ja niiltä tuodaan erilliseen diagnostiikkaan enemmän tietoja. Kaikki kerättävät tiedot on esitetty kuvassa 7.1.



Kuva 7.1 Erilliskäytöstä kerättävät tiedot

Kuvassa 7.1 esitetään taajuusmuuttajasta kerättävät tiedot järjestelmään. Kerättäviä tietoja ovat muun muassa erilaiset estot, hätäseis tiedot ja turvakytkimen asentotiedot. Tämä mahdollistaa käyttäjälle ja kunnossapitohenkilöstölle kartoituksen tekemisen heti alussa, miksi jokin taajuusmuuttajakäyttö ei lähde pyörimään. Samalla se antaa tietoa, mistä lähteä vikaa etsimään.

Laitetoimittajan A tarjoamaa kunnonvalvontaohjelmistoa ollaan ottamassa kuivauskoneiden alueella käyttöön keväällä 2020. Ohjelmisto antaa mahdollisuuden kerätä taajuusmuuttajista entistä enemmän tietoja, seurata trendikäyriä kuten lämpötilan kehitystä ja konfiguroida laitteita. Laitteisto on siten samankaltainen kuin kappaleessa 4 esitetyt kunnonvalvontapalvelut. Ohjelmiston tarkoituksena on kehittää taajuusmuuttajien kunnossapitoa ja parantaa elinkaariajattelua. Kuivauskoneet ovat kriittinen alue, koska jos vian takia rata katkeaa, syntyy välittömästi tuotannon menetystä. Radan uudelleen vienti ja mahdollinen koneen peseminen massasta vievät aikaa ja näin pidentävät prosessin seisahtumista. Mikäli uudella järjestelmällä saadaan ehkäistyä mahdollisia vikoja, jotka johtaisivat radan katkeamiseen, on hankinta kannattava.

Koko Kaukaan sellutehtaalla on laitetoimittajan A kanssa sopimus taajuusmuuttajien kunnossapidosta. Sopimuksen mukaan laitetoimittaja pitää yllä listaa käytössä olevista taajuusmuuttajista ja he antavat huoltokehotuksia Kaukaan sellutehtaan eri alueiden esimiehille suoritettavista huolloista, kuten tuulettimien tai kondensaattorien vaihdoista. Määräaikaishuollot suorittaa laitetoimittajan henkilöstö. Huoltojen yhteydessä laitetoimittajan huoltohenkilöstö tarkistaa taajuusmuuttajien vikahistorian ja muut kriittiset parametrit. Mikäli taajuusmuuttajassa havaitaan jotakin hälyttävää ja normaalista poikkeavaa, tekevät he siitä ilmoituksen loppukäyttäjälle ja antavat oman korjauskehotuksen.

Yllättävissä vikatilanteissa tehtaan oma kunnossapitohenkilöstö aloittaa vian selvitystä. Vikatiedot voidaan nähdä valvomossa, mutta tarkin vikatieto katsotaan paikan päältä taajuusmuuttajan omasta käyttöpaneelista. Omalla henkilöstöllä on perustaidot kunnossapidolle ja pystyvät selviytymään taajuusmuuttajien vikojen kanssa ja tarvittaessa osaavat vaihtaa taajuusmuuttajan. Lähtökohtaisesti jokaisessa viassa, joita ei saada korjattua nopeasti, koko taajuusmuuttaja vaihdetaan uuteen.

Sopimuksessa laitetoimittajan A kanssa on myös määritetty varaosien varastointi ja saatavuus. Laitetoimittaja pitää yllä listaa käytössä olevista laitteista ja varmistaa, että heidän varastostaan löytyy tarvittavat varaosat. Varaosien varastointi helpottuu laitetoimittajan osalta kun kaikki laitteet päivitetään kuivauskoneiden alueella. Koko tehtaan alueella, joitakin kriittisiä ja pieniä taajuusmuuttajia varastoidaan myös omaan varastoon.

Sopimus laitetoimittajan A kanssa ja läheinen yhteistyön perustana on se, että laitetoimittajan toimipiste löytyy suoraan Kaukaan tehdasalueen vierestä. Tarvittaessa apua saadaan laitetoimittajalta nopeasti ja jopa ilta-aikaan, koska suurin osa työntekijöistä asuu Lappeenrannan alueella.

Taajuusmuuttajat sijaitsevat tehtaalla pääosin sähkötiloissa, mutta joitakin löytyy myös esimerkiksi kuljettimien kenttäkoteloista. Taajuusmuuttajien sijoittelussa noudatetaan laitetoimittajan vaatimuksia. Sähkötilat ovat ylipaineistettuja ja niissä on erillinen ilmanvaihto. Tämän takia pölyä ei kerry ja ympäristö on viileä laitteille. Kenttäkoteloissa löytyy oma ilmanvaihto ja suodatus. Suunnittelussa pyritään yhtenäistämään laitekantaa samanlaiseksi ja teholuokaltaan samaksi, mutta mitään virallista linjausta tämän suhteen ei ole vaan jokainen

suunnittelija tekee parhaaksi näkemällä tavallaan. Erillistä laitekannan kriittisyystarkastelua ei ole tehty vaan jokainen taajuusmuuttajan nähdään yhtä tärkeäksi ylläpitää. (Haastattelu 2019)

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Johtopäätöksissä vertaillaan eri kunnossapitostrategioiden hyötyjä ja haittoja perustuen aiemmin esitettyihin asioihin. Taulukossa 8.1 on esitetty Run-to-failure, Aikapohjaisen kunnossapidon ja tapahtumapohjaisen kunnossapidon hyvät ja huonot puolet.

Taulukko 8.1 Vertailu eri kunnossapitostrategioiden välillä.

	Run-to-failure	Aikapohjainen kunnossapito	Tapahtumapohjainen kunnossapito
Hyvät puolet	-Kunnonvalvonnan kustannukset lähes olemattomat. -Hyvin yksinkertainen menetelmä, joten helppo ymmärtää. -Suunnittelukustannukset pienet.	-Kunnonvalvonnan kustannukset lähes olemattomat. -Varaosien varastoimistarve pieni. -Vaihtohenkilöstön saatavuus paikalle. -Helppo ymmärtää, koska huollot entuudestaan määritetty.	-Reaaliaikainen laitteiden kuntotieto. -Jopa 99 % vioista voidaan havaita etukäteen. -Varaosien ja henkilöstön pieni tarve. -Laitevalmistajan kanssa yhteistyö. -Kunnossapidon optimointi.
Huonot puolet	-Prosessin keskeytymis kustannukset. -Varaosien suuri tarve. -Vaihtohenkilöstön suuri tarve.	-Yllättävät viat. Johtuen ympäristöstä, käyttövirheestä tai puutteellisesta huoltosuunnitelmasta. -Jopa 30 % komponenteista vaihdetaan liian aikaisin.	-Suuret kunnonvalvonta kustannukset. -Hankala ymmärtää.

Kun valitaan kunnossapitostrategiaa, tulee ottaa huomioon hyvin monta eri osa-aluetta. Esimerkiksi tapahtumapohjaista kunnossapitoa ja run-to-failure kunnossapitoa vertailtaessa varaosien ja varastoinnin kustannukset voivat nousta merkittävään rooliin. Myös mahdollinen prosessin keskeytyminen ja siitä aiheutuvat kustannukset tulee määrittää. Näitä kustannuksia tulee verrata tapahtumapohjaisen kunnossapidon kunnonvalvontajärjestelmän hankinta- ja ylläpitokustannuksiin. Prosessiteollisuudessa yllättävien keskeytysten kustannukset nousevat nopeasti suuriksi, joten keskeytyksien lukumäärä pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi. Taajuusmuuttajien lukumäärä vaikuttaa nopeasti kunnonvalvonnan kustannuksien suuruuteen, mikä vaikuttaa tapahtumapohjaisen kunnossapidon kannattavuuteen. Kuitenkin eri kunnossapitostrategioiden kustannuksia vertailemalla saadaan lopulta selville paras mahdollinen vaihtoehto aina kyseiseen kohteeseen.

Kunnossapitostrategian valintaan vaikuttaa loppukäyttäjän prosessin kriteerit. Esimerkiksi run-to-failure kunnossapito toimii valaistuksen kanssa eli korjataan valot vasta kun ovat palaneet. Toinen käyttökohde on, esimerkiksi jos käytössä on 40 kappaletta koneita, jotka kaikki tekevät samaa tarkoitusta ja toisten toiminta ei riipu muista. Tällöin kokonaisuuteen se ei vaikuta ratkaisevasti, jos yksi laite rikkoutuu. Mikäli taajuusmuuttajille on tehty kriittisyystarkastelu niin kaikista vähiten kriittiset taajuusmuuttajat voivat kuulua run-to-failure kunnossapidon piiriin, koska niiden käyttökunto ei vaikuta prosessiin.

Aikapohjainen kunnossapito soveltuu parhaiten laitteille, joita ajetaan säännöllisesti ja voidaan määrittää tietyt huoltotarpeet tietyn käyttötunnin tai käyttömatkan välein. Hyvä esimerkki on aiemminkin esitelty autojen öljyjen vaihtoväli. Prosessiteollisuudessa taajuusmuuttajilla samanlainen käytäntö on käytössä määräaikaishuolloissa ja tarkastuksissa, jotka on esitetty kappaleessa kolme.

Prosessiteollisuudessa, jossa prosessin keskeytyminen aiheuttaa suuret kustannukset niin tapahtumapohjainen kunnossapito on sopiva vaihtoehto. Tapahtumapohjaisessa kunnossapidossa kunnonvalvonta antaa jatkuvaa tietoa laitteen kunnosta ja sen perusteella voidaan ehkäistä yllättävät viat ja prosessin keskeytymiset. Esimerkiksi kuten kappaleessa seitsemän UPM Kaukaan sellutehtaalla kuivauskoneilla on tulossa jatkuva kunnonvalvonta, joka mahdollistaa paremman ymmärryksen taajuusmuuttajista ja parantaa elinkaariajattelua.

Jatkotutkimuksia aiheeseen liittyen voisi tehdä kustannusmielessä. Esimerkiksi prosessiteollisuudesta tarkastelemalla eri käyttökohteita taajuusmuuttajilla ja vertailemalla eri kunnossapitostrategioiden kustannuksia keskenään kyseisessä kohteessa. Ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta laitteisiin voisi tarkastella tutkimusmielessä. Tutkimuksessa voidaan tarkastella ympäristöolosuhteiden vaikutusta taajuusmuuttajan elinikään ja luotettavuuteen. Tutkia voidaan myös optimaalista ympäristöolosuhdetta laitteille.

9. LÄHTEET

Adrian Lloyd, Who Were the Leadin Motor Drive Companies in 2017, Industrial Automation, [viitattu 13.9.2019], Saatavissa https://www.interactanalysis.com/leading-motor-drive/

ABB ACS880 IP21 37kW/45kW 3ph AC Inventer Drive, STO, C3 EMC Saatavissa https://inverterdrive.com/group/AC-Inverter-Drives-400V/ABB-ACS880-01-087A-3-E200/

Olli Tevä, What exactly is an ac drive and just how does it work?, ENGINEERLIVE, 2013. [Viitattu 13.9.2019], Saatavissa https://www.engineerlive.com/content/what-exactly-ac-drive-and-just-how-does-it-work

ABB, What is an AC drive?, 2019, [Viitattu 13.9.2019] Saatavissa https://new.abb.com/drives/what-is-a-drive

Fiix, What is run-to-failure maintenance (RTF)? [viitattu 20.9.2019] Saatavissa https://www.fiixsoftware.com/run-to-failure-maintenance/

Fiix, Run to failure: make it part of your maintenance planning, 2014, [Viitattu 1.2.2020] Saatavissa https://www.fiixsoftware.com/blog/run-failure-make-part-maintenance-planning/

Upkeep, What is Periodic Maintenance, 2019 [Viitattu 21.9.2019] Saatavissa https://www.onupkeep.com/learning/maintenance-types/periodic-maintenance

Fiix, Condition Based Maintenance CMMS, 2019 [Viitattu 25.9.2019] Saatavissa https://www.fiixsoftware.com/blog/integrate-condition-based-maintenance-into-your-maintenance-strategy-with-ma-cmms/

COREIoT, Condition Monitoring Solution, 2019, [Viitattu 25.9.2019] Saatavissa https://www.coreiot.com/condition-monitoring.html

Rosmaini Ahmad ja Shahrul Kamaruddin, An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application, School of Mechanical Engineering, Universiti Sains Malaysia, 2010, [Viitattu 25.9.2019]

Nikolay, VFD Troubleshooting and preventive maintenance, 2017, [Viitattu 5.10.2019] Saatavissa http://nbozov.com/article/post/35/VFD-Troubleshooting-and-preventive-maintenance

Variable Frequency Drives, Basic Variable Frequency Drive Maintenance Tips, 2019 [Viitattu 5.10.2019] Saatavissa http://www.vfds.org/basic-variable-frequency-drive-maintenance-tips-603781.html

Patrik Tikka, ACS880 taajuusmuuttaja, 2017, [Viitattu 5.10.2019] Saatavissa https://www.auser.fi/wp-content/uploads/Taajuusmuuttajat-esitys.pdf

ABB, ACS880 laiteopas, 2019, [Viitattu 1.11.2019] Saatavissa

https://library.e.abb.com/public/86ac21c012164a8cb0f7f6ada2c4ea85/FI_ACS880_01_HW_M_A5_screen.pdf

ABB, Ability Condition Montioring for Drives, 2018, [Viitattu 1.11.2019] Saatavissa https://new.abb.com/docs/librariesprovider71/events/d3_wiwiet-yuniarto_abb-ability-condition-monitoring-for-drives.pdf?sfvrsn=16bfeb14_2

Danfoss, DrivePro-palvelut, 2019, [Viitattu 2.11.2019] Saatavissa https://www.danfoss.com/fi-fi/products/ac-drives/dds/drivepro-services/#tab-overview

ABB, Drive Services, 2016, [Viitattu 3.11.2019] Saatavissa https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000189146&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch

Daniel Sillivant, Reliability Centered Maintenance Cost Modeling: Lost Opportunity Cost, University of Alabama in Huntsville, 2015, [Viitattu 23.11.2019] Saatavissa https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7105111

Yinhua Pang ja Sheng Fu, The Condition Monitoring System of Mine Fan and Analysis of Condition Based Maintenance Policy, Beijing University of Technology, [Viitattu 23.11.2019] Saatavissa https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5979397

J.Schutz, N.Rezg, J.B.Leger, Periodic Preventive Maintenance Policy in Finite Horizon With an Adaptive Failure Law, University of Paul Verlaine, Metz, France [Viitattu 23.11.2019] Saatavissa https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4738245

Anderson V. Rocha, Increasing Long Belt-Conveyors Availability by Using Fault-Resilient Medium Voltage AC Drives: Part II – Reliability and Maintenance Assessment, 2012, [Viitattu 24.11.2019] Saatavissa https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6374079

Haastattelu, Lappeenrannan UPM Kaukaan sellutehdas, Kuivauskoneet 1 ja 4, Sähkö ja automaatiomestari, 2019

Mobility Work, PREVENTIVE MAINTENANCE: A MAIN PREVENTIVE REPLACEMENT STRATEGY, 2019, [Viitattu 19.12.2019] Saatavissa https://www.mobility-work.com/blog/preventive-replacement-main-preventive-maintenance-strategy

ABB, Taajuusmuuttajien ja tasavirtakäyttöjen koulutus, 2019 [Viitattu 20.12.19] Saatavissa https://new.abb.com/drives/fi/palvelut/koulutus

JFukuda, SPARE PARTS STOCK LEVEL CALCULATION, 2008. [Viitattu 22.12.2019] Saatavissa https://www.scribd.com/document/106343769/Spare-Parts

Halcyon Drives, Effects on life expectancy of variable speed drive, 2016 [Viitattu 31.1.2020] Saatavissa https://www.halcyondrives.com/blog/effects-on-life-expectancy-of-variable-speed-drives.html

10. LIITTEET

Liite 1. ABB taajuusmuuttajan enakkohuoltoaikataulu

Maintenance Schedule

ACS880-107, -207, -307, -607, -907, -1607 multidrive

Valid for drives manufactured or maintained in 2017 onwards.

ABB Oy, Drives Service

Recommended maintenance intervals and component replacements are based on specified operational and environmental conditions. ABB recommends annual drive inspections to ensure the highest reliability and optimum performance. More detailed maintenance information can be found in maintenance instructions, product manuals and on the Internet.
www.abb.com/drives

NOTE! Long term operation near the maximum specified ratings or environmental conditions may require shorter maintenance intervals for certain components. Check the device specific technical specifications in the relevant hardware manual and consult your local ABB Service for maintenance recommendations at:
www.abb.com/searchchannels

Legend
- I **Inspection** (visual inspection and maintenance action if needed)
- P **Performance** of on/off-site work (commissioning, tests, measurements or other work)
- R **Replacement**

Functional safety actions	
Safety function test interval	I
Safety component expiry (Mission time T_M) 20 years	R

Recommended annual actions by the user	
Connections and environment	
Cabinet door filters IP54	R
Quality of supply voltage	P
Spare parts	
Spare parts	I
DC circuit capacitors reforming, spare modules and spare capacitors	P
Inspections by user	
IP22 and IP42 air inlet and outlet meshes	I
Tightness of terminals	I
Dustiness, corrosion and temperature	I
Heat sink cleaning	I
Other	
ABB-SACE Air circuit breaker maintenance	I

Cooling	Years from start-up						
	3	6	9	12	15	18	21
Main cooling fan							
R1i to R4i speed controlled LONG-LIFE			R			R	
R5i to R7i speed controlled LONG-LIFE			R			R	
D6D to D7D/D7T direct on line 50Hz LONG-LIFE			R			R	
D6D to D7D/D7T direct on line 60Hz LONG-LIFE			R			R	
D8D (50/60Hz) *			R			R	
R8i and D8T direct online 50Hz LONG-LIFE			R			R	
R8i and D8T direct online 60Hz LONG-LIFE			R			R	
LCL, L and BDCL direct online 50Hz LONG-LIFE			R			R	
LCL, L and BDCL direct online 60Hz LONG-LIFE		R		R		R	
D7T speed controlled *			R			R	
R8i and D8T speed controlled *			R			R	
Internal cooling fan for circuit boards							
R5i LONG-LIFE			R			R	
R8i and D8T *			R			R	
Cabinet cooling fan							
Internal LONG-LIFE 50Hz			R			R	
Internal LONG-LIFE 60Hz		R		R		R	
Door LONG-LIFE 50 Hz			R			R	
Door LONG-LIFE 60Hz			R			R	
IP54 50Hz*			R			R	
IP54 60Hz *		R		R		R	
NSIN filter cooling fan							
Filter cooling fan direct online 50Hz*			R			R	
Filter cooling fan direct online 60Hz*			R			R	

* Fan has been always "LONG-LIFE" type

© Copyright 2018 ABB Oy. All rights reserved

Document No.: 4FPS10000292961
Date: 05.12.2018
Revision: H

Maintenance Schedule

ACS880-107, -207, -307, -607, -907, -1607 multidrive

Valid for drives manufactured or maintained in 2017 onwards.

ABB Oy, Drives Service

Aging	Years from start-up						
	3	6	9	12	15	18	21
Common, control panel and control unit batteries							
ZCU/BCU control unit battery (Real-time clock)		R		R		R	
Control panel battery (Real-time clock)			R			R	
INU R1i...R4i							
JPU power unit (R1i and R2i)			R			R	
JCAP capacitor board (R3i and R4i)			R			R	
ZCU control unit				R			
INU R5i							
ZCU control unit				R			
INU, ISU R6i, R7i							
DC circuit electrolytic capacitors+discharg. resistors			R			R	
ZPOW module internal power supply board				R			
ZINT module internal circuit board				R			
ZCU control unit				R			
INU, ISU, DBU, RRU, DDC R8i							
DC circuit electrolytic capacitors+discharg. resistors			R			R	
BDPS,BFPS module internal power supply boards				R			
BINT, BGDR, BDFC module internal circuit boards				R			
Flat ribbon cables (when boards replaced)				R			
BCU control unit				R			
BSFC Cabinet side charging control board (INU only)				R			
DSU D7T, D8T							
BDPS, BFPS module internal power supply boards				R			
BINT, BTDR, BPCB, BDFC module internal circuit boards				R			
Flat ribbon cables (when boards replaced)				R			
BCU control unit				R			
Filter unit capacitors							
BLCL capacitor			R			R	
NSIN capacitor			R			R	

© Copyright 2018 ABB Oy. All rights reserved

Document No.: 4FPS10000292961
Date: 05.12.2018
Revision: H