

Matti Similä

# **Oikosulkumoottoreiden kokoonpanossa käytettävien työkalujen valinta ja kehitys**

ABB Oy, Motors & Generators, Vaasa

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

**SeAMK** 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Matti Similä

Työn nimi: Oikosulkumoottoreiden kokoonpanossa käytettävien työkalujen valinta ja kehitys

Ohjaaja: Jukka Pajula

Vuosi: 2017 Sivumäärä: 40 Liitteiden lukumäärä: 1

---

Tämä opinnäytetyö käsittelee sähkömoottorien kokoonpanossa tehtäviin kiristysliitoksiin käytettävien käsityökalujen valintaa ja niiden kehittämistä. Työ tehtiin Vaasan ABB Oy, Motors & Generatorsille, joka valmistaa pienjännitesähkömoottoreita.

Työssä käsiteltiin ruuviliitosten teoriaa, kiristystekniikoita ja niissä käytettävien työkalujen ominaisuuksia. Ruuviliitosten onnistumisen vaikutuksista lopputuotteeseen tehtiin kriittisyystarkastelu ja luotiin luokittelumalli erilaisille sähkömoottorien kokoonpanossa käytettäville ruuveille. Kokoonpanossa käytettävien työkalujen ominaisuuksia vertailtiin ja esitettiin niiden hyviä ja huonoja puolia. Vertailun perusteella luokitelluille liitoksille suositeltiin tietyn tyyppiset työkalut.

Työn tuloksena syntyi ehdotus perusmoottorityyppien kiristysliitosten luokittelulle, jonka perusteella kriittisimmille liitokselle tulee valita tarkemmat ja kiristysdataa keräävät ja analysoivat työkalut.

Avainsanat: käsityökalut, paineilmatyökalut, sähkötyökalut, kokoonpano, sähkömoottorit, ruuvit, laadunvalvonta

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Matti Similä

Title of thesis: Choosing and Developing Tools for the Assembly of Squirrel Cage Motors

Supervisor: Jukka Pajula

Year: 2017      Number of pages: 40      Number of appendices: 1

---

This thesis studied the choosing and development of tightening tools that are used in the assembly of motors. The thesis was made for ABB Oy, Motors & Generators, in Vaasa, which makes low voltage motors.

The assembly of motors, tightening techniques and features of tightening tools were analysed in the beginning. The thesis concentrated on the criticality and classification of tightening joints and screws that are used in them. In this study different joints were classified and specifications for choosing them were created. The classifications make it possible to choose more accurate tools for tightening in situations where the joints are critical. Another result of the study was a set of classification tables for a few basic motor types.

Keywords: hand tools, pneumatic tools, electric tools, assembly, motors, screws, quality control

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>8</b>
1.1 Työn tilaaja.....	8
1.2 Työn tausta ja tavoitteet.....	8
<b>2 OIKOSULKUMOOTTORI.....</b>	<b>10</b>
2.1 Toimintaperiaate ja rakenne.....	10
2.2 ABB Oy, Motors & Generators, Vaasan tuotteet.....	11
2.3 Kokoonpanotehdas.....	12
2.3.1 Runkoonpuristus.....	12
2.3.2 Liitäntä.....	12
2.3.3 Kokoonpano.....	13
2.3.4 Rutiinitestaus.....	13
2.3.5 Maalaus.....	13
2.3.6 Lopputäydennys.....	14
2.3.7 Telakka- Korjaus- Asennus- ja Muutostyöt.....	14
2.4 Kokoonpanossa käytettävät liitokset.....	14
<b>3 KIRISTYSLIITOS.....</b>	<b>15</b>
3.1 Yleistä.....	15
3.2 Laatu.....	16
3.3 Liitosten kriittisyys.....	16
3.3.1 Luokka A.....	17
3.3.2 Luokka B.....	18
3.3.3 Luokka C.....	18
3.3.4 Luokan valinta.....	18
3.4 Moottoreiden kokoonpanossa käytettävät kiristysliitokset.....	19
3.5 Moottorin kiristysliitosten luokitukset.....	22

4	MOMENTTITYÖKALUT .....	25
4.1	Momenttiavaimet.....	25
4.2	Paineilmatoimiset momenttityökalut .....	25
4.2.1	Paineilmatoimiset iskevät mutterinvääntimet .....	26
4.2.2	Paineilmatoimiset mutterinvääntimet .....	27
4.2.3	Paineilmatoimiset pulssityökalut .....	27
4.2.4	Sähköisesti ohjatut paineilmalla toimivat pulssityökalut .....	28
4.3	Sähköiset momenttityökalut .....	29
4.3.1	Ohjaimet.....	30
4.3.2	Sähköiset vääntimet.....	32
4.4	Työkalujen ergonomia.....	34
5	TYÖKALUJEN VALINTA.....	36
5.1	Varalaitteet.....	36
5.2	Ohjeen päivittäminen .....	37
6	YHTEENVETO.....	38
	LÄHTEET .....	39
	LIITTEET .....	41

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne (ABB Oy 2016b). .....	10
Kuva 2. ABB:n valmistamia IEC-pienjännitemoottoreita (ABB Oy 2016b). .....	11
Kuva 3: Käsikäyttöinen momenttiavain (Stahlwille 2013). .....	25
Kuva 4. Paineilmatoimisia pistoolimallisia pulssityökaluja (Atlas Copco 2017b)...	28
Kuva 5. Sähköisesti ohjattu pulssityökalu ja ohjainlaitteisto (Atlas Copco 2017c).	29
Kuva 6. Atlas Copco Power Focus 4000 ohjainyksikkö. ....	30
Kuva 7. Sähköinen suoramallinen mutterinväännin ja momenttivarsi .....	33
Kuva 8. Sähköisiä suoramallisia ruuvinvääntimiä (Atlas Copco 2017d). .....	34
Kuvio 1: Esimerkki ohjaimen tallentamien kiristystulosten tarkastelusta .....	31
Taulukko 1. M3 Valurauta- ja alumiinimoottoreissa käytettävät kiristysmomentit ±20 % (Motors-ohjeet 2017). .....	20
Taulukko 2: M3AA alumiinimoottoreissa käytettävien messinkimuttereiden kiristysmomentit (Motors-ohjeet 2017.) .....	20
Taulukko 3: Erään 250-kokoluokan moottorin ruuvit ja mutterit .....	21
Taulukko 4: Esimerkkiluokitukset M3AA 71-280 -alumiinimoottoreille .....	23
Taulukko 5: Esimerkkiluokitukset M3BP 71-132 -valurautamoottoreille .....	23
Taulukko 6: Esimerkkiluokitukset M3BP 160-250 -valurautamoottoreille .....	24
Taulukko 7 Esimerkkiluokitukset M3BP 280-450 -valurautamoottoreille .....	24
Taulukko 8: Esimerkki ohjaimen tuottamasta Excel-raportista. ....	31



## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>ABB</b>	Asea Brown Boweri
<b>IEC</b>	International Electro technical Commission, kansainvälinen sähköalan standardisointiorganisaatio
<b>Ex</b>	Räjähdysvaarallisiin tiloihin suunniteltujen tuotteiden nimitys
<b>MM</b>	Rakennus Strömberg parkissa, Motors & Generators yksikön IEC280-450-runkokokojen kokoonpanotehdas
<b>KK</b>	Rakennus Strömberg parkissa, Motors & Generators yksikön IEC80-250-runkokokojen kokoonpanotehdas
<b>M&amp;G</b>	Motors & Generators
<b>Motors</b>	ABB Oy, Motors & Generators, Vaasa
<b>M3AA</b>	Alumiinirunkoisten moottoreiden tyyppimerkintä
<b>M3BP</b>	Valurautaruonkoisten moottoreiden tyyppimerkintä



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tilaaja

ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologia yhtymä, jonka tuotteet järjestelmät ja palvelut parantavat teollisuus ja energiayhtiöasiakkaiden kilpailukykyä ympäristömyönteisesti. ABB yhtymä työllistää 135000 henkilöä noin sadassa maassa. (ABB 2016.)

ABB on yksi suurimmista teollisista työnantajista Suomessa työllistäen noin 5000 henkilöä noin 20 paikkakunnalla. Tehtaat sijaitsevat Haminassa, Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. (ABB 2016.)

Motors & Generators -yksiköt valmistavat kaikkiin erilaisiin sovelluksiin sopivia sähkömoottoreita ja generaattoreita. Maailmanlaajuisesti ABB:n moottori- ja generaattoriliiketoiminta työllistää 14000 henkeä 36 tehtaassa 11 maassa. Suomessa liiketoiminta työllistää 1520 henkilöä, joista Vaasassa 530 ja Helsingissä 910. (ABB 2016.)

## 1.2 Työn tausta ja tavoitteet

Työn taustalla oli ABB, Oy Motors & Generators, Vaasan kokoonpanotehtaalla käytettävien käsityökalujen suuri määrä ja samaan tarkoitukseen käytettävien käsityökalujen vaihtelevuus, jota haluttiin yhtenäistää uusien työkaluhankintojen helpottamiseksi. Kalibrointi ja rikkoontumistilanteissa yhtenäinen työkalukanta vähentää tarvittavien varalaitteiden määrää, mikä laskee kustannuksia. Työn aloitusvaiheessa toimintatapana oli, että työnjohtajat tilaavat uusia työkaluja tarpeen mukaan. Työkalujen valinta on ollut pitkälti työnjohtajien vastuulla, mikä on aiheuttanut työkalujen vaihtelevuutta.

Työn tavoitteena on käydä läpi tuotannossa käytettävien käsityökalujen teoriaa ja tehdä johtopäätöksiä aiempien tutkimustulosten perusteella, minkälaisia työkaluja missäkin työvaiheessa tulisi käyttää. Hankitun tiedon ja johtopäätösten perusteella

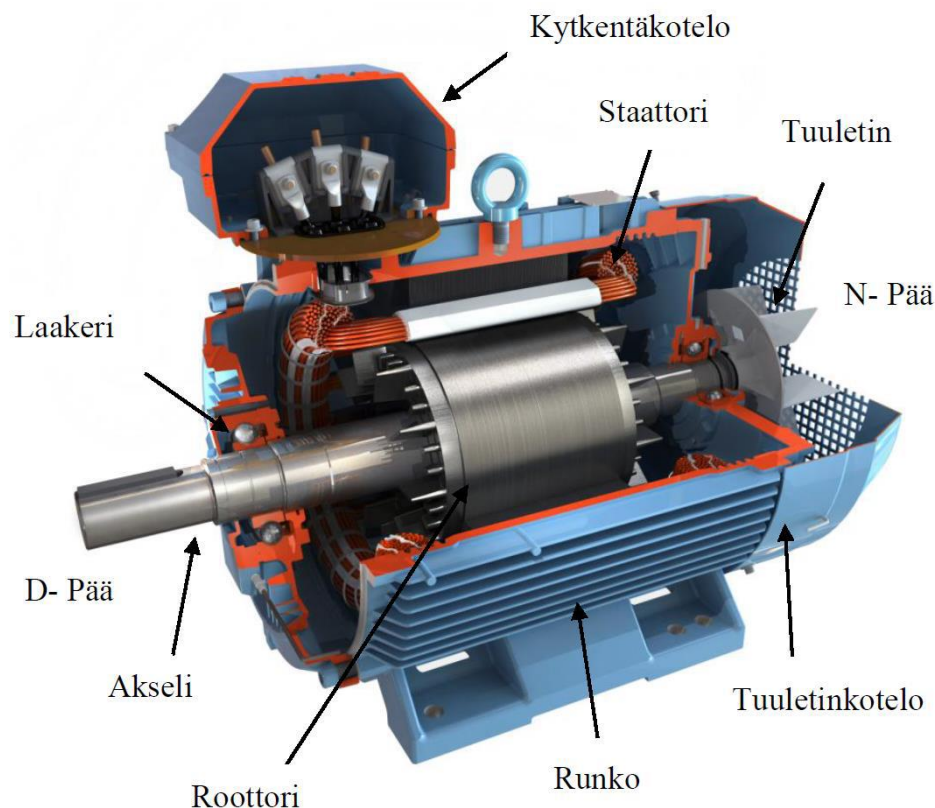
tarkastellaan uuden ABB Oy:n Lotus Notesin Motors-ohjekannan työkalujen valintaohjeen työkalujen soveltuvuutta erilaisiin liitoksiin.

Työ toteutetaan ABB, Oy Motors & Generators, Vaasan tiloissa. Työn teoriaosuudessa käsitellään teoriaa kiristys- ja puristusliitoksista, joilla on keskeinen rooli sähkömoottorien kokoonpanossa. Teorian tueksi suoritetaan mittauksia tuotannossa. Mittausten tarkoituksena on mitata kriittisimpien ruuviliitosten kiristysmomentteja valmiista tuotteista, minkä tuloksena saadaan arvio ruuviliitosten luotettavuuksista.

## 2 OIKOSULKUMOOTTORI

### 2.1 Toimintaperiaate ja rakenne

Oikosulkumoottori on sähkökone, jota käytetään energian muuttamiseen muodosta toiseen. Useimpia koneita voidaan käyttää sekä moottoreina että generaattoreina. Moottorit muuttavat sähköenergian liike-energiaksi ja generaattorit päinvastoin. Oikosulkumoottorin tärkeimmät osat ovat staattori ja roottori, jotka ovat moottorin aktiiviosat, joiden ympärille kootaan moottorin passiiviosat, kuten staattorirunko, laakerit ja laakerointiosat, tuuletin, tuuletinsuojus ja liitäntäkotelo (Kuva 1). Sähkömoottoreihin voidaan myös liittää erilaisia lisälaitteita, kuten jarru, takometri ja erilaiset valvontalaitteet.



Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne (ABB Oy 2016b).

Staattori- ja roottoripaketit valmistetaan uritetuista sähkölevyistä, jotka ovat yleensä uritettuja; staattoripaketti sisäpinnaltaan ja roottori ulkopinnaltaan. Uriin asennetaan

urakäämitykset. Staattorin käämityksiä on useita erilaisia. ABB:n oikosulkumoottoreiden staattorikäämitykset on valmistettu kuparilangasta käämittyinä vyyhteinä. Roottorin urakäämitykset ja paketin päähän tuleva oikosulkurengas tehdään yleensä valamalla alumiinista. (Korpinen 2017.)

## 2.2 ABB Oy, Motors & Generators, Vaasan tuotteet

Vaasan moottoritehtaalla valmistetaan IEC80-450 runkokokojen valurautaisia pienjännitemoottoreita (Kuva 2). Alumiinirunkoisia moottoreita valmistetaan kokoja IEC80-280. Tuotteet eroavat toisistaan huomattavasti kokonsa, tehonsa ja asiakasvaatimusten mukaan. Moottoreiden tehot ovat n. 0,25 kW – 1 MW, joista pienimmät painavat muutamia kymmeniä kiloja ja suurimmat yli 5 tonnia. Moottorit suunnitellaan ennen valmistusta asiakkaan vaatimusten mukaan, joten niissä on paljon eroja sähköisissä ja mekaanisissa ominaisuuksissa.



Kuva 2. ABB:n valmistamia IEC-pienjännitemoottoreita (ABB Oy 2016b).

## 2.3 Kokoonpanotehdas

Vaasan moottoritehtaalla moottoreita valmistetaan kahdessa eri rakennuksessa yhteensä yhdeksällä eri tuotantolinjalla. Osalla linjoista on käytössä solulayout ja osalla perinteinen tuotantolinjatyypinen layout, riippuen linjalla valmistettavien tuotteiden valmistusmääristä. Moottoreiden kokoonpanoprosessi tapahtuu tuotantolinjoilla useassa eri työvaiheessa jotka ovat normaalisti seuraavassa järjestyksessä:

- staattorin runkoonpuristus
- liitäntä
- kokoonpano
- rutiinitestaus
- maalaus
- lopputäydennys.

Poikkeuksena muihin moottorityyppeihin on HDP-tuoteperheen moottorit, jotka kokoonpannaan ennen liitäntää niiden erilaisen rakenteen vuoksi. Tuotannossa noudatetaan aina voimassaolevia työohjeita.

### 2.3.1 Runkoonpuristus

Runkoonpuristuksen työvaiheessa staattoripaketti puristetaan staattorirungon sisään puristussoviteella. Staattoripaketti on uritetuista staattorilevyistä (sähkölevy) ja päätylevyistä pinottu sideraudoin sidottu paketti, jonka uriin on asennettu uraeristeet ja kuparikäämitys. Runko voi olla valurautaa, alumiinia tai hitsattu teräksestä. Alumiiniset rungot lämmitetään ennen paketin puristamista runkoon ja jäähtymisen jälkeen niihin vielä sorvataan ohjaukset laakerikilville.

### 2.3.2 Liitäntä

Liitännässä liitinalusta ja liitinosat yhdistetään staattoriin ja staattorirunkoon. Staattorirungossa on liitinaukko, minkä läpi kaapelit viedään. 280-450-kokoluokissa lii-

tinalustassa on liitântäkaapelit, jotka kytketään staattoriin puristusliitoksilla. Pienemmissä 80-250-kokoluokkien staattoreissa on valmiina pidemmät kytkentäkaapelit ja yleensä kaapelikengät, jotka tuodaan liitântäaukon läpi ja kytketään suoraan liitinalustaan ruuviliitoksella. Asiakkaan vaatimusten mukaan staattoreissa on usein myös erilaisia valvonta- ja lisälaitteita, kuten lämpötilan valvonta- anturit tai lämmitysvastukset. Nämä kytketään myös liitännässä joko pääliitântäkoteloon tai erilliseen koteloon, joko oman läpiviennin läpi tai pääliitântäkotelon kautta panssariputkea pitkin.

### **2.3.3 Kokoonpano**

Kokoonpanossa staattorirunko-staattoriosan sisään nostetaan roottori, minkä jälkeen siihen asennetaan laakerointiosat. Laakerit joko lämmitetään tai puristetaan hydraulikkapuristimella roottorin laakeriolakkeelle. Laakerointiosat, kuten laakerikilvet, laakeripohjat ja laakerikannet kiinnitetään ruuviliitoksilla runkoon ja toisiinsa. Kokoonpanossa asennetaan myös laakeroinnin tiivistävät osat, tarvittavat lukitusrenkaat ja tärinämittaus- ja rasvanipat. Kokoonpanosta lähtevä moottori on jo toimiva ja voideltu ja sille voidaan suorittaa rutiinitestaus.

### **2.3.4 Rutiinitestaus**

Rutiinitestauksessa moottorille suoritetaan erilaisia vastusmittauksia ja lopuksi sitä pyöritetään tyhjäkäynnillä, jotta tarvittavat mittaukset saadaan tehtyä ja havaittua mahdolliset aikaisemmat virheet. Mitattuja arvoja verrataan suunnittelussa laskettuun laskelmaan, minkä perusteella tiedetään, onko moottori kelvollinen.

### **2.3.5 Maalaus**

Maalauksessa moottori maalataan asiakkaan vaatimalla sävyllä ja maalinpaksuudella, tarvittaessa pohjamaalilla ja useaan kertaan. Ennen maalausta moottori suojataan niin, ettei sen sisälle tai mittatarkoille osille, kuten akselille, kiinnityslaipalle tai jalkojen pohjiin pääse maalia. Maalattu moottorin laitetaan kuivausuuniin, jonka

läpi se kulkee lopputäydennykseen. Jotkin moottoreiden osat, kuten liitinsuojuksen runko ja kansi sekä tuulettimen suojus, toimitetaan valmiiksi vakiovärillä maalattuna, jolloin ne voidaan asentaa vasta maalauksen jälkeen. Jos moottori on tilattu erikoisvärillä, joudutaan nämä kuitenkin asentamaan ennen maalausta tai ainakin maalamaan samalla moottorin kanssa.

### **2.3.6 Lopputäydennys**

Lopputäydennyksessä moottoreihin asennetaan sellaiset osat, joita ei maalata ja jotka olisi liian hankala suojata ennen maalausta. Tällaisia osia ovat liitäntöjen läpiviennit, tuuletin ja tuulettimen suojus, suojatulpat ja suojarasvat kiiltäville pinnoille. Moottoreiden mukaan laitetaan tarvittavat liitinosat sekä ohjeet ja ne kiinnitetään pakkausalustoille ja/tai pakataan pahvilaatikkoon kokoluokasta riippuen.

### **2.3.7 Telakka- Korjaus- Asennus- ja Muutostyöt**

Tuotantolinjojen ohessa on yleensä oma erillinen solu tai linja moottoreiden erikoisvarusteluja tai korjauksia varten. Erikoisasennuksia voivat olla jarrut, takometrit, laakerien valvontalaitteet, lentokaapelit, erillistuuletin tai jotain näiden yhdistelmiä. Nämä työvaiheet vievät yleensä normaalituotantoa enemmän aikaa, minkä vuoksi ne tehdään erillisenä työvaiheena. Rutiinikoestuksessa havaitut virheet korjataan myös yleensä erillisellä työpisteellä.

Muutostyöosasto tekee moottoreihin jälkiasennuksia ja muutoksia, joita asiakas on vaatinut niin myöhään, että moottori on jo vapautettu tuotantoon tai valmistunut.

## **2.4 Kokoonpanossa käytettävät liitokset**

Moottoreiden kokoonpanossa osat yhdistetään toisiinsa erilaisin liitoksien, joista yleisimpiä ovat puristus- ja ruuviliitokset. Puristusliitoksia käytetään liitäntäkaapelien liittämiseksi toisiinsa tai kaapelikiin. Kiristysliitoksia tehdään lähes kaikissa moottorin työvaiheissa työohjeiden mukaisesti kalibroiduin työkaluin.

## 3 KIRISTYSLIITOS

### 3.1 Yleistä

Koneenrakennuksessa ruuviliitos on yleisin irrotettavissa oleva liitos, koska se on helppo asentaa ja purkaa. Standardiruuvit ovat myös halpoja liitososia niiden hyvän saatavuuden vuoksi. Ruuviliitos on oikein käytettynä luotettava ja sitä voidaan käyttää monissa olosuhteissa. Ruuviliitoksen haittana voidaan pitää liitoksen luotettavuutta, joka riippuu paljolti vaikeasti hallittavasta kiristysmomentista. Kiristysmomentin hallinta onkin yksi tärkeimmistä vaiheista onnistuneen ruuviliitoksen saavuttamiseksi, sillä riittämätön kiristys aiheuttaa mm. liitospintojen irtoamista, liitoksen löystymistä värinästä sekä ruuvin jännitysamplitudin kasvamista, mikä aiheuttaa ruuvin väsymistä. Liian suurella kiristysmomentilla on myös haitallisia vaikutuksia ruuviliitokselle. Se aiheuttaa mm. ruuviin staattista ylikuormittumista, mikä voi aiheuttaa ruuvin murtumisen jo kiristysvaiheessa. (Atlas Copco 2016.)

Ruuviliitoksen suunnittelulla ja kontrolloinnilla voidaan kuitenkin vaikuttaa luotettavuuteen merkittävästi. Ruuviliitoksen oikea mitoitus perustuu lujuuslaskentaan käytettävien materiaalien myötörajojen ja kitkakertoimien perusteella. Ruuviin kohdistuu vetokuormitusta, vääntöä ja joskus myös leikkauskuormitusta. Vetokuormitus vastaa voimaa, joka puristaa liitoksen osat yhteen. Puristusvoiman mittaaminen on kuitenkin vaikeaa, joten usein käytetään kiristysmomenttia, sillä ne vastaavat toisiaan. (Atlas Copco 2017a.)

Ruuviliitosten kiristysprosessi vaikuttaa merkittävästi sen laatuun. Kiristysprosessin laaduntuottokyky määritellään kiristysten toistotarkkuuden mukaan. Kun prosessissa saavutetaan vaadittu puristusvoima mahdollisimman vähäisellä hajonnalla, tuloksena on korkealaatuinen liitos. Kiristysten toistotarkkuuden merkittävimmät tekijät ovat käyttäjä ja kiristykseen käytettävät työkalut. (Atlas Copco 2017a.)

Kiristysprosessi määritellään vääntömomentin syöttötavan, kiristyksen hallintamenetelmän ja valvonnan mukaan. Syöttötavalla tarkoitetaan momentin tuottoon käytettävää voimalähdettä, eli tehdäänkö kiristys käsin, jatkuvalla vai jaksottaisella käytöllä. Hallintamenetelmällä tarkoitetaan suuretta, johon työkalun kiristyksen hallinta



perustuu. Hallinta voidaan perustaa vääntömomenttiin, kiristyskulmaan, gradienttiin tai näiden yhdistelmiin. Kiristysprosessin valvonta mittaamalla saavutettuja kiristystuloksia tuo lisävarmuutta prosessin ja liitoksen laatuun. Erityyppisien kiristystyökalujen ominaisuuksia esitellään luvussa 4.

### **3.2 Laatu**

Epäonnistuneista liitoksista aiheutuu laatuongelmia, ja pahimmissa tapauksissa ne voivat päätyä asiakkaalle asti. Ongelmat voivat johtua liitosten ali- tai ylikiristämisestä. Alikiristys voi johtaa jännityksen alenemiseen tai ruuvien itseaukeamiseen ja irtoamiseen esimerkiksi värinän vaikutuksesta, mikä saattaa aiheuttaa vaurioita tuotteeseen tai tuotteen käyttöympäristölle ruuvielementtien tippuessa. Ylikiristäminen aiheuttaa kierteiden liiallista venymistä, pahimmissa tapauksissa ruuvien katkeamisen tai vastakierteen rikkoontumisen, jolloin tuote rikkoontuu, ruuvi irtoaa ja voi myös tippua sopimattomaan paikkaan. Ruuviliitoksen epäonnistuminen aiheuttaa itsessään laatuongelmia tuotteeseen, mutta pahimmissa tapauksissa vaikutukset tuotteen käyttöympäristölle voivat olla hyvinkin vakavia, jos tuotteen rikkoontuminen aiheuttaa ihmisille vaaratilanteita, minkä vuoksi tuotteiden liitoksiin on kiinnitettävä huomiota. Tuotteiden laatuongelmat johtavat asiakkaiden tyytymättömyyteen ja reklamaatioihin, mikä aiheuttaa yritykselle taloudellisia menetyksiä.

### **3.3 Liitosten kriittisyys**

Ruuviliitosten kriittisyyttä tulisi tarkastella kunkin liitoksen kohdalla erikseen, kiinnittäen huomiota erityisesti siihen, miten liitoksen onnistuminen vaikuttaa lopputuotteeseen. Kriittisyyden tarkastelussa on kuitenkin otettava huomioon, avaako asiakas vielä liitoksen ottaessaan tuotetta käyttöön. Tällaisesta esimerkkinä voidaan pitää liitinsuojuksen kantta, jonka asiakas joutuu joka tapauksessa avaamaan moottoria asennettaessa. Tällaisissa tapauksissakin liitos voi olla kriittinen tuotteen vaatimustenmukaisuuden kannalta esimerkiksi Ex-tuotteissa, mutta siihen ei voida vaikuttaa tehtaalla, vaan avainasemassa on tuotteen asentaja.

Eri liitokset voidaan luokitella niiden kriittisyyden mukaan, jonka avulla voidaan ohjata kiristystapahtuman valvontaa, mittausta ja ohjata tietyntyyppisen työkalun valintaan. Käytettävien työkalujen valinnalla voidaan vaikuttaa kiristysmomentin tarkkuuteen ja toistotarkkuuteen. Tarkemmin ohjatuilla kiristystapahtumilla vaikutetaan liitosten laatuun. Mittaamalla ja valvomalla liitosten onnistumista saadaan selville liitosten haastavuus, jonka perusteella voidaan ohjata liitoksen tarkempaan tai epätarkempaan valvontaan ja ohjaamiseen. (Atlas Copco 2016.)

Liitosten kriittisyyteen vaikuttavat epäonnistuneen liitoksen vaikutukset tuotteeseen. Kriittisyyden tarkastelun kautta liitokset voidaan luokitella esimerkiksi A-, B- ja C-luokkiin, joille on määritelty toimintatavat liitosten onnistumisen varmistamiseksi. Luokitus tehdään yleensä sen perusteella, miten vakava vaikutus epäonnistuneella liitoksella on lopputuotteeseen. Korkeimmalle prioriteettiluokka on yleensä A, jonka jälkeen B, C ja niin edelleen. Luokituksia voi olla paljonkin eri luokkia, mutta määrä tulee valita tuotteen liitosten ja liitostyyppien määrään sopivaksi. Yleisimmin liitokset luokitellaan kolmeen luokkaan, joka on usein riittävä määrä. Liitoksen luokitteluun vaikuttaa itse tuote, mutta myös työpiste, missä tuote tehdään. Työpisteillä, joissa tehdään liitoksia esimerkiksi samankokoisilla, mutta eri materiaalia olevilla ruuveilla, on riski väärän kiristysmomentin käyttämiseen huomattavasti suurempi kuin sellaisella työpisteellä, jossa tällaista väärän momentin käytön mahdollisuutta ei ole.

Liitoksen kriittisyyttä lisää myös se, jos liitoksen läpi johdetaan sähkövirtaa, eli se on sähköinen liitos. Sähkövirran kulku liitoksen läpi aiheuttaa lämpötilavaihtelua, mikä aiheuttaa asettumista. Tällaisessa liitoksessa kiristyksen onnistuminen on tärkeää myös tuotteen sähköisten ominaisuuksien kannalta. (Atlas Copco 2017.)

### **3.3.1 Luokka A**

Kriittisin luokitus A annetaan kriittisimmille liitoskohteille, jotka voivat epäonnistuneensa aiheuttaa vaaratilanteita tai taloudellisia vahinkoja ja siten välittömästi tai välillisesti vaikuttaa valmistajan luotettavuuteen. Korkeimman luokituksen ruuveilta vaaditaan kiristystapahtumien mittausta ja jäljitettävyyttä. A-luokan ruuvien kiristysmomenttien tarkkuus on vähintään  $\pm 10\%$ .

### 3.3.2 Luokka B

B-luokkaan luokitellaan liitokset, joiden epäonnistuminen aiheuttaa merkittäviä takuu- ja korjauskustannuksia tuotteeseen. B-luokituksen ruuvien kiristysmomenteilta vaaditaan tarkkaa kiristysmomenttia, mutta jäljitettävyyttä ei kuitenkaan vaadita. B-luokan ruuvien kiristysmomenttien tarkkuus on vähintään  $\pm 20\%$ .

### 3.3.3 Luokka C

C-luokitus annetaan ruuviliitoksille, joiden epäonnistuminen ei aiheuta isoja vaurioita eikä taloudellisia menetyksiä asiakkaalle eikä merkittäviä takuu- tai korjauskustannuksia. Epäonnistumiset voivat kuitenkin aiheuttaa asiakkaan tyytymättömyyttä ja niiden ollessa yleisiä, jopa asiakassuhteen menetyksen. C-luokitus annetaan myös sellaisille liitoksille, jotka asiakas vielä avaa ottaessaan laitetta käyttöön. C-luokan ruuvien kiristysmomenttien tarkkuus on vähintään  $\pm 30\%$ .

### 3.3.4 Luokan valinta

Ruuvien luokituksia valittaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon luokitusten aiheuttamat kustannukset. A-luokituksen liitokset vaativat mittaamiseen pystyviä laitteita, joiden hankintahinta alempiin luokkiin riittäviin laitteisiin saattaa olla jopa kymmenkertainen. Erityyppisten laitteiden ominaisuuksia ja laadunvalvontakykyä käsitellään ja vertaillaan tarkemmin luvussa 4. Hankintahintaa kompensoi kuitenkin mahdollisuus pidempiin huolto- ja kalibrointiväleihin. Kalliimmilla laitteilla voidaan myös joillakin työpisteillä korvata useita halvempia vääntimiä, koska niiden ohjaimet mahdollistavat useiden eri kiristysmomenttien käytön samalla vääntimellä. Jos mittausominaisuuksilla varustetuilla niin sanotuilla älykkäillä vääntimillä pystytään välttämään tuotevirheitä, voidaan sellaisen hankinta perustella paremmalla laadulla ja asiakastyytyväisyydellä. A-luokituksen antaminen olisi kuitenkin hyvä perustaa ainakin seuraaviin asioihin:

- aiemmin havaitut laatuongelmat
- tuotannon tehostaminen

- vaatimustenmukaisuus ja asiakasvaatimukset
- jatkuva parantaminen.

Korkeampien liitosluokitusten vaatimien tarkempien laitteiden hankinnat vaativat korkeamman hinnan vuoksi investointiehdotuksen ja hyvät perustelut kalliimpiin väänninlaitteistoihin.

### **3.4 Moottoreiden kokoonpanossa käytettävät kiristysliitokset**

Sähkömoottoreiden kokoonpanossa käytetään sähkösinkittyjä, sinipassivoituja kuusiokoloruuveja tai A4-80 haponkestäviä kuusiokoloruuveja, joiden lisäksi muutamissa liitinalustoissa ja liitinosissa käytetään messinkisiä ruuveja ja muttereita. Alumiinirunkoisissa moottoreissa käytetään myös kierteettömään reikään kierteen muovaavia TAPTITE-kuusiokoloruuveja, jotka ovat joko sinipassivoituja tai sähkösinkittyjä. Ruuveja on käytössä kokoja M4, M5, M6, M8, M10, M12, M16, M20 ja M24 (Taulukot 1 ja 2). Ruuvien kiinnitykset tehdään vaakasuunnassa tai pystysuunnassa ylhäältä alaspäin yleisimmin paineilmakäyttöisellä mutterinvääntimellä, joiden lisäksi käytössä on myös muutamia sähköisesti ohjattuja vääntimiä ja akkukäyttöisiä ruuvinvääntimiä.

Taulukko 1. M3 Valurauta- ja alumiinimoottoreissa käytettävät kiristysmomentit  $\pm 20\%$  (Motors-ohjeet 2017).

<b>Kierrekoko</b>	<b>Materiaali</b>	<b>Kiristysmomentti ISO (Nm)</b>	<b>Kiristysmomentti Tapite (Nm)</b>	<b>Kierteytysmomentti Tapite (~Nm)</b>
M4	8,8	3	3,2	2
M5	8,8	6	6,5	4
M6	8,8	10	11	7
M8	8,8	23	26,5	17
M10	8,8	46	52,5	30
M12	8,8	80	91	50
M16	8.8	195	-	-
M20	8.8	395	-	-
M24	8.8	670	-	-

Taulukko 2: M3AA alumiinimoottoreissa käytettävien messinkimuttereiden kiristysmomentit (Motors-ohjeet 2017.)

<b>Kierrekoko</b>	<b>Materiaali</b>	<b>Kiristysmomentti (Nm)</b>
M4	Messinki	1,5
M5	Messinki	2
M6	Messinki	3
M8	Messinki	6
M10	Messinki	10

Yhdessä moottorissa useita erikokoisia ruuveja, jotka kiinnitetään kokoonpanon eri vaiheissa. Taulukossa 3 on esitetty erään 250-kokoluokan moottorin kokoonpanossa käytettävät ruuvit ja mutterit. Ruuvien määrät vaihtelevat kokoluokasta ja moottorityypistä riippuen. Esimerkiksi laakerikilpien kiinnitysruuvien määrä voi olla 4 tai 8. Suurin osa ruuveista kiinnitetään staattorirunkoon koneistettuihin kierteisiin. Kuten taulukosta nähdään, yhdessä moottorissa on useita erikokoisia ruuveja, joista osa kiristetään samoilla työpisteillä, joilla tehdään myös erikokoisia ja -tyyppisiä moottoreita, joissa on käytössä vastaavissa liitoksissa erikokoisia ruuveja.

Taulukko 3: Erään 250-kokoluokan moottorin ruuvit ja mutterit

BOM item	Osanumero	Material	Ruuvityyppi	Ruuvikoko	Materiaali	Käyttöpaikka	Määrä
0014	17	3GZF334033-439	Kuusiokoloruuvi	M12X40/40	8.8	Laakerikilpi-D	8
0016	19	3GZF334033-439	Kuusiokoloruuvi	M12X40/40	8.8	Laakerikilpi-N	8
0023	39	3GZF334030-635	Kuusiokoloruuvi (uppokanta)	M4X6/3	A4-80	Rasvatikun kiinnitys	1
0029	49	3GZF334033-607	Kuusiokoloruuvi	M8X55/28	8.8	Laakerikansi-D	4
0030	50	3GZF334033-607	Kuusiokoloruuvi	M8X55/28	8.8	Laakerikansi-N	4
0040	69	3GZF334033-427	Kuusiokoloruuvi	M10X25/25	8.8	Tuulettimensuojus	4
0050	94	3GZF334033-417	Kuusiokoloruuvi	M8X20/20	8.8	Rungon maadoitus	1
0054	306	3GZF334033-419	Kuusiokoloruuvi	M8X25/25	8.8	Liitinsuojuksen runko	4
0056	308	3GZF334033-413	Kuusiokoloruuvi	M6X20/20	8.8	Liitinalusta	2
0060	332	3GZF334033-419	Kuusiokoloruuvi	M8X25/25	8.8	Liitäntäkotelon maadoitus	1
0064	336	3GZF334030-609	Kuusiokoloruuvi (ohennettu)	M8X40/10	8.8	Liitinsuojuksen kansi	4
-	356	9ADA279-5	Lukitusmutteri (ohut)	M10	Messinki	Liitäntäkaapelit	6
0066	338	3GZF334033-417	Kuusiokoloruuvi	M8X20/20	8.8	Läpiviitentilaippa	4
0083	439	3GZF334030-656	Kuusiokoloruuvi	M4X8/8	8.9	Riviliitinkisko	2
0090	756	3GZF334030-898	Kuusiokoloruuvi	M10X45/45	8.8	Moottorin kiinnitys kiinnityslevyyn	4
0091	757	3GZF334030-404	Kuusiomutteri	M10	8.8	Moottorin kiinnitys kiinnityslevyyn	4
0093	761	3GZF334030-893	Puuruuvi	6,3X40	Teräs	Moottorin kiinnitys pakkausalustaan	8

Nykyisen kokoonpano-ohjeen mukaan (Taulukot 1 ja 2) kaikille kiristysmomenteille riittävä tarkkuus on  $\pm 20$  %. Ohjeissa ei ole eritelty vaatimuksia joidenkin liitosten tarkempaan toistotarkkuuteen. Joissakin liitoksissa kuitenkin tarkempi luokittelu olisi tarpeen havaittujen laatuongelmien perusteella. Tällaisia ovat esimerkiksi esimerkkitaulukon messinkiset liitäntäkaapelien mutterit, joissa on havaittu tapahtuneen yli-kiristämisiä, mikä on aiheuttanut kierteiden korkkaamisia. Ongelma saattaa johtua esimerkiksi väärälle momentille kalibroidun vääntimen käytöstä, koska samalla työpisteellä on asennettu myös vastaavaan liitokseen metallisia muttereita. Epäonnistumisia on saattanut aiheuttaa myös oikeanlaisen vääntimen riittämättömän toistotarkkuus pienillä momenteilla. Tällainen tapaus ohjaa liitoksen korkeampaan luokitteluun, mikä ohjaa tarkemman vääntimen käyttöön. Tarkempi vääntin tarkoittaa yleensä sähköistä väännintä, joiden ohjaimien avulla voidaan tehdä erilaisia pakotteita liitosten oikeanlaisen kiristyksen takaamiseksi. Vääntimien eroja ja ominaisuuksia käsitellään tarkemmin luvussa 4.

### 3.5 Moottorin kiristysliitosten luokitukset

Sähkömoottoreiden kokoonpanossa käytettävät liitokset tulee luokitella edellä mainittua luokittelua vastaavalla tavalla. Seuraavissa taulukoissa (5-8) esitetään karkeat esimerkkiluokitukset eri kokoluokkien perusmoottorityypeille.

Taulukoissa esitellyt liitoksien kiristysmomentit ovat yleiset luokitukset eri kokoluokkien perustyyppin moottoreille. Saman kokoluokan erityyppisille moottoreille voi olla tarvetta tarkentaa liitosten luokituksia, jos jonkin tyyppin liitoksissa havaitaan laatuongelmia. Työssä ei paneuduttu tarkemmin räjähdysvaarallisiin tiloihin suunniteltujen Ex-d- ja Ex-d(e)-moottorityyppien liitoksiin, jotka tuotteiden vaatimustenmukaisuuden kannalta voivat olla joissain liitoksissa kriittisiä. Kriittisiksi osoittautuneet liitokset vaativat kuitenkin aina moottorityyppi- ja liitoskohtaista tarkastelua. Ex-tuotteiden valuosille tehdään kuitenkin rutiini- ja rikkovaa laadunvalvontapainetestauksia, joissa osat on testaustilanteessa kiinnitetty vastaavin ruuviliitoksiin testauslaippoihin kuin lopputuotteessa. Yleensä testien kautta nähdään, jos ruuviliitos on tuotteessa heikko paikka.

Taulukko 4: Esimerkkiluokitukset M3AA 71-280 -alumiinimoottoreille

Osanu- mero	Ruuvityyppi	Runkoon kiinnitettävä osa	Luokka
17	Kuusiokoloruuvi	Laakerikilpi-D	B
19	Kuusiokoloruuvi	Laakerikilpi-N	B
39	Kuusiokoloruuvi (uppokanta)	Rasvatikun kiinnitys	B
49	Kuusiokoloruuvi	Laakerikansi-D	B
50	Kuusiokoloruuvi	Laakerikansi-N	B
69	Kuusiokoloruuvi	Tuulettimensuojus	B
94	Kuusiokoloruuvi	Rungon maadoitus	C
104	Nostosilmukkaruuvi	Nostosilmukka	C
120	Kuusiokoloruuvi	Irtojalat	A
306	Kuusiokoloruuvi	Liitinsuojuksen runko	B
308	Kuusiokoloruuvi	Liitinalustan kiinnitys	B
332	Kuusiokoloruuvi	Liitäntäkotelon maadoitus	B
336	Kuusiokoloruuvi	Liitinsuojuksen kansi	C
356	Kuusiomutteri	Liitäntäkaapelit	A
398	Vastamutteri	Vastamutteri liitännän läpivien- tiin	C
439	Kuusiokoloruuvi	Riviliitinkisko	B
756	Kuusiokoloruuvi	Moottorin kiinnityslevy	C
757	Kuusiomutteri	Moottorin kiinnityslevy	C
761	Puuruuvi	Pakkausalusta	C

Taulukko 5: Esimerkkiluokitukset M3BP 71-132 -valurautamoottoreille

Osanu- mero	Ruuvityyppi	Runkoon kiinnitettävä osa	Luokka
17	Kuusiokoloruuvi	Laakerikilpi-D	B
19	Kuusiokoloruuvi	Laakerikilpi-N	B
49	Kuusiokoloruuvi	Laakerikansi-D	B
50	Kuusiokoloruuvi	Laakerikansi-N	B
69	Kuusiokoloruuvi	Tuulettimensuojus	B
94	Kuusiokoloruuvi	Rungon maadoitus	B
104	Nostosilmukkaruuvi	Nostosilmukka	C
145	Kuusiokoloruuvi (lukitus)	St. Lukitus	B
306	Kuusiokoloruuvi	Liitinsuojuksen runko	B
308	Kuusiokoloruuvi	Liitinalustan	B
324	Kuusiokoloruuvi	Välilaippa	B
332	Kuusiokoloruuvi	Liitäntäkotelon maadoitus	B
336	Kuusiokoloruuvi	Liitinsuojuksen kansi	C
356	Lukitusmutteri	Liitäntäkaapelit	A
338	Kuusiokoloruuvi	Läpivientilaippa	B
439	Kuusiokoloruuvi	Riviliitinkiskon kiinnitys	B
756	Kuusiokoloruuvi	Moottorin kiinnityslevy	C
757	Kuusiomutteri	Moottorin kiinnityslevy	C
761	Puuruuvi	Pakkausalusta	C



Taulukko 6: Esimerkkiluokitukset M3BP 160-250 -valurautamoottoreille

Osanu- mero	Ruuvityyppi	Runkoon kiinnitettävä osa	Luokka
17	Kuusiokoloruuvi	Laakerikilpi-D	B
19	Kuusiokoloruuvi	Laakerikilpi-N	B
39	Kuusiokoloruuvi (uppokanta)	Rasvatikun kiinnitys	B
49	Kuusiokoloruuvi	Laakerikansi-D	B
50	Kuusiokoloruuvi	Laakerikansi-N	B
69	Kuusiokoloruuvi	Tuulettimensuojus	B
94	Kuusiokoloruuvi	Rungon maadoitus	B
104	Nostosilmukkaruuvi	Nostosilmukka	C
306	Kuusiokoloruuvi	Liitinsuojuksen runko	B
308	Kuusiokoloruuvi	Liitinalustan kiinnitys	B
332	Kuusiokoloruuvi	Liitäntäkotelon maadoitus	B
336	Kuusiokoloruuvi (ohennettu)	Liitinsuojuksen kansi	B
356	Lukitusmutteri	Liitäntäkaapelit	A
338	Kuusiokoloruuvi	Läpivientilaippa	B
439	Kuusiokoloruuvi	Riviliitinkisko	B
756	Kuusiokoloruuvi	Moottorin kiinnityslevy	B
757	Kuusiomutteri	Moottorin kiinnityslevy	B
761	Puuruuvi	Pakkausaluusta	C

Taulukko 7 Esimerkkiluokitukset M3BP 280-450 -valurautamoottoreille

Osanu- mero	Ruuvityyppi	Runkoon kiinnitettävä osa	Luokka
17	Kuusiokoloruuvi	Laakerikilpi-D	B
19	Kuusiokoloruuvi	Laakerikilpi-N	B
49	Kuusiokoloruuvi	Laakerikansi-D	B
50	Kuusiokoloruuvi	Laakerikansi-N	B
51-60	Tulppa, nippa, nipanjatke	Voitelu ja mittaussnipat, sulikutulpat	C
69	Kuusiokoloruuvi	Tuulettimensuojus	B
94	Kuusiokoloruuvi	Rungon maadoitus	B
104	Nostosilmukkaruuvi	Nostosilmukka	C
306	Kuusiokoloruuvi	Liitinsuojuksen runko	B
308	Kuusiokoloruuvi	Liitinalusta	B
309	Kuusiokoloruuvi	Välilaippa	B
321	Kuusiokoloruuvi	Lisälaittejohto	C
332	Kuusiokoloruuvi	Liitäntäkotelon maadoitus	B
336	Kuusiokoloruuvi	Liitinsuojuksen kansi	B
338	Kuusiokoloruuvi	Läpivientilaippa	B
439	Kuusiokoloruuvi	Riviliitinkisko	B
756	Kuusiokoloruuvi	Moottorin kiinnityslevy	B
757	Kuusiomutteri	Moottorin kiinnityslevy	B
761	Puuruuvi	Pakkausaluusta	C

## 4 MOMENTTITYÖKALUT

Ruuviliitosten hallittu kiristys toteutetaan yleisimmin momenttiin perustuvalla kiristystyökalulla. Yleisimmät työkalut momenttiin kiristämiseen ovat momenttiavaimet sekä paineilma- ja sähkötoimiset momenttityökalut. Käytettävällä momenttityökalulla ja sen käyttäjällä on merkittävin vaikutus kiristysliitoksen kiristysmomenttiin ja laatuun.

### 4.1 Momenttiavaimet

Käsi­käyttöiset momenttiavaimet (Kuva 1) ovat yleisimpiä jäännösmomenttiin kiristämiseen tai sen mittaamiseen ja varmistamiseen käytettyjä työkaluja. Momenttiavaimia on osoittavia sekä laukeavia. Osoittava malli näyttää joko elektronisella näytöllä tai mekaanisella mittarilla. Laukeavat mallit antavat käyttäjälle jonkinlaisen signaalin saavutettuaan ennalta asetetun momentin. Momenttiavain on monipuolinen työkalu, koska niissä on usein laaja toiminta-alue ja niiden säätö on helppoa. Momenttiavaimet ovat varma toimisia ja niihin on saatavilla erilaisia vaihtopäitä, joten ne soveltuvat hyvin hankaliinkin käyttökohteisiin.



Kuva 3: Käsi­käyttöinen momenttiavain (Stahlwille 2013).

Moottoreiden kokoonpanossa momenttiavainten yleisin käyttötarkoitus on laadunvalvonta ja paineilmakäyttöisten laitteiden kalibroinnin varmennus.

### 4.2 Paineilmatoimiset momenttityökalut

Paineilmatoimiset työkalut ovat Motorsilla yleisimpiä momenttiin kiristykseen käytettäviä työkalua. Paineilmatyökalut ovat suosittuja, koska ne ovat helppokäyttöisiä,

nopeita, kevyitä ja niihin tarvittava käyttövoima saadaan helposti yleensä valmiina olevasta paineilmaverkostosta. Oikein huollettuna paineilmakäyttöiset työkalut ovat toimintavarmoja ja niiden elinkaari on pitkä. Paineilmatyökaluja on paljon erityyppisiä ja niiden kiristystarkkuus vaihtelee jopa  $\pm 3\%$ :sta  $\pm 30\%$ :iin. Iskevillä työkaluilla tarkkuus voi olla vain  $\pm 60\%$ , joten niiden käyttö tarkoissa kiristystapahtumissa ei ole tarkoituksenmukaista. Erityyppiset paineilmavääntimet ovat keskenään hyvin samannäköisiä, eikä niiden tyyppiä erota välttämättä kuin mallimerkinnästä tai kokeilemalla. (Atlas Copco 2017g.)

Paineilmatoimisten momenttityökalujen tarkkuuteen vaikuttaa merkittävästi myös käytettävä paineilmaverkko. Paineilmaverkossa tapahtuvat paine- ja ilmamäärävaihtelut aiheuttavat hajontaa työkalujen tarkkuuteen. Parhaan mahdollisen tarkkuuden saavuttamiseksi paineilmatyökalujen kalibrointi tulisi suorittaa laitteen käyttöpaikalla, jolloin verkon paine ja ilmamäärä vastaavat todellista kiristystilannetta. Mahdollisuuksien mukaan paineilmanverkoston suunnittelussa tulisi ottaa huomioon mahdolliset paljon ilmaa käyttävät laitteet, jotka voivat laskea verkoston painetta tai ilmavirtausta merkittävästi, mikä vaikuttaa momenttityökalujen tarkkuuteen. Paineilman verkosta saatavan ilman laatuun tulee myös kiinnittää huomiota. Erilaisilla paineilmatyökaluilla on erilaiset vaatimukset paineilman laadulle. Toiset tarvitsevat puhdasta (öljytöntä) ja kuivaa ilmaa, kun taas osa työkaluista saattaa vaatia öljytyn paineilman pitkän eliniän saavuttamiseksi. Paineilman sisältämä vesi aiheuttaa paineilmakäyttöisissä työkaluissa korroosiota, joten sen poistamiseksi käytetään ilman-kuivaimia ja vedenerottimia, joilla ilman kosteusprosentti saadaan mahdollisimman pieneksi.

#### **4.2.1 Paineilmatoimiset iskevät mutterinvääntimet**

Paineilmatoimiset iskevät mutterinvääntimet ovat tunnetuimpia paineilmatoimisia työkaluja. Iskevät mutterinvääntimet ovat yleisiä niiden nopeuden, hyvän tehon-paino-suhteen ja edullisen hintansa takia. Iskevillä mutterinvääntimillä ei kuitenkaan päästä kovin hyvään kiristysmomenttien toistotarkkuuteen, minkä vuoksi niiden

käyttötarkkuutta vaativissa liitoksissa ei ole suositeltavaa. Nimensä mukaisesti iskevissä mutterinvääntimissä on hakkaava vasaramekanismi, joka aiheuttaa kovan meluntason ja laitteen sisäistä kulumista.

Motorsilla iskeviä mutterinvääntimiä on käytössä lähinnä tuotteiden purkamista varten esimerkiksi ulosvetimien kanssa, jossa laitteen toistotarkkuudella ei ole merkitystä. Iskeviä käytetään liitosten purkutöihin ja kiristykseen, joissa ei ole määritelty tarkkaa momenttia niiden hyvän tehopainosuhteen ja edullisen hinnan takia.

#### **4.2.2 Paineilmatoimiset mutterinvääntimet**

Paineilmatoimisilla mutterinvääntimillä tarkoitetaan sitkeävetoisia mutterin vääntimiä. Sitkeävetoisilla mutterinvääntimillä päästään hyviin momenttitarkkuuksiin. Sitkeävetoiset vääntimet aiheuttavat kuitenkin kiristysmomenttia vastaavan voiman, joka pitää ottaa vastaan. Pienimpiä momenteja lukuun ottamatta nämä voimat ovat liian suuria käyttäjän vastaanotettavaksi, joten sitkeävetoisten vääntimien kanssa on lähes poikkeuksetta käytettävä momenttivarsia tai vastinrautoja.

Motorsilla on paineilmatoimisia mutterinvääntimiä käytössä vain pienille, alle 10 Nm:n momenteille, joissa ei tarvita momenttivarsia tai vastinrautoja.

Paineilmatoimisia ruuvinvääntimiä käytetään pienille ruuveille ja momenteille. Ruuvinvääntimissä on yleensä tarkka sulkukytkin, jonka ansiosta niissä on melko hyvä toistotarkkuus ( $\pm 20\%$ ) pienilläkin momenteilla. (Atlas Copco 2017h.)

#### **4.2.3 Paineilmatoimiset pulssityökalut**

Paineilmatoimisissa pulssityökaluissa (Kuva 4.) on hydraulinen pulssimekanismi, jonka avulla laite tuottaa iskuja. Hydraulisen pulssimekanismin ansiosta pulssityökalut ovat melko hiljaisia ja niillä päästään huomattavasti iskeviä työkaluja parempaan toistotarkkuuteen. Pulssityökalut ovat myös lähes yhtä nopeita kuin iskevät työkalut. Pulssityökaluja on saatavilla sulkevia ja ei-sulkevia malleja. (Atlas Copco 2017b.)



Kuva 4. Paineilmatoimisia pistoolimallisia pulssityökaluja (Atlas Copco 2017b).

Nykyaikaiset sulkevat pulssityökalut katkaisevat myös ilman syötön välittömästi, kun laitteeseen säädetty momentti on saavutettu ja ei-sulkevat laitteet antavat käyttäjälle mahdollisuuden kontrolloida kiristystapahtumaa lopettaen kiristämisen vasta kun liipaisin vapautetaan.

Pulssityökalut ovat Motorsin yleisimmin käytettyjä työkaluja momenttiin kiristämiseen, koska ne ovat nopeita, hiljaisia ja mukavia käyttää ja niillä päästään melko hyvään toistotarkkuuteen ( $\pm 20\%$ ) (Atlas Copco 2017b).

#### 4.2.4 Sähköisesti ohjatut paineilmalla toimivat pulssityökalut

Sähköisesti ohjatut paineilmatoimiset pulssityökalut ovat normaaleja pulssityökaluja, joissa on sähköinen ohjaus momentin säädölle sekä momenttianturit, joiden avulla kiristystapahtumaa voidaan valvoa. Laitteilla saadaan aikaan hyvin tarkkoja kiristystapahtumia, koska valvontalaitteisto valvoo ja ohjaa pulssityökalua jokaisessa kiristystapahtumassa mitatun kiristysmomentin mukaan. (Atlas Copco 2017c.)

Sähköisesti ohjatuilla pulssityökaluilla (Kuva5.) päästään lähes sähköisten mutterinvääntimien tarkkuuteen niiden vastaavien älytoimintojen ansiosta. Sähköisen ohjauksen ominaisuuksia ja sen tuomia mahdollisuuksia esitellään tarkemmin luvussa 4.3.



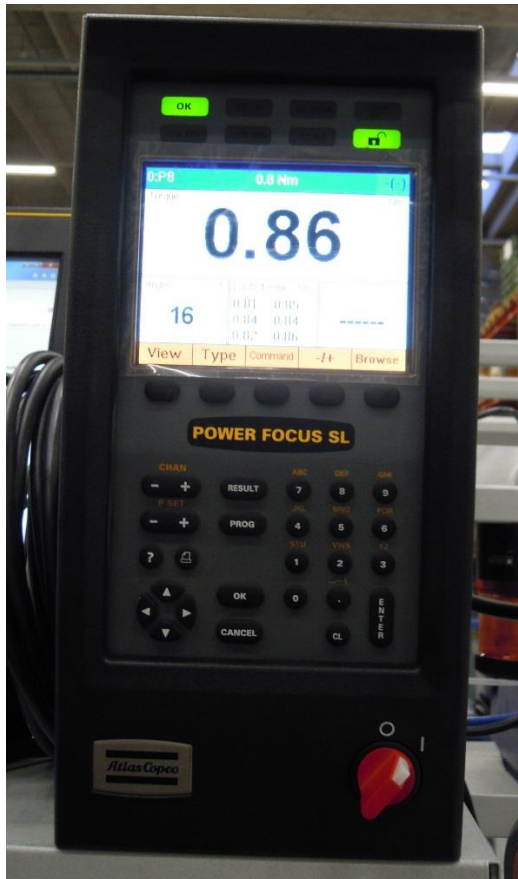
Kuva 5. Sähköisesti ohjattu pulssityökalu ja ohjainlaitteisto (Atlas Copco 2017c).

### 4.3 Sähköiset momenttityökalut

Sähköiset momenttityökalut ovat sähkövoimalla toimivia momenttityökaluja. Sähköisillä momenttityökaluilla saadaan aikaa tarkkoja kiristyksiä ja päästään erittäin hyvään toistotarkkuuteen, sillä laitteet ja niiden kalibrointi eivät ole riippuvaisia käyttöpaikasta ja saatavilla olevan energialähteen laadusta, toisin kuin paineilmatyökalut, joiden käyttämän paineilman laadunvaihtelut aiheuttavat hajontaa kiristystuloksissa. Samoilla vääntimillä voidaan tehdä kiristyksiä useisiin eri momentteihin. Käytettävää kiristysmomenttia voidaan ohjata hylsyvalitsimilla tai tuotekohtaisesti tehdyillä ohjelmeilla. Sähköisiin väänninlaitteistoihin on saatavilla runsaasti erilaisia lisävarusteita, joiden avulla voidaan edistää laadunvalvontaa ja antaa käyttäjälle palautetta. (Atlas Copco. 2017f.)

### 4.3.1 Ohjaimet

Sähköiset momenttityökalut tarvitsevat toimiakseen ohjain- ja virtalähde yksikön (Kuva 6). Ohjaimilla ohjataan työkalujen toimintaa ja mitataan kiristystapahtumia. Ohjaimien ja vääntimien varusteista riippuen sähköisillä vääntimillä tehtyjä kiristystapahtumia voidaan mitata ja analysoida. Kiristystulosten mittaamista voidaan hyödyntää laadunvalvonnassa esimerkiksi hankalien liitosten löytämisessä.



Kuva 6. Atlas Copco Power Focus 4000 ohjainyksikkö.

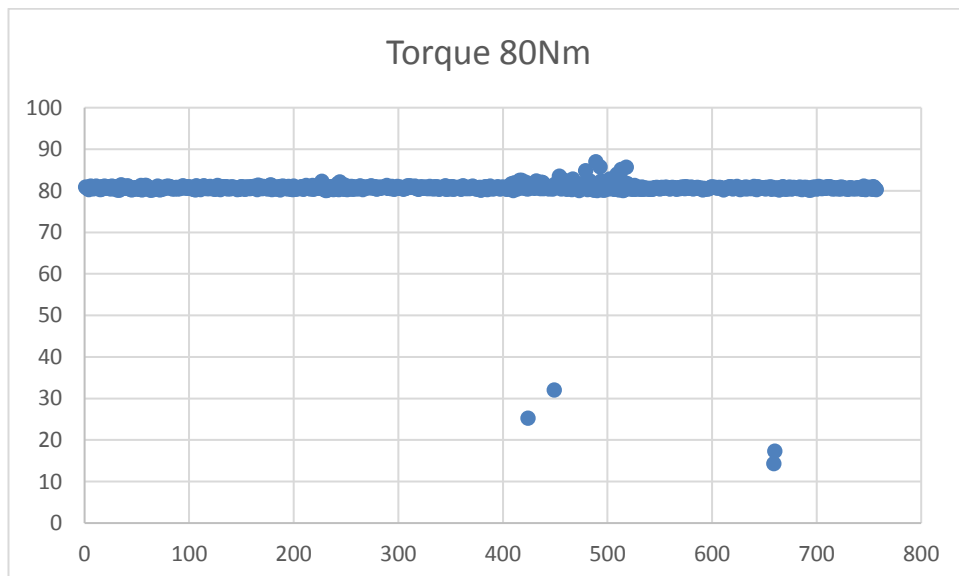
Ohjaimien tallentamaa tietoa kiristystapahtumista (Taulukko 8.) voidaan myös tilastollisesti analysoida helposti esimerkiksi Excelissä, koska laite tuottaa tallennetun datan suoraan Excel-muotoisena. Kiristystapahtumien datan avulla voidaan havaita laatuongelmia ja tarvittaessa näyttää toteen kiristystapahtumien onnistuminen.

Taulukko 8: Esimerkki ohjaimen tuottamasta Excel-raportista.

Over All Status	Torqu	Torque	Date	Time	Identifier	Result Pa	ID	ID in Pset	Result type
OK	OK	80,91	4.3.2017	11:54:55	SARJANUMERO1		10127	5320	Tightening
OK	OK	80,75	4.3.2017	11:55:01	SARJANUMERO1		10128	5321	Tightening
OK	OK	80,5	4.3.2017	11:55:33	SARJANUMERO1		10129	5322	Tightening
OK	OK	80,26	4.3.2017	11:55:58	SARJANUMERO1		10130	5323	Tightening
OK	OK	81,01	4.3.2017	11:58:29	SARJANUMERO2		10131	5324	Tightening
OK	OK	81,12	4.3.2017	11:58:34	SARJANUMERO2		10132	5325	Tightening
OK	OK	80,59	4.3.2017	11:58:39	SARJANUMERO2		10133	5326	Tightening
OK	OK	80,53	4.3.2017	11:58:43	SARJANUMERO2		10134	5327	Tightening
OK	OK	80,55	4.3.2017	11:58:47	SARJANUMERO2		10135	5328	Tightening

Ohjaimien ja vääntimien lisävarusteisiin kuuluvat hylsyvalitsimet, paikkatiedon tunnistavat momenttivarret, viivakoodinlukijat ja ohjaustaulut, joiden avulla voidaan asettaa työpisteen kiristystapahtumille pakottavia ohjelmia, joilla varmistetaan, ettei mikään ruuvi jää kiristämättä. Ohjainlaitteet voidaan myös asettaa viestimään käyttäjälle informaatiota kiristystapahtumasta valoin ja äänimerkein joko vääntimen tai valotornin välityksellä. Laitteiston välitön viestintä käyttäjälle onnistuneesta tai epäonnistuneesta liitoksesta lisää sen laaduntuottokykyä, sillä käyttäjä tietää heti selvittää korjata tapahtuneet virheet.

Motorsilla on tällä hetkellä käytössä yksi kiristystietoa tallentava laite, jolla on testattu kiristysdatan tallentamista ja analysointia (Kuvio 1). Kerätyn tiedon perusteella on selvitetty, mistä epäonnistuneet kiristystapahtumat ovat johtuneet ja niiden perusteella on kehitetty laitteiston käyttöä.



Kuvio 1: Esimerkki ohjaimen tallentamien kiristystulosten tarkastelusta

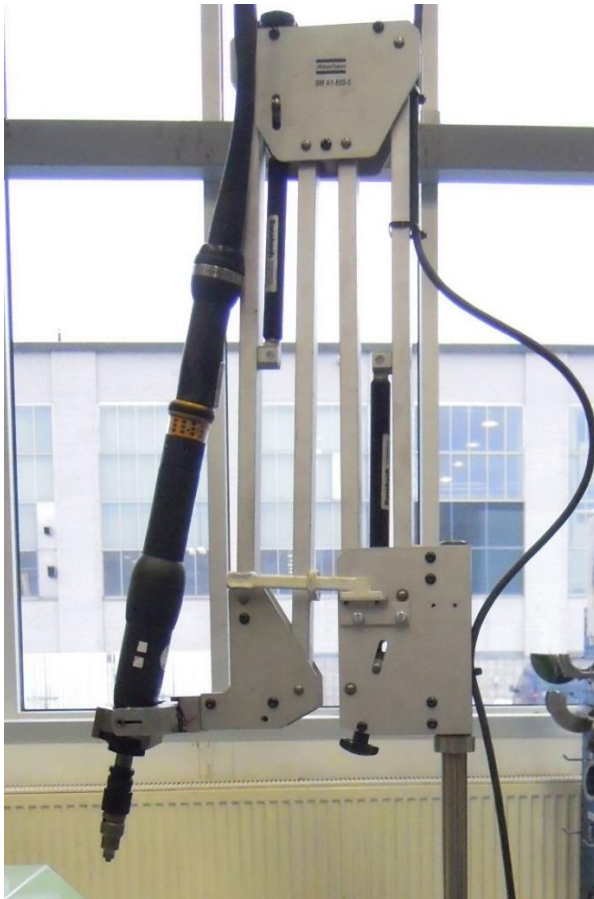


Ohjainten tallentamaa mitattua tietoa voidaan myös siirtää reaaliaikaisesti palveluntarjoajan pilvipalveluun, josta kiristystapahtumia voidaan seurata etänä reaaliajassa. ABB Oy:n joillain yksiköillä on käytössä myös Atlas Copcon tarjoama ToolsNet-pilvipalvelu, jonka käyttöönottoa suunnitellaan myös Vaasan Motors & Generators -yksikköön. Tällä hetkellä laatuosasto kerää kiristystietoa tallentavien väänninlaitteiden muistissa olevat kiristystulokset käsin.

#### **4.3.2 Sähköiset vääntimet**

Sähköiset mutterinvääntimet (Kuva 7) ovat isoille kiristysmomenteille tarkoitettuja tarkkoja vääntimiä, joista suurin osa sisältää momentti ja kulma-anturin. Antureista saatujen tietojen perusteella vääntimen ohjain ojaa laitetta jokaisessa kiristystapahtumassa, minkä vuoksi vääntimillä päästään hyvin tarkkoihin, jopa  $\pm 5$  % toistotarkkuuteen. Sähköiset mutterinvääntimet ovat sitkeävetoisia vääntimiä, minkä vuoksi ne suuremmilla kiristysmomenteilla tarvitsevat vastinraudan tai momenttivarren. Luvussa 4.4 esitellään suositusrajat maksimomenteille.

Sähköisiä momenttivääntimiä on saatavilla myös akkukäyttöisinä, jolloin vääntimen ohjaus on toteutettu langattoman tiedonsiirron avulla. Laitteissa on samat ominaisuudet kuin johdollisissakin vääntimissä. Akkukäyttöiset vääntimet sopivat hyvin pienemmille momenteille, joissa ei tarvita momenttivarretta, ja langattomuudesta saadaan kaikki hyöty irti.



Kuva 7. Sähköinen suoramallinen mutterinväännin ja momenttivarsi

Sähköiset ruuvinvääntimet (Kuva 8) ovat pienille momenteille tarkoitettuja sähköisiä vääntimiä, ne eroavat mutterinvääntimistä lähinnä kokonsa puolesta ja niitä on saatavilla samoilla varusteilla kuin isompiakin vääntimiä. Ruuvinvääntimiä on saatavilla jopa 0,5 Nm:n kiristysmomenteista ylöspäin. Ruuvinvääntimet ovat myös sitkeäveitoisia, mutta niitä käytetään yleensä niin pienille momenteille, että momentin vastaanotinta ei tarvita. (Atlas Copco. 2017d.)



Kuva 8. Sähköisiä suoramallisia ruuvinvääntimiä (Atlas Copco 2017d).

#### 4.4 Työkalujen ergonomia

Työkalujen valinnassa on mietittävä myös työergonomiaa. Väännintyökalut rasittavat lähes poikkeuksetta käyttäjää eri tavoin. Isojen momenttien vääntimet ovat usein raskaita käsitellä ja aiheuttavat tärinää tai reaktivoimia. Sitkeävetoiset työkalut tarvitsevat mallista ja momentista riippuen momenttivarren tai vastinraudan, koska ruuvien kiristykseen käytettävä voima välittyy muuten suoraan käyttäjään. Turvallisuusstandardi ISO 11148-6 määrittelee maksimirajat momenteille, joita sitkeävetoisilla laitteilla voidaan kiristää ilman momenttivarretta tai vastinrautaa:

- suoramalliset vääntimet, 4 Nm
- pistoolimalliset vääntimet, 10 Nm
- kulmamalliset vääntimet, 60 Nm.

Standardi määrittää maksimiarvot momenteille, mutta loppukädessä arvot ovat suuntaa antavia ja käyttäjä sekä toistojen määrä määrittävät, mikä momenttiarvo on työturvallisuusmielessä suurin (Atlas Copco 2017a).

Iskevät työkalut aiheuttavat tärinää ja kovaa melua, minkä takia myös kuulon suojausta on mietittävä. Iskeviä työkaluja parempi vaihtoehto on pulssityökalut, joilla on

myös hyvä tehopaino suhde, mutta ovat merkittävästi hiljaisempia, eivätkä ne aiheuta yhtä suurta tärinää. Parhaaseen työergonomiaan päästään kuitenkin momenttivarsilla varustetuilla sitkeävetoisilla vääntimillä, jotka eivät aiheuta käyttäjään tärinää ja momenttivarsi ottaa vastaan reaktiovoimat. Momenttivarret toimivat usein myös keventiminä, joten käyttäjän eri tarvitse kannatella koko vääntimen massaa. (Atlas Copco 2017e.)

## 5 TYÖKALUJEN VALINTA

Motorsilla on käytössä paineilma- ja sähköisten vääntimien valintaohje, joka on tarkoitettu työnjohtajien käyttöön. Ohjeessa on käytössä oleville momenteille valikoidut perustyökalut, joista on pyydetty valmiiksi tarjoukset. Ohjeen tarkoituksena on yhteinäistää työkalujen tilaamista, jotta hajonta pysyisi mahdollisimman pienenä ja laitteiden korvattavuus ja varalaitteiden tarve pysyisi mahdollisimman pienenä. Olemassa oleva ohje ei kuitenkaan ota millään lailla kantaa laitteiden käyttötarkoitukseen, vaan ainoastaan käytettävään momenttiin.

### 5.1 Varalaitteet

Motorsilla on käytettävissä rajallinen määrä varalaitteita kalibrointia, huoltoa ja laitteiden rikkoontumista varten. Varalaitteiden määrä pyritään pitämään mahdollisimman pienenä kustannusten minimoimiseksi, mutta kuitenkin riittävänä tuotannon jatkuvuuden takaamiseksi. Varalaitteiden, kuten tuotannon jatkuvassa käytössä olevien laitteiden, tulee olla kalibroituja, mikä aiheuttaa turhia kustannuksia, jos varalaitteita kalibroidaan, vaikka niille ei olisi käyttöä. Mahdollisimman yhtenäisellä laitekannalla voidaan minimoida myös kalibroitavien varalaitteiden määrä, mikä vähentää kustannuksia. Ei kalibroitavat ja tarpeen vaatiessa kalibroitavat varalaitteet eivät aiheuta juurikaan kustannuksia, mutta niiden käyttöönotto tuotantoon kalibroitavan laitteen tilalle vie enemmän aikaa.

Erikoisempiin ja kalliimpiin työkaluihin siirryttäessä tulee miettiä myös työkalujen korvattavuutta vika tilanteessa. Paineilmakäyttöiset vääntimet on helppo korvata vastaavalla laitteella, jos sellainen löytyy varastosta. Sähköisten vääntimien korvaaminen vastaavalla on huomattavasti hankalampaa, koska niiden käyttöönotto vie aikaa ja ovat usein sidoksissa työpisteeseen. Vääntimet voidaan korvata myös eri energialähteellä toimivalla työkalulla, kun varmistetaan laitteen riittävä tarkkuus.

## 5.2 Ohjeen päivittäminen

Työnjohtajien käyttöön tarkoitettuun ohjeeseen (Liite 1) valitaan työkalut, jotka toimittajan/toimittajien tarjousten ja suositusten perusteella osoittautuvat sopiviksi kuttakin käytettävää kiristysliitosta varten. Ohjeistuksessa tulisi kuitenkin otettava huomioon mahdolliset kriittiset liitokset, joita varten täytyy tehdä suunnitelma erikseen. Kuten aiemmin on esitetty, täytyisi jokaisen työpisteen momenttityökalujen tarpeet kartoittaa erikseen, jos työpisteellä tehdään A-luokkaan määriteltyjä liitoksia. Jos yli 10 Nm:n momenteilla käytetään sitkeävetoisia vääntimiä, tulee kartoittaa myös vastinrautojen tai momenttivarsien tarve työergonomian säilymiseksi tai parantamiseksi. Ergonomiaa tulee miettiä myös muita työkaluja isoilla momenteilla, koska isot työkalut ovat raskaita ja tarvitsevat kevennyslaitteen helpon käsiteltävyyden varmistamiseksi.

Työkalun valintaan vaikuttaa myös työkalun nopeus, koska erilaisten väänninten välillä on nopeuseroja ja tuotannossa tehtyjen havaintojen perusteella sitkeävetoiset vääntimet tuntuvat käyttäjistä hitailta, vaikka ne eivät ole todellisuudessa hitaampia, kuin yleisemmin käytössä olevat pulssityökalut.

Tuotannon työntekijät pitävät momenttivarsilla varustetuista sähköisistä työkaluista, koska ne eivät aiheuta fyysistä rasitusta käyttäjälle ja ovat huomattavasti paineilmavääntimiä hiljaisempia. Käyttäjien mielestä laitteiden käyttäjälle antama välitön palaute kiristysten onnistumisesta oli myös positiivinen asia, koska epäonnistuneet kiristykset voidaan korjata heti.

## 6 YHTEENVETO

Työn teoriaosassa käytiin läpi moottoreiden kokoonpanon eri vaiheet, kiristystekniikan perusteita ja erilaisten vääntimien eroja. Luvussa 3 käsiteltiin liitosten kriittisyyden tarkastelua, jossa myös esitetään ehdotus ruuviliitosten luokitteluperiaatteelle. Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa ohje työkalujen valintaan, mutta olemassa olevaa perustyökalujen valintaohjetta ei todettu tarpeelliseksi muuttaa. Työ kuitenkin ohjeistaa liitosten kriittisyyden tarkasteluun ja sen kautta liitosten luokitteluun. Liitosluokitusten kautta työkalujen valinta ohjataan olemassa olevaan ohjeeseen tai korkeamman liitosluokan tapauksessa liitokohtaiseen tarkasteluun. Kriittisen liitoksen työkalun valintaa ohjaa moni tekijä, minkä vuoksi työkalun valinta on lähes poikkeuksetta tehtävä liitos- ja työpistekohtaisesti, ottaen huomioon myös käyttäjien näkemykset työkalujen toimivuudesta. Tuloksena eri kokoluokkien moottoreille syntyi kriittisyysluokat, jotka suosittelevat kriittisten liitosten kohdalla tarkempien vääntimien käyttöönoton tarpeita.

Ruuvien luokittelusta kriittiseksi tultiin siihen tulokseen, että luokitus tulee perustaa havaintoihin mahdollisista aiemmista virheistä tai halusta varmistaa liitosten laatu. Väänninlaitteet, joiden avulla voidaan mitata ja dokumentoida kiristystapahtumia, ovat huomattavasti nykyään käytössä olevia perusvääntimiä kalliimpia. Tällaiset investoinnit vaativat investointiehdotuksen ja tarpeet tulee perustella hyvin, miksi kyseiseen liitokseen ja työpisteeseen tarvitaan uusi parempi väännin. Perusteina voidaan käyttää ergonomian, tuottavuuden ja laadun parantumista, asiakasvaatimusten ja tuotteiden vaatimustenmukaisuuden vastaamista sekä mahdollisesti huoltokulujen alenemista.

Kiristysliitoksiin yleensä tulisi tuotannossa kiinnittää huomattavasti enemmän huomiota, koska niillä on merkittävä vaikutus asiakkaan näkemään tuotelaatuun, varsinkin jos liitoselementtejä puuttuu. Epäonnistuneet kiristykset ilmenevät usein vasta ajan myötä tärinän ja voimien vaikutuksena, jonka takia asiakkaalla jo käytössä olevan tuotteen virheet saattavat aiheuttaa käyttökatkoksia. Tuotevastuun kannalta Exd- ja Exd(e)-tuotteiden liitosten epäonnistumisen vaikutuksia kannattaisi tutkia esimerkiksi painetesteillä, jolloin selviäisi selvästi ali- tai yli kiristetyn ja puuttuvan ruuvien vaikutukset lopputuotteen räjähdyspaineen keston.

## LÄHTEET

ABB Oy. 2017. ABB:n sisäinen tietokanta. Vain yrityksen sisäiseen käyttöön.

ABB. 2016a. ABB lyhyesti. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 13.12.2016]. Saatavana: <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>

ABB. 2016b. ABB lyhyesti. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 28.12.2016]. Saatavana: <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/motors-and-generators>

Stahlwille. 2017. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 9.3.2016]. Saatavana: <http://www.stahlwille.de/en/news/manoskop-730-quick/>

Atlas Copco. 2017a. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.4.2017]. Saatavana: <http://www.atlascopco.fi/fi-fi/itba/innovations/tighteningtechnique>

Atlas Copco. 2017b. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 25.4.2017]. Saatavana: <http://www.atlascopco.fi/fi-fi/itba/products/Assembly-tools/Pneumatic-assembly-tools/pulse-tools/ergopulse-pts-ptx>

Atlas Copco. 2017c. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 25.4.2017]. Saatavana: [http://www.atlascopco.fi/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/products/pneumaticassemblytools/controlledimpulse-nutrunners-pulsor-c/documents/W\\_Pulsor.pdf](http://www.atlascopco.fi/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/products/pneumaticassemblytools/controlledimpulse-nutrunners-pulsor-c/documents/W_Pulsor.pdf)

Atlas Copco. 2017d. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 25.4.2017]. Saatavana: [http://www.atlascopco.fi/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/products/electric-assembly-tools-and-systems/electric-assembly-tools/documents/W\\_Electricscrewdriver.pdf](http://www.atlascopco.fi/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/products/electric-assembly-tools-and-systems/electric-assembly-tools/documents/W_Electricscrewdriver.pdf)

Atlas Copco. 2017e. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.4.2017]. Saatavana: [http://www.atlascopco.fi/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/ergonomics/documents/Pocket%20Guide%20Ergonomics%209833858701\\_L.pdf](http://www.atlascopco.fi/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/ergonomics/documents/Pocket%20Guide%20Ergonomics%209833858701_L.pdf)

Atlas Copco. 2017f. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 25.2.2017]. Saatavana: <http://www.atlascopco.fi/fius/products/navigationbyproduct/ProductGroup.aspx?id=1401261>

Atlas Copco. 2017g. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 25.2.2017]. Saatavana: <http://www.atlascopco.fi/fius/products/navigationbyproduct/ProductGroup.aspx?id=1401304>

Atlas Copco. 2017h. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 25.4.2017]. Saatavana: <http://www.atlascopco.fi/fi-fi/itba/products/Assembly-tools/Pneumatic-assembly-tools/pneumatic-nutrunners>



Atlas Copco. 2016. Liitosanalyysi. Powerpoint-esitys. Koulutusmateriaali.

Korpinen, L. 14.10.1998. Sähkökoneet, osa1. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.4.2017]. Saatavana: [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkoko-  
neet\\_1osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkoko-<br/>neet_1osa.pdf)

Motors-ohjeet: M2/3AA/AL/AR 90...280 moottoreiden kokoonpano-ohje. 2017.  
Vain yrityksen sisäiseen käyttöön.

## LIITTEET

Liite 1. Työn tilaaja on estänyt liitteen julkaisun.