



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Joonas Rossi

# Taajuusmuuttajan virtaliitosprosessin varmistaminen ja kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

28.10.2019

|  |  |
|--|--|
| Tekijä<br>Otsikko<br>Sivumäärä<br>Aika   | Joonas Rossi<br>Taajuusmuuttajan virtaliitosprosessin varmistaminen ja kehittäminen<br>45 sivua + 2 liitettä<br>28.10.2019 |
| Tutkinto   | insinööri (AMK)  |
| Tutkinto-ohjelma   | sähkö- ja automaatiotekniikka  |
| Ammatillinen pääaine   | sähkövoimatekniikka  |
| Ohjaajat   | lehtori Jukka Karppinen<br>laatuinsinööri Timo Kosonen   |
| <p>Insinöörityö tehtiin ABB:n Pitäjänmäen Multidrives-osastolle. Tarkoituksena oli havainnoida ACS880-taajuusmuuttajasarjan virtaliitosprosessia ja kartoittaa sille parannusehdotuksia markkinoiden erilaisten työkalujen sekä vaihtoehtojen myötä.</p> <p>Insinöörityö aloitettiin kartoittamalla nykytilannetta tarkemmin. Selvitettiin ACS880-taajuusmuuttajasarjaa sekä sen sisältämiä virtaliitoksia tarkemmin. Ongelmakohtiksi muodostuivat virtaliitoksen varmistaminen ja sen pysyminen kunnossa taajuusmuuttajan edessä linjastolla.</p> <p>Työssä keskityttiin myös momenttityökaluihin, joilla virtaliitos nykypäivänä kiristetään momenttiinsa. Työkaluja hahmoteltiin eri ominaisuuksien perusteella ja niistä tehtiin taulukointia niiden erilaisten energian käyttövaihtoehtojen perusteella. Linjaston asentajien mielipiteet sekä käyttökokemukset huomioon ottaen, saatiin hyvä kuva tämän hetken työkaluista sekä parannusehdotuksista.</p> <p>Lopputuloksena saatiin virtaliitoksesta selkeä tilannekatsaus sekä ennen työtä toivottuja ehdotuksia virtaliitosprosessin kehitykseksi.</p> |  |
| Avainsanat   | virtaliitos, momenttiliitos, momenttityökalu   |

|   |  |
|---|--|
| Author<br>Title   | Joonas Rossi<br>Development and Confirmation of the Multidrive Bus Bar Joint |
| Number of Pages<br>Date   | 45 pages + 2 appendices<br>28 October 2019                                   |
| Degree  | Bachelor of Engineering  |
| Degree Programme  | Electrical- and Automation Engineering                                       |
| Professional Major  | Electrical Power Engineering   |
| Instructors   | Jukka Karppinen, Senior Lecturer<br>Timo Kosonen, Quality Engineer           |
| <p>This thesis study was made to ABB's Multidrive unit in Pitäjänmäki. The purpose was to observe the current state of the ABB's ACS880-multidrive bus bar joint process and identify improvements and other options from today's markets.</p> <p>The thesis work started with a closer look at the current situation. The ACS880 frequency inverter, torque joints and bus bar joints were clarified in more detail. The main problem occurred with securing and keeping the bus bar joint together, as the drive progressed its way on the production line.</p> <p>Thesis study also focused more closely on the torque tools, which are used today to secure the torque on the bus bar joints. Different kind of tools were outlined and tabulated based on their dissimilar energy uses. A good overview was obtained with suggestions for improvement, as opinions and user experience were gathered together from the installers of the line.</p> <p>As a result, a clear overview of the bus bar joints was obtained, as well as proposals for the development of the bus bar joint process.</p> |  |
| Keywords  | bus bar joint, torque joint, torque wrench                                   |

## Sisällys

### Lyhenteet

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto                                       | 1  |
| 2     | Taajuusmuuttaja                                | 2  |
| 2.1   | ACS880 Multidrive                              | 3  |
| 2.2   | Taajuusmuuttajan liitokset                     | 5  |
| 2.2.1 | Momenttiliitokset                              | 6  |
| 2.2.2 | Virtaliitokset                                 | 7  |
| 2.2.3 | Virtaliitoksen varmistus                       | 9  |
| 2.3   | Taajuus  | 12 |
| 2.4   | Vääntömomentti                                 | 13 |
| 3     | Momenttityökalut                               | 14 |
| 3.1   | Mekaaniset momenttityökalut                    | 15 |
| 3.2   | Paineilmalla toimivat momenttityökalut         | 17 |
| 3.3   | Sähkökäyttöiset momenttityökalut               | 19 |
| 3.4   | Akkukäyttöiset momenttityökalut                | 20 |
| 4     | Selvitys linjastolta nykytilanteesta           | 21 |
| 5     | Ehdotuksia virtaliitosprosessin parantamiseksi | 25 |
| 5.1   | Varmentaminen                                  | 25 |
| 5.2   | Työkalujen huolto ja ylläpito                  | 27 |
| 5.3   | Uudet työkalut                                 | 28 |
| 5.3.1 | Mekaaniset momenttiavaimet                     | 30 |
| 5.3.2 | Paineilmalla toimivat momenttityökalut         | 31 |
| 5.3.3 | Sähkökäyttöiset johdolliset momenttityökalut   | 33 |
| 5.3.4 | Akkukäyttöiset momenttityökalut                | 35 |
| 5.4   | Datan tallennus sekä laadun varmennus          | 37 |
| 5.4.1 | STwrench                                       | 37 |
| 5.4.2 | STa 6000 Data Analyzer                         | 38 |
| 5.4.3 | ToolsTalk BLM                                  | 40 |

|   |  |    |
|---|--|----|
| 6 | Pohdinta                                     | 41 |
|   | Lähteet                                      | 46 |
|   | Liitteet                                     |    |
|   | Liite 1. Virtaliitokset- ja momenttitaulukko |    |
|   | Liite 2. Virtaliitosprosessi -kysely         |    |

## Lyhenteet

|         |   |
|---------|---|
| ACS880  | ABB:n taajuusmuuttajasarja.   |
| JP-idea | Jatkuvan parantamisen ehdotusidea.  |
| Line-up | Kuljetuspituuksista muodostuva taajuusmuuttajakokonaisuus.                |
| MD      | Multidrives-yksikkö Pitäjänmäellä.  |
| M6-M12  | Tuotantolinjalla käytettävien virta- sekä momenttiliitosten pulttikokoja. |

## 1 Johdanto

Insinööriä tehtiin ABB:n Pitäjänmäen Multidives (MD) -yksikköön. Pääkaupunkiseudulla ABB on teollisuuden työnantajista yksi suurimmista. Pitäjänmäen tehdasalueella valmistuu moottoreita, generaattoreita sekä taajuusmuuttajia. Näiden lisäksi tuotannossa valmistetaan CPM-energianhallintajärjestelmiä sekä paperikonekäyttöraatkaisuja. Tämän työn aiheen sain Multidives-osaston laatutiimiltä. Itse olen tuotannon parissa työskennellyt vajaat pari vuotta, joten työn aiheen ajateltiin sopivan minulle mainiosti omien tuotantotietojeni myötä.

Asea Brown Boveri eli paremmin tunnettu lyhenteeltään ABB on maailmanlaajuisesti toimiva ruotsalaisveitsiläinen teknologia-alan yritys. Yrityksen juuret ulottuvat 1800-luvun lopulle. Nykyään yritys toimii yli 100:ssa eri maassa, työllistäen noin 150 000 henkilöä ympäri maailmaa. Suomessa ABB työllistää reilut 5000 henkilöä, ja luku kasvaa kesäkuukausina noin tuhannella harjoittelijalla vakituisten työntekijöiden viettäessä lomaa. Toimipisteet Suomessa on jaettu noin 20:een eri paikkakuntaan. Teollisuustoiminta on jaettu Helsinkiin, Porvooseen, Haminaan sekä Vaasaan. Pääkaupunkiseudulla sekä Vaasassa valmistetaan muun muassa moottoreita, generaattoreita sekä taajuusmuuttajia, kun taas esimerkiksi Porvoossa valmistetaan yrityksen tarjoamia sähköasennustuotteita. (1; 2)

Insinööriä tavoitteena oli selvittää erilaisia vaihtoehtoja virtaliitosprosessin varmistamiseen sekä kehittämiseen ja näiden jälkeen tehdä parannusehdotus nykyiseen virtaliitosprosessiin. Laatutiimi halusi kartoittaa nykytilanteen linjastolla ja sitä kautta hakea ehdotusta linjaston työkalujen päivittämisestä. Tarkoituksena oli rakentaa selvä kehitysprojekti, josta saataisiin näyttöä linjaston työkalujen uudistamista sekä virtaliitoksen varmistamisen parantamista varten.

Työ käsittelee taajuusmuuttajien perustekniikan ja toiminnan. Tarkoituksena on havainnollistaa lukijalle, mitä taajuusmuuttajilla tehdään ja miksi. Tämän lisäksi työssä keskitytään tarkemmin vääntömomentin mahdollistamiin momentti- sekä virtaliitoksiin taajuusmuuttajakäytöissä. Markkinoilla olevia momenttityökaluja listataan ja erotellaan mekaa-

niset, sähköiset sekä paineilmalla toimivat työkalut. Erilaisten työkalujen lisäksi keskitytään liitoksien datan tallentamiseen sekä eri valmistajien tarjoamiin vaihtoehtoihin. Näiden perusteella luodaan kuvaa markkinoiden nykypäiväisistä työkaluista ja erilaisista liitosten varmistustekniikoista.

## 2 Taajuusmuuttaja

Tehoelektronikan kehittymisen myötä teollisuuteen on kehitetty moottoreita ohjaavia sähköisiä kokonaisuuksia. Kyseinen laite on kulkenut nimellä invertteri, mutta myöhemmin muokkautunut taajuusmuuttajaksi (3, s. 305). Moottoreiden ohjaamisen lisäksi taajuusmuuttajilla voidaan suojata moottoreita erilaisilta vikatilanteilta, kuten moottorin ylikuormitukselta tai häiriötilanteilta. Tyypillisimpiä sähkömoottorikäyttöjä ovat ratkaisut, joissa syöttönä toimii yksi taajuusmuuttaja yhtä moottoria kohden. Kyseisellä laitteistolla voidaan verkosta syöttää tehoa moottorille, mutta ei takaisin verkkoon. Nykypäivänä taajuusmuuttajat mahdollistavat jo useamman moottorin kontrolloimisen samaa aikaa, josta Multidrives-nimitys on peräisin.

Taajuusmuuttajat ovat kooltaan reilun kahden metrin korkuisia, ja kenttäleveysiltään vaihtelu on parista kymmenestä sentistä aina metriin asti. Multidrivesissa kokonainen taajuusmuuttaja vaihtelee muutamista metreistä aina kymmeneen metriin, asiakkaiden tarpeiden sekä vaatimusten mukaisesti. Yhtä taajuusmuuttajakokonaisuutta kutsutaan linjakäytöksi, joka koostuu useista kuljetuspituuksista. Yleisesti ABB:n Multidrivesin ACS880-laitesarja on teollisuuskäyttöön luotu taajuusmuuttajasarja. Taajuusmuuttajilla moottorikäyttöjä yksinkertaistetaan mm. kaapeloinnin sekä komponenttien määrissä, virtojen suuruuksissa, käytön luotettavuudessa ja tilan säästössä. (4.)

Taajuusmuuttajan käyttöönottovaiheessa sille asetetaan moottorin kilpiarvoja vastaavat ominaisarvot. Tällaisia arvoja ovat mm. moottorin nimellinen nopeus, teho, jännite sekä taajuus. Näin ollen varmistutaan moottorin ja sitä ohjaavan taajuusmuuttajan yhteistyön toimimisesta. Taajuusmuuttajakäytöille on myös olemassa useita erilaisia jarrutustapoja. Jarrua tarvitaan käytöissä samalla tavalla kuin alamäkeen rullaavassa rekassa, eli käytännössä eliminoidaan tilanne, jossa kuorma alkaisikin vetää moottoria. Toinen esimerkitilanne on äkkijarrutus, jossa jarrutuksen tulee tapahtua erittäin nopeasti. Yleisimpänä



jarrutustapana pidetään kuitenkin vastusjarrutusta. Kun moottori alkaa pyöriä nopeammin kuin taajuusmuuttajan syöttämä taajuus, muuttuu se generaattoriksi, ja alkaa sähköntottamisen sijasta syöttämään sähköä tasasähkövälipiiriin. Yksinkertaisuudessaan jännite välipiirissä nousee ja kytkee diodisillan tasasuuntaajaosassa pois päältä. Taajuusmuuttajan ohjauselektronikka kertoo reaaliaikaisen jännitteen nousun ja kytkee välipiiriin päälle jarruvastuksen. Lopulta jarruvastus muuttaa pyörimisliikkeestä tullutta energiaa häviölämmöksi. (5, s. 101.)

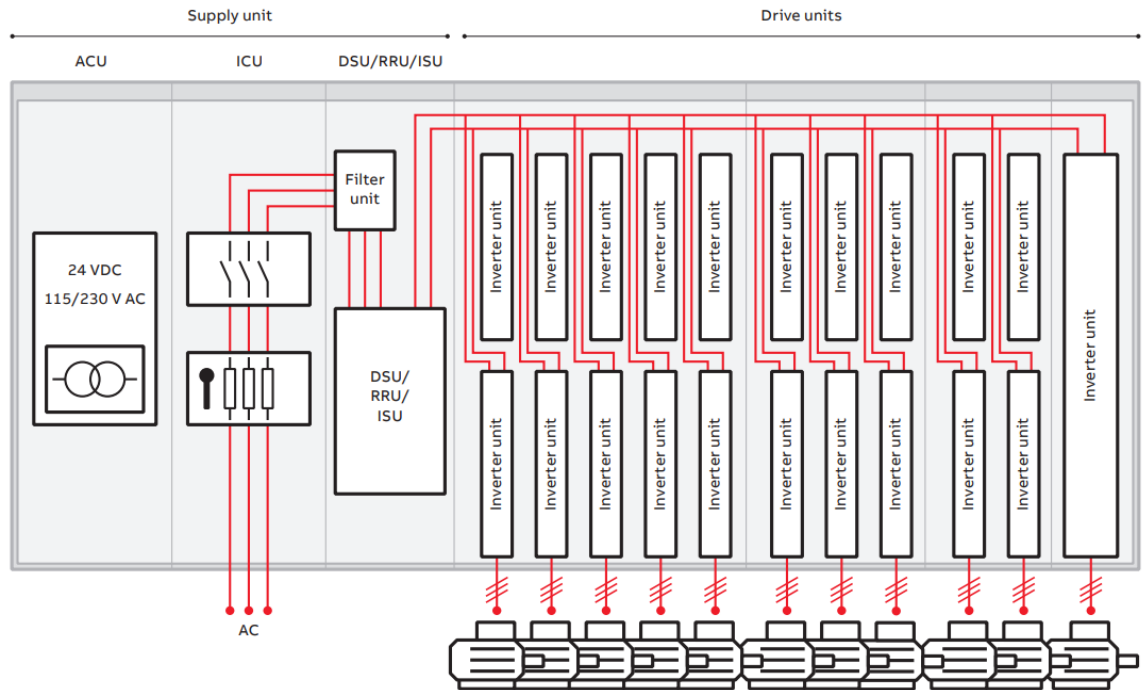
## 2.1 ACS880 Multidrive

ACS880 on ABB:n tarjoama taajuusmuuttaja-tuotesarja. Tuotesarja on suunniteltu mukautettavaksi juuri asiakkaan omiin käyttötarpeisiin sopivaksi. Taajuusmuuttajien käyttöjännite on 380–690V ja tehoalueeltaan ne ovat 1,5–5800kW. Näin ollen kohdealue ACS880-sarjalle on erittäin laaja. Sarja on suunniteltu mm. öljy-, kaivos-, paperi- sekä meriteollisuuden pariin.

Säädetyt moottorikäytöt ja niiden säätölaitteet perustuvat nykypäivänä taajuusmuuttajien käyttöön (6, s. 118). ACS880 koostuu pienemmistä yksiköistä, jotka muodostavat koko taajuusmuuttajan. Yhteen Line-uppiin sisältyy useampia eri tehtäviin suunniteltuja kenttiä, joista syntyvät syöttö- sekä käyttöpuoli. Syöttöpuoli toimii taajuusmuuttajamoduuleille sähköntottajana, kun taas käyttöpuoli on yhdistettyinä moottorilähtöihin, ja niillä voidaan muuttaa mm. moottoreiden toimintanopeuksia. Taajuusmuuttajakaapin sisältämät kentät on lyhennetty nimellisesti seuraavanlaisesti:

- ACU, Auxiliary control unit, apuohjauskenttä
- ICU, Incoming unit, syöttökenttä
- ISU, IGBT supply unit, kolmivaihevirran muuntajayksikkö
- INU, Inverter unit, tasavirtaa vaihtovirraksi muuttava yksikkö
- DSU, Diode supply unit, syöttöyksikkö
- DCU, Drive control unit, ohjausyksikkö
- OPU, Output unit, moottoriliitäntäkenttä
- MOU, Motor output unit, Moottoria ohjaava yksikkö.

Edeltävistä kentistä muun muassa ACU, ICU, DSU sekä ISU muodostavat syöttöpuolen. INU-kentät puolestaan toimivat ennen moottoria tasavirtaa vaihtovirraksi muuttavina yksikköinä. DSU- sekä ISU kentillä muutetaan kolmivaihevirtaa tasavirraksi. DSU-yksiköt voivat myös ladata muuntajia ilman muita lisäkomponentteja (7, s. 22.). Kuvassa 2 on hahmoteltu syöttö- (Supply unit) sekä käyttöpuoli (Drive units) vielä tarkemmin.



Kuva 1. Taajuusmuuttajan käyttö- sekä syöttöpuolet havainnollistettuina (7, s. 20).

ACS880-sarja mahdollistaa kokonaisuuden, jolla voi ohjata useampaa eri moottoria samanaikaisesti. Useamman moottorin käytössä, esimerkiksi paperiteollisuudessa taajuusmuuttajat muodostavat nopean kommunikaation moottorin käyttönopeuden sekä moottorin momentin välille. Jokainen taajuusmuuttajamoduuli on mahdollista ohjelmoida nopeusprofiililla, joka toimii erinomaisena energiansäästönä käyttäjälleen. (7, s. 20.)

## 2.2 Taajuusmuuttajan liitokset

Yleisesti liitosten päätehtävä on yhdistää kaksi tai useampi materiaali yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Liitostapoja yleisesti ovat liimaus, niittaus, hitsaus, juottaminen, nau-laaminen sekä useat muut. Sähköisissä liitoksissa tavoitteena on saada sekä johdinten keskinäisistä liitoksista että johdinten ja sähkölaitteiden välisistä liitoksista niin sähköi-  
sesti kuin mekaanisesti luotettavia. Sähköisissä liitoksissa liitostapaa valittaessa tulee huomioon ottaa mm. johdinaine, johtimien poikkipinta-ala, liitokseen kytkettävien johdin-  
ten määrä sekä johdinlankojen lukumäärä ja niiden muoto.

Voimakaapelijärjestelmissä juotettujen liitosten tekoa tulisi välttää. Tällaisen tapauksen toteutuksessa kuuluu huomiota painottaa liitosten virumiseen sekä mekaanisiin vaiku-  
tuksiin. Yleisesti kaikkiin liitoksiin pitäisi päästä käsiksi huoltoa, tarkastusta sekä tes-  
tausta varten. (8, s. 88.)

Puristusliitokset ovat käytössä melko pieniin poikkipinta-alaisiin hienolankaisten johti-  
mien kaapelikengissä, jatko- sekä pääteholkeissa. Tarkastellaan esimerkiksi pistorasiaa,  
jossa liittimeen on tarkoitettu liitettäväksi yksi tai muutamalankainen johdin, johon luotet-  
tava liittäminen vaatii johdinten päähän pääteholkkia. Toinen tapaus on kaapelinkenkä,  
joita käytetään mm. pienillä poikkipinnoilla kojeliitoksissa. Puristus kaapelikengässä ta-  
pahtuu johdinten lankojen sijoittamisella kaapelikengän päähän, jonka jälkeen kaapeli-  
kenkä puristetaan johdinten päälle asianmukaisella työkalulla. (8, s. 90.) Puristusliitos  
tulee kuvaan, kun kaapelikenkä liitetään erilaisiin komponentteihin, esimerkiksi AC- tai  
DC-kiskoon.

Puristusliitoksessa pääperiaate on melko sama kuin momenttiliitoksissa ja niistä johta-  
vissa virtaliitoksissa. Periaatteena toimii kahden kiskon tai kaapelien liittäminen yhteen,  
jotta virran kulku saataisiin jatkumaan. Vaikka nimi ei olekaan enää puristusliitos, voi-  
daan sitä silti välillä väärinkäyttää virtaliitosten nimeämisessä, jossa peruseriaate on  
kahden kappaleen puristaminen yhteen.

### 2.2.1 Momenttiliitokset

Momenttiliitoksissa pulttia kiristetään kiertävällä voimalla eli vääntömomentilla. Vääntömomentin (Nm) määrä liittyy suoraan momenttiliitoksen kireyteen. Mitä suurempi newtonmetrin määrä, sitä lujempi momenttiliitoksen kireys on.

Pulttia kiristäessä syntyy pultin ja mutterin välille jännitystä. Tämä jännitys venyttää pulttia. Venymää ei paljaalla silmällä pysty erottamaan. Silti tästä syntyy puristusta, toiselta nimeltään puristusvoimaa, joka vetää pulttia ja mutteria toisiaan kohti. Jotta varmistuttaisiin liitoksen kestävydestä, tulee siihen kehittää tietty määrä puristusvoimaa. Liika puristusvoima saattaa johtaa pultin tai liitoksen materiaalien vääntymiseen ja liian vähäinen puristusvoima saattaisi riskeerata liitoksen löystymisen takia. (9.)

Kuvassa 2 on esitetty momenttiliitoksissa käytettävä combiruuviiliitos. Combiruuvit ovat tuotantoon suunniteltuja nopeakäyttöisiä valmiita momenttiruuveja. Ne kulkevat ruuvi nimellä, vaikka ovatkin käytännössä pultteja. Suurena erona normaaliin pulttiin on, että ne sisältävät entuudestaan aluslaatan sekä jousilaatan, joilla parannetaan liitoksen pitävyyttä. Combiruuveilla suoritetaan pääosin mekaanisia liitoksia, joita ei merkitä samalla tavalla kuin virtaliitoksia.



Kuva 2. Maadoituskiskon momenttiliitos combiruuvilla.

Kiristetty momenttiliitos käyttäytyy funktiossaan täysin eri tavalla kuin väljä liitos. Oikein kiristetty momenttiliitos pystyy ylläpitämään liitoksen vielä miljoonan kuormitusyökin jälkeen, kun taas väljä liitos saattaa epäonnistua funktiossaan muutaman ensimmäisen kuormitusyökin aikana. Syynä tähän on liitoksen kestävyys ulkoisen kuorman vaikuttaessa siihen. (10.) Momenttiliitoksista on ABB:n laatutiimi tehnyt momenttiliitostaulukon. Kyseinen taulukko löytyy asennuslinjaston jokaiselta työpisteeltä, sekä yhteiseltä info- taululta, josta asentaja voi halutessaan tarkastaa tietyille ruuville tai pultille määrätyn vääntömomentin määrän. Taulukko on esitetty liitteenä 1.

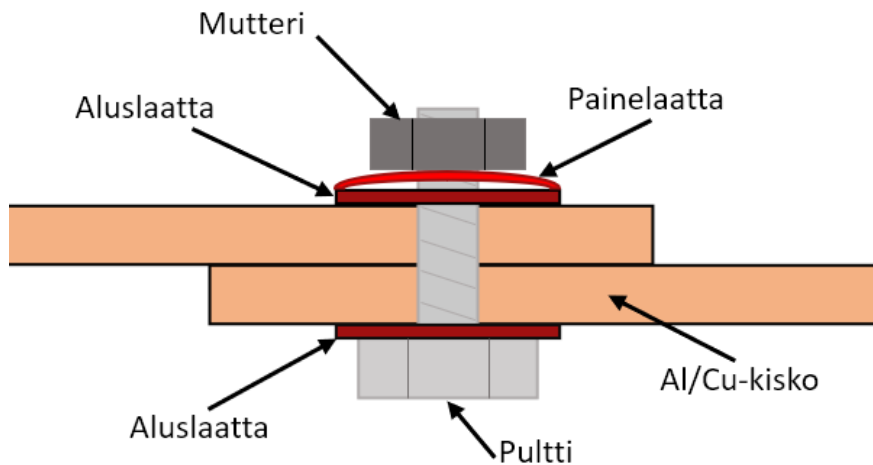
### 2.2.2 Virtaliitokset

Virtaliitoksella tarkoitetaan momenttiin kiristettyä liitosta, joka mahdollistaa virran kulku- reitin jatkumisen komponentista toiseen. Käytännössä kyseisiä liitoksia on kahta eri- laista, suoria sekä T-mallisia, jolla tarkoitetaan tap-off -tyylistä ratkaisua. Liitosten kuuluu olla mekaanisesti lujakestoisia, kestäviä ympäristövaikutuksille ja sisältää alhaisen vas- tuksen, joka saadaan säilymään liitoksen kuormituksen jälkeen koko sen käyttöajan ajan. (11, s. 90.) Kyseisen liitoksen tärkeys taajuusmuuttajissa on mittaamaton. Suurien virto- jen saavuttaessa mahdollisen kiristämättömän tai löysälle jääneen liitoksen, saattaa komponentit tai virtakiskot vioittua, mikä lopuksi johtaa taajuusmuuttajan toimintavirheeseen.

Kahden kiskon välinen ideaalinen virtaliitos on liitos, jossa liitettävät osat koskevat toi- siinsa koko kosketuspinta-alalta. Näin ollen virran kulkua ei määrittäisi liitoksessa kiris- tuskohdat, joista virtaliitos puristaa koko liitosta yhteen, vaan koko alue, jolla kisko on kosketuksissa toiseen kiskoon. Kiskoja tarkasti katsomalla huomataan ja ymmärretään, että muoto ei ole tasainen molekyyllitasolla, joten pinnat ovat erittäin vaikea saada yhteen kaikkialta samaa aikaa. Pultti- ja virtaliitoksissa paine kohdistuu pulttien reikien myötä- sestä kiristetyn pultin ympärille. Käyttämällä useampia pultteja liitoksessa jakaantuu paine tasaisemmin liitos pinta-alaltaan. Isompia aluslaattoja käyttämällä parannetaan myös paineen jakaantumista pultille tarkoitettulta reiältä. (11, s. 94.)

Virtaliitos eroaa normaaliin momenttiin kiristettyyn liitokseen juuri johtavuudeltaan. Nor- maalissa liitoksessa huomio ei kiinnity sähkön johtavuuteen, vaan faktaan, että liitoksen kuuluu kestää tärinää ja kolinaa. Virtaliitoksessa näiden lisäksi kulkee nimensä veroisesti

virtaa, jota liitoksen täytyy myös kestää. Virtaliitos poikkileikkauksena on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Virtaliitoksen poikkileikkauskuva.

Virtaliitoksessa kiskojen päädyt liitetään mutterilla kuvan 3 mukaisesti yhteen. Kuvasta huomataan liitoksen läpäisevä pultti, joita on tilanteen mukaan liitoksissa 1–8 kappaletta. Kuvan 3 värit eivät vastaa komponenttien oikeita värejä. Alus- sekä painelaatat ovat liitoksissa turvaamassa kiinnitystä. Pultin puristusliitoksesta muodostuvaa painetta jaetaan kiskolle aluslaattojen avulla. Ne takaavat paineen jakautumisen isommalle pinta-alalle, kuin pelkkä pultti. Painelaatta toimii paineen jakajana isommilla Newtonmetri määrillä. Ne absorboivat sekä vaimentavat liitosta iskulta sekä tärinältä. (11, s. 95)

Taajuusmuuttajissa nämä liitokset näkyvät parhaiten AC- sekä DC-kiskojen liittämissä sekä kaikkialla muualla, missä virran kulun halutaan jatkuvan kiskosta tai komponentista toiseen. Kun suoran useampien metrien pituisen kuparista tai alumiinista valmistetun kiskon tulee jatkaa matkaa 90 asteen kulmassa johonkin tiettyyn kenttään, on paras mahdollinen vaihtoehto suorittaa virtaliitos toiseen kiskoon siihen vaaditulla momenttiin kiristetyllä pulttiliitoksella. Mutteri on yleisin liitostekniikoissa käytetty vastakappale. Toinen vaihtoehto on valmiiksi kiskoon asennettu kalei-mutteri, jolloin ylimääräistä itse asennettavaa mutteria ei tarvita. Kalei-muttereita kohdataan enimmäkseen paikoissa, joihin mutterin asettaminen olisi liian vaikeaa, jolloin suunniteltuna on valmiiksi kiskossa oleva mutteri. Näin mahdollistetaan myös hankalampien paikkojen virtaliitokset. Kalei-

liitoksissa alus- sekä painelaatta asetetaan pultin kannan alle, sillä kiristys suoritetaan pultin kannan puolelta.

### 2.2.3 Virtaliitoksen varmistus

Tällä hetkellä virtaliitoksen varmistus tapahtuu kahden asentajan toimesta. Ensimmäinen asentaja kiristää liitoksen tiettyyn momenttiin, jonka jälkeen merkkää maalitusilla valkoisen viivan kiristetyistä osasta, keskeltä liitosta, noin 45 asteen kulmaan aina kiskon kiinnityslevyyn asti. Tässä kohdassa on tärkeää, että tussin jättämä jälki tosiaan osuu liitoksen pultista jousilaattaan, jousilaatasta aluslaattaan ja aluslaatasta kiskolle. Näin ollen varmistutaan, että liitos on kertaalleen kiristetty ja liitoksesta huomaa visuaalisesti, missä asennossa pultti ja laatat ovat olleet kiristyksen jälkeen kiskoon verrattuna. Kuvassa 4 on havainnollistettu kiristettyä virtaliitosta.



Kuva 4. Kiristetty virtaliitos.

Kuvassa 4 asentaja on kiristänyt virtaliitoksen ja merkanut sen valkoisella tussilla kiristetyksi. Toinen asentaja toimii virtaliitoksen tarkastajana. Tarkastajan tehtäväksi jää virtaliitoksen tarkastaminen niin visuaalisesti kuin myös mekaanisesti. Tarkastaja testaa kiristetyn liitoksen kiintoavaimella ja toteaa sen kiristetyksi, jonka jälkeen hän merkkää

oman mustan tussinsa hahmottamaan tarkastusta. Mustan tussin merkkkaus kulkee 90 asteen kulmassa valkoiseen viivaan nähden, pultin kannasta aluslaatan jälkeen virtakiskon kiinnityslaattaan. Näin ollen valkoinen maali jää mustan maalin alle pultin kannasta, ja siitä näkee jatkossa, että se on kiristyksen jälkeen tarkistettu toisen asentajan toimesta. Mustan tussin tulee kulkea sama reitti liitoksen pultin päästä, aina aluslaatan jälkeen kiskoon asti, jotta jälleen varmistuttaisiin, ettei mikään näistä ole löystynyt myöhemmin. Valmista tarkastettua virtaliitosta havainnollistetaan kuvassa 5.



Kuva 5. Valmis virtaliitos.

Kuvassa 5 havainnollistetaan virtaliitosta kahden asentajan työskentelyn tuloksena. Valkoinen ja musta tussi johtavat pultin päästä aina ennen kiskoa sijaitsevaan kiinnityslavyyn yhdellä viivalla ilman poikkeuksia. Valmista ja tarkastettua virtaliitosta voidaan verrata virheelliseen virtaliitokseen, joka on esitetty kuvassa 6.





Kuva 6. Virheellinen virtaliitos.

Kuvassa 6 huomataan mustan ja valkoisen tussin virheellinen kulkusuunta. Kun tussien värit eivät kohtaa aina kappaleesta toiseen, voidaan olettaa, ettei liitos ole kireällä, eikä se näin ollen noudata vaadittua momenttiaan. Mahdollisia syitä tälle tapahtumalle on virtaliitoksen löystyminen ajan kanssa tai mahdollinen liitoksen avaus jossain vaiheessa tuotannon linjastoa ja virheellinen uudestaan kiristäminen. Kaikkia mahdollisuuksia kuitenkin yhdistää todellisuus, että visuaalista tarkistusta taajuusmuuttajalle tehdessä, huomataan virtaliitoksen olevan virheellinen.

Jokaisessa kuvassa 4–6, on virtaliitos kiristetty pultin kannan puolelta. Taajuusmuuttajakaapit sisältävät useita virtaliitoksia ja osa niistä kiristetään päinvastaisesti mutterin puolelta. Tällaisia tilanteita ovat mm. ahtaat paikat kiskojen liitoksissa, osakokoonpanon erilaiset pienemmät virtaliitokset sekä vaarnaruuveilla varustetut sulakkeiden liitokset. Näissä tilanteissa merkkaustussien viivat merkataan mutterin puolelle, sillä se toimii kiristyspuolena. Pääsääntöisesti kiristyspuoli on aina merkkauspanuoli, oli kyseessä pultin kanta tai mutterin puoli.

Virtaliitokseen käytettävissä pulttien kannoissa näkyy luku 8.8. Liitoksissa ABB:llä käytetään pultteja, muttereita, aluslaattoja sekä painelaattoja. Pultit ovat lujuusluokkaa 8.8.

Ensimmäinen numero tarkoittaa pultin lujuusluokkaa ja pisteen jälkeen tuleva lujuussuhdetta. Luokassa 8.8 on varmistuslujuus 660 MPa. Lukema kertoo suurimman lujuuden, jonka se kestää, ennen kuin mahdollisesti vääntyy tai muuten osoittaa muodonmuutostaan. Vetolujuudella tarkoitetaan myös lopullista komponentille annettua arvoa, jonka se kestää ennen murtumista. 8.8-pulteille vetolujuudeksi on annettu 800 MPa. Pulttien, ruuvien sekä vaarnaruuvien mekaanisista ominaisuuksista on olemassa standardi EN ISO 898-1. (12.)

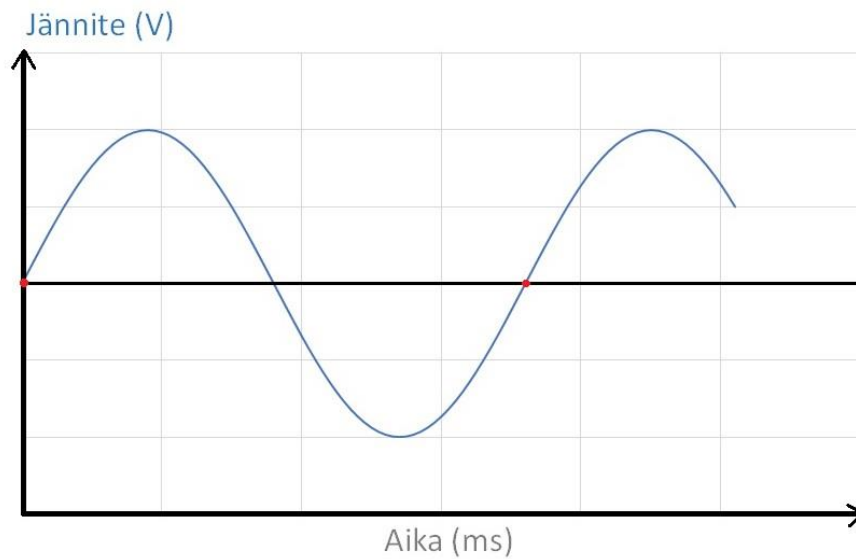
### 2.3 Taajuus

Taajuudella tarkoitetaan sekunnissa tapahtuvaa jaksojen lukumäärää. Jakso on taajuuden kaavassa toistuvuuteen viittaava ajanjakso, jossa aloituspisteestä palataan takaisin aloituspisteeseen. Tähän jaksoon kuluva aika tarkoittaa jaksonaikaa T. Esimerkkinä voidaan ajatella lattialle putoavaa palloa. Jaksonajan mittaaminen alkaa, kun pallo ensimmäisen kerran osuu lattiaan, ja päättyy, kun se ensimmäisen pompun jälkeen palaa lattiaan uudestaan. Taajuus lasketaan kaavan 1 mukaisesti.

$$f = \frac{1}{T(s)} \quad (1)$$

Lasketaan esimerkki pallon taajuudesta, kun pallon jaksonaika T on 10 sekuntia. Suoritetaan lasku  $1/10$  s, josta saadaan 0,10 s, eli 10 millisekuntia. Kun taajuuden yksikkö on hertsiä (Hz), saadaan pallon taajuudeksi 0,1 Hz. (3, s. 149.)

Suomessa, niin kuin suurimmassa osassa Eurooppaakin, on verkkovirralla käytössä 50 hertsin taajuus. Tätä taajuutta voidaan havainnoida kaavalla 1. Kun lasketaan verkkovirran jaksonaikaa, jaetaan yksi sekunti 50 hertsillä. Näin ollen saadaan 20 millisekunnin jaksonaika T. Kyseistä taajuutta havainnoidaan vielä kuvassa 7.



Kuva 7. Vaihtovirran sinitaajuinen kuvaaja.

Kuvassa 7 on yksi jaksonaika eriteltynä nolla-akselilla punaisilla pisteillä. Yhdellä jaksolla sähkö vaihtaa menosuuntaansa positiiviselta ajanjaksolta negatiiviseen ja takaisin kohti positiivista. 20 millisekunnilla sähkö vaihtaa kulkusuuntaansa kerran edestakaisin.

## 2.4 Vääntömomentti

Vääntömomentti, yksiköltään Nm (newtonmetri), vastaa metrin pituisella varrella väännettyä kappaletta yhden Newtonin voimalla. Kun tarkoituksena on saada kappale pyörimään akselinsa ympäri, tarvitaan voimaa  $F$ . Jotta jäykkä kappale, esimerkiksi ruuvi tai pultti, saataisiin pyörimään akselinsa ympäri, tarvitaan voimalle vartta, jota tässä tapauksessa merkitään kirjaimella  $r$ . Jos voima vaikuttaisi suoraan pyörimisakseliinsa, vaikutus pyörimistilaan olisi 0. Tämän kierron lopputuloksena on vääntömomentti  $M$ . Havainnollistetaan vääntömomenttia kaavalla 2.

$$M = F \cdot r \quad (2)$$

Etumerkin avulla voidaan havainnoida myötä- ja vastapäivään kappaletta vääntävät momentit. Yleisesti on sovittu vastapäivään vääntävä voima positiiviseksi, ja myötäpäivään vääntävä negatiiviseksi. (13, s. 62.)

Vipuvartena  $r$  voidaan tuotannon työssä pitää momenttityökalun vartta. Parhaiten esimerkiksi sopii mekaaninen momenttiavain. Momenttiavaimille säädetään käyttäjän itsensä puolelta oikea momentti. Kun tietty momentti saavutetaan, avain esimerkiksi naksahtaa ja näin ollen ilmoittaa valmiista kiristyksestä käyttäjälleen.

### 3 Momenttityökalut

Momenttityökaluilla tarkoitetaan asennukseen valmistettuja paineilmalla, sähköllä tai mekaanisesti toimivia työkaluja. Niille ominaista on ilmoittaa käyttäjälleen saavutetusta momentista. Työkalut ovat pääosin teollisuuteen suunniteltuja, jotta varmistuttaisiin taseisesta tuotannon laadusta ja voitaisiin näin ollen tuottaa lähes tismalleen samanlaisia tuotteita. Tämän lisäksi momenttityökalut mahdollistavat käyttäjälleen varmuutta, että liitokset ovat halutussa kireydessä eli momentissa.

Tällä hetkellä momenttityökaluja löytyy ABB:n Pitäjänmäen linjaston jokaiselta asennusalueelta. Runkokokoonpano työstää isoimmat kiskoliitokset paineilmalla toimivilla momenttityökaluilla Multidrivesissa. Samalla kokoonpanoalueella työstetään sulakkeiden momenttikiristykset, joissa vaarnaruuveilla varustetut sulakkeet kiinnitetään jokaisen syöttömoduulin lähtöön sekä jokaisen vaihtosuuntaajamoduulin syöttöön. (14, s. 35.) Osakokoonpano työstää pienemmät kokonaisuudet taajuusmuuttajiin Multidrivesissa. Osakokoonpanossa momenttityökaluja tarvitaan pääosin pienten kiskoliitosten sekä komponenttien kiristyksessä.

Nykyään ABB:n linjastolla on momenttityökalujen puolesta painotus Atlas Copcon tuotteiden kanssa. Suurimmalta osalta linjaston eri työpisteitä löytyy heidän valmistamiensa, pääosin paineilmalla toimivia momenttityökaluja. Työpisteiden yhteiseen käyttöön mm. osakokoonpanossa, on myös olemassa akkukäyttöisiä Atlas Copcon valmistamia momenttivääntimiä. Kappaleet on jaettu pienempiin osa-alueisiin työkalujen käyttöenergian perusteella.

### 3.1 Mekaaniset momenttityökalut

Mekaanisella momenttityökalulla tarkoitetaan ilman ulkoista energian lähteistä työkalua. Käytännössä kyseisiä työkaluja on kahta mallia: malleja, joissa tietty momentti on jo valmiiksi määritelty, sekä malleja, joihin itse määritellään haluttu momentti. Toisessa tapauksessa käyttäjä voi itse valita haluamansa momentin (Nm), johon hän haluaa kiristyksellään päästä. Tämän jälkeen käyttäjä suorittaa liitoksen kiristämisen ja työkalu ilmoittaa käyttäjälleen saavutetusta momentista mm. naksahduksella. Tärkeintä mekaanisten työkalujen käytössä on momenttityökalun oikeaoppinen käyttö. Yleisimpänä virheenä on käyttäjän liika nopeus, joka vaikuttaa suoraan työkalun virheelliseen toimintaan. Tärkeimpänä faktana momenttiavaimen toiminnasta pidetään sen suoriutumista erilaisista kiristystilanteista. Ideaalitulanteessa momenttiavain kiristää halutun kiristuksen juuri sille asetettuun newtonmetrimäärään. (15.)

Mekaanisten momenttityökalujen toiminta perustuu niiden sisällä olevaan jouseen. Jousta venytetään tai puristetaan kokoon haluttu määrä. Jousen toiminta on ennalta mitattua, jolloin työkalussa itsessään oleva Nm-asteikko pitäisi paikkaansa. Malleja on erilaisia, mutta perusperiaatteena jousi puristetaan liitäntämekanismia vasten, yleensä jonkinlainen tela, joka kytkeytyy taipuvaan palkkiin. Kun työkalun taipuma riittää puristusvoiman voittamiseksi, palkki irtaoo ja momenttiavain antaa naksahdusäänen. (16.)

Raute Precision Oy:n, vuonna 2003 tuottaman tutkimuksen (17) mukaan momenttiavainten oikeaa käytettävyyttä erilaisissa käyttöolosuhteissa on melkein mahdotonta varmentaa. Kierrelliitoksen laatu sekä työkalun käyttäjä vaikuttavat suoraan momenttiin kiristettyyn liitokseen enemmän kuin työkalujen mitatut poikkeamat. Testien lopputulemassa havaittiin, että momenttiavaimia tulisi käyttää käyttöohjeiden mukaisesti sekä huolellisesti, jotta päädyttäisiin haluttuun oikeaan tulokseen. Testissä myös painotettiin käyttökoulutuksen tärkeyttä ja kuinka esimerkiksi puolentoista tunnin koulutuksella saadaan momenttiavaimen uudelle käyttäjälle tärkeimmät asiat koulutettua. (17.)

Pitäjänmäen Multidrivein tehtaalla mekaanisia momenttiavaimia on muutamia yhteisessä käytössä. Kyseisillä työkaluilla on vaihtokärkiominaisuus, jolla työkaluun voidaan

vaihtaa haluttu räikkäpää kiristykseen vaadittavaksi kooksi. Samaisilla työkaluilla voidaan itse valita oikea newtonmetrimäärä työkalun punaista nuppia sekä kädensijan taaksoa samanaikaisesti painamalla.



Kuva 8. Mekaanisia työkaluja sekä niiden eri käyttöpäitä ja jatkovarsi.

Kuvassa 8 havainnollistetaan mekaanisia momenttityökaluja sekä niille tehtyjä lisäosia vaativampia kiristystilanteita varten. Tällaisia tilanteita ovat mm. hankalat ja ahtaat paikat taajuusmuuttajissa. Eri kärjillä päästään aina oikeisiin pulttikokoihin M6-M12 asti. Kärjen vaihto tapahtuu momenttiavaimen päästä painamalla, jolloin työkalussa ennestään ollut pää saadaan irti. Tämän jälkeen vaadittu räikkäpää painetaan työkaluun. Newtonmetriasteikko löytyy momenttiavaimesta ennen mustaa kahvaosaa. Siitä voidaan tarkistaa haluttu vääntömomentti ja vaihtaa sitä tarvittaessa. Jokaisessa momenttiavaimessa on myös nuoli, joka osoittaa käyttösuunnan, eli mihin suuntaan kahvaa käännetään, jotta momenttityökalu toimii vaaditulla tavalla.

ABB:n työkalujen huoltoyhtiö tarkistaa työkalujen momenttien toimivuutta jatkuvasti. Jokaisessa työkalussa, jossa momentilla on osaa työn tekemiseen, on valkoinen tarra. Tarra on seuraavaa tarkistusta varten oleva kuukausi sekä vuosi. Työkalut tarkistetaan kolmen kuukauden välein ABB:n työkalujen huoltoyhtiön toimesta. Mahdolliset kalibroinnit suoritetaan saman aikaisesti. Työkalut testataan huollon päätteeksi, ja mahdolliset epäonnistumiset testissä tarkoittavat työkalun eliminoimista asennuslinjastolta.

### 3.2 Paineilmalla toimivat momenttityökalut

Pneumatiikka on erilaisten energiamuotojen muokkausta pneumaattiseksi energiaksi ja pneumaattisen energian muuttamista mekaanisesti tapahtuvaksi työksi. Esimerkkitilanteessa ilmaa pumpataan pyörän renkaaseen tai paineilman kehityksessä ilmamäärän tilavuutta pienennetään sen normaalitilavuudesta. Paineilman teossa tapahtuu molekyylien välistä vetovoimaa, ja kun tilavuus pienenee molekyyleillä, muuttuu vetovoima työntövoimaksi, tässä tapauksessa paineeksi. Pakattu energia on sitä suurempi, mitä suurempi ilmatilavuus sekä paine ovat. Tällä energialla on kykenevyys työntekoon. (18, s. 2.)

Paineilmaa energianlähteenä käyttäviä työkaluja on olemassa useanlaisia. Yleisimmin käytettyjä ovat kuitenkin mäntä-, siipi- sekä turbiinimoottorit. Siipimoottoreissa urainen roottori pyörii epäkeskeisesti muodostetussa kammiossa, joka koostuu sylinteristä sekä sen päätylevyistä. Kun roottori ei ole keskipisteessä, ja on pienempi kuin sylinteri, syntyy puolikuuta muistuttava kammio. Roottoriraot ovat täytetty siivillä, jotka jakavat kammiot erillisiksi, erikokoisiksi työkammioiksi. Keskipakoisvoiman ansiosta, paineilman vahvistamana, siivet painuvat sylinterin seiniä vasten työkammioiden tiivistämiseksi. Näiden tiivisteiden tehokkuus perustuu funktioon nimeltään sisäinen vuoto. (19, s.6.)

Tällä hetkellä Pitäjänmäen tehtaalla suurimmassa käytössä ovat paineilmalla toimivat momenttityökalut. Jokaiselta linjaston työpisteeltä löytyy Atlas Copcon valmistamia, paineilmalla toimivia momenttityökaluja. Niitä yhdistävät helppokäyttöisyyden lisäksi turvallisuus. Paineilmalla toimivat työkalut sopivat myös hyvin paikkoihin, joissa kaasut ja sytyvät nesteet sähköä kanssa sekoitettuna eivät olisi hyvä yhdistelmä. Tällaisia paikkoja ovat mm. kaivokset sekä öljy- ja kaasuputkien lähistö (20).

ABB käyttää linjastollaan värikoodeilla varustettuja paineilmatyökaluja. Asentajille on tehty momenttiliitostaulukko, joka esitetään liitteenä 1. Taulukko on tehty asentajien käyttöön, jotta jokaiselle on selvä, minkälainen vääntömomentti tulee millekin pulttikoolle, oli kyseessä mekaaninen liitos tai virtaliitos. Värikoodeilla on eroteltu valmiiksi, minkä kokoinen paineilmatyökalu sopii millekin pultille. Värikoodeja ja eri kokoisia paineilmatyökaluja havainnollistetaan kuvassa 8.



Kuva 9. Paineilmalla toimivia Atlas Copco Toolsin momenttityökaluja.

Kuvassa 9 on neljä eniten käytettyä, paineilmalla toimivaa momenttityökalua sekä niiden lisäosia ja vaihtopäitä. Värikoodit sijaitsevat teippeinä työkalun etuosassa. Ne ovat vuosien varrella haalistuneet, mutta alhaalta ylöspäin ne kulkevat väreissä keltainen, vihreä sekä punainen. Toisin kuin muissa paineilmakoneissa, isoimmassa paineilmakoneessa sininen teippi merkitsee vanhaa paineilmaverkostoa, ei työkalun vääntömomentin määrää. Kyseiset työkalut ovat ennalta asetettu momenttiarvoonsa, eli asentajat eivät itse työaikana momentteja muuta, eikä niin ole tarkoituskaan. Eri momenttia varten löytyy omalla värikoodillaan varustettu momenttityökalu. Pienimmästä isoimpaan newtonmetrimäärät ovat 22 Nm, 42 Nm, 70 Nm sekä 120 Nm. Isointa momenttimäärää tarvitaan melkein ainoastaan kattojen asennukseen ACS880-sarjassa. Työpisteellä työkalujen säilytyshyllyssä on myös tarrat, josta momentin pystyy vielä tarkistamaan, samalla tavalla kuin itse työkalussa. Näitä työkaluja yhdistävät mekaaniset työkalut kalibrointien osalta. Samat testit tehdään momentin säilyttämiseksi työkaluille joka kolmas kuukausi, jonka jälkeen niihin merkitään tarralla seuraavan tarkistuksen ajankohta.



### 3.3 Sähkökäyttöiset momenttityökalut

Multidrivesissa johdollisten sähkökäyttöisten momenttityökalujen määrä on melko pieni. Eri osa-alueista kokoonpanolinjalla on osakokoonpano ainoa paikka, jossa sähkökäyttöisiä momenttityökaluja on. Omien kokemusteni perusteella tiedän vain muutaman henkilön, jotka kyseisiä työkaluja käyttää. Kokemuksieni perusteella laitteet ovat varmoja käyttää, mutta eivät sovellu useimpiin tilanteisiin nopeutensa perusteella. Sähkökäyttöiset momenttityökalut ovat suuremmissa käytössä toisella puolella hallia, jossa pienempiä moduuleja rakennetaan.

Sähkökäyttöisiä, johdollisia momenttityökaluja on kuvailtu mm. hiljaisiksi sekä tarkoiksi. Ne ovat paineilmalla toimivia työkaluja tarkempia suorituksissaan, keskiarvolla  $\pm 3$  %. Verkkojännitteeseen kytkettynä toiminta-alue on huomattavasti laajempi verrattuna paineilmalla toimiviin, kun paineilmaa ei kaikkialta saa. Useimmissa sähkökäyttöisissä momenttityökaluissa on sisäänrakennetut datatallentimet, joten datankeräys on helppoa momenttityökalun tekemien töiden myötä. Helppokäyttöisyyden sekä tietojen tallennusmahdollisuuksien lisäksi sähkökäyttöiset momenttityökalut ovat erittäin hiljaisia. (21.)

Sähkökäyttöisiä momenttityökaluja on kahdenlaisia eli yksi- sekä kaksinopeuksisia. Kaksinopeuksisilla on automaattinen tai mekaaninen vaihteen vaihto. Näillä tarkoitetaan laitteen toimintatapaa; kun pultti on löysällä ja kiristys alkaa, on kiristyksen vauhti nopeaa, mutta vääntömomenttia ei vielä muodostu kovin paljoa. Kun tietty piste ylitetään, vaihde vaihtuu ja nopeus hidastuu, mutta voimaa annetaan enemmän vääntöön. Manuaalinen laite tarvitsee vaihteenvaihdon erikseen, kun taas automaattinen tekee vaihteenvaihdon itse.

Useimmat sähkökäyttöiset momenttityökalut toimivat 230 voltin ja 50 hertsin verkkovirralla. Vaihtoehtoisesti toiminta-alueet ulottuvat myös 110 voltille sekä 60 hertsille. Myös vääntömomentti on useimmilla laitteilla suoraan laitteesta itsestään tai erillisen työkalun kautta säädettävissä. (22.)

### 3.4 Akkukäyttöiset momenttityökalut

Yleisesti ottaen, jos paineilmaa tai sähköä ei lähimailla ole saatavilla, voidaan tukeutua akkukäyttöisten momenttivääntimien pariin. Akkukäyttöiset momenttityökalut ovat varma vaihtoehto työsjaintia useasti vaihtavalle sekä vaikeisiin paikkoihin kuroutuviin liitoksiin, joihin ei johdollisella työkalulla päästäisi käsiksi.

Toimintamenetelmä on samanlainen kuin sähkökäyttöisissä momenttityökaluissa. Suurimpana erona kuitenkin energianlähteen kesto. Kun sähkökäyttöisissä laitteissa sähköä saadaan jatkuvalla syötöllä koneeseen, joudutaan akkukäyttöisissä tukeutumaan välillä akun lataukseen. Jatkuvan käytön mahdollistaa pari akkua samaa aikaa, jolloin toinen on laturissa, kun toista käytetään ja taas toisinpäin.

Tällä hetkellä Pitäjänmäen tehtaalla, Multidrivesin puolella käytetään muutamia akkukäyttöisiä momenttivääntimiä. Käytännössä koot ovat alle yhdestä newtonmetristä noin 10 newtonmetriin asti. Kuitenkin eroavaisuuksia löytyy, kun tarkastellaan mm. runkokoonpanoa, jossa kaikki ruuviliitokset suoritetaan akkukäyttöisillä momenttivääntimillä. Runkokoonpanossa akkukäyttöiset momenttivääntimet ovat yksinkertainen ratkaisu, koska ruuveja tulee ACS880:een käytännössä 360 asteen skaalalla ympäri kaappia. Akkukäyttöiset työkalut mahdollistavat tässä erittäin asentajaystävällisen lähestymisen ruuviliitoksiin.

Jännitteet akkukäyttöisissä momenttivääntimissä pyörivät 18–36 voltin alueilla. Yleisimpänä akkuna toimii 18 voltin Li-ion -akku (23). Ne ovat maailmanlaajuisesti yksi suosituimmista työkaluille, kannettaville tietokoneille sekä musiikkisoittimille valmistetuista akuista, jännitteiden vaihdellessa. Niiden suosio perustuu hyvään uudelleenladattavuusmahdollisuuteen. Muita hyviä puolia kyseisissä akuissa ovat mm. kevyt materiaali, helpokäyttöisyys sekä pitkäikäisyys. Akuista löytyy kuitenkin huonojakin puolia, sillä yksi suurimmista ongelmista on säänkestoisuus. Tehdasalueella tämä ei oikeastaan tulisi ongelmaksi, mutta muissa tapauksissa mahdollisesti. Liian kuuma tai kylmä ilma voivat tuottaa akulle käyttövaikeuksia. (24.)

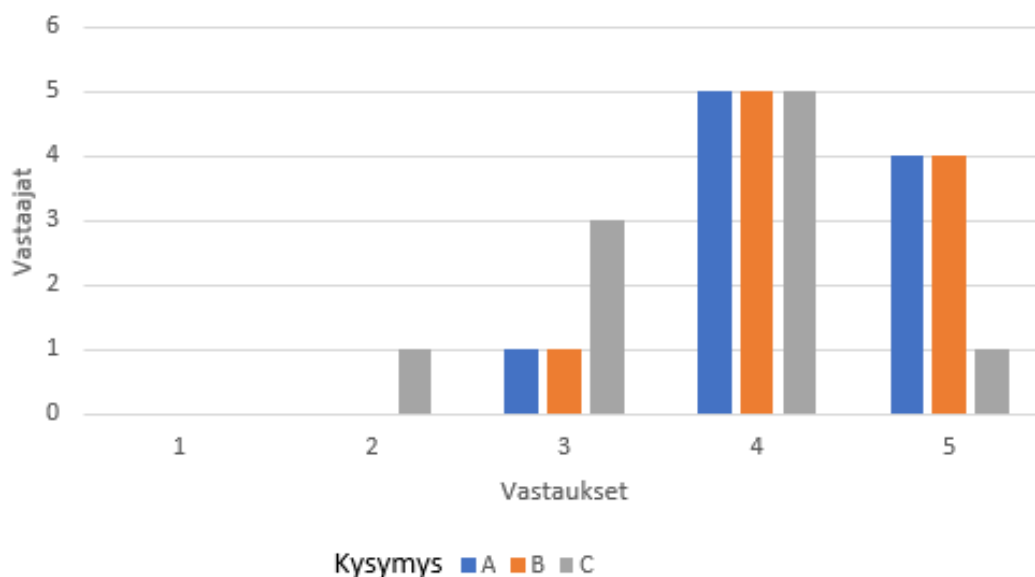
## 4 Selvitys linjastolta nykytilanteesta

Virtaliitosprosessista suoritettiin lokakuun 2019 alussa itse tehty kysely ABB:n Pitäjämäen runko- sekä osakokoonpanoon. Kyselyn pohja löytyy liitteenä 2. Tietoa kerättiin nykyisen virtaliitosprosessin toimivuudesta sekä uusista ideoista. Tarkoituksena oli karottaa nykyisten asentajien tietoisuutta virtaliitosprosessista, työkalujen käyttökokemuksista sekä omista asentajakohtaisista mielipiteistä.

Kysymyksissä keskityttiin yksittäisen asentajan tietoon sekä toimintamenetelmiin, minkä myötä saataisiin dataa asentajien virtaliitosprosessin osaamisesta ja siitä, kuinka hyvin liitteenä 1 ollutta Virtaliitokset- ja momenttitaulukkoa osattaisiin hyödyntää. Peruskysymysten ohella annettiin asentajille vapaa osio kertoa suosituksia tai mieleen tulleita asioita kyseisestä prosessista.

Kysely suoritettiin nimettömänä, jotta jokaisen asentajan ääntä kuultaisiin mahdollisimman todenmukaisesti, eikä asentajien tarvitsisi huolehtia palautteenannon jälkipyykistä. Vastajia saatiin reilu kymmenen ja vastauksetkin kuulostivat erittäin mielenkiintoisilta parannusehdotuksien sekä toimintamallien osalta.

Multidrivesissa sähkökäyttöisten momenttityökalujen määrä on melko pieni, joten käyttöä kyseisillä laitteillakaan ei hirveästi ole. Eri osa-alueista kokoonpanolinjalla on osakokoonpano ainoa paikka, jossa sähkökäyttöisiä momenttityökaluja on asentajien työpis-teillä. Omien kokemusteni perusteella tiedän vain muutaman henkilön, jotka kyseisiä työkaluja käyttää. Kokemuksieni perusteella laitteet ovat varmoja käyttää, mutta eivät sovellu useimpiin asennustilanteisiin hitautensa perusteella. Jokaista ruuvia kohti tulisi johdellinen työkalu vetää uudestaan narustaan kiristettävään kohteeseen, kun taas vaihtoehtoisesti akkukäyttöinen ruuviväännin on kiristyskohteen vieressä. Näissä tapauksissa asentaja valitsee ennemmin akkukäyttöisen työkalun.

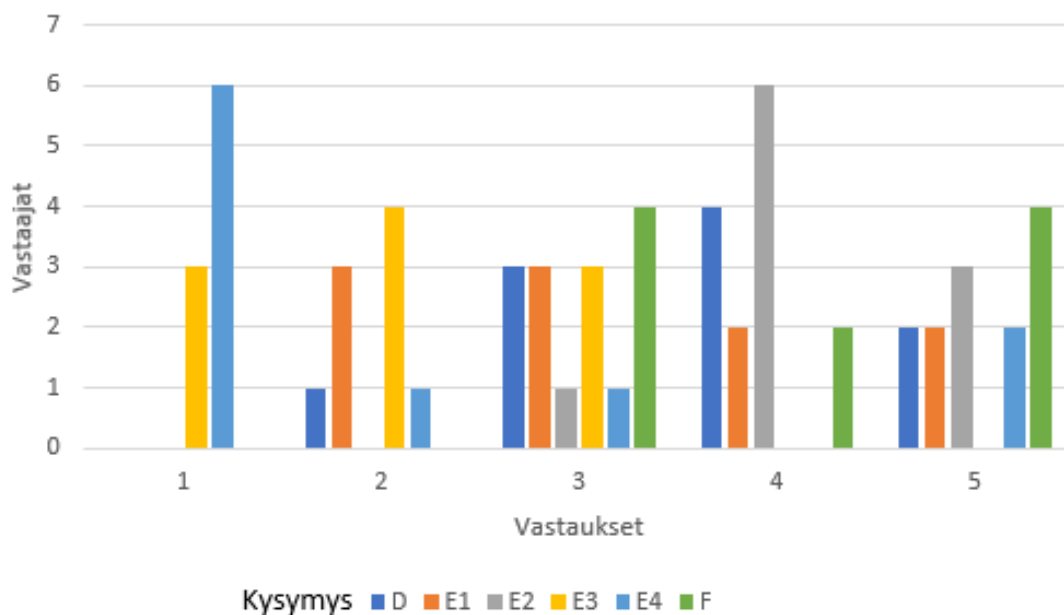


Kuva 10. Kyselyn tulokset kohtiin A, B ja C.

Kuvaan 10 on koottu kyselyyn vastanneiden kesken tuloksia. Kysymyksiä olivat A. Kuinka hyvin tunnet nykyisen Virtaliitokset ja momenttitaulukko -ohjeen? B. Kuinka selkeänä pidät virtaliitokseen valmistettua momenttitaulukkoa? C. Kuinka hyvin nykyiset momenttityökalut ajavat tarvittavat asiansa?

Kysymyksiin vastattiin numeroiduilla kohdilla, joissa 1 viittasi huonoon ja 5 erinomaiseen. Tuloksia katsellessa voidaan huomata, että momenttitaulukko sekä virtaliitos ovat asentajien keskuudessa hyvin tuttuja. Muutamaa asentajaa lukuun ottamatta, voidaan siis yleistää, että ohje on asentajille selkeä ja nykyiset momenttityökalut ajavat myös hyvin niille suunniteltuja asennuskohteita.

Kuvassa 11 on taulukoituna liitteessä 2 esitettyä seuraavaa kyselyosiota, jossa vastattiin kysymyksiin, kuinka usein turvaudutaan momentin tarkistamiseen virtaliitostaulukosta (D) (liite 1), kuinka paljon tiettyjä momenttiin kiristykseen liittyviä työkaluja käytettiin (E) sekä kuinka usein virtaliitosprosessi suoritetaan alusta loppuun asti yhden asentajan toimesta (F).



Kuva 11. Kyselyn tulokset kohdille D, E sekä F.

Numeroiden tarkoitukset muuttuivat kyselyn ensimmäisestä osiosta hieman, kun 1 tarkoitti en koskaan ja 5 hyvin usein. Tuloksista huomataan selvästi jakaumaa verrattuna ensimmäiseen osioon, mutta myös samoja vastauksia saatiin useita.

Vaikka useimmat asentajista ovat työskennelleet samoilla kokoonpanoalueilla jo useita vuosia, turvautuivat he melko helposti tarkistamaan tarvittua momenttia momenttitaulukosta. Tämä on hyvä asia, sillä asentajat itse ovat selvästi perillä siitä, kuinka tärkeätä on, että oikea momentti tulee oikeaan liitospaikkaan.

Kun mennään työkalujen käyttöön, ovat paineilmalla toimivat työkalut selvästi käytetyimpiä. Käyttökokemukset paineilmalla toimivista momenttityökaluista ovat myös olleet erittäin positiivisia. Osa asentajista käyttää myös paineilmalla toimivia ruuvinvääntimiä, sillä ne ovat huomattavasti vähemmän täriseviä verrattuna normaaliin akkukäyttöiseen ruuvinvääntimeen. Mekaaniset työkalut ovat vedenjakaja, sillä muutama asentaja selvästi käyttää niitä, kun taas toiset käyttävät niitä harvoin. Akkukäyttöiset ovat kuitenkin selvästi johdollisten sähkökäyttöisten momenttityökalujen ohella vähiten käytettyjä. Runkokokoonpanossa tämä on selvä asia, kun niitä ei oikeastaan siellä ole, mutta osakokoonpa-

non puolelta johdollisia löytyy jokaiselta asennuspöydältä, joten tämä on hieman mietintää kaipaava asia. Jokaisen osakokoonpanon työpöydän yläreunalla roikkuu johdolliset sähkökäyttöiset ruuvinvääntimet, mutta myös omasta kokemuksesta ne ovat huomattavan vähäisessä käytössä asentajien keskuudessa.

Viimeisenä kysymyksenä ennen vapaata osiota oli virtaliitoksen suorittamiseen viittaava kysymys: Kuinka usein suoritat koko virtaliitosprosessin alusta loppuun asti itse? Kysyessä on virtaliitoksen varmistusosiossa esitetty tapahtuma, johon on olemassa selkeä ohje. Ohje kuuluu, että kun asentaja A tekee momenttiin kiristyksen ja merkkää kiristyksen jälkeen pultin kannasta aluslaattojen jälkeen kiskoon asti valkoisen maalitussin merkin, asentaja B testaa momentin, ja kun se on todettu olevan kireydessään, merkkää asentaja B mustalla tussilla viivan pultin kärjestä valkoisen tussin päälle aina kiskoon asti merkkaamaan varmistusta.

Asentajien toimintatavat varmistukseen olivat jakautuneita. Kaikki ovat kuulleet ohjeet, ja ne löytyvät yleisesti käyttöön olevalta ohjeseinältä. Kysymykseen vastattiin suurimmalta osalta, että koko prosessi suoritetaan joskus tai hyvin usein itse. Tämä on sinänsä harmi, sillä se lisää mahdollisten virheiden matkan jatkumisen linjastolla eteenpäin. Pahimmassa tapauksessa virtaliitos on kiristetty hieman, muttei kunnolla, ja se saa molempien tussien merkinnän.

Viimeisimmän kysymyksen jälkeen tuli vapaa osio, jossa vastattiin, miksi virtaliitoksen kiristys ja tarkistus suoritetaan itse. Muutama asentaja vastasi nopeuden olevan vaikuttavimpia tekijöitä virtaliitosprosessissa. Moni myös painotti ohjeiden mukaisesti tekoa, mutta silti lisäsi vastaukseen, että virtaliitokset saattavat olla niin hankalissa paikoissa, että on helpompi hoitaa asia itse, ennen kuin odottaa toisen asentajan paikalle tulemistä ja liitoksen varmistamista.

Kysely paljasti melko todennäköisesti suurimman syyn mahdollisten löysien virtaliitoksien syntyyn. Vaikka vastaukset olivatkin melko suorita virtaliitosprosessin ohjeiden välinpitämättömyyden osalta, tulee asentajien kommentteja kuunnella ja suorapuheisuutta arvostaa. Myös asentajien parannusehdotuksia tulisi ottaa huomioon avoimin mielin uusien työkaluhankintojen osalta.

## 5 Ehdotuksia virtaliitosprosessin parantamiseksi

Virtaliitosprosessi tällä hetkellä on toimiva, mutta se ei saavuta sataa prosenttia varmuudesta. Pääpiirteittäin virtaliitoksen tekeminen on yksinkertainen prosessi, mutta varmistaminen useimmiten jää samalle asentajalle kuin sen tekeminen. Tähän syynä on ajankäyttö ja sen hyödyntäminen asennusprosessissa mahdollisimman tehokkaasti.

Asentajille virtaliitos on vuosien jälkeen jo niin tuttu prosessi, että se on helpompi hoitaa alusta alkaen itse. Tämä mahdollistaa kiristysten olevan suurimmalta osalta momentissaan. Laadun suhteelta tämä ei kuitenkaan riitä. Mahdollinen, hetkellinen ajatuskatkos tai muu blackout, jolloin kiristysten suorittaminen jostain syystä unohtuu, tai se tehdään niin sanotusti väsynein silmin väärällä tekniikalla. Laatu kärsii ja mahdollinen löysä liitos lähtee linjalla kulkemaan eteenpäin. Parhaimmassa tapauksessa tällaiset huomataan viimeistään koestamossa, mutta ne voidaan myös huomata aiemmin loppukokouksissa.

Virtaliitosprosessin parantamiseen on kuitenkin vaihtoehtoja. Vaikka kyseessä on hankala parannuskohde, voidaan siihen yhteistyöllä vaikuttaa ja näin ollen varmentaa sen toimivuus sekä laatu. Ehdotuksia on koottu alaotsikoiden alle.

### 5.1 Varmentaminen

Tällä hetkellä prosessi on kahden asentajan yhteen laskettu summa. Käytännössä nykyisen tilanteen voisi eliminoida yhden asentajan työksi. Kuitenkin tähän tarvitsisi jollain tapaa saada varmistus, että yksi asentaja onnistuu työssään. Vaihtoehtona voisi olla laite, joka näyttää kiristysten päätyttyä datan kiristyksestä. Näin ollen, jos asentaja tietäisi, montako kiristystä on tehty, voisi kone näyttää, että jokainen näistä on kiristetty ja siten ilmoittaa myös mahdollisista kiristämättömistä liitoksista. Tällaisia laitteita ovat mm. Atlas Copcon valmistamat STa 6000, Stpad sekä IRC-Connect. Kyseiset laitteet on tehty nimenomaan laadun varmistukseen. Näillä saataisiin dataa kiristyksistä, ja niitä voitaisiin tallettaa tulevaisuutta varten.

Hetkellistä dataa hyödyntämällä, voitaisiin liitoksista myös antaa saman tien palaute asentajalle. Tällaiseen tilanteeseen Atlas Copcolla olisi valotorni. Kiristetty liitos antaisi

valomerkin, josta asentaja näkisi, onko liitos tehty haluttuun momenttiin. Valotorni voisi toimia jokaisessa runkokokoonpanon työpisteessä. Työpisteen työkalutaulun viereen asennettuna, se ei veisi paljoa tilaa, ja toisi näin ollen hyvin asentajalle nopeasti palautetta liitoksesta. Jos liitos jostain syystä ei onnistuisi kiristyksestä, näyttäisi valotaulu keltaista tai punaista. Näin ollen liitos saataisiin heti korjattua, eikä myöhemmin linjaston eri vaiheessa.

Visuaalinen tarkastus on tehtaalla aiemmin todettu toimivaksi muun muassa Multidrive-sin viereisellä linjastolla. Visuaalisen tarkistuksen lappuja pyörii myös nykyään Multidrive-sin taajuusmuuttajakokonaisuuksien ohella, mutta ne eivät aina varmenna kaikkea tehtyä. Asentajien toimesta täytettävät keltaiset tarkistuslaput ovat varmennus asentajien tuottamasta työstä, jossa asentaja merkkää, että on tehnyt työnsä vaaditulla tavalla. Tämän lapun voisi käytännössä korjata kokonaisella linjaston osalla, jossa yksi tai useampi asentaja tarkistaa taajuusmuuttajan ennen kuin se päästetään koestamoon. Tällä varmistuttaisiin niin yleisestä laadun kuvasta kuin myös virtaliitosten olemisesta kiristysmomentissaan.

Varmentamista haittaavat myös tilanteet, joissa myöhemmin linjastolla joudutaan syystä tai toisesta avaamaan jo kiristetty, merkattu liitos. Tällaisia tilanteita tulee, kun taajuusmuuttajaan joudutaan syystä tai toisesta tekemään muutoksia. Osakokoonpanot tai muut komponentit eivät aina mahdu kohdilleen tai niitä on mahdotonta kiristää kunnolla, jolloin tuotetta joudutaan purkamaan, jotta tilaa uudelle komponentille löytyisi tai saataisiin toisen komponentin kiristykseen vaadittavaa tilaa. Tämän jälkeen, jos huolellista virtaliitoksen kiristämistä ei suoriteta tai se suoritetaan jälleen alusta loppuun asti yhden asentajan toimesta, saattaa kiristys jäädä löysäksi. Näissä tilanteissa taajuusmuuttajakaapin mukana kulkeva momenttilappu voisi olla hyvä täyttää uudelleen. Liitoksen kahden asentajan numerot tulisivat lappuun. Kentätunnus otettaisiin ylös ja selvitetäisiin syy, minkä takia virtaliitos on avattu ja ketkä sen ovat jälleen kiristäneet sekä merkanneet.

Varmentamiseen liittyen tulisi myös aluslaatta sekä painelaatta uusia, jos ne näyttävät jo liian täyteen merkatuilta tai momenttia on löysätty ja kiristetty x-määrä jo aiemmin. Näin ollen varmistuttaisiin myös, että tuorein kiristysliitos merkitään kokonaan uudelleen kahden asentajan toimesta eikä luoteta vain visuaaliseen havainnointiin, jossa tussit sattumalta osuisivat kiristuksen jälkeen kertaalleen kohdilleen.



## 5.2 Työkalujen huolto ja ylläpito

Momenttityökalujen elinkaari vaihtelee valmistajasta, työkalun energialähteiden erilaisista käytöistä sekä käyttäjien työkalujen käytön huolellisuuden takia. Työkalujen työkyvyn ylläpidon kuuluisi olla samanlaista kuin itse työntekijöidenkin. Työkalujen jatkuva huolto ja kalibrointi ennalta ehkäisee mahdollisia virhetiloja tai epäkuntoisuuksia. Kalibrointi takaa myös työkalujen halutun momenttimäärän ylläpitämisen. Tämän hetken kalibrointitilanteen mukaan kolme kuukautta on hyvä aika tarkistaa työkalujen toimintaa. Tähän mennessä kyseiset kolme kuukautta ovat riittäneet erittäin hyvin, mutta jatkoa ajatellen, kun työkalut ikääntyvät muutenkin, saattaa kolme kuukautta olla jo melko pitkä aika huoltoa sekä kalibrointia ajatellen.

ABB:n työkalujen huoltajayritys hoitaa työkalujen ylläpitoon liittyvät asiat. Työkalujen huoltajayritys voisi antaa enemmän tietoa työkalujen kunnosta, esimerkiksi laatutiimille, joka ylläpitäisi työkaluista mahdollista tietokantaa. Käytännössä tällä tiedolla olisi hyötyä, jos tiedettäisiin millä asennuspisteellä kyseisellä työkalulla tehdään töitä. Ilman tarkkaa työkalun sijaintia työkalun toiminnalla ei ole muuta merkitystä kuin että se toimii. Taulukoinnista voitaisiin tarvittaessa katsoa, kuinka vanhasta laitteesta on kyse ja kuinka suurta roolia se pitää linjaston työskentelyssä. Taulukosta voisi tarkistaa myös viimeisimmät korjaukset sekä kalibrointitiedot.

Taulukoinnilla voitaisiin tarvittaessa havainnoida tämän hetken momenttityökalujen toimintaa linjastolla. Tarvittaessa myös mahdolliset vikatilanteet tallentuisivat, jolloin voitaisiin tarttua toimenpiteisiin viallista työkalua kohti. Jos työkalun korjaaminen huoltajayrityksellä ei onnistuisi, voitaisiin se poistaa tarvittaessa kokonaan linjastolta ja hankkia tilalle uusi, korvaava työkalu.

Työkalujen huoltoa, ylläpitoa sekä uusimista ajatellen voitaisiin linjastolle tehdä selkeä työkalujen tarkistus. Linjastolta voitaisiin poistaa ylimääräisiä, käyttämättömiä työkaluja, jotka tarpeen tullen korvattaisiin uusilla työkaluilla. Uusia työkaluja miettien tärkeimpänä olisivat eniten käytetyt työkalut, esimerkiksi paineilmatyökalut, jotka ovat erittäin suuressa roolissa mm. runkokokoonpanossa.

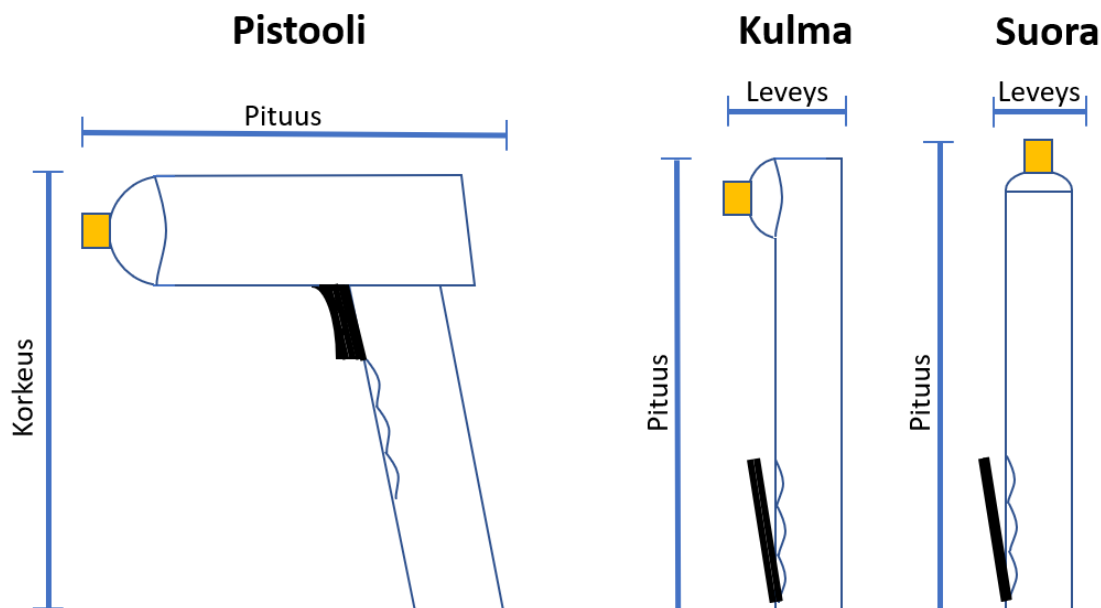
### 5.3 Uudet työkalut

Työssä käsiteltiin erilaisia momenttityökaluja ja kyselyjen perusteella niistä asentajien mieluiten käyttämiä ovat paineilmalla toimivat momenttityökalut. Myös akkukäyttöiset saivat positiivista palautetta ja mielenkiinnolla niitä otettaisiin lisää tuotantolinjalle.

Nykypäivän tuotantolinjat ovat pääosin sähköistettyjä. Työkalut linjoilla toimivat sähköllä ja tulevaisuudessa sähköä halutaan muutenkin enemmän käyttöön. Takana varmaan on idea ilmastonmuutoksesta sekä uusiutuvista energianlähteistä. Näiden asioiden myötä, linjastoa voisi tulevaisuuden kannalta painottaa mm. sähkökäyttöisillä työkaluilla.

Taulukoille on tämänhetkisten markkinoiden myötä koottu linjastolle sopivia momenttityökaluja. Virtaliitoksia varten momenttialue tulisi olla n. 9–120 Nm. Väliin mahtuu pulttikoosta M6 alkaen aina pulttikokoon M16 asti. Taulukoissa momenttityökalut ovat newtonmetrialueiltaan linjastolle sopivia, joten ne osuvat hyvin yhteen Virtaliitokset ja momenttitaulukko -liitteen (liite 1) kanssa.

Suurimpana vaikuttajana asentajille työkalun käyttöön on työkalun käyttäjäystävällisyys. Jos vaihtoehtona asentajalle on kaksi erilaista työkalua ja molemmat suoriutuvat tehtävänsä toteuttamisesta, valitsee asentaja useimmiten työkalun, joka on nopeampi ja yksinkertaisempi käyttää. Tämän myötä voidaan todeta, että asentajille tärkeää on myös työkalun nopeakäyttöisyys, säätömahdollisuudet sekä kompakti työkalun koko.



Kuva 12. Momenttityökalujen mallit.

Kuvassa 12 havainnollistetaan momenttityökalujen malleja. Kolme eniten käytetyintä mallia ovat nimenomaan pistooli-, kulma- sekä suora-malli. Kyseiset mallit ovat linjastolla ennestään tuttuja ja niiden tarjoamat mahdollisuudet erilaisiin paikkoihin ovat erittäin tärkeitä. Useimmiten erilaisiin malleihin tartutaan, kun perinteisellä pistoolimallisella työkalulla, jolla tehdään huomattavasti eniten virtaliitoksia, ei päästä vaikeisiin taajuusmuuttajan paikkoihin. Kuvassa 12 on jokaisen mallin toimintapää kuvattu keltaisella ja liipaisimet mustalla. Kuvan 12 koot eivät vastaa todellisia kokoja, ne on muokattu hahmottamaan ainoastaan erilaisia malleja.

Uusien työkalujen hankinnassa tulisi painottaa asentajien käyttökokemuksia entisistä työkaluista ja näin ollen saada selkeä kuva mitä tulevilta työkaluilta haluttaisiin. Tutkin tämän hetken markkinoita asentajan näkökulmasta ja näin ollen sain etsittyä työkaluja, jotka sopisivat linjastolle. Taulukot 1–4 seuraavissa kappaleissa on jaettu työkalujen energialähteidensä perusteella. Jokaiselle työkalulle on olemassa omat parhaat paikkansa ja sen takia tulisi uusia työkaluja miettiä tarkkaan ja havainnollistaa mihin niitä tarvittaisiin ja milloin.

### 5.3.1 Mekaaniset momenttiavaimet

Taulukossa 1 on kolme markkinoilla olevaa mekaanista momenttiavainta listattuna. Nämä kolme olisivat hyviä kokonsa sekä momenttialueidensa puolesta. Jokaisesta löytyy omia tarkempia hyviä puolia, jotka löytyvät eroteltuina työkalun alle. Tarkkuudet avaimilla ovat ISO6789-standardin mukaisia, ja Bahcon työkalussa vaatimukset jopa ylittävät asetetut standardin arvot.

Taulukko 1. Mekaaniset momenttiavaimet (25; 26; 27).

| Tuotetiedot   | Nm-alue  | Toiminta    | Pituus | Paino    | Tarkkuus |
|---|----------|-------------|--------|----------|----------|
| <b>Atlas Copco CWR-50</b>   | 5-50 Nm  | Naksah-tava | 236 mm | 0,466 kg | ±4%      |
| + Selkeä naksahdus saavutetusta momentista<br>+ Pieni koko<br>+ Kevyt paino<br>+ Parhaiten sopiva Newtonmetri-alue  |          |             |        |          |          |
| <b>Haitor-Torqueleader ATB 50</b>   | 10-50 Nm | Taittuva    | 365 mm | 1,14 kg  | ±4%      |
| + Havainnollistava näyttö momentille<br>+ Nopea momentin vaihto käyttökohteen mukaan<br>+ 20-astetta taittuva työkalun pää estää käytännössä ylikiristämisen kokonaan<br>- Painava ja muita pidempi |          |             |        |          |          |
| <b>Bahco 74WR-50</b>  | 10-50 Nm | Naksah-tava | 335 mm | 0,7 kg   | ±3%      |
| + Nopea momenttisäätö<br>+ Läpityönnettävät räikkäpäät mahdollistavat työkalun käyttösuunnan vaihtelun<br>+ Tarkin suoritustarkkuus   |          |             |        |          |          |

Taulukosta 1 löytyy kahta erilaista toimintamallia. Naksahavalla tarkoitetaan jo linjastolta löytyvien mekaanisten momenttiavainten perustoimintoa, jossa työkalu ilmoittaa saavutetusta momentista naksahduksella. Tämä on osoittautunut hyväksi metodiksi, ainoana ongelmana on työkalun käyttäjäkohtaiset eroavaisuudet. Jos liikerata mekaanista momenttiavainta käytettäessä eroaa työkalun käyttökoulutuksesta, saattaa lopputuloksena vääntömomentti vaihdella halutusta vääntömomentin määrästä.

Toisena mekaanisen työkalun toimintaperiaatteena on taattu malli. Nimensä mukaisesti momenttiavain taattu, kun se saavuttaa sille asetetun vääntömomentin. Taitos tapahtuu avaimessa itsessään noin parin senttimetrin päässä itse työkalun käyttöpäästä.

Tämänhetkisillä mekaanisilla työkaluilla kiristetään käytännössä vain ja ainoastaan hankalimmat paikat, joihin paineilmatyökaluilla ei päästä käsiksi, sekä vaarnaruuveilla varustetut sulakkeet, joita ohjeiden mukaisesti ei saada kiristää paineilmatyökaluilla. Käyttökohteita siis on melko vähän, ja mekaanisilla työkaluilla kiristämiseen kuluu myös huomattavasti enemmän aikaa kuin muilla mahdollisuuksilla. Mekaaniset työkalut mahdollistavat myös virheellisen kiristuksen, jos käyttäjää ei ole koulutettu työkalun oikeaan käyttöön.

Taulukosta 1 voitaisiin miettiä Atlas Copcon CWR-50 uudeksi mekaaniseksi työkaluksi linjastolle. Työkalu olisi pienikokoinen ja mahtuisi hankalampiinkin paikkoihin. Paino ei olisi kädelle raskas ja muotoilu muistuttaisi tämän hetkisiä mekaanisia työkaluja linjastolla. Tarkkuuden ollessa 4 %, tarkoittaisi se muun muassa M10-liitoksessa, jossa vaadittu newtonmetrimäärä olisi 42, 1,68 Nm heittoa suuntaan tai toiseen. Mekaaniset työkalut olivat ainoita, joista toimintatarkkuudet saatiin selkeästi tietoina taulukoihin. Muiden taulukoiden osalta tarkkuustietoja ei saatu käsiin.

### 5.3.2 Paineilmalla toimivat momenttityökalut

Paineilmalla toimivissa momenttityökaluissa momentin määrä on yleensä ennalta asetettu. Sen muuttaminen vaatii tarkempaa työkalun kalibrointia. Tästä syystä, samalla tavalla kuin tälläkin hetkellä linjastolla, ovat ne valmiiksi asetettuja vastaamaan tarvittavia pulttikokojen kiristyksiä ja jokaista pulttikokoa varten on olemassa oma koneensa. Eniten käytetyt pulttikoot ovat M6, M8, M10 sekä M12.

Tämän hetken markkinoita katsellessa tilanne on sama. Jotta ylimääräisiltä työkalujen kalibroinneilta vältyttäisiin, joutuisi jokaiseen pulttikokoon hankkimaan oman työkalun. Taulukossa 2 on esitelty markkinoilta linjastolle sopivimpia paineilmalla toimivia momenttityökaluja pulttikokojen mukaisesti. Malleissa pituudet ovat ratkaisevia tekijöitä, kun ajatellaan työkalun soveltuvuutta eri asennuksen asennoissa, jolloin itse asentaja ei olisi turhan kaukana suoraan kiristyskohteesta.

Taulukko 2. Paineilmalla toimivat momenttityökalut (28; 29; 30).

| <b>M8 pulttikoko</b>  |          |         |        |          |
|---|----------|---------|--------|----------|
| Tuotetiedot   | Nm-alue  | Paino   | Pituus | Malli    |
| <b>Atlas Copco EP6PTX28 HR42-RE</b>   | 15-28 Nm | 0,9 kg  | 164 mm | Pistooli |
| + Vääntö lakkaa, kun haluttu momenttialue saavutetaan<br>+ Tasapainoinen kädessä<br>+ Tuttu muoto jo entuudestaan linjastolla<br>+ Suunnanvaihto kätevässä paikassa peukalon ulottuvilla  |          |         |        |          |
| Tuotetiedot   | Nm-alue  | Paino   | Pituus | Malli    |
| <b>Atlas Copco EP8XS SR42</b>   | 22-40 Nm | 0,9 kg  | 242 mm | Suora    |
| + Pulsitoiminen työkalu, pulssit lakkaavat, kun haluttu momentti saavutetaan<br>+ Nopeakäyttöinen<br>+ Pieni koko<br>+ Hiljainen käyttää<br>- Suora malli ei välttämättä sovi ergonomisesti taajuusmuuttajien asennuksessa ympäri kaappia           |          |         |        |          |
| <b>M10-M12 Pulttikoko</b>   |          |         |        |          |
| Tuotetiedot   | Nm-alue  | Paino   | Pituus | Malli    |
| <b>Atlas Copco EP8PTI70 HR10-MT</b>   | 40-70    | 1,3 kg  | 179 mm | Pistooli |
| + Ergonominen, tuttu muotoilu<br>+ Huoltoystävällisempi<br>+ Osuisi kahdelle momenttialueelle samaa aikaa   |          |         |        |          |
| Tuotetiedot   | Nm-alue  | Paino   | Pituus | Malli    |
| <b>Haitor Tekkor TKR-IP8-72S</b>  | 40-72    | 1,25 kg | 200 mm | Pistooli |
| + Erittäin helppokäyttöisiä, muistuttaa nykyisiä linjaston paineilmatyökaluja<br>+ Peukalolla suunnanvaihto<br>+ - Ruuvilla momentin vaihto (Vaihtuuko ikääntyessään itsestään?)<br>+ Vähäinen värinä ja ääni<br>+ Osuu molemmille momenttialueille |          |         |        |          |

Paineilmalla toimivissa momenttityökaluissa eniten asentajia miellyttää käyttäjäystävällisyys. Ne ovat useimmiten käteviä eri paikkoihin ja niitä on nopea käyttää. Isoimpina huonompina tekijöinä ovat melko kova ääni sekä paineilmaletkun taittumattomuus joka suuntaan.

Työkalun malleja tässä ryhmässä on pistoolimallinen sekä suora. Molemmilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Pistoolimallinen muoto on tuttu tämän hetkisiin paineilmatyökaluihin ja mallina se on muutenkin yksinkertainen, kun työtä tehdään kohtisuoraan kaappia kohti seisaaltaan. Suoramalli on nimensä veroisesti suora työkalu, jossa työ tapahtuu suoraan samassa linjassa kuin itse työkalu on. Se sopii hyvin ylhäältä tehtäviin kiristyksiin, joissa pistoolimallisella jouduttaisiin käsi kääntämään 90 asteen kulmaan.

Paineilmalla toimivista testiin tarvittaisiin pari eri momenttialuetta kattavaa työkalua. Testiä varten voitaisiin molemmista päistä valita esimerkiksi yhdet työkalut, eli M8-koosta voitaisiin valita pistoolimallinen HR42-RE ja M10-M12 koosta HR10-MT. Kyseiset mallit muistuttaisivat erittäin paljon nykyisiä linjaston paineilmatyökaluja, joten ne voitaisiin korvata testejä varten suoraan linjastolle.

### 5.3.3 Sähkökäyttöiset johdolliset momenttityökalut

Taulukossa 3 käydään läpi johdolliset sähkökäyttöiset markkinoiden ehdokkaat linjastolle. Johdolliset sähkökäyttöiset voisivat olla varma vaihtoehto, kun latauksen tarvetta ei ole ja halutaan varmistua tietystä momentista.

Taulukon 3 skaala on erittäin laaja, sillä jokaisessa markkinoilla olevassa työkalussa on hyvät ja huonot puolensa. Pääsääntöisesti pistoolimalliset ovat tällä hetkellä työkaluista suosituimpia asentajien keskuudessa. Kulmamalleilla tarkoitetaan työkaluja, joiden päässä on 90-asteen kulma räikän toimintasuuntana. Jos asentajat voisivat itse säätää tarvitsemansa vääntömomentin määrän, voisi se olla hyvä ja nopea vaihtoehto, jottei työkaluja tarvitsisi vaihtaa aina tietyn momentin saavuttamiseksi.

Taulukko 3. Sähkökäyttöiset, johdolliset momenttityökalut (31; 32).

| Tuotetiedot  | Nm-alue  | Paino   | Pituus | Malli    |
|--|----------|---------|--------|----------|
| <b>Atlas Copco ETP SR31-25-10</b>  | 5-25 Nm  | 0,85 kg | 210 mm | Pistooli |
| + Tuttu muotoilu paineilmakäyttöisistä työkaluista<br>+ Hiljainen, kevyt ja pieni<br>- Momenttialue vain M8 ja M6<br>- Toimii ainoastaan Power Focus 6000:n kanssa       |          |         |        |          |
| Tuotetiedot  | Nm-alue  | Paino   | Pituus | Malli    |
| <b>Atlas Copco ETV SR21-50-10-SP</b>   | 10-50 Nm | 1,3 kg  | 332 mm | Kulma    |
| + Pieni koko<br>+ Kätevä pienemmissä tiloissa, joihin pistooli tai suoramallisilla ei päästä<br>- Momenttialue ei kata M12 ja eteenpäin                                  |          |         |        |          |
| Tuotetiedot  | Nm-alue  | Paino   | Pituus | Malli    |
| <b>Atlas Copco ETP STR61-90-13</b>   | 20-95 Nm | 2,0 kg  | 298 mm | Pistooli |
| + Tuttu muotoilu<br>+ Laaja Newtonmetri-alue<br>+ Selkeät Led-valot havainnollistamaan asentajalle kiristyksen valmiutta<br>+ Käsisuoja varmistaa sormien turvallisuutta |          |         |        |          |
| Tuotetiedot  | Nm-alue  | Paino   | Pituus | Malli    |
| <b>Atlas Copco ETD STR61-90-13</b>   | 20-95 Nm | 2,3 kg  | 491 mm | Suora    |
| + IP54<br>+ Laaja Newtonmetri-alue<br>- Ei kata M6 pulttikiristysaluetta   |          |         |        |          |

Sähkökäyttöiset johdolliset työkalut Atlas Copcolta on suunniteltu toimimaan Power Focus 6000:n kanssa. Power Focus 6000 on tuotantoon sähkökäyttöisille työkaluille suunniteltu työasema. Sillä saadaan työkaluja optimoitua tuotantoon tarvittavilla parametreilla. Siihen pystytään samanaikaisesti lisäämään kuusi eri työkalua. Kaiken lisäksi Power Focusta käyttämällä on laskettu saavutettavan yli 80 % energiasäästöjä paineilmalaitteisiin verrattuna. (32.)

Johdollisista sähkökäyttöisistä voitaisiin hyvin testata esimerkiksi osakokoonpanossa. Power Focus 6000 sopisi hyvin työpöytien ääreen, jolloin asentajien olisi helppo valita haluttu vääntömomentti ja vaihtaa tarvittavat päät työkaluun omalta pisteeltä. Testimielessä voisi tarkempaa käyttökokemusta osakokoonpanossa hakea suoramallisesta ETD



STR61-90-13. Osakokoonpanoon suora malli toimisi pistoolimallia paremmin, kun työskentely tapahtuisi työpöydällä. Näin ollen asentajan ranne ei joutuisi olemaan niin kovassa rasituksessa vaan käsi voisi toimia kohtisuoraan työkaluun nähden. Runkokokoonpanoon taas pistoolimalli ETP samaisesta tuotteesta olisi huomattavasti soveltuvampi, kun työ tapahtuu seisaaltaan taajuusmuuttajakokonaisuutta kohti. Toisaalta rungossa johdollisen työkalun ongelmat voivat pääosin kohdistua johdon toimivuuteen työpisteiden isommilla työpinta-aloilla.

#### 5.3.4 Akkukäyttöiset momenttityökalut

Taulukossa 4 esitellään linjastolle sopivia akkukäyttöisiä työkaluja. Kyselyn perusteella akkukäyttöiset työkalut ovat toivottuja linjastolle. Ne ovat yleensä nopeita käyttää ja muutenkin käteviä asentajien mielestä.

Taulukko 4. Akkukäyttöiset momenttityökalut (33).

| Tuotetiedot   | Nm-alue   | Paino   | Pituus | Malli    | Akku |
|---|-----------|---------|--------|----------|------|
| <b>Atlas Copco ETP SRB31-20-I06</b>   | 5-20 Nm   | 1,65 kg | 212 mm | Pistooli | 18 V |
| + Kevyt ja pienikokoinen<br>+ Yksinkertainen käyttää<br>- Momenttialue vain M6-M8 pulteille   |           |         |        |          |      |
| Tuotetiedot   | Nm-alue   | Paino   | Pituus | Malli    | Akku |
| <b>Atlas Copco ETP TBP81-55-10</b>  | 20-55 Nm  | 2,0 kg  | 200 mm | Pistooli | 18 V |
| + Helppokäyttöinen<br>+ Led-varustettu palautteenanto<br>+ Paino jaettu hyvin, ei väsyttä kättä<br>- Momenttialue vain pulteille M8-M10                             |           |         |        |          |      |
| Tuotetiedot   | Nm-alue   | Paino   | Pituus | Malli    | Akku |
| <b>Atlas Copco ETP TBP131-150-13</b>  | 55-150 Nm | 3,5 kg  | 227 mm | Pistooli | 36 V |
| + Korkeat momenttiluokat<br>+ Vähäinen tärinä<br>+ Paino jaettu hyvin, ei väsyttä kättä<br>+ Led-varustettu palautteenanto<br>- Momenttialue vain pulteille M12-M16 |           |         |        |          |      |

Atlas Copcon tarjoamat akkukäyttöiset momenttityökalut ovat ennestään linjastolle tuttuja. Vaikka niitä ei aiemmin ole kovin montaa ollut, ovat palautteet olleet niistä hyviä. Ne ovat käyttäjäystävällinen valinta verrattuna esimerkiksi johdollisiin momenttityökaluihin, joissa johtoa joudutaan tarvittaessa siirtämään. Akkukäyttöisiin momenttityökaluihin on nykypäivänä muutenkin panostettu huomattavasti niiden paikasta riippumattoman käytön myötä. Akkukäyttöiset työkalut voidaan myös yhdistää Power Focus 6000:n kanssa, jonka avulla työkalujen toimintoja voidaan ohjelmoida käyttöä varten. (32.) Akkukäyttöiset momenttityökalut voisivat olla mahdollinen vaihtoehto linjaston ja tarkemmin ottaen virtaliitoksen parantamisen kannalta.

Testejä varten voisi akkukäyttöisistä valita jatkoon taulukon 4 keskimmäisen TBP81-55-10. Sen vääntömomenttialueeseen osuisi yksi eniten käytetty pulttikoko M10. Muodoltaan se muistuttaisi nykyisiä ruuvinvääntimiä ja olisi muutenkin melko tutun oloinen. Uusia ominaisuuksia akkukäyttöiset toisivat linjastolle mm. värillisten ledien avulla, jotka kertoisivat työn tuloksesta käyttäjälleen reaaliaikaisesti. Mahdollisesti myös dataa kiristyksestä saataisiin kerättyä Power Focus 6000:n kanssa, jolloin löytyisi myös tarkkaa näyttöä työkalun toiminnasta.

Toisaalta akkukokoihin verrattuna myös 18 voltia suurempi 36 voltinen TBP131-150-13 voisi olla testien kannalta hyvä kohde. Akun koon merkitys olisi linjastolla myös tärkeää, jottei akkua tarvitsisi koko ajan olla vaihtamassa, eikä työtahti näin ollen kärsisi. Kyseisellä työkalulla onnistuisi ainoastaan isoimmat virtaliitokset M12:lla ja siitä eteenpäin. Vaikka käyttöalue on melko suppea, voitaisiin testejä miettiä pelkästään suuremman akun kannalta.

Työkaluja uusimalla voitaisiin asentajille antaa uutta näkökulmaa virtaliitosprosessin kehityksessä. Tällä voitaisiin parantaa asentajien työntekoa niin mielenkiintoisemmaksi kuin myös ergonomisemmaksi. Jos vanhemmat työkalut eivät jostain syystä toimi halutulla tavalla tai ne ovat muuten vaikeita käyttää, saattaa asentajien mielipiteet asiasta myös haitata työntekoa. Jatkuvan parantamisen ehdotukset ovat myös hyvä tapa saada tilannetietoja asentajilta. JP-ideoihin voitaisiin myös ottaa käyttöön työkaluja koskevat parannusehdotusideat. Näin asentajien olisi myös helpompi päästä osaksi työkalujen valintaa ja antaa omaa näkemystään niin nyky- kuin myös tulevaisuuden tilanteista.

## 5.4 Datan tallennus sekä laadun varmennus

Nykyään tuotantoon on valmistettu myös datan tallettamiseen sekä laadun varmentamiseen useita erilaisia työkaluja. Tarkoituksena on ylläpitää laatua sekä varmistua oikeanlaisen tiedon saannista linjastolta. Tietoa voidaan kerätä nykypäivänä niin työkaluista kuin niillä tehdyistä pulttiliitoksista. Erilaisia laitteita ja työkaluja on kyseiseen työhön valmistettu laaja kaari, joten skaalaa on pienennetty tiettyihin laitteisiin, joista minun mielestäni voisi olla hyötyä tuotannon kokoonpanolinjastolle.

Datan tallennusta voidaan suorittaa niin kiinteästi verkkopiuhilla kuin myös langattomana bluetoothin tai sisäisen verkkoyhteyden avulla. Langattomat toimisivat linjastolla huomattavasti paremmin, jos taajuusmuuttajaa joudutaan kiristelemään kaapin ympäri useista suunnista melko nopein vaihteluihin. Tilanteissa langalliset laitteet saattaisivat olla esteenä kaapin ympärillä toimimisessa tai johdot saattaisivat vioittua melko helposti nopeiden suunnan muutosten tai asentajan nopeiden liikkeiden myötä. Toisaalta paineilmalla toimivat työkalut ovat toimineet funktiossaan hyvin, eivätkä ne ole olleet ongelmana linjastolla johtojensa perusteella, joten niitä voitaisiin verrata johdollisiin dataa kerääviin työkaluihin.

Atlas Copcon tarjoamissa vaihtoehdoissa keskitytään liittämään momenttityökalut esimerkiksi linjaston eri pisteillä oleviin Power Focus 6000:een, jonka kautta tietoa saataisiin IP-osoitteen tai IRC-W moduulin kautta pääverkkoyhteyden myötä tietokoneelle.

Esitellyt vaihtoehdot on valmistanut Atlas Copco. Heidän työkalunsa ovat linjastolla ennestään tuttuja ja niistä lopputuloksena syntyvä laatu on useasti tuotannossa hyväksi todettua.

### 5.4.1 STwrench

STwrench on Atlas Copcon laadunvarmistukseen valmistettu monikäyttöinen vääntötyökalu. Työkalu on tehty manuaalisesti valmistettavien tuotannon kokoonpanosovelluksien pariin varmistamaan tarkkuutta, kestävyyttä sekä ergonomiaa. STwrench on mahdollista muokata omiin käyttötarkoituksiin juuri oikeanlaiseksi. Atlas Copco kuvailee työkalua

modulaariseksi, joka tarkoittaa erilaisten komponenttien lisäämismahdollisuutta STwrenchiin. Kaiken näiden lisäksi STwrench mahdollistaa koko kiristystoiminnan jäljitettävyyden mukaanlukien vääntömomentin, kulman sekä murtolujuuden hallinnan. Työkalua voidaan käyttää tarkkaan kiristykseen tai siitä voidaan tehdä laaduntarkistukseen käytettävä yleistyökalu.



Kuva 13. Atlas Copcon STwrench (34).

Atlas Copco on koonnut STwrenchistä ominaisuuslistaa seuraavanlaisesti:

- vaihdettavat päätyvarusteet varustettuna patentoidulla PSET-tunnistusteknologialla
- täysi jäljitettävyys erilaisista sovelluksista
- tarkkaan kulmamittaukseen elektroninen gyroskooppi
- pienikokoinen kompakti pää, joka mahdollistaa ahtaisiin tiloihin pääsemisen ja varmistaa operaatioiden vakauden
- sisällä kirkkaan Led-valo, joka valaisee pimeämmät paikat
- kommunikaation käyttöliittymiin tehty USB- sekä WiFi-liitännät
- Easy-to-read -näyttö, jota voidaan lukea jopa 180-asteen kulmassa
- neljä signaalivaloa palautteenantoon, joita voi havainnoida laitteen ympäri
- ergonominen värisevä kahva, joka varmistaa oikeanlaisen käytön (35).

#### 5.4.2 STa 6000 Data Analyzer

STa 6000 Data Analyzer on Atlas Copcon valmistama laite työkalujen tarkkuutta, toistettavuutta sekä suorituskykyä tarkistamaan. Se on valmistettu sähkötyökaluille sekä momenttiavaimille, joiden suorituskyvystä halutaan jatkuvasti olla tarkkana. Kyseinen laite

on hieman nykyistä älypuhelinta isompi, muistuttaen ulkonäöltään yleismittaria. Laite painaa puoli kiloa ja sisältää 3.2":n näytön. Tiedonsiirtoa helpottamaan on laitteessa ulostulot mini-usb:llä sekä ethernetillä. Laitteen akkukesto on valmistajan mukaan normaalkäytössä 8h, ja kahden mittauksen minuuttitahdilla 6 h.



Kuva 14. STa 6000 Data Analyzer (36).

STa 6000 Data Analyzerissa on selkeä palautteen anto ja täysin muokattavissa olevat tiedot. Laitteen käyttöön ei vaadita tietokonetta, sillä laite itsessään toimii dataa analysoivana. Laitetta voidaan myös käyttää erilaisten sivukomponenttien kanssa testaamaan työkalujen soveltuvuutta kokoonpanolinjalle. Sivukomponenteilla voidaan tarkoittaa esimerkiksi SRTT-L -lisäosaa, jolla pystytään tarkistamaan pienempien vääntömomenttien paikkaansa pitävyyttä. Myös muistiinpanojen lisääminen on tehty helpoksi. Niitä voi kirjoittaa laitteen toiminnan ohella tai ennen mittausten alkua etukäteen nopeasti valittaviksi.

Suorituskyky kokoonpanolinjastolla on erittäin tärkeää ja se on suoraan näkyvissä laadun tasosta. Tästä syystä työkalujen tarkistaminen linjastolla on välttämätöntä. STa 6000

Data Analyzerilla pystyvät laaduntarkkailijat kävelemään linjaa lävitse ja testaamaan työkaluja häiritsemättä tuotantoprosessia. Parhaiten laitetta voidaan ohjelmoida yhdessä Tools talk BLM -tietokoneohjelmiston kanssa. Laatutiimiläiset voivat ohjelmoida laitteen juuri halutuilla arvoillaan omilta koneiltaan ja saada testien tulokset sekä jäljitykset vastaavanlaisesti takaisin koneilleen. (37.)

#### 5.4.3 ToolsTalk BLM

Tools talk BLM on tietokoneohjelmisto STa 6000:n sekä STwrenchin asetusten hallitsemiseen. Reaaliaikainen kiristysohjelmien muokkaus ja luominen mahdollistavat selkeän kuvan linjaston työkalujen toiminnasta sekä varmuudesta. Myös off-line -ohjelmointi sekä varmuuskopioiden luominen onnistuvat ToolsTalk-ohjelmistolla. ToolsTalk BLM takaa näiden lisäksi laitekonfiguraation, kiristystulokset sekä jäljitykset, ja se sisältää Excel-tietokannan STa 6000-tuloksille.

ToolsTalk -ohjelmistoratkaisut ovat tehty yhteen kokonaisuuteen, josta työkalujen tarkkaileminen ja toiminta on tehty käyttäjäystävälliseksi. Sillä saadaan esiin kokonaiskuvaa linjaston toiminnasta ja voidaan näin ollen tarkkailla työssä toimivien työkalujen suoriutumista. Datan keräys onnistuu niin langattomasti kuin myös langallisesti. Parhain keino datan keräykseen voisi olla linjastolla oleva Power Focus 6000, johon liitettäisi etäluettavat tai johdolliset sähkökäyttöiset momenttityökalut. Liittäminen onnistuisi joko bluetoothin tai sisäisen verkkoyhteyden kautta, ja data siirtyisi Power Focus 6000:een. Power Focuksen IP-osoitteella päästäisiin käsiksi kerättyyn dataan laatutiimin koneelta, jolloin pystyttäisiin havainnoimaan linjaston tilanteita suoraan koneelta.

Atlas Copco mainostaa ToolsTalk BLM:ää seuraavasti:

- useiden ohjaimien samanaikainen johtaminen
- kenttävyölien ja tarvikkeiden konfigurointi
- yhteensopivuus Power Focus 6000:n kanssa
- huippuluokan käyttäjäkokemus
- tietokanta kiristysohjelmien sekä muutosten tallettamiseen
- digitaalinen sekä fyysinen toimitus (38).

## 6 Pohdinta

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää ABB:n Multidrive-osaston virtaliitosprosessin varmentamisen nykytilanne ja etsiä sille parannusehdotuksia erilaisten mahdollisuuksien havainnoinnin sekä ehdotusten avulla. Virtaliitosta ja sen varmistamista tarkasteltiin tarkemmin ja keskityttiin perinteiseen momenttiliitokseen ja sen toimintaperiaatteeseen. Momenttityökaluja listattiin niiden energialähteiden perusteella ja näin ollen virta- sekä momenttiliitoksen kiristykseen tarvittavat työkalut saivat tilannekatsauksen linjastolta. Insinööriyön tuloksena saatiin linjastolta selkeä kuva virtaliitoksen varmentamisen nykytilanteesta sekä isommista virhetilanteista, joista virtaliitoksen mahdollinen kiristämättömyys johtui.

Nykytilanteen katsaus sekä koko insinööriyö opettivat minulle momenttityökalujen toimintaa, virtaliitoksen varmistamisen tärkeyden sekä laajemman projektikuvan hahmottamisen uusin silmin. Asentajien mielipiteet ja omat käyttökokemukset olivat erittäin tärkeitä lisä insinööriyön onnistumisen kannalta. Heidän yhteisöllisyytensä ja halunsa olla avuksi työssä antoivat minulle selkeää tietoa nykytilanteesta ja sen parantamisesta.

Isojen muutosten tekeminen virtaliitosprosessissa on hankalaa. Kun kyse on yksinkertaisesta liitoksesta, jonka tekemiseen on olemassa selkeät ohjeet, saadaan ohjeita noudattamalla toimintavarmuus 100 %:ksi. Ohjeet sivuuttamalla on hyvin todennäköistä, että virheitä ilmenee aina silloin tällöin. Toimintaperiaatteet liitoksen varmistamiseen ovat asentajille hyvin tiedossa, mutta niitä ei välttämättä noudateta niin kuin kuuluisi. Tämä on varmasti yksi suurimmista syistä, jonka takia kiristämätön tai löysälle jäänyt liitos jatkaa linjastolla kulkua eteenpäin. Ohjeet tulisi mahdollisesti kerrata asentajille ja niitä kuuluisi painottaa asiallisesti, jotta asentajat varmasti tietäisivät, kuinka tärkeästä liitoksesta niin taajuusmuuttajakokonaisuuden kuin myös laadun ja näin ollen ABB:n kannalta on.

Kehitystä voitaisiin tehdä myös työkaluja päivittämällä. Asentajilla on mielenkiintoa uusista työkaluista ja töiden yksinkertaistamisesta. Tärkeimpänä työkaluissa korostui helpokäyttöisyys. Tämän hetken työkaluissa ei sinänsä ole mitään vikaa, mutta asentajien kannalta tilannetta voitaisiin helpottaa ja työhyvinvointia parantaa uudemmilla ja ergono-

misilla työkaluilla. Vaikka työkalujen kaari markkinoilla on laaja, voitaisiin osalle työkaluista suorittaa erilaisia testejä linjastolla, jotta saataisiin käyttökokemusta ja tietoa niiden toiminnasta sekä soveltuvuudesta linjastolle.

Testejä voitaisiin suunnitella useista eri näkökulmista ja erilaisia työkaluja voitaisiin testata eripuolilla linjaston kokoonpanovaiheissa. Esimerkiksi paineilmakäyttöisiä, joita tällä hetkellä linjastolla käytetään huomattavasti eniten, voitaisiin korvata testimielessä sähkö- tai akkukäyttöisillä momenttityökaluilla. Hyvä testiesimerkki saataisiin jo kuukauden testillä linjastolla. Tietenkin tulisi myös ottaa huomioon, että lopullinen testin tulos saataisiin myöhemmin joko koestamon testauksen ohella tai viimeistään kun taajuusmuuttaja on käyttökohteessaan toiminnassa.

Esitelyjen uusien työkalujen listasta voitaisiin tarkempaan testiin valita Atlas Copco CWR-50 mekaaniseksi momenttityökaluksi. Mekaanisen momenttityökalun käyttöalue on melko pieni, ja se painottuu pääosin sulakkeiden sekä erittäin hankalien paikkojen kiristykseen, joihin ei muilla momenttityökaluilla päästä. CWR-50:n toiminta-alue sopisi hyvin pienempien sekä keskisuurten virtaliitosten kiristämiseen.

Paineilmaisista testiin voitaisiin ottaa EP8PTI70 HR10-MT. Se muistuttaa pääosin nykyhetken paineilmatyökaluja ja sillä voitaisiin kiristää eniten käytetyt pulttikoot M10-M12 virtaliitoksissa, koska toimintaperiaate on samanlainen kuin nykyisillä paineilmatyökaluilla, asentajille työkalu olisi käytännössä ennestään tuttu, eikä turhan suuria muutoksia tapahtuisi kerralla.

Perinteisten linjaston momenttityökalujen ohella voitaisiin kuitenkin huomiota painottaa akku- sekä sähkökäyttöisiin johdollisiin momenttityökaluihin. Ne ovat tämän työn ohella osoittautuneet erittäin varmoiksi sekä monipuolisiksi työkaluiksi. Niillä saataisiin myös tarkemmin perehdyttyä kiristysten laatuun sekä työkalujen kunnossapitoon. Testimielessä huomiota voitaisiin painottaa myös akkujen keston raskaassa teollisuuskäytössä, työergonomian parantamiseen sekä yleiseen käyttäjäkokemukseen asentajien keskuudessa. Kun uudenlaista dataa saataisiin linjastolta niin työkaluista kuin niiden kiristämistä liitoksista, voitaisiin testeissä keskittyä myös tarkemmin asentajien kommentteihin sekä käyttökokemuksiin uusissa työkaluissa, näin ollen saataisiin myös varmaa näyttöä ja faktaa työkalujen soveltuvuudesta linjastolle.



Tällaisia testejä voitaisiin suorittaa muun muassa Atlas Copcon sähkökäyttöiselle johdolliselle ETP- sekä ETD STR61-90-13, jotka yhdistettäisiin Power Focus 6000:n kanssa, sekä akkukäyttöiselle ETP TBP81-55-10 momenttityökalulle. ETP-sarjan työkalut ovat pistoolimallisia, ja ne ovat osoittautuneet yhdeksi käytetyimmistä työkalumalleista. Akkukoon ollessa 18 voltia pitäisi akunkestoon myös kiinnittää huomiota. Toimisiko akku raskaassa teollisuuskäytössä halutulla tavalla ja riittäisikö lataus raskaaseen teollisuuskäyttöön vaaditulla tavalla?

Vaikeampiin paikkoihin, joihin näillä työkaluilla ei päästäisi, voitaisiin tukeutua mekaaniisiin momenttityökaluihin. Näiden ohella testaukseen tarvittaisiin selkeästi Power Focus 6000 momenttityökalujen asetusten ohjelmoimiseen. Kun työkalut liitettäisiin siihen, saataisiin tarvittavaa dataa kerättyä töiden teon etenemällä tahdilla. ToolsTalk -ohjelmistoon yhdistettynä, voisi laatutiimi tarkkailla työkalujen toimintaa sekä liitosten kiristyksen dataa jopa omalta koneelta käsin. Tämä helpottaisi jälleen yleistä työskentelyä ja turhaa ajankäyttöä, kun dataa ei tarvitsisi jokaiselta työpisteeltä erikseen käydä hakemassa.

Työpinta-alojen suuruuksien vaihdellessa työpisteissä, voitaisiin tarkemmin testata, miten akku- sekä johdolliset sähkökäyttöiset työkalut soveltuisivat linjaston eri työpisteisiin. Vastakkain aseteltuina, hyvänä esimerkkinä toimivat runko- sekä osakokoonpano, joissa työpisteiden väliset erot ovat huomattavat. Osakokoonpanossa asentajan tekemä työ voidaan suorittaa pääosin istualtaan oman työpöydän ääressä, kun taas runkokokoonpanossa työpinta-ala vaihtelee taajuusmuuttajan kuljetuspituuden mukaan, mikä tarkoittaa käytännössä useiden metrien vaihtelevuutta asiakkaan tilauksen mukaan.

Työpinta-alan ollessa suuri ja työn sijainnin vaihdellessa huomattavin väliajoin on melko selvää, että akkukäyttöinen työkalu ajaisi asiansa johdollista työkalua paremmin. Näin ollen työkalun johto ei vaikuttaisi asentajan käyttökokemukseen ja työkalun eri käyttösuunnat mahdollistettaisiin tarvittavan asennussuunnan mukaan. Kun taas työpinta-ala on pieni ja työ tapahtuu pääosin samassa pisteessä, voisi olettaa, että johdollinen työkalu sopisi työn suorittamiseen vähintään yhtä hyvin tai paremmin kuin akkukäyttöinen työkalu. Toisaalta asentajien eniten käyttämät työkalut ovat paineilmaisia, ja toimivat paineilmaletkun kera, joten johdollisten työkalujen haittoja ei voida yleistää linjastolla ainaakaan johdon perusteella. Kuitenkin oikeiden työkalujen saanti niille sopiviin työpisteisiin

saavuttaisi parannusta myös työergonomiassa, sillä työkalut mahdollistaisivat asentajien työnteon muokattavuuden tilanteesta riippumatta.

Esiteltyjen työkalujen lisäksi testejä voitaisiin tehdä myös laadun kannalta hieman erilaisista näkökulmista. Testejä varten voitaisiin miettiä kuinka Power Focus 6000:lla, Data Analyzerilla tai STwrenchillä saataisiin virtaliitoksen varmistusta sekä linjaston muita töitä parannettua. Power Focuksella päästäisiin työkalujen ohjelmointiin huomattavasti nykyistä tilannetta paremmin. Asetuksia vaihtelemalla, voisi jokainen asentaja itse asettaa halutun vääntömomentin määrän ja sivussa antaa dataa työskentelystään kirjallisena, kun kone lähettäisi datan laatutiimin tarkkailtavaksi reaaliajassa.

Data Analyzerilla voitaisiin ajoittain keskittyä työkalujen toimintakuntoon. Tällä voitaisiin tarkistuspisteellä tai linjaston työnteon ohella testata laitteiden suoritustasoa sekä virta- ja mekaanisten liitosten pitävyyttä. Kyseinen laite toimisi satunnaisten tarkistusten tekoon erittäin hyvin, jolloin varmistuttaisiin työnteon laadusta työkalujen toiminnan myötä. Toisaalta jatkuvaan työkalujen toimintakunnon tarkistamiseen lyhyin väliajoin en kuitenkaan näkisi itse tarvetta. Asentajat ovat käyttäneet työkaluja vuosia jo ennestään, joten on melko todennäköistä, että jos he huomaavat työkalun toiminnassa eroja, ilmoittavat he asiasta piakkoin laatutiimille tai omalle esimiehelleen.

STwrenchillä testeihin voitaisiin keskittyä joko satunnaisten tarkastusten parissa, erillisellä tarkastuspisteellä tai jatkuvan tarkastamisen tyyllillä. Stwrench kertoisi saman tien tarkan vääntömomentin määrän liitoksessa. Myös pituuden säädettävyys sekä erilaiset lisäominaisuudet tarjoaisivat STwrenchistä hyvää varmistustyökalua virtaliitoksen pariin.

Stwrenchillä voitaisiin myös koettaa tyyliä, jossa virtaliitoksen varmistaja, eli toisin sanoen asentaja B tarkastaisi liitoksen STwrenchillä. Tarkastaja saisi liitoksen tarkan vääntömomentin määrän, ja tulosta voisi verrata suoraan virtaliitokset ja momenttitaulukko listaan. Kun tulos täsmäisi, merkkaisi asentaja B mustan tussin virtaliitoksen varmistuksen merkiksi. Kyseinen tekniikka vaatisi myös asentajien mielipiteitä, olisiko se toimiva vai ei. Tässä tyyliässä kriittinen osa on nimenomaan, että toinen asentaja tekisi tarkistuksen, eikä itse liitoksen alkuperäinen kiristäjä. Tämä käytännössä veisi työnteolta lisää

aikaa, mutta varmistaisi virtaliitoksen olevan oikeassa vääntömomentissaan erittäin tarkasti. Tästä voitaisiin hyväksi todettuna myös tehdä yleinen päivitys virtaliitoksen varmistus -ohjeeseen.

STwrench muistuttaa kokonsa ja mallinsa puolesta tuttua mekaanista momenttiavainta. Kuitenkin eri säädettävyyksien avulla sitä saadaan pienennettyä ja suurennettua, joka eroaa nykyisistä mekaanisista momenttiavaimista. Eri kärjillä päästäisiin melko varmasti myös hankalampiin paikkoihin käsiksi, joten virtaliitoksen varmistus onnistuisi. STwrenchin muokattavuus sekä yksinkertaisuus tekevät siitä varmasti asentajille mieluisan työkalun virtaliitosprosessin pariin.

Testejä tulisi jatkoa varten valmistella huolellisesti. Asentajista voitaisiin koota testiryhmää, jokaisesta linjaston osasta esimerkiksi työpari. Testit tulisi tehdä suunniteltuina valmiiksi, ennen kuin itse työkalu saataisiin linjastolle käyttöön. Uusien testattavien työkalujen myötä käyttäjäkoulutukseen tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Käyttäjäkoulutuksella varmistuttaisiin työkalujen oikein käytöstä sekä laadun parantamisesta. Tärkeimpänä kuitenkin kaikesta olisi, kuinka hyvin uudet työkalut ajaisivat nykyisten työkalujen sijaa ja kuinka työkalujen toiminta edesauttaisi nimenomaan virtaliitoksen varmistamista. Mielestäni näillä ohjeilla päästäisiin hyvin alkuun uusien työkalujen hankintojen parissa.

Kokonaisuudessaan insinööri työ onnistui hyvin. Vaihtoehtoisia ratkaisuja saatiin kerättyä koko työn ajan ja työstä saatiin selkeitä ehdotuksia esiteltyinä laatutiimille virtaliitosprosessin parantamiseksi. Prosessin parantamisen ensi askeleena tulisi virtaliitoksen varmistamiseen tarvittavat osa-alueet kerrata vielä asentajien keskuudessa huolellisesti ja varmistaa, että jokainen ymmärtää tarvittavat tekotavat.

## Lähteet

- 1 ABB lyhyesti Suomessa. 2019. Verkkoaineisto. ABB. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa> s.1. Luettu 17.9.2019.
- 2 ABB history. 2019. Verkkoaineisto. ABB. <https://new.abb.com/about/history> s.1. Luettu 17.9.2019.
- 3 Aura, Lauri - Tonteri, Antti J. WSOY, 1996. Teoreettinen Sähkötekniikka. Porvoo: Werner Söderström Osakeyhtiö. Luettu 19.9.2019
- 4 Why work with Multidrives. 2017. Verkkoaineisto. Design Worldwide. <https://www.designworldonline.com/why-work-with-multidrives/>. Luettu 19.9.2019.
- 5 Hietalahti, Lauri. Tammertekniikka, 2012. Säädetyt Sähkötölkörikäytöt. Tampere: Amk-Kustannus Oy. Luettu 19.9.2019.
- 6 Hietalahti, Lauri. Tammertekniikka, 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Tampere: Amk-kustannus Oy. Luettu 20.9.2019
- 7 ABB industrial drives. 2018. Sisäinen verkkoaineisto. ABB. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000115037&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. Luettu 23.9.2019.
- 8 Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2018. Sähköasennusopas. Espoo: Sähköinfo Oy. Luettu 20.9.2019
- 9 Smartbolts. 2019. Verkkoaineisto. Industrial Indicators. <http://www.smartbolts.com/insights/nut-factor-affect-torque/>. Luettu 25.9.2019.
- 10 Bolt Science. 2018. Verkkoaineisto. Bolt Science Limited. <http://www.boltscience.com/pages/basics1.htm>. Luettu 26.9.2019.
- 11 Copper Development Association. 2018. Verkkoaineisto. Copper Alliance. [http://copperalliance.org.uk/uploads/2018/03/copper\\_for\\_bus-bars\\_book\\_web\\_version.pdf](http://copperalliance.org.uk/uploads/2018/03/copper_for_bus-bars_book_web_version.pdf). Luettu 27.9.2019.
- 12 High Tensile Bolts 8.8. 2016. Verkkoaineisto. Bhansali Overseas. <https://www.bhansalioverseas.com/high-tensile-bolts-8-8-supplier-exporter.html>. Luettu 28.9.2019.

- 13 Hautala, Mikko – Peltonen, Hannu. 2014. Insinöörin (Amk) Fysiikka, osa 1. Saarijärvi: Lahden Teho-Opetus Oy. Luettu 24.9.2019
- 14 ACS880-17-taajuusmuuttajat. 2017. Verkkoaineisto. ABB. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AXD50000117994&LanguageCode=fi&DocumentPartId=1&Action=Launch>. Luettu 25.9.2019
- 15 TM vertailu: Momenttiavaimet. 2008. Verkkoaineisto. Tekniikan Maailma. <https://tekniikanmaailma.fi/tm-vertailu-momenttiavaimet/>. Luettu 25.9.2019.
- 16 Proper torque wrench techniques. 2010. Verkkoaineisto. Construction Equipment. <https://www.constructionequipment.com/proper-torque-wrench-techniques>. Luettu 26.9.2019.
- 17 Tervola, Janne. 2003. Verkkoaineisto. Tekniikka ja talous. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/aika-maaraa-momentin/13225d85-ab4a-3a34-95eb-2f78d442d449>. Luettu 26.9.2019.
- 18 Hulkkonen, Veli. Pneumatiikan perusteita. 2005. Verkkoaineisto. Fluid Klinikka. <https://www.salhydro.fi/files/PDF/9.pneumatiikan-perusteita.pdf>. Luettu 30.9.2019.
- 19 Pocket Guide To Air Motors. 2015. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/itba/about-industrialtechnique/brochures-and-catalogs/pocket-guides> Luettu 30.9.2019.
- 20 When to use a pneumatic torque wrench. 2016. Verkkoaineisto. Maxprocorp. <https://blog.maxprocorp.com/when-to-use-a-pneumatic-torque-wrench>. Luettu 1.10.2019.
- 21 When to use an electric torque wrench. 2016. Verkkoaineisto. Maxprocorp. <https://blog.maxprocorp.com/when-to-use-an-electric-torque-wrench>. Luettu 1.10.2019.
- 22 Electric torque wrenches. 2019. Verkkoaineisto. EDM Baltic. <https://www.edmbaltic.lt/en/products/bolt-tightening-equipment/electric-torque-wrenches.htm>. Luettu 1.10.2019.
- 23 Low reaction battery tools. 2019. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/battery-assembly-tools/Low%20reaction%20battery%20tools.pdf>. Luettu 2.10.2019.

- 24 How Lithium-ion batteries work. 2019. Verkkoaineisto. How Stuff Works. <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/lithium-ion-battery.htm>. Luettu 2.10.2019.
- 25 CWR-momenttiavaimet. 2019. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/itba/products/assembly-solutions/wrenches/cwr-click-wrench?index=0&filter=torque-range-min-nm-decimal-2.0-Nm---21.33-Nm&filter=torque-range-max-nm-decimal-20.0-Nm---113.33-Nm>. Luettu 7.10.2019.
- 26 ATB-sarjan asteikolliset momenttiavaimet. Torqueleader. 2019. Verkkoaineisto. Haitor Oy. <https://www.haitor.com/fi/tuotteet/?cat=e03745225141d6b541037bd7c0a8210a&mfr=&rng=&id=540b537b516c05164610358f57ecaac4>. Luettu 7.10.2019.
- 27 Tarvikkeita akku-, sähkö- ja paineilmatyökaluille. 2019. Verkkoaineisto. Bahco. <https://www.bahco.com/fi-fi/p/mechanical-adjustable-torque-click-wrench-window-scale-fixed-push-through-ratchet-head/a6-ca-ae-4d-03-8f-17-b9-53-04-49-81-bc-c4-67-6f/>. Luettu 7.10.2019.
- 28 ErgoPulse leaflet. 2015. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/pneumatic-assembly-tools/1810%2001%20Atlas%20Copco%20ErgoPulse.pdf>. Luettu 8.10.2019
- 29 Pulse Tool Innovation leaflet. 2019. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/pneumatic-assembly-tools/Ergopulse-PTI-Pulse-Tools-Leaflet.pdf>. Luettu 8.10.2019.
- 30 Tekkor-sarja. 2019. Verkkoaineisto. Haitor Oy. <https://www.haitor.com/fi/tuotteet/?cat=&mfr=tekkor-by-haitor&rng=&id=4479e1915928237cad69004a53967fd4>. Luettu 8.10.2019.
- 31 Industrial tools and solutions. 2018. Verkkoaineisto. Atlas Copco. [https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/catalogs/Industrial%20Tools%20and%20Solutions\\_uk.pdf](https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/catalogs/Industrial%20Tools%20and%20Solutions_uk.pdf). Luettu 9.10.2019.
- 32 Power Focus 6000 and Tensor STR. 2019. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/electric-assembly-tools-and-systems/2025%2001%20Power%20Focus%20and%20Tensor%20STR.pdf>. Luettu 9.10.2019.

- 33 Low reaction tools leaflet. 2019. Verkkoaineisto. Atlas Copco. [https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/battery-assembly-tools/9833210901\\_LRT\\_low-spread.pdf](https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/battery-assembly-tools/9833210901_LRT_low-spread.pdf). Luettu 10.10.2019.
- 34 STwrench. 2019. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <https://www.atlascopco.com/en-us/itba/products/assembly-solutions/quality-assurance-in-tightening-and-fastening/wrenches/stwrench>. Luettu 21.10.2019.
- 35 STwrench. 2017. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/quality-assurance-and-manual-fastening/1909%2001%20STwrench.pdf>. Luettu 14.10.2019.
- 36 STa 6000 Data Analyzer. 2019. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <https://www.atlascopco.com/en-us/itba/products/assembly-solutions/quality-assurance-in-tightening-and-fastening/data-collectors/sta-6000>. Luettu 21.10.2019.
- 37 STa 6000 Data Analyzer. 2015. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/quality-assurance-and-manual-fastening/2009%2001%20STa%206000%20Data%20analyzer.pdf>. Luettu 14.10.2019.
- 38 ToolsTalk BLM. 2019. Verkkoaineisto. Atlas Copco. [https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/electric-assembly-tools-and-systems/Toolstalk\\_2\\_.pdf](https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/electric-assembly-tools-and-systems/Toolstalk_2_.pdf). Luettu 22.10.2019.

## 1. Virtaliitokset- ja momenttitaulukko

| Combiruuvi                   | Virtaliitos Nm   |              |                          | Huom!   |
|------------------------------|------------------|--------------|--------------------------|---|
| M3                           | 05               |              |                          | Lujuus 4.6...8.8  |
| M4                           | 1...2            |              |                          | Lujuus 4.6...8.8  |
| M5                           | 4                |              |                          | Lujuus 8.8  |
| M6                           | 9                |              |                          | Lujuus 8.8  |
| M8                           | 22               |              |                          | Lujuus 8.8  |
| M10                          | 42               |              | Kts.Poikkeavat liitokset | Lujuus 8.8  |
| Pultti                       | Virtaliitos Nm   |              |                          | Huom!   |
| M6                           | 9                |              |                          | Lujuus 8.8  |
| M8                           | 22               |              |                          | Lujuus 8.8  |
| M10                          | 42               |              |                          | Lujuus 8.8  |
| M12                          | 70               |              |                          | Lujuus 8.8  |
| M16                          | 120              |              | Kts.Poikkeavat liitokset | Lujuus 8.8  |
| Torx-ruuvi                   | Virtaliitos Nm   |              | Mekaaninen liitos Nm     | Huom!   |
| M6                           | 5                |              | 5                        | Runkomaadoitus  |
| Vaarnaruuvi sulakkeeseen     | Bussman Nm       | Ferraz S. Nm | Vaarnan kiristys Nm      | Huom!   |
| 8                            | 20               | 13,5         | Käsin, tai max 5Nm       | Lujuus 8.8  |
| 10                           | 40               | 26           | Käsin, tai max 5Nm       | Lujuus 8.8  |
| 12                           | 50               | 46           | Käsin, tai max 5Nm       | Lujuus 8.8  |
| Kaapelikenkä                 | Virtaliitos Nm   |              |                          | Huom!   |
| M8                           | 15               |              |                          | Lujuus 8.8  |
| M10                          | 32               |              |                          | Lujuus 8.8  |
| M12                          | 50               |              |                          | Lujuus 8.8  |
| Poikkeavat liitokset         | Virtaliitos Nm   |              | Mekaaninen liitos Nm     | Huom!   |
| M6 Serpress                  | 5                |              |                          | Lujuus 5.8  |
| M8 Serpress                  | 15               |              |                          | Lujuus 5.8  |
| M10 Serpress                 | 35               |              |                          | Lujuus 5.8  |
| M10 Combiruuvi               | 10               |              |                          | LCL-kondensaattoriin  |
| M16 Pultti                   | 80               |              |                          | LCL-kuristimen virtakiskot  |
| M16 Pultti                   |                  |              | 70                       | Nostopalkin kiinnitys   |
| Pohjaruuvi M12 Napa M10      | 7                |              | 10                       | B32373A8826J050 (82uF EpcosTDK)<br>B32373A8606J050 (60uF, EpcosTDK)Capasitor (Sine filter)            |
| Pohjaruuvi M12 Napa M10      | 9                |              | 15                       | E62.P24-803C60 (80uF, Electronicon)<br>E62.R16-603C60 (60uF, Electronicon)<br>Capasitor (Sine filter) |
| Kiinnitysruuvi M6 napa M5/M6 | 3 (M5) ja 5 (M6) |              | 5                        | SKKD81/22 ja 192/22<br>LC:n latausdiodi   |



## 2. Virtaliitosprosessi – Kysely

Kysely suoritetaan ABB:n linjaston runko- sekä osakokoonpanossa, joissa virtaliitoksia pääosin valmistetaan. Vastaukset ovat nimettömiä. Tarkoituksena on kerätä tietoa virtaliitoksista. Kyselyn tuloksia käytetään insinööriyössä ja niistä tehdään yhteenveto havainnollistamaan kerättyä tietoa.

Kyselyn täyttämiseen menee noin 5 minuuttia. Ympyröi valitsemasi vaihtoehto, ellei toisin mainita.

Seuraavissa kysymyksissä numerot tarkoittavat seuraavaa:

1-huonosti, 2-kohtalaisesti, 3-tyydyttävästi, 4-hyvin, 5-erinomaisesti

**A. Kuinka hyvin mielestäsi tunnet nykyisen Virtaliitokset ja momenttitaulukko -ohjeen?**

1                      2                      3                      4                      5

**B. Kuinka selkeänä pidät virtaliitokseen valmistettua momenttitaulukkoa?**

1                      2                      3                      4                      5

**C. Kuinka hyvin nykyiset momenttityökalut ajavat tarvittavat asiansa?**

1                      2                      3                      4                      5

Seuraavissa kysymyksissä numerot tarkoittavat seuraavaa:

1-en koskaan, 2-harvoin, 3-joskus, 4-melko usein, 5-hyvin usein.

**D. Kuinka usein turvaudut tarkistamaan oikean momentin Virtaliitos- ja momenttitaulukosta?**

1                      2                      3                      4                      5

**E. Kuinka usein käytät seuraavia työkaluja momenttiin kiristykseen:**

- Mekaanisia työkaluja

1                      2                      3                      4                      5

- Paineilma työkaluja

1                      2                      3                      4                      5

- Akkukäyttöisiä työkaluja

1            2            3            4            5

- Johdollisia sähkökäyttöisiä työkaluja

1            2            3            4            5

**F. Kuinka usein suoritat koko virtaliitosprosessin alusta loppuun asti itse? (kiristys ja tarkistus)**

1            2            3            4            5

Vapaa sana -osio:

**G. Jos teet kiristuksen ja tarkastuksen itse, onko tähän jotain tiettyjä syitä?**

**H. Voisiko virtaliitosprosessia parantaa mielestäsi jollain tapaa?**

**I. Tuleeko mieleesi uusia momenttityökaluja, jotka soveltuisivat virtaliitosprosessin parantamiseen omassa työssäsi tai yleisesti?**

Kiitos vastaamisesta!