



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ella Minkkinen

Alumiiniruuvin suunnittelu uuteen maakaapeliliittimeen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

5.5.2020

| | |
|---|---|
| Tekijä Otsikko | Ella Minkkinen Alumiiniruuvien suunnittelu uuteen maakaapeliliittimeen |
| Sivumäärä Aika | 34 sivua + 1 liite 5.5.2020 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | Konetekniikka |
| Ammatillinen pääaine | Valmistus- ja tuotantotekniikka |
| Ohjaajat | Lehtori Markku Saarnio Tuotekehityspäällikkö Timo Vikman Tuotekehitysinsinööri Hannele Kenkkilä Tuotekehitysinsinööri Antti Toivanen |
| <p>Tämän insinööriyön tilaajana oli Ensto Finland Oy. Työn tavoitteena oli suunnitella alumiiniruuvi maakaapeliliittimeen. Alumiiniruuvien suunnittelun lähtökohtana oli saada liittimiin kustannustehokas vaihtoehto messinkiruuvien tilalle.</p> <p>Alumiiniruuveja suunniteltiin muutama erilainen malli, joilla testattiin niiden katkeamista sekä suoriutumista vetokokeissa. Alumiini- ja messinkiruuvien materiaalikustannuksia vertailtiin keskenään.</p> <p>Tuotekehitysprojektit valmiin tuotteen saavuttamiseksi ovat luonteeltaan pitkäkestoisia, joten tämä insinööriyö luo pohjaa alumiiniruuvien mahdolliselle jatkokehittämiselle. Ruuveille tulee jatkossa tehdä vielä muut standardin vaatimat testit sekä mahdollisia muita valmistajan valikoimia testejä tuotteen toiminnan ja luotettavuuden varmistamiseksi.</p> <p>Insinööriyön olennaisia tuloksia olivat tieto ruuvien jatkokehittämisen tarpeesta sekä kustannussäästöt.</p> | |
| Avainsanat | Alumiiniruuvi, maakaapeliliitin, jatkosholkki |

| | |
|--|---|
| Author Title | Ella Minkkinen Design of an Aluminum Screw for Cable Connectors |
| Number of Pages Date | 34 pages + 1 appendix 5 May 2020 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Mechanical and Production Engineering |
| Professional Major | Production Engineering |
| Instructors | Markku Saarnio, Senior Lecturer Timo Vikman, Product Development Manager Hannele Kenkkilä, Product Development Engineer Antti Toivanen, Product Development Engineer |
| <p>This Bachelor's thesis was commissioned by Ensto Finland Oy. The aim of the thesis was to design an aluminum screw for cable connectors. The starting point for the design project was to find a cost-efficient option for brass screws.</p> <p>A few different models of the aluminum screws were designed, and the breaking torque and mechanical tests were carried out with the screws. In addition, the manufacturing costs of the aluminum and brass screws were compared.</p> <p>In the future, the screws need to be tested with all the remaining tests that the standard requires, so that the screws' functionality and reliability can be ensured.</p> <p>As a result, it was discovered that the design of the aluminum screw needs more developing, but it could be considered a cost-efficient option for the brass screw.</p> | |
| Keywords | Aluminum, screw, cable connector |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-----|--------------------------------|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Yrityksen esittely | 2 |
| 3 | Sähkönsiirto ja -jakelu | 3 |
| 3.1 | Maakaapeli- ja ilmajohtoverkot | 4 |
| 3.2 | Maakaapelien rakenne | 6 |
| 3.3 | Kaapelikengät ja jatkosholkit | 6 |
| 3.4 | Momenttiruuvi | 7 |
| 4 | Alumiini | 8 |
| 4.1 | Alumiinin valmistus | 8 |
| 4.2 | Ominaisuudet ja käyttökohteet | 10 |
| 4.3 | Alumiiniseokset | 11 |
| 4.4 | Pintakäsittely | 13 |
| 4.5 | Tinaus | 13 |
| 4.6 | Korroosion vaikutus | 14 |
| 5 | Standardi IEC61238-1-3 | 15 |
| 6 | Suunnittelu | 17 |
| 6.1 | Lähtökohdat | 17 |
| 6.2 | Kitkakerroin | 19 |
| 6.3 | Simulointi | 19 |
| 7 | Alumiiniruuvien valmistus | 21 |
| 8 | Ruuvien katkeaminen | 22 |
| 9 | Testaukset | 23 |
| 9.1 | Vääntömomentti | 24 |

| | | |
|------|------------------------------|----|
| 9.2 | Mekaaniset testit | 25 |
| 10 | Testitulokset | 27 |
| 10.1 | Vääntömomentin tulokset | 28 |
| 10.2 | Mekaanisten testien tulokset | 28 |
| 11 | Kustannukset | 29 |
| 12 | Pohdintaa ja jatkokehitys | 29 |
| 13 | Yhteenveto ja päätelmät | 30 |
| | Lähteet | 32 |
| | Liite | |
| | Vääntömomentti testitulokset | |

Lyhenteet

| | |
|-----|---|
| 3D | Kolmiulotteinen grafiikka |
| CAD | <i>Computer-aided-design</i> , tietokoneavusteinen suunnittelu |
| CAE | <i>Computer Aided Engineering</i> , analysointityökalu |
| IEC | <i>International Electrotechnical Commission</i> , kansainvälinen sähkötekni- nen komissio |
| PVC | <i>Polyvinyl chloride</i> , polyvinyylikloridimuovi |

1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena oli suunnitella alumiiniruuvi uuteen maakaapeliliittimeen. Työn tilaaja oli Ensto Finland Oy. Ensto tulee julkaisemaan uuden maakaapeliliitinsarjan, johon kuuluu kaapelikenkiä ja jatkosholkkeja erikokoisille maakaapelijohtimille. Liittimien ruuvit valmistetaan messingistä ja maakaapeliliitinsarjaan haluttiin suunnitella kustannustehokkaampi vaihtoehto messinkiruuvien tilalle. Tavoitteena insinööriyössä oli saada selville, toimivatko suunnitellut alumiiniruuvit kyseisessä käyttötarkoituksessa, läpäisevätkö ne standardin vaatimat testit, sekä missä momentissa ruuvi katkeaa.

Insinööriyön aihe rajattiin niin, että ruuvi suunniteltiin yhteen liitinkokoon. Uudessa maakaapeliliitinsarjassa on useampia liittimiä, joten aiheen rajaaminen yhteen kokoon oli paikallaan. Ruuvi suunniteltiin Creo Parametric- ohjelmalla käyttäen sekä 3D-malleja että CAE- työkalua, joka on analysointityökalu.

Insinööriyö toteutettiin juuri tämän aiheen parissa, koska se oli tilaajayritykselle ajankohdainen, sillä uusi maakaapeliliitinsarja ollaan julkaisemassa lähitulevaisuudessa. Alumiiniruuvi maakaapeliliittimissä ei ole uusi innovaatio, vaan suunnittelun raameina oli suunnitella toimiva ruuvi juuri tähän kyseiseen uuteen liittimeen ja liitinkokoon.

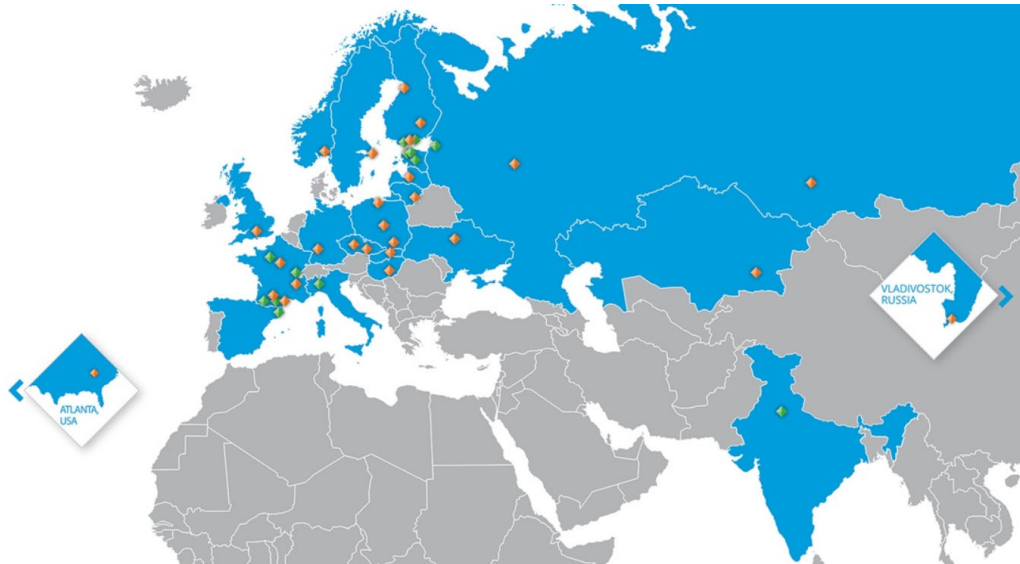
Työtä varten valmistettiin alumiiniruuveja, joilla suoritettiin maakaapeliliittimien standardin mukaiset mekaaniset testit sekä testattiin momenttiruuvien toisen vaiheen katkeamista. Rajallisen aikataulun vuoksi liittimiä ei voitu testata muilla standardin vaatimilla testeillä.

2 Yrityksen esittely

Ensto on kansainvälinen perheyritys, jonka pääkonttori sijaitsee Porvoossa. Ensto suunnittelee ja tarjoaa älykkäitä sähköistysratkaisuja, jotka parantavat älykkäitä sähköverkkoja, rakennuksia ja liikennettä. Ensio Miettinen perusti yrityksen vuonna 1958 ja Enston toiminta alkoi silloin pienten metalliosien sorvauksella. Miettinen pyrki pitämään kustannukset kurissa ja halusi suunnitella ja valmistaa tuotteita, jotka ovat helppoja asentaa ja käyttää. [1.]

Enstolla on toimintaa 20 maassa, jotka näkyvät kuvassa 1. Yrityksen liiketoiminta on jaettu kahteen liiketoiminta-alueeseen, Ensto Utility Networksiin ja Ensto Smart Buildingsiin. Ensto Utility Networks suunnittelee ja kehittää maakaapeli- ja ilmajohtoratkaisuja, jotka toimivat luotettavan ja toimintavarmen sähköverkon perustana. Ensto Smart Buildings tarjoaa asiakkailleen älykkäitä valaistus-, sähköautonlataus- ja sähköistyspalveluja. [3.]

Ensto toimii jatkuvan parantamisen periaatteiden mukaisesti ja pyrkii jatkuvasti vähentämään ympäristölle aiheutuvaa kuormitusta.



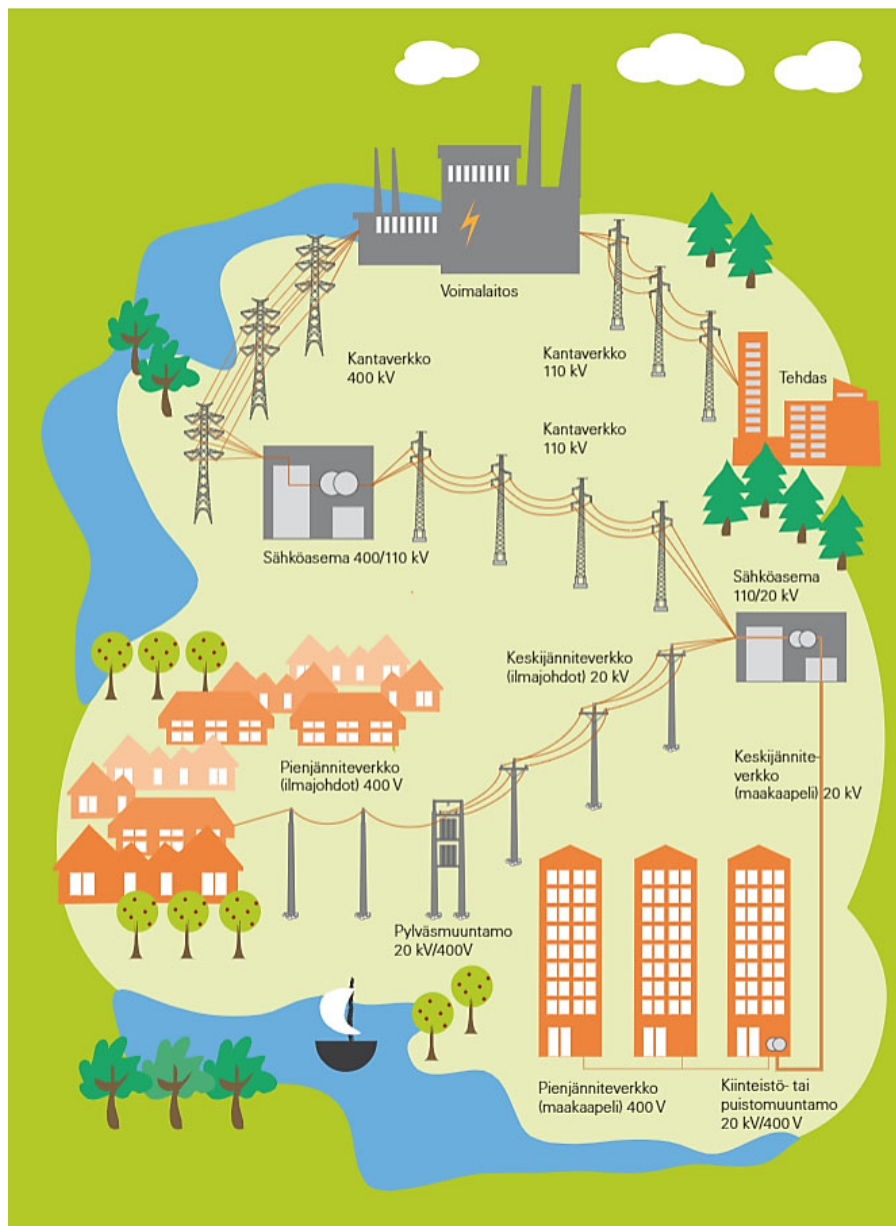
Kuva 1. Enston toiminta-alueet [4].

3 Sähkönsiirto ja -jakelu

Suomessa sähköjärjestelmä muodostuu sähköntuotannosta, kanta- eli siirtoverkosta ja jakeluverkosta. Suomessa sähköverkko jaetaan käytettävän jännitteen mukaan pien-, keski- ja suurjänniteverkkoihin. Voimalaitoksilla tuotettu sähkö siirretään suurjännitteeseen kantaverkkoon, jonka nimellisjännite on 110, 220 tai 400 kV. Sähkö siirtyy sähköasemilla suurjänniteverkosta jakelumuuntamoille keskijänniteverkkoon, jonka jännite on 20 kV. Jakelumuuntamalla keskijänniteverkon jännite alennetaan pienjänniteverkoksi 400 V jännitteelle, josta sähkö siirretään piensähkönkuluttajille kuten kotitalouksiin. [5.] Sähköverkkoa rakennetaan ilmajohto- ja maakaapeliverkkoina. Suomessa kantaverkon ylläpidosta vastaa Fingrid Oyj [6].

Sähköverkkojen on oltava toimintavarmoja, jotta sähkötkä kulkevat kuluttajille häiriöttä. Vuonna 2013 voimaan astuneen sähkömarkkinalain mukaan vuoteen 2028 mennessä asemakaava-alueella olevien asiakkaiden sähkökatkot saavat kestää enimmillään 6 tuntia. Asemakaava-alueen ulkopuolella asuvien sähkökatko saa kestää enimmillään 36 tuntia. [7.]

Kuvassa 2 on havainnollistettu Suomen sähköverkkoa.



Kuva 2. Sähköverkko [7, s. 3].

3.1 Maakaapeli- ja ilmajohtoverkot

Sähköverkkoa rakennetaan maakaapeilla ja ilmajohtoilla. Ilmajohtojen vaihtaminen maakaapeleihin on ajankohtainen aihe, sillä osa ilmajohtoverkostosta on tulossa tiensä päähän ikänsä puolesta [11]. Taajama-alueilla toimintavarmuusvaatimukset ovat myös

suurempia. Metsään ei kannata enää rakentaa uusia ilmajohtoja, koska keskeytyskustannukset ovat laskelmien mukaan suurimmat metsään sijoitetuissa ilmajohdoissa. Uusia ilmajohtoja voidaan kuitenkin rakentaa haja-asutusalueille, koska johtokattua leven-tämällä ja ilmajohdon siirtämisellä tienvarteen saadaan säästettyä investointikustannuk-sissa ja rakennettua näin säävarmempaa ilmajohtoa. [12; 13.]

Maakaapelit ovat nimensä mukaisesti maahan asennettavia kaapeleita, jotka kestävät oikein asennettuna käytössä vuosikymmeniä ja niiden teknillistaloudellinen ikä on mää-ritelty nykyisin olevan noin 40–50 vuotta [8]. Maakaapeleita asennetaan enemmän kau-punkeihin kuin haja-asutusalueille, koska ne ovat poissa näkyvistä ja ilmajohdoille ei ole usein tarpeeksi tilaa kaupungeissa. Maakaapeliverkko ei ole yhtä altis monille sähkökat-koja aiheuttaville tekijöille kuin ilmajohtoverkko. Maakaapelit ovat säävarmempia, koska myrskyt eivät pääse vaikuttamaan niihin eivätkä esimerkiksi eläimet pääse tekemään tuhojaan kaapeleille. Sen sijaan maakaapeleiden yleisimpänä yksittäisten vaurioiden ai-heuttajana taajamaolosuhteissa ovat ulkopuoliset kaivajat [9, s. 28; 8]. Näitä vaurioita pyritään estämään maakaapeleiden suositellulla asennussyvyydellä, joka on vähintään 70 cm maanpinnan alapuolella [10].

Maakaapeleiden investointikustannukset ovat kalliimpia kuin ilmajohtojen, mikä johtuu suureksi osaksi maan kaivamisen aiheuttamista kustannuksista. Sillä, millaiseen maa-perään kaapelit asennetaan, on myös merkitystä työn kustannusten kannalta. Vaikka maakaapeloinnin rakennustyöt ovatkin kustannuksiltaan kalliimmat, on se silti hyvin ver-tailukelpoinen, kun ajatellaan kaapeleiden elinkaarikustannuksia. [14.] Maakaapeleiden asentaminen vaatii tarkkuutta ja ammattitaitoa, sillä niiden korjaustoimenpiteet ovat ai-kaa vieviä ja hintavia, mutta oikein asennettuna ne tarvitsevat vähemmän korjaustoimen-piteitä ja ylläpitokustannuksia kuin ilmajohdot [9, s. 28].

3.2 Maakaapelien rakenne

Kuvassa 3 on AHXCMK-WTC maakaapeli ja nuolet osoittavat eri kerroksia, joista kyseinen keskijännitemaakaapeli koostuu.



Kuva 3. AHXCMK-WTC keskijännitemaakaapeli [15, s. 4].

3.3 Kaapelikengät ja jatkosholkit

Maakaapeliliittimiä ja -kenkiä käytetään maakaapeliverkkojen rakentamisessa. Liittimiä on sekä kaapelikenkiä että jatkosholkkeja. Kaapelikengillä päätetään kaapelit esimerkiksi sähköasemille, puistomuuntamoille ja generaattoreille [16]. Jatkosholkkeja käytetään kaapeleiden jatkamiseen.

Jatkosholkkiin yhdistetään kaapelin sisin kerros eli johdin, jonka kautta sähkövirta kulkee. Johtimien päät asetetaan jatkosholkkiin ja kiristetään paikoilleen ruuveilla. Ruuvien määrä vaihtelee liittimien koon mukaan. On myös sellaisia jatkosholkkeja, joissa liittimen kiristys johtimeen tehdään puristustyökälulla, jolloin momenttiruuveja ei tarvita.

Johtimien yleisimmät valmistusmateriaalit ovat kupari ja alumiini niiden hyvän sähkönjohtavuuden vuoksi. Enston maakaapeliliittimissä voidaan käyttää kummastakin materiaalista valmistettuja johtimia. Joissakin jatkosholkeissa tulee mukana keskitysrenkaat, joita käytetään pienemmissä liitinko'oissa ja ne poistetaan isompia johtimia käytettäessä. Ruuvit ja liittimen rungon sisäpuoli rasvataan, jotta saadaan vähennettyä ilman ja saasteiden vaikutuksia sekä vähennettyä kitkakerrointa.

Keskijänniteverkossa käytettävissä liittimissä jännite on 1 kV – 36 kV. Kuvassa 4 on momenttiruuveilla varustettu keskijännitejatkosholkki.



Kuva 4. Jatkosholkki momenttiruuveilla [17].

Vanhoissa jatkosholkeissa on paketissa mukana ruuvien kiristykseen käytettävä adapteri, joka näkyy kuvassa sinisten keskitysrenkaiden välissä. Adapteria ei uusien ruuvien kiristyksessä tulla tarvitsemaan.

3.4 Momenttiruuvi

Kupari- ja alumiinijohtimet kiristetään momenttiruuveilla maakaapeliliittimeen, jotka katkeavat, kun ne saavuttavat riittävän vääntömomentin. Ruuvien tarkoitus on helpottaa asentajien työtä, sillä ruuvien kiristämiseen eri tarvita puristuspihtejä, toisin kuin puristettavissa liittimissä.

Maakaapeliliittimessä, johon alumiiniruuvi suunniteltiin, on neljä momenttiruuvia. Liittimen keskellä on väliseinä, joka estää johtimien päitä koskettamasta toisiaan, jolloin

liittimeen saadaan asennettua sekä alumiini- että kuparijohtimia ja ne voivat olla joko muovi- tai paperieristettyjä. Väliseinä estää myös veden ja öljyn pääsyn kaapelista toiseen.

Uudet momenttiruuvit katkeavat asennettaessa kahdesta kohdasta. Ensimmäinen katkeamiskohta on ruuvin kuusiopään tyvessä, joka katkeaa alumiinimutteria vasten tietyssä momentissa. Ensimmäisen katkeamisen jälkeen mutteri kierretään ruuvin kierteitä pitkin liittimen runkoa vasten, ja mutteria kiristetään, kunnes ruuvi katkeaa toisesta kohdasta. Ensimmäisen vaiheen katkeaminen tapahtuu aina samasta kohdasta kuusiopään tyvestä, mutta toisen vaiheen katkeaminen tapahtuu jouhevasti riippuen siitä, minkä kokoista johdinta liittimessä käytetään. Kun ruuvi on katkennut molemmista kohdista, on sen katkeamisesta liittimen rungon mukainen, mikä helpottaa liittimen päälle asennettavien kerrosten asentamista. Liittimissä käytetään katkeavia momenttiruuveja, koska liittimen ja johtimen päälle asennetaan vielä eristekerrokset peittämään liitin.

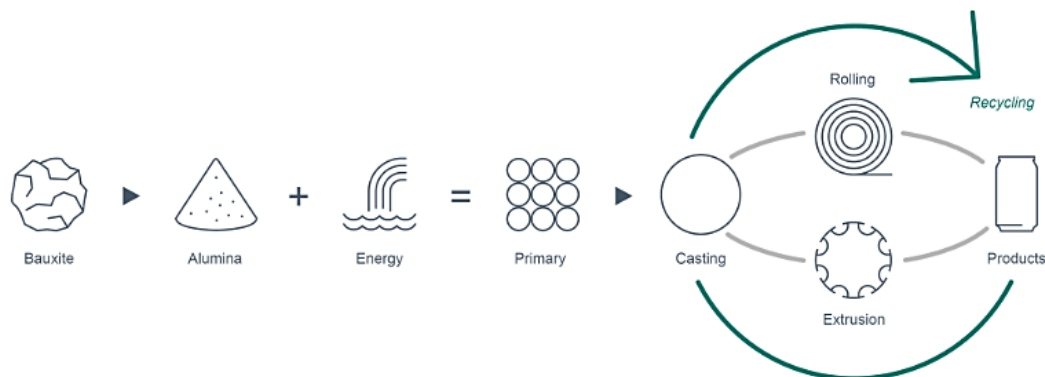
4 Alumiini

Alumiini on hapen ja piin jälkeen kolmanneksi yleisin alkuaine maapallon kuoressa. Alumiini on kevyt metalli ja se painaakin teräkseen verrattuna vain kolmasosan. Keveys on yksi sen monista hyvistä puolista, koska sen kuljettaminen on edullisempaa, jolloin se on energiatehokkaampaa ja sitä on helppo käsitellä. [18.] Maapallon kuorikerroksessa on alumiinia noin 8 %, mutta alumiini ei esiinny luonnossa sellaisenaan, vaan se on sidoksissa esimerkiksi saveen tai kiveen [19].

4.1 Alumiinin valmistus

Alumiinia valmistetaan kahdella eri menetelmällä. Ensimmäinen menetelmä on primaarialumiinin valmistaminen. Primaarialumiinin valmistus alkaa bauksiitin louhimisesta avolouhoksista. Bauksiitti on tärkeimpiä raaka-aineita alumiinin valmistuksessa ja se sisältää alumiinia noin 20–30 %. [20, s. 30.] Bauksiitin suurimmat varannot sijaitsevat päiväntasaajan molemmin puolin ja sen suurimpia varantoja on muun muassa Australiassa, Kiinassa, Indonesiassa, Brasiliassa ja Intiassa [19]. Primaarivalmistuksessa bauksiitista jalostetaan alumiinioksidia Bayerin prosessissa. Noin kahdesta tonnista bauksiittia saa

valmistettua yhden tonnin alumiinioksidia. Kun alumiinioksidi on eroteltu bauksiitista, siitä saadaan valmistettua alumiinia sulatuselektrolyytissä Hall Hérault –menetelmällä. [20, s. 31.] Kuva 5 esittää alumiinin primaarituotannon kulkua.



Kuva 5. Alumiinin primaarituotanto ja kierrätys [21].

Toinen menetelmä on kierrätettyjen alumiinituotteiden sekundaarituotanto, jossa käytetyt alumiinituotteet ja hukkamateriaali saavat uuden käyttötarkoituksen. Sekundaari alumiinituotanto aloitetaan uudelleen käytettävän alumiinromun talteen keräämisellä, jonka jälkeen se sulatetaan ja alumiini saa uuden muodon alumiiniharkkoina. [22.]

Alumiinin sekundaari valmistus on 92 % energiatehokkaampaa kuin alumiinin primaarivalmistus. Alumiinin uudelleenkäyttö onkin valmistusmenetelmänä nostanut suosiotaan valmistajien ja kuluttajien keskuudessa sen hyvien ympäristövaikutusten takia. Energiatehokkuuden lisäksi sekundaarisella alumiinituotannolla on muitakin hyviä ympäristöllisiä vaikutuksia, kuten pienempi määrä kaatopaikkajätettä, kuljetuksien alhaisemmat hinnat kansainvälisesti ja vähentyneet kasvihuonepäästöt. Kiertotalouden lisäämisellä alumiinituotannossa saadaan vähennettyä jätettä ja hukkaa. Kuluttajat arvostavat tänä päivänä enemmän ympäristöystävällisiä yrityksiä, joten jos yritys käyttää kierrätettyä alumiinia, voivat he saada asiakkaiden luottamuksen puolelleen. Uusioalumiinin käyttöä olisi hyvä suosia, kun se on mahdollista, mutta kaikkiin käyttökohteisiin se ei aina välttämättä sovellu. [23.]

Alumiini on helposti kierrätettävä materiaali, sillä 95 % - 98 % käytetystä alumiinista voidaan kierrättää, ja uudelleen sulattaminen kuluttaa vain noin 5 % sen valmistukseen käytetystä energiasta. Alumiinituotteista on edelleen käytössä noin 75 % [20, s. 37]. Alumiinia kierrättämällä saadaan säästettyä energiaa sekä luonnonvaroja. Alumiinia voidaan sulattaa monta kertaa, ja se säilyttää ominaisuutensa lähes samanlaisina ja siksi alumiinin kiertokulkua voi kutsua lähes loputtomaksi [22].

4.2 Ominaisuudet ja käyttökohteet

Alumiinilla on useita hyviä ominaisuuksia, joiden takia se on paljon käytetty materiaali monissa eri käyttökohteissa. Kaikkiin kohteisiin alumiini ei kuitenkaan välttämättä sovi. Siksi materiaalin heikommat ominaisuudet määräytyvät monesti siten, että soveltuuko materiaali tiettyyn käyttökohteeseen.

Alumiinin hyviä ominaisuuksia ovat

- keveys
- lujuus
- kestävyys
- liitettävyyys
- hyvä kierrätettävyyys
- korroosionkestävyys
- helppo muotoiltavuus ja työstettävyyys
- hyvä sähkön- ja lämmönjohtavuus. [20, s. 12.]

Alumiinista epäsoveliaan materiaalin joihinkin käyttökohteisiin tekeviä ominaisuuksia ovat

- helposti naarmuuntuvaa, riippuen alumiiniseoksesta
- hintojen vaihtelevuus
- kulumiskestävyys huonoa
- pieni virumis- ja väsymislujuus. [20, s. 12.]

Alumiinin monien hyvien ominaisuuksien vuoksi se sopii useisiin eri käyttökohteisiin. Alumiinia käytetään muun muassa seuraavissa kohteissa:

- Rakentamisessa

- kaiteissa, katoissa, ikkunoissa, ovissa, tikkaissa
- Pakkausteollisuudessa
 - foliossa, ruoka-astioissa, lääkepakkauksissa
- Kuljetuksessa
 - veneissä, junanvaunuissa, lentokoneissa, linja-autoissa
- Sähkötarviketeollisuudessa
 - johtimissa, laitekoteloissa, liittimissä
- Koneteollisuudessa
 - koneiden ja laitteiden osissa. [19.]

4.3 Alumiiniseokset

Alumiinin ominaisuuksia saadaan muokattua lisäämällä siihen seosaineita. Alumiiniseosten käyttö on paljon yleisempää, kuin puhtaan alumiinin. Syitä puhtaan alumiinin vähäiseen käyttöön ovat muun muassa sen pehmeys ja matala lujuus. Alumiiniseos sopii alumiiniruuveihin paremmin, koska niiltä vaaditaan lujuutta, jota puhtaalla alumiinilla ei ole ja seosaineilla saadaan parannettua myös muita alumiinin ominaisuuksia. Alumiinia seostamalla siitä voidaan saada jopa yhtä vahvaa kuin jotkut teräkset ovat. [24; 20, s. 56.]

Alumiiniseokset jaetaan karkeasti kahteen eri ryhmään, karkenemattomiin ja karkeneviin. Ensimmäinen numero alumiiniseoksen numeerisessa järjestelmässä kertoo seoksen pääseosaineen. [20, s. 56, 62.] Taulukossa 1 on lueteltu alumiiniseosten pääseosaineet.

Taulukko 1. Pääseosaineet alumiiniseoksissa [20, s. 62].

| | |
|---------|-----------------|
| 1xxx(x) | Puhdas alumiini |
| 2xxx(x) | Kupari |
| 3xxx(x) | Mangaani |
| 4xxx(x) | Pii |
| 5xxx(x) | Magnesium |
| 6xxx(x) | Pii + magnesium |
| 7xxx(x) | Sinkki |
| 8xxx(x) | Muut |

Alumiiniseokset merkitään numeerisesti muokattavissa seoksissa esimerkiksi EN AW-6082 ja valussa EN AC-47000. Alumiiniseosten numeerisissa nimikkeissä olevien lyhenteiden tarkoitukset ovat:

- EN = eurooppalainen standardi
- A = alumiini
- W = muokattavat seokset
- C = valuseokset
- Numerot = muokattavilla seoksilla on neljä numeroa ja valuseoksilla viisi numeroa. [20, s. 62.]

Alumiiniruuvissa pyrittiin käyttämään mahdollisimman lujaa alumiiniseosta, jotta se kestää käytössä vuosia ja kestää vaadittavat kiristysmomentit. Tuotteiden kestävyydellä saadaan pidennettyä niiden elinkaarta ja vähennettyä hukkaa. Kun tuote kuitenkin lopulta on elinkaarensa päässä, on materiaalin oltava helposti kierrätettävää. Tästä syystä alumiiniseoksen valintaan vaikuttaa esimerkiksi se, sisältääkö seos lyijyä, joka on ympäristössä esiintyvä myrkyllinen raskasmetalli [25]. Ruuvien materiaalina haluttiin testata eri alumiiniseosta, kuin mitä liittimen rungossa käytetään. Lujemmalla seoksella pyrittiin varmistamaan, että ruuvi katkeaa suunnitellusti. Alumiiniseoksen on myös oltava helposti työstettävää ja soveltuvaa pienten metalliosien valmistukseen.

4.4 Pintakäsittely

Alumiinilla on eri valmistusmenetelmien jälkeen hyvin käyttökelpoinen pinta ja ulkonäkö jo sellaisenaan ja sitä käytetäänkin useissa käyttökohteissa ilman pintakäsittelyä. Koska alumiinilla on hyvä korroosionkesto, se ei aina tarvitse pintakäsittelyä, ja korroosio onkin harvoin syy, miksi alumiinia pintakäsitetään. Syitä alumiinin pintakäsittelyille ovat

- kitkan vähentäminen
- kulutuskestävyyden lisääminen
- korroosiokeston parantaminen
- pinnan rakenteen parantaminen
- lujuus
- sähköneristyskyky. [20, s. 124.]

Alumiinikappaleiden pinnoittamisella saadaan pidennettyä kappaleen käyttöikää. Tämä oli työn kannalta huomioitava seikka, koska tuote sijoitetaan maan alle, ja sen esiin kaivaminen on aikaa vievää ja kallista. Ruuvien pintakäsittelyllä halutaan suojata pinnan ominaisuuksia ja tehdä siitä helpokäyttöinen kitkaa vähentämällä [20, s. 124].

4.5 Tinaus

Ruuvien pintakäsittelymenetelmäksi valittiin tinaus, koska se vähentää kitkaa alumiiniosien välillä ja suojaa ruuvia kosteudelta. Tinatulla kappaleella on myös alhainen ylimenovastus, minkä takia sitä käytetään sähkö- ja elektroniikkateollisuudessa. Pintakäsittelynä tinaus on monivaiheinen. Se on elektrolyyttinen eli sähkökemiallinen pinnoitusmenetelmä. Elektrolyytti johtaa sähköä alumiinipinnan ja vastaelektrodin välillä ja samalla osallistuu pinnanmuunnokseen. [20, s. 131.] Tinauksessa käsiteltävät kappaleet on ensin puhdistettava leikkuunesteestä, öljystä tai muista epäpuhtauksista, joita kappaleen pinnalla voi olla sen valmistuksen jälkeen. Puhdistus itsessään voi olla monivaiheinen prosessi. [26.]

Ennen tinapinnoitusta kappaleelle tehdään kupari- tai nikkelivälikerros, jonka paksuus on noin 3–6 µm. Tämä välikerros estää tinan sekoittumisen pohjamateriaaliin ja parantaa tartuntaa. [27; 28.] Tinaus tapahtuu elektrolyyttikylvyssä, joka on metallisuolaa sisältävä vesiliuos [29].

Tinauksesta aiheutuvia haittoja ovat esimerkiksi whiskers-ilmiö ja pinnoituksen epätasainen paksuus [26]. Whiskers-ilmiössä syntyy tinakiteitä, paksuudeltaan noin 2–3 µm, jotka pystyvät kuljettamaan virtaa ja näin ollen lisäävät oikosulkuriskiä elektroniikkakomponenteissa. Tätä riskiä pystytään kuitenkin pienentämään, kun huolehditaan, että kupari- tai nikkelivälikerros on tarpeeksi paksu. Ilmiötä esiintyy helpommin, jos kappale on päällystetty pelkästään tinalla. Jotkin kylpytyypit saattavat myös vähentää ilmiön syntymistä. [27.] Tinausprosessissa epätasaisuutta pinnanlaadussa voi esiintyä, jos kappaleen muoto on haastava pintakäsittelylle. Tällöin tina ei välttämättä kerry tasaisesti kappaleen pinnalle. Epätasaisuutta voidaan korjata sijoittamalla anodit uudestaan ja muuttamalla tasavirran tiheyttä. [26.]

Tinauksessa voi myös olla riskinä heikkojen muotojen vahingoittuminen. Esimerkiksi alumiiniruuvien ulkokierteissä voi olla vaarana niiden vahingoittuminen, kun kappaleet pyörivät tinausprosessin aikana rummussa.

Maakaapeliliittimen runko on myös tinattu, sillä se vähentää kitkaa ruuvien ja liittimen välillä.

4.6 Korroosion vaikutus

Korroosio on ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta tapahtuva fysikaalis-kemiallinen reaktio. Ilmiö vaikuttaa metallin ominaisuuksiin, joka usein johtaa metallin vaurioitumiseen. Metallien korroosioreaktiot voidaan jakaa kahteen ryhmään, kemiallisiin ja sähkökemiallisiin reaktioihin. [30, s. 3, 25.]

Alumiinilla on erittäin hyvä korroosionkestävyys. Alumiinin pintaan muodostuu hapen vaikutuksesta ohut oksidikerros, joka suojaa alumiinia korroosiolta. [30, s. 530.] Oksidikerros on paksuudeltaan noin 0,01–0,1 µm ja se on erittäin tiivis ja suojaava kerros korroosiota vastaan. Alumiinipinnan rikkoutuminen ei altista sitä korroosiolle, sillä oksidikerros

uusiutuu välittömästi rikkoutumisen jälkeen. Kosteassa ja lämpimässä ilmastossa oksidikerroksen kasvu on nopeampaa ja kerroksesta tulee paksumpi. Erittäin kosteassa ilmassa kasvaneen luontaisen oksidikerroksen paksuus voi olla jopa yli 0,1 µm. Kuivassa ilmassa alumiini kasvattaa oksidikerrosta pari päivää, jonka jälkeen kasvu pysähtyy itsestään. [20, s. 100.]

Paras korroosionkesto alumiineista on seostamattomalla Al99,99 ja se soveltuu hyvin vaihteleviin olosuhteisiin. Seostamattomilla alumiineilla on parempi korroosionkesto, mutta ne eivät sovellu moniin käyttökohteisiin pehmeytensä takia. Alumiiniseokset ovat lujempia, mutta seostuksen myötä niiden korroosionkesto heikkenee. Seoksien korroosionkesto saadaan parannettua pinnoittamalla alumiini. Alumiiniseoksien pinta saadaan suojattua monilla eri pintakäsittelyillä, jolloin ne ovat täysin käyttökelpoisia. Ympäristökijät vaikuttavat myös korroosionkestävyyteen. [30, s. 530.]

Vaikka alumiinilla onkin hyvä korroosionkestävyys, oli sen vaikutuksia kuitenkin pohditettava ruuvien suunnittelussa.

Alumiinin yleisen korroosion lisäksi eri korroosionmuotoja ovat

- galvaaninen korroosio
- pistekorroosio
- rakokorroosio
- jännityskorroosio
- kerroskorroosio
- rihmakorroosio
- hiertymiskorroosio. [20, s. 103.]

5 Standardi IEC61238-1-3

Maakaapeliliittimille on useita standardoituja testejä, joilla selvitetään niiden toimintavarmuus. Kaapeleiden oletetaan toimivan ilman häiriötä maan alla vuosia, joten testauksilla todennetaan liittimien toimivuus standardien vaatimissa rajoissa.

Standardissa IEC61238-1-3 käydään läpi testimenetelmät ja vaatimukset puristus- ja mekaanisille liittimille, joita käytetään virtajohtimissa, joiden nimellisjännite on 1 kV-30

kV, ja ne on testattu eristämättömillä johtimilla. Standardi ei ole tarkoitettu ilmajohtoverkoille. [31, s. 5.]

Standardissa todetaan, että kun liitin vastaa standardin tekemiä vaatimuksia, siltä odotetaan seuraavia asioita käytännössä:

- a) liitännän resistanssi pysyy vaadituissa rajoissa vakaana
- b) liittimen lämpötila on sama tai vähemmän kuin johtimen lämpötila virtalämmityksen aikana
- c) jos tarkoitettu käyttö vaatii, niin oikosulun virrat eivät vaikuta a- tai b- kohtaan
- d) sähköisestä suorituskyvystä riippumatta, aksiaalinen vetolujuus varmistaa kaapeliliittimien liitosten hyväksyttävän mekaanisen suorituskyvyn.

Mekaanisten testien tarkoituksena on standardin IEC61238-1-3 mukaan varmistaa hyväksyttävä mekaaninen voima liitännöille kaapeleiden johtimissa. Testit suoritetaan kolmella liittimellä, joiden asennukset on tehty samalla tavalla kuin sähköisissä testeissä käytettävissä liittimissä. Suositeltava johtimen pituus liittimien välillä tai liittimen ja vetolujuuskoneen leukojen välillä on ≥ 500 mm. Kuorman käyttöaste ei saa ylittää 10 N/mm^2 nimellistä poikkileikkauspinta-alaa ja sekunnissa korkeintaan 25 % arvosta, joka mainitaan taulukossa 2, jotta johdin voidaan asettaa luotettavasti liittimeen. Sitten voidaan nostaa kuorma taulukossa 2 näkyvään arvoon, jota pidetään yllä yhden minuutin ajan. [31, s. 26.]

Toleranssin, jota käytetään mekaanisen kuorman kohdistamiseen, tulee olla ± 5 %. Testin vaatimuksena on, että johdin ei saa liikkua testin viimeisen minuutin aikana liittimessä enempää kuin 3 mm.

Mekaaniset testit eivät anna viittauksia siihen, että liitin vastaisi sähkötestien vaatimuksiin, vaan ne on suoritettava erikseen.

Taulukko 2. Mekaanisissa testeissä käytettäviä vetolujuus arvoja [31, s. 27].

| Luokka | Johtimen materiaali | Nimellinen poikkipinta-ala A (mm ²) | Vetolujuus (N) |
|----------|---------------------|---|----------------|
| Luokka 1 | Alumiini | ≤500 | 40 x A |
| | | ≥630 | 20000 |
| | Kupari | ≤300 | 60 x A |
| | | ≥400 | 20000 |
| Luokka 2 | Alumiini | ≥630 | 40 x A |
| | Kupari | ≥400 | 60 x A |

Standardissa määritellään tarkemmin testiraportissa vaadittavat tiedot, mutta sen tulee sisältää seuraavat tiedot:

- liittimen luokka
- testeissä käytetty johdin
- liitin ja asentaminen
- mekaanisten testien tulokset. [31, s. 27.]

6 Suunnittelu

6.1 Lähtökohdat

Ruuvien suunnittelun lähtökohtana oli sopivan alumiiniseoksen valinta ja seoksen vaatimuksista tärkeimpänä oli sen lujuus. Ruuveihin haluttiin mahdollisimman lujaa seosta, koska sen täytyy toimia pitkään maan alla vaativissa olosuhteissa. Materiaalin haluttiin myös olevan kovaa, koska kovuus helpottaa sen katkeamista. Muita vaatimuksia seokselle olivat hyvä työstettävyys ja lyhytlastaisuus.

Ruuvi suunniteltiin vain yhteen liitinkokoon tulevasta liitinsarjasta. Kyseinen liitinkoko valittiin, koska sillä on suurin kysyntä uudesta liitinperheestä, jolloin siihen ruuvien suunnitteleminen oli myös ajankohtaisinta.

Alumiiniruuvien suunnittelussa keskityttiin ruuvien toisen vaiheen katkeamiseen. Messinkiset ruuvit katkeavat kahdesta eri kohdasta, mutta työn aikataulun asettamissa rajoissa

oli parempi keskittyä vain jälkimmäiseen katkeamiseen. Ensimmäisen vaiheen katkeamisen suunnittelu olisi vaatinut huomattavasti enemmän aikaa suunnittelulle, koska katkeamiseen vaikuttavien muuttujien määrä olisi ollut suurempi. Useiden muuttujien takia olisi ollut aikaa vievää selvittää, mitkä kaikki tekijät vaikuttivat mihinkin tuloksiin ja miksi. Suunnitellessa haettiin mittoja, joissa ruuvi saataisiin katkeamaan momenttitoleranssin asettamissa rajoissa.

Suunnittelussa käytettiin Creo Parametric-ohjelmaa, koska maakaapeliliittimen runko, ruuvi ja mutteri on mallinnettu sitä käyttäen. Ruuvien suunnittelun pohjalla käytettiin messingistä valmistettavien ruuvien 3D-mallia, koska sitä muokkaamalla oli helpompi lähteä työstämään alumiiniruuvien mittoja. Ruuvien ulkokierteiden mittoja ei muutettu, koska se olisi aiheuttanut muutoksia myös liittimen rungon kierteisiin. Suunnittelussa pyrittiin löytämään sellaiset mitat, jotka kestävät testivaatimukset ja katkeavat vaaditussa momenttitoleranssissa. Testikappaleet suunniteltiin hieman pidemmiksi kuin messinkiruuvit, jotta niiden sahaaminen helpottuisi. Kappaleiden sahaus korvasi ensimmäisen vaiheen katkeamisen tässä työssä.

Raaka-ainetilausten jälkeen ruuveille haluttiin valita sopiva pintakäsittely. Työssä päätettiin tinaukseen, koska se on tuttu pintakäsittelymenetelmä Enstolla, ja näin ollen se saatiin tehtyä Enston Porvoon tehtaalla. Vertailtavana oli muutama muukin pintakäsittelymenetelmä, joista osa olisi voinut olla potentiaalinen vaihtoehto tinauksen sijaan tai sen lisäksi osaan testikappaleista, mutta aikataulullisista syistä tinaus osoittautui työn kannalta parhaaksi vaihtoehdoksi.

Ruuveille piti suunnitella sopiva toleranssi niiden pintakäsittely huomioiden. Alumiiniruuveille ei voitu käyttää samaa toleranssia kuin messinkiruuveille, koska messinkisissä ei ole pinnoitetta. Toleranssit määritettiin vain ulkokierteille ja niiden toteutuminen saatiin mitattua kierremitala.

3D-mallien pohjalta testikappaleille tehtiin työpiirustukset, joiden perusteella ruuvit valmistettiin. Myös piirustukset tehtiin Creo-ohjelmaa käyttäen. Työpiirustuksissa oli yleiskuva ruuvista, sekä suurennettuja kuvainvoja tietyistä yksityiskohdista, jotka olivat valmistuksen kannalta tärkeitä.

6.2 Kitkakerroin

Suunnittelussa oli huomioitava alumiinin kitkakerroin. Kitkakerroin kuvaa kitkan suuruutta, eli mitä suurempi kitka, sitä suurempi kitkakerroin.

Alumiini alumiinia vasten liitoksissa on suuri kitkakerroin. Kitkakerroin vaikuttaa ruuvien kiertämiseen liittimeen ja mutterin kiertämiseen ruuviin. Kierteiden kiertämisestä tulee jäykempää suuren kitkakertoimen takia, jonka vuoksi kierteiden toleranssit suunniteltiin alumiiniliitoksille sopiviksi. Taulukossa 3 näkyy alumiini alumiinia vasten kitkakertoimet.

Taulukko 3. Alumiinin kitkakertoimia [32].

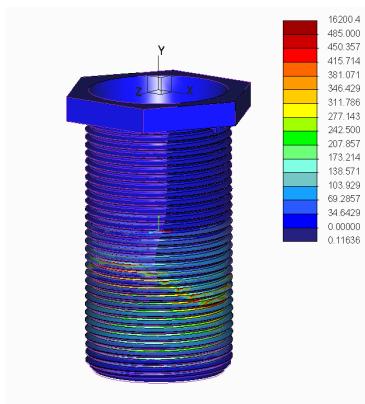
| Materiaaliyhdistelmä | | Pinnan olosuhteet | Lepokitka μ | Liikekitka μ |
|----------------------|----------|-------------------|-----------------|------------------|
| Alumiini | Alumiini | Kuiva ja puhdas | 1.05–1.35 | 1.4 |
| Alumiini | Alumiini | Rasvattu | 0.3 | |

Alumiinin pinnan kitkakerrointa pyrittiin vähentämään tinapinnoitteen avulla. Liittimeen ja ruuveihin laitetaan myös asennettaessa rasvaa, joka vähentää kitkaa osien välillä kuten taulukossa 3 näkyy. Rasvaus myös suojaa materiaalia hapettumiselta ja toimii korroosiosuojana.

6.3 Simulointi

Ruuvien suunnittelussa käytettiin Creo Parametric -ohjelman CAE -työkalua. Simuloimalla pystyttiin tarkastelemaan materiaalin lujuutta ja paikoittamaan voimat, joita ruuviin kohdistuu. Simuloimalla pystyttiin tarkastelemaan, miten voiman aiheuttamat rasitukset vaikuttivat ruuveissa, ja ylittyivätkö materiaalin myötölujuuden arvot rasituksesta.

Simuloinnin avulla oli hyvä tarkastella sitä, mitkä muutokset ruuvien mitoissa ja muodoissa vaikuttivat ruuviin kohdistuviin rasituksiin. Pienilläkin muutoksilla oli merkittäviä vaikutuksia ruuvien kestävyysalueilla, joissa rasitusta esiintyi. Kuvassa 6 näkyy ruuviin kohdistuva rasitus, kun se on kierretty liittimeen. Ohjelmalla määritettiin paikat, joihin rasitukset kohdistuvat ruuvissa.



Kuva 6. Ruuvi simuloinnissa.

Simuloinneissa käytettiin von Misesin kriteeriä. Von Misesin jännitystä käytetään määrittelyssä sitä, antaako materiaali periksi eli venyykö vai murtuuko se. Sitä käytetään yleisimmin venyvissä materiaaleissa kuten metalleissa. Von Mises -taipumisen kriteeri kertoo, että jos materiaalin von Mises jännitys kuorman alla on samansuuruinen tai suurempi kuin saman materiaalin myötöraja yksinkertaisessa jännityksessä, niin tällöin materiaali venyy. [2.]

CAE -työkalu oli hyvä apu ruuvien suunnittelussa, mutta sen tulokset olivat suuntaa antavia, koska materiaalista ei ollut tiedossa kaikkia mahdollisia parametreja. Näitä tietoja varten olisi tullut suorittaa vetokoe vetosauvoilla. Työkalua käyttäessä siihen syötettiin materiaalin tiedot, jotka saatiin materiaalintuottajalta. Työkalu auttoi määrittämään kohdat, joihin suurimmat rasitukset kohdistuivat, mutta numeeriset arvot eivät olleet totuuden mukaisia, vaan suuntaa antavia.

Kuvassa 7 on Creo-ohjelmalla mallinnettu alumiiniruuvi.



Kuva 7. 3D-mallinnettu alumiiniruuvi.

7 Alumiiniruuvien valmistus

Alumiiniruuvit valmistettiin Enston tehtaalla Porvoossa. Jokaista ruuvimallia valmistettiin 40 kappaletta, eli ruuvien kokonaismäärä oli 360 kappaletta. Ruuvit valmistettiin niistä tehtyjen työpiirustusten pohjalta, jotka tehtiin Creo-ohjelmalla. Niiden valmistus oli mittatarkempaa, kuin messinkiruuvien massavalmistus on. Syynä tähän oli alumiiniruuvien pieni määrä sekä se, että valmistettavana oli useampi erilainen ruuvimalli. Joidenkin ruuvimallien mittojen erot toisistaan olivat paikoittain pieniä, joten mitä mittatarkemmin ne saatiin valmistettua, niin sen tarkempia testituloksia saataisiin ja ruuvimallien erottaminen toisistaan olisi helpompaa.

Alumiiniruuvien pinnoitus tehtiin useammassa erässä ruuvi erien toisistaan erillään pitämisen vuoksi. Ruuvit olivat ulkoisesti hyvin saman näköisiä, joten testauksien helpottamiseksi ne eroteltiin toisistaan ennen tinausprosessia. Osa ruuvien mittaeroista oli niin pieniä, että niiden mittaaminen ja toisistaan erottaminen jälkikäteen olisi ollut työlästä.

Kuvassa 8 on valmis tinattu alumiiniruuvi.

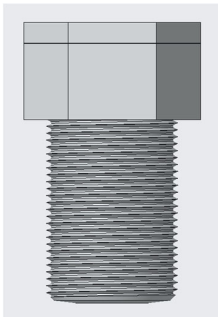


Kuva 8. Tinattu alumiiniruuvi.

8 Ruuvien katkeaminen

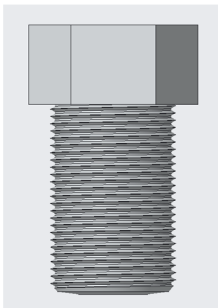
Tässä kappaleessa käydään läpi suunniteltujen momenttiruuvien katkeamisen vaiheet.

Kuvassa 9 on lähtötilanne, jossa mutteri on kierretty ruuvien kantaan vasten.



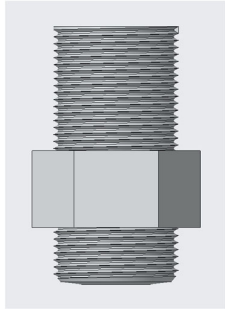
Kuva 9. Ruuvi ja mutteri.

Ensimmäisen kiristuksen jälkeen ruuvien kanta katkeaa mutteria vasten. Kuvassa 10 ruuvien kanta on katkennut, ja jäljellä on mutteri ja ruuvien loppuosa.



Kuva 10. Ruuvi ensimmäisen katkeamisen jälkeen.

Tämän jälkeen mutteri kierretään liittimen runkoa vasten ja kiristetään, kunnes ruuvi katkeaa uudestaan. Kierretty mutteri on kuvassa 11.



Kuva 11. Mutteri kierretty ruuvia pitkin.

Toisen kerran katkettuaan ruuvi on katkennut liittimen rungon mukaisesti, jolloin jäljelle jää vain ruuvin loppuosa, jonka pituus riippuu siitä, minkä kokoista johdinta liittimessä on käytetty. Kuvassa 12 on ruuvin kanta toisen katkeamisen jälkeen.



Kuva 12. Toinen katkeaminen.

9 Testaukset

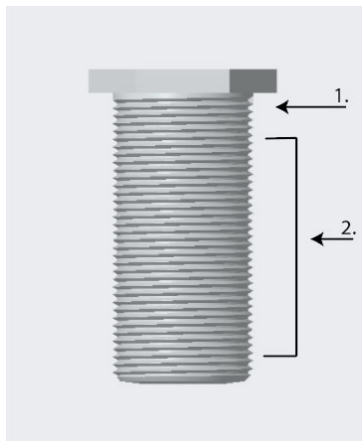
Alumiiniruuveille suoritettiin suunnitellut testit ja niiden perusteella määriteltiin ruuvien soveltuvuutta liittimissä. Rajallisen aikataulun vuoksi ruuveille pystyttiin tekemään vain mekaaniset testit sekä selvitettiin vääntömomentti, jolla ruuvit katkesivat. Standardin IEC 61238-1-3 mukaan maakaapeliliittimille muita tehtäviä testejä ovat sähkövastuksen mittaukset, lämpötilamittaukset, lämpösyklin testit ja oikosulkutesti. [31.] Lisäksi tehtäviä testejä ovat vanhennustestit ja korroosiotestit.

9.1 Vääntömomentti

Ruuvien katkeamismomentin testauksissa ruuveja oli 28 kappaletta kutakin mallia. Testikappaleita valmistettiin kyseinen määrä, jotta testituloksissa olisi tarpeeksi vertailtavaa, ja että ne olisivat luotettavia. Ruuvit testattiin kahdella eri johdinkoolla.

Tarvittava vääntömomentti ruuvien katkeamiseen selvitettiin pelkästään toisen vaiheen katkeamisessa. Syy tähän oli insinööriyön aiheen rajaaminen aikataulun puitteisiin sopivaksi. Kun tässä vaiheessa selvitettiin vain toisen vaiheen katkeamista, ja se saataisiin tulevaisuudessa toimimaan moitteettomasti, voitaisiin jatkossa keskittyä ensimmäisen katkeamisvaiheen suunnitteluun.

Kuvassa 13 on havainnollistettu sitä, missä kohtaa ensimmäinen ja toinen katkeamisvaihe tapahtuvat ruuvissa. Nuolten tarkoitus on vain havainnollistaa katkeamista, eli ne eivät osoita mittatarkasti katkeamiskohtia. Toinen katkeamiskohta on laaja, koska ruuvien katkeaminen riippuu siitä, minkä kokoista johdinta liittimessä käytetään. Kuvan ruuvi on 3D-mallinnettu Creo-ohjelmalla.



Kuva 13. Ruuvien katkeamiskohtat 3D-mallinnetussa ruuvissa.

Valmiissa tuotteessa mutteri on kiinnitetty ruuviin kiinni siten, että se on ruuvien kuusiokantaa vasten. Testikappaleisiin ei mutteria kuitenkaan kiinnitetty, koska se ei olisi toiminut testauksissa, vaan mutterit pelkästään kierrettiin ruuvien kuusiokantaa vasten. Kun normaalisti ensimmäinen katkeamisvaihe on ruuvien kuusiokannan työssä, niin testeissä ruuvit sahattiin, jotta tilanne saataisiin vastaamaan katkennutta ruuvia. Kannan sahaaminen oli tarpeellista, jotta mutteri saatiin kiristettyä liittintä vasten momenttiavaimella.

Sahauksen jälkeen mutteri kierrettiin ruuvien kierteitä pitkin pohjaan asti toisen vaiheen katkeamisen testausta varten. Mutterin ollessa liittimen runkoa vasten, sitä väännettiin ruuvien katkeamiseen asti. Ruuvit väännettiin poikki momenttiavaimella ja vääntömomentti raportoitiin.

Testauksissa liittimet merkattiin sen mukaan, mitä ruuvimallia niissä oli käytetty ja moneko liitin oli testeissä. Kunkin ruuvien katkeamismomentti raportoitiin testauksissa käytettävään taulukkoon testituloksien vertailua varten. Vääntömomentti kirjattiin lisäksi liittimien kylkeen kunkin ruuvien kohdalle, mikä helpotti myös tulosten vertailua liittinkohtaisesti. Raporttiin kirjoitettiin ylös myös, jos ruuvien asentamisessa oli poikkeavuuksia, kuten erikoisia ääniä ruuvien katketessa tai epätasainen katkeamispinta.

9.2 Mekaaniset testit

Mekaanisten testien vaatimukset standardissa IEC61238-1-3 esitettiin kappaleessa 5. Mekaaniset testit suoritettiin standardin vaatimusten mukaisesti, eli testit suoritettiin kolmella liittimellä jokaista testattavaa ruuvimallia kohden. Mekaanisissa testeissä käytettiin suurinta liittimeen sopivaa kuparijohtinkokoa, koska se on testeissä kriittisin. Testeissä käytetyt ruuvimallit olivat 1, 2, 4 ja 6.

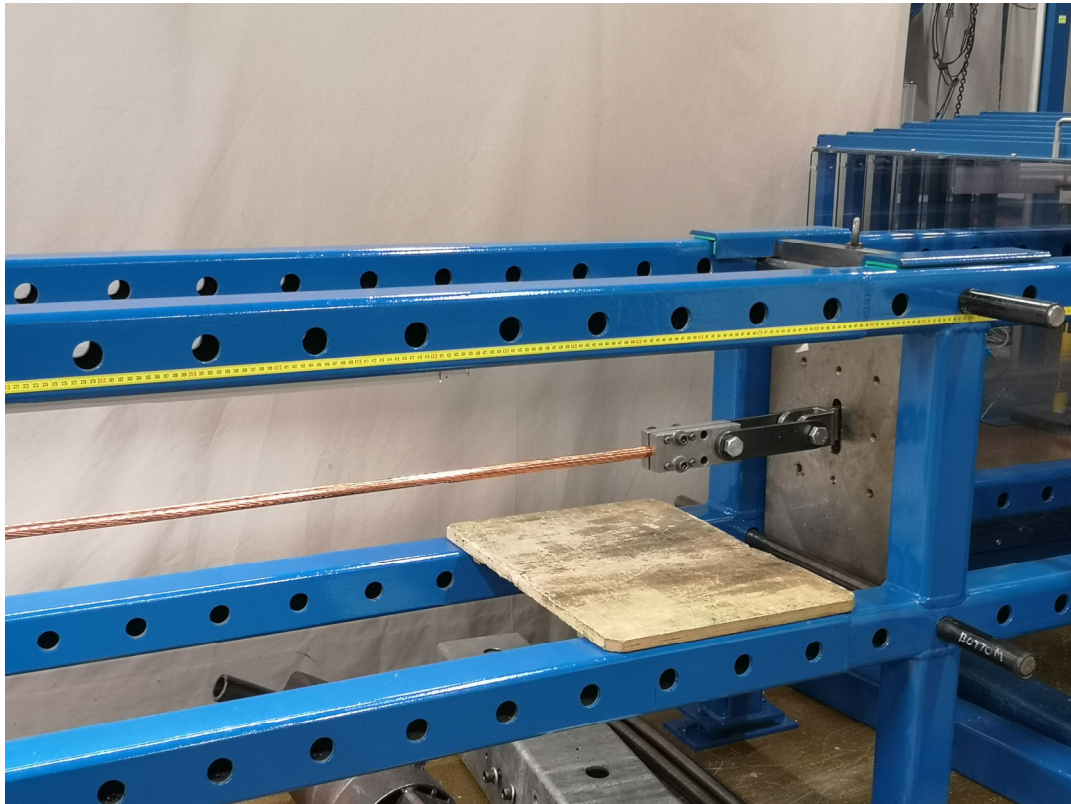
Testeissä ruuvien kiristäminen aloitettiin kiristämällä ensimmäisen liittimen ruuvit momenttiin 29 Nm. Kun liitin oli asennettu kuparijohtimeen, niin johdinten päät kiinnitettiin vetokoelaitteeseen. Vetokokeessa ensimmäinen kuormitus oli 3,6 kN, ja kun tämä kuorma oli saavutettu, niin kuparijohtimeen tehtiin merkinnät liittimen reunaa myöten. Merkintöjen tarkoituksena oli nähdä, paljonko johdin pääsee liikkumaan liittimen sisältä. Merkintöjen jälkeen kuormitusta alettiin kasvattaa tasaisesti 3,6 kN:sta ylöspäin. Testeissä vaatimuksena on, että liitin kestäisi vetokokeissa 14,4 kN kuormituksen minuutin ajan ilman, että johdin pääsee liikkumaan liittimen sisältä. Sallittu raja johtimen liikkumiselle liittimen sisältä on maksimissaan 3 mm.

Testeissä nostettiin momenttia, jolla ruuvit kiristettiin liittimeen, jotta päästäisiin haluttuihin testituloksiin. Kiristysmomenttia nostettiin aina 3 Nm kerrallaan ylöspäin ja yhteen liittimeen käytetyt ruuvit kiristettiin kaikki aina samalla momentilla. Testit lopetettiin, kun kiristysmomentti oli 62 Nm.

Kuvat 14 ja 15 otettiin liittimen ollessa mekaanisten testien ensimmäisessä kuormituksessa. Kun merkinnät johtimeen oli tehty ensimmäisen kuormituksen jälkeen, niin testin ympärille vedettiin sermit turvallisuussyistä. Sermit näkyvät kuvan 15 oikeassa reunassa.



Kuva 14. Alumiiniruuveilla kiristetty liitin vetokokeessa.



Kuva 15. Kuparijohtimen toinen pää mekaanisissa testeissä.

Mekaanisten testien tulokset on käyty läpi kappaleessa 10.2.

10 Testitulokset

Testien perusteella pystyttiin päättämään useita asioita suunnitelluista ruuveista. Ruuveista sai määriteltyä tekijöitä, jotka niissä toimivat ja jotka eivät toimi. Näiden tietojen avulla on helpompi jatkaa ruuvien mahdollista jatkokehittämistä.

10.1 Vääntömomentin tulokset

Testien tulokset löytyvät liitteestä 1. Tarkkoja arvoja ei ilmoitettu salassapitosyistä. Taulukossa vihreät ruudut tarkoittavat momenttitoleranssin rajoissa katkennutta ruuvia, keltaiset ruudut momenttitoleranssin ulkopuolella katkenneita ruuveja ja punaisella merkityissä tapauksissa ruuvi ei katkennut ollenkaan. Ruuveja kiristettiin 100 Nm asti, ja jos ne eivät katkenneet siihen momenttiin kiristettyä, niin merkintä oli punainen. Taulukon vasemmassa reunassa näkyy, monesko liitin on ollut testattavana ja minkä kokoisella johtimella testit suoritettiin. Ruuvit kiristettiin siten, että uloin ruuvi kiristettiin aina ensin. Tällöin sisempi ruuvi ei pääse työntämään johdinta pois päin liittimen sisältä.

Taulukkoa tarkastellessa huomataan, että ruuvimallit 3 ja 5 olivat testien perusteella parhaimmat. Kaikki 3. ja 5. mallin ruuvit katkesivat ja noin puolet ruuveista katkesi momenttitoleranssin rajoissa. Kummassakaan ruuvimallissa toiminta ei kuitenkaan ollut vielä hyväksyttävällä tasolla, kuten taulukosta näkyy. Valmiissa tuotteessa kaikkien ruuvien pitäisi katketa momenttitoleranssien rajoissa, millä taataan tuotteen onnistunut asennus.

Ruuvimallit 7, 8 ja 9 olivat mitoiltaan erilaiset kuin muut ruuvit ja testituloksista näkyy, etteivät ruuvit toimineet. Näin saatiin selville mahdollista jatkokehitystä varten, että nämä mallit voidaan jättää pois.

Ruuvien katkeamismomentin testitulokset olivat kaiken kaikkiaan erittäin vaihtelevia, vaikka osa ruuvimallien mitoista eroaa toisistaan vähän. Syitä tulosten vaihtelevuuteen oli useita. Suuri vaikuttaja testituloksiin oli luonnollisesti ruuvin suunniteltu malli.

10.2 Mekaanisten testien tulokset

Mekaaniset testit suoritti laboratorioinsinööri. Liittimet, joissa alumiiniruuveja käytettiin, eivät läpäisseet mekaanisten testien vaatimuksia. Alumiiniruuveja kiristettäessä tunki, että voima ei kohdistunut ruuviin tasaisesti ja se näkyi myös testituloksissa. Testit oli tarkoitus tehdä kuudella eri ruuvimallilla, mutta koska neljän ensimmäisen ruuvin testitulokset eivät tuottaneet haluttuja tuloksia, niin kaksi ruuvimallia päätettiin olla testaamatta.

Testit vaativat materiaaleja ja työpanosta, joten tässä vaiheessa oli parempi tyytyä tarkastelemaan jo saatuja testituloksia. Tarkempia tietoja testituloksista ei tässä työssä julkaista salassapitosyistä.

11 Kustannukset

Tilaaajayritys halusi tutkittavan, olisivatko alumiiniruuvit kustannustehokkaampi vaihtoehto messingin tilalle. Valittu materiaali oli kustannuksiltaan edullisempi kuin messinki. Alumiiniruuvien hintaa nosti niiden pinnoittaminen, mutta niillä saataisiin silti tehtyä kustannussäästöjä. Varsinaisia kustannuslaskuja ei tässä insinööriyössä esitetä salassapitosyistä.

12 Pohdintaa ja jatkokehitys

Mikään suunnitelluista ruuvimalleista ei sellaisenaan sovellu käytettäväksi liittimissä, mikä oli osittain lähtökohtaisesti tiedossa oleva asia. Kuten kappaleessa 6 mainittiin, ruuvit oli suunniteltu vain toisen vaiheen katkeamisen testaamiseen. Ensimmäisen vaiheen katkeamista voitaisiin suunnitella sitten, kun toisen vaiheen katkeaminen on saatu toimivaksi ruuveissa, jolloin ne katkeavat siististi vaaditun momenttitoleranssin mukaan.

Tässä vaiheessa on vielä vaikea sanoa, onko ruuveissa käytetty raaka-aine sopiva tähän käyttötarkoitukseen. Parista ruuvimallista saatiin hyviä tuloksia, joiden perusteella tästä raaka-aineesta valmistettujen ruuvien katkeaminen toimi jo kohtalaisesti. Tulokset eivät kuitenkaan ole vaihtelevuutensa vuoksi vielä läheskään vaaditulla tasolla. Koska ruuveja valmistettiin vain yhdestä alumiiniseoksesta, niin on mahdollista, että alumiiniruuvit toimisivat jostain toisesta seoksesta valmistettuna.

Myös muiden pintakäsittelymenetelmien testaaminen ruuveille olisi hyvä jatkon kannalta. Insinööriyötä varten tutkittiin myös muita pintakäsittelymenetelmiä, mutta tinaus valittiin, koska se oli aikataulun puitteissa paras vaihtoehto. Jokin muu vaihtoehto voisi esimerkiksi vähentää kitkaa enemmän.

Ruuvien testauksissa vaikuttavia tekijöitä olivat myös testaustapa ja testaaja. Testauksissa tuntui olevan merkitystä sillä, miten ruuvit kiristettiin. Jos ruuveja kiristettiin momenttiavaimella pitkällä tasaisilla liikkeillä, momentti tuntui myös kasvavan tasaisesti. Päinvastaisesti jos kiristys oli niin sanotusti nykivämpää, niin myöskään momentin kasvu ei ollut tasaista. Aina tällä ei kuitenkaan näkynyt selvää vaikutusta, joten testitulosten tulkinta on hieman epävarmaa. Testauksia oli hyvä tehdä paljon siksi, että testituloksia olisi tarpeeksi paljon vertailtavaksi, mutta myös siksi, että niissä on tilaa testaajan tekemille virheille.

13 Yhteenveto ja päätelmät

Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella alumiiniruuvi uuteen maakaapeliliittimeen. Tavoitteena oli suunnitella kustannustehokas vaihtoehto messinkiruuveille. Työtä varten valmistettiin yhteensä 360 alumiiniruuvia, joilla testattiin ruuvien katkeamista ja tehtiin standardin vaatimat mekaaniset testit. Työn aikataulun vuoksi testikappaleille ei ehditty teettämään muita standardin vaatimia testejä. Insinööriyössä suoritettavat testaukset olivat standardin IEC61238-1-3 mukaiset mekaaniset testit kolmella liittimellä ja ruuvien toisen vaiheen katkeamisen testaaminen. Jotta alumiinista valmistettua ruuvia voitaisiin käyttää maakaapeliliittimissä, tulisi sitä testata vielä kaikilla standardien vaatimilla testeillä. Näitä ei insinööriyön aikataulun puitteissa voitu suorittaa.

Suunnitteluprosessissa määriteltiin ruuveille sopiva raaka-aine ja pintakäsittely. Alumiini oli työn tilaajan materiaalivaatimus, joten ruuveille pyrittiin löytämään sopiva alumiini-seos. Pintakäsittelyksi ruuveille valittiin tinaus, koska se pystyttiin teettämään Enston Porvoon tehtaalla.

Testeistä saatujen tulosten perusteella voitiin todeta, että työssä suunnitellut alumiiniruuvit eivät sellaisenaan ole toimivia kyseisessä liittimessä. Ruuvimalleissa on kuitenkin potentiaalia jatkokehitykselle. Insinööriyössä luotiin pohjaa alumiiniruuvien suunnittelulle kyseiseen liittimeen, ja kaikki saatu tieto on aina askel eteenpäin. Täytyy muistaa, että tuotekehitysprojektit ottavat aikaa.

Kustannuslaskujen perusteella pystyttiin toteamaan, että ruuvien valmistaminen alumiinista olisi kustannustehokasta, joten kustannussäästöt toimisivat jatkokehityksen kannustimena.

Lähteet

- 1 Yrityksen historia. Verkkoaineisto. 2019. Ensto. <<https://www.ensto.com/fi/yhtio/yritys/historia/>> Luettu 02.10.2019.
- 2 Mitä von Misesin jännitys on. Verkkoaineisto. Simscale 2019. <<https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/fea/what-is-von-mises-stress.html>> Luettu 5.11.2019.
- 3 Ensto yhtiöt. Verkkoaineisto. Ensto. <<https://www.ensto.com/fi/yhtio/yhteystiedot/ensto-yhtiot/>> Luettu 13.11.2019.
- 4 Sähkönsiirto- ja jakelu. Verkkoaineisto. STUK. <<https://www.stuk.fi/aiheet/sahkonsiirto-ja-voimajohdot/sahkonsiirto-ja-jakelu>> Luettu 18.10.2019.
- 5 Suomen sähköjärjestelmä. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/kanta-verkko/suomen-sahkojarjestelma/>> Luettu 18.10.2019.
- 6 Sähkömarkkinalaki. Verkkoaineisto. 2013. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588#Lidp447033376>> Luettu 21.10.2019.
- 7 Voimajohdot ympäristössämme. Verkkoaineisto. 2011. STUK. <<https://docplayer.fi/117229-Voimajohdot-ymparistossamme.html>> Luettu 10.10.2019.
- 8 Elenia Säätöasiain kysymyksiä ja vastauksia. Verkkoaineisto. Elenia. <https://www.elenia.fi/sahko/saavarma_ukk> Luettu 20.11.2019.
- 9 Monni, Markku. 2015. Jakeluverkon käyttötehtävät. Adato Energia.
- 10 Maakaapelin asennussyvyys 70 cm. Verkkoaineisto. 2015. Savon voima. <<https://energiaa.savonvoima.fi/miksi-sahkokaapelit-pitaa-kaivaa-juuri-70-cm-syvyyteen/>> Luettu 13.11.2019.
- 11 Kestävä ja toimintavarma sähköverkko. Verkkoaineisto. 2018. <<https://www.ensto.com/fi/yhtio/uutiset-ja-media/artikkelit/kestava-ja-toimintavarma-sahkoverkko/>> Luettu 7.11.2019.
- 12 Toimitusvarmuutta kustannustehokkaasti. Verkkoaineisto. 2017. PKS. <<https://pks.fi/asiakkaana/toimitusvarmuutta-kustannustehokkaasti/>> Luettu 21.11.2019.

- 13 Setälä, Niina. 11.1.2019. Maakaapeli ei ole ainoa konsti parantaa toimitusvarmuutta. Verkkoaineisto. Tekniikka & Talous. <<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/maakaapeli-ei-ole-ainoa-konsti-parantaa-toimitusvarmuutta/932f94da-52c9-31c0-9908-d8d580a859d4>> Luettu 9.12.2019.
- 14 Sähkönsiirtohinnot ja maakaapelointi. Verkkoaineisto. 2019. Ilta-Sanomat. <<https://www.is.fi/taloussanomat/art-2000006183517.html>> Luettu 21.11.2019.
- 15 Keskijännitekaapeli. Verkkoaineisto. Reka kaapeli. <https://www.reka-cables.com/sites/default/files/media/Brochures/965_korkealaatuisetkeskijannitekaapelit.pdf> Luettu 14.11.2019.
- 16 Sähköverkkojen rakenne. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkoverkot>> Luettu 27.11.2019.
- 17 Maakaapeliverkot, tuotteet. Verkkoaineisto. 2019. Ensto. <<https://www.ensto.com/fi/tuotteet/maakaapeliverkot/kaapelikengat-ja-jatkosholkit/momenttiruuvijatkosholkit-keskijannitteelle/smj2.47>> Luettu 24.10.2019.
- 18 Faktoja alumiinista. Verkkoaineisto. 2019. Hydro. <<https://www.hydro.com/en/about-aluminium/facts-about-aluminium/>> Luettu 14.10.2019.
- 19 Alumiinituotteet. Verkkoaineisto. Teknologiateollisuus. <<https://teknologiateollisuus.fi/fi/teknologiateollisuus/toimialaryhmat-ja-yhdistykset/alumiinituotteet>> Luettu 20.11.2019.
- 20 Teknologiainfo Teknova Oy. 2006. Raaka-aine käsikirja 5: Alumiinit. Teknologiateollisuus.
- 21 Alumiinin elinkaari. Verkkoaineisto. 2019. Hydro. <<https://www.hydro.com/fi-FI/alumiini/alumiinin-elinkaari/>> Luettu 14.10.2019.
- 22 Kuusaposti, asiakaslehti 2/2015. Verkkoaineisto. Kuusakoski. <https://www.kuusakoski.com/globalassets/finland/yritys/media/asiakaslehdet/kuusaposti_2016.pdf> Luettu 20.11.2019.
- 23 Alumiinin sekundaarituotanto. Verkkoaineisto. 2019. The Aluminum Association. <<https://www.aluminum.org/industries/production/secondary-production>> Luettu 18.10.2019.
- 24 Alumiinin lujuus. Verkkoaineisto. The Aluminum Association. <<https://www.aluminum.org/strength-aluminum>> Luettu 9.12.2019.

- 25 Raskasmetalli lyijy. Verkkoaineisto. Luke Luonnonvarakeskus. Päivitetty 16.1.2013. <<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-lyijy.htm>> Luettu 10.12.2019.
- 26 Tinausprosessi vaihe vaiheelta. Verkkoaineisto. 2017. SPC. <<https://www.sharrettsplating.com/blog/the-tin-plating-process-a-step-by-step-guide/>> Luettu 25.10.2019.
- 27 Tinaus pinnoitusmenetelmä. Verkkoaineisto. Pinnoitus Helin Oy. <<https://www.pinnoitushelin.fi/pinnoitustekniikat/tinaus>> Luettu 13.11.2019.
- 28 Metalloinnit. Verkkoaineisto. 2017. Mecapinta. <<https://www.mecapinta.fi/fi/palvelut/metalloinnit>> Luettu 13.11.2019.
- 29 Sähkökemiallinen ja kemiallinen pintakäsittely. Verkkoaineisto. 2015. Teräsrakenneyhdistys. <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/442/0aabfb4/Sahkokemiallinen_ja_kemiallinen_pinnoitus.pdf> Luettu 13.11.2019.
- 30 Ahlers, Per-Erik & Alén, Holger & Ainali, Markku, ym. Suomen Korroosioyhdistys. Hangon kirjapaino Oy. 1988. Korroosio käsikirja.
- 31 Standardi IEC61238-1-3. Versio 1.0. 05-2018.
- 32 Kitkakertoimet. Verkkoaineisto. 2004. Engineering ToolBox. <https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html> Luettu 15.10.2019.

Vääntömomentti testitulokset

| | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Ruuvi 1 | | | | | Ruuvi 6 | | | | |
| Cu50mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm | Cu50mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm |
| 1/5 | | | | | 1/5 | | | | |
| 2/5 | | | | | 2/5 | | | | |
| 3/5 | | | | | 3/5 | | | | |
| 4/5 | | | | | 4/5 | | | | |
| 5/5 | | | | | 5/5 | | | | |
| Cu240mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm | Cu240mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm |
| 1/5 | | | | | 1/5 | | | | |
| 2/5 | | | | | 2/5 | | | | |
| Ruuvi 2 | | | | | Ruuvi 7 | | | | |
| Cu50mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm | Cu50mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm |
| 1/5 | | | | | 1/5 | | | | |
| 2/5 | | | | | 2/5 | | | | |
| 3/5 | | | | | 3/5 | | | | |
| 4/5 | | | | | 4/5 | | | | |
| 5/5 | | | | | 5/5 | | | | |
| Cu240mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm | Cu240mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm |
| 1/5 | | | | | 1/5 | | | | |
| 2/5 | | | | | 2/5 | | | | |
| Ruuvi 3 | | | | | Ruuvi 8 | | | | |
| Cu50mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm | Cu50mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm |
| 1/5 | | | | | 1/5 | | | | |
| 2/5 | | | | | 2/5 | | | | |
| 3/5 | | | | | 3/5 | | | | |
| 4/5 | | | | | 4/5 | | | | |
| 5/5 | | | | | 5/5 | | | | |
| Cu240mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm | Cu240mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm |
| 1/5 | | | | | 1/5 | | | | |
| 2/5 | | | | | 2/5 | | | | |
| Ruuvi 4 | | | | | Ruuvi 9 | | | | |
| Cu50mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm | Cu50mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm |
| 1/5 | | | | | 1/5 | | | | |
| 2/5 | | | | | 2/5 | | | | |
| 3/5 | | | | | 3/5 | | | | |
| 4/5 | | | | | 4/5 | | | | |
| 5/5 | | | | | 5/5 | | | | |
| Cu240mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm | Cu240mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm |
| 1/5 | | | | | 1/5 | | | | |
| 2/5 | | | | | 2/5 | | | | |
| Ruuvi 5 | | | | | | | | | |
| Cu50mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm | | | | | |
| 1/5 | | | | | | | | | |
| 2/5 | | | | | | | | | |
| 3/5 | | | | | | | | | |
| 4/5 | | | | | | | | | |
| 5/5 | | | | | | | | | |
| Cu240mm ² | 1. Nm | 2. Nm | 3. Nm | 4. Nm | | | | | |
| 1/5 | | | | | | | | | |
| 2/5 | | | | | | | | | |