

Tuomas Lähteenmäki

POTKURILAITTEEN SUULAKKEEN ASENNUS
RUUVILIITOKSELLA

Tekniikan ja merenkulun koulutusohjelma
Kone- ja tuotantotekniikan suuntautumisvaihtoehto
2015

POTKURILAITTEEN SUULAKKEEN ASENNUS RUUVILIITOKSELLA

Lähteenmäki, Tuomas
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2015
Ohjaaja: Santanen, Teemu
Sivumäärä: 42
Liitteitä: 1
Asiasanat: 3D-mallinnus, ruuvi, ruuviliitos, potkurilaite

Opinnäytetyön aiheena oli potkurilaitteen suulakkeen asennus ruuviliitoksella. Opinnäytetyössä keskityttiin jo olemassa olevan tuotteen rakenteen muuttamiseen ja kehittämiseen. Työn tarkoituksena oli tutkia ruuviliitoksen käytön mahdollisuutta sekä teoriassa että käytännössä ja tuottaa muutosehdotus NX 3D-suunnitteluohjelmalla entiselle hitsiliitokselle.

Työssä otettiin selvää suulakkeen nykyisen asennuksen vaatimuksista ja haasteista. Etenkin tilitatun suulakkeen asennuksessa tulee huomioida muunmuassa osien asennuskulmat toisiinsa nähden, niiden paikoittuminen sekä osien oikea mittatarkkuus. Näihin ja useaan toiseen seikkaan kyetään vaikuttamaan myönteisesti, tekemällä oikeita ratkaisuja jo tuotteen suunnitteluvaiheessa.

Työn käytännön osuudessa esitettiin yksi suulakkeen ruuviliitosmalli, jonka toimivuutta tutkittiin kirjallisuuden ja käytännön kokemusten pohjalta.

Työn tulokseksi saatiin NX 3D-suunnitteluohjelmalla piirretty 3D-malli, jossa esiteltiin yksi vaihtoehtoinen ruuviliitosmalli. Mallista selvisi uuden konstruktion muodot ja sen toimintaperiaate. 3D-mallin pohjalta voidaan tehdä täydelliset konepiirustukset ja lujuuslaskelmat, tai sitä voidaan käyttää tulevaisuudessa pohjana uusille parannusehdotuksille.

INSTALLATION OF NOZZLE TO AZIMUTH THRUSTER WITH SCREW CONNECTIONS

Lähteenmäki, Tuomas
Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in mechanical engineering
January 2015
Supervisor: Santanen, Teemu
Number of pages: 42
Appendices: 1

Keywords: 3D-modelling, screw, screw connection, Azimuth Thruster

The purpose of this thesis was installation of nozzle to Azimuth Thruster with screw connections. The thesis focuses already existing product's construction customization and developing. The main purpose was to investigate the possibility to use screw connections in practice and in theory and find out new ideas to replace former weld connections.

The thesis explains the requirements and challenges of nozzle's current assembly. Especially assembling of tilted nozzle it is important to consider for example the mounting angles of parts, positioning of parts and accuracy of dimensions. When making the right decisions on the designing phase of the product can these and any other facts be affected positively.

On the practical part of the thesis one alternative solution of nozzle's connection model with screw connection was introduced, and its function was researched on the basis of literature and practical experience.

Received result was 3D-model drew by using NX 3D –designing program, and it proposed one alternative screw connection model. The model helped to find out the forms and the principles of the new construction. Now it is possible to do exact mechanical drawings and strength calculations based on the 3D model or it can be used as a base for the future development ideas.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ROLLS-ROYCE OY AB	7
2.1	Yrityksen historia.....	7
3	POTKURILAITTEET.....	9
3.1	Laitteen rakenne.....	9
3.1.1	Ylävaihte	9
3.1.2	Väliosa.....	10
3.1.3	Alavaihte	11
3.2	Potkurityypit	12
3.3	Tuoteperhe	13
4	SUULAKKEEN NYKYINEN ASENNUS.....	14
4.1	Asennuksen ensimmäinen vaihe, hitsauksen esivalmistelut.....	15
4.2	Asennuksen toinen vaihe, hitsaus	16
4.3	Asennuksen kolmas vaihe, viimeistely	19
5	3D-MALLINNUS	20
5.1	3D-suunnitteluohjelmien edut ja haitat suhteessa 2D-suunnitteluohjelmiin	20
5.2	NX 3D-suunnitteluohjelmisto.....	21
6	RUUVILIITOKSET	23
6.1	Ruuvit.....	23
6.1.1	Erityyppiset kiinnitysruuvit.....	23
6.1.2	Kierreprofiilit	25
6.1.3	Ruuviosien pintakäsittely	26
6.1.4	Ruuvien lujuusluokat.....	27
6.2	Mutterit	27
6.3	Aluslaatat	28
6.4	Ruuviliitoksen reikien valmistaminen.	28
6.5	Ruuviliitoksen kiristäminen	29
6.6	Ruuviliitoksen varmistusmenetelmät.....	30
7	RUUVILIITOKSIEN SUUNNITTELU	32
7.1	Suulakkeen yläosan kiinnitys ruuviliitoksella	33
7.2	Suulakkeen alaosien kiinnitys ruuviliitoksilla	38
7.3	Ruuvien kiristys ja lukitus	41
8	RUUVILIITOKSIEN TOIMIVUUS.....	41
9	TULOKSET	42
9.1	Jatkotoimenpiteet	42

LÄHTEET.....	44
LIIKTEET	

1 JOHDANTO

Raumalla sijaitseva Rolls-Royce Oy Ab kuuluu Rolls-Royce Marine&Power systems divisioonaan, joka on keskittynyt meriteknologian, voimansiirron ja voimantuottamiseen tarkoitettujen tuotteiden ja palveluiden tuottamiseen. Tämä työ on tehty Rolls-Royce Oy Ab:n potkurilaitteiden suunnitteluosastolle. Rolls-Roycen ideologiaan kuuluu toiminnan jatkuva parantaminen ja kehittäminen joka osa-alueella. Osana tätä ajatusta yritys halusi tutkia vaihtoehtoista menetelmää suulakkeen ja potkurilaitteen alarungon hitsiliitokselle.

Tämä insinöörityö sai alkunsa Rolls-Royce Oy Ab:n henkilökunnan aloitteesta. Ryhmä suunnittelijoita kokoontui miettimään ruuviliitoksen käyttömahdollisuutta suulakkeen liittämiseksi potkurilaitteeseen. Tätä ajatusta lähdettiin viemään eteenpäin insinöörityön muodossa, jonka tarkoituksena oli tutkia ruuviliitosta käytännössä. Työn alussa perehdyttiin henkilökunnan avulla suulakkeen nykyiseen kiinnitykseen, eli hitsiliitoksen rakenteeseen ja sen erilaisiin asennusvaiheisiin. Selvitystyön tavoitteena oli löytää oikeita ratkaisuja rakenteen suunnittelussa, jolloin päästäisiin keskittymään mahdollisiin ongelmakohtiin ja vastaavasti hyödyntämään jo olemassa olevia rakenteita. Tämän jälkeen työssä etsittiin kirjallisuustietoa 3D-suunnitteluohjelmista ja ruuviliitoksista. Näiden tietojen pohjalta oli mahdollista lähteä toteuttamaan muutosehdotuksia konstruktion. Käytännön osuus toteutettiin NX 3D-suunnitteluohjelmaa apuna käyttäen.

2 ROLLS-ROYCE OY AB

Rolls-Royce Oy Ab on yritys, joka on erikoistunut erityisesti kokonaisvaltaisiin voimansiirtojärjestelmiin. Suomessa sijaitsee kaksi tuotantoyksikköä Raumalla ja Kokkolassa, lisäksi Helsingissä on yrityksen myyntikonttori. Yhtiö työllistää Suomessa noin 570 henkilöä. Rauman yksikkö on maailman johtava 360° kääntyvien potkurilaitteiden valmistaja. Raumalla suunnitellaan myös vintturijärjestelmiä. Potkurilaitteiden valmistamisen lisäksi, Raumalla on laitteiden markkinointi, suunnittelu ja myynti. Kokkolan yksikkö suunnittelee ja valmistaa Kamewa-vesisuihkulaitteita. Rolls-Roycen liikevaihto tuoteryhmittäin Suomessa on seuraavanlainen: potkurilaitteet 64 %, huolto 22 %, kansikoneet 10 % ja vesisuihkulaitteet 4 %. Rauman yksikön liikevaihdosta 64 % tulee Aasiasta ja loput koostuu Euroopan ja Amerikan markkinoista. Suomen osuus on vain 1 % luokkaa. (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet.)

2.1 Yrityksen historia

Potkurilaitteiden tuotanto Raumalla on käynnistynyt vuonna 1965, jolloin valmistui ensimmäinen Aquamaster-potkurilaitte. Varsinaisesti Rolls-Royce Rauman historia on alkanut jo vuonna 1940, kun Rauma-vintturit valmisti ensimmäiset vintturilaitteensa. Vuonna 1988 päätettiin yhdistää silloiset Hollming Oy:n Aquamaster-konepaja ja Rauma-Repolan kansikonetehtas, tästä syntyi Aquamaster-Rauma Oy. Huhtikuussa 1995 tapahtui seuraava yrityskauppa, kun englantilainen pörssiyritys Vickers plc osti Aquamaster-Rauma Oy:n. Tämä johti tiiviiseen yhteistyöhön KAMEWA AB:n kanssa. Yhteistyön tuloksena yhtiön nimi muuttui vuonna 1998 alussa Kamewa Finland Oy:ksi. Seuraavan vuoden 1999 keväällä Vickers plc osti norjalaisen kilpailijayrityksen Ulsteinin, jonka jälkeen yhtiön nimeksi tuli Vickers Ulstein Marine Systems (VUMS). Kaupan myötä yhtiön tuotteisiin lukeutuivat paikannus- ja vakautusjärjestelmät, kulkukoneistot, kansikoneet, laivojen suunnittelu sekä potkurilaitteet.

Osaksi Rolls-Roycea yritys tuli marraskuussa 1999, kun koko Vickers konserni, VUMS mukaanlukien, siirtyi englantilaisyhtiön omistukseen. Yrityskaupan ajatuksena Rolls-Roycella oli vahvistaa asemaansa entisestään merialan tuotteiden valmistajana. Nykyisen nimen Rolls-Royce Oy Ab yritys sai 17.7.2000. Kokkolassa toimiva

ja vesisuihkuvetolaitteita valmistava FF-Jet fuusioitiin Rolls-Royce Oy Ab:iin
1.1.2001. (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet.)

3 POTKURILAITTEET

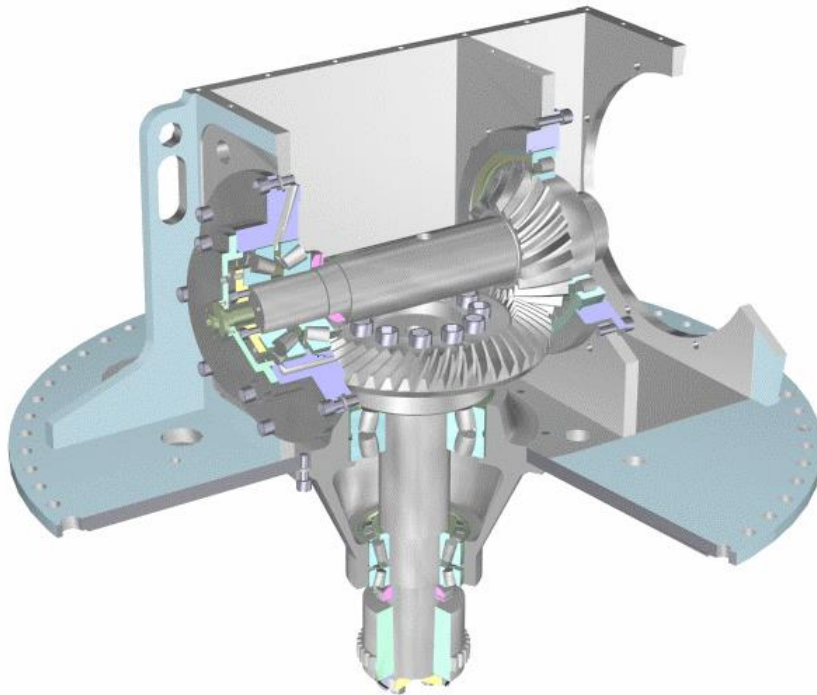
Rolls-Roycen potkurilaitteiden suurimpia etuja ovat laitteen kompakti kokonaisuus ja käytettävyys. Potkurilaitteen käyttö säästää tilaa, se korvaa peräsimen koneistoineen, konventionaalisen akselilinjaston vaihteistoineen sekä joissain tilanteissa keulapotkurin. Lisäksi jäähdytys ja hydraulikka on rakennettu rungon päälle. Laitteen perusajatuksena on pystyakselin pyöriminen itsensä ympäri 360°, toisinsanoen potkurit kääntyvät tarvittaessa mihin asentoon tahansa. Tästä johtuen aluksen manoveerausominaisuudet ja ohjattavuus parantuvat huomattavasti. (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet.)

3.1 Laitteen rakenne

Potkurilaitte (azimuth thruster) käsittää kolme päämoduulia, nämä ovat: ylävaihte (upper gear module), väliosa (intermediate module) ja alavaihte (lower gear module). Potkurilaitteen jakaminen moduuleihin on helpottanut ja nopeuttanut laitteiden valmistamista huomattavasti. Jokaisella moduulilla on tuotannossa omat työpisteet ja suunnittelussa työtä helpottavat moduuleiden omat kokoonpanopiirustukset sekä osaluettelot. (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet.)

3.1.1 Ylävaihte

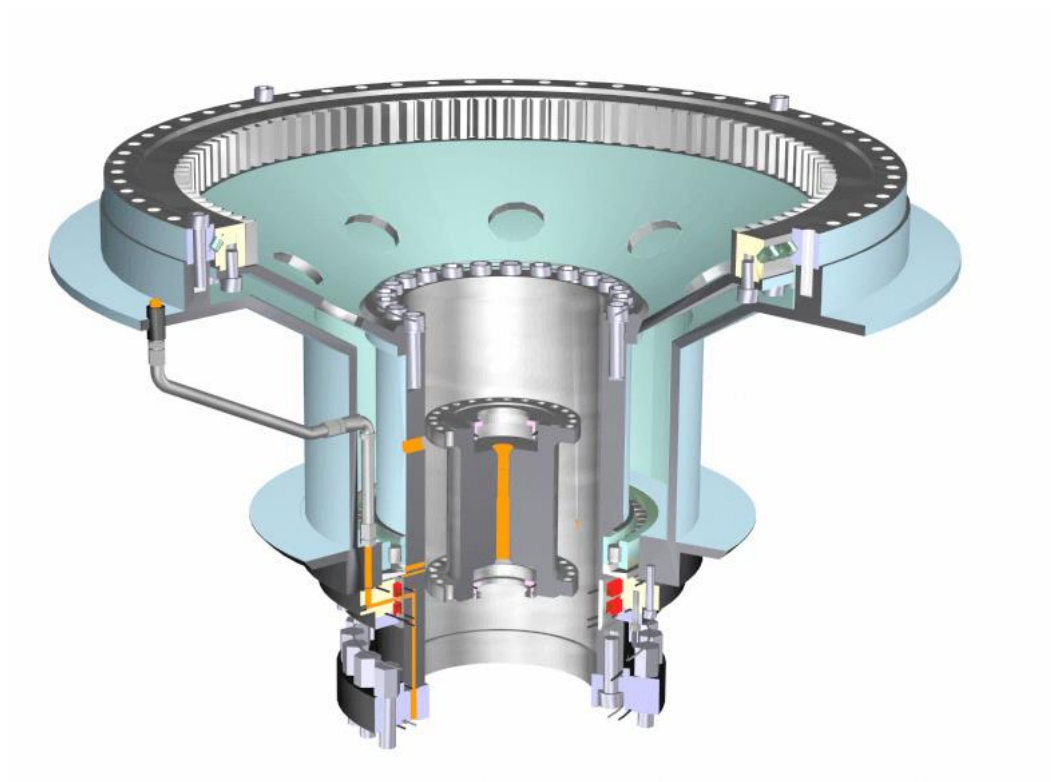
Potkurilaitteen ylävaihte (kuva 1) sijaitsee laivan sisäpuolella, eikä näin ollen ole kosketuksissa veden kanssa. Ylävaihte toimii myös voiman välittäjänä koko potkurilaitteeseen, koska siihen johdetaan normaalisti diesel- tai sähkömoottoreilla tuotettu voima. Ylävaihteen perustana on yläosan runko, jonka ympärille koko moduuli rakentuu. Tämä moduuli sisältää myös hydraulikkalaitteet, paikallisohjaukset, akseliston, irroituskytkimen, jäähdytys- ja suodatusyksikön sekä kääntökoneiston. Kääntökoneistoja laitteissa on normaalisti kaksi. (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet.)



Kuva 1. Potkurilaitteen ylävaihde (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet)

3.1.2 Väliosa

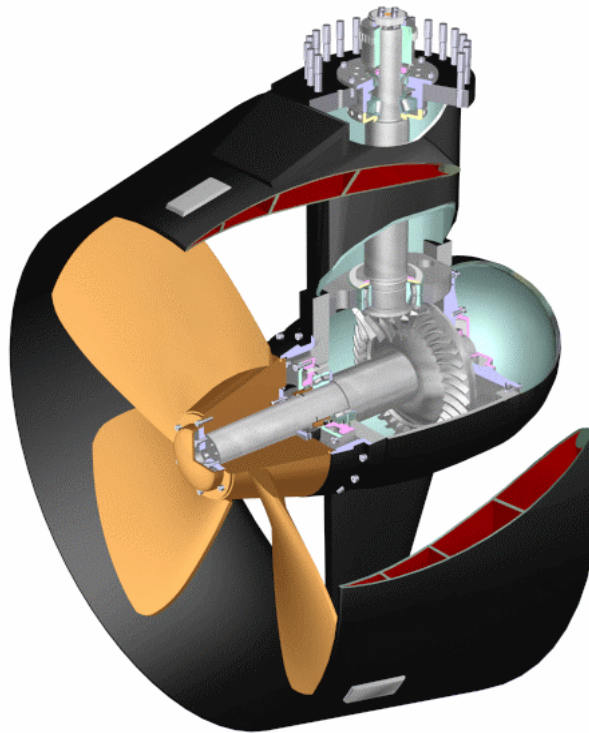
Nimensä mukaisesti väliosan (kuva 2) avulla liitetään ylä- ja alavaihde toisiinsa. Sen rakenteen suurimmat osat ovat runkosovite, ohjausputki ja kääntökehä. Runkosovitteita on useita erilaisia vaihtoehtoja, joista osa kiinnitetään laivan runkoon ruuveilla ja osa hitsaamalla. Ruuveilla liitettävää mallia kutsutaan yleisesti pohjakaivoksi. Pohjakaivon suurin etu on sen helppo asennus, sillä sen avulla koko potkurilaite voidaan asentaa laivaan yhtenä kappaleena. Hitsattavat runkosovitteet ovat kustannuksiltaan halvempia ja lisäksi ne vievät vähemmän tilaa laivan rungossa. Hitsattavien mallien miinuksena on se että potkurilaite asennetaan kahdessa osassa. Kääntökehä on iso laakeri, jota voidaan pyörittää kääntökoneiston välityksellä. (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet.)



Kuva 2. Väliosä (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet)

3.1.3 Alavaihte

Alavaihteen (kuva 3) rakenne koostuu rungosta, potkurista ja mahdollisesta suulakkeesta. Näiden lisäksi alavaihteessa on mm. alahammaspyörästö, potkuriakselin tiivisteet ja potkuriakseli. (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet.)



Kuva 3. Alavaihde (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet)

3.2 Potkurityypit

Potkurityyppejä (kuva 4) joita Rolls-Royce käyttää on kolme erilaista vaihtoehtoa. Nämä vaihtoehdot ovat FP (fixed pitch), CP (controllable pitch) sekä CRP (contra rotating propeller) potkurit.



Kuva 4. FP-potkuri, CP-potkuri, CRP-potkurit (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet)

FP on kiinteäsiipinen potkuri, joka soveltuu työntävään ja vetävään potkurilaitteeseen. FP potkurissa ei ole säätömahdollisuuksia, joten sille on ominaista, että se suunnitellaan toimimaan yhteen suunnittelupisteeseen, jossa sillä on korkein mahdollinen hyötysuhde.

CP potkureissa voidaan kiinteiden siipien sijaan muuttaa potkurin siipien lapakulmaa. Tämän säädön ansiosta potkurilla on laajempi käyttöalue, mutta samalla se häviää hieman hyötysuhteessa FP potkureille. Myös CP potkurit soveltuvat työntävään sekä vetävään potkurilaitteeseen.

CRP potkurit eroavat kahdella oleellisella tavalla toisista malleista. Ensimmäinen eroavaisuus on visuaalinen, sillä niissä on kaksi erillistä potkuria, jotka pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Toisena eroavaisuutena on CRP potkurin soveltuminen ainoastaan työntäväksi potkuriksi. Tällä potkurityypillä on paras hyötysuhde verrattaessa muihin potkurityyppeihin. Tämä johtuu tehon jakautumisesta kahdelle potkurille, josta seuraa vähemmän kitkahäviöitä. CRP potkureiden ongelma on sama kuin FP potkureilla, eli potkuri pitää suunnitella yhteen suunnittelupisteeseen. (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet.)

3.3 Tuoteperhe

Rolls-Royce Rauman tuotannossa valmistetaan viittä erilaista potkurilaitetyyppiä (kuva 5): US-, Contaz-, Azipull-, UUC- ja UL-potkurilaitteita. Näille jokaiselle on määritetty omat sovellutuskohteet ja nopeusalueet.

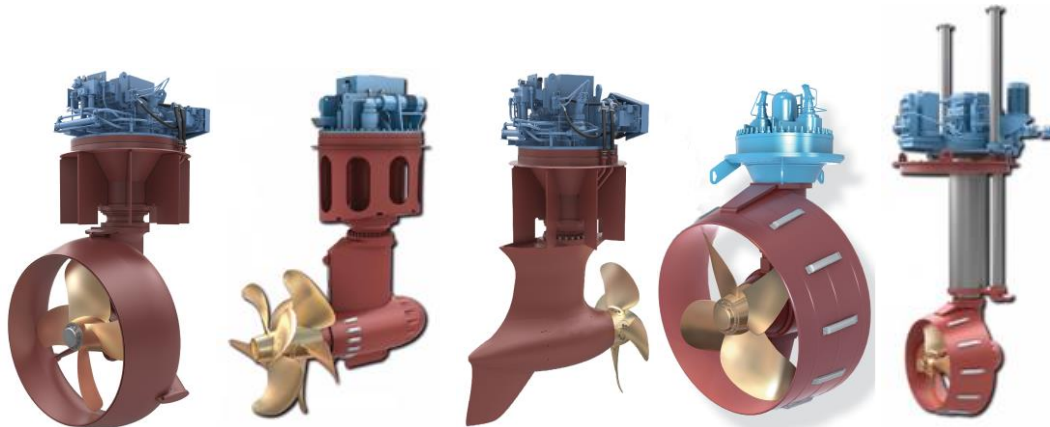
US-laitteiden tehoalue vaihtelee laitteen koosta riippuen 308 kW – 3700 kW. US-laitteita käytetään pääasiassa hinaajissa, rahtialuksissa, työaluksissa ja jäänmurtaajissa. FP ja CP potkureilla päästään noin 15 solmun nopeuteen ja CRP potkurilla nopeus nousee 16 solmuun.

Contaz-laitteet soveltuvat raskaaseen käyttöön esimerkiksi rahtilaivoihin ja matkustajalaivoihin. Laitteen tehoalue on 2200 kW – 5500 kW ja sen maksimi nopeus on noin 20 solmua. Contaz-laitteissa on vastakkain pyörivät CRP potkurit ilman suulaketta.

Azipull on Rolls-Royce Rauman potkurilaitteista ainoa, joka toimii pelkästään vetävänä laitteena. Sen tehoalue on 1700 kW - 5500 kW ja maksimi nopeus on noin 24 solmua, joten se soveltuu parhaiten suuriin nopeuksiin. Azipullin yleisimmät käyttökohteet ovat maantielautat, rahtialukset sekä sota- ja huoltoalukset.

UUC-laitteet ovat suuren luokan offshore-laitteita ja niitä käytetään tyypillisesti öljynporauslautoissa sekä tuotantoaluksissa. UUC-laitteiden tehoalue vaihtelee 3000 kW:sta 6500 kW:iin. Laitteen yksi suurimmista eduista on sen vedenalainen asennus mahdollisuus.

UL-laitteen erikoisuutena on laitteessa hydraulisesti toimiva lasku ja nosto mahdollisuus. Laite voidaan nostaa aluksen rungon sisään silloin, kun se ei ole käytössä ja vastaavasti laskea tarvittaessa. UL-laitteita käytetään lähinnä apupropulsiona manöveeraukseen. Nimellistehot vaihtelevat 440 kW:sta aina 3200 kW:iin. (Rolls-Royce Oy Ab, Intranet.)

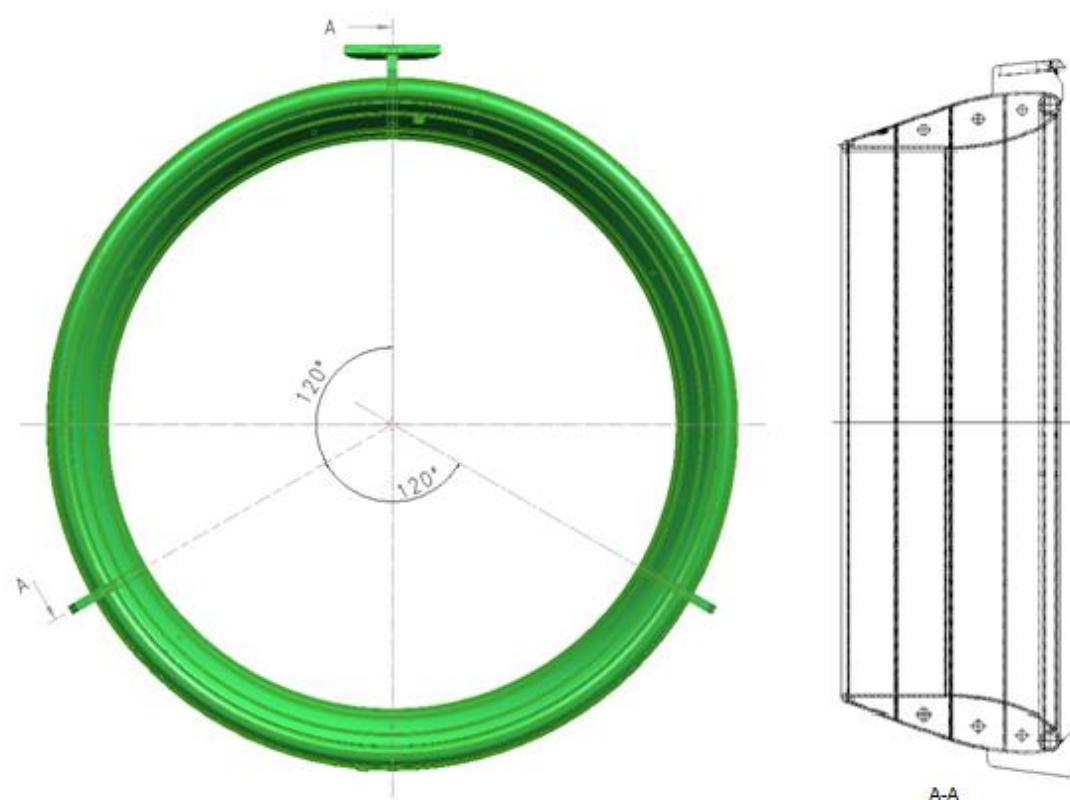


Kuva 5. Tuoteperhe. Vas. US, Contaz, Azipull, UUC ja UL. (Rolls-Royce Oy Ab, intranet).

4 SUULAKKEEN NYKYINEN ASENNUS

Asennus tapahtuu suulakkeen runkoon hitsatuista kolmesta teräslevystä, joista varsinainen kiinnitys alavaihteen runkoon tapahtuu. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä että

suulake kiinnitetään kolmesta pisteestä runkoon. Teräslevyt on sijoitettu suulakkeen kehälle siten, että ylin levy on pystyakselilla, johon on hitsattuna jo valmiiksi alihankkijan toimesta puoliympyrän muotoinen liitoslevy, jonka välityksellä suulake kiinnitetään alavaihteen rungon ylälaippaan hitsaamalla. Kaksi muuta levyä ovat 120° pystyakselin suhteen käännettyinä ja ne kiinnitetään alavaihteen runkoon hitsattujen evien välityksellä. Suulake tulee alihankkijoilta Rauman tehtaalle yhtenä pakettina, joka on esitettyä kuvassa 6. (Vikstedt henkilökohtainen tiedonanto kesäkuu 2014.)



Kuva 6. Suulake, runkoon hitsatut kolme teräslevyä sekä yläosan liitoslevy.

4.1 Asennuksen ensimmäinen vaihe, hitsauksen esivalmistelut

Asennus käynnistyy suulakkeen tilttaamisella joka tehdään tilttaukseen valmistetulla asennuspedillä, eli jigillä (kuva 7). Jigillä saadaan suulakkeen tilttauskulma säädettyä juuri oikeaksi joka on yleisesti ottaen 5° .



Kuva 7. Asennuksen aloittaminen, suulake nostetaan jigille.

Tiltauksen jälkeen suulakkeelle tehdään tarkistusmittauksia. Mitoituksen ollessa oikein alavaihteen runko nostetaan suulakkeen yläpuolelle suulakkeen ollessa vielä jigillä. Tässä vaiheessa suulake ja alarunko keskitetään toisiinsa siten, että alarunko tulee suulakkeeseen asennettaessa oikeaan kohtaan sekä oikeaan kulmaan toisiinsa nähden. (Vikstedt henkilökohtainen tiedonanto kesäkuu 2014.)

4.2 Asennuksen toinen vaihe, hitsaus

Osien kohdennusten jälkeen siirrytään evien asennukseen, jonka ensimmäinen vaihe on evien kiinnittäminen alarunkoon hitsaamalla. Tässä vaiheessa hitsisaumaa ei vedetä vielä koko matkalle, vaan saumaa vedetään ainoastaan siten että osat kiinnittyvät toisiinsa (kuva 8). Kun evät ovat kiinnitettyinä, niistä voidaan leikata irti suulakkeen reunan ylittävä ylimääräinen materiaali.



Kuva 8. Evän kiinnittäminen alarunkoon.

Kun evistä on leikattu ylimääräinen materiaali irti voidaan asentaa evät ja suulakkeen yhdistävät päätylevyt, jotka tulevat evien päihin. Päätylevyt kiinnitetetään suulakkeen hitsaamalla, mutta tässä vaiheessa hitsiliitoksia ei vielä tehdä pysyviksi, vaan osat liitetään toisiinsa väliaikaisilla teräslevyillä (kuva 9). Myös yläosan liitoskohaan hitsataan tässä vaiheessa väliaikaiset teräslevyt. Tällä menetelmällä saadaan vielä korjattua mahdolliset mitoitus virheet osien paikoituksessa ennen lopullista hitsausta. Kun kaikki väliaikaiset teräslevyt ovat hitsattuina voidaan suulake ja alarunko nostaa asennuspediltä yhtenä kappaleena hallin lattialle.



Kuva 9. Päätylevy kiinnitetään suulakkeeseen ja evään väliakaisilla teräslevyillä.

Kun koko alavaihde on saatu nostettua asennuspediltä ja osat ovat varmasti oikeilla paikoillaan, voidaan aloittaa osien lopullinen hitsaaminen toisiinsa sekä poistaa väliaikaiset teräslevyt. Ensiksi hitsataan evät paikoilleen siten, että molemmat evät hitsataan samanaikaisesti ja yhdeltä puolelta kerrallaan, jotta havaittaisiin mahdolliset hitsauksessa syntyvät siirtymät ja jännitykset. Tämän jälkeen hitsataan samanaikaisesti kummatkin päätylevyt paikoilleen evien päihin. Lopuksi hitsataan alarungon ja suulakkeen yläosan liitoslevyn sauma. Näiden hitsauksien jälkeen suulake on saatu liitettyä alarunkoon, joten seuraavaksi voidaan hitsata suulakkeeseen kiinnitettävät anodi- en aluslevyt paikoilleen. Hitsauksien jälkeen tehdään vielä vaaditut hitsisaumojen tarkastukset, joita ovat magneettijauhe-, ultraääni- sekä silmämääräinen tarkastus. Näin varmistetaan saumojen täyttävän niille asetetut vaatimukset. Saumojen tarkastuksessa tarkastajalta vaaditaan vähintään toisen asteen sertifiikaattia. (Vikstedt henkilökohtainen tiedonanto kesäkuu 2014.)

4.3 Asennuksen kolmas vaihe, viimeistely

Hitsauksessa syntyviä jännityksiä pyritään välttämään esimerkiksi oikealla hitsaus järjestyksellä ja symmetristen osien samanaikaisella hitsauksella. Tästä huolimatta osiin kohdistuu jännityksiä suurien lämpöerojen vuoksi. Ongelma on yleinen hitsattaessa eviä ja päätylevyjä suulakkeeseen. Tämä hitsaus aiheuttaa alarunkoon muunmuassa siirtymiä, jotka ilmenevät esimerkiksi tärkeissä akselirei'issä. Pyöreisiin akselireikiin kohdistuu siinä määrin jännityksiä, että ne saattavat muuttua hieman soikeiksi. Tämä ongelma saadaan korjattua eviä hehkuttamalla, eli niitä kuumentamalla, jolloin suurin osa hitsauksessa syntyvistä jännityksistä saadaan poistettua. Mahdolliset muotovirheet löydetään hitsauksien jälkeen tehtävissä tarkistusmittauksissa, joissa käydään läpi alavaihteen koneistettujen reikien halkaisijat ja niiden pyöreys. Mittaukset tehdään manuaalisesti mikrometriä apuna käyttäen.

Mikäli tarkistusmittauksissa ei löydetä poikkeamia, siirretään alavaihde hiekkapuhaluksen kautta maalaukseen. Maalauksen jälkeen alavaihde on käytännössä valmis siirrettäväksi kokoonpanoon, jossa siihen asennetaan erilaista potkurilaitetekniikkaa. (Vikstedt henkilökohtainen tiedonanto kesäkuu 2014.)

5 3D-MALLINNUS

Tietokoneavusteisesta suunnittelusta on tullut arkipäivää monilla aloilla. Suunnitteluohjelmat ovat helpottaneet ja nopeuttaneet huomattavasti suunnittelijan työtä. Eri-tyisesti 3D-ohjelmistojen ansiosta erilaiset analyysit, simulaatiot ja visualisoinnit ovat tulleet yleisemmiksi ja ne kuuluvat nykyisin osaksi suunnittelijan työtä. Erilaiset 3D-suunnitteluohjelmat ovat kehittyneet huomasti viime vuosina ja nykyisin niitä käytetään pääosin esimerkiksi mekaniikkasuunnittelussa. (Pere 2012, 2-11, 2-18.)

5.1 3D-suunnitteluohjelmien edut ja haitat suhteessa 2D-suunnitteluohjelmiin

3D-suunnitteluohjelmistot mielletään nykyajan suunnittelijan työkaluksi useammin kuin 2D-suunnitteluohjelmistot, mutta näiden kahden välinen paremmuus eri tilanteissa ei ole kuitenkaan itsestään selvää, vaikka 3D-ohjelmistot edustavatkin uudemmaa tekniikkaa. Esimerkkeinä yksinkertaisten kappaleiden suunnittelu sekä erilaisten kaavioiden teko, kuten prosessi-, sähkö- tai putkistokaaviot voivat olla usein helpompia toteuttaa 2D-ohjelmistolla. (Pere 2012, 2-16.)

Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että mitä monimutkaisempia kappaleita suunnitellaan, sitä käytännöllisemmiksi ja hyödyllisemmiksi 3D-ohjelmistot muuttuvat. 2D-ohjelmistolla monimutkaisen kappaleen kuvaaminen on huomattavasti työläämpää ja virhealttiimpaa, koska projektioita joudutaan piirtämään manuaalisesti useampia yhdestä kappaleesta. Kun taas 3D-ohjelmistolla luodaan ensin kappaleen geometria, jonka jälkeen siitä voidaan ottaa projektioita eri suunnista ja kulmista niin monta kuin on tarpeen. Tämä taas osaltaan vähentää suunnittelutyössä syntyviä virheitä huomattavasti. Tosin projektioden muokkaaminen jälkikäteen on haastavampaa 3D-ohjelmistoilla, koska mallien piirteet ovat toisistaan riippuvaisia ja muutokset täytyy ensin tehdä kappaleen geometriaan. 2D-ohjelmistoissa tätä ongelmaa ei ole, sillä ne koostuvat viivageometriasta ja muista 2D-elementeistä, joissa muutoksen voi tehdä suoraan projektiioon.

Käytettävyydeltään 2D-ohjelmistot ovat usein yksinkertaisempia kuin 3D-ohjelmistot ja siksi niiden käytön oppiminen on monelle helpompaa ja nopeampaa. Lisäksi 2D-ohjelmistojen perustoiminnot ovat samankaltaisia eri ohjelmistojen välil-

lä, kun taas erilaisten 3D-ohjelmistojen välillä saattaa olla hyvinkin erilaiset perustoiminnot. (Pere 2012, 2-22.)

Itse suunnittelutyö ei ole välttämättä sen nopeampaa 3D-ohjelmilla, kuin 2D-ohjelmilla tehtävä työ. Selvin nopeutuminen tapahtuu kuitenkin kokonaisten tuoteperheiden suunnittelussa, koska 3D-ohjelmalla saadaan samasta mallista helposti tuotettua erikokoisia ja eri komponentteja sisältäviä versioita. Myös suunnitteluvirheistä johtuvat viivästykset ja kustannukset vähenevät. Lisäksi 3D-suunnittelulla saadaan lyhennettyä prototyyppien valmistusaikaa parhaimmillaan muutamaan päivään, johon ennen saattoi kulua jopa muutama viikko. Entistä nopeampi prototypointi lyhentää koko suunnitteluprosessia ja näin ollen saadaan lyhyemmässä ajassa entistä valmiimpia tuotteita.

Visuaalisuus on 3D-ohjelmalla huomattavasti parempi, koska kappaleet ovat esitetyinä kolmiulotteisina. Näin ollen suunniteltavan tuotteen hahmottaminen geometrisesti helpottuu josta on paljon etua esimerkiksi markkinoinnissa. Erilaisilla visualisointiohjelmilla kyetään tuottamaan erittäin korkeatasoisia tuotesimulaatioita tuotteista, joita ei ole vielä valmistettu. Tällä tavoin lopullisen tuotteen mahdolliset ostajat saavat tuotteen toiminnasta ja suunnittelusta paremman käsityksen. (Laakko 1998, 32-34.)

Kustannuksiltaan 2D-ohjelmistot ovat yleensä halvempia vaihtoehtoja verrattaessa 3D-ohjelmistoihin, koska niiden hankintahinnat ja ylläpitomaksut ovat pienempiä. Myöskään suunnittelussa tarvittavien laitteiden, kuten esimerkiksi tietokoneiden, ei tarvitse olla yhtä tehokkaita ja laadukkaita 2D-suunnittelussa, joten laitekuluissakin syntyy pientä säästöä. (Pere 2012, 2-22.)

5.2 NX 3D-suunnitteluohjelmisto

NX on yksi yleisimmistä 3D-suunnitteluohjelmista, jota käytetään maailmalla tuotekehityksen, suunnittelun ja valmistuksen tarpeisiin eri yhtiöissä. Se on kehitetty yhdistämällä I-DEAS ja Unigraphics-ohjelmistojen toiminnallisuuden. Ohjelmiston mukaan on integroitu CAD/CAM/CAE PLM-ominaisuudet. Muita samankaltaisia

3D-suunnitteluohjelmistoja ovat esimerkiksi Solid Edge, Catia, SolidWorks ja Vertex. Suomessa olevista yrityksistä NX 3D-suunnitteluohjelmistoa käyttävät muunmuassa ABB, Konecranes, Metso Minerals sekä Sandvik.

NX ohjelmiston yhtenä etuna on sen modulaarisuus, sillä se sisältää huomattavan valikoiman erilaisia työkalumoduleita, joita voidaan ottaa käyttöön omien tarpeiden mukaan. Muutamia esimerkkejä moduleista: ohutlevyt, muotoilu, hitsatut rakenteet, putkistot, simulointi (mm. liikeradat, elinikä), työkalusuunnittelu sekä visualisointi. Modulaarisuuden lisäksi NX on panostanut isojen kokoonpanojen hallintaan. Uusissa NX:ssä käytetään JT-teknologiaa, jonka avulla on mahdollista avata yhä suurempia kokoonpanoja ja niiden avaamiseen kuluva latausaika on lyhentynyt huomattavasti.

NX:n erikoisuutena on siinä olevan teamcenter-dokumentinhallinta-osion avustuksella avata myös toisilla CAD-ohjelmistoilla tuotettuja osia ja kokoonpanoja. Näitä osia voidaan käyttää samoin kuin NX:llä suunniteltuja osia ja niitä on mahdollista muokata Design Freedom -osiolla esimerkiksi muuttamalla osien geometriaa. Lisäksi NX on kehittänyt suunnittelutyötä nopeuttavan uuden synchronous-teknologian, joka mahdollistaa piirrepohjaisen ja historiattoman mallinnustekniikan yhdistämisen. (Siemens PLM Software www-sivut 2014)

6 RUUVILIITOKSET

Ruuviliitoksia on useita erilaisia ja niiden suunnittelu vaihtelee aina käyttökohteen mukaan. Yksinkertaisimmillaan ruuviliitos tehdään pelkästä ruuvista, mutta se saattaa sisältää ruuvien lisäksi muttereita, aluslaattoja, varmistimia tai sokkia. Ruuviliitoksissa käytettävät osat ovat usein standardoituja, joka helpottaa omalta osaltaan niiden käyttöä ja suunnittelua. (Ansaharju 2009, 43.)

Ruuviliitoksien etuina voidaan mainita sen helppo asennettavuus, luotettavuus sekä edullisuus, johtuen halvoista standardi ruuveista. Lisäksi ruuviliitoksia voidaan käyttää monenlaisissa vaativissa olosuhteissa. Vastaavasti haittoina voidaan mainita suuret jännityshuiput, jotka johtuvat ruuvien epäjatkuvuuskohdista. Myös väsymislujuus ja kiinipysyminen ovat vaikeasti hallittavia liitoksien suunnittelussa. (Kivioja 2009, 39.)

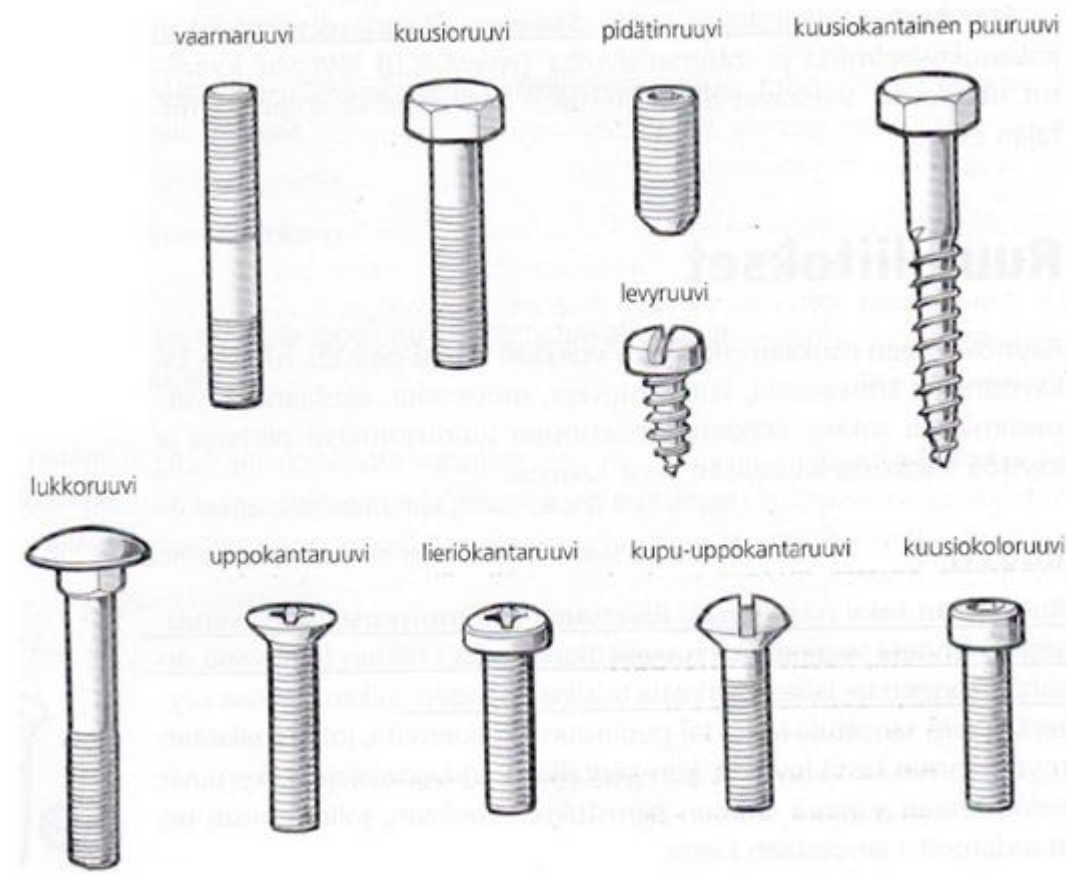
6.1 Ruuvit

Ruuvit voidaan jakaa kahteen pääryhmään: liikeruuveihin ja kiinnitysruuveihin. Liikeruuvit eroavat kiinnitysruuveista siten, että niitä ei käytetä varsinaisissa ruuviliitoksissa, vaan niiden toiminta perustuu koneiden tai laitteiden eri osien siirtämiseen toisiinsa nähden. Liikeruuvia käytetään esimerkiksi ruuvipenkissä.

Varsinaisessa ruuviliitoksessa käytetään kiinnitysruuveja, joita löytyy useita erityyppisiä malleja erilaisiin käyttökohteisiin. Kiinnitysruuvin parina on usein mutteri, joskaan se ei ole kuitenkaan välttämätön, koska ruuvin mentävä kierre voidaan yhtä hyvin tehdä suoraan vastakappaleeseen. (Ansaharju 2009, 43-44.)

6.1.1 Erityyppiset kiinnitysruuvit

Erityyppiset kiinnitysruuvit (kuva 10) erottaa lähinnä kannan muodosta, joka on kaikissa malleissa omanlaisensa. Lähes kaikissa ruuveissa käytetään yleensä niin kutsuttua metristä kierrettä, lukkuunottamatta muutamia poikkeustapauksia.



Kuva 10. Erilaisia kiinnitysruuveja. (Ansaharju 2009, 44.)

Kuusioruuvi on kuusiokantainen ruuvi ja se on eräänlainen yleisruuvi, johtuen sen käyttömäärästä. Niissä tapauksissa, joissa ei ole mitään erikoisvaatimuksia, käytetään yleisesti kuusioruuvia. Kuusioruuvien kiristäminen ja avaaminen tapahtuu erikokoisilla avaimilla.

Kuusiokoloruuvien tunnistaa sen kannan päällä olevasta syvänteestä, johon sopii erikokoiset kuusiokoloavaimet, joilla ruuvien kiristäminen ja avaaminen tapahtuu. Kuusiokoloruuvien kanta upotetaan yleensä kiinnitettävään laitteeseen.

Uruuvien kiristäminen ja avaaminen tapahtuu usein porakoneella tai ruuvimeisselillä. Niiden kannassa on useita erilaisia kiristyspää vaihtoehtoja, mutta yleisimmät niistä ovat suoraura ja ristiura. Suoranuran kiristäminen tapahtuu talttapäällä ja ristiuran kiristäminen vastaavasti ristipäällä. Uruuvien halkaisijat ovat usein pieniä, koska niihin sopivilla kiristimillä ei saavuteta yhtä suuria voimia kuin avaimilla teh-

tävissä kiristyksissä. Kannan muoto uraruuveissa valitaan aina käyttökohteen vaatimusten mukaan.

Vaarnaruuvien kummassakaan päässä ei ole kantaa ja se onkin sopiva ratkaisu sellaisiin kohtiin, joissa liitos joudutaan avaamaan usein. Yleisiä käyttökohteita ovat muunmuassa kappaleiden kiinnitykset koneistuskoneiden pöytiin. Kiinnityksissä käytetään usein apuna myös muttereita.

Pidätinruuveja käytetään lähinnä muiden liitosten varmistamiseen. Ne voivat olla kantapäästään joko kuusiokoloruuveja tai uraruuveja ja toisesta päästään ne ovat muotoiltu käyttökohteiden vaatimusten mukaan, joko terävä kärkisiksi tai tylsä kärkisiksi. Terävä kärkinen kiinnittää hyvin mutta on heikko, kun taas tylsä kärkinen on vahva mutta kiinnittää huonosti.

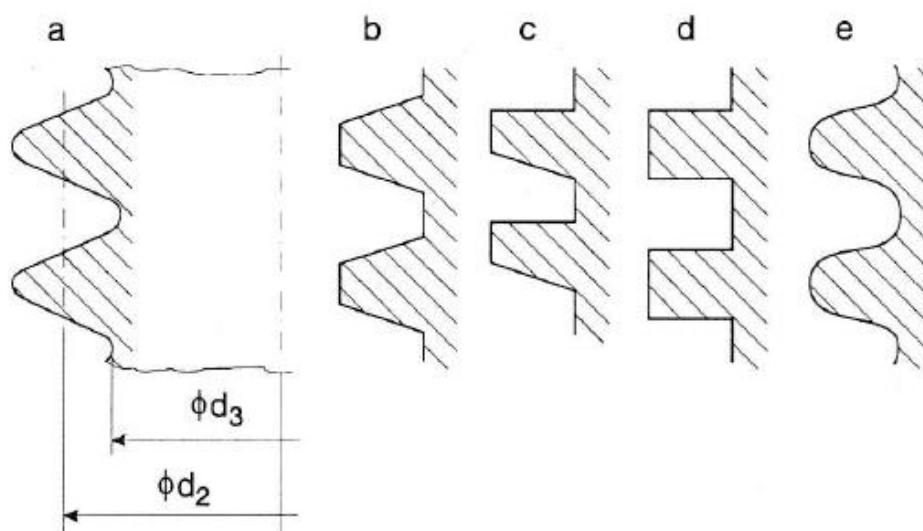
Levyruuveja käytetään yleisesti ohutlevytöissä, koska näissä tapauksissa ei voida käyttää muttereita eikä tehdä kierteitä levyihin niiden ohuuden vuoksi. Levyruuvien kannassa on usein risti- tai suoraura.

Lukkoruuvia käytetään usein metallia pehmeämmissä materiaaleissa, kuten esimerkiksi puun ja muovin kanssa. Lukkoruuvissa on neliönmuotoinen lukko-osa, joka lyödään pyöreään reikään niin lujaa, että se lukitsee itsensä eikä kanta pääse enää kiertymään mutteria kiristettäessä. (Ansaharju 2009, 44-45.)

6.1.2 Kierreprofiilit

Kierremuotoja on useita (kuva 11), mutta selvästi yleisin muoto on terävä kierre, jossa on tasakylkinen kolmio pyöristetyllä huipulla. Terävän kierteen etuina on esimerkiksi sen helppo valmistus, joka tapahtuu lastuamalla tai kylmämuokkaamalla. Terävässä profiilissa kylkikulma aiheuttaa suuren kitkan, joka edesauttaa liitoksen kiinnipysymisessä. Radiaali- ja säteisvälitys on helppo hallita terävässä kierteessä. Lisäksi kierteen säteensuuntaisten voimien aiheuttamat muodonmuutokset auttavat tasamaan kierteiden välistä voimaa. Eniten käytetty kierreprofiili terävässä kierteessä on metrinen ISO-profiili, joka jaetaan nousun perusteella vakio- tai taajakierteisiin.

Kansainvälinen standardoimisjärjestö on standardoinut ISO-kierreprofiilin ja se on yleisesti käytössä koko maailmassa. Metrisen kierteen tunnus on M, ja sen ulkohaalkaisija on yleensä tasamillimetrien mukainen. (Kivioja 2009, 40.)



Kuva 11. Kierreprofiileja, a) teräväkierre, b) puolisuunnikaskierre, c) sahakierre, d) lattakierre, e) pyörökierre. (Kivioja 2009, 40.)

6.1.3 Ruuviosien pintakäsittely

Pintakäsittelyllä voidaan vaikuttaa muunmuassa ruuvien ulkonäköön, korroosionkestoon, kierteiden kitkaan, väsymislujuuteen ja luotettavuuteen. Suurin tekijä kaikista aiheutuvista ruuvivaurioista on korroosio. Korroosionkestävyyttä saadaan lisättyä oikeanlaisella pintakäsittelyllä tai vaihtoehtoisesti vaihtamalla ruuvien materiaalia esimerkiksi ruostumattomaan tai haponkestävään teräkseen. Pintakäsittely tulee kuitenkin kustannuksiltaan edullisemmaksi, kuin ruuvimateriaalin vaihto parempaan.

Pintakäsittelymenetelmiä on paljon, mutta tärkeimmät niistä ovat hehkutus ja öljyminen, fosfointi ja öljyminen, kuumasinkitys sekä sähkösaostus. Sähkösaostukseen kuuluu sähkösinkitys, -kromaus ja niklaus. Niissä ympäristöissä, joissa ei ruuvien pintakäsittelykään auta, ei jää muuta vaihtoehtoa, kuin vaihtaa kalliimpiin materiaaleihin. (Kivioja 2009, 41.)

6.1.4 Ruuvien lujuusluokat

Ruuvien murtolujuus ja myötöraja voi vaihdella saman kokoisten ruuvien välillä johtuen erilaisista valmistus aineista. Murtolujuus ja myötöraja on ilmoitettu usein ruuvin kannassa kahdella kokonaisluvulla, kuten 8.8 tai 10.9. Ensimmäinen luku ilmoittaa murtolujuuden, joka on kymmenesosa kokonaismurtoluujudesta ja toinen luku on kymmenen kertaa myötöran ja murtolujuuden suhde. Kerrottaessa nämä luvut keskenään, saadaan selville ruuviaineen myötöraja. Mitä suurempi tulo ruuvin lujuusmerkinnästä saadaan, sitä lujempi ruuvi on kyseessä. (Ansaharju 2009, 46.)

6.2 Mutterit

Ruuviliitoksissa käytetään ruuvien lisäksi usein myös erilaisia muttereita (kuva 12). Ne toimivat pareittain siten, että ruuvin ulkokierre sopii yhteen mutterin sisäkierteen kanssa. Mutterin ollessa ruuviliitoksessa, tapahtuu liitoksen kiristys useimmiten sitä kiertämällä. Yleisin mutteri on kuusiomutteri, jonka korkeus on noin 0,8 x kierteen nimellishalkaisija. (Ansaharju 2009, 47.)



Kuva 12. Erilaisia muttereita. (Ansaharju 2009, 47.)

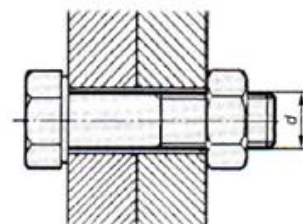
6.3 Aluslaatat

Aluslaattoja käytetään mutterien alla ja joskus myös ruuvien kannan alla. Aluslaatta vahvistaa kierreltiitosta, koska sen ansiosta kiristysliike ja kiristysvoima eivät kohdistu suoraan reiän reunoihin. Aluslaattana käytetään yleisimmin pyöreää aluslaattaa, jonka reikä on halkaisijaltaan hieman isompi kuin vastaavan ruuvin varren halkaisija. Ulkohalkaisijaltaan aluslaatta on noin kaksi kertaa ruuvin halkaisijan kokoinen. Pyöreiden aluslaattojen lisäksi on olemassa useita erilaisia erikoisaluslaattoja joita käytetään vain erikoistapauksissa. Esimerkiksi pehmeässä materiaalissa tulee käyttää suuria pyöreitä- tai neliskulmaisia aluslaattoja. (Ansaharju 2009, 53.)

6.4 Ruuviliitoksen reikien valmistaminen.

Ruuviliitokset aloitetaan reikien poraamisella, joista yleensä toinen on kierrereikä ja toinen on vapaareikä. Molempien reikien halkaisijat riippuvat ruuvin koosta. Kun tiedetään minkä kokoinen ruuvi on kyseessä, voidaan reikien halkaisijat todentaa esimerkiksi erilaisista taulukoista (kuva 13). Vapaareiän halkaisija on hieman kierrereikää suurempi. Porattavien reikien pituudet riippuvat niin ikään ruuvista. Pohjareiän kierteen on oltava niin pitkä, että ruuvin kierre pääsee kiertymään riittävän syväälle. Reikien pituuksiin löytyy myös taulukoita (kuva 14), joista minimi pituudet löytyvät. (Ansaharju 2009, 53-54.)

Kierteen ulko- halkaisija d	Vapaareiän halkaisija d_n			Kierteen ulko- halkaisija d	Vapaareiän halkaisija d_n		
	Hieno- sarja	Keski- sarja	Karkea- sarja		Hieno- sarja	Keski- sarja	Karkea- sarja
1	1,1	1,2	1,3	10	10,5	11	12
1,2	1,3	1,4	1,5	12	13	13,5	14,5
1,4	1,5	1,6	1,8	14	15	15,5	16,5
1,6	1,7	1,8	2	16	17	17,5	18,5
1,8	2	2,1	2,2	18	19	20	21
2	2,2	2,4	2,6	20	21	22	24
2,5	2,7	2,9	3,1	22	23	24	26
3	3,2	3,4	3,6	24	25	26	28
3,5	3,7	3,9	4,2	27	28	30	32
4	4,3	4,5	4,8	30	31	33	35
4,5	4,8	5	5,3	33	34	36	38
5	5,3	5,5	5,8	36	37	39	42
6	6,4	6,6	7	39	40	42	45
7	7,4	7,6	8	42	43	45	48
8	8,4	9	10				



Kuva 13. Metristen kierteiden vapaareiät. (Ansaharju 2009, 54.)

Aine	l_1	l_3
teräs	$1 \cdot d$	$1,5 \cdot d$
valurauta	$1,25 \cdot d$	$1,75 \cdot d$
Al-metallit, kupari	$2 \cdot d$	$2,5 \cdot d$

l_1 = ruuvien sisäänkiertyvä pituus
 l_3 = alkuperäinen syvyys

Kuva 14. Reikien minimi pituudet. (Ansaharju 2009, 54.)

6.5 Ruuviliitoksen kiristäminen

Ennen ruuviliitoksen kiristämistä tulee varmistua, että reiät ovat varmasti kohdakkain, jotta ruuvit eivät mene kiristettäessä vinoon. Tarkkuutta vaativissa asennuksissa

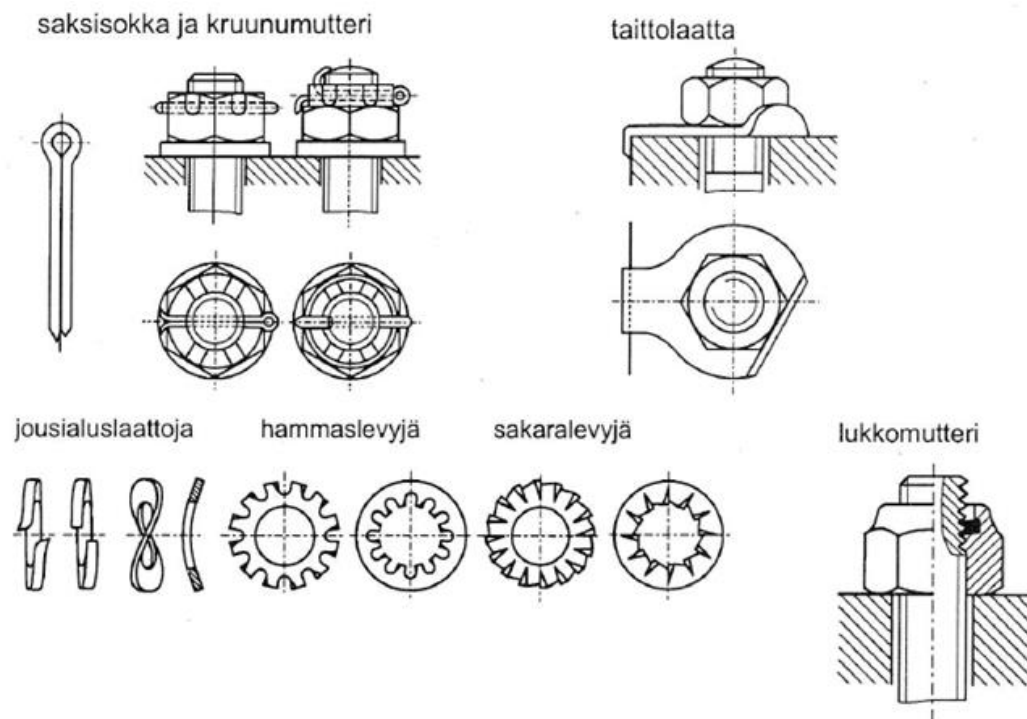
voidaan apuna käyttää muunmuassa puristimia joilla saadaan varmistettua reikien kohdakkaisuus.

Kansien tai muiden vastaavien osien asennuksessa, kiinnitysruuvit kiristetään useassa vaiheessa. Tällaisissa asennuksissa ruuveja ei tule kiristää ensin yhdeltä sivulta ja sitten toiselta, vaan ne tulee kiristää ristiin. Tällä tavoin osat eivät pääse vääntymään ja liitoksesta tulee näin ollen suora. Mikäli samassa liitoksessa vaaditaan eri ruuveilta samaa kiristystiukkuutta, voidaan kiristyksessä käyttää momenttiavainta. Erikokoisilla ruuveilla on ruuvien lujuusluokasta riippuen oma kiristysmomenttinsa. Rolls-Roycelta löytyy myös oma ohjeistuksensa ruuvien kiristysmomentteihin (liite 1). (Ansaharju 2009, 56.)

6.6 Ruuviliitoksen varmistusmenetelmät

Ruuviliitoksissa on vaarana niiden mahdollinen aukikiertyminen. Ongelma on todellinen varsinkin silloin, kun liitokseen kohdistuu tärinää. Aukikiertymisten estämiseksi on kehitetty useita erilaisia menetelmiä (kuva 15) joilla saadaan ruuvit lukittua paikalleen. Kaikissa menetelmissä on huomioitava kuitenkin se, että myös ruuvien avaaminen on oltava mahdollista normaalein työvälinein.

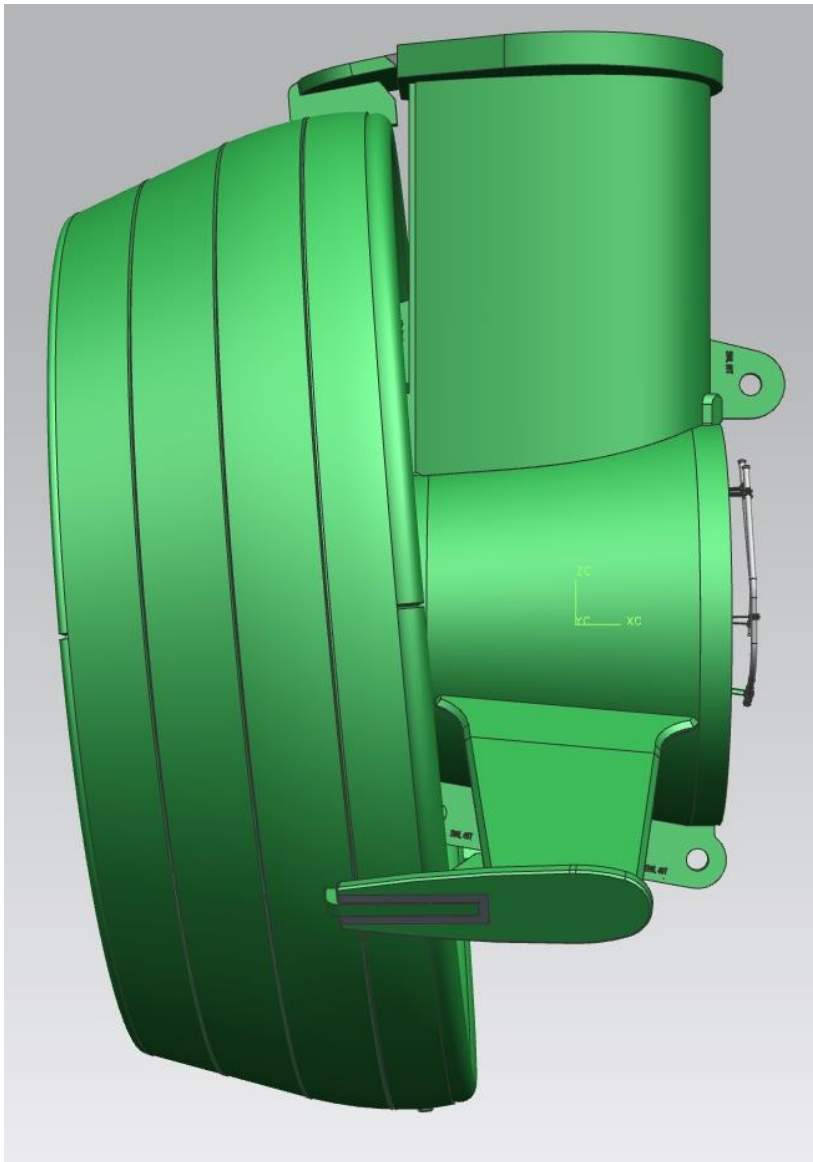
Varmistusmenetelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään: muotovarmistuksiin ja voimavarmistuksiin. Muotovarmistuksiin kuuluu esimerkiksi saksisokka, kruunumutteri ja taittolaatta. Voimavarmistuksia ovat muunmuassa erilaiset jousialuslaatat, sakaralevyt sekä lukkomutterit. Muotovarmistukseen perustuvat menetelmät ovat lähtökohteisesti luotettavampia kuin voimavarmistukseen perustuvat. (Kivioja 2009, 51.)



Kuva 15. Erilaisia ruuviliitoksien varmistusmenetelmiä. (Kivioja 2009, 51.)

7 RUUVILIITOKSIEN SUUNNITTELU

Aloitin suulakkeen ja alarungon nykyisten kiinnityskohtien ja osien tarkemman tutkimisen NX 3D-suunnitteohjelmaa apuna käyttäen. Malliksi valitsimme yhdessä työnantajan kanssa UUC 405 potkurilaitteen tiltatun alavaihteen (kuva 16), joka oli mallinnettu NX ohjelmalla jo valmiiksi.



Kuva 16. UUC 405:n tiltattu alavaihde.

Ruuviliitoksen suunnittelun alkuvaiheessa oli useita ajatuksia ja ideoita, joista valitsin omasta mielestä parhaimman esitettäväksi. Alunperin suunnitelmissani oli tehdä kolme erilaista ruuviliitosta, joilla olisi korvattu suulakkeen yläosan, evien yläosien ja evien alaosien hitsisaumat. Näin olisi välttytty aikaa ja rahaa vieviltä isoimmilta

hitsauksilta. Ongelmaksi tässä ideassa kuitenkin muodostui ruuviliitoksien tekemiseen vaaditut tarkat koneistukset. Sain kuulla jo suulakkeen nykyistä kiinnitystä tutkiessani alihankkijoiden lukuisista ongelmista koskien evien mitoitus ja lähtöjä alarungosta. Nämä evien paikoitusvirheet johtavat ongelmiin suulakkeen asennuksessa, mutta hitsiliitoksilla saadaan pienemmät mitoitus ja paikoitus ongelmat korjattua, kunhan liitoskohtiin vain saadaan jonkinlainen sauma tehtyä. Ruuviliitoksissa vastaavasti vaaditaan täsmällisyyttä, eikä se salli juurikaan heittoja mitoituksessa eikä paikoituksessa. Kolmen ruuviliitoksen toteuttaminen olisi vaatinut koneistuksilta todella suurta tarkkuutta ja lisännyt virheiden määrän mahdollisuutta, joiden lisäksi piti ottaa huomioon aikaisemmat ongelmat suulakkeen asennuksessa. Näistä syistä johtuen päätin jättää ruuviliitoksen suunnittelun evien alaosaan tekemättä ja keskityin kahden muun liitoksen suunnitteluun.

Työn aiheen vuoksi pystyin jättämään ylävaihteen ja keskiosan moduulit pois, keskittyen ainoastaan potkurilaitteen alavaihteeseen. Jaoin alavaihteen ja suulakkeen kiinnityskohdat kahteen eri osaan. Ensimmäiseksi tarkastelin alarungon ja suulakkeen yläosien kiinnityksiä. Toisena osana tarkastelin suulakkeen alaosien liittämistä alarunkoon evien välityksellä. Tarkastelussa keskityin lähinnä kappaleisiin jotka olivat oleellisia suulakkeen liittämisessä alarunkoon. Tavoitteena ruuviliitosten suunnittelussa oli käyttää mahdollisimman paljon jo olemassa olevia kappaleita mahdollisimman pienillä muutoksilla.

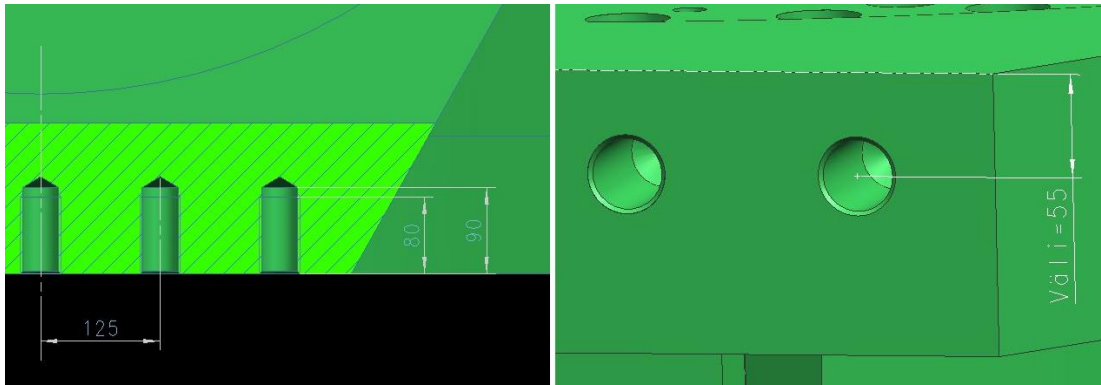
7.1 Suulakkeen yläosan kiinnitys ruuviliitoksella

Suunnittelussa lähdin siitä, että yläosan kiinnityksen on oltava tukeva. Tämän vuoksi oli alusta alkaen selvää, että ruuviliitoksen kierrereikien oli tultava alarunkoon. Ruuvien kooksi valitsin M 42 koon 10.9 lujuusluokan kuusiokoloruuvit, joita tulisi viisi kappaletta. Valinta perustui ruuveille annetuille lujuusarvoille, jotka kestäisivät varmasti niihin kohdistuvat voimat kyseisessä tapauksessa. Kuusiokolokantaiseen ruuviin päädyin siitä syystä, että se säästäisi ruuvien kiristämiseen ja avaamiseen vaadittavaa tilaa.

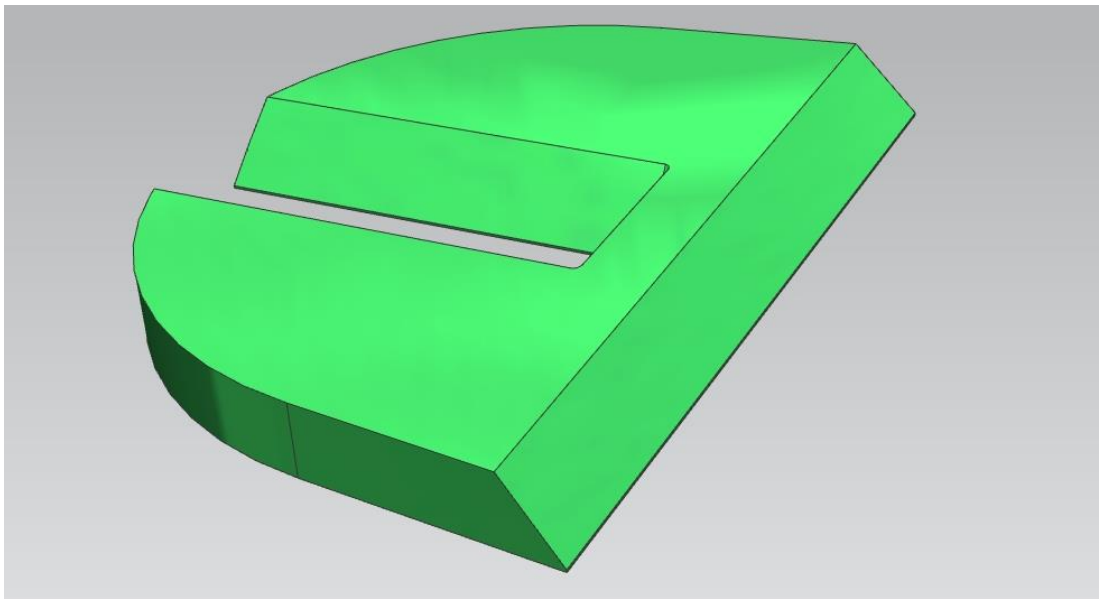
Ruuvireikien poraaminen täytyi suunnitella huolella, koska tiltatun suulakkeen vuoksi liitoskappaleita ei saanut helposti suoriin geometrisiin tasoihin. Kierrereiät päätin porauttaa alarungon ylälaippaan (kuva 17 a). Alarunkoon tulevien kierrereiäiden syvyydeksi päädyin 90 mm:iin josta kierteen osuus 80 mm. Reikiä etäisyydet toisistaan oli 125 mm ja reiät porattiin 55 mm:n korkeudelle ylälaipan yläreunasta alaspäin (kuva 17 b). Alarungon ja suulakkeen yhdistävän levyn (kuva 18) väliin lisäsin 50 mm paksun ja 170 mm korkean teräslevyn (kuva 19), johon tehtiin vapaareiät ruuveille. Reiät tehtiin samoihin kohtiin kuin ylälaipassakin. Levyn haluttiin tarkoituksella olevan hieman korkeampi kuin alarungon ylälaipan, koska näin ollen saatiin suulakkeen asennukseen hieman säätövaraa paikoitukseen. Ruuvien kokonaispituudeksi tuli 130 mm. Reikiä sijainnista ja uuden levyn lisäämisestä johtuen, piti muokata ja siirtää entisiä liitososia. Ongelmien ratkaisemiseksi, suulakkeen ja alarungon yhdistävä levy siirrettiin 50 mm taaksepäin, jotta uusi teräslevy mahtuisi paikalleen. Tämä johti suulakkeen yläosaan kiinnitetyn teräslevyn (kuva 20 a) muokkaamiseen siten, että suulakkeen ulkopuolella olleen näkyvän osan mittoja jouduttiin siirtämään myös 50 mm taaksepäin ja 55 mm alaspäin (kuva 20 b). Näiden muutoksien jälkeen pulteille jäi riittävästi materiaalia reikiä ympärille, sekä tilaa niiden kiristämiseen ja avaamiseen.



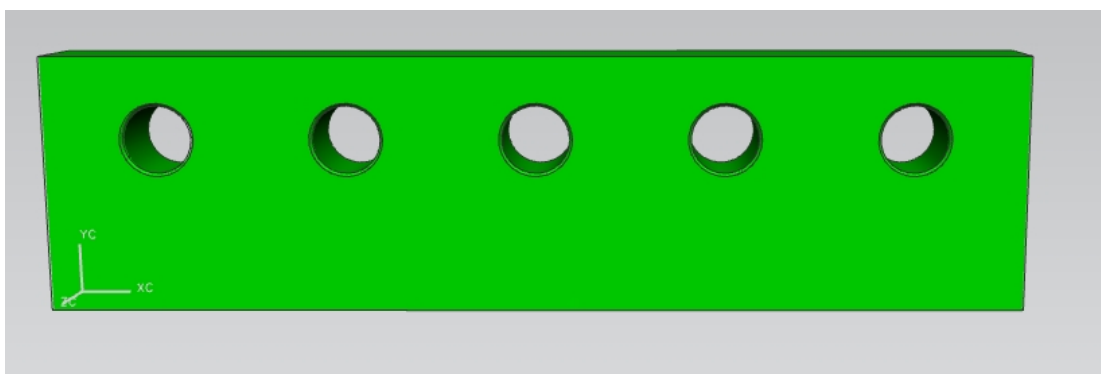
Kuva 17 a. Alarungon ylälaippaan poratut kierrereiät.



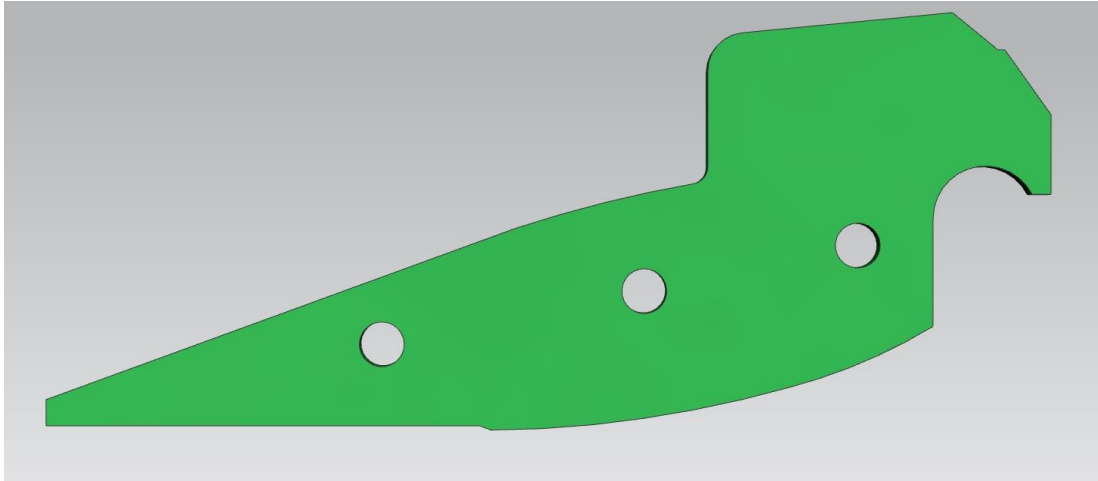
Kuva 17 b. Alarunkoon porattujen reikien mitoitusta.



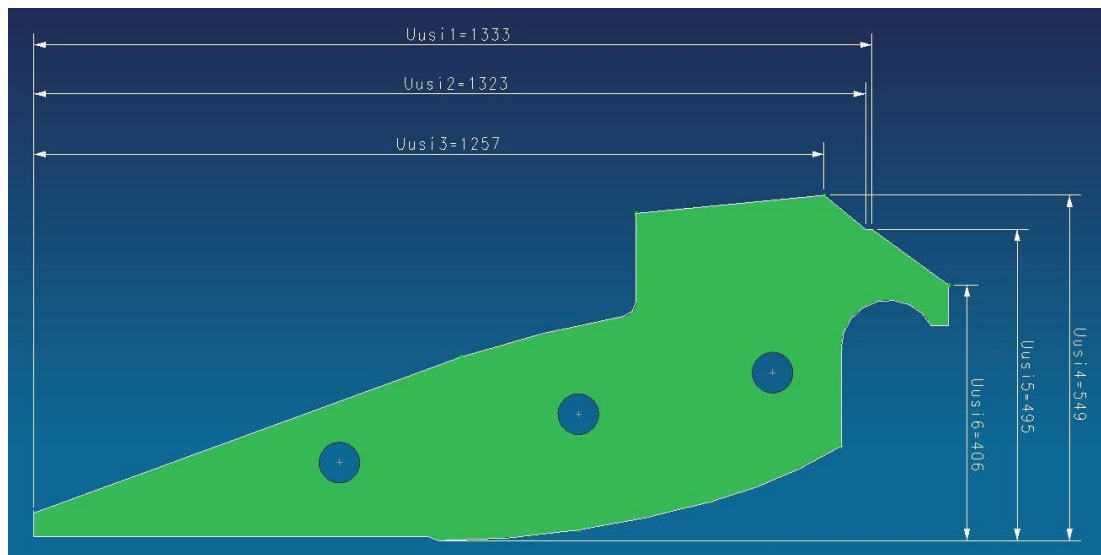
Kuva 18. Alarungon ja suulakkeen yhdistävä teräslevy.



Kuva 19. Alarungon ja suulakkeen väliin tuleva teräslevy.

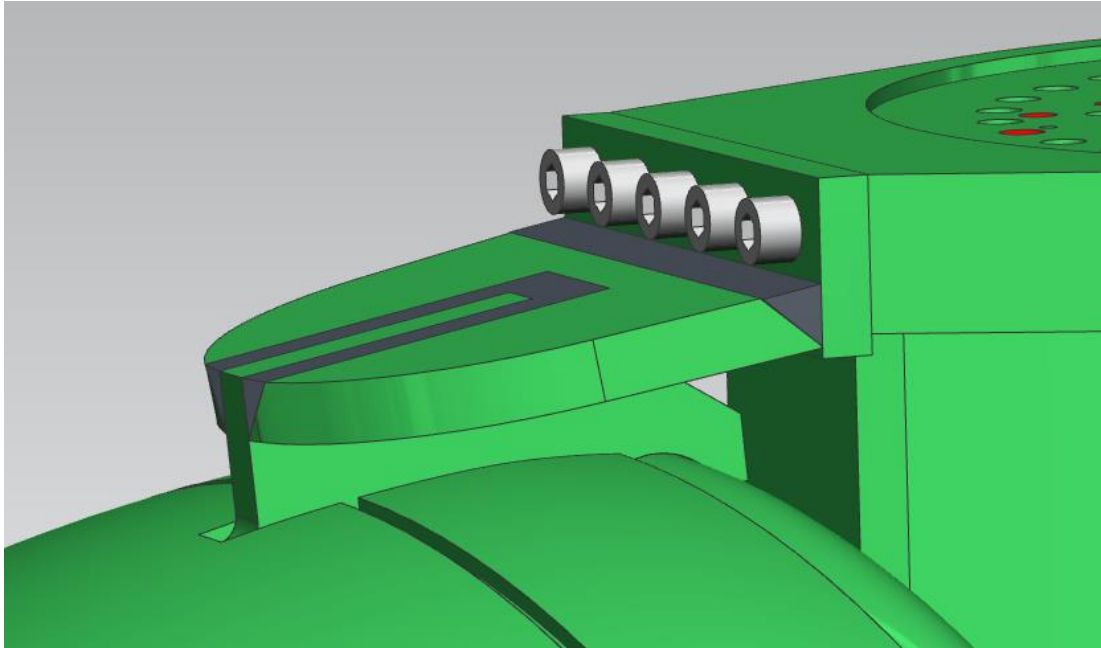


Kuva 20 a. Suulakkeen yläosaan kiinnitetty teräslevy.

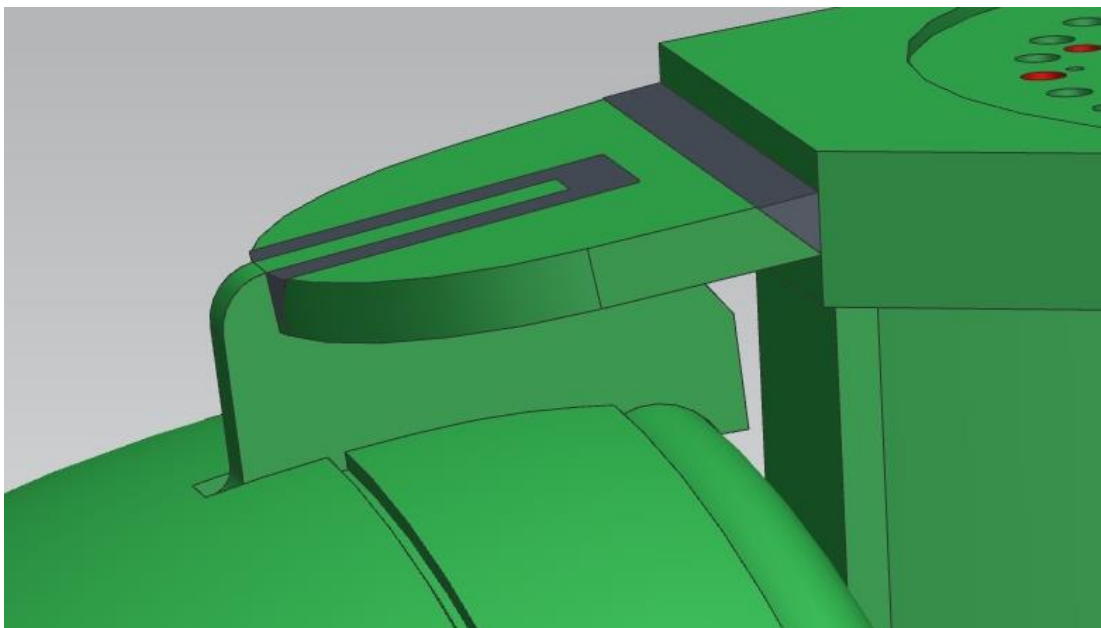


Kuva 20 b. Suulakkeen yläosaan kiinnitetty teräslevy muuttuneilla mitoilla.

Osa suunnittelun jälkeen suulakkeen yläosan kiinnitys ruuviliitoksella (kuva 21 a) oli mahdollista toteuttaa. Muutokset olivat suhteellisen pieniä verrattaessa entiseen hitaamalla tapahtuvaan liitokseen (kuva 21 b).



Kuva 21 a. Suulakkeen yläosan kiinnitys alarunkoon ruuviliitoksella.



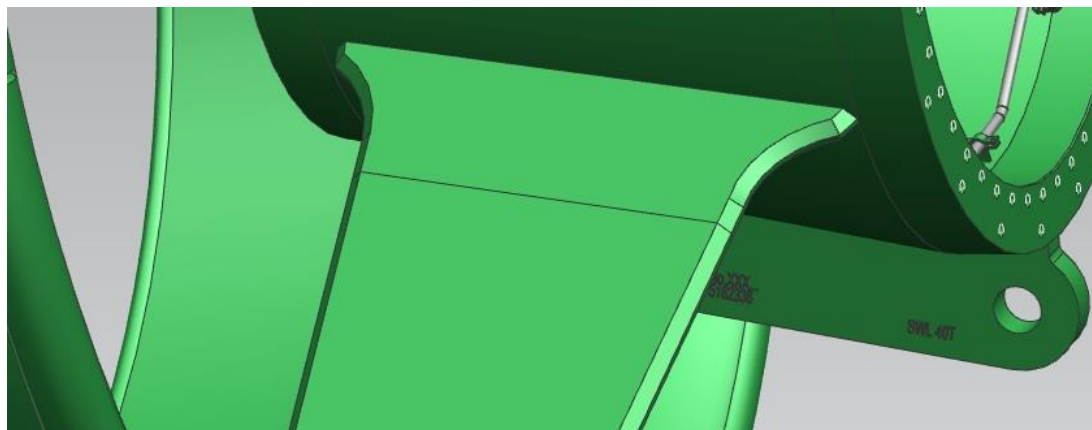
Kuva 21 b. Suulakkeen yläosan kiinnitys alarunkoon hitsaamalla.

Suulakkeen yläosan asennus muuttuu uuden ruuviliitoksen myötä siten, että alarungon ja suulakkeen väliin tuleva uusi teräslevy pultatataan ensiksi alarunkoon kiinni. Tämän jälkeen asennus tapahtuu kuten ennenkin, ainoana erona hitsiliitoksen tulo uuteen teräslevyyn, eikä suoraan alarunkoon.

Tähän ruuviliitosmalliin päädyin muutamista syistä. Alunperinhän ajatuksenani oli korvata yläosan vanha hitsisauma ruuviliitoksella, jonka johdosta sauma olisi jäänyt kokonaan pois. Jouduin kuitenkin hylkäämään ajatukseni, koska ruuviliitoksen teko tiltattuun suulakkeeseen osoittautui vaikeaksi, johtuen vinoista liitospinnoista. Ruuviliitos on parhaimmillaan silloin, kun liitos on suorissa geometrisissa tasoissa. Kyseisessä tapauksessa olisin joutunut muokkaamaan useiden osien muotoja ja mittoja, jotta liitoksen olisi saanut tehtyä oikeaoppisesti. Osien muotojen muuttamisessakin ilmaantui nopeasti uusi ongelma, joka oli tilan puute. Esimerkiksi alarungon ylälaipan päälle UUC-laitteissa tuleva asennuslaippa esti käytännössä kokonaan osien kasvattamisen korkeussuuntaan. Lisäksi ongelmana olisi ollut tässäkin tapauksessa paikoitus, joka olisi pitänyt olla todella tarkka. Näistä syistä päädyin edellä esitettyyn ratkaisuun, jossa ei tullut tilanpuutetta ja lisäksi siinä jätettiin säätövara mahdollisuus lisäämällä alarungon ja suulakkeen väliin teräslevy. Tuon teräslevyn ja suulakkeen yhdistävän levyn hitsisauman paikkaa voidaan säätää korkeussuuntaan tarpeen vaatiessa. Ruuviliitoksen toimivuus oli työssäni tärkeintä, ja siihen tavoitteeseen tällä ratkaisulla päästiin.

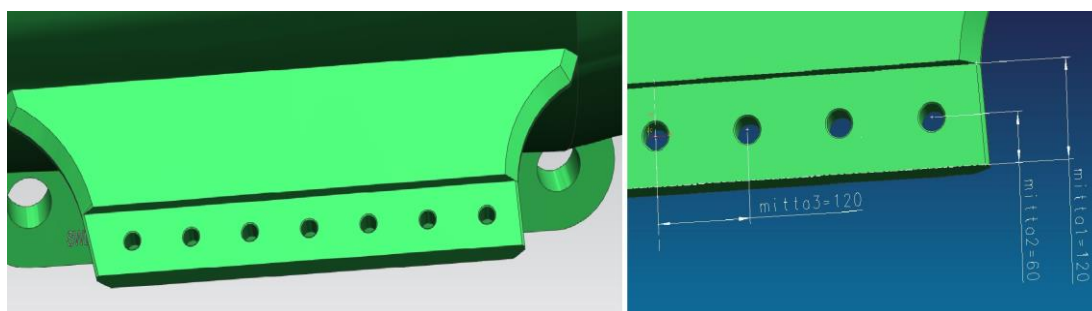
7.2 Suulakkeen alaosien kiinnitys ruuviliitoksilla

Suunnittelun alkuvaiheessa mietin ruuviliitoksen sijaintia. Vaihtoehtoina olivat joko evän ja päätylevyn päähän sijoittuva liitos tai alarungon ja evän liitoskohtaan (kuva 22) tuleva liitos. Näistä vaihtoehtoista päädyin jälkimmäiseen, koska uskoin liitoksesta tulevan luotettavampi, mikäli siinä olisi alarunko mukana.

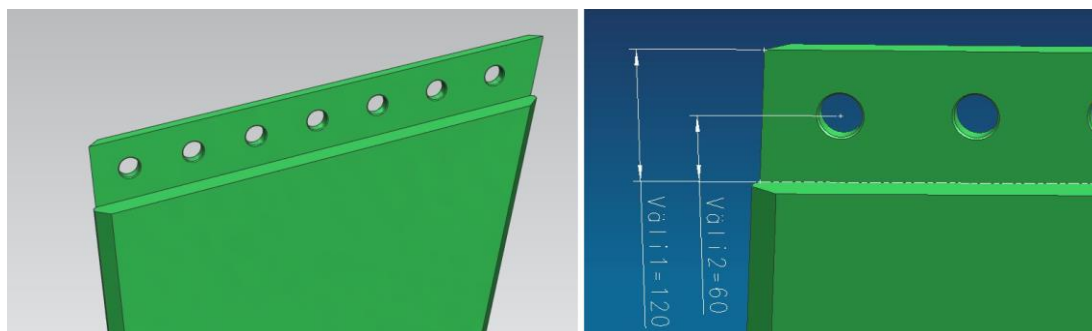


Kuva 22. Alarungosta lähtevän teräslevyn ja evän liitoskohta.

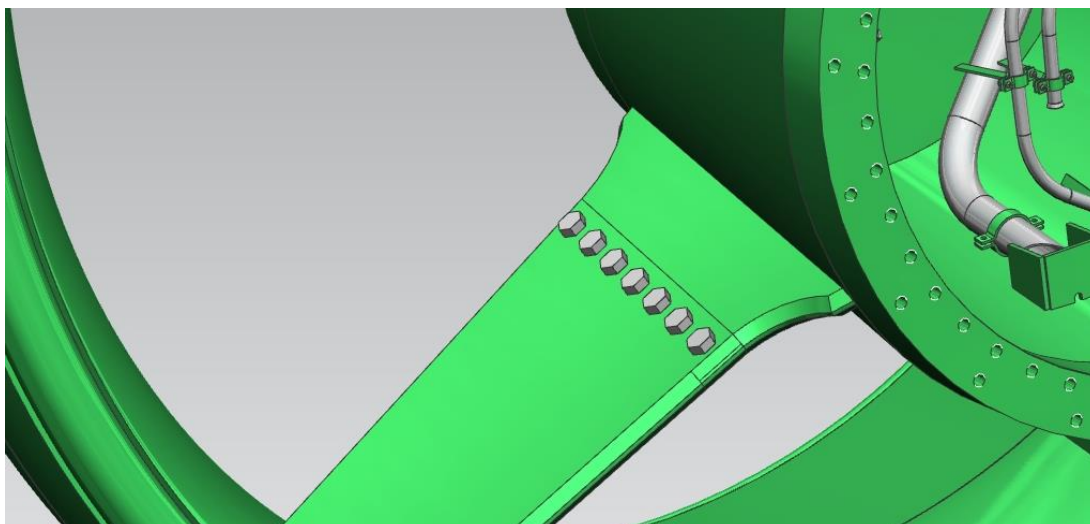
Itse liitoksen suunnittelin siten, että alarungon ja evän yhdistävän levyn päähän koneistettaisiin 120 mm pitkä ja 20 mm syvä lovi sekä kierrereiät seitsemälle ruuville, joista keskimmäinen reikä tulisi levyn keskelle ja loput reiät siitä 120 mm:n välein kohti levyn reunoja (kuva 23). Vastaavasti evän pituutta jatkettaisiin 120 mm johon koneistettaisiin 40 mm syvä lovi, sekä vapaareiät ruuveille (kuva 24). Näin saatiin rakennettua kestävä lomittain menevä ruuviliitos (kuva 25). Ruuveiksi valitsin M 36 koon 10.9 lujuusluokan kuusioruuvit ja pituudeksi 60 mm, joka oli myös evien ja alarungosta lähtevien teräslevyjen paksuus. Myös alarungon toiselle puolelle tulee samanlainen liitos kuin edellä, koska alarunko kiinnitetään suulakkeeseen kahden evän välityksellä. Toisen puolen liitososien, eli evän ja alarungosta lähtevän teräslevyn, valmistus ja liittäminen tapahtuu peilikuvamaisesti.



Kuva 23. Alarungon ja evän yhdistävä teräslevy muokattuna.



Kuva 24. Evän muokattu pää.



Kuva 25. Ruuviliitos valmiina.

Uuden ruuviliitoksen myötä, suulakkeen alaosien asennuksessa ei tapahdu suuria muutoksia. Ainoana erona on evän kiinnittäminen ruuveilla alarungosta lähtevään teräslevyyn entisen hitsiliitoksen sijaan. Ruuvien kiristämisen jälkeen suulakkeen asennusta jatketaan kuten ennenkin.

Alaosan kiinnitys oli itselleni helpoin ja selvin toteuttaa. Jo edellä mainituista syistä johtuen päätin luopua ajatuksestani kolmesta erillisestä liitoskohdasta, joista kaksi olisi tullut eviin, toinen yläpäähän ja toinen alapäähän. Näin ollen pystyin keskittymään vain alarungon ja evien liitoskohtiin. Minulla oli alusta alkaen selkeä näkemys liitoksen toteutustavasta, joten sain liitoksen suunnittelun valmiiksi melko nopeasti. Ruuviliitoksen suunnittelun ollessa valmis halusin kuitenkin vielä ajatella sen toimivuutta ja siksi mietin, olisiko jokin muu ratkaisu mahdollisesti parempi. Mieleeni tuli ainoastaan yksi vaihtoehto, jossa liitos olisi tullut suoraan alarunkoon kiinni. Päätin luopua ajatuksesta, koska tässä tapauksessa liitospinta olisi ollut kartiomainen. Tämä olisi johtanut siihen, että liitos olisi vaatinut osien muokkaamista ja huomattavaa lisäsuunnittelua. Päätin lukita ensimmäisen suunnitelman, jossa ruuviliitos oli yksinkertainen, toimiva ja kestävä. En keksinyt yhtäkään syytä miksei ruuviliitos olisi toimiva, joten näin ollen suulakkeen alaosien kiinnitykset olivat mielestäni valmiita.

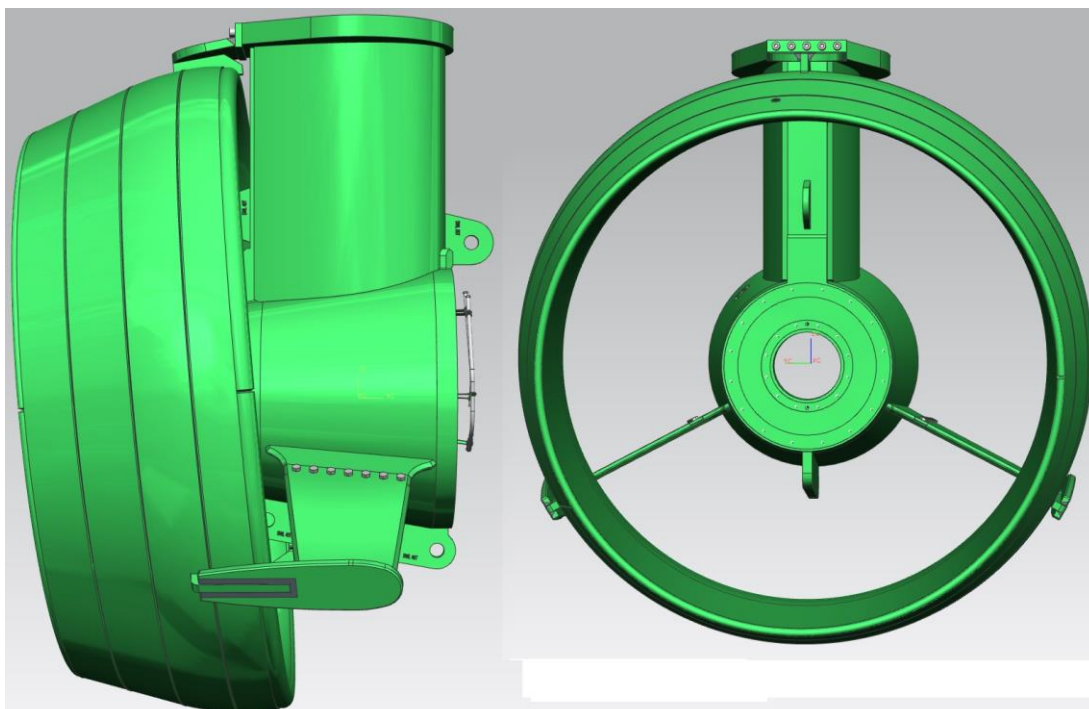
7.3 Ruuvien kiristys ja lukitus

Ruuvit kiristetään momenttiavaimilla omaan kiristysmomenttiinsa, jotta saman liitoksen ruuveilla olisi sama kiristystiukkuus. Lukitus tapahtuu teräslankavarmistuksilla. Ruuvien lukitus kyseisissä liitoksissa on tärkeää, koska liitoskohtiin kohdistuu värinöitä sekä veden virtauksista aiheutuvia voimia. Rolls Royce Oy:llä on omat ohjeistuksensa eri ruuvi kokojen kiristysmomenteista, jotka käyvät selville liitteestä 1.

8 RUUVILIITOKSIEN TOIMIVUUS

Ruuviliitoksien suunnittelun jälkeen tarkastelin vielä niiden toimivuutta. Suulake kiinnittyy kolmesta erillisestä ruuviliitos kohdasta alarunkoon (kuva 26). Suulakkeen irroittaminen tapahtuu aukaisemalla kaikki ruuvit näistä liitoksista, jonka jälkeen suulake ja evät saadaan nostettua pois paikoiltaan yhtenä osana. Irroittaminen on helppoa eikä siinä vaadita enään hitsisaumojen purkamista, vaan ainoastaan oikeanlaiset avaimet ruuveille.

Irroittamisen jälkeen tarkastetaan mahdolliset vauriot liitoskohdissa ja osissa, jotka tulee korjata. Kierrereikien kierteet ovat yksi tärkeimmistä kohdista tarkastaa, koska niihin kohdistuu suurimmat rasitukset. Kaiken ollessa kunnossa, voidaan suulake asentaa takaisin paikoilleen siten, että suulake ja evät nostetaan yhtenä kappaleena takaisin paikoilleen, jonka jälkeen liitoksien ruuvit kiristetään takaisin omiin momentteihinsa.



Kuva 26. Suulakkeeseen tulevat kolme ruuviliitosta.

9 TULOKSET

Työssä esitellään yksi ruuviliitoksilla toteutettava vaihtoehto suulakkeen asennukseen perinteisten hitsiliitoksien sijaan. Ruuviliitokset on mahdollista toteuttaa työssä esitetyillä menetelmillä ja mitoilla, jolloin liitoksista tulee toimivat ja ne täyttävät niille asetetut tavoitteet.

Työssä muokattiin pääasiassa tuotannossa jo valmiiksi olevia osia, jonka johdosta materiaalikustannukset pysyvät lähes ennallaan. Lisäksi osien muokkaus oli niin vähäistä, että suurilta muutoksilta vältytään, eikä se näin ollen aiheuta valtavaa lisätyötä tehtäessä lopullisia konepiirrustuksia osista.

9.1 Jatkotoimenpiteet

Mikäli Rolls-Royce päättää lähteä viemään projektia eteenpäin tulee ensimmäiseksi suorittaa vaadittavat lujuuslaskut, jotka keskittyvät erityisesti liitoskohtiin ja niiden ympäryksiin. Rolls-Roycella on omat lujuuslaskijat, jotka käyttävät apunaan FEM

lujuuslaskenta ohjelmia. Näissä ohjelmissa voidaan käyttää suoraan NX 3D-suunnitteluohjelmalla tehtyjä kuvantoja, joka helpottaa lujuuslaskijoiden työtä huomattavasti.

Lujuuslaskujen valmistuttua tiedetään mahdolliset ongelmakohdat, joita raporttien perusteella muokataan vahvemmiksi tai vastaavasti jotain kohtaa voidaan myös heikentää, mikäli se todetaan turhankin vahvaksi. Mahdollisten muutoksien jälkeen osista on tehtävä vielä täydelliset konepiirrustukset, joista selviää kaikki tarpeellinen tieto niiden valmistukseen.

On myös mahdollista, että Rolls-Royce haluaa kehittää ja tehdä parannusehdotuksia kyseiseen projektiin. Siinä tapauksessa tässä työssä esitetty ruuviliitos malli toimisi hyvänä pohjana, joka vähentäisi työhön kuluvia suunnittelutunteja. Esimerkiksi pienellä lisäsuunnittelulla suulakkeen asennuksesta saatettaisiin löytää lisää kohtia, joissa voitaisiin käyttää ruuviliitosta hitsiliitoksen sijaan.

LÄHTEET

Ansaharju, T. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. Helsinki: WSOY.

Kivioja, S. 2009. Konetekniikka. Helsinki: Gaudeamus.

Laakko, T. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Helsinki: WSOY.

Pere, A. 2012. Koneenpiirustus 1&2. Espoo: Kirpe.

Rolls-Royce Oy Ab, intranet. Viitattu 12.5.2014. Yrityksen sisäinen verkkoasema.

Siemens PLM Software www-sivut. Viitattu 10.7.2014.

<http://www.plm.automation.siemens.com/>

Vikstedt, Teijo. 2014. Project Manager, Rolls-Royce Oy Ab. Rauma. Henkilökohtainen tiedonanto kesäkuu 2014

Yleisimpien ruuvien kiristysmomentit

TIGHTENING TORQUES FOR SCREWS AND NUTS

The tightening torques for screws and nuts can be found in Table 1.

TABLE 1 *Tightening torques in Newton meters (Nm) and in kilopondmeters (kpm) in parentheses () for dry, oiled or greased threads (not MoS₂-greased).*

Strength class	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18
8.8	9.8 (1.0)	24.5 (2.5)	48.1 (4.9)	84.4 (8.6)	134 (13.7)	206 (21.0)	280 (28.6)
A4-80	9.3 (0.9)	22.0 (2.2)	44.0 (4.5)	76.0 (7.7)	121.0 (12.3)	187.0 (19.1)	
10.9	13.7 (1.4)	34.3 (3.5)	67.7 (6.9)	118 (12.0)	190 (19.2)	290 (29.5)	412 (42.0)
12.9	16.7 (1.7)	40.2 (4.1)	81.4 (8.3)	142 (14.5)	230 (23.3)	348 (35.5)	475 (48.5)

Strength class	M20	M22	M24	M27	M30	M36	M42
8.8	402 (41)	540 (55.3)	696 (71)	1030 (105)	1420 (145)	2470 (252)	3970 (405)
A4-80	364 (37)		629 (64)	909 (93)	1240 (126)	2160 (220)	
10.9	570 (58)	760 (77.6)	980 (100)	1470 (150)	1960 (200)	3480 (355)	5590 (570)
12.9	676 (69.0)	910 (93.1)	1177 (120)	1770 (180)	2354 (240)	4200 (428)	6720 (685)

NOTE! Do not use screws with a lower strength class than that of the screws used in initial installation