



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jennimaria Hyvärinen

KOKOONPANON TEHOSTAMINEN KONVERTTERITUOTANNOSSA

Tekniikka ja liikenne
2014

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|---|
| Tekijä | Jennimaria Hyvärinen |
| Opinnäytetyön nimi | Kokoonpanon tehostaminen konvertterituotannossa |
| Vuosi | 2014 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 45 |
| Ohjaaja | Timo Karhunen |

Tämä opinnäytetyö tehtiin The Switch Drive Systems Oy:lle Vaasassa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia erään täystehomuokkain- eli konvertterikaapin kokoonpanon tehostamista ja tuotteen kokoonpanokustannusten pienentämistä.

Opinnäytetyön tavoitetta lähdettiin hakemaan tutkimalla tuotteen kokoonpantavuutta yhteistyössä The Switchin konvertteripuolen tuotesuunnittelijoiden, asentajien ja tuotantoinsoörien kanssa. Kokoonpanon tehostamista tutkineen Geoffrey Boothroydin Design for Assembly-menetelmän mukaan tuotteen osien suunnittelun ja materiaalivalintojen kautta pystytään parhaiten vaikuttamaan siihen miten hyvin tuote on kokoonpantavissa.

Työn tuloksena tutkimuksen kohteena olevan konvertterikaapin osien määrää saatiin vähennettyä ja rakennetta yksinkertaistettua. Tällä on suora vaikutus tuotteen kokoonpano- ja kokonaiskustannuksiin. Osa kehitysideoista palvelee myös The Switchin muita täystehomuokkaintuotteita alustaratkaisun kautta. Tutkimuksen myötä tuli esille myös uusia kehityskohteita koskien esimerkiksi suunnitteluprosessia.

ABSTRACT

| | |
|--------------------|---|
| Author | Jennimaria Hyvärinen |
| Title | Rationalization of product assembly in a full power converter production line |
| Year | 2014 |
| Language | Finnish |
| Pages | 45 |
| Name of Supervisor | Timo Karhunen |

This Bachelor's thesis was commissioned by The Switch Drive systems Ltd in Vaasa. The aim of the thesis was to study how to reduce assembly and overall costs of one of the company's full power converter cabinet products.

The main focus of the study was in product design and rationalizing of the product assembly, in accordance with Design for Assembly-method by Geoffrey Boothroyd. The study was conducted in co-operation with the product designers, assembly workers and production engineers.

As the result of this thesis the design of the studied converter cabinet was simplified and the quantity of parts included were optimized. These have a direct effect on the assembly and overall costs of the product. Because part of the changes were made on platform level the study benefits also company's other products. Further development ideas also emerged during making of the thesis regarding for example product design process.

Keywords DFA, rationalization of production, product design, full power converter, wind power

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOLUETTELO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 7 |
| 1.1 | Tutkimuksen kuvaus ja toteutussuunnitelma..... | 7 |
| 1.2 | Arviointi..... | 8 |
| 2 | THE SWITCH..... | 9 |
| 2.1 | Teknologia ja tuotteet..... | 9 |
| 2.2 | Lowering the cost of energy..... | 10 |
| 3 | TAVOITTEENA HYVÄ KOKOONPANTAVUUS..... | 12 |
| 3.1 | Kokoonpanon tehostaminen..... | 12 |
| 3.2 | Design for ease of assembly..... | 14 |
| 3.2.1 | Käsiteltävyys..... | 15 |
| 3.2.2 | Sovittaminen ja kiinnittäminen..... | 15 |
| 4 | KONVERTTERIN SUUNNITTELU JA KOKOONPANO..... | 16 |
| 4.1 | Suunnitteluprosessi..... | 16 |
| 4.2 | Kokoonpanoprosessi..... | 17 |
| 5 | KOKOONPANON ONGELMAT..... | 21 |
| 5.1 | Puutteet tuoterakenteessa..... | 21 |
| 5.1.1 | Letkuliittimet..... | 21 |
| 5.1.2 | Johdinsideankkurit ja läpivientikumit..... | 22 |
| 5.1.3 | Kaapelikengät..... | 22 |
| 5.1.4 | Pääsulakkeet..... | 22 |
| 5.2 | Jäähdytysletkuista johtuvat ongelmat..... | 23 |
| 5.2.1 | Letkumateriaali..... | 23 |
| 5.2.2 | Paisuntasäiliön letkut..... | 24 |
| 5.3 | Johdotusongelmat..... | 25 |
| 5.4 | Yleiset kehitysideat..... | 26 |
| 5.4.1 | Tuoterakenne..... | 26 |
| 5.4.2 | Kosketussuojat..... | 26 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.4.3 | Kuristimen kiinnityspisteet | 27 |
| 5.4.4 | Radiaattorielementit | 28 |
| 5.4.5 | Lattian läpiviennit | 29 |
| 5.4.6 | Johtokourujen asennuskorkeus | 29 |
| 5.4.7 | Maadoituspallo..... | 30 |
| 5.4.8 | Kääntökehyksen pohjalevy | 31 |
| 6 | TOIMENPITEET | 32 |
| 6.1 | Tuoterakenteen korjaukset | 32 |
| 6.2 | Johtosarjojen asennuksen ohjeistus 3D-mallilla | 32 |
| 6.3 | Jäähdytysletkumuutokset | 34 |
| 6.4 | Kehitysideoiden analysointi..... | 34 |
| 6.4.1 | Tuoterakenne..... | 35 |
| 6.4.2 | Kosketussuojien kiinnitysratkaisu..... | 35 |
| 6.4.3 | Kuristimien kiinnityspisteiden muutos | 36 |
| 6.4.4 | Radiaattorielementin kehitys..... | 36 |
| 6.4.5 | Lattian läpivientilevyjen uudelleensuunnittelu | 36 |
| 6.4.6 | Johtokourujen laskeminen..... | 37 |
| 6.4.7 | Työmaadoituksen uudelleensuunnittelu..... | 38 |
| 6.4.8 | Kääntökehyksen pohjalevyn muutos | 40 |
| 7 | JOHTOPÄÄTÖKSET | 41 |
| 8 | YHTEENVETO | 43 |
| | LÄHTEET..... | 44 |

KUVIOLUETTELO

| | |
|---|----|
| Kuvio 1. The Switch:n toimipisteet maailmalla. | 9 |
| Kuvio 2. Erään The Switch:n asiakkaan näkemys eri kustannusten vaikutuksista energian tuotannossa. | 11 |
| Kuvio 3. Erilaisia DFA-metodeja on kehitetty hieman erilaisilla painotuksilla tuotantotavasta ja tuotteesta riippuen (Wallace, G & Sackett, P. 1996, 7) | 13 |
| Kuvio 4. Suunnitteluprosessikaavio. | 17 |
| Kuvio 5. Konvertterikaapin 3D-malli..... | 18 |
| Kuvio 6. Työohjeista löytyy kaikki asentajan tarvitsema tieto..... | 19 |
| Kuvio 7. Mallitehdaskonseptin periaate. | 20 |
| Kuvio 8. Linjapuolen kuristimesta puuttui letkuliittimet. | 22 |
| Kuvio 9. Pääsulake (1), johon mikrokytkin (2) on kiinnitetty..... | 23 |
| Kuvio 10. Jäykkä letkumateriaali (kuvassa oranssin värinen) hankaloittaa paikoin pientä kääntösädettä vaativia asennuksia. | 24 |
| Kuvio 11. Kahden tuulettimen välissä oleva paisuntasäiliön letkujen reititys onnistuu vain virtakiskojen suojakotelon edestä, jolloin ne ovat kääntökehysten tiellä..... | 25 |
| Kuvio 12. Kosketussuojan kiinnike..... | 27 |
| Kuvio 13. Yksi kuristimen neljästä kiinnityspisteestä..... | 27 |
| Kuvio 14. Radiaattorikokoonpano, letkuja ei ole mallinnettu. Letkut kiertävät takaosan liittimistä vihreän läpiviennin kautta radiaattorin etupuolelle. | 28 |
| Kuvio 15. Generaattorikentän lattialäpivienti asiakkaan liityntäkaapeleille. | 29 |

| | |
|--|----|
| Kuvio 16. Johtokourun sijainti suhteessa johtojen läpivienteihin seinässä, mallissa vielä vanha läpivientikumi. | 30 |
| Kuvio 17. Maadoituspallokokoonpano kiinnitettynä maadoituskiskoon. | 31 |
| Kuvio 18. Osa kääntökehystä osuu jäähdytysletkuihin. | 31 |
| Kuvio 19. Esimerkki johtosarjojen reitityksen mallinnuksesta, johto kuvassa pinkkinä..... | 33 |
| Kuvio 20. Asiakkaan kaapeleiden läpivientilevy linjapuolelta. | 37 |
| Kuvio 21. Asiakkaan kaapeleiden läpivientilevy generaattoripuolelta. | 37 |
| Kuvio 22. Johtokourun asennuskorkeutta konvertterikaapissa muutettiin..... | 38 |
| Kuvio 23. Entinen maadoituskiskosto. | 39 |
| Kuvio 24. Konvertterikaapin työmaadoituspiste toteutettiin alumiinilevyllä. Työmaadoituspiste löytyy kaapin molemmista päädyistä..... | 39 |
| Kuvio 25. Kääntökehys ei enää osu jäähdytysletkuihin. | 40 |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on tutkia mahdollisuuksia tehostaa täystehonmuokkain- eli konvertterikaapin kokoonpanoprosessia suunnittelulähtöisesti ja DFA -periaatteita mukailleen. Opinnäytetyö tehdään The Switch Drive Systems Oy:lle Vaasassa. Tutkimuskohteena työssä on konvertterikaappi, jonka kokoonpano- ja valmistuskustannuksiin haetaan säästöjä.

Opinnäytetyön keskeisiä käsitteitä ovat kokoonpanon tehostaminen, tuotesuunnittelu ja DFA.

1.1 Tutkimuksen kuvaus ja toteutussuunnitelma

Työn tutkimuskohteena on jo pilottituotannossa oleva konvertterikaappi, jonka kokoonpanokustannukset ovat osoittautuneet odotettua suuremmiksi aiempiin tuotteisiin verrattuna. Kaappi eroaa toteutukseltaan aiemmista massatuotteista ja sen pääsuunnittelija on vaihtunut projektin aikana, jolloin suunnittelun toteutus ei ole kaikilta osin ollut täysin johdonmukainen.

Tutkimukseni tavoitteena on etsiä tapoja alentaa kaapin kokoonpanokustannuksia suunnittelusta käsin. Konvertterikaapin toteutusta tullaan muokkaamaan ottaen huomioon kokoonpanosta tulleet parannusehdotukset, suunnittelijoiden omat näkemykset ja testauksessa esiin nousseet ongelmat mutta kuitenkin niin, että asiakkaan määrittelemät vaatimukset täyttyvät. Kustannussäästöjä projektissa haetaan myös osien ja komponenttien valmistuskustannuksista. Tuoterakenteeseen komponenttien osalta tehtävät muutokset vaikuttavat myös kaapin mekaniikkaan ja asennettavuuteen.

1.2 Arviointi

Toteutetut suunnittelumuutokset verifioidaan pilottikaapin kokoonpanossa ennen sarjavalmistuksen aloittamista. Mahdolliset kustannussäästöt todennetaan vertaamalla protokaapin kokoonpanoon kulunutta aikaa aiemman toteutuksen kokoonpanoaikaan.

2 THE SWITCH

The Switch on vuonna 2006 perustettu uusiutuvan energian tuottamiseen vaadittavan teknologian valmistukseen keskittynyt yritys. The Switch syntyi kolmen eri yhtiön, lappeenrantalaisen Rotatek Finlandin, vaasalaisen Vertecon ja yhdysvaltalaisen Youtilityn, yhdistyessä. The Switchillä on toimipisteitä ympäri Eurooppaa ja Aasiaa. Tuotantotehtaat löytyvät Suomesta, Kiinasta ja Yhdysvalloista (**Kuvio 1.**).



Kuvio 1. The Switchin toimipisteet maailmalla.

The Switchin Suomen toiminnot ovat jakautuneet Vantaalle, missä sijaitsee yhtiön pääkonttori, sekä Vaasaan ja Lappeenrantaan. Vaasan yksikkö suunnittelee ja valmistaa pääasiassa tuulivoimaloihin tarkoitettuja täystepuokkainyksiköitä. Lappeenrannassa päätuotteena ovat generaattorit. (The Switch 2013)

2.1 Teknologia ja tuotteet

Pääosaamisalueena The Switchillä on generaattori- ja täystepuokkaimien valmistaminen tuulivoimateollisuuteen. Yritykseltä löytyy sovelluksia myös aurinko-, aalto- ja vuorovesivoimatuotantoon sekä teollisuus- ja laivakäyttöihin. The Switchin generaattorivalikoima tuuliturbiineihin kattaa teholuokat 1-8MW ja

niihin on saatavilla teholuokan mukaan optimoidut täystehomuokkaimet eli konverterit. (The Switch 2013)

Tuulivoimateollisuuden haasteena ovat korkeat kantaverkon vaatimukset (grid code requirements), millä halutaan taata voimaloiden toimintavarmuus häiriötilanteissa (FRT = fault ride through, LVRT = low voltage ride through ja HVRT = high voltage ride through). The Switch vastaa tähän haasteeseen käyttämällä generaattoreissaan kestromagneettiteknologiaa, mikä mahdollistaa generaattorin toiminnan ilman ulkoista teholähdettä magneetikentän luomiseen. Tämä on selkeä etu perinteisiin generaattoreihin nähden. Kestomagneettien käyttäminen myös vähentää kulumien osien määrää ja vähentää näin ollen huollontarvetta sekä vikaherkkyttä. Generaattorien segmentoidut staattorit mahdollistavat niiden huoltamisen ilman, että koko generaattoria tarvitsee purkaa tuuliturbiinista. (The Switch 2013)

Konverteripuolella The Switchillä on tarjolla niin standardituotteita kuin myös asiakkaan toiveiden mukaan räätälöityjä malleja. Tuotteet on suunniteltu kestämaan rankkojakin olosuhteita ja toimintavarmuuteen erilaisissa häiriötilanteissa on kiinnitetty tuotesuunnittelussa erityistä huomiota. (The Switch 2013)

2.2 Lowering the cost of energy

Yksi The Switchin toimintastrategioista on uusiutuvan energian tuotannon kustannusten pienentäminen. Alan yleisenä tavoitteena on tehdä uusiutuvasta energiasta selkeästi kannattava vaihtoehto fossiilisten polttoaineiden käytön rinnalla ja pitkällä tähtäimellä niiden korvaajana. Tämä onnistuu vain tekemällä uusiutuvan energiantuotannosta kannattavampaa niin tuottajalle kuin kuluttajallekin. (The Switch 2013)

The Switchin näkemyksen mukaan kustannuksiin voidaan vaikuttaa neljällä tavalla: kasvattamalla vuosittain tuotettua energian määrää, pienentämällä linkaarikustannuksia, pidentämällä tuotantolaitteiden käyttöikä ja parantamalla uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön laatua ja luotettavuutta. (The Switch 2013)

Yksinkertaisin tapa kasvattaa vuosittaista energiantuotantoa on huolehtia energiaa tuottavien laitosten luotettavasta toimivuudesta. Kestomagneetteihin perustuva generaattoriteknologia onkin nostanut markkinoilla suosiotaan juuri luotettavuutensa vuoksi. Säännöllinen huoltaminen kuuluu tärkeänä osana energiantuotannon varmistamiseen ja sitä kautta elinkaarikustannusten pienentämiseen, ja sillä pyritään vähentämään yllättäviä vikatilanteita. Kustannustehokkainta on aikatauluttaa huollot ajankohtaan, jolloin tuulen tai auringonvalon määrä on pienimmillään. Lisäksi huollon nopea saatavuus on tärkeää vikatilanteissa. (The Switch 2013)

Myös The Switchin tarve pienentää omien tuotantokustannuksia on suora johdannainen energiantuotannon kustannusten optimoinnista. Valmistus- ja kokoonpanokustannukset ovat tärkeässä roolissa, jotta kyetään tarjoamaan asiakkaille tuotteita kilpailukykyiseen hintaan (**Kuvio 2.**). Tämä tulee kuitenkin tehdä laatua huonontamatta, jolloin hyvän suunnittelun merkitys korostuu. (The Switch 2013)



Kuvio 2. Erään The Switchin asiakkaan näkemys eri kustannusten vaikutuksista energian tuotannossa.

3 TAVOITTEENA HYVÄ KOKOONPANTAVUUS

Kokoonpano on yksinkertaisuudessaan osien liittämistä toisiinsa toimivaksi tuotteeksi tai sen osaksi. Kokoonpanotyön vaiheiksi lasketaan kappaleen käsittely, siirtäminen, varastointi, liittäminen, sovittaminen ja tarkastaminen. Näistä vain liittäminen ja sovittaminen ovat tuotteen jalostusarvoa lisäävää työtä. Muiden voidaan katsoa aiheuttavan koko tuotteen kokonaistyöaikaan aikaviivettä ja lisäkustannuksia, vaikkakin ne ovat tuotteen kokoonpanon kannalta pakollisia vaiheita. Kokoonpanotyön osuus tuotteen kokonaistyöajasta voi olla jopa 40 %. Monissa tapauksissa suurin osa tästä ajasta kuluu osien siirtämiseen ja paikoilleen asettamiseen eikä varsinaiseen kokoonpanotyöhön eli liittämiseen. Tämä johtuu yleensä siitä, että kokoonpanoa ei työvaiheena osata huomioida aiemmissä työvaiheissa tarpeeksi hyvin etukäteen. Näitä edeltäviä työvaiheita ovat esim. tuotannosuunnittelu, materiaalinhallinta ja tuotesuunnittelu. Tärkein näistä on tuotesuunnittelu, sillä jos tuotteen suunnittelussa ei kokoonpanoa osata huomioida, jälkisuunnittelu- ja korjauskustannukset nousevat. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 111–112, 121; Andreasen, Kähler & Lund 1988, 13)

3.1 Kokoonpanon tehostaminen

Kokoonpanon tehostaminen ja rationalisointi lähtee siis ensisijaisesti liikkeelle tuotteen suunnittelusta. Suurin mahdollisuus vaikuttaa tuotteen valmistuskuluihin ja tuottavuuteen on suunnittelun kautta, sillä osien suunnittelu ja materiaalivalinnat määrittävät hyvin pitkälle niiden valmistus- ja kokoonpanotavan, ja sen kuinka hyvin tuote ylipäänsä on kokoonpantavissa. Suunnittelun kautta on mahdollista myös vaikuttaa aiemmin mainittuihin vaiheisiin, jotka eivät kohota tuotteen jalostusarvoa. Eli osien varastoitavuuteen, siirrettävyyteen ja käsiteltävyyteen, joiden osuus tulisi pitää mahdollisimman pienenä. Kokoonpanotyö on muuttumassa koko ajan automatisoidummaksi, mutta manuaalinen kokoonpano on vielä monen tuotteen kohdalla ainoa mahdollinen ja järkevä kokoonpanotapa. Tuotteen suunnittelussa olisi hyvä kuitenkin noudattaa automaattiseen kokoonpanoon tähtäävän suunnittelun periaatteita, sillä nämä

helpottavat myös manuaalista kokoonpanoa ja tuotantolinjan automatisointia mikäli sille tarve jossain vaiheessa syntyy. Suunnittelun tavoitteena tulisi olla nopein ja edullisin tapa valmistaa ja koota tuote. Turhan usein lähtökohtana on vain se, että tuotteen toiminnalliset vaatimukset täyttyvät. (Andreasen ym 1988, 14; Boothroyd 1992, 229; Lapinleimu ym. 1997, 111, 115–116, 121)

Tuotesuunnittelun apuvälineiksi tuotteen kokoonpantavuuden arvioimiseksi on kehitetty monenlaisia metodeja ja työkaluja (**Kuvio 3.**). Maailmalla yleisemmin metodologia tunnetaan nimellä Design for (ease of) Assembly eli DFA. Lähtökohtana menetelmille on ollut tarve tehostaa kokoonpanoa ja vähentää tuotantokustannuksia. Ehkä tunnetuin DFA-menetelmä, johon hän on myös ollut kehittämässä tietokoneohjelmaa helpottamaan tuotteiden analysointia. (Lapinleimu ym. 1997, 116)

Figure 1
DFA approaches summary

| Approaches | Categories | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------|-----------|----------------------|--------|-----|-------|--------|--------|-------|--------|------------|------|----------------|----------|---|--------|
| | Assem- bly | | Production volume | | | Size | | Weight | | | Complexity | | Standard parts | Variants | Assembly and manufacturing equipment | |
| | Manual | Automated | High | Medium | Low | Small | Medium | Large | Light | Medium | Heavy | High | | | | Medium |
| Hitachi | | ○ | ○ | | | | | | ○ | | | | | ○ | | |
| Boothroyd and Dewhurst Inc. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | | |
| Lucas | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | | |
| Li and Hwang | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | | |
| Sturges and Kilani | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sturges and Yang | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Wong and Sturges | ○ | | | | ○ | | | ○ | | ○ | | | | | | |
| Kim, Bekey and Goldberg | | ○ | ○ | | ○ | | | ○ | | | | | | | | |
| Holbrook | ○ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | ○ | ○ | ○ |
| Nazif | | | | ○ | | | | | | | | | | ○ | | |
| Lee | | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| Brophy | | | ○ | ○ | | ○ | | | ○ | | | ○ | | | | |
| Fogg and Van | | ○ | ○ | | ○ | | | ○ | | | | | | ○ | | ○ |
| Molloy, Yang and Browne | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | ○ |
| Allen, Bielby and Swift | | ○ | | | | ○ | | | ○ | | | | | ○ | | ○ |
| Redford | | ○ | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| Malmqvist | | | | | | | | | | | | | | | | ○ |

Kuvio 3. Erilaisia DFA-metodeja on kehitetty hieman erilaisilla painotuksilla tuotantotavasta ja tuotteesta riippuen (Wallace, G & Sackett, P. 1996, 7)

3.2 Design for ease of assembly

DFA-prosessin lähtökohtana tuotesuunnittelussa on tuoterakenteen yksinkertaistaminen sekä parannus- ja kehittämiskohteiden määrittäminen. Tuoterakenteen yksinkertaistaminen lähtee liikkeelle osien lukumäärän minimoinnista. Ideaalitapauksessa tuotteen erilliset osat voidaan yhdistää toisiinsa, mutta vain mikäli yksikään seuraavista ehdoista ei täyty:

- Osan tulee liikkua suhteessa muihin osiin.
- Osan täytyy toiminnallisista syistä olla eri materiaalia kuin siihen yhdistyvät osat.
- Osan tulee olla erillään muista ollakseen kokoonpantavissa.

Yksinkertaistamista ja osien yhdisteltävyyttä arvioitaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon myös vaikutukset osien valmistuskustannuksiin. Helpommin asennettava osa ei välttämättä ole halvempi valmistaa. Tavoitteena olisikin löytää tuotteen kokonaiskustannusten osalta edullisin ratkaisu. Itse tuoterakenteen parempi jaottelu kokoonpanon kannalta olennaisiin kokonaisuuksiin eli moduuleihin helpottaa kokoonpanossa tuotteen hahmottamista, materiaalien hallintaa tuotantolinjalla ja näin ollen nopeuttaa läpimenoaikoja. Tuotteiden räätälöinti helpottuu myös modulaarisen rakenteen ansiosta. (Boothroyd 1992, 241–242; Lapinleimu ym. 1997, 115)

Kokoonpanon helpottamiseksi on luotu suuntaa antava suunnitteluohjeistus, jonka avulla suunnittelijan huomio pyritään kiinnittämään osien helppoon käsiteltävyyteen, paikoilleen sovittamiseen ja kiinnittämiseen. Ohjeistusta tulisi katsoa kokonaisuutena, eikä noudattaa kirjaimellisesti. Tuotteen suunnittelussa tulisi huomioida muutoksen hyödyllisyys ja mahdolliset säästöt. (Boothroyd 1992, 232,238)

3.2.1 Käsiteltävyys

Käsiteltävyyden kannalta oleellisia asioita ovat osien

- symmetria/asymmetria
- toisiinsa takertumisen ja jumittumisen estäminen
- käsittelyyn vaikuttavat tekijät (koko, terävyys, joustavuus, liukkaus).

Tekemällä osasta symmetrinen, vältetään mahdollisuus asentaa osa väärin päin. Mikäli osaa ei ole mahdollista tehdä täysin symmetriseksi, täytyisi siitä tehdä selvästi epäsymmetrinen, jolloin sen asentaminen olisi mahdollista vain oikein päin. Osien takertuminen/jumittuminen vaikuttaa puolestaan niiden varastointiin ja käsittelyyn. Syntyy turhaa aikaviivettä, kun osia joutuu irrottamaan toisistaan. Osien hankala käsiteltävyys, kuten esim. liukkaus, pieni koko tai terävyys, hidastaa myös kokoonpanotyötä. (Boothroyd 1992, 232)

3.2.2 Sovittaminen ja kiinnittäminen

Osien sovittamiseen ja kiinnittämiseen, eli itse kokoonpanoon voi suunnittelija vaikuttaa ottamalla huomioon sen, että osat pystytään sovittamaan/kiinnittämään toisiinsa vain pientä voimaa käyttäen. Välykset tulisi huomioida niin, että ne ovat riittävät mutta kuitenkin niin pienet, että osien tarrautuminen toisiinsa ei ole mahdollista. Samantyyppiset kiinnitykset, osat ja komponentit tulisi standardisoida, jotta eri tuotteiden välillä ei tuotantolinjalla tarvitsisi tehdä suuria muutoksia työkaluihin, kiinnikkeisiin jne. Osien kannattelua kiinnityksen aikana pitäisi välttää ja osat pitäisi pystyä asemoimaan ennen kuin osasta päästetään irti. (Boothroyd 1992, 232–236)

4 KONVERTTERIN SUUNNITTELU JA KOKOONPANO

4.1 Suunnitteluprosessi

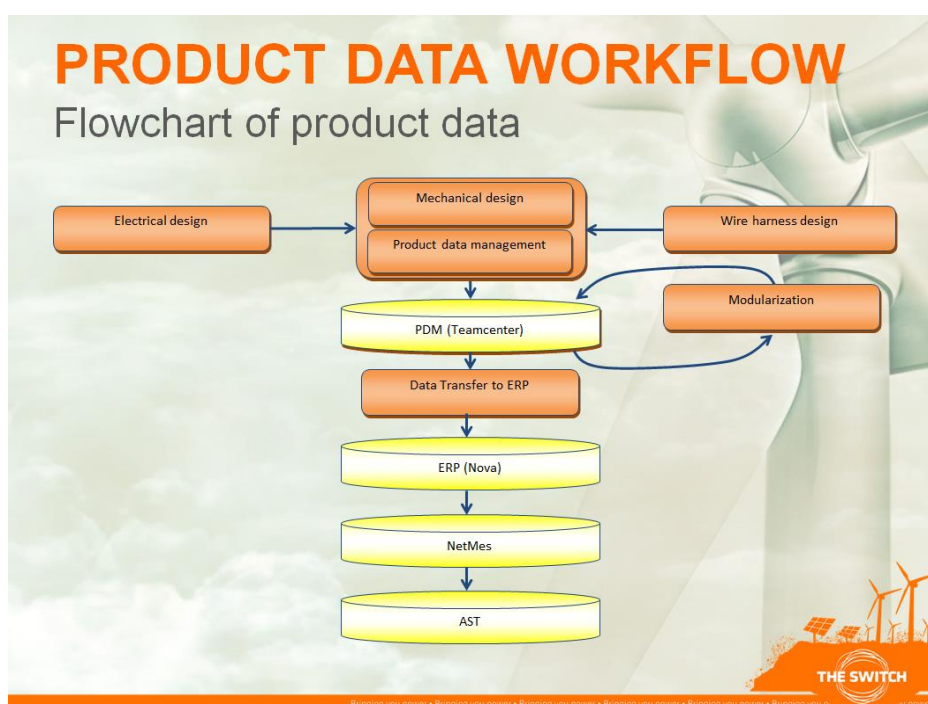
The Switch Drive Systems:n konvertterisuunnitteluprosessin lähtökohtana ovat asiakkaan vaatimukset tuotteelle. Kaikille tuotteille käytetään suunnittelun pohjana konvertterialustaa, joka on yleisrakenteeltaan jokaisessa tuotteessa sama sisältäen esim. vakiomittaiset runko-osat, jotka mahdollistavat kuitenkin ulkomitan muutoksen leveyssuunnassa eri levyisiä kenttiä yhdistämällä. Korkeus ja syvyys pysyvät samana tuotteesta toiseen. Halutusta tehomäärästä riippuen konvertterikaappeja on yksi tai useampia, useamman kaapin yhdistelmän tapauksessa yksikkö toimii master/slave-periaatteella. (Järvelä 2013)

Konvertterikaappien sähköiset pääkomponentit, kuten kuristimet, invertterit ja katkaisijat valitaan asiakkaan antamien sähköisten arvojen perusteella. Myös kaapelilähtöjen ulosvientien koot, lukumäärä ja sijainti määritellään tuotteessa asiakkaan tarpeen mukaan. (Järvelä 2013)

Konvertterikaapin suunnittelu koostuu kolmesta eri osa-alueesta: mekaniikan ja johtosarjojen suunnittelusta sekä sähkösuunnittelusta (**Kuvio 4**). Konvertterikaapin suunnittelu vaatii kaikkien kolmen osa-alueen yhteistyötä hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. (Järvelä 2013)

Sähkösuunnittelija valitsee tarvittavat sähkökomponentit ja yhdessä mekaniikkasuunnittelijan kanssa määrittelee niille fyysiset sijaintipaikat konvertterikaapissa. Mekaniikkasuunnittelija mallintaa tarvittavat asennusalustat ja tukiraudat näille komponenteille ja sijoittaa konvertterikaapin 3D-malliin valmistajalta saadut mallit sähkökomponenteista. 3D-malliin sijoitetaan ja mallinnetaan myös virtakiskot, ruuvit, pultit ja muut kiinnikkeet. Johtosarjasuunnittelija määrittelee kytkentöihin tarvittavien johtojen ja kaapelien mitat (paksuus, pituus) sekä mieltii etukäteen kaapeleille ideaalin kulkureitin komponentilta toiselle. (Järvelä 2013)

Apuna suunnittelussa käytetään konvertterikaapin piirikaavioita, johdotuskaaviota sekä 3D-mallia. Johtosarjoja tai jäähdytysletkuja ei mallinneta. The Switchillä tuotteiden mekaniikan suunnittelu ja mallinnus tehdään Siemens PLM Softwaren NX 3D-suunnitteluohjelmalla. Tuoterakenteen hallintaa suunnittelupuolella käsitellään Teamcenter- tuote- ja suunnittelutiedon hallintajärjestelmässä, josta tuoterakenne valmistuttuaan siirretään Novaan muun organisaation käyttöön. Nova on The Switchin tuotannonohjausjärjestelmä, jonka kautta hoidetaan tuote- ja tilaushallinta.



Kuvio 4. Suunnitteluprosessikaavio.

4.2 Kokoonpanoprosessi

Konvertterikaapin kokoonpano toteutetaan The Switchillä täysin manuaalisesti. Prototyypivaiheessa kokoonpano tehdään solussa ja sarjatuotantoon siirryttäessä linjamaisesti, useampaan kokoonpanovaiheeseen jaettuna. Prototyypivaiheessa kokoonpanon ohjeistuksena käytetään kaapin 3D-mallia (**Kuvio 5.**), josta löytyy mallinnettuna kaikki konvertterikaapin mekaaniset osat sekä sähköiset komponentit tuotekoodeineen, johtosarjat ja jäähdytysletkut pois lukien. Mallista

pystyy suoraan hakemaan tarvittavat osien asennusmitat, asennuksessa tarvittavien ruuvien koot jne.

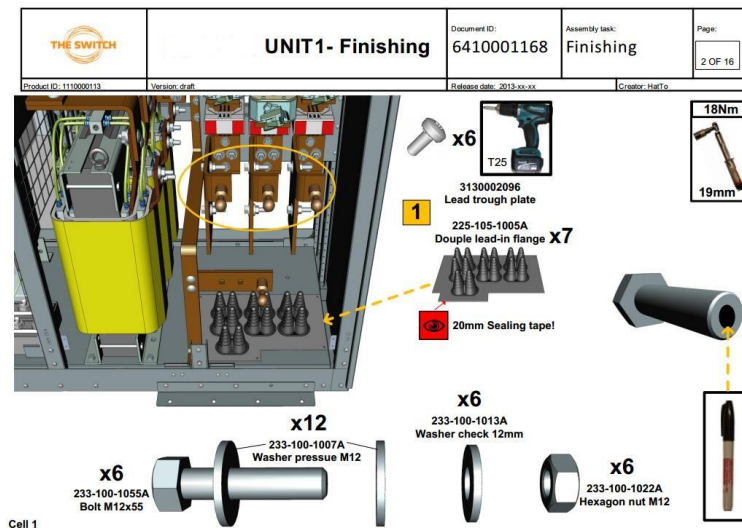


Kuvio 5. Konvertterikaapin 3D-malli.

Sähkökomponenttien kokoonpanon ja johdotusten tekemisessä apuna käytetään konvertterikaapin piirikaavioita sekä sähkökomponentti- ja johdotuslistoja. Komponenttien asennuspaikat löytyvät 3D-mallista. Pienet sähkökomponentit on pyritty sijoittamaan omille asennuslevyilleen asianmukaisina kokonaisuuksina eli ns. välipohjina. 3D-mallista käännettyssä kaapin layout-piirustuksesta ja välipohjapiirustuksista löytyy jokaiselle sähkökomponentille oma piirikaavion mukainen kojetunnus.

Sarjatuotantoa varten kokoonpanolinjan työvaiheet jaetaan niin, että jokaisen työpisteen vaiheaika on yhtä pitkä. Tällä tavoin linjalta valmistuu aina saman ajan kuluttua yksi kaappi; vaiheaika on tuotteesta riippuva. Jokaista linjan työvaihetta varten tehdään yksityiskohtaiset työohjeet. Työohjeissa havainnollistetaan kuvien avulla miten ja mihin osa/komponentti tulee konvertterikaappiin asentaa. Jokaisella työohjesivulla on symbolein merkitty tarvittava työkalu, sen koko ja

mahdolliset asennusarvot, kuten kiristysmomentti (**Kuvio 6.**). Sanallista ohjeistusta on pyritty välttämään, sillä työohjeet on haluttu pitää mahdollisimman helppolukuisina. Kuvalliset ohjeet ovat myös paremmin kansainväliseen käyttöön soveltuvia, jolloin isoilta ohjeiden käännoistöltä vältytään.



Kuvio 6. Työohjeista löytyy kaikki asentajan tarvitsema tieto.

Eri työvaiheille on pyritty etukäteen määrittämään työvaiheessa asennettavat osat ja ruuvit, jotka setitetään esivalmisteluvaiheessa ja viedään jokaisen työpisteen viereen rajattuun tilaan. Erillisenä kokoonpanona suoritetaan tietyt tuotteeseen määritellyt alikokoonpanot, joita ovat esimerkiksi välipohjat kytkentöineen, kaapin runko ja kiskokokoonpanot. Vaiheiden työpisteillä ei myöskään ole ylimääräisiä työkaluja, vaan pelkästään ne, joita kyseisen vaiheen asennuksissa tarvitaan. Linjalla suoritetaan siis vain kaappiin tehtävät asennukset ja tällä tavoin on haluttu vähentää turhaa liikkumista osia tai työkaluja hakiessa. Työntekijän on helppo todeta työvaihe valmistuneeksi, kun jokainen työohjeen sivu on käyty läpi ja kaikki osat setistä on käytetty.

Tämä edellä kuvattu tuotantotapa on osa The Switchin mallitehdaskonseptia (**Kuvio 7.**). Periaatteena on toteuttaa tuotekehitys ja tuotteistus omassa tuotannossa ja kapasiteetti- sekä asiakastarpeen mukaan toteuttaa massatuotanto partneriverkostossa. Hyvällä työohjeistuksella, linjan vaiheistuksella ja

materiaalivirran hallinnalla verkostossa taataan, että tuotanto on helppo siirtää sinne missä asiakas on ja suhteellisen pienellä opettelulla saadaan aikaan The Switchin vaatimukset täyttäviä ja toistensa kanssa samanlaisia tuotteita.

MODEL FACTORY CONCEPT



Kuvio 7. Mallitehdaskonseptin periaate.

5 KOKOONPANON ONGELMAT

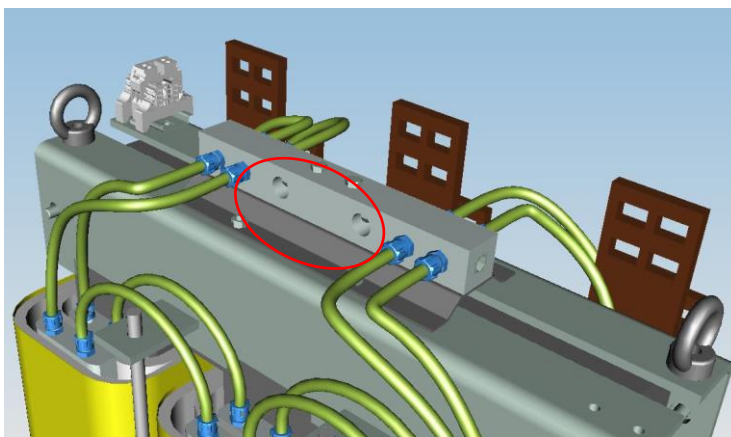
Konvertterikaapin kokoonpanon tehostamiskohteiden rajaamista varten kartoitin mitä ongelmia kokoonpanossa on tullut esille. Haastattelin tähän tarkoitukseen kokoonpanosolun asentajia, kaapin suunnittelijoita, sekä tuotannon ja projektin vastuuhenkilöitä. Kävin läpi myös kaikki tuotannossa kyseiselle projektille kirjatut Andon-tapaukset. Andon on tietokantajärjestelmä, jolla The Switchin tuotannossa kerätään ja välitetään tietoa eteenpäin esiin tulevista ongelmista tuotteessa, osissa, valmistusdokumenteissa tai itse prosesseissa, poikkeamista ja muista laatuvirheistä. Andoniksi sanotaan myös yhtä järjestelmään tehtyä hälytystä/kirjausta. Andon voidaan tehdä esimerkiksi, jos osasta puuttuu reikä, jolloin Andonin perusteella lähdetään selvittämään juurisyytä kyseisen piirteen puuttumiseen. Erittelin projektille tehdyistä Andoneista ne tapaukset jotka vaativat suunnittelijan tekemää muutosta tai lisäystä 3D-malliin, piirustuksiin tai tuoterakenteeseen. Ongelmakohtien lisäksi keräsin listaa mahdollisista kehitysideoista. Olen seuraavassa ryhmitellyt esille tulleet konvertterikaapin kokoonpanon ongelmakohdat niiden juurisyyden mukaan.

5.1 Puutteet tuoterakenteessa

Tuotteelle kirjatuista Andoneista moni liittyi erilaisiin puutteisiin tuoterakenteessa. Seuraavassa on niistä tarkempi erittely.

5.1.1 Letkuliittimet

Letkuliitoksiin vaadittavia liittimiä puuttui kolmesta konvertterikaapin nestejäähdytteisestä komponentista: linjapuolen kuristimesta (**Kuvio 8.**), vaimennusvastuksesta sekä linjapuolen jäähdytys-elementistä.



Kuvio 8. Linjapuolen kuristimesta puuttui letkuliittimet.

5.1.2 Johdinsideankkurit ja läpivientikumit

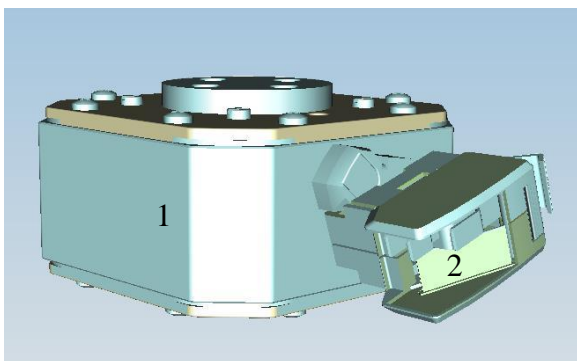
Kaikkia tarvittavia johtosarjojen ja kaapelien sitomiseen tarkoitettuja johdinsideankkureita ei ollut lisätty tuotteen 3D-malliin, jolloin ne puuttuivat myös tuoterakenteelta. Tuotteen 3D-mallissa oli myös käytetty vanhanmallisia ja jo tuotantoon hyväksytyjä uusia johdinten läpivientikumeja sekaisin, vaikka vanha tyyppi olisi jo pitänyt jättää käytöstä pois.

5.1.3 Kaapelikengät

Kaapin sisäisen jarruvastuksen kytkentään tarkoitettujen kaapelien on integroitua komponenttiin. Nämä kaapelit tulevat asennusvaiheessa lyhentämään sopivaan mittaan ja puristamaan niihin kaapelikengät ruuviliitosta varten. Tarvittavia kaapelikenkiä ei ollut tuoterakenteeseen määritelty ollenkaan.

5.1.4 Pääsulakkeet

Linjapuolen pääsulakkeet oli mallinnettu niin, että niihin kiinnitettävät mikrokytkimet olivat samassa 3D-mallissa sulakkeen kanssa (**Kuvio 9**). Näin ollen mikrokytkimiltä puuttui tuotekoodit kokonaan tuoterakenteelta.



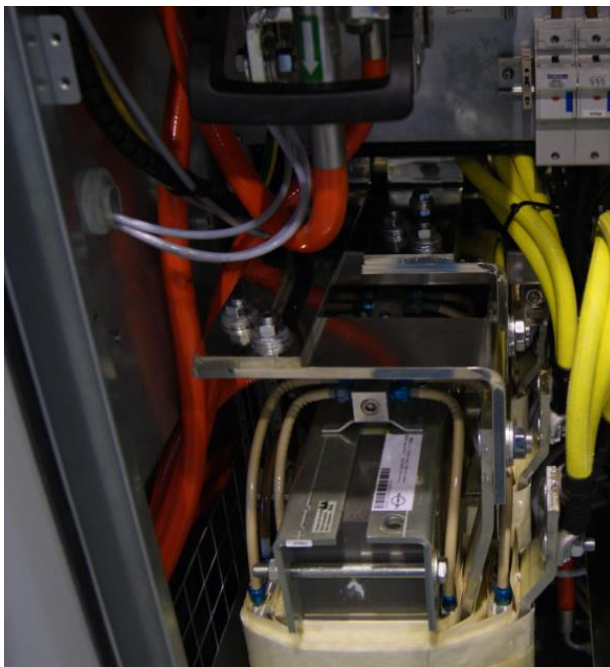
Kuvio 9. Pääsulake (1), johon mikrokytkin (2) on kiinnitetty.

5.2 Jäähdytysletkuista johtuvat ongelmat

Seuraavassa on listattuna jäähdytysletkujen asennukseen liittyviä ongelmakohtia.

5.2.1 Letkumateriaali

Jäähdytysletkujen asentaminen koettiin asentajien keskuudessa hankalaksi. Letkumateriaali on liian jäykkää, minkä vuoksi letkujen kääntösäde on suuri ja oikeanlainen reitittäminen on vaikeaa (**Kuvio 10.**). Letkukytkentöjä täytyy tehdä myös yhdestä kaapin kentästä toiseen, jolloin vaaditaan letkujen viemistä väliseinien läpi. Tällöin on vaarana, että terävät peltilevyn reunat viiltävät sekä letkun että asentajan kädet rikki. Letkujen läpiviemistä varten väliseinässä on aukko, mutta aukkoa ei ole mitoitettu optimaaliseen kohtaan asennuksen helppouden kannalta.



Kuvio 10. Jäykkä letkumateriaali (kuvassa oranssin värinen) hankaloittaa paikoin pientä kääntösädettä vaativia asennuksia.

5.2.2 Paisuntasäiliön letkut

Jäähdytyskentässä sijaitsevan paisuntasäiliön letkut tulevat kaapissa kääntökehyksen tielle ja haittaavat kehyksen sulkemista. Tällöin jäähdytysletkut ovat myös alttiita vioittumiselle (**Kuvio 11.**). Muissa tuotteissa ei vastaavaa paisuntasäiliötä ole enää käytössä.



Kuvio 11. Kahden tuulettimen välissä oleva paisuntasäiliön letkujen reititys onnistuu vain virtakiskojen suojakotelon edestä, jolloin ne ovat kääntökehyyksen tiellä.

5.3 Johdotusongelmat

Yksi selkeimmin kokoonpanoaikaa pidentävä työvaihe asentajien mielestä on johtosarjojen asentaminen ja kytkeminen. Puutteellinen työohjeistus johtojen reitittämiseen koettiin isoimmaksi hankaloittavaksi tekijäksi. Itse kytkemistä helpottavat valmiiden johtosarjojen johtomerkinnot, joista käy selkeästi ilmi mihin kojeeseen ja liittimeen johto tulee kytkeä. Ennen asiakkaalle toimittamista tehdyissä lähetystarkastuksissa on ilmennyt, että johtojen sidonnassa ja vedonpoistoissa on paljon puutteita, asennusohjeistusta tulisi parantaa myös tältä osin.

5.4 Yleiset kehitysideat

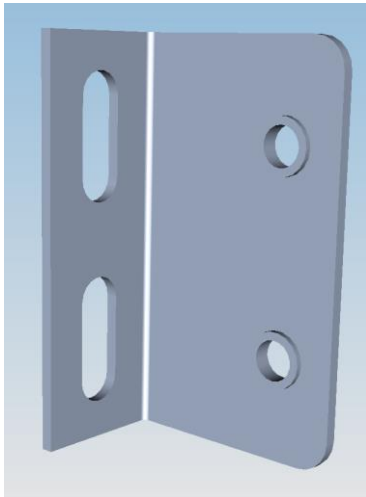
Yleisiin kehitysideoihin listasin asiat, jotka eivät välttämättä vaadi tuotteeseen välitöntä korjausta tai vaikuta suoraan tuotteen toimintaan, niin kuin moni edellä luetelluista. Kyseessä on kehitysidea, jolla pyritään saamaan kokoonpanosta sujuvampaa, nopeampaa ja helpompaa.

5.4.1 Tuoterakenne

Tutkittavan konvertterikaapin tuoterakenne on ns. flat BOM eli yksitasoinen tuoterakenne, jossa kaikki tuotteen komponentit on listattu samalle tasolle kaapin tuotekoodin alla. Tuoterakennetta pitäisi ryhmitellä tarkemmin alikokoonpanoihin ja asennuskokonaisuuksiin. Tällä hetkellä suurin osa komponenteista asennetaan yksittäin kaappiin. Kokoonpanon sujuvuuden kannalta olisi järkevää koota isompia asennuskokonaisuuksia etukäteen esivalmistelupisteellä.

5.4.2 Kosketussuojat

Konvertterikaapin jännitteellisten osien suojaamisessa käytetään ns. kosketussuojia, jotka valmistetaan polykarbonaattilevystä. Kosketussuojat kiinnitetään runkoon erillisellä teräskiinnikkeellä, itse kiinnike kahdella ja kosketussuoja yhdellä ruuvilla kiinnikkeeseen. Runkoon kiinnittämiseen käytettävät ruuvit ovat erilaisia kuin ne ruuvit joilla kosketussuoja kiinnitetään, mikä lisää nimikkeiden määrää rakenteella ja erilaisten työkalujen tarvetta työpisteellä. Kiinnikkeitä käytetään kosketussuojan koosta riippuen 2-8. Myös kiinnikkeiden mitoitus ja kiinnitys oikealle korkeudelle on työlästä, johtuen kiinnikkeen ovaaleista kiinnitysrei'istä (**Kuvio 12.**). Kosketussuojille tulisikin suunnitella parempi kiinnitysratkaisu, jolla samalla vähennettäisiin ruuvien määrää tuotteessa.



Kuvio 12. Kosketussuojan kiinnike.

5.4.3 Kuristimen kiinnityspisteet

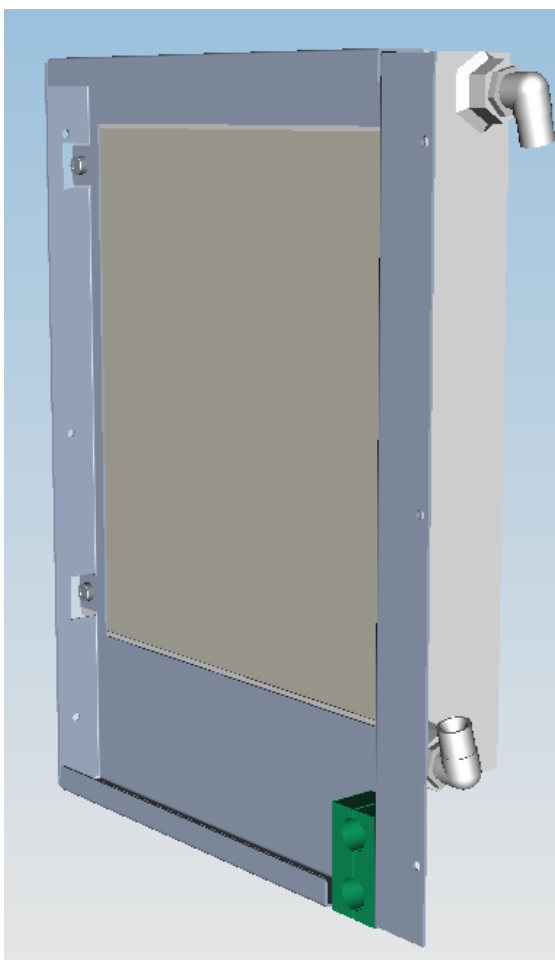
Konvertterikaapeissa käytetyissä kuristimissa on pitkäaikaisena ongelmana ollut käämien alle piiloon jäävät kiinnityspisteet, joihin käsiksi pääsyä vaikeuttavat vielä kuristimen jäähdytysletkut (**Kuvio 13.**). Kiinnitysruuvien kiristäminen on hankalaa, koska työkalut eivät mahdu kunnolla käämin, kuristimen rungon ja letkujen väliseen tilaan.



Kuvio 13. Yksi kuristimen neljästä kiinnityspisteestä.

5.4.4 Radiaattorielementit

Jäähdytysjärjestelmän yksi osa on ns. radiaattorit, joiden elementtien malli on todettu vaativan uudelleensuunnittelua. Radiaattorielementti vaatii tällä hetkellä erillisen asennuslevyn kaappiin kiinnittämistä varten ja sen letkuliitynnät on toteutettu asennuksen kannalta turhan monimutkaisesti radiaattorin takapuolelta (**Kuvio 14.**).



Kuvio 14. Radiaattorikokoonpano, letkuja ei ole mallinnettu. Letkut kiertävät takaosan liittimistä vihreän läpiviennin kautta radiaattorin etupuolelle.

5.4.5 Lattian läpiviennit

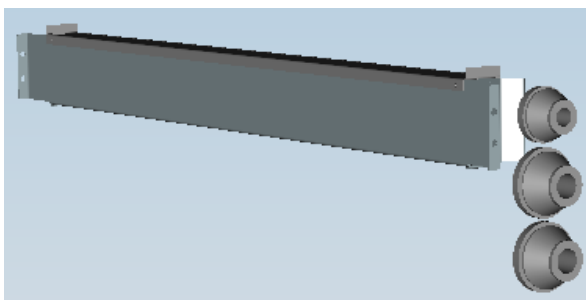
Asiakkaan liityntäkaapeleita varten on linja- ja generaattorikenttien lattioihin tehty aukot ja näihin läpivientilaipat, jotka koostuvat aukon päälle ruuveilla kiinnitettävästä alumiinilevystä ja läpivientikumeista (**Kuvio 15**). Generaattorikentässä levy kiinnitetään vain kulmista, jolloin pelti jää keskeltä koholle ja tiivistys jää vajaaksi. Myös läpivientikumit ovat malliltaan tarkoitukseensa nähden liian kevyesti paikoilleen kiinnittyviä, ne lähtevät helposti irti paksuja kaapeleita läpi vedettäessä.



Kuvio 15. Generaattorikentän lattialäpivienti asiakkaan liityntäkaapeleille.

5.4.6 Johtokourujen asennuskorkeus

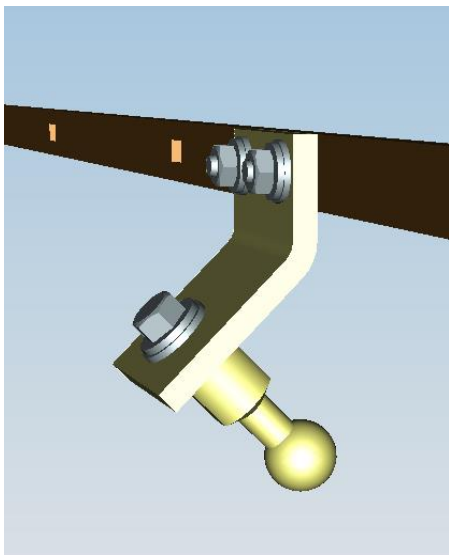
Johtokourujen asennuskorkeus täytyisi siirtää alemmaksi, nykyisellä korkeudella johtosarjojen reitittäminen aiheuttaa vetoa seinien läpivientikumeihin (**Kuvio 16**) ja siksi ne irtoavat helposti paikoiltaan. Kourun laskeminen loiventaisi johtosarjan kääntökulmaa ja vähentäisi läpivientikumeihin kohdistuvaa vetoa.



Kuvio 16. Johtokourun sijainti suhteessa johtojen läpivienteihin seinässä, mallissa vielä vanha läpivientikumi.

5.4.7 Maadoituspallot

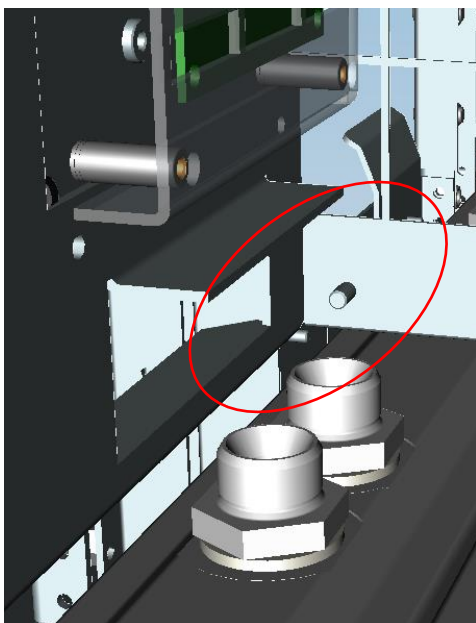
Jokaisessa kaapin kentässä, katon rajassa kulkevassa maadoituskiskossa, on asiakkaan työmaadoitusta varten maadoituspisteet eli ns. maadoituspallot. Työmaadoituksella tarkoitetaan sitä, kun virtapiirin kaikki osat yhdistetään työn ajaksi maahan ja toisiinsa. Näin estetään mahdollisuus saada hengenvaarallinen sähköisku huolto- ja korjaustöissä (Knuutila & Pulkkinen 2012). Maadoituspallo on kiinnitetty erilliseen virtakiskolevyyn, jolloin pallo on saatu oikeaan asennuskulmaan (**Kuvio 17.**). Ratkaisu on käytössä myös muissa The Switchin tuotteissa ja se on todettu turhan monimutkaiseksi tavaksi toteuttaa työmaadoitus. Maadoituspisteet sijaitsevat korkealla katon rajassa, jolloin niihin käsiksi pääsy on hankalaa, ja työmaadoitus olisi mahdollista toteuttaa myös vähemmillä maadoituspisteillä. Maadoituskokoonpanojen osamäärä on suhteessa suuri.



Kuvio 17. Maadoituspallokokoonpano kiinnitettynä maadoituskiskoon.

5.4.8 Kääntökehysten pohjalevy

Kääntökehysten rakenteessa ei ole huomioitu, että kääntökehysten kiinni ollessa osa pohjalevyä osuu samalle linjalle kuin jakotukin liittimet, jolloin kääntökehys osuu liittimiin kiinnitettyihin letkuihin (**Kuvio 18.**).



Kuvio 18. Osa kääntökehystä osuu jäähdytysletkuihin.

6 TOIMENPITEET

Kävin edellisessä kappaleessa listatut konvertterikaapin ongelmat läpi mekaniikkasuunnittelijoiden kanssa ja mietimme yhdessä niihin ratkaisuja. Seuraavassa olen listannut toteutetut toimenpiteet ja muutokset konvertterikaapin suunnittelussa.

6.1 Tuoterakenteen korjaukset

Konvertterikaapin tuoterakenteeseen tehtiin tarvittavat lisäykset ja korjaukset. Tuoterakenne käytiin myös huolellisesti läpi, jotta havaittaisiin mahdolliset muut puutteet, joita on voinut ilmaantua uudelleensuunnittelun aikana. Muutama puute kiinnitysruuvien osalta löytyikin, nämä on nyt myös korjattu tuoterakenteeseen.

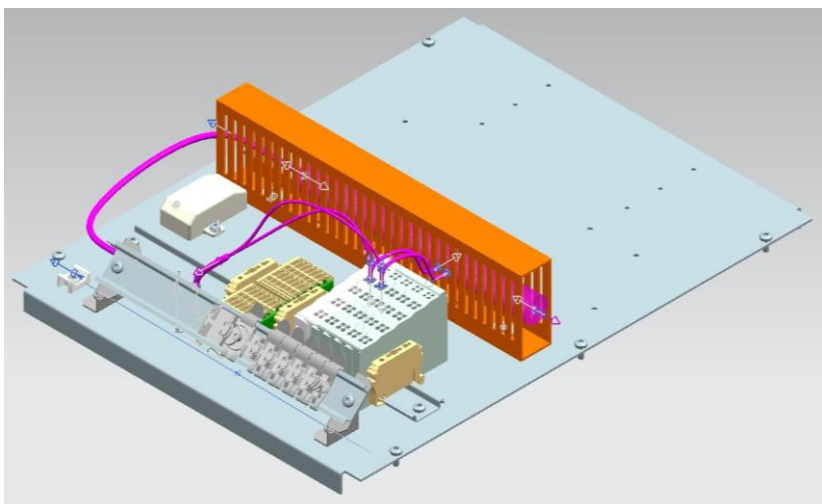
6.2 Johtosarjojen asennuksen ohjeistus 3D-mallilla

The Switchillä ei vielä ole löydetty tarpeeksi informatiivista ohjeistustapaa johtosarjojen reitityksiin ja kytkentöihin komponenttien välillä. Protoprojekteissa johtosarjoja on yleensä jo suunnitteluvaiheessa mietitty etukäteen ja osa tilataan valmiina toimittajalta, mutta niiden toteutusta ei pääse testaamaan kunnolla ennen asennusvaihetta, jolloin johtosarjoissa voi tulla esille suuriakin mittavirheitä. Myös valmiiden johtosarjojen asianmukainen reititys, niin kuin johtosarjasuunnittelija asian on miettinyt, on aiheuttanut ongelmia asennusvaiheessa tarpeeksi tarkan ohjeistuksen puuttumisen vuoksi. Johtosarjojen 3D-mallinnus olisi hyvä tapa esittää johtojen reitit ja kytkennät, sillä prototyyprikaapit kokoonpannaan 3D-mallia apuna käyttäen, ja sitä käytetään työohjeiden kuvituksen lähteenä myös sarjatuotannossa. Johtosarjojen 3D-mallinnusta on jo aiemmin harkittu ja suurpiirteisesti testattukin, mutta ajanpuutteen vuoksi asia on jäänyt perusteellisemmin tutkimatta.

Johtosarjojen mallinnusmahdollisuutta haluttiin kartoittaa laajemmin eli miten ja millä tarkkuustasolla The Switchillä se kannattaisi ja olisi mahdollista toteuttaa. Mahdollisuuksia Siemens PLM Softwaren NX 3D-mallinnusohjelman Routing-lisäosa tarjoaa pelkkien johtoreittien hahmottelusta aina yksittäisten johtojen

mallinnukseen asti komponentti- ja johdotuslistojen avulla. Yksityiskohtaisimmassa vaihtoehdossa 3D-mallista löytyisi tarkat kytkentätiedot sisältäen komponenttien kojetunnukset, johtojen paksuudet ja pituudet. Tarkempi 3D-mallinnus mahdollistaisi myös johtosarjojen tuotekoodien lisäämisen tuoterakenteeseen. Ohjelmalla olisi myös mahdollista tehdä johtosarjoista valmistuspiirustukset toimittajaa varten.

Lyhyen ohjelman tarkastelun jälkeen, saatiin helposti hahmoteltua yksittäisiä johtoreittejä komponenttien välille (**Kuvio 19.**). Johtoreittien mallinnusta varten täytyy määrittellä reitille ns. portteja, joiden kautta johtosarja kulkee kaapissa. Portin määrittäminen oikealle kohdalle voi vaatia erilaisten apupiirteiden, kuten akselien tai tasojen, määrittelyä olemassa oleviin kaapin osiin, sillä pelkkään ”ilmaan” portteja ei pysty määrittelemään. Johdolle pystyy määrittelemään paksuuden ja sen kuinka ”kireällä” johto kulkee komponenttien välillä. Tarkkoja johtojen pituuksia ei tällä mallinnustavalla kuitenkaan saa ohjelmasta ulos. Johtosarjojen tarkkaan mallinnukseen tällä tavalla ei pysty, mutta työohjeistuskäyttöön tämä tapa on riittävä. Johtosarjojen reitit olisi suhteellisen yksinkertaista mallintaa näin ja saada suurin piirtein selville niiden kaapissa vaatima tila.



Kuvio 19. Esimerkki johtosarjojen reitityksen mallinnuksesta, johto kuvassa pinkkinä.

Yksityiskohtaisempaa johtosarjojen mallinnusta varten tarvitaan NX:ään siirrettävät komponentti- ja johdotuslistat, jotka pitäisi saada oikeassa muodossa ulos käytössä olevasta sähkösuunnitteluohjelmasta. Alustavien tiedustelujen mukaan käytössä oleva sähkösuunnitteluohjelma ja NX eivät osaa keskustella suoraan keskenään. Tämä puoli vaatisikin siis lisäkoulutusta molempiin suunnitteluohjelmistoihin ja oikeanlaisten siirtotiedostojen luomista. Myös johtosarjoissa käytettävistä johdoista, holkeista ja kaapelikengistä pitäisi tehdä erillinen komponenttikirjasto, jotta NX:ää pystyisi hyödyntämään tarkkaan johtosarjojen mallinnukseen. Edelleen täytyisi kartoittaa Teamcenterin yhteensopivuutta Routing-lisäosan kanssa, sillä oikeiden tuotekoodien synkronoiminen johtosarjoihin voi olla ongelma.

6.3 Jäähdytysletkumuutokset

Liian jäykäksi todettu letkumateriaali muutettiin saman valmistajan taipuisampaan malliin, joka oli jo testattu ja käyttöönotettu toisen projektin yhteydessä.

Paisuntasäiliö päädyttiin poistamaan kokonaan tuotteesta, jolloin siihen kytketyistä jäähdytysletkuista johtunut asennusongelma poistui myös ja kääntökehyksellä on paremmin tilaa sulkeutua. Kyseinen paisuntasäiliö on jo aiemmin muun tuotteen yhteydessä todettu liian kalliiksi ratkaisuksi toteuttaa tässä muodossa.

NX:lle on olemassa lisäosa letkujen mallintamiseen, joka on vastaava kuin tämä johtosarjojen mallintamiseen käytetty. Sen käyttöönottoa suunnittelussa voisi harkita myös. Käytännössä letkumallinnus olisi vähän yksinkertaisempaa kuin johtojen mutta ohjelmien toiminta on lähes toisiaan vastaavaa.

6.4 Kehitysideoiden analysointi

Kehitysideoiden toteutusta mietimme suunnittelun ja tuotannosta vastaavien kanssa yhdessä. Kaikkiin listattuihin ongelmakohtiin ei ajallisesti olisi ollut mahdollisuutta puuttua suunnittelutasolla projektin aikataulusta johtuen. Nämä

toteuttamatta jätetyt asiat ovatkin enemmän konvertterikaapin alustatasolla tehtäviä suunnittelumuutoksia, jotka eivät näin ollen kuuluneet suoraan tämän projektin laajuuteen. Seuraavassa selostus kuitenkin näistäkin.

6.4.1 Tuoterakenne

The Switchin konvertterisuunnittelussa on pyritty kehittämään tuoterakenteita modulaariseen suuntaan, mikä helpottaa esim. tuotteen rakenteen hahmottamista kokoonpanolinjalla. Pääkomponenteissa olevien eroavaisuuksien vuoksi (esim. kytkentäpisteiden osalta) tuoterakenteesta ei vielä nykyisellään ole mahdollisuutta saada täysin modulaarista. Moduulin vaihtaminen suoraan toiseen ei vielä onnistu. Nykyisellään voidaankin puhua enemmän toiminnallisista moduuleista, jotka kyllä palvelevat hyvin hankintaa ja tuotantoa. Modulaarinen tuoterakenne voi sisältää useampia tasoja ja tuoterakenne pyritään luomaan niin, että myös asentaja hyötyy tuoterakenteesta. Osa näistä moduuleista voidaan suoraan koota erillisenä alikokoonpanona ja asentaa suurempana kokonaisuutena kaappiin. Alikokoonpanojen kokoaminen esivalmistelupisteessä vähentää kaapin loppukokoonpanoaikaa verrattuna siihen, että komponentit asennettaisiin yksitellen kokoonpanolinjalla.

Tutkittavan konvertterikaapin tuoterakenteesta haluttiin muokata myös tällainen toiminnallinen moduulirakenne. Moduulien määrittelyssä apuna mekaniikkasuunnittelijoiden lisäksi oli myös työohjeistuksesta ja linjan vaihejaosta vastaava tuotantoinsinööri. Näin moduuleista saatiin paremmin kokoonpanoa palvelevat. Tuoterakenteeseen komponenteille luotiin moduulikoodit, minkä alle listattiin pääkomponentit ja niiden asentamiseen vaadittavat asennusraudat, kiinnitysruuvit sekä mahdolliset johtosarjat ja kaapelit.

6.4.2 Kosketussuojien kiinnitysratkaisu

Kosketussuojien kiinnityksen yksinkertaistamiseksi mietittiin erilaisia ratkaisuja yhdessä kosketussuojia valmistavan partneritehtaan kanssa. Yksi esille tullut kiinnitystapa voisi olla hahlo-/kynsiratkaisu, jossa kosketussuoja laskettaisiin koukkumaisten kynsien avulla runkopalkeissa oleviin hahloihin. Tällä tavoin

kosketussuojat olisi helposti asennettavissa kokoonpanossa ja nopeasti poistettavissa huoltotöiden ajaksi eikä erillistä työkaluakaan vaadittaisi. Tämän kehityskohteen todettiin kuitenkin olevan enemmän konvertterialustatason asioita, sillä ratkaisun toteutus vaatisi muutosta myös runkopalkkeihin ja näin ollen kyseinen muutos vaatisi useamman asiakkaan hyväksyntää. Kiinnitysratkaisu vaatii myös lisäkehitystä, -testausta ja -arviointia ennen käyttöönottoa, joten kosketussuojien kiinnitys pysyy ennallaan käsitellyssä konvertteriprojektissa.

6.4.3 Kuristimien kiinnityspisteiden muutos

Samaa ja samantyyppisiä kuristimia on tällä hetkellä käytössä muissakin projekteissa. Kiinnityspisteiden paikan muutos ja näin ollen kuristimen versiomuutos täytyy toteuttaa hallitusti yhteistyössä kuristintoimittajan kanssa siten, että The Switchillä on tarkkaan dokumentoituna mistä toimituseristä lähtien uutta kuristinta on käytetty eri asiakasprojektien kaapeissa. Muutos vaikuttaa myös lattiapeltien suunnitteluun. Muutos on siirretty toteutettavaksi tulevaisuudessa konvertterialustassa, eikä siis ehdi vaikuttaa työssä käsiteltävään projektiin.

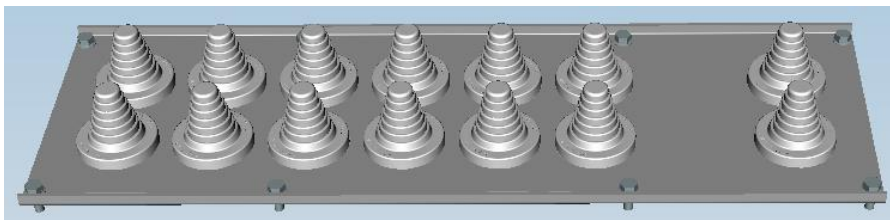
6.4.4 Radiaattorielementin kehitys

Radiaattorielementti on suunniteltu uudelleen, niin että yksi elementti kattaa ennen käytetyn kahden elementin tilan yksinään. Erillistä asennuspeltiä ei enää tarvitse, vaan kiinnityspisteet on sisällytetty elementin rakenteeseen. Myös letkujen liitoskohdat on tuotu kaapin elementin etupuolelle. Uusi elementti on tuotekehityksen testattavana parhaillaan ja vaatii testitulosten hyväksynnän ennen käyttöönottoa tuotteissa. Kyseessä on myös alustatason ratkaisu ja uusi radiaattorimalli otetaan hyväksynnän jälkeen käyttöön kaikissa The Switchin täystehomuokkaintuotteissa.

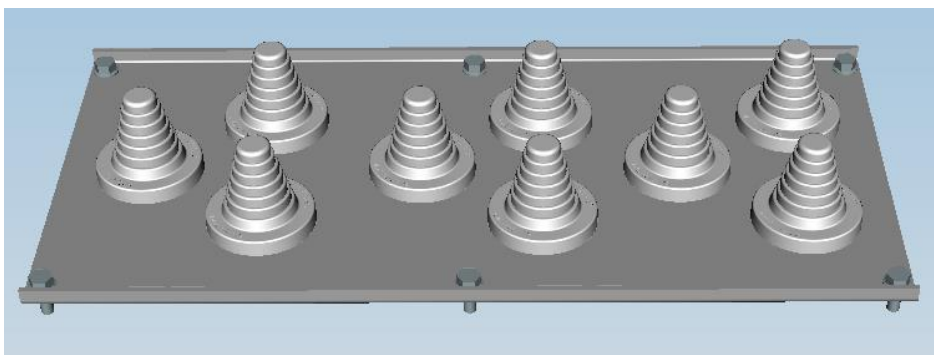
6.4.5 Lattian läpivientilevyjen uudelleensuunnittelu

Suunnittelussa päädyttiin uudelleen suunnittelemaan molemmat asiakkaan kaapelien läpivientilevyt. Vanhalle läpivientikumille löydettiin parempi malli, joka kiinnitetään peltiin mutterin avulla. Asiakkaan vaatimuksesta läpivientien

määrää myös lisättiin sekä linja- (**Kuvio 20.**), että generaattori puolen (**Kuvio 21.**) läpivientilevyssä.



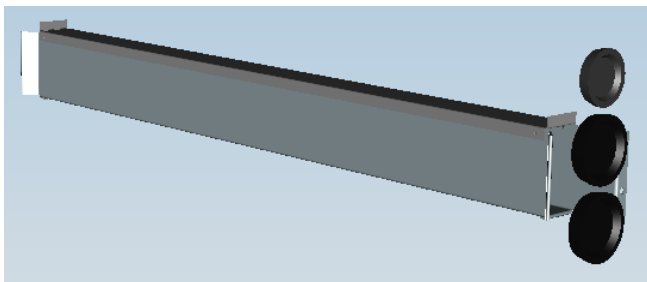
Kuvio 20. Asiakkaan kaapeleiden läpivientilevy linjapuolelta.



Kuvio 21. Asiakkaan kaapeleiden läpivientilevy generaattori puolelta.

6.4.6 Johtokourujen laskeminen

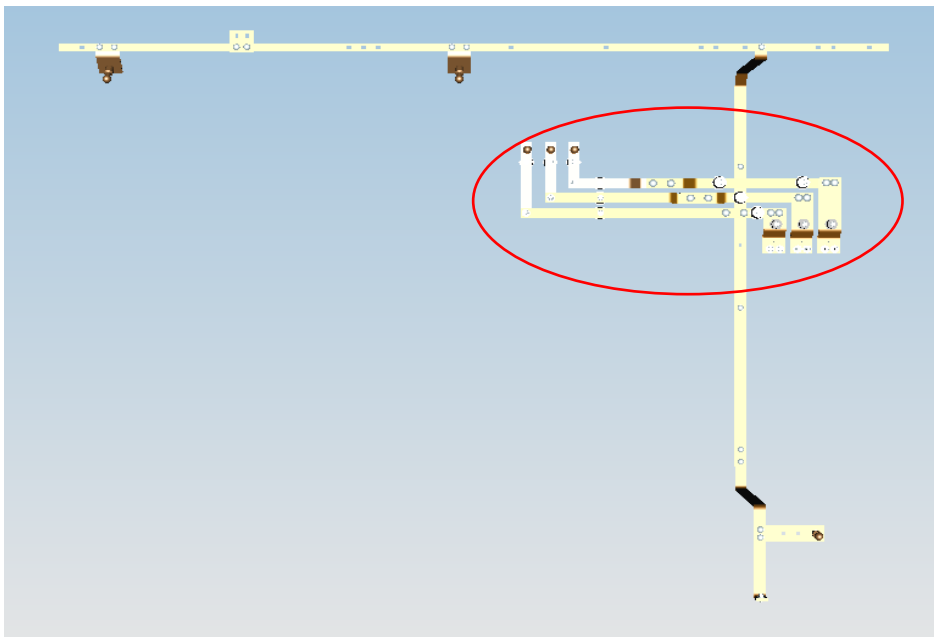
Johtokouruja laskettiin alaspäin, jotta johtosarjojen reititys on jatkossa helpompaa. (**Kuvio 22.**)



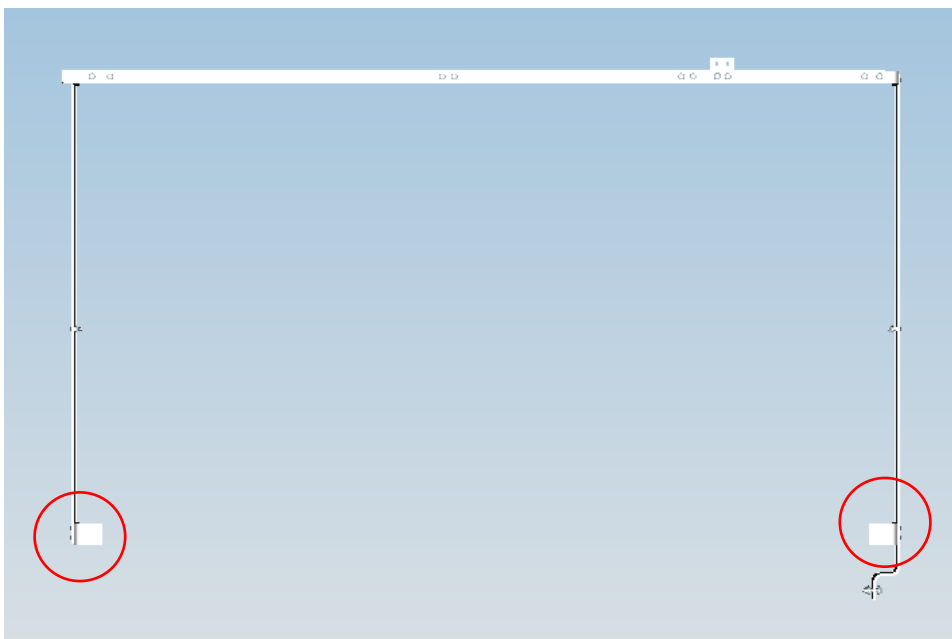
Kuvio 22. Johtokourun asennuskorkeutta konvertterikaapissa muutettiin.

6.4.7 Työmaadoituksen uudelleensuunnittelu

Projektin puitteissa ja asiakkaan suostumuksella, päätettiin maadoituspallojen käytöstä luopua kokonaan. Samalla maadoituskiskosto uusittiin kaapin osalta kokonaan esim. kuviossa 23 näkyvä linjapuolen maadoituskiskosto (ympyröitynä) kaapin takaosassa poistettiin kokonaan. Uusi maadoituskiskokokoonpano (**Kuvio 24.**) on vanhaa huomattavasti yksinkertaisempi. Osia vanhassa kokoonpanossa oli ruuveineen ja asennuspelteineen lähes 300. Uudessa osien lukumäärä onnistuttiin supistamaan 92:een. Samalla kiskojen materiaali vaihdettiin tinatusta kuparista edullisempaan ja kevyempään tinattuun alumiiniin. Työmaadoitus toteutettiin jatkamalla päämaadoituskiskoa kaapin molemmissa päädyissä alaspäin ja lisäämällä kiskoon pienet levityspalat (**Kuvio 24.**) työmaadoituksen kytkemistä varten.



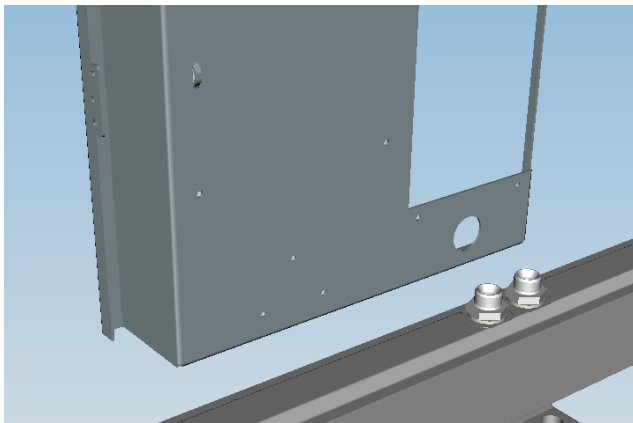
Kuvio 23. Entinen maadoituskiskosto.



Kuvio 24. Konvertterikaapin työmaadoituspiste toteutettiin alumiinilevyllä. Työmaadoituspiste löytyy kaapin molemmista päädystä.

6.4.8 Kääntökehysten pohjalevyn muutos

Kääntökehysten pohjalevy muutettiin toisessa projektissa käytettyyn malliin, jossa leikkaukset ja aukotukset on toteutettu ilman vahviketaitoja. Kääntökehys ei enää osu suljettaessa jäähdytysletkuihin (**Kuvio 25.**).



Kuvio 25. Kääntökehys ei enää osu jäähdytysletkuihin.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Konvertterikaapin kokoonpanon tehostamista tutkiessani huomioni kiinnittyi muutama suunnitteluprosessissa kehitystä vaativaan asiaan. Tuoterakenteeseen liittyviä ongelmia esiintyy mielestäni liian usein jo suunnittelusta vapautetuilla tuotteilla. Esim. osapuutokset tuoterakenteessa viivyttävät tuotteen tuotantoaikataulua, kun on jo siirrytty massatuotantovaiheeseen. Puuttuvan komponenttien toimitusaikataulu voi pisimmillään olla useita viikkoja, joten suunnitteluprosessia tulisi kehittää siten, että puutokset tuoterakenteessa havaittaisiin hyvissä ajoin ennen tuotteen tuotantoon vapauttamista. 3D-mallin parempi hyödyntäminen olisi mielestäni toimiva ratkaisu tähänkin ongelmaan. Tuotteen täydellinen 3D-mallinnus (sis. myös johtosarjat ja jäähdytysletkut) poistaisi tarvetta jälkikäteen lisätä osia Teamcenteristä Novaan siirretylle tuoterakenteelle, jolloin osien unohduksia ei pääsisi tapahtumaan. Mahdollisimman kattavasti mallinnettu tuote olisi myös työohjeistuksen teon kannalta paras, jolloin 3D-mallista otettujen kuvien jälkikäsitteilyä ei tarvittaisi.

Mikäli protovaiheessa tuoterakenteeseen tulee muutoksia, tulisi ne dokumentoida hyvin ja viedä informaatio suunnittelijoille. Andon-järjestelmän käyttö olisi optimaalisin vaihtoehto tähän tarkoitukseen, sillä sinne kirjataan muutoinkin kaikki tuotannossa ja osissa ilmaantuneet poikkeamat. Andon-tapauksien läpikäynti yhdessä suunnittelun ja tuotannon kanssa palvelisi hyvin tuotekehitystä ja motivoisi paremmin kehitysideoiden ylös kirjaamisessa tuotannossa. Andoneiden säännöllinen seuranta ja käyttäminen yhdessä muutoksenhallintaryhmän kanssa poistaisivat myös samojen virheiden toistumisen tuotteesta toiseen.

Muutosten läpivieminen tulisi myös toteuttaa kootummin. Tällä hetkellä haetaan kokonaiskustannuksiin säästöjä eri asiakkaiden projekteissa erikseen. Usein muutosten ja säästöjen läpivieminen pysähtyykin siihen, että muutos vaatisi usean asiakkaan hyväksynnän tai alustatason muutoksen. Alustasolla tehtävien muutosten läpiviemisestä tulisikin tehdä helpompaa tilanteissa jolloin kustannussäästö on merkittävä. Muutoksenhallintaprosessissa tulisi myös tehdä

enemmän yhteistyötä hankintaosaston kanssa, sillä komponenteilla voi olla toimittajien kanssa sovittuja bufferivarastoja tai niitä voi olla minimitoimituserän suuresta koosta johtuen omissa varastoissa. Muutosten käyttöönotto tulisikin ajoittaa niin, että nämä varastot käytettäisiin mahdollisuuksien mukaan loppuun.

Edellisen lisäksi tuotteiden modulaarisen rakenteen kehittäminen olisi mielestäni yksi tärkeimmistä jatkokehitystavoitteista The Switchin konvertterituotannossa, jotta tuotteista saataisiin helposti asiakastarpeen mukaan räätälöitäviä. Kehitystyössä tulisi huomiota kiinnittää erityisesti pääkomponenttien standardoimiseen, erityisesti kytkentä- ja kiinnityspisteiden sekä mahdollisuuksien mukaan ulkomittojen osalta. Tällöin komponentin vaihtaminen sujuisi kaikkein yksinkertaisimmin eikä vaihtoehtoisten komponenttien mukana oleminen aiheuttaisi niin suurta variaatiotarvetta mekaanisissa osissa (virtakiskot, asennuspellit, kiinnikkeet). Standardointi ei saa kuitenkaan olla päätarkoitus, sillä on tilanteita joissa tuotteen varioiminen on kustannustehokkaampaa kuin standardituotteen käyttäminen. Esimerkiksi tutkittavana olevassa tuotteessa ollut jarruvastuksen kytkentäkaapelien standardimitta aiheuttaa lisätyötä asennusvaiheessa, kun kaapelit lyhennetään asennusmittaansa ja kengitetään liitosta varten. Tällaisissa tapauksissa täytyy tehdä kustannusvertailua eri vaihtoehtojen välillä.

Koska tutkimassani projektissa pilottikaapin kokoonpano oli aikataulutettu opinnäytetyöni kannalta liian kauas syksyyn, pystyn toteutettujen muutosten vaikutuksia loppukokoonpano-aikaan vain arvioimaan. Mekaniikkaosien määrä kaapin rakenteella pieneni 10 %, kuitenkin pois lukien ruuvit ja muut kiinnitystarvikkeet, joiden määrä pysyi lähes samana. Tämän vaikutus näkyy suoraan kokonaiskustannuksissa. Kaappien rakenne muuttui komponenttivaihdoksista ja mekaniikan muutoksista johtuen yleisesti väljemmäksi, jolloin myös kokoonpanoa helpottavaa asennustilaa tuli konvertterikaappiin lisää. Monimutkaisen maadoituskiskoston yksinkertaistaminen vähentää kokoonpanoaikaa ja muuttamalla materiaali edullisempaan saadaan aikaan myös merkittävää kustannussäästöä

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli etsiä tapoja pienentää erään The Switchin konvertterikaapin kokoonpanokustannuksia suunnittelun kautta. Muutoskohtia kartoitettiin yhdessä mekaniikkasuunnittelijoiden, tuotantoinsinöörin ja kokoonpanolinjan asentajien kanssa. Vaikka lopullinen suunnittelumuutosten verifiointi käytännön kokoonpanossa jäikin tämän työn ulkopuolelle, voidaan tehtyjen muutosten kuitenkin katsoa tekevän konvertterikaapista helpommin ja nopeammin kokoonpantavan sekä kokonaiskustannusten myös pienentyneen. Työn kautta tuli esille myös useita jatkokehitysideoita esim. suunnitteluprosessiin liittyen, joiden toteuttamisesta The Switch Drive Systemsille olisi hyötyä.

Teoriaosuudessa käytetty lähdeaineisto koostuu tarkoin valituista teoksista, jotka keskittyvät manuaalisen kokoonpanon tehostamiseen. Lähteinä käytin ainoastaan tunnettuja lähteitä, joten lähteiden luotettavuus on hyvä. Yhtenä esimerkkinä Boothroydin DFMA-prosessi, joka on maailman laajuisesti käytetty niin valmistus- kuin kokoonpanosuunnittelun tehostamistyökaluna. Vaikka osa lähteistä on vanhahkoja, pätevät samat käytänteet manuaalisen kokoonpanon osalta edelleen. Työn aikatauluun tuli muutoksia itse asiakasprojekti aikataulun elämisen vuoksi, mikä toikin hieman haasteita työn etenemiseen. Lopputulos oli haasteista huolimatta kuitenkin oikein onnistunut.

LÄHTEET

Andreasen, M.M., Kähler S. & Lund, T. 1988. Design for assembly. Bedford. IFS Publication.

Boothroyd, G. 1992. Assembly automation and product design. New York. Marcel Dekker Inc.

Järvelä, J. 2013. Team Leader, Mechanics. The Switch Drive Systems Oy. Haastattelu 10.12.2103

Knuuttila, O. & Pulkkinen, J. 2012 .Sähkötyöturvallisuustietosivusto. Työmaadoittaminen. Tampere. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Viitattu 4.2.2014. <http://www.tut.fi/sahkotyoturvallisuus/tietosivusto/tyomaadoittaminen>.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo. WSOY

Wallace, G & Sackett, P. 1996. Integrated design for low production volume, large, complex products. Integrated Manufacturing Systems 7/3 [1996] 5–16. Bedford. MCB University Press

The Switch Drive Systems Oy. 2013. Yrityksen sisäinen materiaali. Salainen.