

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# TAAJUUSMUUTTAJIEN ENNAKKO- HUOLTOSUUNNITELMIEN PÄIVIT- TÄMINEN

Opinnäytetyö

TEKIJÄ Kasper Jääskeläinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Kasper Jääskeläinen	
Työn nimi Taajuusmuuttajien ennakkohuoltosuunnitelmien päivittäminen	
Päiväys 23.9.2024	Sivumäärä/Liitteet 36/0
Toimeksiantaja Stora Enso Oyj	
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa sellutehtaan kuitulinjojen taajuusmuuttajien huoltoja yhtenäistämällä ja päivittämällä laitekohtaisia ennakkohuoltosuunnitelmia. Työn tilasi Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaas. Vanhempia taajuusmuuttajia on vaihdettu tehtaalla viime vuosien aikana uusiin ja näiden laitteiden toimintopaikkoihin sidottujen huoltosuunnitelmien aikatauluja ei ollut tarkistettu. Pitämällä huoltosuunnitelmien aikataulut laitevalmistajan suosittelemalla tasolla varmistetaan laitteen elinkaaren onnistunut toteutuma.</p> <p>Työ toteutettiin kartoittamalla laitekanta ja vertailtiin SAP-toiminnanohjausjärjestelmästä löytyviä laite- ja huoltotietoja todelliseen tilanteeseen. Kartoituksen edetessä löydettiin useita käytöstä poistettuja laitteita, jotka voitiin siivota pois toiminnanohjausjärjestelmästä näin ollen parantaen sieltä löytyviä laitetietojen luotettavuutta. Löydettiin myös lukuisia laitteita, joilta ennakkohuoltosuunnitelma puuttui kokonaan.</p> <p>Huoltosuunnitelmat päivitettiin vastaamaan laitevalmistajien ohjeita ja suosituksia lukemalla laitevalmistajien toimittamia huolto-ohjeita sekä konsultoimalla laitevalmistajien tai huoltopalveluiden tarjoajien asiantuntijoita. Puutteelliset huoltosuunnitelmat päivitettiin suoraan toiminnanohjausjärjestelmässä ennakkohuoltosuunnitelmalla. Puuttuvat suunnitelmat koottiin Excel-työkaluun, josta ne massa-ajettiin toiminnanohjausjärjestelmään.</p>	
Avainsanat Taajuusmuuttaja, Ennakkohuolto, Kunnossapito, Toiminnanohjausjärjestelmä	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
1.1	Toimeksiantaja Stora Enso .....	5
1.2	Imatran tehtaat .....	6
1.3	Kehitystyön tausta ja tavoite.....	7
1.4	Käytetyt menetelmät.....	8
1.5	Kuitulinja.....	8
1.5.1	Puun vastaanotto ja käsittely.....	9
1.5.2	Keitto.....	9
1.5.3	Pesu ja lajittelu.....	9
1.5.4	Happidelignifointi .....	9
1.5.5	Valkaisu .....	10
1.5.6	Kuivatus.....	10
2	TAAJUUSMUUTTAJA .....	11
2.1	Taajuusmuuttajan rakenne .....	12
2.1.1	Tasasuuntaaja .....	12
2.1.2	DC-välipiiri .....	13
2.1.3	Vaihtosuuntaaja.....	14
2.1.4	Jarrukatkoja ja -vastus.....	15
2.1.5	$dU/dt$ -suodin .....	16
3	KUNNOSSAPITO .....	17
3.1	Parantava kunnossapito .....	18
3.2	Korjaava kunnossapito .....	18
3.3	Ehkäisevä kunnossapito.....	18
3.4	Kunnonvalvonta .....	19
4	KUNNOSSAPITOJÄRJESTELMÄ KOHTEESSA.....	20
4.1	SAP.....	20
4.2	SAP ennakkohuolto .....	20
5	TAAJUUSMUUTTAJAN VIANAIHEUTTAJAT .....	23
5.1	Ympäristö.....	23
5.2	Välipiiri .....	24
5.3	Ylivirta ja liittimet.....	24

5.4	Lämpö.....	24
6	TAAJUUSMUUTTAJAN HUOLTO.....	25
6.1	Valmistajien suositukset .....	25
6.2	Taajuusmuuttajan ennakkohuolto .....	27
6.3	Varastoidun taajuusmuuttajan huolto .....	28
6.4	Stora Enson omat huoltosuunnitelmat .....	29
7	HUOLTOSUUNNITELMIEN KEHITTÄMINEN .....	30
8	YHTEENVETO.....	32
9	POHDINTAA.....	33
	LÄHDELUETTELO.....	34

## KUVALUETTELO

KUVA 1.	Kaukopään tehdas (Stora Enso, 2019) .....	6
KUVA 2.	Tainionkosken tehdas (Stora Enso, 2019) .....	7
KUVA 3.	Taajuusmuuttajan rakenne (ABB tekninen opas nro 4, 12) .....	12
KUVA 4.	Toinen kuva taajuusmuuttajan rakenteesta (Hulkkonen, 7).....	13
KUVA 5.	Rippelin suodatus (Hartman, 2014) .....	13
KUVA 6.	Vaihtosuuntaajan kytkentätaajuus (Hartman, 2014) .....	14
KUVA 7.	Jarrukatkoja ABB ACS-BRK-BL (ABB, 2024).....	15
KUVA 8.	Jännite ja virta $dU/dt$ -suotimella ja ilman (Danfoss, 2015) .....	16
KUVA 9.	Kunnossapidon kokonaisuudet .....	17
KUVA 10.	Ennakkohuoltosuunnitelman etusivu .....	21
KUVA 11.	Ennakkohuoltosuunnitelman ajoitus.....	21
KUVA 12.	Ennakkohuoltosuunnitelman työtilaus .....	22
KUVA 13.	ABB:n Taajuusmuuttajia .....	23

## TAULUKKOLUETTELO

TAULUKKO 1.	Suosittelut ACS880-sarjan huoltoaikataulut (ABB 2022, s.170) .....	26
TAULUKKO 2.	Vacon NX-sarjan suositellut huoltoaikataulut (Vacon 2017, s. 124) .....	27

## 1 JOHDANTO

Taajuusmuuttaja lienee yksi merkittävimpiä keksintöjä sähkötekniikan alaan liittyen heti vaihtovirran ja oikosulkumoottorin jälkeen. Taajuusmuuttaja on ensimmäinen kunnollinen keksintö, joka mahdollistaa luotettavan moottorin ohjauksen muulla kuin nimellisa nopeudella. Taajuusmuuttaja on osoittautunut hyväksi keksinnöksi, joten niiden määrä sähkökäyttöjen toteutuksissa on lisääntynyt viime vuosikymmenien aikana. Koska taajuusmuuttajien avulla ohjataan tuotannolle kriittisiä laitteita, on erittäin tärkeä huolehtia siitä, että huoltosuunnitelmat ja -prosessit toteutetaan oikein ja ajallaan laitetoimittajien ohjeiden mukaisesti.

Teollisten prosessien hoitamiseen käytetään yleisesti oikosulkumoottoreita. Nykyisin yhä suurempaa osaa näistä moottoreista ohjataan taajuusmuuttajien avulla. Taajuusmuuttajan avulla voidaan ohjata moottoria esimerkiksi momentin tai pyörimisnopeuden mukaan. Myös kiihdytys- ja hidastusnopeuksia voidaan säätää taajuusmuuttajan avulla. Tämä mahdollistaa erilaisten ajo-ohjelmien tekemisen, joiden avulla voidaan välttää turhaa mekaanista kulumaa moottorissa ja prosessilaitteissa, sekä säästää sähköä verrattuna suoraan verkosta käytettäviin moottoreihin. Suoraan verkosta syötettävän moottorin pyörimisnopeuden säätäminen on epäkäytännöllistä. Tämä ja kustannustehokkuus ovat taajuusmuuttajien yleistymiseen johtaneita syitä.

Taajuusmuuttajat ovat monista eduistaan huolimatta kuluvia komponentteja sisältäviä laitteita. Tästä syystä niitä on tarpeen huoltaa säännöllisin väliajoin valmistajan suositusten ja ohjeiden mukaisesti. Kulumiseen vaikuttavat merkittävästi sellutehdasympäristön prosessitiloissa esiintyvät haitalliset kemikaalit, vesi, kuumuus ja prosessissa syntyvä tai prosessista vuotava massa ja lika.

Opinnäytetyö toteutetaan Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaille, Kaukopään tehtaalla. Työn perimmäisenä tavoitteena on saada joitakin vuosia sitten vaihdettujen taajuusmuuttajien ennakkohuoltosuunnitelmat vastaamaan nykyistä laitekantaa. Työ toteutetaan kartoittamalla laitteet, tekemällä oikeat ennakkohuoltosuunnitelmat laitevalmistajien ohjeiden ja suositusten mukaisiksi, ja lopulta uusitut suunnitelmat ajetaan Stora Enson toiminnanohjausjärjestelmä SAP:iin.

### 1.1 Toimeksiantaja Stora Enso

Nykyinen Stora Enso muodostui, kun suomalainen Enso oyj ja ruotsalainen Stora fuusioituivat. Yrityksen juuret ulottuvat kuitenkin kauas historiaan noin 700 vuoden taakse, kun Ruotsin Falunissa oli kuparikaivostoimintaa. Vuonna 1862 tästä kuparikaivoksesta muodostui Stora Kopparbergs Bergslags, jonka toimialaa olivat kaivostoiminta ja raudanjalostus. Alun perin metallinjalostus toteutettiin puulämmityksellä, joten metsätalous on ollut aina

vahvasti läsnä yhtiön toiminnassa. Stora alkoi 1970-luvulla keskittyä paperi- ja selluteollisuuden myyden muut toimintonsa.

Suomalaisen Enson historia puolestaan alkoi, kun norjalainen Hans Gutzeit perusti Kotkaan vuonna 1872 nimellä W. Gutzeit & Co. Yritys keskittyi siihen aikaan sahatoimintaan. Vuonna 1912 hankitusta yrityksestä Enso träsliperi Ab:sta saatiin yritykselle uusi nimi Enso-Gutzeit. (Stora Enso, julkaisuaika tuntematon.)

Stora Enso tuottaa nykyään biomateriaali-, puu- ja pakkausteollisuuden tuotteita maailmanlaajuiseen myyntiin. Tämä opinnäytetyö toteutetaan Imatran tehtaille, Kaukopään yksikköön, joka esitellään seuraavassa luvussa.

## 1.2 Imatran tehtaat

Imatran tehtaat koostuvat kahdesta tehdasyksiköstä, Kaukopään- ja Tainionkosken tehtaista. Tämä opinnäytetyö toteutetaan Kaukopään tehdasyksikköön. Imatran tehtaat kuuluvat Stora Enson Packaging Materials -divisioonaan, joka tuottaa elintarvikepakkaus- ja nestepakkauskartonkia elintarviketeollisuuden tarpeisiin. Imatralla valmistetaan kartonkia myös muihin tarpeisiin, kuten kosmetiikka-, savuke-, suklaa- ja lääkepakkauksiin. Kaukopään tehdasyksikkö nähdään alla olevasta kuvasta 1 ja Tainionkosken tehdasyksikkö kuvasta 2. (Stora Enso, 2024.)



KUVA 1. Kaukopään tehdas (Stora Enso, 2019)

Huomattavaa on, että tehdasyksiköt ovat hyvin lähekkäin, ja molemmat yksiköt voidaankin nähdä kummastakin ilmakuvasta. Tehtailla on myös jaettuja toimintoja. Vedenpuhdistamo, voimalaitos ja höyrytuotanto toimivat kokonaan Kaukopään yksikön alueella.



KUVA 2. Tainionkosken tehdas (Stora Enso, 2019)

Yhdessä Imatran tehtaat tuottavat vuositasolla noin 1 230 000 tonnia kartonkia ja paperia. Erityyppisiä sellumassoja tuotetaan 1 300 000 tonnia vuodessa. Puuta käytetään 5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Tällä hetkellä tehtaat ovat Imatran kaupungin suurin työllistäjä, ja yhteensä ne työllistävät noin 1000 työntekijää.

Tehtailla on viisi konetta kartongin ja paperin valmistukseen ja neljä päällystyskonetta.

(Stora Enso, 2024.)

### 1.3 Kehitystyön tausta ja tavoite

Ennakkohuoltosuunnitelmia on syytä kehittää, koska on tärkeää laitteiden elinkaaren luotettavuuden kannalta pitää sähkökäytöt parhaassa mahdollisessa kunnossa. Etenkin sellutehtaalla esiintyy paljon prosessissa syntyvää likaa ja massaa, joka omalta osaltaan edesauttaa laitteiden ennenaikaisen kulumisen esiintymistä.

Vaikka taajuusmuuttajat olisivatkin kaikki sähkötiloissa, niin tehdasympäristö on siitä huolimatta luonteeltaan likainen ja kuuma. Kuumuus aiheuttaa myös ennenaikaista kulumaa. Tästä syystä mm. taajuusmuuttajien jäähdytyspuhaltimet kuuluvat Stora Ensolla ennakkohuoltojen piiriin.

Taajuusmuuttajat sisältävät paljon osia, jotka rikkoutuessaan voivat aiheuttaa koko laitteen pysähtymisen tai hajoamisen ja näin ollen kyseisellä taajuusmuuttajalla ohjattavan sähkömoottorin ja kenttälaitteen pysähtymisen. Siksi on tärkeä pitää ennakkohuoltosuunnitelmat

ajan tasalla. Hyvällä suunnittelulla ja valmistautumisella voidaan välttää monet turhat laiterikot, jotka voivat aiheuttaa käyttökohteesta riippuen hyvinkin suuria kustannuksia. Pahimmillaan taajuusmuuttajan hajoaminen voi aiheuttaa vakavan seisokin koko tuotantolinjassa.

#### 1.4 Käytetyt menetelmät

Työn laajuus rajataan koskemaan Kaukopään tehtaiden kuitulinjoja 2 ja 3. Kuorintaa ja kuivatusta ei käsitellä tässä työssä. Taajuusmuuttajia, joita opinnäytetyö koskee, on kuitulinjojen alueella noin 120 kappaletta. Taajuusmuuttajat rajautuvat tässä kehitystyössä kuitulinjojen keitto-, delignifointi-, pesu-, lajittelu- ja valkaisuvaiheille. Tämä tarkoittaa siis sitä, että kehitystyö koskee kuitulinjan koko kemiallista prosessia. Rajaus määritetään näin, jotta laitekannan koko ei kasvaisi kohtuuttoman suureksi ja koska keitto-, delignifointi-, pesu-, lajittelu- ja valkaisuvaiheet on rakennettu samaan laitostilaan. Koska kyseiset prosessivaiheet ovat lähellä toisiaan samassa laitoksessa, niin myös taajuusmuuttajat on keskitetty muutamiin sähkötiloihin. Laitekannan kartoittaminen on siis sujuvaa ja prosessikokonaisuuden huomioon ottaen luontevaa.

Työ toteutetaan tutustumalla laitteisiin, vertailemalla valmistajien enakkohuolto-ohjeita laitekannan nykyisiin voimassa oleviin ohjeisiin ja huolto-ohjelmien päivityksiin. Ohjeisiin tehdään tarvittavat korjaukset ja lisäykset, jonka jälkeen korjatut suunnitelmat päivitetään toiminnanohjausjärjestelmä SAP:iin. Stora Enso on määrittänyt tiettyjä tietovaatimuksia, joita sähkötiloissa olevista laitteista on löydettävä. Näitä ovat mm. laitteen numero ja toimintopaikka. Toimintopaikalla tarkoitetaan Stora Enson määrittämää tuotantoprosessin osaa tai vaihetta SAP:issa. Toimintopaikka sisältää kyseiseen prosessiin liittyvät laitteet ja esimerkiksi kaikki häiriöilmoitukset, työtilaukset ja komponenttivaraukset. Nämä tiedot mahdollistavat laitteen nopean tunnistamisen ja laitetietojen hakemisen toiminnanohjausjärjestelmästä. Laitetiedoissa olevat puutteet ja mahdolliset vanhat toiminnanohjausjärjestelmästä poistoa vaativat laitteet otetaan huomioon laitekantaa kartoitettaessa. Toteutettava opinnäytetyö on luonteeltaan kenttätöitä, selvityksen tekemistä ja mekaanista laitetietojen ja huolto-ohjelmien päivittämistä ja generoimista.

#### 1.5 Kuitulinja

Kuitulinja vastaa tehdasintegraatissa puumateriaalin käsittelystä puun vastaanotosta valmiiksi selluloosamassaksi, josta valmistetaan kartonkia tai paperia. Valmis selluloosamassa voidaan kuivattaa kuivauskoneella tai ajaa suoraan paperi- tai kartonkikoneelle. Tässä opinnäytetyössä ei tarkisteta kuorinta- ja kuivatusprosessien taajuusmuuttajien enakkohuolto-suunnitelmia, vaikka nämä prosessivaiheet kuuluvatkin kuitulinja-kokonaisuuteen. Taajuusmuuttajilla ohjataan kuitulinjojen kaikkia prosesseja kuten pumppuja, ruuvikuljettimia, kuljetinhihnoja ja muita sellunkeittoprosessille ominaisia laitteita.



### 1.5.1 Puun vastaanotto ja käsittely

Puutavara tuodaan tehtaille autolla, junalla tai nykyään harvinaisemmin vesiteitse. Puutavara varastoidaan kuorimolaitoksen läheisyyteen puulajeittain, josta sitä voidaan syöttää kuorimon sulatuskuljettimelle, joka talviaikaan sulattaa puunkuoren. Sulatus toteutetaan käyttämällä kuumaa vettä tai matalapainehöyryä. Sulatusprosessi myös puhdistaa kuoresta epäpuhtauksia. (Knowpulp, 2016.)

Sulatettu puu kuoritaan kuorintarummussa, jonka jälkeen puuaines syötetään hakun syöttölinjalle, joka erottaa hiekan, kivet ja metallin puutavarasta. Varsinainen hakku hakettaa puuaineksen ja tekee siitä haketta, joka varastoidaan hakekasalle tai hakesiiloon. Hake seulotaan joko ennen tai jälkeen varastoinnin. Seulomossa poistetaan ylisuuri hake ja puru. Näistä ensimmäinen voidaan siirtää takaisin haketusprosessiin, mutta jälkimmäinen siirretään yleensä poltettavaksi muun kuoren kanssa. (Knowpulp, 2016.)

### 1.5.2 Keitto

Keittovaiheen tarkoituksena on poistaa puuhakkeen kuituja sitovaa ligniiniä sen verran, että hake kuituuntuu riittävästi. Tämä toteutetaan kemikaalien ja lämmön avulla joko eräkeittimessä tai jatkuvatoimisessa vuokeittimessä. Kuidut pyritään pitämään mahdollisimman vahvoina ja pitkinä. (Knowpulp, 2016.)

Sulfaattikeitossa käytetään keittokemikaalina valkolipeää, joka koostuu natriumhydroksidista ja natriumsulfidista. Keitossa muodostuu mustalipeää, joka on reagoinutta valkolipeää, johon on liuennut runsaasti ligniiniä ja muita aineita hakkeesta. Mustalipeä poltetaan soodakattilassa ja saadaan viherlipeää, joka kaustisoidaan meesauunissa ja saadaan valkolipeää, joka voidaan palauttaa keittoprosessiin. (Knowpulp, 2016.)

### 1.5.3 Pesu ja lajittelu

Pesussa poistetaan keitetystä ruskeasta massasta siihen liuenneita aineita. Pesussa pyritään saamaan talteen otettua mahdollisimman paljon massaan liuenneita aineita, koska siten voidaan regeneroida keittokemikaaleja ja ottaa orgaanisen aineksen lämpö talteen polttamassa pesuliuos soodakattilassa. Pesun tarkoituksena on myös vähentää valkaisukemikaalien tarvetta seuraavissa vaiheissa. (Knowpulp, 2016.)

Keitetyssä massassa on hiekkaa, kuorta, metallia, kiviä ja keittymätöntä haketta ja kuorta. Tämän materiaalin poistamiseksi massa yleensä sihdataan mekaanisesti ja keskipakoisvoimalla. Lajittamossa käytetään lukuisia eri vaiheita massan lajittamiseen. (Knowpulp, 2016.)

### 1.5.4 Happidelignifiointi

Happidelignifioinnissa poistetaan nimensä mukaisesti ligniiniä ja muita aineita massasta hapen ja alkalien avulla. Happidelignifiointi hapettaa ligniiniä alkaliin liukenevaan muotoon ja

poistaa ja tuhoaa massassa olevia väriaineita. Happi pelkistyy vedeksi reagoidessaan orgaanisen aineksen kanssa ja orgaaninen aines hapettuu. Happidelignifioinnissa poistettu orgaaninen aines voidaan palauttaa tehtaan kemikaalikiertoon polttamalla se soodakattilassa. (Knowpulp, 2016.)

#### 1.5.5 Valkaisu

Valkaisulla parannetaan massan puhtautta ja vaaleutta. Tämä toteutetaan joko ligniiniä säästävästi tai ligniiniä poistavasti. Jäänösligniiniä poistetaan valkaisukemikaalien avulla, joita käyttämällä pyritään säästämään massan hiilihydraatteja, jotka vaikuttavat massan saantiin ja lujuuteen. Valkaisukemikaaleilla liuotettu ligniini pestään massasta pesurilla. Valkaisuvaiheita on oltava emäksisiä sekä happamia, jotta päästään tavoitevaaleuteen valkaisu-  
tun massan laadulliset ominaisuudet säilyttäen. (Knowpulp, 2016.)

#### 1.5.6 Kuivatus

Valkaistu selluloosamassa voidaan käyttää suoraan paperi- tai kartonkikoneella tai se voidaan kuivata varastointitarkoitukseen. Varastoituja paaleja voidaan tarvittaessa liettää pulpperissa ja käyttää paperi- tai kartonkikoneella.

Kuivauskoneen märkää koostuu viira- ja puristinosista. Märkäähän syötetään märkää selluloosamassaa, jossa puristinosa puristaa mekaanisesti vettä pois massasta ja saavutetaan noin 45–55 % kuiva-aine-pitoisuus. Tämän jälkeen massa viedään kuivatusosalle, jossa vettä haihdutetaan massasta ulkoista lämmönlähdettä käyttäen. (Knowpulp, 2016.)

## 2 TAAJUUSMUUTTAJA

Oikosulkumoottorin toiminta perustuu staattorin käämityksessä syntyvään virtaan ja magneettivuohon. Jännitteen suuntaa muuttamalla voidaan saada aikaan pyörivä magneettivuoto. Moottorin roottori seuraa pyörivää magneettivuotoa tietyllä jättämällä, joka tarkoittaa sitä määrää todellisessa nopeudessa, jonka roottori ikään kuin laahaa vuon perässä ja kierrosnopeus eroaa moottorin tahtinopeudesta. Tahtinopeus riippuu moottoria syöttävän verkon taajuudesta ja moottorin napapariluvusta. (ABB Tekninen opas nro 4, 12.)

Taajuusmuuttajan tehtävä onkin muuttaa oikosulkumoottorin jännitettä ja taajuutta. Koska moottorin pyörimisnopeus on suoraan verrannollinen moottorin ottamaan taajuuteen, niin moottoria voidaan ohjata taajuusmuuttajan avulla käytännössä käyttäjän määräämällä nopeudella tai momentilla.

Sytä siihen, miksi moottoria halutaan ohjata tietyllä momentilla tai nopeudella, ovat esimerkiksi:

- Prosessin vaatiman tarkan kierrosluvun saavuttaminen
- Mekaanisen kuluman vähentäminen
- Metelin vähentäminen
- Energian säästö verrattuna siihen, että prosessin kaikki moottorit pyörisivät suorakäyttönä nimellinopeudellaan kaiken aikaa.
- Moottorin tuottaman momentin sovittaminen kuormaan. (Danfoss, julkaisuaika tuntematon.)

Taajuusmuuttajakäyttö on hyödyllinen ja käytännöllinen myös siinä mielessä, että moottorin ohjaus toteutetaan sähköisillä signaaleilla. Sähköinen ohjauksen toteutus vähentää sähkökäytössä esiintyvien kuluvien mekaanisten osien määrää, joka omalta osaltaan parantaa sähkökäytön luotettavuutta ja pidentää sen elinkaarta.

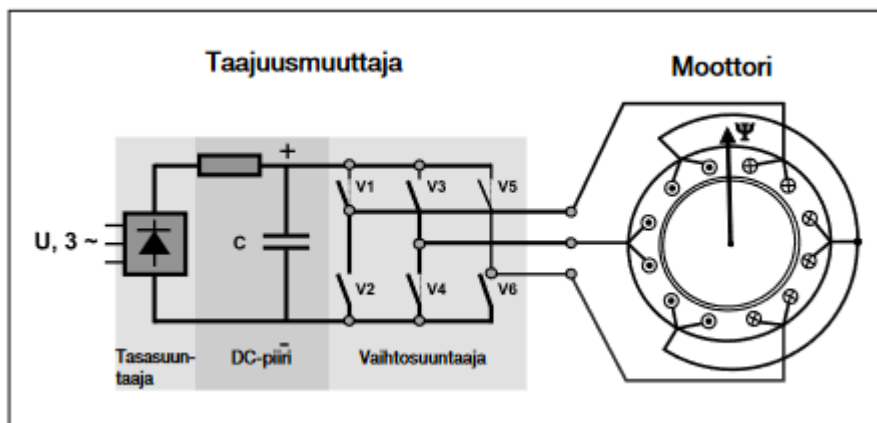
Taajuusmuuttajien tärkeitä ja hyödyllisiä ominaisuuksia ovat myös:

- Suunnan vaihto, verrattuna suoraan verkosta käytettävään moottoriin, jossa suunnanvaihto täytyy toteuttaa esimerkiksi suunnanvaihtokontaktoreilla.
- Käyttäjän määrittämät kiihdytys- ja hidastusajat
- Mekaanisen värähtelyn vähentäminen välttämällä kriittisellä nopeudella toimimista
- Kuormitusrajojen asettaminen, jotta vältetään vahingot prosessissa
- Prosessin tilatietojen hyödyntäminen taajuusmuuttajan ja moottorin ohjauksessa (I/O)
- Jättämän kompensointi muokkaamalla momentti/kierroslukukäyrää

- Momentin säätö vastaamaan prosessin tarpeita. (ABB Tekninen opas nro 4, 28–30.)

## 2.1 Taajuusmuuttajan rakenne

Alla olevassa kuvassa 3 esitellään taajuusmuuttajan periaate. Yksinkertaisimmillaan taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta, DC-piiristä ja vaihtosuuntaajasta. Taajuusmuuttajan lähtö kytketään oikosulkumoottorin käämityksiin, ikään kuin sitä syötettäisiin suoraan verkosta.

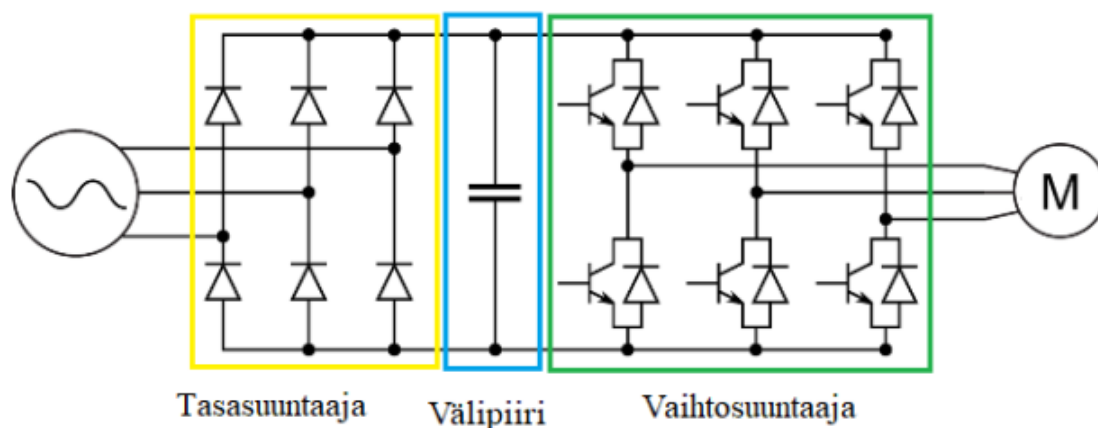


KUVA 3. Taajuusmuuttajan rakenne (ABB tekninen opas nro 4, 12)

Yksinkertaistettuna taajuusmuuttaja tasasuuntaa verkon vaihtojännitteen sykkiväksi tasajännitteeksi, jonka jälkeen välipiiri suodattaa tasajännitteen ja vaihtosuuntaa sen moottorin käyttämäksi vaihtojännitteeksi halutulla kytkentätaajuudella. On olemassa 1- sekä 3-vaiheisia taajuusmuuttajia. Kuvan 3 esimerkissä on kolmivaiheinen tasasuuntaaja. (ABB Tekninen opas nro 4, 12–13.)

### 2.1.1 Tasasuuntaaja

Tasasuuntaaja ottaa verkon 1- tai 3-vaiheisen vaihtojännitteen ja suuntaa sen sykkiväksi tasajännitteeksi. Tämä suuntaus toteutetaan usein yksinkertaisen 6-pulssisen diodisillan avulla, kuten kuvassa 4 esitetään. Verrattuna kuvaan 3 tässä kuvassa nähdään tarkemmin tasasuuntaajan koko periaatteellinen rakenne. Tasasuuntaajan toimintaperiaate perustuu siihen, että diodi päästää läpi vain anodilta katodille kulkeutuvan sähkövirran. Tämän ominaisuuden avulla muodostetaan vaihtojännitteestä sykkivä tasajännite. Sykkivä tasajännite esitetään kuvassa 5.

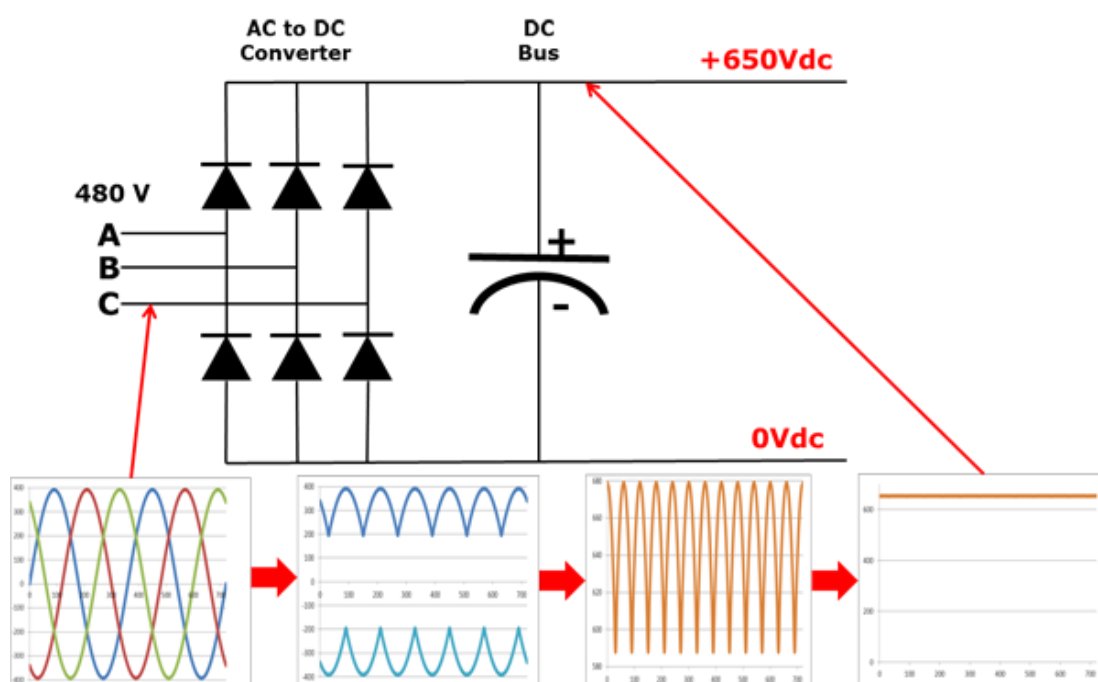


KUVA 4. Toinen kuva taajuusmuuttajan rakenteesta (Hulkkonen, 7)

### 2.1.2 DC-välipiiri

DC-välipiiriin tarkoitus on suodattaa pois sykkivässä tasajännitteessä esiintyvä rippeli. Rippeli suodatetaan pois, jotta vaihtosuuntaajalle saadaan syötettyä mahdollisimman tasalaatuisesta tasajännitettä. (Hartman, 2014.)

Suodattaminen on tärkeää, jotta kuormalle syötetty vaihtojännite saadaan pysymään tasalaatuisena. Rippelin suodattaminen on esitetty kuvassa 5. Ensimmäinen käyräkuvaaja esittää syöttävän verkon vaiheet ja toinen kuvaaja esittää diodisillan johtojaksoista muodostuneen potentiaalieron. Ylemmässä käyrässä on esitetty syöttövaiheiden positiiviset johtojaksot ja alemmassa negatiiviset. Kolmas kuvaaja on osasuurennos muodostuvan tasajännitteen rippelistä, joka muodostuu positiivisen ja negatiivisen johtojakson välille. Neljäs kuvaaja näyttää tasajännitteen käyrämuodon suodatuksen jälkeen.



KUVA 5. Rippelin suodatus (Hartman, 2014)

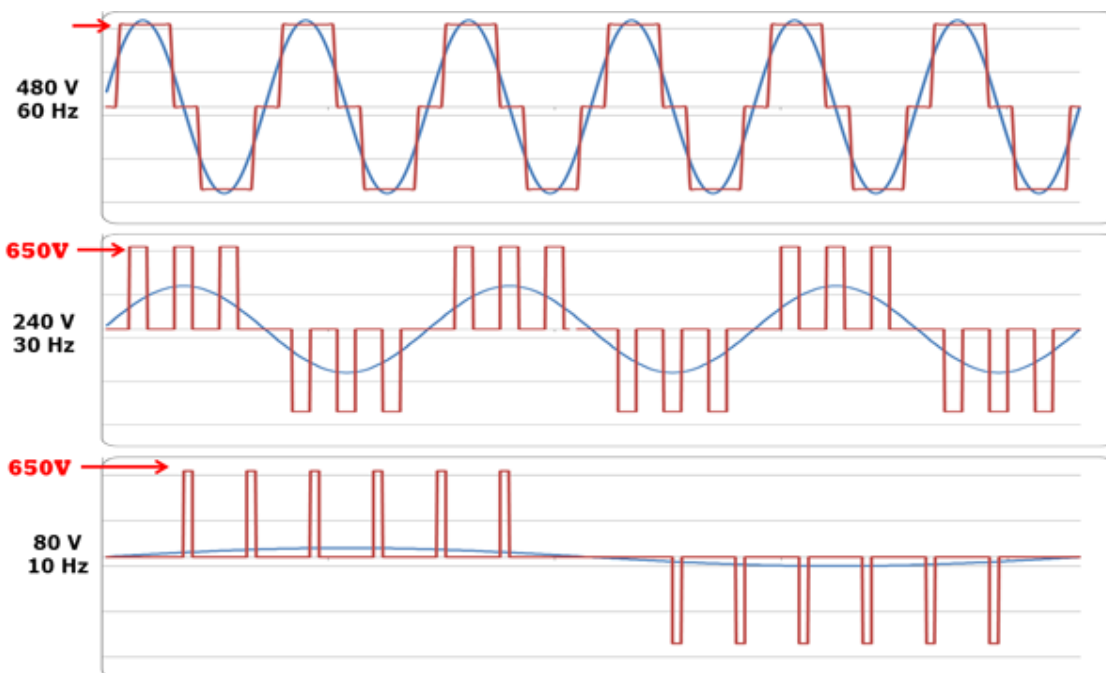
Kuvaa 5 tarkasteltaessa on otettava huomioon, että osasuurennoskuva ja neljäs kuvaaja ovat eri mittakaavassa, kuin kaksi ensimmäistä kuvaajaa. Ensimmäisessä ja toisessa kuvassa esitetään y-akselilla  $\pm 400$  V, kun taas kolmannessa kuvaajassa esitetään suurennosrippelistä y-akselin arvojen ollen välillä 590–680 V. Neljännen kuvaajan y-akseli on skaalattu arvoihin 0–650 V.

Kolmivaiheinen verkkojännite syötetään tasasuuntaajan läpi, jonka lähtönä saadaan sykkivää tasajännitettä. Kondensaattorin avulla saadaan tasoitettua jännitteen rippeli, koska kondensaattori purkaa varauksensa välipiiriin hetkinä, jolloin tasajännitepiiriin jännite alkaa laskea. (Hartman, 2014.)

### 2.1.3 Vaihtosuuntaaja

Taajuusmuuttajan vaihtosuuntaaja on kytkinlaite, joka vaihtosuuntaa välipiiriin suodatetun tasajännitteen takaisin vaihtojännitteeksi halutulla taajuudella. Kun kuvassa 4 olevan vaihtosuuntaajan ylimmät kytkimet suljetaan, niin halutun moottorin vaiheesta saadaan positiivinen, ja alhaalla olevaa kytkintä suljettaessa negatiivinen. (Hartman, 2014.)

Kuvassa 6 on esitetty erilaisia lähtötaajuuksia, jossa punaisella on esitetty kytkimen olotila välipiiriin jännitteen avulla ja sinisellä kytkentäjärjestyksestä ja -taajuudesta riippuva lähtöjännitteen keskiarvo, joka käyttäytyy siniaallon tavoin. Muuttamalla kytkentäpulslien kestoa muutetaan taajuusmuuttajan lähtöjännitteen taajuutta.



KUVA 6. Vaihtosuuntaajan kytkentätaajuus (Hartman, 2014)

Tällaista ohjausta kutsutaan pulssinleveysmodulaatioksi, joka onkin yleisin taajuusmuuttajissa käytetty ohjaustapa. (Hartman, 2014.)

#### 2.1.4 Jarrukatkoja ja -vastus

Jarrukatkoja on kytkin, jota käyttämällä taajuusmuuttajan välipiiriin syötetty teho pääsee purkautumaan vastukseen, jossa siitä tehdään lämpöä. Jarrukatkoja ja jarruvastus aktivoiduvat, kun välipiirin jännite ylittää tietyn vaihtosuuntaajan nimellisjännitteeseen verrannollisen pisteen. (ABB Tekninen opas nro 8, 15.)

Jarrukatkojaa ja -vastusta tarvitaan, koska taajuusmuuttajakäytöissä esiintyy tilanteita, joissa moottorin on toimittava generaattorina ja jarrutettava moottorin pyörittämää kuormaa, esimerkiksi nostimen kuorman laskeutuessa. Jarruvastusta käytetään jarrutusenergian kuluttamiseen, verkkoon syöttäminen ei yleensä ole taloudellista. (Laukkanen, julkaisuaika tuntematon.)

Jarrukatkojan ja -vastuksen hyötyjä ovat mm.

- Yksinkertaisuus
- kustannustehokkuus
- Toimivuus ei ole riippuvainen taajuusmuuttajan syötöstä.

Toisaalta jos jarrukatkojan jarrutusenergiaa ei oteta talteen, niin lämpöenergia menee koneaan hukkaan. Kuuma ilma voi myös aiheuttaa muutoksia taajuusmuuttajan jäähdytyksen mitoittamiseen ja toteutukseen nostaen kustannuksia. Kuumuus voi myös nostaa paloris-kiä ja korkea tasajännite rasittaa moottorin eristystä. (ABB Tekninen opas nro 8, 16.)

Eräs jarrukatkoja on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Jarrukatkoja ABB ACS-BRK-BL (ABB, 2024)

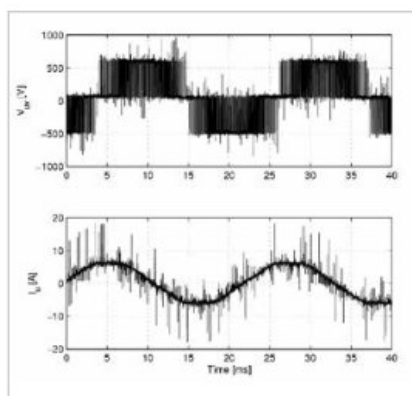
Yleensä jarruvastuksen synnyttämä lämpö siirtyy pois passiivisesti tai tuulettamalla, eli käyttämällä aktiivisia puhaltimia, jotka siirtävät lämmön pois kotelosta. Huomioitavaa on se, mihin komponentit asennetaan, koska esimerkiksi sähkökaapissa ollessaan ne voivat aiheuttaa merkittävästi vaikuttavaa lämpenemää kaapin muissa laitteissa. (Laukkanen, julkaisuaika tuntematon.)

### 2.1.5 dU/dt-suodin

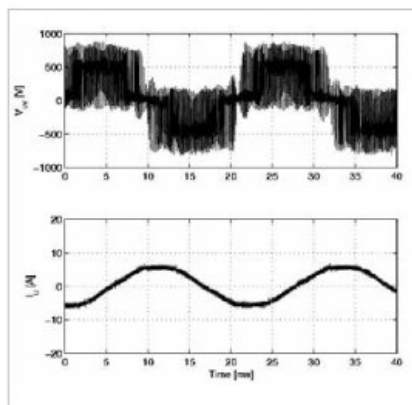
Oikosulkumoottorin käämitysten eristys rasittuu taajuusmuuttajakäytössä erityisen paljon, koska taajuusmuuttajaohjauksella moottorille syötetään nopeasti muuttuvia jännitepulsseja, joissa esiintyy korkeita jännitepiikkejä. Rasitukseen vaikuttaa myös moottorikaapelin pituus. (Muuntosähkö oy, 2.)

dU/dt-suotimella vähennetään eristysten kokemaa rasitusta suodattamalla taajuusmuuttajan lähtöjännitteessä esiintyvät jännitepiikit pois moottorille syötettävästä jännitteestä ja pienentämällä jännitteen nousunopeutta. Suodatus pidentää moottorin käyttöikää ja myös käyttölämpötila voi laskea. (Muuntosähkö oy, 2.)

Kuvassa 8 nähdään suotimen vaikutukset moottorin jännitteeseen ja virtaan.



*Voltage and current without filter*



*Voltage and current with filter*

KUVA 8. Jännite ja virta dU/dt-suotimella ja ilman (Danfoss, 2015)



### 3 KUNNOSSAPITO

Vaikka oikosulkumoottoreita ja muita sähköisiä laitteita pidetään yleisesti melko huoltovapaina, niin ei kunnossapidon merkitystä sähkölaitteiden elinkaaren pidentämisessä voida jättää huomiotta. Todennäköisesti merkittävin tekijä järjestelmien rikkoutumisessa ovat ikääntyneet komponentit, joiden ikääntyminen nopeutuu, kun kunnossapitoa laiminlyödään. Toimiakseen laitevalmistajan lupaaman elinkaaren mukaisesti täytyy varsinkin ennakko-huoltojen toteutumisesta varmistua. (ABB Drive maintenance, 2017, 5.)

Kaikilta rikkoutumisilta ei tietenkään voida välttyä vain toteuttamalla ennakoivaa kunnossapitoa, mutta riskiä vakavalle vaurioitumiselle voidaan pienentää merkittävästi.

Kunnossapidon tehtävä on pitää huolta laitteiden kunnosta ja käyttövarmuudesta, jotta tuotantoon liittyvät prosessit eivät häiriinny. Myös huolto on osa kunnossapitoa, mutta kunnossapitoa käytetään usein yleiskäsitteenä, kun taas huolto käsittää usein vain perinteiset vianetsintä, huolto- ja korjaustoimenpiteet. (Opetushallitus, julkaisuaika tuntematon.)

Käsitteenä kunnossapito koostuu monesta eri kokonaisuudesta, kuten kunnonvalvonnasta ja kunnossapitolajeista, jotka voidaan jaotella esimerkiksi alla olevan kuvan 9 mukaisesti.



KUVA 9. Kunnossapidon kokonaisuudet

Koska kunnossapito on monen eri osatekijän summa, niin onnistuakseen menestyksekkäästi kunnossapidon toteuttamisessa, on oltava hyvä käsitys eri osatekijöiden vaikutuksesta kokonaiskuvan kannalta. Yksi tekijä, joka vaikuttaa onnistuneeseen tai epäonnistuneeseen kunnossapitokokonaisuuteen on toiminnanohjausjärjestelmä. Käyttämällä kattavaa kaikki osapuolet huomioivaa toiminnanohjausjärjestelmää saadaan hyvä käsitys prosessien kulusta ja vaiheista.

### 3.1 Parantava kunnossapito

Parantava kunnossapito on kunnossapitoa, jonka tavoitteena on parantaa käytetyn laitteiston käytettävyyttä ja luotettavuutta. Parantavaa kunnossapitoa voi olla esimerkiksi sähkömoottorin vaihdon yhteydessä tehtävä päivitys, kuten moottorin vaihtaminen tehokkaampaan. Tekemällä näin voidaan varautua tulevaisuuteen kuormitettavuuden kasvun näkökulmasta. Parantavan kunnossapidon ei ole tarkoitus muuttaa kohteen toimintaa. (Spotilla, julkaisuaika tuntematon.)

### 3.2 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito keskittyy olennaisesti vikojen korjaamisen vasta sen jälkeen, kun kunnossapitoa vaativa laitteisto on vioittunut sen normaalia käyttöä estävällä tavalla. Olenaisiin tehtävä korjaavalle kunnossapidolle on rikkoutuneen laitteiston saattaminen prosessin näkökulmasta käytettävään kuntoon, joko korjaamalla tai vaihtamalla laitteisto kokonaan uuteen. Korjaavaa kunnossapitoa hyödynnetään strategiana laitteistoille, joiden viikaantuminen ei ole teknisistä tai taloudellisista syistä estettävissä. (Manninen, 2023.)

### 3.3 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä tai ennakoiva kunnossapito on kunnossapitoa, jota tehdään arvioimalla käytetyssä laitteistossa ja sen ympäristössä esiintyviä riskejä. Tarkoituksena on ehkäistä tunnettujen vian aiheuttajien vaikutusta laitteistossa. Ehkäisevän kunnossapidon mahdollistavat ennakkohuoltosuunnitelmat toteutetaan usein asiantuntijoiden analyysiin ja laitekohtaisiin ohjeisiin perustuen. (ABB Huoltosuunnitelma.)

Ehkäisevää kunnossapitoa voi olla esimerkiksi laitteiston puhtauden ylläpito, tunnettujen rikkoutuvien komponenttien vaihtaminen sekä silmämääräinen tarkistus.

Ammattimaisesti toteutettu ja suunniteltu kunnossapito parantaa laitteiden käyttövarmuutta ja näin ollen parantaa myös prosessin luotettavuutta. Ehkäisevän kunnossapidon hyötyjä ovat mm:

- Tuotannon luotettavuuden parantaminen
- Investointien ja kustannusten ennustettavuus
- Ennustettavuudesta aiheutuvat säästöt
- Vikojen aiheuttamien tuotantoseisokkien välttäminen
- Laitteiston elinkaaren pidentäminen

Tuntemalla laitekannan huoltotarpeen voidaan varautua asianmukaisesti huoltoon ja ennakoida tulevaisuuden seisokkitoimenpiteitä. (ABB Ennakoiva kunnossapito ja suunnitellut huollot.)

### 3.4 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonnan tehtävä osana kunnossapitoa on seurata laitteistojen kuntoa, jotta voidaan ehkäistä laitteiston prosessin toimintaa rajoittava vioittuminen. Tällainen valvonta toimenpide voi olla esimerkiksi laakerivärähtelymittaus. (Opetushallitus, julkaisuaika tuntematon.)

Muita kunnonvalvontaan kuuluvia toimintoja ovat esimerkiksi lämpötilan mittaaminen, voiteluaineen analysointi ja muut värähtelymittaukset. Mittaussuureiden seuraaminen mahdollistaa laitteistovikojen havaitsemisen jo ennen kuin varsinainen ongelma kentällä syntyy. Laadukas kunnonvalvonta parantaa laitoksen käytettävyyttä ja vähentää tuotantoa rajoittavien vikojen esiintymistä. Kunnonvalvonta parantaa huoltojen ennakoitavuutta ja pidentää laitteiden käyttöikää, koska ennakkoon havaitut viat voidaan hoitaa ennen kuin kriittinen toimintaa rajoittava vikaantuminen esiintyy ja mahdollisesti rikkoo itse koneen sekä prosessilaitteen. (Vilhu, 2022.)

## 4 KUNNOSSAPITOJÄRJESTELMÄ KOHTEESSA

Kunnossapito hoidetaan Stora Ensolla SAP-toiminnanohjausjärjestelmää hyväksi käyttäen. Toiminnanohjausjärjestelmää hyödyntäen kunnossapitoinsinööri toteuttaa töiden suunnittelun ja työnkulun seurannan sekä tarvittavan työvoiman ja komponenttien hankinnan.

### 4.1 SAP

SAP on toiminnanohjausjärjestelmä, jonka avulla yritys voi hoitaa toimintojaan keskitetysti, eli kaikilla työntekijöillä on pääsy samoihin tietokantoihin. Tämä helpottaa ja nopeuttaa liikumista yrityksen eri toimintojen välillä. Perinteiseen liiketoimintamalliin verrattuna SAP helpottaa monimutkaisten yritysprosessien hallintaa ja ymmärtämistä. (SAP, julkaisuaika tuntematon.)

Toimeksiantaja käyttää SAP:ia koko liiketoiminnan ohjaamiseen. Näitä liiketoiminnan osia ovat esimerkiksi häiriöilmoitukset, työtilaukset, työnkulun seuranta, hankinta, laskutus, kunnossapito ja varastohallinta.

### 4.2 SAP ennakkohuolto

Ennakkohuoltosuunnitelmat voidaan tehdä SAP-toiminnanohjausjärjestelmässä toimintopaikka tai laitekohtaisesti. Huoltosuunnitelman kohdistus toteutetaan mieluummin toimintopaikalle, jotta suunnitelma saadaan pysymään oikealla paikalla, mikäli kyseisen toimintopaikan laitteita joudutaan vaihtamaan. Näin vältetään myös tarve luoda uutta tai siirtää olemassa olevaa huoltosuunnitelmaa uudelle laitteelle.

Kuvassa 10 nähdään esimerkki ennakkohuoltosuunnitelmasta. Huoltosuunnitelman otsikossa annetaan tietoa suunnitelman kohdistuksesta ja kyseisestä laitteesta, johon huolto toteutetaan. Sykli kertoo kuinka usein SAP generoi uuden työtilauksen kyseiselle huoltosuunnitelmalle. Tämä arvo on korjattu vastaamaan laitevalmistajan suosituksia. Huoltorivillä ilmoitetaan kyseisen laitteen sähkölähtö asentajan työn nopeuttamiseksi. Huoltoriviltä saadaan myös auki huolto-ohjeet ja tarvittavien osien nimikenumerot huollon suorittamisen nopeuttamiseksi.

Huoltosuunnitelma	<u>1152706</u>	IM_KL2_SÄ_PM6Y_VACONNXS00186																																										
Huoltosuunn. ots.																																												
<a href="#">Huoltosuunnitelman syklit</a> <a href="#">Huoltosuunnitelman ajoitusparametrit</a> <a href="#">Huoltosuunnitelman lisätiedot</a>																																												
Sykli/yksikkö	6	VUO																																										
Sykliteksti																																												
Siirtymä/yksikkö	0	VUO																																										
<a href="#">Rivi</a> <a href="#">Objektiluettelo - rivi</a> <a href="#">Sijainti - rivi</a> <a href="#">Asiakaslaajennus - rivi</a>																																												
Huoltorivi	446765	PK316+04B taaj.muuttaja NXS 00186																																										
<b>Viiteobjekti</b> Toimintopaikka <u>KP-726-523</u> HA1 DD1 KIERTOSUODOSPUMPPU 1 Laite																																												
<b>Suunnittelutiedot</b> <table border="1"> <tr> <td>Suunnittelutmp</td> <td><u>1515</u></td> <td>SE Imatran tehtaas</td> <td>Suunnitteluryhmä</td> <td>955</td> <td>ALUE 6</td> </tr> <tr> <td>Tilauslaji</td> <td>PM12</td> <td>Ehkäisevä kunnossapito</td> <td>KP-toimintolaji</td> <td>M02</td> <td>Aikaan perustuva</td> </tr> <tr> <td>Vast. työpiste</td> <td><u>FIIM1222</u> / <u>1515</u></td> <td>SST KL2, KL3 ja VK...</td> <td>Liiketoiminta-alue</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Prioriteetti</td> <td></td> <td></td> <td>Purkamisohje</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Myyntitosite</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6"> <input checked="" type="checkbox"/> Älä vapauta heti         </td> </tr> <tr> <td>Tekn. j. tila</td> <td colspan="5">Pitkä seisokki</td> </tr> </table>			Suunnittelutmp	<u>1515</u>	SE Imatran tehtaas	Suunnitteluryhmä	955	ALUE 6	Tilauslaji	PM12	Ehkäisevä kunnossapito	KP-toimintolaji	M02	Aikaan perustuva	Vast. työpiste	<u>FIIM1222</u> / <u>1515</u>	SST KL2, KL3 ja VK...	Liiketoiminta-alue			Prioriteetti			Purkamisohje			Myyntitosite						<input checked="" type="checkbox"/> Älä vapauta heti						Tekn. j. tila	Pitkä seisokki				
Suunnittelutmp	<u>1515</u>	SE Imatran tehtaas	Suunnitteluryhmä	955	ALUE 6																																							
Tilauslaji	PM12	Ehkäisevä kunnossapito	KP-toimintolaji	M02	Aikaan perustuva																																							
Vast. työpiste	<u>FIIM1222</u> / <u>1515</u>	SST KL2, KL3 ja VK...	Liiketoiminta-alue																																									
Prioriteetti			Purkamisohje																																									
Myyntitosite																																												
<input checked="" type="checkbox"/> Älä vapauta heti																																												
Tekn. j. tila	Pitkä seisokki																																											

KUVA 10. Ennakkohuoltosuunnitelman etusivu

Suunnittelutiedot kohdassa saadaan tietoa siitä, minkälainen huoltotyötilaus on kyseessä ja kuka on vastuussa sen suorittamisesta. Tässä tapauksessa vastuu on kuitulinjojen 2 ja 3 sähkökunnossapidolla.

<b>Päivämäärän määrittäminen</b>		<b>Toimitusmääräyksen ohjaus</b>		<b>Ajoitustunnus</b>	
Myöh. vahv. siirtok.	100 %	Avaushorisontti	90 %	<input checked="" type="radio"/> Aika	
Toleranssi (+)	0 %	Kutsuväli	18 VUO	<input type="radio"/> Aika - määräpv.tarkka	
Siirtokerr. - aik. vahv.	100 %	<input checked="" type="checkbox"/> Vahvistuspakko		<input type="radio"/> Aika - tehdaskalent.	
Toleranssi (-)	0 %				
Muutoskerroin	1,00				
Tehdaskalenteri					

KUVA 11. Ennakkohuoltosuunnitelman ajoitus

Kuvassa 11 esitetään ennakkohuoltosuunnitelman ajoitustoiminto. Päivämäärän määritykseen liittyvät arvot määrittävät sen, miten SAP reagoi myöhästyneisiin tai aikaistettuihin huoltoihin.

Avaushorisontti määrittää milloin SAP generoi työtilauksen suunnitelman perusteella. Eli kun huoltosyklistä on jäljellä 10 % ennen viimeisen päivämäärän täyttymistä, niin SAP luo työtilausnumeron vastuulliselle työpisteelle. Kutsuväli määrittää kuinka usein SAP kutsuu kyseiset huollot. Nämä päivämäärät ja työtilausten generoimiset nähdään kuvasta 12. Huomattavaa on, miten vanhemmat huollot on toteutettu kolmen vuoden välein ja alemmat on korjattu vastaamaan laitevalmistajan ohjetta.

<input type="checkbox"/>	V	Huoltorivi	Huoltosuunn.	Huoltorivin kuvaus	Kutsunumero	Ajoit. alkupvm	Tilaus	Suunn. pvm	Päätöspvm	Toimintopaikka
<input type="checkbox"/>		446765	1152706	PK316+04B taaj.muuttaja NXS 00186	1	31.03.2012	31000540129	31.03.2012	02.04.2012	KP-726-523
<input type="checkbox"/>		446765		PK316+04B taaj.muuttaja NXS 00186	2	13.04.2015	31001102884	02.04.2015	15.04.2015	KP-726-523
<input type="checkbox"/>		446765		PK316+04B taaj.muuttaja NXS 00186	3	24.09.2018	31001631756	14.04.2018	06.07.2018	KP-726-523
<input type="checkbox"/>		446765		PK316+04B taaj.muuttaja NXS 00186	4	13.09.2021	31002174307	05.07.2021	29.09.2021	KP-726-523
<input type="checkbox"/>		446765		PK316+04B taaj.muuttaja NXS 00186	5	07.10.2024	2005471930	28.09.2024		KP-726-523
<input type="checkbox"/>		446765		PK316+04B taaj.muuttaja NXS 00186	6	27.09.2030		27.09.2030		KP-726-523
<input type="checkbox"/>		446765		PK316+04B taaj.muuttaja NXS 00186	7	25.09.2036		25.09.2036		KP-726-523
<input type="checkbox"/>		446765		PK316+04B taaj.muuttaja NXS 00186	8	24.09.2042		24.09.2042		KP-726-523

KUVA 12. Ennakkohuoltosuunnitelman työtilaus

## 5 TAAJUUSMUUTTAJAN VIANAIHEUTTAJAT

Taajuusmuuttajat voivat vikaantua monesta syystä, kuten ympäristön, lämpötilan, huonon liitosten ja sähköverkon ilmiöiden takia. Myös komponentin ikääntyminen nostaa riskiä sen rikkoutumiselle. Yleiset vianaiheuttajat on syytä tuntea, mikäli halutaan suoriutua kunnossapidossa menestyksekkäästi. (Mugo, 2023.)

Tärkeää vikojen esiintyvyyden minimoinnissa on myös tuntea oikosulkumoottorin yhteensopivuus ja oikea mitoitus taajuusmuuttajakäyttöön, koska jotkin vanhemmat oikosulkumoottorit eivät välttämättä ole soveltuvia taajuusmuuttajakäyttöön. (Jones, 2016.)

### 5.1 Ympäristö

Olennainen ympäristön aiheuttama vaikutus taajuusmuuttajan kuntoon on lika ja pöly, koska tukkiessaan taajuusmuuttajan jäähdytyspuhaltimen ja jäähdytyselementin ei puhallin pysty enää jäähdyttämään käytössä olevaa taajuusmuuttajaa riittävän tehokkaasti. Yli-  
lämpö lyhentää laitteen piirien elinkaarta, ja isompi sähköisesti johtava lika voi aiheuttaa oikosulkuja. Toinen tärkeä ympäristöstä johtuva vianaiheuttaja on kosteus, joka voi piirilevyyden päästessään aiheuttaa korroosiota. (Mugo, 2023.)

Jäähdytysreittien tukkimisen ohella pöly voi myös kerätä kosteutta itseensä, joka tekee vian syntymisestä todennäköisempää. (Jones, 2016.)



KUVA 13. ABB:n Taajuusmuuttajia

Kuvassa 13 on esitetty joitakin pienen runkokoon ACS880 taajuusmuuttajia eräässä Kuitulinja 2:n sähkötilassa. Tässä tilanteessa, kuten lähes kaikissa muissakin tilanteissa tehtaalla

ympäristön vaikutuksia on torjuttu asentamalla taajuusmuuttajat prosessitilasta erotettuun sähkötilaan. Näin torjutaan liian ja sellunkeittoprosessin kosteusvaikutuksia. Sähkötila on myös hyvin ilmastoitu ja jäähdytetty, joten lämpötilan vaikutuksetkin on pyritty huomioimaan.

## 5.2 Välipiiri

Kondensaattorit ovat hyvin herkkiä laitteita ja altistuessaan liian korkealle lämpötilalle on mahdollista, että ne vikaantuvat ja aiheuttavat taajuusmuuttajan rikkoutumisen, koska elektrolyyttisen kondensaattorin kestävyys lämpötilan noustessa heikkenee merkittävästi. (Mugo, 2023.)

## 5.3 Ylivirta ja liittimet

Ylivirta aiheuttaa taajuusmuuttajan piireissä ylimääräistä kulumaa, joka lyhentää taajuusmuuttajan elinkaarta. Taajuusmuuttajan komponenttien ikääntymisen aiheuttavat pääosin liian korkea lämpötila ja mekaaninen värinä. (Mugo, 2023.)

Yksi kuumenemisen aiheuttaja jäähdytyksen riittämättömyyden ohella on löysä liitin, joka voi kuumetessaan aiheuttaa vaurioita lämpenemisestä tai jopa syttymisen.

Löysä liitin voi myös aiheuttaa valokaarimaisia purkauksia, jotka voivat aiheuttaa taajuusmuuttajan syöttöpuolella virheellisiä häilytyksiä ja sulakkeiden ja komponenttien rikkoutumisia. (Jones, 2016.)

## 5.4 Lämpö

Lämpöä syntyy häviötehona puolijohteissa ja johtimissa laitteistoa kytkettäessä ja käytettäessä. On tärkeää hoitaa ylimääräinen lämpö pois taajuusmuuttajan komponenteista ja laitekotelosta, koska korkea lämpötila vaikuttaa laitteen elinkaaren pituuteen merkittävästi. (Bailey, 2023.)

Taajuusmuuttaja sisältää paljon pienikokoisia puolijohteita, joten lämmöntuotannon määrä on suuri laitteen kokoon nähden. Tämä johtuu lähinnä kytkentähäviöistä. Merkittävä tekijä lämmön syntymisessä on taajuusmuuttajan kotelo, joka suojatessaan komponentteja ympäristön vaikutuksilta sulkee sisälleen puolijohteiden tuottaman lämmön. Pienet laitekotelot mahdollistavat kuumien pisteiden syntymisen laitteeseen. Pieni laitekotelo pystyy myös luovuttamaan vain vähän lämpöä ympäristöön alhaisen pinta-alan vuoksi. (LaPorta, 2022.)



## 6 TAAJUUSMUUTTAJAN HUOLTO

Suurin osa taajuusmuuttajia koskevista huolloista on ennakoivaa kunnossapitoa. Kuten kaikki muutkin laitteet, niin myös taajuusmuuttajat voivat kokea äkillisen toimintaa rajoittavan tai käyttöä estävän vian, joka vaatii laitteiston käyttäjiltä huoltotoimenpiteitä. Usein tällaiset hajoamiset johtuvat esimerkiksi ylijännitteen tai lämpenemän vaikutuksesta. Ylijännite voi aiheuttaa esimerkiksi taajuusmuuttajan komponenteissa läpilyönnin, joka voi hajottaa jonkin tietyn piirikortin. Kuumuus taas voi aiheuttaa taajuusmuuttajan puolijohdekomponenteissa ennen aikaista kulumaa, joka voi johtaa puolijohteiden rikkoutumiseen.

Tästä syystä taajuusmuuttajien rikkoutumisesta johtuvaan huoltoon liittyy lähinnä yksittäisen komponentin tai koko laitteen vaihto.

Alueilla, joita opinnäytetyö koskee, on käytössä lähinnä ABB:n valmistamaa ACS880 -sarjaa ja Vaconin (Nyk. Danfoss) valmistamaa NX-sarjaa. Myös joitakin ABB:n ACS800-sarjan laitteita ja Vaconin 100-sarjan laitteita käytetään. Tässä opinnäytetyössä viitataan nykyisen Danfossin omistamiin taajuusmuuttajasarjoihin Vaconeina. Stora Enson vanhat huoltosuunnitelmat ovat pohjautuneet valmistajien ohjeisiin, mutta laitteiden vaihtuessa ei ole täysin kattavasti päivitetty laitteelle kuuluvia suunnitelmia.

### 6.1 Valmistajien suositukset

Taulukossa 1 on esitetty laitevalmistaja ABB:n suosittelemat toimenpiteet taajuusmuuttajan käyttövarmuuden varmistamiseksi. Taulukossa 1 P tarkoittaa esimerkiksi käyttöönottoa ja mittaustoimenpiteitä, I on tarkastusta ja R on osan vaihtaminen. Vuosittain olisi hyvä tarkistaa ainakin varaosien kunto, liitosten tiukkuus, lian, korroosion ja lämmön esiintyminen sekä jäähdytyslementtien likaisuuden tarkistus ja puhdistus.

Taulukon 1 tiedot pätevät ACS880-sarjan laitteisiin, jotka on valmistettu vuoden 2017 jälkeen, tätä aikaisemmin valmistetut laitteet voivat poiketa huoltoaikatauluiltaan. Syynä tähän on ABB:n siirtyminen kestävämpiin jäähdytyspuhaltimiin.

TAULUKKO 1. Suositellut ACS880-sarjan huoltoaikataulut (ABB 2022, s.170)

Annual action	Target
P	Quality of supply voltage
I	Spare parts
P	DC circuit capacitor reforming, spare modules and spare capacitors
I	Tightness of terminals
I	Dustiness, corrosion or temperature
I	Heat sink cleaning

Component	Years from start-up							
	3	6	9	12	15	18	20	21
Cooling								
Main cooling fan			R			R		
Auxiliary cooling fan for circuit boards (frames R1 to R9)			R			R		
Auxiliary cooling fan IP55 (frames R8 and R9)			R			R		
Aging								
Battery for ZCU control unit		R		R		R		
Battery for control panel			R			R		
Functional safety								
Safety function test	I See the maintenance information of the safety function							
Safety component expiry (Mission time, $T_M$ )	20 years							

4FPS10000239703

Varsinaiset aikaan perustuvat ennakkohuoltotoimenpiteet alkavat ACS880-sarjalla huollettavan laitteen ollessa noin kuuden vuoden ikäinen. Suurin osa huolloista on suunniteltu toteutettavan 9 vuoden välein. Näihin huoltoihin kuuluvat lähinnä jäähdytyspuhaltimien vaihdot ja ohjauspaneelin ja ohjausyksikön pariston vaihto.

Laitteen turvapiirien suunniteltu toiminta-aika on 20 vuotta, jonka jälkeen ne on vaihdettava. Tämä on käytännössä taloudellista vain, kun kyseessä on isompi taajuusmuuttaja, jonka turvapiirit ovat erillisiä vaihdettavia moduuleita. Muussa tapauksessa johtaa käyttöiän täyttyminen yleensä taajuusmuuttajan vaihtoon. (ABB, 2022, s.186.)

Toiminta-ajan pituus on määritelty mm. standardissa ISO 13849-1, jonka mukaan toiminta-aika tarkoittaa aikaa, jonka sisällä voidaan arvioida komponentin luotettavuutta vakiodulla vikaantumistaajuudella. (SFS-EN ISO 13849-1:2023, 50.)

Taulukossa 2 on esitetty huoltoaikataulu Vaconin NXS- ja NXP-sarjojen taajuusmuuttajille. Kuten myös ABB, niin Vacon suosittelee kondensaattorien elvytyksen suoritettavan vuoden välein. Kondensaattorien elvytys on tarpeen vain varastoiduille laitteille. Muuten Vaconin

ohjeet antavat karkeat aikataulut eri kunnossapitotöille ympäristön vaikutusten mukaan. Verrattuna ABB:n taajuusmuuttajiin täytyy Vaconin taajuusmuuttajien jäähdytyspuhaltimet vaihtaa hieman useammin noin 5–7 vuoden välein. Vaconin ohjeet eivät myöskään ota kantaa laitteen turvapiirien suunniteltuun toiminta-aikaan. Vaconin taajuusmuuttajiin on saatavilla turvapiirikortteja lisäosina, mutta niitä ei käsitellä tässä työssä.

TAULUKKO 2. Vacon NX-sarjan suositellut huoltoaikataulut (Vacon 2017, s. 124)

Huoltoväli	Huoltotehtävä
12 kuukautta (jos taajuusmuuttajaa säilytetään varastossa)	Lataa kondensaattorit (katso luku 8.7.1 <i>Kondensaattorien lataus</i> ).
6–24 kuukautta (Väli on erilainen eri ympäristöissä.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tarkista liittimien kiristysmomentit.</li> <li>Puhdista jäähdytyslementti.</li> <li>Tarkista verkkokaapelin liitin, moottorikaapelin liitin ja ohjausliittimet.</li> <li>Puhdista jäähdytystunneli.</li> <li>Varmista, että puhallin toimii oikein.</li> <li>Varmista, että liittimissä, kokoojakiskoissa tai muissa pinnoissa ei ole korroosiota.</li> <li>Tarkista ovisuodattimet, jos laite on asennettu kaappiin.</li> </ul>
5–7 vuotta	Vaihda puhaltimet: <ul style="list-style-type: none"> <li>pääpuhallin</li> <li>sisäinen IP54-puhallin (UL-tyyppi 12)</li> <li>kaapin puhallin/suodatin.</li> </ul>
5–10 vuotta	Vaihda DC-väylän kondensaattorit, jos tasajännitteen aaltaisuus on voimakas.

## 6.2 Taajuusmuuttajan ennakkohuolto

Taajuusmuuttajan ennakkohuoltoon liittyy monta eri tekijää, jotka ovat kaikki tärkeitä taajuusmuuttajan luotettavan elinkaarenhallinnan osalta tärkeitä. Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi, silmämääräinen tarkastus, liitinten tarkastus, komponenttien toimivuuden tarkastus, ja tarvittaessa kondensaattoriin elvytys. (Wellnitz, 2020.)

Silmämääräisen tarkastuksen aikana kiinnitetään huomiota taajuusmuuttajan yleisilmeeseen, kondensaatioon, korroosioon ja likaan. Lika ja pöly jäähdytyslementissä tai puhaltimen ilman oton- tai lähdon edessä voi aiheuttaa turhaa kuumentumista. (Wellnitz, 2020.)

Huonot liittimien kiinnitykset voivat aiheuttaa ylikuumenemista johtimissa, koska huono liitos voi ylikuumentua ja aiheuttaa lämpöaurioita lähellä oleviin komponentteihin. Tämä voi aiheuttaa lämpösuojien tai vikavirtasuojien laukeamisen, josta seuraa sähkökäytön käyttökelvottomuus.

Komponenttien kuntoa tarkastellaan valmistajan ennakkohuolto-ohjeen mukaisesti. Näihin tarkastuksiin voi sisältyä ennakoivia komponenttivaihtoja esimerkiksi jäähdytyspuhaltimien ja välipiirikondensaattorien osalta. Taajuusmuuttajat on yleensä suunniteltu toimimaan laitevalmistajasta riippuen noin 5–10 vuotta ennen ensimmäistä komponenttivaihtoa sisältävää ennakkohuoltoa. (Wellnitz, 2020.)

### 6.3 Varastoidun taajuusmuuttajan huolto

Useimmat välipiirin suodatuskondensaattorit ovat elektrolyyttisiä, joten pitkäaikaisen varastoinnin seurauksena niiden dielektrinen eriste heikkenee. Jos taajuusmuuttajaa aletaan käyttää tilassa, jossa kondensaattorit ovat heikentyneet, niin riskinä on kondensaattorien rikkoutuminen. Kondensaattorit voidaan kuitenkin elvyttää tavalliseen käyttötilaansa käyttämällä säätömuuntajaa, jolla syötetään kondensaattoreja pikkuhiljaa. Elvytys olisi hyvä toteuttaa 1–2 vuoden välein pitkäaikaisesti varastoidulle kondensaattoripiirille. (Wellnitz, 2020.)

Tarve elvytykselle johtuu siitä, että rakenteellisesti elektrolyyttinen kondensaattori koostuu alumiinikalvosta, jonka pinnalle muodostuu eristävä dielektrinen oksidikerros. Kondensaattorin alumiinikalvoisen anodin ja katodin välillä on elektrolyyttiaine, joka on usein valmistettu tantaalista tai muusta ominaisuuksiltaan sopivasta aineesta. Mikäli kondensaattoria ei käytetä pitkään aikaan, niin sen dielektrinen eristekalvo alkaa heikentyä. (TDK, julkaisuaika tuntematon.)

Koska kondensaattorin kapasitanssi riippuu elektrodin pinta-alasta ja elektrodien välistä, niin rakentamalla mahdollisimman ohut eriste, saadaan elektrodit mahdollisimman lähikäin, jolloin kapasitanssi kasvaa. (TDK, julkaisuaikatuntematon.)

Tämä on yksi olennaisimmista syistä, miksi taajuusmuuttajien valmistuksessa käytetään nykypäivänä lähinnä elektrolyyttisiä kondensaattoreita.

Kapasitanssin yhtälö on esitetty kaavassa 1.

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (1)$$

Missä

C on kapasitanssi,

$\epsilon_0$  on tyhjiön permittiivisyys eli sähkövakio,

A on kondensaattorilevyn pinta-ala ja

d on kondensaattorilevyjen etäisyys toisistaan.

Toimeksiantaja on organisoinut varastoitujen taajuusmuuttajien huollot niin, että tehtävä on vastuutettu kunnossapitoinsinöörille, joka ohjaa tehtävään määrätyn sähköasentajan suorittamaa kunnossapitotoimintaa. Tähän ei nähty syytä puuttua huoltojen päivittämisen yhteydessä.

#### 6.4 Stora Enson omat huoltosuunnitelmat

Toimeksiantajalla ei ole selkeää yhtenäistä ennakkohuoltosuunnitelmapohjaa taajuusmuuttajille, joten ennakkohuoltosuunnitelmat voivat poiketa toisistaan melko paljon, vaikka vertailtaisiin samanlaisia laitteita. Kunnossapitoinsinöörit tekevät huoltosuunnitelmia omien, sekä laitevalmistajien tarjoamien tietojen avulla. Tästä syystä huoltoja on ollut vaikea yhtenäistää.

Laitevalmistajien ohjeissaan esittämiä kohtia, kuten puhtauden, korroosion ja liitinten tarkistamista toteutetaan sähkötilojen tarkastusten yhteydessä, joten näille tarkistuksille luoduista omista huoltosuunnitelmista ei olisi juuri hyötyä. Tiloja ja laitteita tarkastavat asentajat kirjaavat havaitut poikkeamat Sap:in luomaan kyseisen tilan ennakkohuoltotilaukseen.

Suunnitelmapäivitys määritettiin koskemaan lähinnä taajuusmuuttajien puhallinhuoltoja, koska nämä ovat taajuusmuuttajan kannalta yksi olennaisimpia ja kriittisimpiä huollon kohteita oikein toiminnan varmistamiseksi. Tämä huolto-osio valittiin, koska suurin osa olemassa olevista huolloista keskittyy puhallinhuoltoihin ja puhaltimen toiminta on kriittistä riittävän jäähdytyksen takaamiseksi.

Myös mahdollisiin taajuusmuuttajassa käytettäviin nappiparistoihin liittyen luotiin täysin uudet huoltosuunnitelmat paristovaihdolle. Näitä ovat esimerkiksi ACS880 taajuusmuuttajien ohjauspaneelit ja ZCU-yksiköt sekä Vaconin 100-sarjan reaaliaikakellot.

Luvussa 2.1 esitetyt jarrukatkojat ja  $dU/dt$ -suotimet eivät vaadi muuta huoltoa, kuin mahdollisesti kunnan silmämääräistä tarkastelua ja puhdistamista.

Tässä työssä ei keskitytty piirikortti- tai kondensaattorihuoltoihin, koska näiden huoltojen ollessa ajankohtaisia, on ollut tapana tilata koko laitteen vaihto laitevalmistajalta tai heitä edustavalta huoltoliikkeeltä. Myös toteuttamalla oma huoltosuunnitelma kaikista laitevalmistajien ohjeissaan (Taulukot 1 ja 2) suosittelemista kohdista saadaan toiminnanohjausjärjestelmä tukkoon hyvin nopeasti.

## 7 HUOLTOSUUNNITELMIEN KEHITTÄMINEN

Työn suorittaminen aloitettiin kartoittamalla työalueen sisälle rajatut laitteet. Selvitys tehtiin käymällä osastoilla ja sähkötiloissa kuitulinjojen 2 ja 3 alueilla. Kartoituksen yhteydessä tarkistettiin laitetietojen paikkansapitävyys SAP-toiminnanohjausjärjestelmästä tulostettuun laiteluetteloon nähden.

Joitain kentällä olevia laitteita havaittiin puuttuvan luettelosta ja myös tulostettu laiteluettelo sisälsi joitakin laitteita, jotka ovat poistuneet käytöstä. Usein nämä laitteet löytyivät samalta toimintopaikalta, kuin käytössä oleva laite. Vanha laite on siis syystä tai toisesta jäänyt poistamatta toimintopaikaltaan.

Laitetietojen paikkansapitävyyden tarkistamisen yhteydessä tarkistettiin myös laitteilta vaadittujen tunnuskilpien tai -tarrojen kiinnitys. Tätä varsinaista tietojen tarkistus ja korjausvaihetta ei oltu käsitelty alkuperäisessä rajauksessa, mutta alussa havaittujen puutteitten takia päätettiin tällaiset Stora Enson omiin asennusstandardeihin liittyvät asiat käydä läpi laitetietojen tarkastuksen ohella.

Laitekartoituksen jälkeen voitiin aloittaa varsinaisten suunnitelmien päivittäminen. Suunnitelmat tulostettiin toiminnanohjausjärjestelmästä, jonka jälkeen voitiin aloittaa suunnitelmien läpikäynti ja päivittäminen.

Päivityksen ohessa havaittiin, että joillakin taajuusmuuttajilla ei ollut ennakkohuoltosuunnitelmia laisinkaan. Nämä suunnitelmat generoitiin käyttäen apuna suunnitelmien luomisen tehostamiseksi kehitettyä excel-työkalua, johon voitiin täyttää SAP:in vaatimat tiedot. Excelin täyttämisen jälkeen tiedot ajettiin SAP-toiminnanohjausjärjestelmään.

Moniin suunnitelmiin lisättiin myös ohjetekstikenttään tietoja laitteen vaatimista puhallinimikkeistä, jotta voidaan helpottaa asentajan tai insinöörin työtä, kun hän hankkii vaadittavan komponentin varastopalvelusta tai laitevalmistajalta huollon toteuttamiseksi.

Monet vanhat puhallinhuollot oli suunniteltu toteutettavan 3–4 vuoden sykleillä. Suurin osa voitiin päivittää toteutettavaksi kuuden tai yhdeksän vuoden välein. Joitakin vanhoja laitteita oli vielä käytössä alueilla, joihin 3–4 vuotta on sopiva sykli. Näihin suunnitelmiin ei puututtu.

Luotiin myös kokonaan uudet paristonvaihtohuollot taajuusmuuttajille, joissa paristoja käytetään, koska näitä ei ollut olemassa missään muodossa. Luomalla nämä huoltosuunnitelmat ennaltaehkäistään tilanne, jossa paristonvaihdon suorittaminen tapahtuu reagoimalla taajuusmuuttajan hälytykseen. Reagointiin perustuva huoltotilanne ei ole suotuisa, sillä se vaatii vian tai huoltotarpeen havainnoin, jonka puuttuessa voi syntyä lisävahinkoja.

Nostamalla huoltosykliä esimerkiksi kolmesta vuodesta kuuteen puolitetaan laitteen vaatima puhallinhuolto. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tällaisten laitteiden osalta huoltokustannukset puolittuvat. Koska linjoilla oli noin 100 päivitettävää taajuusmuuttajaa, niin säästöt huoltokustannuksissa ovat merkittävät.

## 8 YHTEENVETO

Ennakoiva kunnossapito on kriittisen tärkeää taajuusmuuttajien oikeellisen toiminnan varmistamiseksi. Taajuusmuuttajakäytöillä ajetaan nykyään suurinta osaa prosessin laitteista toimeksiantajan kuitulinjoilla, joten hyvin toteutettu kunnossapito on olennainen edellytys hyvän tuotantovarmuuden takaamiseksi.

Työn tarkoitus oli toteuttaa päivitys tehtaan kuitulinjojen 2 ja 3 taajuusmuuttajien ennakkohuoltosuunnitelmiin. Tavoitteena oli parantaa ja yhtenäistää laitteiden huoltosuunnitelmia, koska vanhat suunnitelmat on tehty sitä mukaa, kun laitteita otetaan käyttöön eikä yhtenäistä ohjetta ollut.

Ohjeita ei myöskään usein oltu päivitetty laitteiden vaihtuessa joko rikkoutumisen tai uudempaan malliin siirtymisen yhteydessä. Merkittävin syy tämän aiheen valinnaksi oli se, että työskentelen itse kyseisellä tehdasalueella ja viimeisimpien laajojen laitepäivitysten aikana jokunen vuosi sitten ei huoltosuunnitelmiin ollut tehty tarvittavia päivitystöimenpiteitä. Huoltosuunnitelmat olivat siis päivityksen tarpeessa. Samalla kartoitettiin työn rajaukseen kuuluvaa laitekantaa ja parannettiin toiminnanohjausjärjestelmästä löytyviä laitetietoja.

Huoltosuunnitelmat jäähdytyksen osalta päivitettiin vastaamaan laitevalmistajien ohjeita ja puuttuvia suunnitelmia luotiin laitteille. Puhallinhuoltojen aikavälit nostettiin joillakin ACS880-taajuusmuuttajilla jopa kolmesta vuodesta yhdeksään. Yhdessäkään laitteessa sykli ei kuitenkaan lyhentynyt, joten komponenttikustannukset vähenevät huomattavasti. Koska näin pitkiä syklejä ei ollut kuitulinjoilla vielä montaakaan, niin jää nähtäväksi kestävätkö laitteet uudet huoltovälit, vai syntykö tulevana vuosina enemmän laiterikkoja, jotka mitätoivāt vähentyneiden huoltokustannusten synnyttämät säästöt.

Paristonvaihtohuollot tehtiin muun kartoitus- ja päivitystyön ollessa valmis, koska aikaa oli vielä riittävästi ja koettiin, että niiden olemassaolosta on enemmän hyötyä verrattuna haittaan, mikä syntyy SAP:iin toimintopaikan saadessa lukuisia huoltosuunnitelmia. Tässä tapauksessa haitalla tarkoitetaan SAP-työtilausten määrää joka syntyy, kun useita huoltosuunnitelmiin perustuvia töitä vapautuu tehtäväksi yhtä aikaa.

Varastoitujen taajuusmuuttajien huoltoihin tutustuttiin pintapuolisesti ja todettiin nykyisen tason olevan riittävän hyvä, jotta voidaan taata varastoitujen laitteiden käyttövarmuuden säilyminen.

Taajuusmuuttajissa oleviin piirikortteihin ja kondensaattoripiireihin ei otettu suunnitelmia luotaessa ja päivitettäessä huomioon, koska kyseisten komponenttien tapauksessa on toimeksiantajalla ollut tapana käyttää laitevalmistajaa tai muuta laitevalmistajan edustajaa näiden komponenttien vaihtoon tai vaihtaa koko taajuusmuuttaja.



## 9 POHDINTAA

Toteutettu kehitystyö paransi laitteiden huoltosyklistä korjaamalla toteutettavien huoltojen aikavälit laitevalmistajien ohjeiden mukaiselle tasolle. Tästä saadaan merkittäviä säästöjä. Voisi olla aiheellista toteuttaa vastaavanlaisia laitekartoituksia ja suunnitelmien päivittämissä toisilla tuotantolinjoilla tehtaan huoltojen yhdentämiseksi.

Tämä työ keskittyi lähinnä jäähdytyshuoltoihin, koska ne ovat kriittisimpiä laitteen oikean toiminnan varmistamiseksi. Rajaamalla suunnitelmien luontia vähennetään myös toiminnan järjestelmän käytön rasittavuutta. Suunnitelmien luomisen yhteydessä täytettiin kaikki kuitulinjojen taajuusmuuttajat sähkölähtöineen suunnitelmien massa-ajoa varten rakennettuun erilliseen Excel-työkaluun, joten potentiaali nopeaan huoltojen luomiseen on olemassa, mikäli huoltosuunnitelmia halutaan tuottaa lisää kokeilumielessä tai siirryttäessä yhtenäiseen linjaukseen.

Työ ei ollut laajuudeltaan liian vaativa ja suurin osa työn toteuttamisesta kului mekaaniseen laitteiden ja suunnitelmien tarkistamiseen ja korjaamiseen. Itse kartoitus saatiin tehtyä parissa viikossa muiden varsinaisten työtehtävien ja vastuiden ohessa.

Kehitystyön toteuttaminen antoi hyvää oppia toiminnanohjausjärjestelmän käytöstä ja kehitti huomattavasti toimeksiantajan Imatran tehtaiden sisäistä paikkatuntemusta. Koke-musta taajuusmuuttajien huoltoihin liittyvistä asioista karttui merkittävästi. Myös taajuusmuuttajien vikojen aiheuttajat ja syntymekanismit tulivat melko tutuiksi. Tästä syystä tulevaisuuden työtehtävissä osaan arvioida sähkötilojen ja laitteiden kuntoa paremmin. Opin-näytetyön teoriaosiota kirjoittaessani kehitin myös ymmärrystäni taajuusmuuttajan toiminnasta ja sulfaattiselluloproessin kulusta ja kemiallisista prosesseista.

Oman ajankäytön suunnittelemista ja itseohjautuvaa aikatauluttamista joutui tekemään jonkin verran ja hetkittäin oli vaikeaa saada tekstiä tuotettua, mutta kaiken kaikkiaan aika-taulussa pysyttiin ja riittävästi aikaa työn tekemiselle pystyttiin varaamaan käytettäväksi. Kehitystyön toteuttaminen onnistui luontevasti työtehtävänä, joten varsinaisen työn aika-tauluttamisen kanssa ei esiintynyt ongelmia.

## LÄHDELUETTELO

ABB 2022. ACS880-käyttöopas.

ABB 2017. Drive maintenance. Pdf-tiedosto. [https://library.e.abb.com/public/94db683e6b6844adb126c1d61736ef55/Drive\\_maintenance\\_3AUA0000167949\\_RevD\\_EN.pdf](https://library.e.abb.com/public/94db683e6b6844adb126c1d61736ef55/Drive_maintenance_3AUA0000167949_RevD_EN.pdf) Viitattu 28.5.2024.

ABB. Ennakoiva kunnossapito ja suunnitellut huollot. Verkkojulkaisu. <https://new.abb.com/service/fi/motion/ennakoiva-kunnossapito-ja-suunnitellut-huollot> Viitattu 22.5.2024.

ABB. Huoltosuunnitelma. Verkkojulkaisu. <https://new.abb.com/service/fi/motion/ennakoiva-kunnossapito-ja-suunnitellut-huollot/huoltosuunnitelma> Viitattu 22.5.2024.

ABB 2001. Tekninen opas nro 4. Pdf-tiedosto. [https://library.e.abb.com/public/2c3df57da235438d901c79bca8f22377/Tekninen\\_opas\\_nro4.pdf?x-sign=Ak-gADNfZO5cjWi6Umn3gSewFvFyVPpfy3At96fUjdqm6QH9Nhdsyhw6qnFTADXm](https://library.e.abb.com/public/2c3df57da235438d901c79bca8f22377/Tekninen_opas_nro4.pdf?x-sign=Ak-gADNfZO5cjWi6Umn3gSewFvFyVPpfy3At96fUjdqm6QH9Nhdsyhw6qnFTADXm) Viitattu 21.5.2024.

ABB 2001. Tekninen opas nro 8. Pdf-tiedosto. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3BFE64455567&LanguageCode=fi&DocumentPartId=1&Action=Launch> Viitattu 3.6.2024.

ABB 2024. Valokuva. <https://new.abb.com/products/fi/64304038/acs-brk-bl> Viitattu 10.6.2024.

Aneo 4.2.2023. Mitä on korjaava kunnossapito. Manninen, Jorma. Verkkojulkaisu. <https://www.aneo.fi/fi/kunnossapito/mita-on-korjaava-kunnossapito> Viitattu 22.5.2024.

Semiconductor engineering 20.6.2023. Getting rid of heat in chips. Bailey, Brian. Verkkojulkaisu. <https://semiengineering.com/getting-rid-of-heat-in-chips/> Viitattu 10.6.2024.

Danfoss 2015. VLT® dU/dt Filter MCC 102-esite. Pdf-tiedosto. [https://files.danfoss.com/download/Drives/LoRes\\_DKDDPFO615A202\\_dUdt\\_Filter\\_MCC102.pdf](https://files.danfoss.com/download/Drives/LoRes_DKDDPFO615A202_dUdt_Filter_MCC102.pdf) Viitattu 13.8.2024.

Danfoss julkaisuaika tuntematon. What is a variable frequency drive. Verkkojulkaisu, <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/> Viitattu 21.5.2024.

Eepower 2023. Causes of variable frequency drive failures. Mugo, Simon. Verkkojulkaisu. <https://eepower.com/technical-articles/motor-starters-part-8-variable-frequency-drive-failures/> Viitattu 30.5.2024.

KnowPulp, 2016. Verkkotietopankki, yhtiön sisäinen lisenssi.

Muuntosähkö oy julkaisuaika tuntematon. DU/dt-suodattimet. pdf-tiedosto.  
<https://www.trafox.fi/tuotteet/suodattimet/dudt-suodattimet/> Viitattu 13.8.2024.

Opetushallitus julkaisuaika tuntematon. Kunnossapito. Verkkojulkaisu.  
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/index.html> Viitattu 22.5.2024.

Plant & Works engineering 4.2.2016. What causes variable-speed drive trips and failures?  
 Jones, Alan. Verkkojulkaisu. [https://pwemag.co.uk/news/full-story.php/aid/2016/What\\_causes\\_variable-speed\\_drive\\_trips\\_and\\_failures\\_.html](https://pwemag.co.uk/news/full-story.php/aid/2016/What_causes_variable-speed_drive_trips_and_failures_.html) Viitattu 19.8.2024.

Processing magazine 12.12.2022. How to protect vfds from overheating. LaPorta, Jon.  
 Verkkojulkaisu. <https://www.processingmagazine.com/pumps-motors-drives/variable-frequency-drives/article/21288904/protecting-vfds-from-overheating> Viitattu 10.7.2024.

SAP julkaisuaika tuntematon. What is SAP?. Verkkojulkaisu.  
<https://www.sap.com/uk/about/what-is-sap.html> Viitattu 4.6.2024.

SFS-EN ISO 13849-1, 2023. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Spotilla julkaisuaika tuntematon. Teollisuuden kunnossapito. Verkkojulkaisu.  
<https://www.spotilla.com/teollisuuden-kunnossapito> Viitattu 22.5.2024.

Stora Enso Oyj 2024, Historia. Verkkojulkaisu. <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/our-history> Viitattu 23.5.2024.

Stora Enso 2019. Sisäinen esitysmateriaali. Viitattu 23.5.2024.

Stora Enso 2024. Sisäinen esitysmateriaali. Viitattu 23.5.2024.

Sähkölehto julkaisuaika tuntematon. Jarruvastusten mitoitus. Laukkanen, Miika. Verkkojulkaisu. [https://sahkolehto.fi/jarruvastusten\\_mitoitus\\_opas/](https://sahkolehto.fi/jarruvastusten_mitoitus_opas/) Viitattu 10.6.2024.

Taajuusmuuttajien kapasitanssien vaikutus moottorin laakerivirtoihin 2017. Hulkkonen, Joona, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö. [https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/144010/Kandidaatintyo\\_Hulkkonen\\_Joona.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/144010/Kandidaatintyo_Hulkkonen_Joona.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Viitattu 21.5.2024.

TDK julkaisuaika tuntematon. Electrolytic capacitors. Verkkojulkaisu.  
[https://www.tdk.com/en/tech-mag/electronics\\_primer/9](https://www.tdk.com/en/tech-mag/electronics_primer/9) Viitattu 30.5.2024.

Vilhu, Ville 26.4.2022. Kunnonvalvonta on osa nykyaikaista teollisuuden kunnossapitoa. Blogi. Noudettu osoitteesta: <https://blog.pinja.com/fi/kunnonvalvonta-on-osa-nykyaikaista-teollisuuden-kunnossapitoa> Viitattu 22.5.2024.

Vacon 2017. NXS/P-käyttöopas.

Yaskawa 2020. VFD Maintenance tips. Wellnitz, Jason. Pdf-tiedosto Noudettu osoitteesta:  
<https://www.yaskawa.com/delegate/getAttachment?documentId=WP.AFD.30&cmd=documents&documentName=WP.AFD.30.pdf> Viitattu 28.5.2024.

Hartman, Craig 2014. What is a variable frequency drive. Blogi.  
<https://vfds.com/blog/what-is-a-vfd/> Viitattu 29.5.2024.