



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Julia Kokko

Sähkökäyttöisen vastapainotrukin ruuviliitosten tarkastus huolto-oppaassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

24.5.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Julia Kokko Sähkökäyttöisen vastapainotrukin ruuviliitosten tarkastus huolto-oppaassa 52 sivua + 1 liite 24.5.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneensuunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Pekka Salonen Testausinsinööri Lasse Kortetjärvi
<p>Tässä insinööriyössä perehdyttiin Rocla Oy:n valmistaman trukkimallin huolto-oppaan ajantasaisuuteen. Huolto-ohjelmaan oli tehty huoltovälipidennyksiä, jolloin tiettyjen liitosten kiinnipysymisen edellytykset tuli tarkastaa. Tarkastelun kohteena olivat Evolt 48 -sähkötrukkimallin ruuvi- ja mutteriliitokset. Työ tehtiin yrityksen tuotekehityksen ja huollon tueksi.</p> <p>Yritys halusi tutkia, onko mahdollista saavuttaa jokin helppo tapa määrittää luotettavasti ruuviliitosten kestävyys, niille määrätyille huoltoväleille. Tavoitteena oli tilanne, jossa ei olisi riskiä ruuviliitosten yllättävästä löystymisestä tai mahdollisesta aukeamisesta käytön aikana. Kyseessä oli siis käyttäjä- ja laiteturvallisuuden varmistaminen.</p> <p>Insinööriyöllä pyrittiin myös parantamaan laitemallin käyttövarmuutta sekä toimivuutta. Isoin epävarmuustekijä liitosten kestävyuden määrittämisessä on laitteen käyttö. Eri asiakkaat käyttävät samaa laitetta moneen eri tarkoitukseen erilaisilla ajosykleillä, jolloin on haasteellista määrittää yhtä absoluuttista arvoa hyvälle ja kestäväälle ruuviliitokselle.</p> <p>Näkemyksiä, kokemuksia ja huomioita haettiin haastatteleamalla trukkien eri elinkaaren vaiheen asiantuntijoita: suunnittelijoita, asentavaa henkilöstöä sekä huolto-organisaatiota.</p> <p>Insinööriyön lopputulos helpottaa suunnittelevaa henkilöstöä määrittämään yhdenmukaisesti tavan ruuviliitosten määrittämiseen suunnittelutyössä. Laitteen käytettävyyden parantaminen sekä käyttöluotettavuuden kasvattaminen luovat yritykselle myös muita etuja, esimerkiksi kustannuksiin sekä kilpailuasemaan.</p>	
Avainsanat	Ruuviliitos, mutteriliitos, momentti, kiristys, käyttövarmuus

Author Title Number of Pages Date	Julia Kokko Operation and Maintenance manual of an Electric Counterbalance Truck's Screw Joints 52 pages + 1 appendix 24 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Product Design
Instructors	Pekka Salonen, Senior Lecturer Lasse Kortetjärvi, Testing Engineer
<p>This Bachelor's thesis was assigned by Rocla Oy. Rocla designs and produces logistical solutions, such as counterweight trucks and automatic trucks, for its clients. This thesis was made to support the company's research and development department and to upgrade maintenance operations.</p> <p>The objective of this thesis was to study if the screw and nut joints in Evolt 48 electrical counterweight truck were strong enough to ensure that the joint is reliable and safe. The need for this research arose from the fact that the maintenance interval had been extended recently. The purpose was to ensure user safety for this truck model.</p> <p>Because the use of this truck model can be variable, there was no simple way to determine a safe and high-quality joint. Therefore, it was important to analyze the factors to make a joint reliable. These studied factors help R&D department to choose the required standard joint.</p> <p>Several specialists were interviewed to obtain more information and different perspectives to the matter how to ensure reliable operation and safety of the truck's screw joints.</p>	
Keywords	Screw joint, nut joint, torque, tightening, product reliability

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rocla Oy	2
3	Insinööriyön lähtötilanne ja tavoitteet	3
3.1	Lähtötilanne	3
3.2	Tavoitteet	3
4	Huolto-ohjelma ja sen tavoitteet	4
4.1	Ennalta ehkäisevä kunnossapito	5
4.2	Riskien kartoitus	6
5	Liitokset	8
5.1	Ruuviliitokset	9
5.2	Ruuvit	13
5.3	Mutterit	16
5.4	Aluslaatat	16
5.5	Liitosten lukitseminen	17
5.6	Momentti	18
5.7	Asettuminen	20
6	Ruuviliitoksen asennus	21
6.1	Liitoksen laskeminen	23
6.2	Ruuviliitoksen kiinnipysymisen varmistaminen	24
7	Määräykset ja veloitteet	25
7.1	Koneita koskevat määräykset	25
7.2	Ruuviliitoksia koskevat määräykset	26
8	Liitokset Evolt 48-trukkimallissa	28

9	Haastattelut ja ohjeistus	36
9.1	Suunnitteleva henkilöstö	36
9.2	Asentava henkilöstö	37
9.3	Käyttöönottotarkastus	38
9.4	Huolto-organisaatio	39
9.5	Laadunvalvonta	41
10	Tulokset	42
10.1	Liitospintojen pinnanlaatu	43
10.2	Taajakierteisten ruuvien lisääminen	43
10.3	Nord-Lock-aluslaattojen käyttö	44
10.4	Oikeansuuruinen kiristysmomentti	44
10.5	Kaikkien työvaiheiden tarkka ohjeistaminen myös englanniksi	45
10.6	Erikois- ja vikatilanteiden yhdenmukaistaminen ohjeistamalla	46
10.7	Toistuvasti vikaantuvien osien huomioiminen suunnittelussa	46
10.8	Alihankintaosien käyttöehtojen huomioiminen suunnittelussa	47
10.9	Esitoimintojen lisääminen maalattaviin osiin	47
10.10	Kaikkien osien lisääminen BOMiin	48
10.11	Kiinnityselimet	48
10.12	Vikakertomusten dokumentoinnin helpottaminen ja tiedon eteneminen	49
11	Yhteenveto	50
	Lähteet	51

Liite. Huolto-oppaan tarkastettavat ruuviliitokset

Lyhenteet

Ah	Ampeeritunti, sähkövaraus eli sähköakun kapasiteetti, jonka ampeerin sähkövirta kuljettaa tunnin aikana
BOM	Bill Of Materials, osaluettelo
BS8800	British Standard – Occupational health and safety management systems guide, ohje työterveys- ja -turvallisuusjohtamisjärjestelmistä
DIN	Deutsche Industrie Norm, Saksan kansallinen standardi
DIN-EN	DIN yhtenevä EN:n kanssa
DIN-ISO	DIN yhtenevä ISO:n kanssa
EC3	Eurocode 3, Eurokoodi 3
EN	Eurooppalainen standardi joka perustuu ISOon
ETA	Euroopan unionin talousalue
EU	Euroopan unioni
Evolt 48	Roclan valmistama trukkimalli, johon asennetaan 48 V:in akku
FEM	Finite Element Method, elementtimenetelmä, jota käytetään laskettaessa tarkkoja voimia konstruktiossa
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
PLM	Product Lifecycle Management, tuotetiedon hallintaan sekä tuotteen elinkaaren hallintaan tarkoitettu ohjelmisto

R&D	Research and Development, tutkimus ja kehitys
SFS	Suomen Standardoimisliitto ry
SFS-EN	SFS yhtenevä EN:n kanssa
SFS-ISO	SFS yhtenevä ISO:n kanssa
VDI	Verein Deutscher Ingenieure, saksalaisten insinöörien yhdistys
3w	3 wheel, tarkoittaa trukkimallia, jossa on kolme pyörää
4w	4 wheel, tarkoittaa trukkimallia, jossa on neljä pyörää

1 Johdanto

Yrityksen logististen ratkaisujen toimimiseksi odotusten mukaisesti sekä ongelmitta, edellytetään toimivuutta logistisia toimintoja tuottavilta sekä niitä avustavilta laitteilta. Jokainen yllättävä vika ja katkos laitteen käytettävyydessä luo tappioita ja mahdollisia muita odottamattomia ongelmia käyttäjälleen. Laitteen suunnittelussa tulee huomioida erilaiset tekijät, jotta pystyttäisiin saavuttamaan laite, joka on käyttövarma sen koko elinkaaren ajan. Kun laitteen rakenne ja mitoitus ovat tarkoituksenmukaisia, kasvaa laitteen luotettavuus kasvaa ja alttius häiriöille pienenee.

Tässä insinööriyössä perehdyttiin sähkötrukin käytettävyyden turvaamiseen ja luotettavuuden maksimointiin ruuviliitosten näkökulmasta. Työn tarkoituksena oli tarkastella Rocla Oy:n valmistaman Evolt-48 sähkötrukkimallin huolto-opasta (Operation and Maintenance Manual: 2018). Huolto-oppaassa määritetään ja ajoitetaan trukin huoltotarve. Yrityksellä ei kuitenkaan ollut tarkkaa tutkimustietoa siitä, oliko kunkin osa-alueen huoltotarve mitoitettu täysin oikein, etenkin koska huoltoväliä oli taannoin pidennetty.

Huoltotarve on määritetty huolto-oppaaseen seuraavasti: päivittäinen, kuukausittainen sekä vuosittainen tai 1 000 käyttötuntia, riippuen siitä kumpi edellä mainituista täyttyy aikaisemmin. Tarkoituksena oli tutkia, onko mahdollisesti jokin huollettavaksi osoitetuista kohdista ajoitettu tai määritetty virheellisesti huolto-oppaan huoltotaulukkoon. Tarkastelun kohteena olivat myös ruuviliitosten luotettavuuteen vaikuttavat tekijät.

Tämän työn aiheeksi rajautui huolto-oppaan ruuvi- ja mutteriliitosten tarkastelu. Huolto-ohjelmasta löytyi noin 10 kappaletta tarkastettavia liitoksia.

Yrityksessä oli havaittu joitakin liitoksia, joissa oli ilmennyt käytön aiheuttamia muutoksia. Tarkoituksena oli tutkia tarkemmin, kuinka pystytään määrittämään riittävät vaatimukset ja reunaehdot liitoksille, jotta ne kestäisivät luotettavana koko niille määritetyn huoltovälin ajan.

Tietoa liitosten luotettavuudesta saatiin haastattelemalla suunnittelijoita, tehtaan työntekijöitä ja trukkien huoltajia sekä tutustumalla trukkien valmistusprosessiin. Tietoa haettiin myös kirjallisuudesta, standardeista ja alan asiantuntijoilta.

2 Rocla Oy

Rocla Oy on perustettu perheyrityksenä vuonna 1942, jolloin yritys tunnettiin nimellä Rautatyö. Yritys valmisti esimerkiksi kamiinoita putkimateriaalista. Nopeasti yritys vaihtoi painopisteen nosto- ja siirtolaitevalmistukseen ja vaihtoi nimensä Rocla:ksi. Ajan kuluessa japanilainen Mitsubishi Logisnext -yhtiö osti koko Roclan liiketoiminnan. (Rocla – sisälogistiikan edelläkävijä.)

Nykyään yritys keskittyy kehittämään, valmistamaan sekä markkinoimaan erilaisia sähköisiä trukkiratkaisuja ja järjestelmiä. Se on pysynyt mukana kilpailussa markkinoiden muuttuessakin. Aluksi yritys keskittyi tarjoamaan apuvälineitä, helpottamaan raskaiden tavaroiden liikuttamista. Sittemmin tietotekniikan kehittyessä, se alkoi kehittää sähköisiä ratkaisuja ja logiikoita, tehden trukeista älykkäämpiä. Nykypäivän painopiste kehityksessä on automaattitrukit sekä kestävä liiketoiminta. (Rocla – sisälogistiikan edelläkävijä.)

Rocla työllistää yli 480 henkilöä kotipaikassaan Järvenpäässä. Pääkonttorin yhteydessä toimii sen tuotekehitys ja tehdas, jossa valmistetaan vain sähköisellä käyttövoimalla toimivia trukkeja. (Tietoa Roclasta.) Yrityksen liikevaihto on noin 125 miljoonaa euroa.

3 Insinööriyön lähtötilanne ja tavoitteet

3.1 Lähtötilanne

Trukilla tarkoitetaan pyörillä kulkevaa laitetta, joka on tarkoitettu avustamaan raskaiden kuormien liikuttamisessa sekä nostamisessa. Trukkeja on paljon erilaisia, eri tarkoituksiin. Tässä työssä tarkastellaan sähköistä käyttövoimaa hyödyntävää vastapainotrukkia.

Tarkasteltavan trukkimallin nimi Evolt 48 saadaan malliston nimestä Evolt ja trukin käyttöjännitteestä, joka on 48 V. Insinööriyössä tarkasteltu trukkimalli on ollut tuotannossa noin vuoden ajan. Kuitenkin tuotteiden huoltotarpeen määrittäminen on ollut varsin kokemusperäistä. Tästä johtuen yritys halusi laatia tavan, jolla saataisiin määritettyä huoltoväliä analyyttisemmin.

Eryteisesti huoltotarpeen tarkastusta kaivattiin ruuvi- ja mutteriliitosten luotettavuuden määrittämisessä. Yksi esille nousseista kysymyksistä koski liitosten momentin riittävyyttä. Yritystä kiinnosti tutkia myös sellaisia tekijöitä, joita edellytetään hyvältä liitoksesta.

3.2 Tavoitteet

Tavoitteena oli tarjota yritykselle mahdollisimman paljon kirjallisuustietoa onnistuneiden ruuvi- ja mutteriliitoksen reunaehdoista ja edellytyksistä sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Odotettavissa ei ollut lähtökohtaisesti uuden tai vallitsevan tiedon kumoaminen, vaan ensisijaisesti voimassa olevan tiedon vahvistaminen tai mahdolliset lisäykset ja korjaukset toimintamalleihin. Toki ideaalissa tilanteessa insinööriyö tarjoaisi tutkimustiedon pohjalta huoltoväliin turvallista pidentymistä tutkitulla osa-alueella, mikä tarjoaisi myös kilpailuetua yritykselle.

Päätavoitteena oli määrittää sellaiset yleispätevät reunaehdot, joiden pohjalta yritys pystyy tulevaisuudessa osoittamaan oikeanlaisen kiristysmomentin sekä liitoksen edellytykset kullekin huolto-ohjelman liitokselle. Tarkoituksena oli listata tietynlaiset riskit ja riskien aiheuttajat, jotka pystyttäisiin eliminoimaan tulevaisuudessa jo suunnittelussa. Edellä

mainittujen reunaehtojen ja tekijöiden pohjalta, liitoksen tulee olla luotettava ja sen tulee pysyä kiinni määrätyn tarkastusvälin ajan. Haastavuutta yleispätevän kiinnityksen määrittämiseen loi trukkien erilainen käyttö.

Trukin ajoympäristö vaikuttaa suuresti liitosten kestävyys- ja luotettavuuteen. Ajoympäristö voi vaihdella suurestikin asiakkaasta riippuen, joten se tulee ottaa huomioon jo suunnittelussa. Kun trukilla ajetaan tasaisella alustalla, samanlaisena pysyvässä ilmastossa, aiheutuu liitoksille vähemmän kuormitusta. Kuitenkin ajettaessa epätasaisella alustalla, ja jos mahdollisesti ilmastolliset olosuhteet vaihtuvat usein, aiheutuu liitoksiin paljon kuormitusta. Nämä muuttujat vaikeuttavat yleispätevän liitoksen suunnittelua.

Huoltovälin tutkiminen ja tarkastaminen lisää myös turvallisuutta kyseiselle laitteelle. Turhien odotusaikojen ja työnseisauksien minimointi ja ennaltaehkäisy, eli käyttöasteen parantaminen ja varmistaminen, oli osa tavoitetta. Valmistajan, huolto-organisaation sekä loppukäyttäjän kannalta on ensisijaisen tärkeää, että huoltoa vaativat osat saadaan korjattua ja tarkastettua ennen kun ne vikaantuvat ja aiheuttavat seisauksia sekä ylimääräisiä kuluja. Kyseessä ovat siis ennakoivat huoltotoimenpiteet.

Tavoitteena ei ollut tehdä uutta huolto-opasta tai määrittää huoltotarvetta uudelleen, vaan tarjota kirjallisuustietoa huoltotarpeen määrittämisen helpottamiseksi rajatulla osa-alueella. Tätä työtä voidaan hyödyntää seuraavien tuotteiden suunnittelussa ja huolto-ohjelman laatimisessa.

4 Huolto-ohjelma ja sen tavoitteet

Huolto-ohjelma laaditaan jokaiselle trukkimallille erikseen. Yksilöity huolto-opas ottaa kantaa kunkin laitteen, tässä tapauksessa trukkimallin, eri komponenttien ja osien elinikään, kestävyys- ja huollettavuuteen. Huolto-oppaat ja huolto-ohjelmat ovat trukki-kohtaisia, koska eri mallit ovat tarkoitettu eri käyttötarkoituksiin ja ne voivat olla hyvinkin erilaisia keskenään.

Kuitenkaan huolto-ohjelma ei poista asiakkaan velvollisuutta varmistaa sitä, että trukki täyttää samat turvallisuusvaatimukset kuin uutenakin. Vastaava edellytys löytyy valtioneuvoston asetuksesta (577/2003), jossa käsitellään turvallisuus- ja terveysvaatimuksia. (Siirilä 2008: 74.) Kunnossapidon jaottelu esitetään kuvassa 1.



Kuva 1. Kunnossapidon jakaminen kategorioihin (Lapinleimu ym. 1997: 366).

4.1 Ennalta ehkäisevä kunnossapito

Ennalta ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan suunniteltua kunnossapidon ohjelmaa, joka suoritetaan määrätyn aikavälein tai päätettyjen kriteerien täytyessä. Ohjelmalla pienennetään vikojen ilmenemisen todennäköisyyttä sekä kohteiden toimintakyvyn heikkenemistä. (SFS-EN 13306. 2017.) Vastaavasti Suomessa koneiden turvallisuudesta määrää konelaki (1016/2004) sekä turvallisuuteen otetaan kantaa työturvallisuuslaissa (738/2002) (Siirilä 2008: 27).

Ennalta ehkäisevä kunnossapito voidaan jakaa tarkempiin kokonaisuuksiin: systemaattiseen sekä kunnonvalvontaan perustuvaan ennakkohuoltoon (kuva 1) (Lapinleimu ym. 1997: 365). Huolto-opas ja huolto-ohjelma ovat osa systemaattista kunnossapitoa ja mahdollistavat laitteen eliniän maksimoimisen sekä tehokkaan ja turvallisen käyttämisen sen koko elinkaaren aikana. Huolto-ohjelmassa on sellaiset osat ja osakokonaisuudet, joihin tiedetään kohdistuvan erityistä rasitusta, väsymistä tai rikkoutumisen vaara. Kyseiset kohdat tarkastetaan ennalta määritetyin aikavälein jolloin riskit, joita ei ole pystytty

poistamaan laitteesta, eivät pääsisi kasvamaan kohtuuttomiksi, tätä kutsutaan riskienhallinnaksi. (Siirilä 2008: 78.)

Ennalta ehkäisevässä huoltamisessa pyritään estämään laitteen vikaantuminen mahdollisimman pitkälle. Kaikkia vikaantumisia ei voida kuitenkaan ehkäistä. Koneet on pystytävä pitämään huollon ja kunnossapidon avulla turvallisina koko niiden elinkaaren ajan eikä laitteen mahdollinen kuluminen, vikaantuminen tai vaurioituminen saa aiheuttaa vaaratilanteita. (Siirilä 2008: 73.)

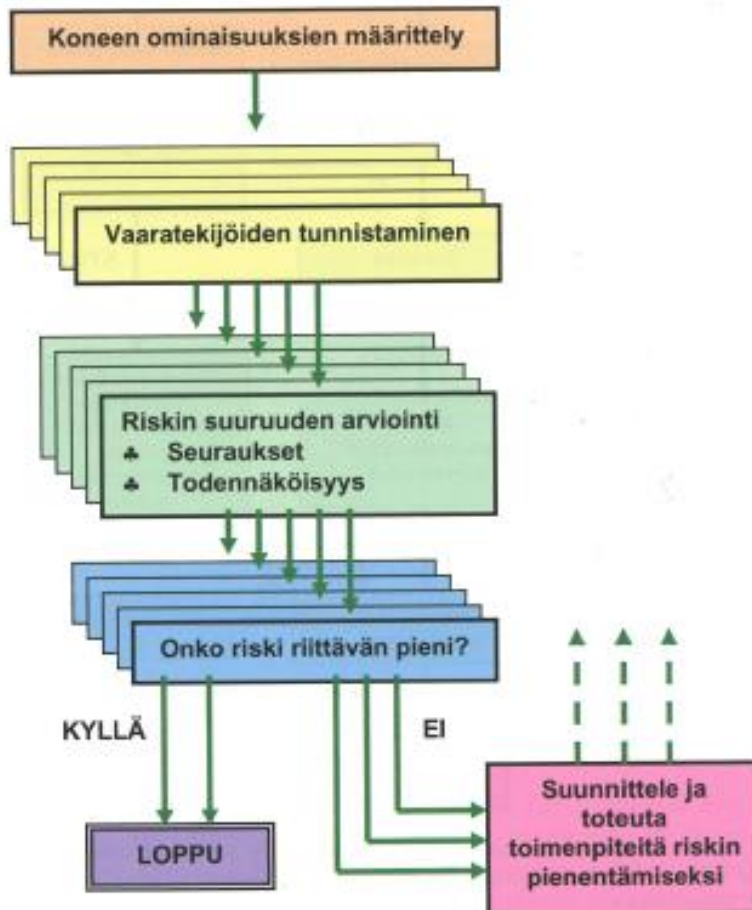
4.2 Riskien kartoitus

Riskeillä tarkoitetaan mahdollisia seurauksia, joita voi tapahtua laitteelle. Riskejä pystytään luokittelemaan erilaisin menetelmin, niiden vaarallisuuden ja todennäköisyyden perusteella. Riskien aiheuttajat pyritään ensisijaisesti eliminoimaan laitteista. Kuitenkaan se ei ole aina mahdollista, tällöin riskin tekijää pyritään pienentämään erilaisin keinoin. (Siirilä 2008: 78–79.)

Ennen tuotteen tai laitteen laskemista markkinoille, siihen sovelletaan erilaisia riskianalyysejä ja kokeiluja jo suunnitteluvaiheessa. Niiden avulla pyritään sulkemaan pois mahdollisimman paljon herkästi vikaantuvia osia tai tekijöitä, eli riskin aiheuttajia. Standardi SFS-EN-ISO 14 121, sen osat 1 ja 2, on laadittu helpottamaan riskien kartoittamista. (Siirilä 2008: 80–82.) Riskejä voidaan kartoittaa ja arvioida eri tavoilla, eri lähtökohdista tarkasteltuina. Apuna voidaan käyttää esimerkiksi kuvien 2 ja 3 menetelmiä.

TAPAHTUMAN TODENNÄKÖISYYS				
Toden- näköinen	Kohtalainen riski	Merkittävä riski	Sietämätön riski	SEURASTEN VAKAVUUS
Epätoden- näköinen	Siedettävä riski	Kohtalainen riski	Merkittävä riski	
Hyvin epäto- dennäköinen	Vähäinen riski	Siedettävä riski	Kohtalainen riski	
		Lievästi haitallinen	Haitallinen	Erittäin haitallinen

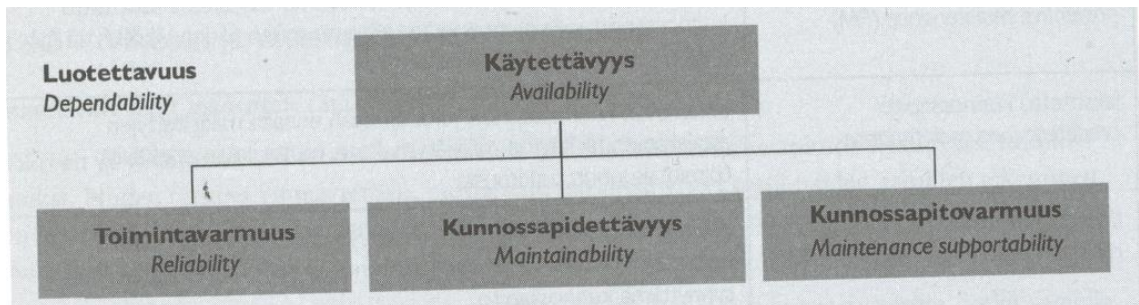
Kuva 2. Riskien jaottelu Brittilästandardin BS 8800 perusteella, jossa tarkkaillaan riskin vaka-
vuutta ja seurauksia (Siirilä 2008: 78).



Kuva 3. Riskien vaiheittaisen arvioinnin vaiheet (Siirilä 2008: 83).

Vaikka laitteella noudatettaisiin huolto-ohjelmaa, se ei eliminoi kaikkia riskejä. Niin sanottu yllättävät riskit koostuvat sellaisista tekijöistä, joita käyttäjä ei välttämättä pysty havaitsemaan. Edellä mainittuja ovat esimerkiksi ylikuorma, komponenttivika, virhe tuotantovaiheessa tai väärä mitoitus tuotteen suunnittelussa. (Siirilä 2008: 42.)

Laitteiden häiriö- ja vikaantumisherkyys kasvaa niiden muuttuessa yhä enemmän sähköisiksi sekä automaatio-ominaisuuksien lisääntyessä. Tästä johtuen laitteiden käyttövarmuuden merkitys korostuu entisestään. (Lapinleimu ym. 1997: 360.) Kuvassa 4 esitettyä käytettävyyden jaottelu.

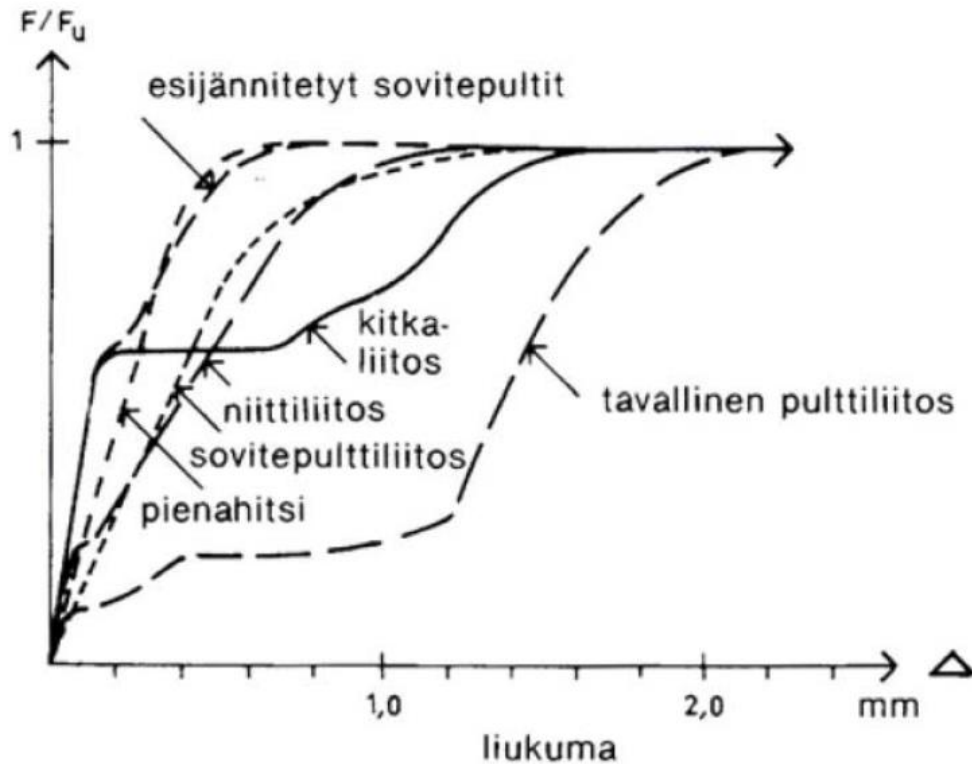


Kuva 4. Laitteen luotettavuuden jakamisen periaate (Järviö & Lehtiö 2012: 54).

5 Liitokset

Liitosten luotettavuuteen vaikuttaa moni tekijä. Onnistuneessa liitoksessa on huomioitu muun muassa materiaalit ja niiden lujuudet, vastinpintojen laadut ja kitka, liitosten tasomaisuus, ruuvien käsittely ja mahdolliset pinnoitteet, pintapaineet sekä käyttöympäristö.

Erilaisilla liitostyypeillä on erilaisia ominaisuuksia, tästä syystä ne eivät välttämättä sovellu kaikkiin liitoksiin. Näitä ominaisuuksia ja edellytyksiä tulee tarkastella ennen valitsemista. Eri liitostyyppä vertaillaan kuvassa 5.



Kuva 5. Eri liitostyyppien vertailua (3. Liitokset: 1).

5.1 Ruuviliitokset

Ruuviliitokset ovat yleisimmin käytettyjä liitoselimiä koneenrakennuksessa, ja ne ovatkin saaneet monia erilaisia sovelluksia eri käyttötarkoituksiin aikojen kuluessa (Pakkala 1978: 25). Erilaisia ruuviliitoksen komponentteja on standardoitu paljon, sekä niitä kehitetään jatkuvasti lisää, koska halutaan lisätä liitosten luotettavuutta ja käyttää uusia materiaaleja sekä kokoonpanon automatisoinnin lisääntyessä tarvitaan uusia liitoselimiä (Airila ym. 1987: 69).

Ruuvi- ja mutteriliitoksilla tarkoitetaan kahden tai useamman kappaleen liittämistä yhteen mekaanisesti. Kiinnityksen kappaleiden välille saavat aikaan kierteet. Ruuveissa on aina kierteet, mutta mahdollisissa vastakappaleissa ei välttämättä ole. Tällöin voidaan tarvita komponentteja kiinnittämään liitos, esimerkiksi mutteri.

Ruuviliitosten jaottelu aloitetaan jakamalla ruuvit kiinnitys- ja liikeruuveihin. Kiinnitysruuvit on tarkoitettu liittämään rakenneosat toisiinsa. Liikeruuvit on tarkoitettu muuttamaan pyörimisliikkeen vääntömomentti suoraviivaiseksi liikkeeksi eli voimaksi. (Airila ym. 2003: 161.)

Ruuviliitokset voidaan jakaa edelleen karkeasti kahteen luokkaan: yksittäis- ja moniruuviliitoksiin. Moniruuviliitokseen vaikuttavat voimat tulee osittaa sen muodostaville yksiruuviliitoksille. (Blom ym. 2001: 55.) Tässä insinööriyössä perehdytään lähtökohtaisesti yksittäisruuviliitoksiin, kuitenkin jotkin tarkasteltavista liitoksista ovat moniruuviliitoksia.

Kuten kaikissa liitoksissa, myös ruuvi- ja mutteriliitoksissa ovat omat etunsa sekä haittansa. Etuihin voidaan lukea: helppo asentaa ja purkaa, luotettava oikein käytettynä sekä mitoitettuna sekä sopii laajasti moniin erilaisiin sovelluksiin ja käyttöolosuhteisiin, etuna on myös standardiruuvien sekä -mutterien edullinen hinta ja helppo saatavuus (Kivioja 2009: 39).

Liitostyyppiin liittyy myös haittoja. Niitä ovat muun muassa se, että väärin valittu tuote voi aiheuttaa suuria jännityksiä, jotka aiheuttavat rikkoutumisen vaaraa sekä mahdollisia riskejä käyttäjälleen ja laitteelle. Liitoksen kiinni pysyminen ja väsymislujuus kärsivät, jos ruuvit on mitoitettu tai kiristetty väärin, sekä ruuvien epäjatkuvuuskohdat voivat aiheuttaa suuria jännityshuippuja. (Kivioja 2009: 39.)

Liitosten luotettavuus tulee ottaa myös huomioon. Kiinnitysten väsymiskestävyyttä tulee tarkkailla sekä mahdolliset muutokset, kuten liitoksen aukeaminen ja löystyminen, tulisi havaita. Kiristysmomentilla on suuri vaikutus liitoksen onnistumiseen (7. Ruuviliitokset: 1). Staattisesti kuormitetun liitoksen lujuus on suoraan verrannollinen sen materiaalin murtolujuuteen, kuitenkin edellyttäen materiaalin sitkeyden olevan riittävän suuri, tasataakseen paikallisia jännityshuippuja plastisen muodonmuutoksen avulla (Airila ym. 2003: 180). Materiaalin iän ja kulumisen tuomalta väsymiseltä ei kuitenkaan pystytä välttämään.

Onnistuneessa ruuviliitoksessa on otettu huomioon korroosio. Noin 80 % ruuvivaurioista on korroosion aiheuttamia (Airila ym. 1985: 191). Galvaanisessa korroosiossa, eli kahden eri aineen kosketuksesta aiheutuvassa syöpymisessä, epäjalompi materiaali syöpyy nopeammin kuin liitoksen jalompi materiaali (kuva 6). Mitä kauempaa toisistaan galvaanisen jännitesarjan materiaalit yhdistetään, sitä nopeammin syöpyminen tapahtuu. (Teräs kosketuksissa muiden materiaalien kanssa – Korroosionkestävyys 2015: 2–3.) Yleisesti voidaan ajatella, että liitosen tulisi olla yhtä korroosionkestävä kuin kiinnitettävä konstruktio. Jos kuitenkin ei ole mahdollista valita yhtä korroosionkestäviä materiaaleja, tulee liitoselimiksi valita korkeamman korroosionkestoluokan materiaaleja. (Airila ym. 1987: 76.)

Platina	
Kulta	
Grafiitti	
Hopea	
Ruostumaton teräs (18 % Cr, 10 % Ni, 3 % Mo) pass.	
Ruostumaton teräs (18 % Cr, 8 % Ni) pass.	
Titaani	
Nikkeli, pass.	
Alumiinipronssi (95 % Cu, 5 % Al)	
Kupari	
Messinki (85 % Cu, 15 % Zn)	
Nikkeli, akt.	
Tina	
Lyijy	
Ruostumaton teräs (18 % Cr, 10 % Ni, 3 % Mo) akt.	
Ruostumaton teräs (18 % Cr, 8 % Ni) akt.	
Hiiliteräs	
Kadmium	
Alumiini	
Sinkki	
Magnesium	

Kuva 6. Galvaaninen taulukko (Teräs kosketuksissa muiden materiaalien kanssa – Korroosionkestävyys 2015: 3).

Korroosiota voidaan kuitenkin ehkäistä ja hidastaa erilaisilla pintakäsittelyillä sekä oikeanlaisilla materiaalivalinnoilla. Pintakäsittelyllä pystytään vaikuttamaan seuraaviin ominaisuuksiin: ulkonäkö, korroosionkestävyys, materiaalin luotettavuus, väsymislujuus ja kierteiden kitka (Airila ym. 2003: 183). Käytetyimpiä menetelmiä pintakäsittelyn aikaansaamiseksi ovat hehkutus ja öljyminen (DIN 50938), fosfatiointi ja öljyminen (DIN 50945), kuumasinkitys (SFS 4449), sähkösaostus (SFS-ISO 4042), kromaus sekä niklaus (Airila ym. 2003:183; Airila ym. 1987: 77). Pintakäsittelyitä ovat esimerkiksi öljyminen, hehkutus tai fosfatiointi, mutta eivät lisää materiaalin korroosionkestävyyttä (Airila ym. 1987: 77). Materiaalien korroosionkestävyyttä tarkastellaan taulukossa 1.

Taulukko 1. Eri ruuvi- ja mutterimateriaalien korroosionkestävyyteen sekä korroosionopeuteen ($\mu\text{m}/\text{vuosi}$) vaikuttavat ympäristöt (Airila ym. 1985: 194).

Ympäristö	Sinkki (kroma- toimaton)	Messinki $\approx \text{Ms 63}$	Kupari $\approx \text{CuNi 1 Si}$	Suojaamaton seostamaton teräs	Ruostumaton teräs 18/9	Haponkestävä teräs 18/10/2
Maaseutuilmasto	1...3	≈ 4	≈ 2	...60	< 2	< 2
Kaupunki-ilmasto	...6 [...15]	≈ 4	≈ 2	...70	< 2	< 2
Teollisuusilmasto	$\approx 6...19$ [...30]	≈ 8	≈ 4	...170	< 2	< 2
Meri-ilmasto	$\approx 2...15$	≈ 6	≈ 3	...170	< 2	< 2
Keskikova vesijohto- vesi ($t \leq 60 \text{ }^\circ\text{C}$)	≈ 20	$\approx 10...15$	$\approx 4...10$	vaihtelee paljon	< 2	< 2
Merivesi	≈ 90	$\approx 15...100$	$\approx 10...30$...170	< 2	< 2
Suolahappo ($t \approx 20 \text{ }^\circ\text{C}$)	epävaka	epävaka	≈ 30 (10-%:nen)	epävaka	...2100 (10-%:nen)	Parempi kuin 18/9-teräs
Rikkihappo ($t \approx 20 \text{ }^\circ\text{C}$)	epävaka	$\approx 15...1500$ (1-normaa- linen)	≈ 8 (1-normaa- linen)	epävaka	< 2	< 2
Natronlipeä ($t \approx 20 \text{ }^\circ\text{C}$)	epävaka	≈ 75 (1-normaa- linen)	≈ 8 (4-%:nen)	suht.vakaa (< 10 -%:nen)	≈ 5 (10-%:nen)	≈ 5 (10-%:nen)
Etikkahappo ($t \approx 20 \text{ }^\circ\text{C}$)	epävaka	...800	≈ 30 (20-%:nen)	epävaka	< 2	< 2

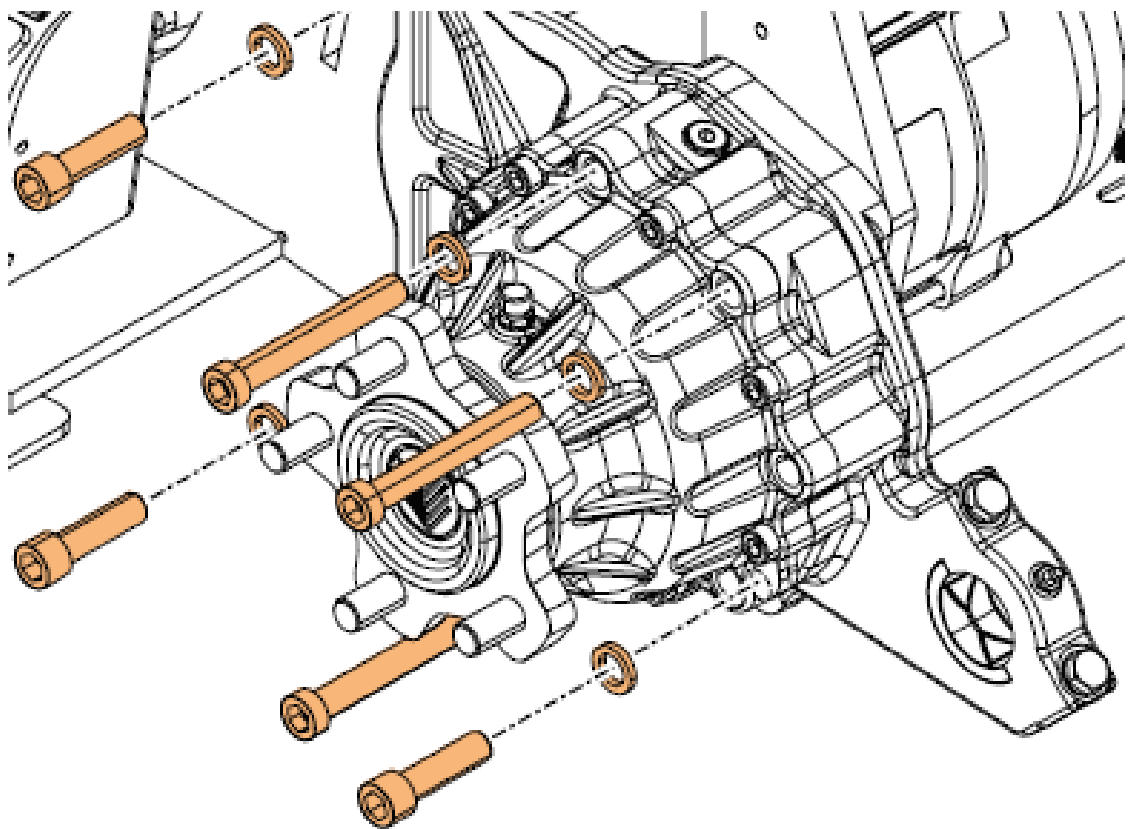
5.2 Ruuvit

Ruuveja on monia erilaisia, ja ne voidaan jakaa erilaisten ominaisuuksien ja käyttötarkoitusten perusteella. Jakajina voidaan käyttää esimerkiksi seuraavia periaatteita: metrinen tai tuumamitoitus, kierreprofiili, ruuvin kannan tyyppi sekä ruuvin käyttötarkoitus. Suomessa yleisimmin käytetty kierreprofiili on metrinen ISO-profiili (Kivioja 2009: 40).

Toisistaan eroavat kierreprofiilit luovat erilaisia etuja kuhunkin käyttötarkoitukseen, esimerkiksi pyörökierre ei ole herkkä lialle tai ulkoisille iskuille. Ruuvin kanta voi määräytyä kiinnitettävien kappaleiden konstruktioista, esimerkiksi ahdas paikka (Airila ym. 1987: 69–70). Kuitenkin yleisimmin käytetty ruuvi on terävällä kierteellä varustettu (Airila ym. 1985: 160).

Vakiokierteellä on hieman parempi väsymisluku taajakierteeseen verrattuna. Vakiokierrettä on kiinnitysruuvien yleiskierre, jota tulee lähtökohtaisesti käyttää aina, ellei ole syytä käyttää jotakin muuta vaihtoehtoa. (Airila ym. 1985:161.)

Tiheämmin kierteistettyjen ruuvien (taajakierre) kiinnipysyminen ja kestävyys käytössä ovat varmempia kuin taajakierteisillä ruuveilla, kun ruuvien lujuusluokka on alle 8,8. Käytettäessä lujuusluokkaa 8,8 tai suurempaa, tulisi suosia vakiokierrettä, jotta saavutettaisiin paras mahdollinen väsymisluku (Airila ym. 2003: 192). Metrisiä taajakierteisiä profiileja käytetään paikoissa, joissa liitoksilta vaaditaan varmuutta pitävyyteen sekä tiiveyttä (Pakkala 1978: 30). Kuvassa 7 on esitettyä yksi trukin liitoksista.



Kuva 7. Tarkastuskohteen 1 (taulukko 5) liitoksen ruuvit.

Taulukossa 2 on esitettyinä ruuvit lujuusluokasta 3,6 aina luokkaan 12,9. Kuitenkin suurin osa tarkasteltavista ruuveista sijoittuu lujuusluokasta 8,8 lujuusluokkaan 12,9.

Taulukko 2. Ruuvien ominaisuuksia eri lujuusluokissa (Airila ym. 2003: 181).

Lujuusominaisuus		Lujuusluokka											
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8 ¹⁾		9.8 ₅₎	10.9	12.9	
								$d \leq 16$ mm	$d > 16$ mm ²⁾				
Murtolujuus, R_m ⁴⁾ , N/mm ²	nimell.	300	400		500		600	800	800	900	1000	1200	
	min.	330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220	
Vickers-kovuus, HV, $F \geq 98$ N	min.	95	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385	
	maks.	250						320	335	360	380	435	
Brinell-kovuus, HB, $F = 30 D^2$	min.	90	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366	
	maks.	238						304	318	342	361	414	
Rockwell-kovuus, HR	min.	HRB	52	67	71	79	82	89	-	-	-	-	-
		BRC	-	-	-	-	-	-	22	23	28	32	39
	maks.	HRB	99,5						-	-	-	-	-
		HRC	-						32	34	37	39	44
Myötöraja, R_{eL} , N/mm ²	nimell.	180	240	320	300	400	480	-	-	-	-	-	
	min.	190	240	340	300	420	480	-	-	-	-	-	
Venymisraja, $R_{p0,2}$, N/mm ²	nimell.	-						640	640	720	900	1080	
	min.	-						640	660	720	940	1100	
Koejännitys, S_p N/mm ²	S_p/R_{eL} tai $S_p/R_{p0,2}$	0,94	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88	
		180	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970	
Murtovenymä, A	min.	25	22	14	20	10	8	12	12	10	9	8	
Lujuus kiilakuormituksessa	Täysimittaisten ruuvien (ei vaarnaruuvien) arvot eivät saa olla pienempiä kuin kohdan 5.2 vähimmäismurtolujuusarvot.												
Iskusitkeys, J	min.	-			25	-		30	30	25	20	15	
Kannan eheys	ei murtumaa												
Kierteitetyn osan vähimmäiskorkeus, jossa ei esiinny hiilenkatoa, E	-						$\frac{1}{2} H_1$		$\frac{2}{3} H_1$	$\frac{3}{4} H_1$			
Täydellisen hiilenkadon syvyys G , maks	mm	-						0,015					

5.3 Mutterit

Kuten ruuveja, myös muttereita on paljon erilaisia eri tarkoituksiin. Yleisesti mutteri lisätään ruuviliitokseen, jossa kiinnitettävässä materiaalissa ei ole kierteistystä tai mutterilla haetaan muita etuja liitokseen. Mutteri voidaan kuitenkin lisätä myös kierteistettyyn liitokseen, jos halutaan varmistaa liitoksen kiinnipysyminen.

Jotta ruuviliitoksesta saataisiin mahdollisimman kestävä ja tarkoituksenmukainen, voidaan liitokseen tarvita aluslaattoja sekä muttereita, joilla saadaan aikaan kitkaliitos (Pakkala 1978: 50). Kun muttereita lisätään ruuviliitokseen onnistuneesti, kasvaa liitoksen lujuus sekä toimintavarmuus. Muttereita valmistetaan samoista raaka-aineista kuin ruuveja, tästä johtuen myös muttereilla on lujuusluokat (Pakkala 1978: 50).

5.4 Aluslaatat

Ruuvien kannan tai mutterin alle voidaan lisätä aluslaattoja lisäämään liitoksen luotettavuutta (Blom ym. 2001: 51). Aluslaatoista on paljon erilaisia versioita ja niitä tehdään monenlaisista materiaaleista sekä erilaisiin käyttötarkoituksiin. Kuitenkin niiden tärkeimpiä tehtäviä ovat

- ruuvien aiheuttaman paineen pienentäminen jakamalla paine isommalle pinta-alalle
- liitoksen tiivistäminen
- ruuvien kiinnipysymisen varmistaminen
- korroosion torjuminen
- ruuvien kiristämisen helpottaminen
- kaltevan alustan aiheuttaman taipumuksen eliminointi (Airila ym. 1985: 184-185).

Erityisesti kevyissä rakenteissa suositaan joustavia aluslaattoja, joiden tarkoituksena on vähentää liitosten löystymistä ja aukeamista kohteissa, jotka on altistettu värinälle (Airila ym. 1985: 185). Nykyään on myös saatavilla ruuvien tai mutterien ja aluslaatan yhdistelmiä, joissa osat on kiinnitetty valmistusvaiheessa kiinteästi toisiinsa. Tällaisilla liitoselementeillä pyritään helpottamaan kokoonpanoa tai mahdollista automattista kokoonpanoa. (Airila ym. 1985: 186.)

5.5 Liitosten lukitseminen

Jos liitoksen kiinnipysyminen on laitteen toiminnan ja/tai turvallisuuden kannalta elintärkeää, voidaan tällöin liitos lukita paikalleen mahdollisella lisäkomponentilla tai lisättävällä aineella. Aukikiertyminen voidaan estää joko muoto- tai voimavarmistuksia käyttäen (Kivioja 2009: 51).






Lukitteiden jakoperusteen mukaan muotovarmistuksia ovat mm. kruunumutteri, taittolaatta ja saksisokka. Voimavarmistuksiin puolestaan lukeutuu lukkomutterit, jousilaatat sekä sakaralevyt. Voimavarmistuksia ei kuitenkaan pidetä täysin luotettavina. (Kivioja 2009: 51.)

Lukitteita on hyvin paljon erilaisia, eri tarkoituksiin (taulukko 3). Lukitsemistapoja ovat lukkolanka, jousi- ja hammasaluslevyt, kruunumutterit, lukkolevyt, vastamutterit, lukitusmutterit, kierrettä muovaavat ruuvit, taittolaatat, liimat ja muut mahdolliset erikoistuotteet (Airila ym. 1987: 94; Ruuviliitoksen suunnittelu: 22).

Lukitteiden tai varmistimien käyttöä tulee kuitenkin harkita tarkasti. Lukite voi pahimmassa tapauksessa heikentää perusmateriaalin kestävyyttä, vahingoittamalla pinnoitteiden korroosionsuojaa sekä alentamalla esijännitystä (hammaslevyt, jousilaatat ja vastaavat) (Airila ym. 1987: 76).

Lukitteina käytettävät liimat eivät ole standardoituja. Ne ovat anaerobisia tai epoksihartseja. (Blom ym. 2001: 50.) Jos liitoksen tulee olla avattavissa, ei sitä tule tällöin liimata. Liiman käyttökelpoisuutta rajoittaa myös sen suhteellisen huono kyky sietää lämpötiloja (Airila ym. 1985: 285).

Taulukko 3. Eri lukitsemismenetelmien vertailua (Airila ym. 1985: 284).

1. erittäin hyvä 2. hyvä 3. tyydyttävä 4. epätydyttävä 5. huono		Varmistusominaisuudet				Kosketuspinnan vahingoittuminen	Uudelleenkäytettävyys	Asennuskustannus	Hinta
		Esiännityksen säilytyskyky	Hukkaamisvaara	Vastamateriaalista riippuvuus	Lämpötilariippuvuus ($\leq 120\text{ °C}$)				
Ryhmä	Esimerkki								
Mutterin kanssa kiristettävät joustavat osat		4...5	4...5	3...5	1...2	3...5	2...4	1...4	1...4
Muotosulkeiset lukitusosat		3...4	2...4	1...2	1...2	1...2	3...5	4...5	4...5
Takertuvat osat (lukkomutterit)		3...5	1...2	1...2	2...5	1...2	2...4	2...3	3...4
Hammastetut tarraavat osat		1...2	1...2	3...5	1...2	2...5	3...4	1...2	1...3
Liimaus		1...2	1...2	1...2	4...5	1...2	4...5	3...5	3...4

5.6 Momentti

Momentti on suure, jonka yksikkö on newtonmetri (Nm), joka kuvaa johonkin asiaan kohdistettua vääntävän vaikutuksen suuruutta. Tässä tapauksella momentilla tarkoitetaan sitä, kuinka lujasti kukin ruuvi tai mutteri on väännetty kiinni, eli kuinka paljon kunkin ruuvin kiinnittämiseen on käytetty voimaa.

Voiman momentti (M) saadaan yhtälöstä:

$$M = F * r \quad (1)$$

F on systeemiin vaikuttava voima

r on vaikuttavan voiman vaikutussuoran etäisyys akselista.

Kuten aiemmin jo mainittiin, kiinnityksen momentilla on suuri vaikutus liitoksen onnistumiseen. Jotta saavutettaisiin mahdollisimman hyvä ja kestävä liitos, se edellyttää, että ruuvin aksiaalivoiman aiheuttaman kitkavoiman ja esikiristysvoiman suhde on optimaalinen (Airila 2003: 184; Ruuviliitokset: 18).

Oikea kiristysmomentti aiheuttaa liitokseen esijännityksen. Se on veto- ja kiertojännitysten summa. Ehtona kuitenkin on, että esijännityksen tulee olla pienempi kuin liitoksen ruuvin myötöraja. (Ruuvi-liitoksen suunnittelu: 18.) Kuvassa 8 on esitettyä kiristysmomenttiin vaikuttavien tekijöiden summa.



Kuva 8. Ruuvi-liitoksen kiristysmomentti (Ruuvi-liitoksen suunnittelu: 18).

Momenttien määrittämisen sekä laskemisen tarkkuuteen ja luotettavuuteen vaikuttaa suuresti kitkakerroin (μ). Hiiliteräksiä käytettäessä voidaan yleisesti käyttää kitkakertoimen arvoa 0,14. Ruostumattomien terästen kohdalla ei kuitenkaan ole yhtä yleispätevää arvoa kitkakertoimelle, liitoksissa käytettävistä voiteluaineista johtuen (taulukko 4). Tästä syystä ruostumattomien terästen kitkakertoimet voivat vaihdella suurestikin. Onkin siis suositeltavaa suorittaa kokeita oikean kiristysmomentin saavuttamiseksi. (7. Ruuvi-liitokset: 2.)

Voitaisiin ajatella, että mitä tiukemmaksi kiinnityksen vääntää (suuri momentti), sitä paremman ja kestävämmän kiinnityksen se takaa. Liian suuri esikiristysmomentti kuitenkin saa aikaan paikoittain suuriakin jännityksiä, staattista ylikuormitusta ja plastisen venymän aikaansaamaa ruuvin löystymistä sekä luo riskin, että ruuvi murtuu jo kiristettäessä. (Airila ym. 2003: 228.) Pahimmassa tapauksessa koko kiinnitys lohkeaa irti materiaalista.

Liian löysä kiinnitys (pieni momentti) aukeaa helposti itsestään, esimerkiksi laitteen käytön aiheuttaman värinän johdosta. Muita matalan esikiristykseen aiheuttamia riskejä ovat ruuvin jännitysamplitudin kasvu, ruuvin väsyminen, mutterin löystyminen käytön aikana

sekä liitoksen liukuminen leikkauskuormilla. (Airila ym. 2003: 228.) Liitoksen mahdollinen aukeaminen aiheuttaa yllättäviä ja odottamattomia vaaratilanteita käyttäjilleen sekä itse laitteelle.

Taulukko 4. Tavallisesti esiintyvät arvot kitkakertoimelle μ_G (Blom ym. 2001: 66).

Kierrekitkakerroin	Teräsmutteri		Vakurauta- mutteri	Al-mutteri
μ_G	paljas tai fosfatoitu	sähkösinkitty Zn A	paljas	paljas
Mustattu tai fosfatoitu teräsruuvi				
-kuiva	0,10...0,16	0,12...0,18	0,10...0,16	0,12...0,20
-öljyllä kostutettu	0,08...0,16	0,10...0,18	0,08...0,18	0,08...0,18
Sähkösinkitty Zn A teräsruuvi				
-kuiva	0,12...0,20	0,12...0,22	0,10...0,17	0,12...0,22
-öljytty	0,10...0,18	0,10...0,18	0,10...0,16	0,12...0,18

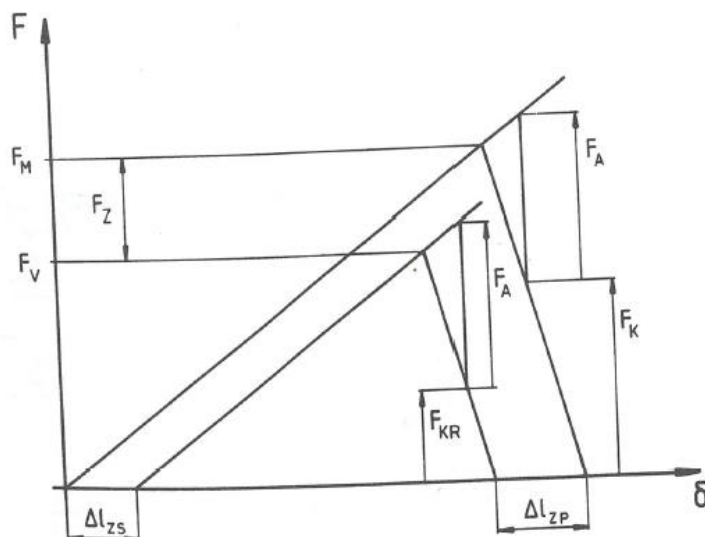
5.7 Asettuminen

Kun liitos kiinnitetään, alkaa siitä hetkestä liitoksen asettuminen. Tällöin liitoksessa tapahtuu muutoksia, verrattaessa lähtötilanteeseen. Asettuminen on liitososien plastisen muodonmuutoksen sekä virumisen yhteisvaikutuksen tulos (Airila ym. 1987: 91). Näitä muutoksia kutsutaan asettumiseksi ja ne pyritään minimoimaan ja mahdollisuuksien mukaan estämään.

Vastinpintojen suurimpien pinnankarheuksien tasoittumisen mikroliukumisesta johtuen katsotaan myös olevan asettumista (Airila ym. 1987: 91). Pinnan karheimmat kohdat siottuvat liitoksen vaikutuksesta. Jotkin muovit saattavat virua jo huoneenlämpötilassa. Viruessa materiaali väsyä ja menettää muotoaan ja ominaisuuksiaan, mikä aiheuttaa plastisia muodonmuutoksia. (Airila ym. 2003: 235.)

Asettuminen aiheuttaa ruuviliitoksessa esijännityksen pienenemistä, jolta ei yleensä pystytä täysin välttymään (kuva 9). Tästä johtuen liitoksen kiinnitys tuleekin tarkastaa suh-

teellisen pian käyttöönoton jälkeen tai vastaavasti asennuksessa ruuviliitokseen on aiheutettava niin suuri esijännitys, että liitos kestää, vaikka esijännitys laskee hieman asettumisen johdosta. (Airila ym. 1987: 93.)



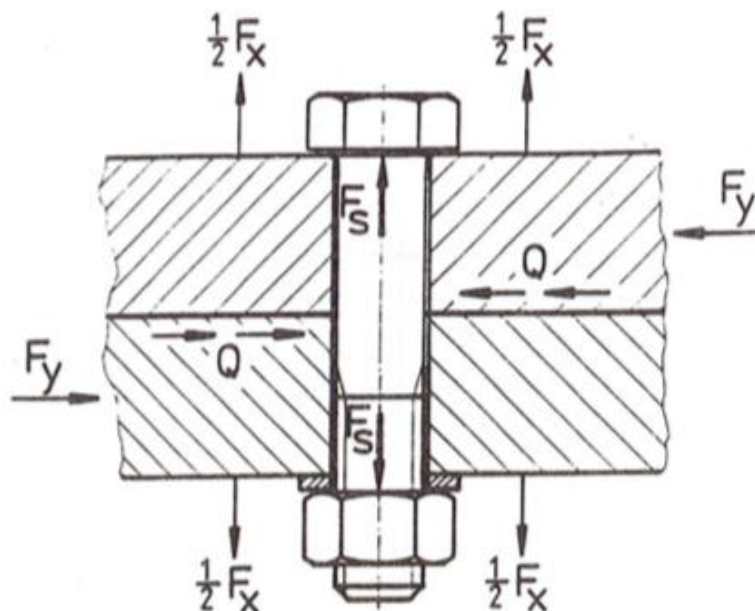
Kuva 9. Asettumisen aiheuttama esikiristykseen pienentyminen (Airila ym. 2003: 237).

Asettumisen vaikutuksia pyritään minimoimaan liitoksen oikeanlaisella suunnittelulla. Suurin positiivinen vaikutus asettumisen torjuntaan saadaan, kun ruuvien pienimmän poikkileikkauksen vetojännitys ei ylitä sen myötörajaa kuormituksessakaan (Airila ym. 1987: 92).

6 Ruuviliitoksen asennus

Yleinen ohje suunniteltavalle liitokselle on, että sen aiheuttamat jännitykset jakautuisivat mahdollisimman tasaisesti liitospinnoille ja -eliimiin (Airila ym. 2001: 228). Tulee myös huomioida, että liitokset kiristetään mahdollisimman symmetrisesti. Tähän päästään helpoiten kiristämällä ruuvit samanaikaisesti. Hyvin toteutettu liitos ja oikeansuuruiset kiristysmomentit ovat myös taloudellisia tekijöitä. (Airila ym. 1985: 266-267.)

Ruuviliitoksen kestävyuden sekä kantokyvyn kannalta tärkeimmäksi ruuvin ominaisuudeksi muodostuu sen vetolujuus. Jos liitoksessa on väsyttävää aksiaalikuormitusta, tulee huomioida, että staattinen sekä dynaaminen vetolujuus ovat riittävän suuret. (Airila ym. 1985: 200.) Kuvassa 10 on havainnollistettu ruuviliitokseen vaikuttavat voimat ja niiden vaikutussuunnat.



Kuva 10. Ruuviliitoksiin kohdistuvat leikkaus- ja vetovoimat havainnollistettuna (Airila ym. 2003: 185).

Jos ruuviliitokseen vaikuttavat voimat ja rasitukset haluttaisiin laskea tarkasti, tulisi tällöin käyttää elementtimenetelmää, josta käytetään lyhennettä FEM. Lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Finite Element Method. Kyseisen menetelmän käyttäminen on kuitenkin erittäin raskasta ja aikaa vievää. Tämän sijasta laskennassa käytetään erilaisia likiarvomenetelmiä, jotka ovat kuitenkin nykypäivänä tarpeeksi tarkkoja ja luotettavia tarkoitukseensa. (Airila ym. 1985: 224.)

Esikiristysvoiman pitäisi olla mahdollisimman suuri dynaamisesti ja epäkeskisesti kuormitetulle ruuviliitoksille. Ruuviliitoksen esikiristysvoiman tulisi olla niin suuri, että liitospintojen välissä ei tapahdu irtoamista (Airila ym. 1985: 250).

6.1 Liitoksen laskeminen

Kokonaiskiristysmomentti (M_A) saadaan yhtälöstä:

$$M_A = \frac{1}{2} * F_M * (1,155 * \mu_G * d_2 + \mu_K * D_{km} + \frac{P}{\pi}) \quad (2)$$

F_M on asennuskiristysvoima

μ_G on kierteen kitkakerroin (taulukkoarvo)

d_2 on kylkihalkaisija

μ_K on kannan kitkakerroin (taulukkoarvo)

D_{km} on keskimääräinen kitkan vaikutusympyrän halkaisija

P on nousu

(Airila ym. 2003: 231).

Asennuskiristysvoima (F_M) saadaan yhtälöstä:

$$F_M = \frac{2 * M_A}{1,155 * \mu_G * d_2 + \mu_K * D_{km} + \frac{P}{\pi}} \quad (3)$$

(Airila ym. 2003: 231).

Halkaisija (D_{km}) saadaan yhtälöstä:

$$D_{km} = \frac{d_K + D_B}{2} \quad (4)$$

d_K on kannan kantavan pinnan ulkohalkaisija

D_B on ruuvin reiän halkaisija

(Airila ym. 2003: 231).

6.2 Ruuviliitoksen kiinnipysymisen varmistaminen

Jotta ruuviliitos ei pääsisi aukeamaan ennenaikaisesti, voidaan liitokseen soveltaa seuraavia käytänteitä:

- esikiristyksen kitka pystyy kantamaan liitokseen aiheutuneen leikkausvoiman
- käytetään lujia ruuveja sekä käytetään suurta liitospaksuutta, tällöin elastinen venymä on suuri
- käyttämällä lukituksia liitoksissa sekä sovitusruuveja voidaan estää liitettävien osien liukuminen
- kitkan lisääminen liitokseen
- kitkan lisääminen kierteissä (kitka ei kuitenkaan saisi kasvaa ennen kiristystä). (Airila ym. 1985: 285.)

Reunaehdot ruuviliitoksen kiinni pysymiselle voidaan määrittää laskennallisesti.

Aukikiertävä vääntömomentti (M_i) saadaan yhtälöstä:

$$M_i = \frac{P * F_A}{2 * \pi} \quad (5)$$

P on kierteen nousu

F_A on ruuvin aksiaalivoima

(Airila ym. 2003: 240).

Kitkamomentti (M_μ) saadaan yhtälöstä:

$$M_\mu = \frac{1}{2} * F_A * (1,155 * \mu_G * d_2 + \mu_K * d_{km}) \quad (6)$$

F_A on ruuvien aksiaalivoima

μ_G on kierteen kitkakerroin (taulukkoarvo)

d_2 on kylkihalkaisija

μ_K on kannan kitkakerroin (taulukkoarvo)

d_{km} on keskimääräinen kitkan vaikutusympyrän halkaisija

(Airila ym. 2003: 240).

Niin kauan, kun ehto $M_\mu > M_i$ täyttyy, liitos pysyy aukeamatta. (Airila ym. 2003: 240).

Perinteinen tapa varmistaa liitoksen kiinni pysyminen, on manuaalisesti tarkastaa tasaisin aikaväleihin kunkin liitoksen kiinnitys ja momentti. Kuitenkin on olemassa muitakin keinoja varmistaa liitoksen kiinni pysyminen (luku 5.5).

7 Määräykset ja velvoitteet

7.1 Koneita koskevat määräykset

Euroopan unionissa (EU) sekä Euroopan unionin talousalueella (ETA) trukkien tulee noudattaa konedirektiiviä, joka on koneiden turvallisuuden perusedirektiivi. Konedirektiivi koskee lähtökohtaisesti kaikkia koneita ja laitteita. Kuitenkin on poikkeuksia, joita konedirektiivi ei koske. Näille poikkeuksille on määrätty erillinen erikoisdirektiivi. (Siirilä 2008: 28.)

Direktiiveissä on määräyksiä, jotka kunkin koneen ja laitteen on noudatettava. Lisäksi, jos laitteessa on muita ominaisuuksia, kuten sähkö tai painelaite tai se synnyttää pölyä,

kaasua tai höyryä, tulee laitteen noudattaa myös kyseisestä ominaisuudesta määrättyä erillistä direktiiviä. (Siirilä 2008: 26.)

Direktiivejä täsmennetään yhteisillä standardeilla, joita ei kuitenkaan ole pakollista noudattaa. Direktiivien vaatimukset on kuitenkin helpointa täyttää, noudattamalla EU:n alueella harmonisoituja standardeja. Standardeista voi poiketa, mutta silloin täytyy varmistua, että direktiivit täyttyvät. Standardit kuvaavat muuttuvaa sekä kehittyvää tekniikan nykytilannetta. (Siirilä 2008: 25–26.)

Koska Rocla valmistaa trukkeja myös kansainvälisille markkinoille, tulee sen ottaa huomioon myös EU:n ja ETA:n ulkopuolella vallitsevat säädökset kullakin osa-alueella. Tällöin tulee ottaa myös huomioon mahdollisen kohdemaan lainsäädäntö, standardit ja toimintatavat.

7.2 Ruuviliitoksia koskevat määräykset

Ruuvien standardisointi sai alkunsa jo vuonna 1841. Liitosten yhdenmukaistamisessa on monia hyötyjä sekä kansallisesti että kansainvälisesti. Etuja ovat muun muassa laadun luotettavuus, liitosten vaihtokelpoisuus sekä tuotannon taloudellisuuden saavuttaminen. (Ruuvien historia 2019.)

Jotta liitosten kestävyys, turvallisuus sekä onnistuminen voitaisiin taata, se edellyttää aiemmin mainittujen kansallisten ja kansainvälisten säädöksiä sekä toimintatapojen noudattamista. Ruuviliitoksissa tulee myös ottaa huomioon eri maissa käytetyt mahdolliset eri mittayksiköt ja standardijärjestelmät, jotka vaikuttavat myös ruuveihin.

Seuraavaksi on listattuna eri standardeja, jotka ovat tärkeitä ruuviliitoksia tarkasteltaessa:

- EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu.
- SFS-EN 28839. Kiinnityselinten lujuusominaisuudet. Ei- rautametalliset ruuvit, vaarnaruuvit ja mutterit.
- SFS-EN ISO 898-1. Kiinnittimien lujuusominaisuudet. Seostamattomat ja seosteräkset. Osa 1: Ruuvien ja vaarnaruuvien lujuusluokat. Vakiokierre ja taajakierre.
- SFS-EN ISO 898-2. Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel. Part 2: Nuts with specified property classes. Coarse thread and fine pitch thread (ISO 898-2:2012).
- SFS-EN ISO 286-2. Geometrisen tuotemäärittely (GPS). Pituusmittojen toleranssien ISO-merkintäjärjestelmä. Osa 2: Reikiä ja akselien perustoleranssiluokkien ja rajaeromittojen taulukot.
- SFS-ISO 68-1. Metrinen ISO-kierre yleiskäyttöön. Perusprofiili. Osa 1: Metrinen ruuvikierre.
- SFS-EN ISO 4017. Fasteners. Hexagon head screws. Product grades A and B (ISO 4017:2014).

Standardeissa on määritettyä yhtenäisen ja yksiselitteisen tapa mitata aksiaalikuormituksen ruuviliitoksen väsytesti (ISO 3800/1-1977). Tässä testissä ruuvia tulee kuormittaa $5 \cdot 10^6$ kertaa (Airila ym. 2003: 194).

Myös momenttityökaluja tulee kalibroida määritetyin ajanjaksoin, jotta saavutettaisiin optimaalinen kiristys. Standardissa (EN-ISO/IEC 17025: 2005) määritetään vaatimukset kalibrointilaboratorioiden johtamiseen sekä tekniikkaan liittyvät seikat. Standardissa (EN-ISO 6789: 2003) määritetään vaatimukset ja testimenetelmät, jotta voidaan kalibroida käsikäyttöiset momenttityökalut. (Kiristystekniikka 2019.)

8 Liitokset Evolt 48-trukkimallissa

Trukkimallin tarkastelluissa liitoksissa esiintyi ainoastaan kiinnitysruuviliitoksia. Kyseisten kiinnitysten tarkoitus on yhdistää eri komponentit kiinteästi toisiinsa. Huolto-ohjelman tarkastuslistan noin 10 ruuviliitosta otettiin tarkasteltavaksi (taulukko 5). Tarkasteltavat ruuvit olivat pääasiassa DIN-standardin mukaisia. Liitoksiin päästiin tutustumaan helposti, koska kaikki tarkasteltavat liitokset tehdään Roclan Järvenpään tehtaalla.

Kuvassa 11 esiintyvät Evolt 48-mallin kolmi- ja nelipyöräiset mallit.

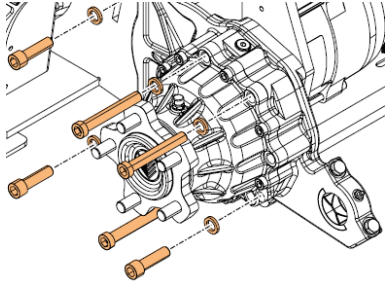
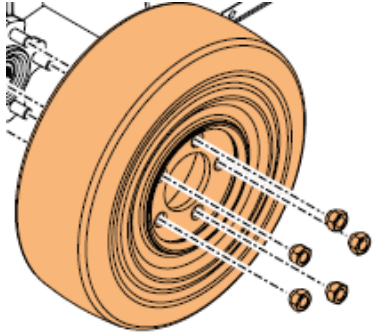
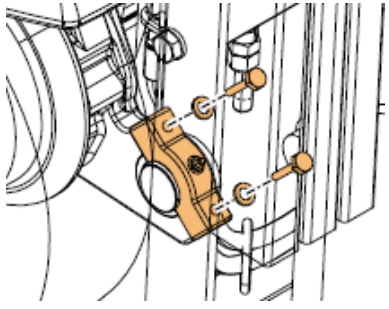


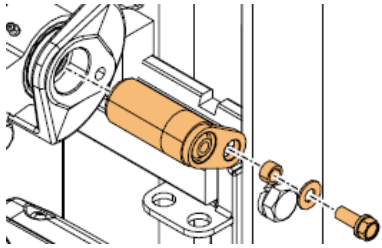
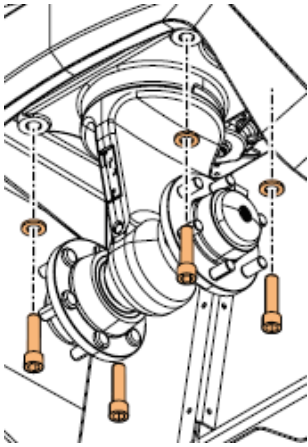
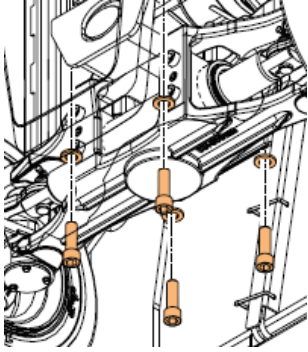
Kuva 11. Evolt 48, 3-pyöräinen malli (vasemmalla) ja 4-pyöräinen malli (oikealla).

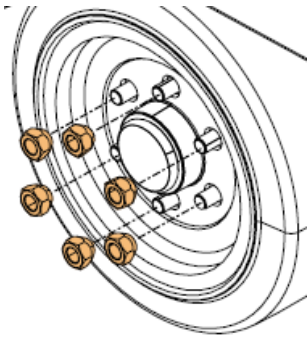
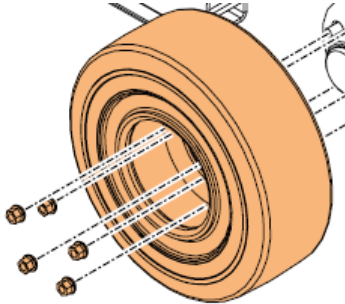
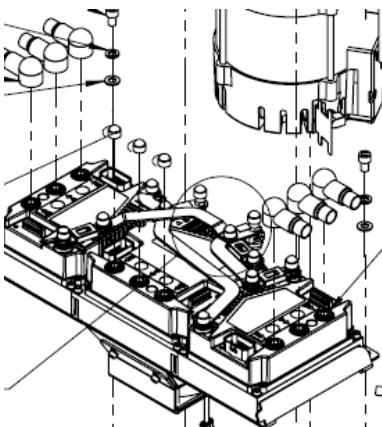
Ruuvien kiinnittämiseen käytetään monia erilaisia työkaluja, mutta pääasiassa käytössä ovat sähkö- tai sähkö-paineilmakäyttöiset laitteet, joihin on asetettu valmiiksi haluttu momentti. Tehtaan asennuslinjalla sekä lopputarkastuksessa oli käytössä kiristystyökaluja, joissa oli valmiiksi asetettuna maksimi momentti.

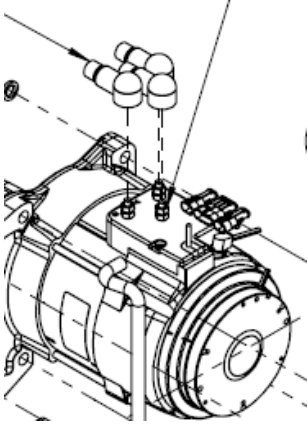
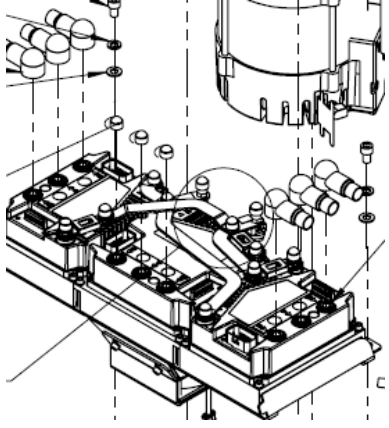
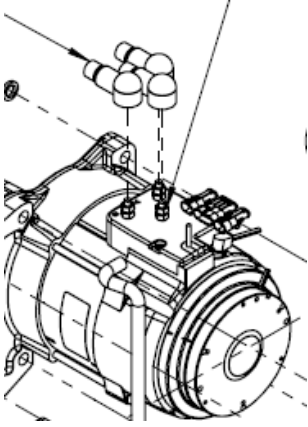
Huolto-oppaassa on liitokset, jotka tulee tarkastaa huolto-ohjelman mukaan. Kyseiset liitokset on esitetty taulukossa 5.

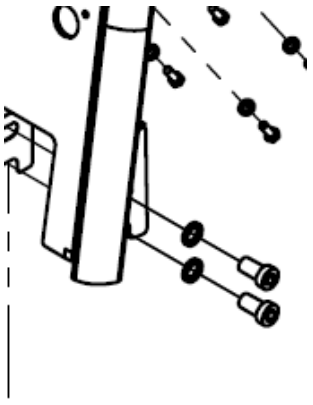
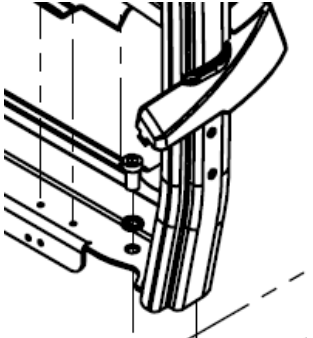
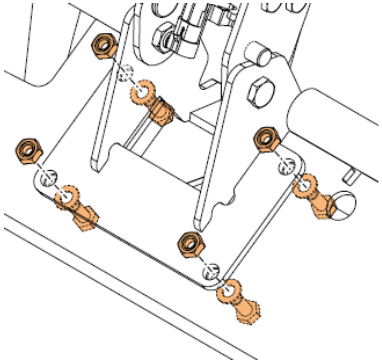
Taulukko 5. Huolto-oppaan tarkastettavat ruuviliitokset.

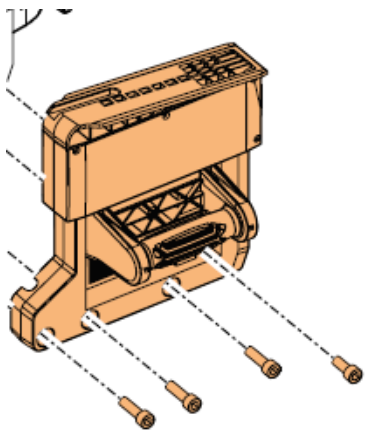
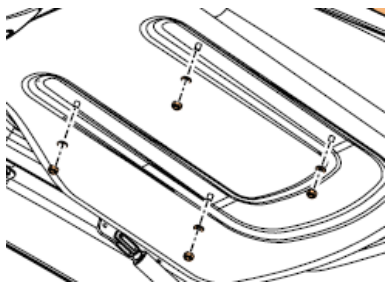
Numero	Liitos	Kuva
1	Etuakselin kiinnitys	
2	Etuakselin pyörien kiinnitys	
3 a)	Maston alakiinnitys	

3 b)	Maston yläkiinnitys	
4 a)	Taka-akselin kiinnitys - 3-pyöräinen malli	
4 b)	Taka-akselin kiinnitys - 4-pyöräinen malli	

5 a)	Taka-akselin pyörien kiinnitys - 3-pyöräinen malli	
5 b)	Taka-akselin pyörien kiinnitys - 4-pyöräinen malli	
6 a)	Säätimen virransyöttökaapelin kiristys	

6 b)	Moottorin virransyöttökaapeleiden kiristys	
6 c)	Säätimen virransyöttökaapeleiden terminaaliruuvien kiinnitys	
6 d)	Moottorin virransyöttökaapeleiden terminaaliruuvien kiinnitys	

7 a)	Turvakaaren tutkiminen muodonmuutoksilta, murtumilta ja vahingoilta - etukiinnitys	
7 b)	Turvakaaren tutkiminen muodonmuutoksilta, murtumilta ja vahingoilta - takakiinnitys	
8	Ohjauspylvään kiinnitys	

9	Käsinojan toiminta ja kiinnitys	
9	Istuimen toiminta ja kiinnitys	

Taulukon 5 kohtien 1 ja 4 liitoksille oli teetetty ulkopuolisen toimijan laatima tutkimus, jonka lopputuloksena saatiin etu- ja taka-akseleiden suositellut kiinnityksen kiristysmomentit sekä kiinnityselimet ja niiden laadut. Täten voidaan olettaa, että kyseiset liitokset on optimaalisesti arvioitu sekä huoltoväli on mitoitettu oikein perustein huolto-oppaaseen.

Taulukossa 6 on eritelty kunkin taulukossa 5 esitetyn liitostyyppin liitoselimet.

Taulukko 6. Taulukon 5 liitosten liitoselimet listattuna.

Kiinnitys	Nro	Ruuvi	Mutteri	Aluslevy	Muuta huomioitavaa
Ajoakselin kiinnitys	1	M14x100, DIN 912 10.9 ZN M14x50 DIN 912 10.9 ZN		M14, WURTH LOCK, DIN 25201	- Asennusohjeet löytyy
Ajoakselin pyörien kiinnitys	2		Nut		- Asennusohjeet löytyy - M18x1,5 DIN 74361
Maston alakiinnitys	3 a)	M10X45-10.9 UNI 5739		ISO 7089-10-300HV B	
Maston yläkiinnitys	3 b)			Plain washer	- Tilt pin - Spacer - Asennusohjeet löytyy
Taka-akselin kiinnitys (3 w)	4 a)	M16x60, DIN 912 10.9 ZN		NORD-LOCK NLX16SP 2379 fZn d16,5 d31 s5,2	- Nord-Lock las-kuri - Asennusohjeet löytyy
Taka-akselin kiinnitys (4w)	4 b)	M16x50, DIN 912 10.9 ZN		NORD-LOCK NLX16SP 2379 fZn d16,5 d31 s5,2	- Nord-Lock las-kuri - Asennusohjeet löytyy
Taka-akselin pyörien kiinnitys (3w)	5 a)		NUT		- Asennusohjeet löytyy
Taka-akselin pyörien kiinnitys (4w)	5 b)		M14x1.5 SPHERICAL HEXAGON NUT		- Asennusohjeet löytyy
Säätimen virransyöttökaapelin kiristys	6 a)				- Asennusohjeet löytyy
Moottorin virransyöttökaapelin kiristys	6 b)				
Mittaa säätimen virransyöttökaapeleiden terminaaliruuvien kiristys	6 c)				- Asennusohjeet löytyy
Mittaa moottorin virransyöttökaapeleiden terminaaliruuvien kiristys	6 d)				

Tutki turvakaari muodonmuutoksilta, murtumilta ja vahingoilta	7 a)	M16x30, DIN 7984		LOCK WASHER PAIR DIN 25201 M16 DT	- Asennusohjeet löytyy
Tutki turvakaari muodonmuutoksilta, murtumilta ja vahingoilta	7 b)	M16x30, DIN 7984		LOCK WASHER PAIR DIN 25201 M16 DT	- Asennusohjeet löytyy
Tarkista ohjauspylvään kiinnitys	8	M8x20, DIN 933 8.8 ZN	Nut	LOCK WASHER PAIR DIN 25210 M8X16 DT	
Tutki käsinojan toiminta ja kiinnitys	9	M10x35, DIN 912 8.8 ZN		LOCK WASHER PAIR DIN 25201 M10 DT	
Tutki istuimen toiminta ja kiinnitys	9	M8x20, DIN 912 8.8 ZN	M8 NYLOC, DIN 985	M8, DIN 125 ZN	- Lukkomutteri

9 Haastattelut ja ohjeistus

Aineistoa insinööriyöhön kerättiin haastattelemalla organisaation eri tehtävistä vastaavia henkilöitä. Haastattelemalla eri osa-alueiden asiantuntijoita saatiin kattava katsaus liitoksista, niiden mahdollisista ongelmakohtista sekä erilaisia näkemyksiä ja huomioita. Henkilökunnalta tiedusteltiin, oliko jokin liitos osoittautunut käytössä haasteelliseksi tai toistuvasti vikaantuvaksi.

9.1 Suunnitteleva henkilöstö

Suunnittelijat määrittävät kullekin trukin liitokselle reunaehdot, tässä tapauksessa ruuvi-tyypin sekä kiinnitysmomentin.

Haastattelussa kävi ilmi, että suunnittelijoilla ei ollut liitoskohtaista määrittelytapaa momentin suuruudelle. He ottivat kullekin ruuvi-tyypille suositellun kiinnitysmomentin ruuvi-toimittajan listasta. (Mitrofanov 2019.)

Haastattelun pohjalta tultiin siihen tulokseen, että todennäköisesti paras tapa varmistaa ruuviliitoksen kestävyys, oli valita suuruudella x vaikuttava värähtely, joka vaikuttaa ajan y . Tällä tavalla saadaan määritettyä ns. ”pahimman skenaarion” vaikutus ruuviliitoksen kestävyteen. (Mitrofanov 2019.) Ennen tällaisen testin suorittamista, tulisi perehtyä siihen, minkä suuruisia vaikutteita laitteeseen voi kohdistua.

Haastattelussa kävi myös ilmi pyrkimys yhdenmukaistaa ruuvikantoja, jotta laitteen huoltaminen ja asennus voitaisiin suorittaa pienemmällä määrällä erilaisia työkaluja (Jaakkola 2019).

9.2 Asentava henkilöstö

Asentavaa henkilöstöä haastateltiin kokoonpano- ja asennustyön lomassa. Tarkastelun alla olivat ne liitokset, jotka kuuluvat huolto-ohjelmaan. Tutustumalla kyseisiin liitoksiin tuotantolinjalla, tuli myös koko trukin kokoonpano ja rakenne tutuksi, minkä lisäsi ymmärrystä ja asiantuntemusta laitteesta.

Asentavalta henkilöstöltä tiedusteltiin muun muassa, mihin momenttiin kukin liitos asennettiin, mitä työkaluja käytettiin, miten haluttu momentti saavutettiin, oliko liitoksissa mahdollisia ongelmakohtia ja mitkä tekijät vaikeuttivat liitoksen onnistumiseen sekä oliko heillä mahdollisesti muita huomioita työstään.

Haastattelujen jälkeen tarkastettiin, vastasiko asennuksessa asetettu momentti huoltooppaan ohjeistusta. Huomattiin, että tehtaalla liitokset asennettiin huoltooppaan kanssa varsin yhtenäisiksi. Muissakaan asioissa ristiriitoja menetelmien ja ohjeistuksen välillä ei ollut havaittavissa.

Asentavan henkilöstön haastatteluissa ei ilmennyt suurempia huomioita tai huomautuksia. Heillä ei ollut juurikaan tietoa mahdollisesti käytössä vikaantuvista tai löystyneistä liitoksista. Kuitenkin joitain huomioita saatiin asennusvaiheen vaikeuksista.

Yleisesti esille nousi liitoksen muodostumisen epäonnistuminen mekaanisesti (esimerkiksi vikakierre) ja vääjäämättä sen aiheuttama väärä kiristysmomentti. Myös moottoreiden virransyöttökaapeliin kiinnitysmomentin alhaisuus nousi esille useamman kerran.

Ajoakselin moottorien virransyöttökaapelit kiristetään 8 Nm momenttiin, joka oli asennushenkilöstön mielestä liian vähäinen kohteessa.

Myös säätimissä oli havaittu alhainen kiristysmomentti. Virransyöttökaapelien suhteellisen lyhyt pituus, moottoreilta säätimelle, aiheutti niihin vääntöä ja mahdollista kaapelin vika-asentoa liitokseen. Liitosta suojaava kuminen ”sukka” on myös kiristyksen ajan paikoin tiellä. Sukan joutuessa ruuvin kannan ja säätimen väliin ei ohjeistettua kiristysmomenttia pystytä saavuttamaan. Edellä mainitut seikat aiheuttavat kyseisen liitoksen suhteellisen suuren riskin virheelliseen kiinnitykseen ja liian alhaiseen kiristysmomenttiin.

Moottorin virransyöttökaapelien sekä säätimen tapauksissa ovat kyseessä ulkopuolisen toimijan komponentit. Näissä tapauksissa tulee noudattaa valmistajan asettamia ohjeistuksia, tässä tapauksessa kiristysmomentteja. Näin ollen Rocla ei pysty lisäämään tai muuttamaan ohjeistukseensa kyseisten liitosten kiristysmomentteja.

9.3 Käyttöönottotarkastus

Tietynlaisille koneille tulee suorittaa käyttöönottotarkastus lainsäädännön nojalla. Tarkastus tulee suorittaa ennen käyttöönottoa tai viimeistään nopeasti käyttöönoton jälkeen. (Siirilä 2008: 41.) Käyttöönottotarkastus suoritetaan kaikille trukeille ennen niiden luovuttamista asiakkaalle. Tarkastuksessa on viimeinen mahdollisuus havaita sellaiset ongelmat, viat ja puutteet, joita ei jostakin syystä ole havaittu tuotantoprosessin aikana. Tässä vaiheessa ilmenevät ongelmat ovat vielä mahdollista korjata tai mahdollisesti estää yksittäisen tuotteen markkinoille pääseminen kokonaan.

Liitosten kiinnitys sekä oikea kiristysmomenttien suuruus tarkastetaan momenttiavaimella, johon on asetettu haluttu momentti. Kuitenkaan kaikkia liitoksia ei käydä läpi. Pääpainona ovat silminnähden virheellisesti kiristetyt sekä puutteelliset liitokset. Eriksen tussilla merkatut liitokset käydään silmämääräisesti läpi ja tarkastetaan, onko niissä merkintää (kuva 12). (Käyttöönottotarkastajan haastattelu 2019.)



Kuva 12. Säätimen ja letkujen momenttikiinnityksen merkkaaminen maalitussilla.

Pääsääntöisesti liitokset ovat olleet oikeassa kireydessä, mutta haarukoiden kallistus-sylintereiden kiinnityksissä, säätimen ruuvien kireyksissä, pyörien muttereiden kireydessä, penkkien kiinnityksissä sekä maston ketjun päätteen kiinnityksessä on ollut ajoittain havaittavissa löysyyttä. (Lopputarkastajan haastattelu 2019.)

Käyttöönottotarkastukselle on mahdollisesti suoritusohjeet, mutta tarkasta ohjeistuksesta tai sen sisällöstä ei ollut tietoa. (Käyttöönottotarkastajan haastattelu 2019.)

9.4 Huolto-organisaatio

Insinööriyötä varten haastateltiin trukkien huoltotoiminnan asiantuntijaa koordinaattori Ilkka Hämäläistä.

Tutkittava malli, Evolt 48, oli ollut tuotannossa noin vuoden ajan. Tästä johtuen kyseisen mallin laitteille ei ollut ehditty tehdä kovinkaan paljon määräaikaishuoltoja. Kuitenkin, jos jonkin liitoksen kiristys olisi määrätty huomattavan paljon vääräksi, olisi se huomattu jo lyhyellä ajanjaksolla suurena huoltotarpeena. (Hämäläinen 2019.)

Evolt 48-trukkimalli on yleisesti ottaen varsin onnistunut kokonaisuus, muutamia huomioita lukuun ottamatta (Hämäläinen 2019).

Vikoja oli kuitenkin havaittu jo aiemminkin mainitun säätimen ruuvien kireyksissä. Ruuvien ennenaikainen löystyminen on aiheuttanut pahimmassa tapauksessa komponentin rikkoutumisen, josta oli aiheutunut vaaratilanne. Näitä liitoksia kuitenkin rajoittavat komponenttien toimittajien asettamat kiristysmomentit, joihin Rocla ei omalla suunnittelullaan pysty vaikuttamaan. (Hämäläinen 2019.)

Säätimen ruuvien kiristykseen vaikuttavat negatiivisesti myös mahdolliset virheet asennuksen aikana. Laitteen konstruktiosta johtuen asennusvaihteessa kyseiseen liitokseen kohdistuu suhteellisen suuri virheiden mahdollisuus. Nämä virheen mahdollisuudet yhdistettynä pieneen asennusmomenttiin aiheuttavat verrattain suuren riskin liitoksen epäonnistumiselle ja liitoksen ennenaikaiselle aukeamiselle. (Hämäläinen 2019.)

Huollossa oli myös havaittu joidenkin liitosten sopimattomuus tai keveys kohteeseensa. Joissain liitoksissa olisi suotavaa käyttää paksumpia aluslaattoja, tiheämmällä kierteityksellä varustettuja ruuveja (taajakierre) sekä isomman lujuusluokan ruuveja. Jos laitteessa on iso reikä, tulisi tällöin myös aluslaatan olla kookkaampi. Tällöin reiän vaikutus ei pääsisi vääntämään aluslaattaa. (Hämäläinen 2019.)

Huollettaessa trukkeja, ilmenee ajoittain myös väärä liitoselemiä. Liitoksessa on käytetty mahdollisesti täysin väärä liitoselinyhdistelmiä tai jos liitosta ei ole pystytty suorittamaan sille ohjeistetulla komponenteilla, on käytetty joitain muita liitoselemiä (esim. pidempi ruuvi tai monta aluslaattaa). (Hämäläinen 2019.)

Huollossa trukkien ruuviliitosten kireyttä ei enää tarkastella samalla tarkkuudella kuin tehtaalla, eikä suurella todennäköisyydellä liitoksia kiinnitetä momenttiin asetetuilla työkaluilla. Tällöin momentit voivat olla lähes mitä vain huoltosuorituksen jälkeen. (Hämäläinen 2019.)

9.5 Laadunvalvonta

Ohjeistamalla kukin työvaihe saavutetaan mahdollisimman tasalaatuinen tuotanto. Tasalaadun saavuttamiseksi tulee myös työkalujen olla tasalaatuisia. Ohjeistuksiin liittyvissä asioissa haastateltiin laatuinsinööriä Seppo Pihlaista sekä käsikäyttöisten momenttityökalujen kalibroinnista vastaavaa laatutarkastajaa Pasi Paasosta.

Systemaattinen laadunvalvonta on ehdottoman tärkeää tuotannossa. Jotta oikean suuruisen kiristysmomentti saavutettaisiin liitokseen, se edellyttää työvaiheiden ohjeistusta sekä työtapojen ja työkalujen johdonmukaista noudattamista ja tarkkailua.

Jokaisesta työvaiheesta pitäisi olla laadittuna työohje, jossa ilmenee, kuinka suorittaa kukin työvaihe ja millä työkaluilla. Työohjeet on laadittu suomeksi, eikä niitä ole saatavilla englannin kielellä. (Pihlainen 2019.)

Kunkin trukin tuotantoprosessin mukana kulkee tarkastuslista, josta merkataan kukin tarkastus- tai työvaihe tehdyksi. Trukeille suoritetaan myös ns. pistotarkastuksia ”control plan”-nimisen taulukon mukaan. (Pihlainen 2019.)

Käsikäyttöisten momenttityökalujen kunnonvalvonta tehdään Roclan toimesta, kolme kertaa vuodessa. Tammi- ja toukokuussa työkaluille suoritetaan tarkastus, jossa työkalulle asetettu momentti saa poiketa +/- 5 % sille asetetusta arvosta. Syyskuussa käsikäyttöiset momenttityökalut kalibroidaan kuvan 13 laitteella. Paineilmakäyttöisten momenttityökalujen laadunvalvonta suoritetaan ulkopuolisen yrityksen toimesta. (Paasonen 2019.)



Kuva 13. Käsikäyttöisten momenttiavainten kalibrointilaite.

10 Tulokset

Tutkimuksen perusteella ei voitu todeta yhtä oikeaa tapaa määrittää tai varmistaa liitosten luotettavuutta. Kuitenkin erilaisia seikkoja huomioimalla voidaan lisätä liitosten luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Liitokseen vaikuttavat vahvasti jo suunnittelun sekä asennuksen aikaiset tekijät:

- liitospintojen pinnanlaatu
- taajakierteisten ruuvien lisääminen kriittisissä liitoksissa
- Nord-Lock-aluslaattojen käyttö
- oikeansuuruinen kiristysmomentti
- kaikkien työvaiheiden tarkka ohjeistaminen myös englannin kielellä
- asentajien tietoisuus työvaiheiden ohjeistuksen sisällöstä
- erikois- ja vikatilanteiden yhdenmukaistaminen ohjeistamalla
- toistuvasti vikaantuvien osien huomiointi suunnittelussa
- alihankintaosien käyttöehtojen huomioiminen suunnittelussa
- esitoimintojen lisääminen maalattaviin osiin
- kaikkien osien lisääminen BOMiin, helposti löydettäväksi
- vikakertomusten dokumentoinnin helpottaminen ja tiedon eteneminen
- ruuvikantojen yhdenmukaistaminen.

10.1 Liitospintojen pinnanlaatu

Pinnanlaadulla on suuri merkitys kiinnityksen onnistumiselle. Liitoksen kestävyys vaikuttaa suuresti se, minkälaiset pinnat ovat vastakkain. Koneistetut vastinpinnat muodostavat kestävämmän liitoksen kuin maalatut pinnat. Maalattu pinta luo ”ylimääräistä” paksuutta materiaalin pinnalle. Tällöin rasituksen alaisena ja liitoksen asettumisen johdosta maalikerros voi kulua pois, aiheuttaen väljyyttä liitokseen. Tämä väljyys kasvattaa liitoksen värähtelyä ja pienentää liitoksen kiristysmomenttia. Valmiiksi löystynyt liitos löystyy kuormituksessa nopeasti entisestään, aiheuttaen mahdollisen liitoksen aukeamisen.

Pinnanlaadun vaikutuksesta yritys oli teettänyt aiemmin tutkimusta, kun taka-akselien (taulukko 5, kohdat 4 a ja 4 b) kiinnitysten kanssa oli ollut ongelmia. Kun taka-akselin kiinnityspintojen vastinpinnat oli koneistettu tasaisiksi, maalattujen ja epätasaisten pintojen sijaan, olivat kyseiset ongelmat poistuneet.

Joidenkin taulukon 5 liitoksien vastinpintojen pinnanlaadut olivat koneistettuja. Vaikka kaikki listan liitokset ovat kriittisiä, kuitenkin erittäin kriittisten liitosten (numerot 1–5) vastinpinnat olivat kaikki koneistettuja. Kuitenkin pinnoitettuja vastinpintoja löytyi liitoksista (taulukko 5) numero 2, 5, 7, 8 ja 9.

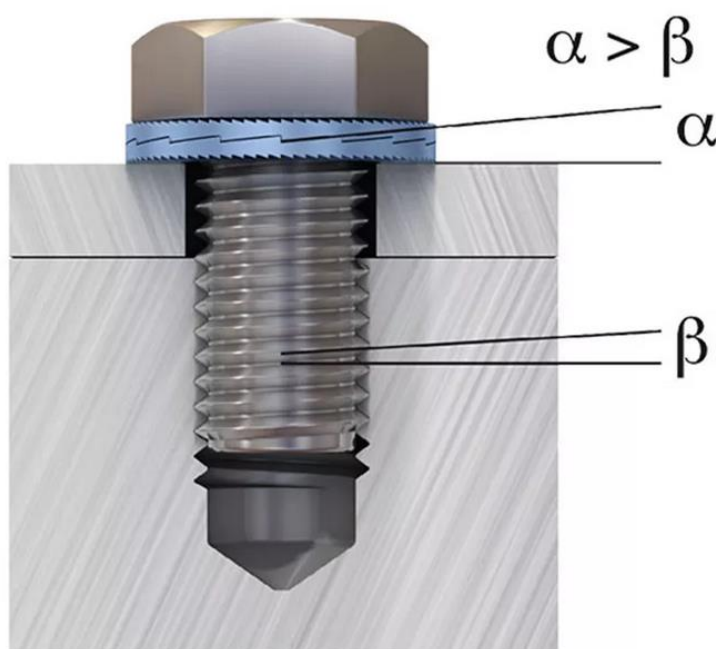
10.2 Taajakierteisten ruuvien lisääminen

Taajakierteisiä ruuveja voi lisätä liitoksiin, joissa kaivataan maksimaalista luotettavuutta. Laitteessa on jo taajakierteisiä ruuveja liitoseliminä joissakin liitoksissa.

Taajakierteisiä ruuveja lisättäessä on kuitenkin huomioitava niiden soveltuvuus liitokseen. Vakiokierteisen ruuvin väsymislujuus on taajakierteistä ruuvia parempi.

10.3 Nord-Lock-aluslaattojen käyttö

Niissä kohdissa, joihin sovellus sopii, voi lisätä Nord-Lock-aluslaatan (kuva 14). Keskustelujen perusteella Nord-Lock on ollut käytössä varsin luotettava. Kuitenkin kyseisen aluslaatan käytössä tulee huomioida liitoksen käyttötarkoitus. Jos liitoksen tulee olla useasti avattavissa, olisi suositeltavampaa käyttää jotakin muuta menetelmää varmistaa liitos.



Kuva 14. Nord-Lock aluslaatan kiilaustekniikan toimintaperiaate (Kiilaustekniikka).

10.4 Oikeansuuruinen kiristysmomentti

Kiristysmomentti tulee mitoittaa kullekin liitokselle optimaaliseksi, ottaen huomioon liitoksen tarkoitus ja edellytykset. Momentti voidaan laskea likimääräistä menetelmää käyttäen. Tarkan tuloksen saisi laskemalla liitos FEMiä käyttäen, mutta kyseinen tapa lienee liian raskas menetelmä suoritettavaksi jokaiselle liitokselle. Kuitenkin kriittisimpien liitosten tarkastelussa voisi hyödyntää FEMiä.

Evolt 48-trukkimallissa on myös liitoksia, joissa liitetään muoviosia. Nämä muoviosat ovat suhteellisen herkkiä rikkoutumiselle, etenkin jos kiinnityselimen kiristämiseen on käytetty liian suurta momenttia. Nämä muoviliitokset ovatkin varsin hankalia, koska muoveilla ei ole yhtä yksinkertaisesti määritettäviä ominaisuuksia kuin metalleilla. Muovit ovat myös eliniältään keskimääräisesti lyhytikäisempiä kuin metallit. Etenkin pakkasen vaikutuksesta muovien ominaisuudet alenevat ja materiaali rikkoutuu herkästi. Kyseiset muoviosat ovat myös isossa riskissä rikkoutua huollon yhteydessä, jos huoltohenkilö kiristää kyseisen liitostyyppin huolimattomasti liian suureen momenttiin ilman momenttiin asetettua työkalua.

Liitoksissa, joissa esiintyy Nord-Lockin kiilalukitusaluslaattoja (kuva 14), voi hyödyntää yrityksen omaa ruuvimomenttilaskuria, jolla määrittää suuntaa antava arvo ruuvimomenttilaskurille (Torque calculator). Kuitenkaan arvo ei ole absoluuttinen, koska se ei ota kantaa käyttökohteeseen tai -tarkoitukseen. Kyseistä sovellusta ei voida käyttää kaikissa sovelluksissa. Näitä ovat esimerkiksi kun liitospintoja ei lukita paikoilleen, liitospinnat ovat aluslevyjä kovempia, hyvin pehmeä liitospinta (puu, muovi), suuret painumat käyttökohteissa ja liitostyyppit, joissa ei ole esikuormitusta (Opas liitoksiin 2019).

10.5 Kaikkien työvaiheiden tarkka ohjeistaminen myös englanniksi

Suurimmalle osalle Evolt 48-trukkimallin asennusvaiheen työvaiheista oli laadittu työohje. Kuitenkaan kaikille työvaiheille ohjetta ei löytynyt.

Ohjeistuksen tuominen asentajien, jälkitarkastajien sekä huollon työntekijöiden tietoon olisi myös suositeltavaa. Haastateltaessa kyseisiä henkilöitä kävi ilmi, ettei heillä ole tiedossa tarkkaa ohjeistuksen sisältöä.

Koska tehtaalla on myös henkilöitä, jotka eivät puhu suomea, olisi ohjeiden hyvä olla laadittuna myös englannin kielellä.

10.6 Erikois- ja vikatilanteiden yhdenmukaistaminen ohjeistamalla

Tasalaatuisuuden takaamiseksi, tulee olla varautunut myös tilanteisiin, joissa on käynyt jokin virhe tai poikkeama. Esimerkkinä Evolt 80-vastapainotrukin taka-akselin liitospintojen maalautuminen vahingossa (kuva 15). Tässä tapauksessa maalia on raavittu pois, kuitenkin siinä täysin onnistumatta. Tällaisten tilanteiden ohjeistaminen lisää tuotteiden tasalaatuisuutta.



Kuva 15. Evolt 80 taka-akselin liitospinta, joka oli virheellisesti maalattu.

10.7 Toistuvasti vikaantuvien osien huomioiminen suunnittelussa

Jos on havaittavissa jokin osa tai osakokonaisuus, joka vikaantuu toistuvasti käytössä, olisi hyvä miettiä näiden osien suunnittelun toteutusta uudelleen. Toteutus olisi hyvä pystyä suunnittelemaan tavalla, jossa pystyttäisiin estämään vikaantumisen mahdollisuus.

10.8 Alihankintaosien käyttöehtojen huomioiminen suunnittelussa

Eri toimijoilta ostettujen osien mukana tulevat käyttöehdot, esim. kiristysmomentit, voivat määrittää osan käyttöä niin ratkaisevasi, että se heikentää koko laitteen toimintakykyä. Tällöinkin olisi suositeltavaa perehtyä kyseisen osan ympäröivään suunnitteluun. Suunnittelulla olisi hyvä kompensoida tai parhaassa tapauksessa kumota osavalmistajan asettamien käyttöehtojen vaikutus laitteeseen.

Jos osan käyttöehtoja ei pystytä kompensoimaan osaa ympäröivällä suunnittelulla, voitaisiin harkita osan vaihtamista toiseen tai konsultoida osatoimittajaa.

10.9 Esitoimintojen lisääminen maalattaviin osiin

Kuten jo aiemmin mainittiin, pinnanladulla on suuri vaikutus liitosten luotettavuuteen. Maksimaalisen luotettavuuden saavuttamiseksi tulee varmistua, ettei maalaamattomiksi tarkoitetut osat joutuisi maalatuiksi. Tästä esimerkkinä Evolt 80-vastapainon taka-akselin liitospinnat (kuva 15).

Peittämällä maalattaviksi tarkoitetut pinnat, pystytään tehokkaimmin estämään pinnan maalautuminen. Esimerkkinä: maalattavan kokonaisuuden vastinpinnat voidaan kiinnittää maalauksen ajaksi vastakkain (taulukko 5, numero 3a). Jos pintaan ei ole mahdollista kiinnittää vastinkappaletta, pinnan voi tällöin suojata jollakin muulla osalla tai menetelmällä, esim. teipillä. Tähän tapaan siirryttäessä tulisi laatia tarkat ohjeet kullekin osakokonaisuudelle.

Työohjeissa kuitenkin ohjeistetaan esim. vastapainoa maalattaessa peittämään liitospinnat, jotta ne eivät maalautuisi. Työohjeiden systemaattinen kouluttaminen työntekijöille auttaa toteuttamaan laadittua ohjeistusta.

10.10 Kaikkien osien lisääminen BOMiin

Tämä työ aloitettiin etsimällä kaikki liitoselimet piirustuksista. Piirustuksissa olevissa BOMEissa, eli osaluetteloissa, ei ole eriteltyinä kaikkia osia. Näiden puuttuvien osien lisääminen BOMiin ei antaisi asennusvaiheessa tulkinnanvaraa liitoselinten laaduista. Tällä saavutettaisiin tuotannon tasalaatuisuutta.

10.11 Kiinnityselimet

Oikeanlaisten kiinnityselinten valinnalla luodaan reunaehdot sille, onko liitoksella edellytyksiä pysyä kiinni. Väärillä kiinnityselimillä voidaan romuttaa liitoksen luotettavuus, vaikka kaikki muut edellytykset olisivatkin kunnossa. Tällä hetkellä kiinnityselimet valitaan ruuvitarjoajan katalogista ja kyseisen katalogi osoittaa kullekin kiitoselimelle osoitetut kiinnitysmomentit, joita noudatetaan suunnittelussa.

Aluslaatoilla on myös huomattava merkitys liitoksen kestävyydelle. Vääränlainen tai väärin perustein mitoitettu aluslaatta voi jopa heikentää liitoksen luotettavuutta ja lujuutta. Huolto-organisaatiota haastatellessa esille nousikin huoli liian kevytrakenteisten aluslaattojen käytöstä. Kysymykseksi nousi: millä perusteella aluslaatat valitaan.

Liian ohuet aluslaatat kantavissa tai raskaasti kuormitetuissa liitoksissa eivät jaksakaan jakaa liitoselimen painetta tasaisesti liitoskappaleisiin. Raskaan kuormituksen alaisina ohuisiin aluslaattoihin aiheutuu muodonmuutoksia, jotka vuorostaan nopeuttavat muiden liitoselinten eliniän lyhentymistä ja pahimmassa tapauksessa jopa rikkoutumista sekä liitoksen kiinnitys heikkenee. Huolto-organisaatiosta ehdotettiin, että liitoksissa käytettäisiin paksumpia aluslaattoja.

Huolto-organisaation haastatteluissa kävi myös ilmi huoli ruuvien riittävästä mitoitusesta. Evolt 48-mallissa on käytetty sekä vakio- että taajakiereruviprofiileja. Kuitenkaan niiden käyttö ei ole systemaattista.

Taajakierteisten ruuvien käyttö on pääasiassa peräisin Mitsubishiltä, jossa käytetään yleisesti enemmän kyseistä ruuvityyppiä. Tästä johtuen myös joihinkin Evolt 48-mallin

liitoksiin on jäänyt kyseistä ruuviprofiilia. Kuitenkin tavallisemmin Euroopan alueella käytössä olevilla vakiokierteisillä ruuveilla on korvattu vanhoja liitoksia sekä uuden suunnittelun johdosta vakiokierteiset ovat syrjäyttäneet ison osan taajakierteisistä ruuveista.

Lisäämällä taajakiereruuveja voitaisiin saada lisää luotettavuutta tarkasteltaviin kiinnityksiin. Ennen ruuvien vaihtoa vakiokierteisestä taajakierteiseen, tulee sovelluksen sopivuus tutkia tarkasti. Kuitenkin taajakierteiset liitoselimet ovat hieman kalliimpia verrattuna normaalisti käytettäviin vakiokierteistettyihin liitoselimiin.

Ruuvien lujuusluokan valitsemiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kuitenkaan lujuusluokkaa ei tule ylittää, koska lujuuden lisääntyessä ruuvien sitkeys alkaa heikentyä.

10.12 Vikakertomusten dokumentoinnin helpottaminen ja tiedon eteneminen

Palautteella on suuri merkitys ja painoarvo tuotteen suunnittelussa ja kehityksessä sekä sen onnistumisen mahdollistamisessa. Jotta palaute kantautuisi käyttäjältä tuotteen suunnittelevalle taholle, edellyttää se oikeanlaista ja tehokasta palautekanavaa.

Huolto-organisaatio toivoi toimivampaa ja suurempaa kanavaa palautteen ja vikakohtien tiedon välittämiseksi. Tällä hetkellä vika tai puute korjataan ja tuote palautetaan asiakkaalle. Tuotekehitys ja muut vaikuttavat tahot eivät kuitenkaan saa tietoa kyseisistä vikaantumisista tehokkaasti, jolloin he eivät myöskään saa tietoa mahdollisista epäkohdista. Tällöin tuotekehitys ei kykene parantamaan vikaantuvia kohtia, muuttamalla suunnittelua tai muita mahdollisia toimintatapoja ja kohteen ominaisuuksia.

11 Yhteenveto

Tavoitteena oli tutkia tekijöitä, jotka vaikuttavat ruuvi- ja mutteriliitoksien kestävyys- ja luotettavuuteen sekä luoda yhdenmukaiset raamit tuotekehityksen tueksi valittaessa liitoselimiä.

Tuloksena saatiin yleispäteviä seikkoja, joita on hyvä ottaa huomioon liitosten suunnittelussa. Tulokset eivät ole kovin yksityiskohtaisia, eikä niillä pystytä juurikaan ottamaan kantaa yksittäisten liitosten laatuun tai kestävyys- ja luotettavuuteen. Tuloksilla pystytään rajaamaan reunaehdot onnistuneelle liitokselle, mitä asioita tulisi ottaa huomioon ja minkälaisia asioita tulisi puolestaan välttää. Systemaattinen tapa suunnitella liitoksia ja valita liitoselimiä helpottaa suunnittelijaa valittaessa liitokseen oikeanlaista kiinnitystä.

Alan suomenkielinen kirjallisuus oli pitkälti samojen tekijöiden laatimaa. Teokset viittasivat toisiinsa hyvin paljon, tällöin kirjoissa oli samaa sisältöä. Tästä johtuen alan suomenkielinen kirjallisuuden saatavuus oli jossain määrin niukkaa, joskin sisällöltään kattavaa. Kirjallisuus oli myös suhteellisen vanhaa, koska kyseistä liitosmenetelmää on käytetty hyvin pitkään, varsin muuttumattomana. Erilaiset internet-dokumentit, kuten yritysten kotisivut, koulujen koulutusmateriaali sekä alan yhdistysten julkaisut tukivat kirjallista lähtöpohjaa.

Insinööriyön aikataulu oli hyvin tiukka, mikä aiheutti riskejä tietyillä osa-alueilla. Suureksi riskiksi muodostui riittämätön aineiston hakeminen sekä siihen perehtyminen. Koska kirjallisen materiaalin tutkiminen vie aikaa, rajasi se tutkittavan materiaalin määrää. Myöskään mitään kokeellista tutkimusta ei ollut mahdollista tehdä aikataulun puitteissa.

Tutkimusta voidaan jatkaa erilaisin menetelmin, saavuttaen aina tarkempia tuloksia. Tarkemmissa tutkimuksissa siirrytään nopeasti tutkimaan kutakin liitostyyppiä erikseen. Liitoksille voidaan soveltaa erilaisia rasiuskokeita, joiden perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä. Liitoksille voidaan likiarvoismenetelmää käyttäen laskea rasiukset. Jos halutaan erittäin tarkkoja tuloksia, voidaan käyttää FEMiä apuna. Perehtymällä erilaisten kuormitusten vaikutuksiin tarkemmin, osataan myös ennustaa liitoksiin kohdistuvat riskit paremmin.

Lähteet

Airila, Mauri; Ekman, Kalevi; Hautala, Pekka; Kivioja, Seppo; Kleimola, Matti; Martikka, Heikki; Miettinen, Juha; Niemi, Erikki; Ranta, Aarno; Rinkinen, Jari; Salonen, Pekka; Verho, Arto; Vilenius, Matti; Välimaa, Veikko. 2003. Koneenosien suunnittelu. 4. painos. Helsinki: WSOY.

Airila, Mauri; Jantunen, Erkki; Kivioja, Seppo; Laihotie, Eino; Nurmi, Lasse; Pora, Martti; Ranta, Aarno. 1987. Koneenosat. Helsinki: WSOY.

Airila, Mauri; Karjalainen, Jussi A; Mantovaara, Urpo; Nurmi, Lasse; Ranta, Aarno; Verho, Arto. 1985. Koneenosien suunnittelu 2 – Liitokset. Helsinki: WSOY.

Blom, Seppo; Lahtinen, Pekka; Nuutio, Erkki; Pekkola, Kari; Pyy, Seppo; Rautiainen, Hannu; Sampo, Arto; Seppänen, Pekka; Suosara, Eero. 2001. Koneenelimet ja mekaniisit. 5. tarkitettu painos. Helsinki: Edita Oyj.

Hämäläinen, Ilkka. 2019. Koordinaattori, Rocla Solutions Oy, Vantaa. Haastattelu 13.3.2019.

Jaakkola, Mikael. 2019. Mekaniikkasuunnittelu päällikkö, Rocla Oy, Järvenpää. Haastattelu 12.4.2019.

Järviö, Jorma & Lehtiö, Taina. 2012. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Kiilaustekniikka. Verkkoaineisto. Nord-Lock Oy. <<https://www.nord-lock.com/fi-fi/nord-lock/tekniikka/>>. Luettu 26.4.2019.

Kiristystekniikka. Verkkoaineisto. Haitor Oy. <<http://www.haitor.com/fi/tukimateriaali/standardit/>>. Luettu 27.2.2019.

Kivioja, Seppo. 2009. Konetekniikka. 7. painos. Helsinki: Otatieto.

Lapinleimu, Ilkka; Kauppinen, Veijo; Torvinen, Seppo. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Mitrofavov, Vladimir. 2019. Mekaniikkasuunnitteluja, Rocla Oy, Järvenpää. Keskustelu 22.2.2019.

Opas liitoksiin. Verkkoaineisto. Nord-Lock Finland Oy. <<https://www.nord-lock.com/fi-fi/nord-lock/tuotteet/aluslevyt/product-guides/>>. Luettu 11.3.2019.

Operation and Maintenance Manual. 2018. MCFE B.V.

Paasonen, Pasi. 2019. Laatutarkastaja, Rocla Oy, Järvenpää. Haastattelu 12.4.2019.

Pakkala, Aake. 1978. Kone-elimet. 7. painos. Helsinki: WSOY.

Pihlainen, Seppo. 2019. Laadunvalvoja, Rocla Oy, Järvenpää. Haastattelu 12.4.2019.

Rocla – sisälogistiikan edelläkävijä. Verkkoaineisto. Rocla Oy. <<http://rocla.com/fi/tietoa-roclasta/rocla-sisalogistiikan-edellakavija>>. Luettu 29.3.2019.

Ruuviliitoksen suunnittelu. Verkkoaineisto. Würth Elektronik Oy. <<https://docplayer.fi/259067-Ruuviliitoksen-suunnittelu.html>>. Luettu 8.3.2019.

Ruuvien historia. Verkkoaineisto. Nord-Lock Oy. <<https://www.nord-lock.com/fi-fi/oival-luksia/tuntemus/2017/ruuvien-historia/>>. Luettu 12.4.2019.

Siirilä, Tapio. 2008. Koneturvallisuus – EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. 2. uudistettu painos. Helsinki: Inspecta Oy.

SFS-EN 13306. Maintenance. 2017. Maintenance terminology. Helsinki: Suomen standardsisoysoimisliitto.

Teräs kosketuksissa muiden materiaalien kanssa –Korroosionkestävyys. Verkkomateriaali. Teräsrakenneyhdistys ry. <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/152/89718ce/teras_kosketuksissa_muiden_materiaalien_kanssa_1703_2015.pdf> 17.3.2015. Luettu 29.3.2019.

Tietoa Roclasta. Verkkoaineisto. Rocla Oy. <<http://rocla.com/fi/tietoa-roclasta>>. Luettu 29.3.2019.

Torque calculator. Verkkoaineisto. Nord-Lock Finland Oy. <<https://torquelator.nord-lock.com/#/>>. Luettu 11.4.2019.

3. Liitokset. Verkkoaineisto. OAMK. <<http://www.oamk.fi/~kaik/opiskelijat/TERASRAK2/TERASRAK-liitokset.pdf>>. Luettu 12.4.2019.

7. Ruuviliitokset. Verkkoaineisto. Ferrometal Oy. <<https://docplayer.fi/1802286-7-ruuviliitokset-14-7.html>>. Luettu 22.2.2019.

Huolto-oppaan tarkastettavat ruuviliitokset

	Before daily use (Operator)	Monthly (Owner)	1,000 h or every year (Service)
Drive unit			
Fastening of the drive axle			C
Wheel mountings of the drive axle		C	
Mast			
Mounting of the mast			C
Rear axle			
Examine the mounting of the rear axle			C
Examine the mounting of the wheels		C	
Electrics			
Controller power cable torque			C
Cable torque of the motor			C
Measure the tightening torques of the controller power cable terminal bolts			C
Measure the tightening torques of the motor power cable terminal bolts			C
General			
Examine the overhead guard for deformation, cracking and damage			C
Examine the fastening of the steering wheel			C

Examine the functionality and mounting of the arm rest	C		
Examine the mounting and functionality of the seat	C		