

Samuli Isosaari

Työlaitteen kiinnitysalustan suunnittelu

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Samuli Isosaari

Työn nimi: Työlaitteen kiinnitysalustan suunnittelu

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 52

Liitteiden lukumäärä: 5

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin toimeksiantajayritys NHK Group Oy:lle JCB Fastrac 4000-sarjan traktoriin asennettava työlaitteen kiinnitysalusta. Työssä perehdyttiin JCB:n tarjoamaan kiinnitysalustaan sekä suunniteltiin tulevasta alustasta kustannustehokkaampi ja Suomen olosuhteisiin nähden toimivampi. Toimeksiantajayritys pystyy jatkossa tarjoamaan työlaitealustaa suoraan yhteensopivana myös käytettyihin työkoneisiin. Työhön kuului kiinnitysalustan suunnittelun lisäksi työlaitteeseen asennettavan vastakappaleen suunnittelu. Työn tuloksena syntyi toimeksiantajayritykselle työlaitealustan ja -kiinnikkeen valmistus- ja kokoonpanopiirustukset.

Työ oli luonteeltaan tuotekehitysprojekti. Tuotekehityksen teoriaosuudessa esitellään tuotekehitystoiminnan tapoja, tuotekehitysprojektiin kuuluvia työvaiheita sekä valmistuksessa käytettäviä valmistusteknisiä menetelmiä. Teoriaosuus jatkuu suunniteltavan kokonaisuuden rakenteen esittelyllä sekä vastaavanlaisissa rakenteissa käytettyjen kiinnitysmenetelmien selvityksellä. Suunnitteluosuudesta selviää suunnittelutyön vaiheet ja valmistuksen toteutustavat perusteluineen. Työlaitekiinnikkeen suunnittelu on toteutettu konedirektiivin 2006/42/EY mukaisesti.

Työn tuloksena toimeksiantajayritykselle laadittiin valmistuspiirustukset prototyypin valmistusta varten. Työ onnistui toivotulla tavalla ja tuotteen voi valmistaa toteutettujen piirustusten perusteella. Prototyypin valmistuksen jälkeistä tuotekehitysprojektin seuraavaa vaihetta ajatellen on laadittu jatkokehitystä helpottava tiivistelmä konedirektiivin vaatimuksista liitteeksi. Liitteissä on esitetty myös työlaitealustan simuloinneista saatuja tuloksia sekä työn päätteeksi laaditut työlaitealustalle asetettavat rajoitteet.

Avainsanat: tuotekehitys, suunnittelu, valmistustekniikka, FEM, maatalous

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Samuli Isosaari

Title of thesis: Designing a mounting for a work machine

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2017

Number of pages: 52

Number of appendices: 5

The thesis was made for the client company NHK Group to design a new mounting for a JCB Fastrac 4000-series tractor. The job included familiarising with a factory-made mounting offered by JCB, and designing a more cost-effective and suitable mounting for different climatic conditions of Finland. In future, the client company would be able to offer a compatible mounting also mountable for used machines. In addition to designing the mounting, the job included designing a counterpart to the mounting. As a result of the thesis, manufacturing and assembly drawings were made for the client company.

The thesis was a product development project. The theory part of product development presented different ways of product development processes, stages included in the development project, and the manufacturing methods used in this project. The theory part continued with presenting the structure of the mounting and studying mounting hitches used with similar structures. The design part of the thesis explained the sections of the design job and the executions used in manufacturing. The design of the mounting was made according to the machine directive 2006/42/EC.

As a result, manufacturing drawings were drawn up to the client company for manufacturing a prototype of the mounting. The job succeeded as expected, and in the future, it would be possible to manufacture the product with the worked-out drawings. Looking ahead for the next section of the product design, a summary of the requirements of the machine directive was drawn up for the client company as an attachment to facilitate further development. The results of the mountings simulations and the limits set to the mounting were also presented in the attachments.

Keywords: product development, design, manufacturing technique, FEM, agriculture

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Tausta	7
1.2 Tavoite.....	8
1.3 Yritysesittely	9
2 TUOTEKEHITYS	10
2.1 Tuotekehitysprojekti	10
2.2 Materiaalin vaikutus	13
2.3 Valmistusmenetelmät	14
2.3.1 Leikkaus.....	15
2.3.2 Särmäys.....	16
2.4 Liitosmenetelmät	17
2.4.1 Hitsausliitos	17
2.4.2 Ruuviliitos	19
3 TYÖLAITEALUSTAN RAKENNE	21
3.1 Apurunko ja sovite.....	21
3.2 Työlaitteen kiinnike.....	22
4 KIINNITYSMENETELMÄT	24
4.1 Apurungon kiinnitys.....	24
4.1.1 Kuorma-autojen päällirakenteiden kiinnitys	24
4.1.2 Soveltaminen	25
4.1.3 Apurungon mitoitus	26
4.2 Työlaitteen kiinnitys.....	27
4.2.1 Maataloustyökoneissa käytetyt työlaitteiden kiinnitysmekanismit	27
4.2.2 Vaihtolavojen kiinnitysmekanismit.....	30
5 SUUNNITTELU.....	33
5.1 Luonnostelu.....	33
5.2 Materiaalien vertailu.....	35
5.3 Liitosmenetelmien suunnittelu.....	37

5.4 FEM-Laskenta.....	39
5.4.1 Nurjahdus	42
5.4.2 Kiinnityksen testaus	43
6 VALMISTUS.....	45
7 POHDINTA.....	47
8 YHTEENVETO	48
LÄHTEET.....	49
LIITTEET	52

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. JCB Fastrac 4220.	7
Kuva 2. Apurungolle varattu tila traktorin ohjaamon takana.	34
Kuvio 1. Luonnospiirros apurungosta.	22
Kuvio 2. Apurungon kylki.	35
Kuvio 3. Apurunko ja sovite.	38
Kuvio 4. Työlaitekiinnike asennettuna alustaan.	40
Kuvio 5. Jännitysten simulointi.	41
Kuvio 6. Nurjahduksen simulointi.	42
Kuvio 7. Kiinnityksen simulointi.	44
Taulukko 1. Ulrich-Eppingerin malli tuotekehitysprosessista. (Hietikko 2008, 42.)	11
Taulukko 2. Työlaitealustan materiaalivalintojen suunnittelussa huomioonotettavat vaatimukset.	13
Taulukko 3. Teräslaatuja vertailua.	36

1 JOHDANTO

JCB:n Fastrac-traktorit ovat keskiohjaamollisia, nopeakulkuisia traktoreita, joita JCB alkoi kehittämään vuonna 1987. Tavanomaisista traktorimalleista poiketen Fastracissa on vakiovarusteena sekä etu-, että taka-akselijousitus, levyjarrut ja erillisrunko. Nämä ominaisuudet tuovat mukavuuden lisäksi turvallisuutta ja kestävyyttä työkoneeseen vaativissa olosuhteissa. (NHK Keskus Oy [viitattu 18.1.2017])



Kuva 1. JCB Fastrac 4220.

1.1 Tausta

Fastrac-mallisarjan traktorit ovat olleet toistaiseksi harvinaisempi näky suomalaisten maatalousyrittäjien tai koneurakoitsijoiden käytössä verrattuna tunnetuimpiin traktorimalleihin. Tulevaisuudessa maatilojen keskimääräinen koko tulee kasvamaan, jolloin myös työkoneilta vaaditaan enemmän ominaisuuksia. Pidemmät

siirtymät ja suuremmat tehovaatimukset peltoalojen kasvun myötä puhuvat Fastrac-mallisarjan puolesta, joten voidaan olettaa, että Fastrac-traktorit tulevat yleistymään vuosien saatossa. JCB:n Fastrac-mallisarjan takarungon päälle asennettavia työlaitteita on ollut käytössä lähinnä ulkomaan markkinoilla. Koska maatalouden ja maaperän vaatimukset ovat eri maissa erilaisia, on ulkomaan markkinoilla käytetty rakenne todettu Suomen oloihin sopimattomaksi. Työlaitekiinnikkeiden tilausmäärät on todettu vähäisiksi Suomeen tuotavissa uusissa työkoneissa, joten NHK haluaa nyt tarjota Suomen oloihin sopivampaa työlaitealustaa kotimaan asiakkailleen.

Takarungon päälle asennettavilla työlaitteilla voidaan saavuttaa esimerkiksi tasapainoisempi työlaitteen kiinnitys verrattaen perinteisten työlaitteiden kolmipistekiinnitykseen, koska työlaitteen paino kohdistuu lähemmäs taka-akselia. JCB Fastracin kuvastoissa mainostetulla lisäkapasiteettia tuovalla lisäsäiliöllä voidaan saavuttaa huomattavaa ajansäästöä kuormaamistarpeen vähentyessä. Tilaa voidaan hyödyntää lukemattomilla erilaisilla ratkaisuilla, kun käyttäjät voivat asentaa traktoriin sopivia erikseen myytäviä kiinnikkeitä haluamiinsa työlaitteisiin.

1.2 Tavoite

NHK-Group haluaa esitellä JCB Fastrac 4000-sarjan traktoriin uudenlaisen työlaitekiinnitysmahdollisuuden syksyllä 2017. Tässä työssä suunnitellaan työlaitekiinnitykselle alusta, joka kiinnitetään traktorin takarungon päälle, työlaitteen liitántäratkaisu sekä erillinen kiinnike, jota tarjotaan asiakkaille erilaisiin työlaitteisiin asennettavaksi. Tavoitteena on saada Fastrac-traktorien suosio nousemaan tarjoamalla ainutlaatuisia ominaisuuksia traktoriin, joita tavanomaiset traktorimallit eivät pysty tarjoamaan. Kiinnitysratkaisussa tullaan käyttämään hyödyksi traktorin jousituksen tasonsäätöä, jolla saadaan aikaan yksinkertainen ja nopea työlaitteen kiinnitys.

Työ on luonteeltaan tuotekehitysprojekti, jossa suunnitellaan uutta kokonaisuutta. Projektissa perehdytään tuotekehityksen eri vaiheisiin ja edetään järjestelmällisesti etenemissuunnitelman mukaisesti. Suunnittelussa painotetaan tuotteen valmistettavuutta ja pyritään täten toteuttamaan valmistuskustannuksiltaan mahdollisimman kannattava ratkaisu. Apurungon kiinnitysratkaisun suunnittelussa

käytetään apuna kuorma-autojen päällirakentamisen ohjeita, joita sovelletaan mahdollisuuksien mukaan. Työlaitteen kiinnityksen suunnittelussa selvitetään käytössä olevia työlaitteiden ja kuorma-autojen vaihtolavojen kiinnitysratkaisuja sekä analysoidaan niiden käytettävyyttä uudessa työlaitekiinnitysratkaisussa. Osat suunnitellaan ja piirretään koulun käytössä olevalla Siemens Solid Edge ST8 suunnitteluohjelmistolla.

Taustamateriaaliksi työhön saatiin piirros JCB:n tarjoamasta tehtaan valmistamasta työlaitekiinnikkeestä, josta tulee suunnitella valmistuskustannuksiltaan edullisempi sekä suoraan yhteensopiva jälleenmyytävän Fastrac 4000-sarjan työkoneen kanssa. Osakokoonpanon toteutukselle on kuitenkin annettu täysin vapaat kädet. Osakokonaisuuden tulee kestää 4000 kg:n massa mukaan lukien työtehtävissä mahdollisesti tapahtuvat kuormituspiikit. Työn lopuksi tuotteiden sarjavalmistusta silmällä pitäen tehdään tutkimus mahdollisista tuotteiden valmistajista. Prototyypin valmistus toteutetaan mahdollisuuksien mukaan joko ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa, tai ulkoistettuna konepajayrityksellä.

1.3 Yritysesittely

NHK-Group on Onni Korhosen vuonna 1990 perustaman NHK-Keskus Oy:n tytäryhtiö, joka on keskittynyt maatalouskoneiden myyntiin ja maahantuontiin. NHK-Keskuksen perustamisen yhteydessä esiteltiin myös patentoitu NHK-1600-paalinkäärin. Korhonen toi pyöröpaalauksen Suomeen jo vuonna 1982. NHK-Keskuksen muita tytäryhtiöitä ovat lypsyrobotiliiketoiminnasta Suomessa vastaava NHKdairy Oy sekä Virossa toimiva Linery Oü. NHK-Group työllistää yhteensä 113 henkeä kahdellatoista toimipaikalla Suomessa. JCB Agri-koneiden maahantuonti aloitettiin vuonna 2014. Tuotevalikoimaan kuuluvat Fastrac-traktorimallien lisäksi teleskooppipuomilla varustetut pyöräkuormaajat sekä muut erilaiset maatalouskoneet. (NHK Keskus Oy [Viitattu 19.4.2017])

2 TUOTEKEHITYS

Tuotekehitys-, eli innovaatioprosessi saa alkunsa usein asiakaskunnan luomasta tarpeesta. Toisaalta prosessin voi käynnistää myös kehittäjä itse analysointien osoittaman tarpeen perusteella. Joka tapauksessa kehittäjän on ratkaistava ongelma analysoiden kuvitellun lopputuloksen jokaiseen osapuoleen kohdistuvia hyötyjä ja haittoja. Kehittäjän on arvioitava tuotteen materiaali- ja valmistusteknisiä vaatimuksia ja rajoituksia, tuotteen kannattavuuden säilyttämistä, lakien ja vaatimusten osoittamia rajoituksia sekä monia muita kehityksen osa-alueita. Siksi useimmat innovaatiot tuottavatkin vain pieniä edistysaskelia olemassa oleviin kehityskohteisiin, kun tuotteen kehitys voidaan kohdistaa yhteen näistä osa-alueista. (Hietikko 2008, 15)

Tuottavissa yrityksissä innovaatiotoiminnalta vaaditaan jatkuvaa seuranta tuotteen kannattavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Esimerkiksi markkinointi, politiikka ja ekologisuus ovat merkittäviä muuttuvia tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa tuotteen kannattavuuteen valmistusteknisten seikkojen lisäksi. Tuotekehitystoiminta on usein organisaation sisäinen prosessi, mutta yritysten välinen tiivistyvä kilpailu pakottaa nopeampaan tuotekehitykseen. Tästä syystä ulkoistettujen tuotekehitysprojektien suosio on yleistynyt. Tuotekehitysprojekti on osa innovaatiotoimintaa ja tarkoittaa tavoitteineen, resursseineen ja aikatauluineen tarkoin määriteltyä toimintaa. (Hietikko 2008, 41)

Opinnäytetyönä toteutettava tuotekehitystoiminta tarkoittaa tässä tapauksessa NHK Groupin luomasta tarpeesta lähtenyt ulkoistettua tuotekehitystoimintaa. Toiminta on siis toteutettu ulkoistettuna projektina, jonka tavoitteena on suunnitella kevään 2017 aikana työlaitealustasta ja -kiinnikkeestä valmistuspiirustukset koulun käytössä olevaa suunnitteluohjelmaa hyödyntäen.

2.1 Tuotekehitysprojekti

Tuotekehitysprojektin edistymistä helpottavia prosessimalleja on olemassa useita erilaisia. Prosessimalli kuvaa prosessin etenemisen eri vaiheita ja auttaa tuotekehitysprojektin edistämisessä. Prosessimalliin kuuluu aina vähintään

tarvekuvaus, luovan työn vaihe ja detaljisuunnittelu. Yhteiskunnassa totuttujen tapojen ja käytäntöjen kehittyessä syntyy myös uusia kehittyneempiä prosessimalleja, jotka nykypäivänä sisältävät muun muassa sosiaalisen median tuottamia kehitysmenetelmiä. Taulukossa 1 on esitetty Ulrich-Eppingerin malli, joka on toteutettu ns. peräkkäismallin mukaisesti. Peräkkäismallissa työvaiheet on esitetty järjestyksessä siten, että vaiheet seuraavat toisiaan projektin päätökseen saakka. Kehitystyön edistymistä seurataan prosessimallia hyödyntäen erittelemällä työtehtävät työvaiheiden alle. (Hietikko 2008, 42)

Taulukko 1. Ulrich-Eppingerin malli tuotekehitysprosessista. (Hietikko 2008, 42.)

Tuoteohjelman suunnittelu
Konseptisuunnittelu
Systeemisuunnittelu
Detaljisuunnittelu
Testaus ja parannus
Tuotanto

Tuoteohjelman suunnitteluvaiheessa tuotekehityksen tarpeellisuutta pyritään perustelemaan kehityskohteelle asetettavilla tavoitteilla ja reunaehdoilla sekä analysoimalla toiminnan sopivuutta yrityksen tuotestrategiaan. Tuotteelle määritellään visio, jonka avulla pohditaan tuotteen olennaista tarkoitusta. Vision pohjalta lähdetään pohtimaan tuotteen kannattavuuteen vaikuttavia asioita, joita ovat mm. markkinoiden senhetkinen tilanne, tuotteen tavoitteellinen tuottavuusaste ja kilpailukyky sekä riskien mahdollisuuden analysointi. (Hietikko 2008, 27-43)

Konseptisuunnittelussa analysoidaan suunniteltavan kohteen tarpeellisuutta asiakaskunnalle ja verrataan muiden valmistajien toteutuksia ja muita mahdollisia kilpailutekijöitä. Tuotteelle voidaan tämän perusteella asettaa erityisiä mitta-arvoja ja ominaisuuksia, joihin tuotteen lopullisen version tulee pystyä. Raja-arvojen ja ominaisuuksien määrittelemisen jälkeen tuotetta aletaan luonnostelemaan luovan

työn vaiheessa esittäen tuotteelle toteutusratkaisuja mahdollisimman monesta näkökulmasta. Tuotetuista luonnoksista valitaan lopuksi soveltuvimmat ideat jatkokehitystä varten. (Hietikko 2008, 43)

Systemisuunnitteluvaiheessa suuntaa antavaa luonnospirrosta aletaan tarkentamaan erilaisten vaatimusten ehdoilla. Vaatimusten mukaiset muutokset muokkaavat tuotetta eri osapuolten näkökulmasta edullisemmaksi. Suunnittelijan on myös tehtävä kompromisseja ja priorisoitava vaatimusten tarpeellisuutta. Tuotteesta pyritään saamaan mahdollisimman montaa osapuolta tyydyttävä ratkaisu. (Hietikko 2008, 43)

Detalji suunnittelussa vaatimusten määräämät toteutukset ja kompromissit on päätetty ja tuotteelle määritetään lopulliset mitta-arvot. Tuotteelle päätetään käytettävät valmistusmenetelmät ja materiaalien ominaisuudet. (Hietikko 2008, 43)

Testaus- ja parannusvaiheessa tuotteesta on saatu valmistettua ensimmäinen prototyyppi, jonka tehtävänä on osoittaa tuotteen toimivuus käytännössä. Prototyypin testauksen jälkeen tuotteelle saatetaan tehdä vielä testausvaiheessa havaittuja muutostarpeita. Onnistuneen testauksen jälkeen tuotteesta saadaan lopullinen versio. (Hietikko 2008, 43)

Tuotannon käynnistäminen on viimeinen tuotekehityksen vaihe, jossa valmiiksi tuotettua tuotetta aloitetaan valmistamaan. Ensimmäinen tuotantosarja nimetään 0-sarjaksi, jonka tehtävänä on toimia testisarjana tuotannon läpimenon testauksessa. (Hietikko 2008, 23)

Tässä projektissa tuoteohjelman suunnittelu ja osa konseptisuunnittelusta on toteutettu yrityksen toimesta, jolloin tuotteen tarpeellisuuden analysoinnille ei ole tarvetta. Suunnittelu aloitetaan luovan työn vaiheesta, jossa pohditaan tuotteelle mahdollisia toteutusratkaisuja. Luovan työn vaiheen jälkeen luonnosta muokataan pohtien eri osapuolten vaatimuksia mahdollisimman tyydyttävillä ratkaisuilla. Detalji suunnittelun jälkeen lopullinen versio työlaitealustasta esitetään suunnittelutyön tuloksena, jolloin testaus- ja tuotannon käynnistämisvaihe jäävät toimeksiantajayrityksen toteutettavaksi.

2.2 Materiaalin vaikutus

Työlaitteen suunnittelussa parhaimman mahdollisen materiaalin valinta alkaa työlaitteen asettamien vaatimusten ja toimintojen selvittämisestä. Mikäli laitteella on useita eri vaatimuksia, ovat ne usein toisiinsa nähden ristiriidassa. Jokin vaatimuksista on kuitenkin aina määräävin, joka useimmiten määrää materiaalin lopullisen valinnan. (Koivisto ym. 2008, 9-10.) Koska monimutkaisen työlaitteen suunnittelussa on useita vaatimuksia, laaditaan vaatimuksista selventävä taulukko helpottamaan vaatimusten priorisointia ja siten myös materiaalivalintaa. Taulukossa 2 on esitetty tässä työssä huomioonotettavat vaatimukset.

Taulukko 2. Työlaitealustan materiaalivalintojen suunnittelussa huomioonotettavat vaatimukset.

Kuormankanto
Kuormanjako
Muodon säilyttäminen
Korroosionkesto
Valmistusmenetelmät
Valmistuskustannukset

Teräs on kone- ja autoteollisuuden selkeästi käytetyin materiaali kaikista metalleista. Teräkseksi kutsutaan materiaaleja, joiden rautapitoisuus on yli 50% ja hiilipitoisuus 0,03-2,0%. Teräksen yleiseen käytettävyyteen vaikuttaa raudan edullisuuden lisäksi erilaisilla seoksilla laajasti säädettävät lujuusominaisuudet sekä muokattavuus erilaisiin käyttötarpeisiin. Terästen haittapuoliin kuuluu useimpien seosten heikko korroosionkestävyys. Materiaaliominaisuuksien ja valmistusmenetelmien kehittyminen on asettanut suunnittelijoille uusia haasteita materiaalivalintoja tehtäessä. (Koivisto ym. 2008, 76-248)

Alumiini on noussut toiseksi yleisimmäksi metalliksi autoteollisuudessa, jossa yhtenä tärkeimpänä tavoitteena on hidastaa kulkuneuvojen painonnousua. Myös huomattavasti paremmat korroosionkesto-ominaisuudet puoltavat alumiinin käyttöä. Alumiinin käytön on mahdollistanut valmistusmenetelmien kehittyminen ja alumiinin lujuusominaisuuksia kehittävien seosaineiden käyttö. (Korhonen & Larkiola 2012, 39)

Työlaitealustan suunnittelussa yhtenä merkityksellisimmistä tavoitteista esitettiin valmistuksen edullisuus. Vaikka työlaitealusta tulee olemaan käytössä korroosioalttiissa ympäristössä, on myös teräksien korroosio-ominaisuuksia kehitetty. Tässä tapauksessa teräs on selkeä valinta valmistusmateriaaliksi kalliimman alumiinin sijaan.

Teräslaadun valintaan ei ole yksiselitteistä vastausta. Vaikka lähtötiedoissa on osoitettu, että työlaitekiinnikkeen tulee kestää tietyt rasitukset, ei ainutta oikeaa teräslaatua ole olemassa. Materiaalivahvuus tuo laitteelle lisää painoa ja nostaa hintaa, mutta tällöin teräslaadun ei tarvitse olla yhtä lujaa, kuin ohuemmalla materiaalivahvuudella. Teräslaatuojen ominaisuuksien lisäksi teräksen hintaan vaikuttaa sen saatavuus. Kompromissia tehtäessä on otettava huomioon, että tietyt teräslaadut ovat suositumpia, kuin toiset ja tällöin myös halvempia. Lopullinen mitoitus tulee siis toteuttaa teräslaadun valinnan jälkeen.

Teräslaatuojen ja valmiiksi leikattujen kappaleiden hintatietoja tiedustellaan muutamilta konepajoilta, jolloin saadaan käsitys siitä, mitä teräksiä markkinoilla yleisesti käytetään, sekä pystytään arvioimaan kannattavimman teräslaadun valinta. Kuten jo aloituspalaverissa on tullut puheeksi, työlaitteen mahdollisten valmistajien selvityksessä kannattaa suosia pieniä konepajoja, sillä tuotteella ei ole vielä sarjatuotantoa Suomessa. (Yli-Suomu 2017)

2.3 Valmistusmenetelmät

Järkevimpien valmistusmenetelmien pohtiminen teräsrakenteen suunnittelussa on tärkeää, sillä 70-80% valmistuskustannuksista syntyy suunnittelussa. Tuote tulee mallintaa käyttäen kokoonpanoon mahdollisimman vähän osia. Osien muodon

määrittelyssä suositaan mieluiten yksinkertaisia muotoja mm. käsiteltävyyden ja kiinnitettävyyden helpottamiseksi. Yleisten valmistusmenetelmien suosimisella ja valmistajan konekannan tietämyksellä voidaan vaikuttaa tuotantoon kuluvaan aikaan sekä vähentää tuotteen kuljetustarvetta. Kaikki edellä mainitut asiat vaikuttavat valmistuskustannuksiin useissa eri toiminnoissa valmistuksen aikana. (Piironen 2013, 4-13)

Mitä suurempia komponentit ovat, sitä vaikeampi niitä on valmistaa. Toisaalta mitä enemmän komponentteja tuotteessa on, sitä kalliimpi se on valmistaa. Työn apuna käytettävästä JCB:n tehdasvalmisteisesta työlaitealustasta luotu piirros on esimerkki hyvin suunnitellusta tuotteesta. Luonnoksessa on ajateltu tuotteen kokoonpantavuutta ja valmistettavuutta erityisesti sovitusrakenteiden sijoittamisen avulla osien liitäntäkohtiin. Sovitusrakenteet toimivat apuna kokoonpanijalle, jolloin mahdolliset valmistus- ja kokoonpanovirheet vähenevät. Sovitusrakenteiden toleransseista ei ole olemassa oikeita arvoja, vaan ne täytyy arvioida. (Yli-Suomu 2017)

Valmistuskustannusten minimoiminen ei ole kuitenkaan aivan yksinkertaista, sillä suunnittelijan tulee huomioida säästökohteiden vaikutukset myös lopputuotteessa. Tuotteen kokoonpantavuus saattaa kärsiä, mikäli kokoonpanossa käytetään suuria, tai painavia osia. Alustan tulee olla mahdollisimman helppo asentaa työkoneeseen, joka tarkoittaa mahdollisesti ylimääräisten asennusrakenteiden suunnittelua. Kaikki ylimääräiset reiät puolestaan heikentävät rakennetta. Hyötyjen ja haittojen analysointi sekä priorisointi ovat avainasemassa tässä työssä.

2.3.1 Leikkaus

Teräksen leikkaamiseen käytetään sekä mekaanisia, että termisiä leikkausmenetelmiä. Leikkausmenetelmän valintaan vaikuttaa menetelmän kustannukset, leikkausnopeus ja pinnanlaadun vaatimukset. Teräksen leikkaustapoihin kuuluu kaasus-, plasma-, laser- ja vesisuihkuleikkaus järjestyksessä halvimmasta kalleimpaan. Kappaleen leikkauksen suunnittelussa tulee suosia yksinkertaisia muotoja, sillä ohuet ja pitkät ulokset saattavat vääntyä termisen toimenpiteen vaikutuksesta. (Piironen 2013, 17)

Työlaitekiinnikkeen leikkausmenetelmänä myös kaasuleikkaus on edullisuutensa puolesta mahdollinen toteutusvaihtoehto, sillä tuotteella ei ole merkittävän suuria ulkonäkö- ja tarkkuusvaatimuksia. Kaasuleikkauksen erona muihin leikkausmenetelmiin on seostettujen terästen esilämmitysvaatimus, joka tulee ottaa huomioon leikkausmenetelmän valinnassa. Kolmesta edullisimmasta leikkausmenetelmästä plasmaleikkaus on selkeästi nopein ja laserleikkaus on tarkin. Vesisuihkuleikkaus soveltuu parhaiten paksuille materiaaleille ja tuottaa myös erittäin tarkan leikkausjäljen. (Piironen 2013, 17-20)

2.3.2 Särmäys

Ohutlevyn taivuttaminen, eli särmäys on kustannustehokas muovaustapa vaihtoehtona hitsausliitokselle. Onnistuneella särmäyksellä voidaan vähentää kokoonpanon osien lukumäärää ja siten vaikuttaa positiivisesti tuotantokustannuksiin. Suunnittelijan tulee kuitenkin tuntea särmäyksen vaikutukset levyn ominaisuuksille etenkin, jos särmätty osa vaatii tarkkaa tolerointia, sillä levyn taivutuksessa tapahtuva puristus ja venyminen heikentää mittatarkkuutta. Tasamittaisten kulmien, kuten 45° tai 90° , taivutustarkkuus on parempi, jolloin levyn taivuttaminen toteutetaan pohjaaniskuperiaatteella. Valmistettavuuden näkökulmasta särmäyksen ja hitsausliitoksen tarkkuudet ovat samaa luokkaa. (Piironen 2013. 25-28)

Suunnitellessa kokoonpanoon särmättävää osaa on osan materiaalista ja sen soveltuvuudesta särmäykseen oltava tietoinen. Materiaalin vahvuus ja lujuusominaisuudet määräävät tiettyjä raja-arvoja särmäykselle. Materiaalin valmistajalta tulee selvittää materiaalin muovattavuusominaisuudet sekä jokaiselle materiaalille määrättävä särmättävyystakuu, joka ilmoittaa levyille pienimmän sallitun sisäpuolisen taivutussäteen, jolla materiaali kestää työstön ilman ulkopinnan repeilyä. (Lepola & Makkonen 2005, 302)

2.4 Liitosmenetelmät

Liitosmenetelmien suunnittelu on tehtävä, jolla voidaan vaikuttaa tuotteen valmistettavuuden lisäksi tuotteen ominaisuuksiin sekä liitoksen säädettävyyteen. Liitoksen tehtävänä on osien yhdistämisen ohella rasituksen välittäminen ja suuntaaminen rakenneosalta toiselle. Liitokseen saattaa kuulua myös tarpeen mukaan lisäkomponentteja kuten ruuveja, laippoja, jäykisteitä ja tukilevyjä, joiden avulla liitoksen ominaisuuksista saadaan halutunlaiset. Liitoksen säädettävyyden tarpeelle voi olla monenlaisia tuotekohtaisia syitä, jolloin liitos on useimmiten tehtävä ruuviliitoksena. (Leino 2006, 6)

2.4.1 Hitsausliitos

Liitosmenetelmiä suunnitellessa suunnittelijan tulee olla tietoinen käytettävän liitosmenetelmän vaikutuksista materiaaliin. Kahden kappaleen liittäminen hitsaamalla aiheuttaa kappaleissa materiaalin ominaisuuksien muutosta, jolloin hitsaus vaikuttaa kokoonpanon kestävyteen ja korroosio-ominaisuuksiin. Liitettävien materiaalien tulee olla hitsattaviksi luokiteltuja sekä ominaisuuksiltaan lähellä toisiaan. Kokoonpanoa ajatellen hitsausliitosten suunnittelussa suunnittelijan on toteutettava hitsausliitokset siten, että liitos on mahdollisimman helppo toteuttaa käytännössä. Turhia hitsausliitoksia tulee välttää. Huomioon tulee ottaa myös kokoonpanojärjestys, joka saattaa vaikuttaa oleellisesti hitsauksen käytännön toteutukseen. Hitsauksessa käytetään nykypäivänä usein ohjelmoitavia robotteja, joiden liikeradat ja ulottuvuudet on tiedostettava suunnitteluvaiheessa. Käytännössä siis hitsausliitos asettaa muihin liitosmenetelmiin nähden paljon erilaisia rajoituksia sen lisäksi, että se on myös suhteellisen kallista. Tästä syystä liitosten korvaaminen särmäämällä on kohteesta riippuen usein järkevä ratkaisu. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 83-91)

Pienissä konepajoissa on useimmiten käytössä puikko- ja MAG-hitsauslaitteet teräksen hitsausta varten. Näitä menetelmiä voidaan kutsua perushitsausmenetelmiksi. Koska työlaitekiinnike tulee olemaan kotimaan markkinoilla uusi kiinnitysratkaisu Fastrac-traktoreissa, eivätkä kyseisten traktorien myyntimäärät ole vielä samalla tasolla kuin suurimmilla traktorimerkeillä, on

työlaitteen valmistusta järkevää ehdottaa ensin pienemmille konepajoille. Suuremmat konepajat kiinnostuvat usein suuremmista valmistuseristä. (Yli-Suomu 2017)

Myös suunnittelijalla on oltava tietoa rakenteessa käytettävistä hitsausmenetelmistä sekä toteutukseen liittyvistä ominaisuuksista ja rajoituksista, sillä hitsaus liittyy olennaisesti rakenteen lujuuteen. Koska hitsaus on valmistusteknisesti suhteellisen kallis liitosmenetelmä, on hitsausliitosten suunnittelussa mietittävä eri osien hitsaussaumojen yhteneväisyyksiä, erilaisia hitsausmenetelmiä, hitsauksen vaatimustasoa, mahdollisia lisäainevaatimuksia ja muita valmistuskustannuksiin vaikuttavia tekijöitä.

Puikkohitsaus toteutetaan sulahitsausprosessina, joka tarkoittaa perusaineen ja lisäaineen liittämistä toisiinsa sulattamalla aineet toisiinsa ilman puristusta. Hitsauksessa käytetään sähköä johtavaa lisäaineen sisältävää hitsauspuikkoa, jota ohjataan hitsauspihtien avulla hitsattavaan materiaaliin. Puikkohitsauksen etuna ovat mm. hyvä lisäainesaatavuus, käytettävyys hankalissa olosuhteissa sekä luoksepäästävyys ahtaisiin kohteisiin. Puikkohitsauksesta tekee hidasta lähinnä hitsauspuikon lyhyt vaihtoväli. Tyypillisimpiä käyttökohteita puikkohitsaukselle ovat ulkoilmaolosuhteissa toteutettavat rakennustyömaiden asennushitsaukset sekä konepajojen vaativat käyttökohteet, joiden hitsauksessa käytetään erikoislisäaineita. (Lepola ym. 2005, 42-81)

MAG-hitsaus on terästen hitsauksessa käytettävä puoliautomaattinen hitsausmenetelmä. Myös MAG-hitsaus on sulahitsausprosessi, jossa hitsausvirta syötetään käytettävän lisäainelangan välityksellä automaattisesti vakionopeudella hitsauskohtaan. Hitsauskohdassa lisäaineen ja perusaineen väliin syttyvä valokaari sulattaa perus- ja lisäainetta. MAG-hitsauksen etuina voidaan lukea noin kaksinkertainen nopeus puikkohitsaukseen verrattuna, laajat säätömahdollisuudet ja kaikissa asennoissa hitsattavuuden mahdollisuus. (Lepola ym. 2005, 103-105)

Suunnittelijan on hitsauksen suunnittelua varten selvitettävä, millaisia rasituksia tuotteeseen tulee käytännössä kohdistumaan. Hitsausprosessin laatuvaatimukset on jaettu kolmeen luokkaan, jotka määräävät hitsaussauman virheettömyysasteen, pinnan tasaisuuden sekä geometriset muodot. B-luokka on vaativin hitsausluokka.

Vaativinta hitsausluokkaa käytetään, kun tuotteelle asetetaan korkea turvallisuus- ja käyttövarmuusaste sekä tuotteeseen kohdistuessa väsyttävää rasitusta. B-hitsausluokassa vaaditaan jatkuvaa laadunvalvontaa sekä hitsaajalta voimassa olevia hyväksytysti suoritettuja pätevyyskokeita. C-hitsausluokka on yleisin konepajatuotannossa käytetyistä hitsausluokista. Teräsrakenne, johon kohdistuu staattista kuormitusta, on edellytetty hitsattavaksi C-luokan vaatimustason mukaisesti. D-hitsausluokka on tarkoitettu rakenteille, joiden vaurion- ja vaurion tuottaman vahingon mahdollisuus todetaan pieneksi. (Lepola ym. 2005, 46.) Kokoontan kaikki hitsausliitokset eivät aina vaadi yhtä vaativaa hitsausluokkaa, sillä kaikki liitokset eivät välttämättä ole kantavia. Koska työlaitekiinnikkeeseen voidaan todeta kohdistuvan dynaamista väsyttävää kuormitusta, on kokoonpanohitsaajalla tässä tapauksessa oltava B-hitsausluokan pätevyys sekä pätevyyskokeet voimassaolevana ja hyväksytysti suoritettuna.

Suunnittelijan tehtävänä on myös hitsausliitoksen mitoitus ja oikean kokoisten liitosten merkitseminen kokoonpanopiirustuksiin. Hitsausliitosten mitoitukseen ei ole yleispätevää ohjearvoa, sillä liitoksen lujuusvaatimukset riippuvat rakenteeseen kohdistuvista voimista. Rakenteeseen kohdistuvat voimat luokitellaan primääri- tai sekundäärikuormituksiksi. Primäärirakenne tarkoittaa rakennetta, johon kohdistuu suoria kuormituksia ja joka on tarkoitettu pitämään rakenteen koossa. Sekundäärirakenteet ovat rakenneosia, joihin ei kohdistu suoraan rasittavia voimia ja täten ne voidaan mitoittaa myös heikommiksi. Rakenneosien primäärikuormituksen alaiset liitokset tulee mitoittaa yhtä kestäviksi kuin rakenneosan perusaineen kestävyys. (Lepola ym. 2005, 375-378)

2.4.2 Ruuviliitos

Ruuviliitos on kokoonpanon yleisin liitosmenetelmä. Ruuviliitoksen etuja ovat mm. liitoksen purettavuus sekä mahdollisuus tärinöiden vaimentamiseen tärinälle alttiissa rakenteissa esimerkiksi pultin kannan alle asennettavan kumitiivisteiden välityksellä tai esikiristystä muuttamalla. Ruuviliitos vaatii kuitenkin aina reiät liitettäviin kappaleisiin, mikä tarkoittaa valmistuskustannusten lisäämistä, korroosioriskin kasvua sekä rakenteen heikentymistä ja kuormitushuippujen

kohdistumista reiän alalle. Kokoonpanossa ruuviliitokset lisäävät huomattavasti käsiteltäviä osia ja täten myös kokoonpanoon kuluva-aikaa. (Lempiäinen ym. 2003, 101-103)

Ruuvityyppejä on olemassa lukuisia erilaisilla mitoituksilla, kantatyypeillä ja pintakäsittelyvaihtoehdoilla. Monimutkaisessa tuotteessa suunnittelijan tulee kiinnittää erityistä huomiota mahdollisuuteen käyttää samanlaisia ruuvityyppejä useissa liitoksissa. Tämä vaikuttaa olennaisesti kokoonpanoon käytettävään aikaan. (Lempiäinen ym. 2003 103-107)

Työlaitealustan suunnittelussa käytetään hitsausliitoksia useassa liitoksessa tukevan rakenteen toteuttamiseksi. Liitosmenetelmät helpottavat myös monimutkaisen rakenteen valmistettavuutta. Ruuviliitoksien mahdollisuuksia tulee arvioida valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden näkökulmasta. Rakenteen tulee olla irrotettava ja täten liitettävä ruuviliitoksin traktorin runkoon. Myös huoltotoimenpiteiden helppous on vaikuttava tekijä liitosmenetelmien suunnittelussa.

3 TYÖLAITEALUSTAN RAKENNE

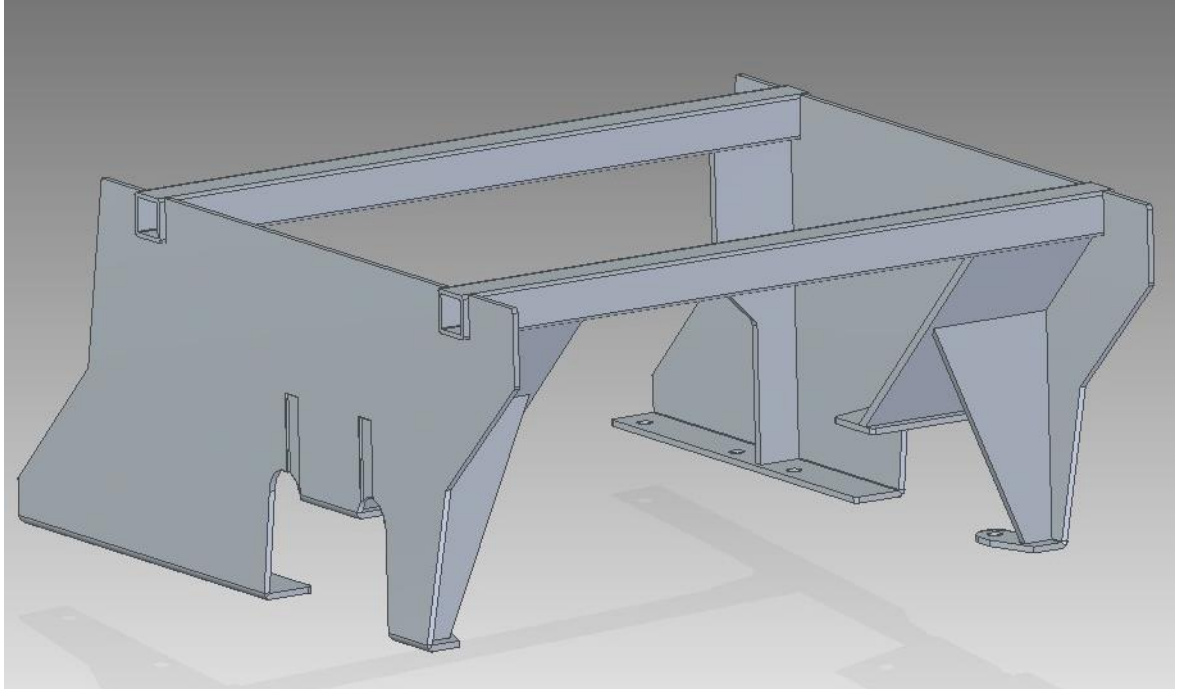
Kuten tavanomaisissa traktoreissa, JCB:n Fastrac-mallisarjan traktoreissa on takapäässä kolmipistenostolaite erilaisten työlaitteiden kiinnitystä varten. Kolmipistenostolaitteen lisäksi traktorin erikoisuuden, keskiohjaamon, tuomia etuja pystytään tarpeen mukaan hyödyntämään ulkomaan markkinoilla jo käytössä olevalla takarungon päälle asennettavalla kiinnitysalustalla. Kiinnitysalustan rakenteen suunnittelussa otetaan huomioon työkoneessa käytettävän tilan suuruus, rakenteeseen kohdistuvat rasitukset, asennus- ja huoltotoimenpiteiden toteuttaminen sekä erilaiset valmistustekniset rajoitukset.

3.1 Apurunko ja sovite

Apurunko on työkoneen varsinaiseen runkoon yhdistetty erillisen koneen osan runkorakenne. Sen välityksellä työlaitteen aiheuttamat voimat välitetään työkoneen varsinaiseen runkoon. Osakokonaisuus tullaan kiinnittämään traktorin ohjaamon taakse rungon takaosan päälle kiinteästi ruuviliitoksien avulla. Ruuviliitokset toteutetaan hyödyntämällä traktorin rungossa olevia valmiita reikiä, sillä ylimääräisten reikien poraaminen heikentää runkoa ja vaatisi rungon kestävyden uudelleen arviointia. Apurungon asennus- ja huoltotoimenpiteiden huomioonottaminen tarkoittaa käytännössä osien mahdollisimman yksinkertaista irrottamista tai kiinnitystä sekä traktorin komponenttien huoltomahdollisuuden arviointia osien ollessa kiinni. Suunnittelun lähtökohtana todettiin, että traktoriin kiinteästi kiinnitettävät osat, apurunko ja sovite, voisivat olla pulttiliitoksilla toisiinsa kiinnitettäviä osia nimenomaan huollettavuuden parantamiseksi sekä asennustoimenpiteiden nopeuttamiseksi. Kuitenkin, mikäli perustellusti voidaan todeta olevan järkevämpää asentaa osat toisiinsa kiinteästi hitsausliitoksien avulla, voidaan tämä toteuttaa.

Apurunko koostuu ohutlevystä valmistetuista traktorin runkoon alapäästä kiinnitettävistä kylkilevyistä, joita tukevoittaa kylkiin nähden poikkisuuntaisesti asennettavat tukilevyt. Kylkilevyjen alapää särmätään traktorin runkoa vastaavan levyiseksi. Särmättyyn osaan tehdään asennusreiät kiinnityspultteja varten. Apurungon kyljet yhdistetään yläpäästä poikkisuuntaisilla neliöpalkeilla toisiinsa,

joilla saadaan aikaan myös yläpäästä kiinteä rakenne. Kuviossa 1 esitetään eräs luonnospirros apurungon rakenteesta, jossa hahmottuu apurungon muodot ja edellä mainitut komponentit pääpiirteittäin.



Kuvio 1. Luonnospirros apurungosta.

Apurungon päälle asennettava sovite tarkoittaa työkoneeseen kiinteästi kiinnitettävää osaa, jonka päälle työlaite tullaan kiinnittämään pikakiinnitysratkaisua hyödyntäen. Työlaitteen pikakiinnitysratkaisun traktoriin kiinteästi asennettava puoli tullaan asentamaan sovitteeseen. Sovitteen kehikkomainen rakenne valmistetaan neliöpalkkiprofiilista ja asennetaan apurungon päälle ruuvi- tai hitsausliitoksien. Sovitteen tehtävänä on työlaitteen kiinnitysalustana toimimisen lisäksi osakokonaisuuden tukevoittaminen.

3.2 Työlaitteen kiinnike

Työlaitteen kiinnike on erilliseksi osaksi suunniteltava kiinnityskappale työlaitteelle. Kiinnike tullaan asentamaan työlaitealustan päälle asennettavan työlaitteen rungon alle siten, että työlaitteen pikakiinnitys työlaitealustan päälle on mahdollista. Pikakiinnitysratkaisun sovitteeseen yhteensopiva työlaitteen puoli asennetaan kiinnikkeeseen kiinteästi. Kiinnike rakennetaan neliöpalkkiprofiilista

kehikkomaiseksi rakenteeksi ja toteutetaan siten, että työlaitteen kiinnikkeen kautta soviteeseen ja apurunkoon kohdistuvat rasitukset välittyvät pääosin vastakkain asennettujen kehikkorakenteiden välityksellä, jolloin rakenteisiin kohdistuvien kuormitusten pintapaineet ja kiinnityspisteisiin kohdistuvat kuormitukset jäävät pienemmiksi. Työlaitteen kiinnikettä tullaan tarjoamaan asiakkaille erillisenä rakenteena, jolloin asiakkaat voivat itse asentaa kiinnikkeen haluamaansa työlaitteeseen. Kiinnikkeen asennus työlaitteeseen toteutetaan asentajan vastuulla vapaamuotoisesti, mutta sen on kestettävä vähintään ne suurimmat sallitut rasitukset, jotka osoitetaan tämän työn lopussa kohdistuvan työlaitealustaan ja -kiinnikkeeseen. Mikäli työlaitekiinnikkeen ja työlaitteen välisen kiinnityksen kestävyys alittaa tässä työssä suunniteltuun työlaitekiinnikkeeseen kohdistuvat suurimmat sallitut rasitukset, tulee työlaitteen käytössä esiintyvät rasitukset mitoittaa heikoimman kiinnityksen mukaisesti.

4 KIINNITYSMENETELMÄT

Tässä kappaleessa esitellään suunniteltavan työlaitteen kaltaisissa sovelluksissa käytettyjä kiinnitysmenetelmiä. Apurungon kiinnitysmenetelmä toteutetaan kiinteillä pulttiliitoksilla, joita käytetään myös kuorma-autojen apurunkojen liitosmenetelminä. Työlaitteen kiinnitysmenetelmänä käytetään pikakiinnitystapaa. Sovellettavia kiinnitysmenetelmiä selvitetään kuorma-autojen vaihtolavoissa käytettyjen kiinnikkeiden ja maataloustyökoneissa käytettyjen työlaitekiinnikkeiden menetelmiä tutkimalla. Kiinnitysmenetelmien esittelyn yhteydessä analysoidaan kiinnitysmenetelmän soveltuvuutta käytettäväksi työlaitealustassa.

4.1 Apurungon kiinnitys

Ajon aikana jokaisen ajoneuvon alusta joutuu alttiiksi staattisille ja dynaamisille voimille. Staattisen voiman aiheuttaa ajoneuvon ja kuorman massa. Dynaaminen voima tarkoittaa muuttuvaa, kiihtyvää voimaa. Dynaamisista voimista hyvänä esimerkkinä voidaan pitää tienpinnan epätasaisuuden aiheuttamat muuttuvat voimat, joiden vaikutuksesta massa pyrkii liikkumaan. Dynaamisten voimien arviointiin vaikuttavat mm. ajonopeus, ajoalustan pinnanmuodot sekä päällirakenteen malli. (Yleiset päällirakenneohjeet 2 2003, 9) Tässä työssä käytetään apuna kuorma-autojen päällirakentamisohteita ja sovelletaan niitä maatalouskoneiden kiinnitysmenetelmiä suunniteltaessa. Apurungon tulee kestää erilaisten työlaitteiden aiheuttamat rasitukset, jotka saattavat vaihdella paljon.

4.1.1 Kuorma-autojen päällirakenteiden kiinnitys

Apurunko on kuorma-autojen päällirakenteiden kiinnityksessä käytetty välikappale, jonka tehtävänä on jakaa kuormitus tasaisesti alustarungolle, vaimentaa päällirakenteesta runkoon välittyviä värähtelyjä sekä tuoda jäykkyyttä ja vähentää rasituksia peränylyksessä (Apurunkorakenne 2016, 1). Alustaan kohdistuvia dynaamisia voimia on mahdoton määritellä tarkasti. Suunnittelijan tehtävänä on arvioida kokemusten perusteella alustaan kohdistuvien dynaamisten voimien

suuruudet ja pääteltävä alustan kestävyysvaatimukset. Alustarakenteen kestävyteen voidaan vaikuttaa erilaisilla apurungon kiinnitysratkaisuilla. (Päällerakentamisen yleisohjeet 2010, 5)

Apurunko sijoitetaan varsinaisen työkoneen alustarungon päälle ja kiinnitetään ruuviliitoksilla. Liitosten on kestettävä ne voimat, jotka voivat erottaa apurungon alustarungosta. Apurungon kiinnityksessä käytetään tarpeen mukaan joustavia tai kiinteitä kiinnikkeitä. Joustavia kiinnikkeitä käytetään tyypillisesti kuorma-autojen apurungon etuosassa ajomukavuuden parantamiseksi, sillä kiinnikkeen sallima rajoitettu liike vähentää kitkan avulla rungon värähtelyjä. Kiinteillä kiinnikkeillä saadaan aikaan vääntö- ja taivutusjäykkä kiinnitys, jota useimmiten käytetään kuorma-auton apurungon takaosassa. Kiinteitä kiinnikkeitä on erityisesti käytettävä mm. kipillä tai nosturilla varustetussa ajoneuvossa, jolloin apurungon vääntymistä ei sallita. Apurungon kiinnitystyyppi riippuukin täysin siitä, onko päällirakenne vääntöjäykkä vai vääntöherkkä. (Yleiset päällirakenneohjeet 2 2003, 31-33)

4.1.2 Soveltaminen

Vääntöherkällä päällirakenteella tarkoitetaan sitä, että ajon aikana alustaan aiheutuvien dynaamisten voimien annetaan välittyä apurungon välityksellä alustarunkoon ja täten sallitaan alustarungon suuret vääntöliikkeet. Vääntöjäykkää päällirakennetta käytetään tapauksissa, joissa päällirakenteella on suuri vääntymisvastus. Tällöin alustarungon ja päällirakenteen välinen liike sallitaan ainoastaan kiertyessään sekä hyvin epätasaisilla ajoalustoilla ajettaessa. (Yleiset päällirakenneohjeet 2 2003, 32-36)

Kuorma-autojen päällirakenteiden mitoituksessa rasitukset ovat moninkertaisia verrattuna traktorin työlaitekiinnikkeeseen kohdistuviin rasituksiin. Suuremman kuorman lisäksi kuorman vaikutus rungon vääntymistäipumukseen aiheuttaa pitkän runkorakenteen takia suuremman vääntömomentin. Kuorma-autojen takaosassa, jonne esimerkiksi kippilaitetta käytettäessä suurimmat voimat kohdistuvat, käytetään vääntöjäykkää kiinnitystä. Yleisissä päällirakenneohjeissa (2010, 31) mainitut ajomukavuuteen ja rungon värähtelynestoon positiivisesti vaikuttavat etupään joustavat kiinnikkeet ovat kaukana suurimman vääntömomentin kohdasta

apurungon takaosassa. Siksi kuorma-autojen apurungon etupää voidaan kiinnittää joustavammin ja sallia apurungon lievä vääntyminen.

Alustan ja päällirakenteen käyttötarkoituksen lisäksi merkittäviä kiinnitystapaan ja mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat maasto-olosuhteet, kuorman tyyppi sekä kuorman korkeus (Päällirakentamisen yleisohjeet 2010, 10). Työlaitteet on pääsääntöisesti suunniteltu vaikeisiin olosuhteisiin ja epätasaisilla maastoilla käytettäväksi, jolloin tulee ottaa huomioon suuret dynaamiset kuormitukset sekä painopisteen siirtyminen ajoneuvon kallistuessa. Kuorman tyyppi tulee ottaa myös huomioon dynaamisia kuormituksia pohtiessa. Esimerkiksi nestemäisen kuorman loiske aiheuttaa suuria vääntövoimia alustaan.

4.1.3 Apurungon mitoitus

Kokoonpanon painonkestävyys ilmoitetaan tuotteen esittelyn yhteydessä, mutta vääntöjäykkyys ilmoitetaan vasta käyttöohjeessa tai laajemmassa tuote-esitteessä. Vääntöjäykkyyden suuruudelle ei olla projektin suunnitteluvaiheessa määrätty tiettyä vaatimusta, ja asiakkaat voivat asentaa minkä tahansa painovaatimuksen täyttävän työlaitteen alustaan. Siksi vääntöjäykkyyden suuruudentarpeen arvioiminen on myös suunnittelijan tehtävänä merkityksellinen. Suurempia vääntöjäykkyyksiä salliva työlaitealusta toimii useamman työlaitteen alustana, mutta lisää samalla valmistuskustannuksia. Vähemmän kestävällä rakenteella saavutetaan valmistuskustannuksiltaan edullisempi tuote, mutta rajoitetaan joidenkin asiakkaiden haluamien työlaitteiden, kuten esimerkiksi painovaatimuksen täyttävän varsinosturin, käytön alustalla. (Yi-Suomu 2017)

Tässä työssä on tarkoitus huomioida erilaisten työlaitteiden aiheuttamat rasitukset mahdollisimman monipuolisesti. Laitteen valmistuksen kannattavuus huomioon ottaen täytyy kuitenkin määritellä työlaitealustaan kohdistuvalle vääntövoiman kestävyydelle jokin raja. Vääntökestävyyttä laskiessa käytetään apuna tehdasvalmisteelle asetettuja rajoituksia, joissa painopisteen vähimmäisetäisyys traktorin takaosasta on 140mm sekä korkeus työlaitekiinnityksestä 540mm. Tuotteen suunnittelu pyritään toteuttamaan siten, että ominaisuudet vastaavat mahdollisimman paljon tehdasvalmisteisen mallin ominaisuuksia. Tuotteelle

määrättävien arvojen perusteella alustan päälle suunniteltavien työlaitteiden valmistajille asetetaan vaatimukset laitteen rajoituksista. Laitteen, joka ylittää lasketun vääntökestävyysrajan, asennus tulee kieltää.

4.2 Työlaitteen kiinnitys

Työlaitteen kiinnitysmekanismiin tulee olla pikakiinniketyyppinen helpottaakseen ja nopeuttaakseen työlaitteen kiinnitystä ja irrottamista työkoneesta. Sekä työkoneen että työlaitteen kiinnitysosien tulee kestää kaikki työlaitteiden aiheuttamat todennäköiset kuormitukset, joita esiintyy työlaitteen pyrkiessä siirtymään tai kallistumaan esimerkiksi heilahduksen aiheuttamasta voimasta (SFS-ISO 11374, 1). Työkoneissa käytetään usein standardinmukaisia pikakiinnikkeitä. Koska tässä suunnittelutyössä käsitellään uudenlaista kiinnitysratkaisua, on selvitettävä, voidaanko työlaitealustassa käyttää standardinmukaista kiinnitysratkaisua.

Standardit ovat yleisesti ja toistuvasti käytössä olevien menettelytapojen mukaisia suosituksia sekä standardisoinnista huolehtivan tunnustetun elimen hyväksymiä kirjallisia julkaisuja (Suomen standardisointiliitto SFS ry). Standardeja hyödynnetään tässä työssä helpottamaan yhteensopivuutta ja suunnittelua. Tässä kappaleessa tutustutaan työlaitekiinnikkeen suunnittelussa mahdollisesti hyödynnettäviin toteutusmenetelmiin ja standardeihin sekä selvitetään, onko standardin mukaisia kiinnitysvaihtoehtoja mahdollista hyödyntää. Standardinmukaisiin työlaitekiinnityksiin tutustumalla pystytään helpottamaan myös uudenlaisen työlaitekiinnityksen suunnittelua ja saatetaan monipuolistaa työlaitteiden sekä työlaitekiinnikkeen käyttömahdollisuuksia.

4.2.1 Maataloustyökoneissa käytetyt työlaitteiden kiinnitysmekanismit

Perinteisten traktoreiden sekä maatalous- ja metsäkoneiden työlaitekiinnikkeistä on laadittu standardeja, joiden mittojen ja toleranssien mukaisesti monet työkone- ja työlaitevalmistajat mitoittavat valitsemansa työlaitekiinnitysratkaisun. Standardeissa käsitellään työlaitteiden valmistuksessa noudatettavat kiinnitysmitat ja -vaatimukset. Tässä kappaleessa esitellään olemassa olevat maatalouskoneissa hyödynnettäviin

työlaitekiinnityksiin liittyvät standardit ja analysoidaan niiden soveltuvuutta tässä työssä suunniteltavaan työlaitealustaan.

Kolmipistekiinnitys on kahden vetovarren ja työntövarren muodostama kiinnitysmekanismi, jonka välityksellä työkone kiinnitetään kohtisuoraan traktorin takaosaan. Jokaisen varren molemmat päät ovat nivellettyjä, jolloin saadaan mahdollistettua työkonoiden monipuolinen liikuttelu. Kolmipistekiinnitystä käytetään traktorien yleisimpänä työlaitekiinnitysratkaisuna. Standardissa on esitetty maatalouskoneiden kokoluokkien 1-4 kolmipistekiinnitysten mitoitus. Kokoluokka määrittää traktorin voiman ulosottotehon suuruuden perusteella standardin ISO 789-1 mukaisesti. JCB Fastrac 4000 -sarjan traktorien voimanotto on mallista riippuen 103-145 kW, joten siihen sovelletaan kokoluokkaa 3. (SFS-ISO 730-1, 1996.) Myös traktorin etupäässä käytettävä etunostolaite perustuu kolmipistekiinnityksen standardiin. Etunostolaitteen poikkeavat mitat on esitetty standardissa ISO 8759, mutta sen toimintaperiaate on sama kuin kolmipistekiinnityksellä.

Kolmipistekiinnitysmenetelmälle on kehitetty työkonokytkinjärjestelmiä työkonoiden kiinnitysprosessin helpottamiseksi. Tällaisia ovat yksivaiheisella kytkentämenetelmällä toteutetut *A-kehyskytkin* ja *U-kehyskytkin* sekä kaksivaiheisella kytkentämenetelmällä toteutettu *kourakytkin*. Kehyskytkimet ovat kolmipistekiinnitykseen liitettäviä lisäosia, joilla työkonetta pystyy kiinnittämään kuljettajan poistumatta ohjaamosta (SFS-ISO 11001-1).

Kourakytkin on kaksivaiheinen kytkentämenetelmä, jossa työkoneseen on kiinnitetty kolme kolmipistekiinnikkeen mukaisesti sijoitettua kouraa, jotka kytketään työlaitteen kiinnikepisteisiin sijoitettuihin kiinnityspalloihin. Kourakytkimessä myös ylempi kiinnityspiste on varustettu itselukitsevalla lukituslaitteella, jolloin kytkentämenetelmä mahdollistaa työkonon kytkemisen kuljettajan poistumatta ohjaamosta. (SFS-ISO 11001-3)

Nelipistekiinnitys on kokoluokan 2 traktoreihin suunniteltu takapäin kiinnitysratkaisu. Standardissa esitetty kiinnitysmenetelmä koostuu kahden alapuolisen ja kahden yläpuolisen kiinnitysvarren yhdistelmästä, joilla työlaite saadaan kytkettyä liikkumattomasti kohtisuoraan työkonon takaosaan. Työlaitteen

kiinnitysosaan kuuluu neljä kiinteää kiinnitystappia jokaista kiinnitysvartta kohden. (SFS-ISO 11374)

Euro-sovite on traktorin etukuormaimessa käytettävä kiinnitysalusta. Sovite on kiinteä kiinnitysalusta, jota voidaan säätää etukuormaimella erisuuruisiin pystysuuntaisiin kulmiin. Kiinnitys toteutuu kahden kouran ja kahden kiinnitystapin välityksellä, jolloin kiinnitys toteutuu neljästä pisteestä. Euro-sovitteesta on olemassa useita vastaavalla kiinnityseriaatteella toteutettuja sovelluksia eri valmistajilta. Euro-sovitteelle määritelty suurin sallittu pystysuora kuormitus on 30 kN pisteessä, joka on vaakasuorassa 800 mm työlaitekiinnikkeen kiinnityspisteen etupuolella (SFS-ISO 23206).

Hubertrack on Ranskassa kehitetty uudenlainen matalan pintapaineen tarjoava työkone. Työkoneessa käytetään työlaitteen kiinnitykseen takarungon päälle toteutettua kiinteää kiinnitysmekanismia, joka mahdollistaa hydraulikan avulla työlaitteen liikuttamisen kiskoilla pituussuunnassa sekä työlaitteen kippaamisen. Työlaitteen kiinnitys on toteutettu pystysuuntaisesti asennetuilla koukuilla. Koukut on sijoitettu siten, että ne asettuvat työlaitteen etuosaan noin puolen metrin korkeudelle alareunasta. (Vale 2017) Sijoittamalla kiinnityspisteet ylemmäs saadaan kiinnityspisteisiin kohdistuvaa sivuttaisvoimien vaikutusta vähennettyä ja täten säästettyä kiinnitysten kestävyysvaatimuksissa. Kiinnityspisteen sijoitus työlaitealustan etuosaan vie tilaa työlaiteelta, tuottaa lisää painoa ja täten myös suurentaa valmistuskustannuksia. Etuna työlaitteen etuosan kiinnityksessä voidaan pitää mahdollisuutta suunnitella työlaiteesta pienin muutoksin myös kolmipistekiinnitykseen kiinnitettäväksi soveltuva ja täten useimpiin traktoreihin kiinnitettävä.

Kolmipistekiinnitys on tarkoitettu monella tapaa säädettäväksi työlaitekiinnikkeeksi ja on täten tarpeettoman monimutkainen rakenne sovellettavaksi tähän työlaitekiinnikeratkaisuun. A- ja U-kehyskytkimien sekä kourakytkimen liitännämenetelmässä kiinnitetään työlaite niin ikään säädettävän kolmipistekiinnitysmekanismin avulla työkoneeseen. Kiinteä ja yksinkertainen kiinnitysratkaisu on varmempitoiminen ja halvempi valmistaa. Kokoluokan 2 traktoreihin suunniteltu nelipistekiinnitys on myös traktorin takaosassa käytettävä kiinnitysratkaisu. Kaikissa edellä mainituissa kiinnitysratkaisuissa työlaite

asennetaan kiinnikkeeseen vaakatasoon, jolloin kiinnitysrunkoon kohdistuva momentti on suuri. Tällöin rungon kestävyysvaatimukset sekä valmistuskustannukset kasvavat verrattuna kiinteästi rungon päälle asennettavaan työlaitealustaan.

Euro-sovite-standardi on maatalouskoneiden kiinnitysmekanismiin liittyvistä standardeista ainut toteutustapa, jota voidaan soveltaa tässä työssä. Toteutustapa on yksinkertainen, eikä kiinnitystapa vaadi kiinnikkeen liikuttamista. Myös standardissa määritettyä kuormitusvaatimusta voidaan pitää vähintään suuntaa antavana mitoittaessa työlaitekiinnikettä. Hubertrack-traktorin kiinnitysmenetelmä vastaa tässä työssä suunniteltavaa kiinnitysmenetelmää siten, että työlaite asennetaan takarungon päälle. Kiinnityksen suunnittelussa on tässä tapauksessa kuitenkin valittava edullisempi menetelmä.

4.2.2 Vaihtolavojen kiinnitysmekanismit

Kuorma-autoissa käytettävien vaihtolavojen kiinnitykseen on olemassa useita eri tapoja. Apurungon tasonsäätöön perustuvassa kiinnityksessä kiinnitys toteutetaan ajamalla auto vaihtolavan alle, nostamalla tasonostimella tai auton säädettävällä ilmatoimisella alustalla auton apurunko vaihtolavan runkoa vasten, poistamalla vaihtolavan tukijalat ja laskemalla tasonostin tai ilmatoiminen alusta takaisin ajoasentoon. Tämän jälkeen vaihtolava lukitaan apurunkoon kiinni lukituslaitteilla. Tasonsäätöön perustuvassa kiinnityksessä on kyseessä samanlainen kiinnityksen periaate kuin tässä opinnäytetyössä suunniteltavassa työlaitteen kiinnityksessä.

On huomioitavaa, että vaihtolavojen kiinnityksessä kiinnityksen lujuusvaatimukset mitoitetaan useimmiten vastaamaan huomattavasti suurempia massoja kuin traktorin työlaitetta kiinnittäessä. Toisaalta vaihtolavan kiinnityksen tehtävänä on vain pitää päällirakenne paikallaan, eikä suoria kuormituksia kiinnitykseen välttämättä toteudu samalla tavalla kuin maataloustyövälineiden kiinnikkeisiin. Vaihtolavojen kiinnityksessä on yleistynyt myös kiinnityksen helppous ja automaatio, jolloin kiinnitystavasta saattaa muodostua tähän tarkoitukseen tarpeettoman kallis menetelmä.

Combilukko on yleinen nimitys kuorma-autossa käytettävälle paineilmatoimiselle vaihtolavan lukitusmenetelmälle. *Combilukkoja* on markkinoilla tarjolla useilta eri valmistajalta, joiden toteutukset poikkeavat toisistaan jonkin verran. Kiinnityksessä käytetään paineilmakäyttöisiä koukkuja, joilla vaihtolava kiinnitetään kauko-ohjatusti alustarunkoon.

Transmodi-vaihtolavakiinnitysjärjestelmä on uudenlainen ratkaisu vaihtolavojen kiinnitysmenetelmänä. Menetelmä perustuu rungon päälle poikittain asennettaviin lukkopalkkeihin, joiden välityksellä päällirakenne kiinnitetään alustaan. Menetelmän etuna on muihin kiinnitysratkaisuihin verrattuna rakenteen keveys ja mataluus sekä mahdollisuus asentaa alustalle useaan eri käyttötarkoitukseen suunniteltu päällirakenne heikentämättä ajo- tai käyttöominaisuuksia. Ratkaisu on kehitetty sellaisia asiakkaita varten, joilla päällirakenteiden vaihtotarve on jatkuvaa ja tällä perustellaan myös arvokkaampaa hintatasoa. (Perttilä 2015) Menetelmä on suunniteltu käytettäväksi N3-luokan ajoneuvoissa, joka tarkoittaa kokonaismassaltaan yli 12000 kg:n kuorma-autoja. Lukkoelementtien kiinnitys ja aukaisu toteutetaan kaukosäätöisesti ohjaamosta käsin. (Haahkola 2015, 3, 31)

K-80-vaihtolavakiinnike on TMT. Malinen Oy:n tarjoama vaihtolavakiinnitysmenetelmä. Kiinnikkeeseen kuuluu kiinnitysalustaan ja kiinnitettävään rakenteeseen hitsattavat erilliset kappaleet, jotka yhdistetään tappiliitoksella. Rakenne on yleisesti käytössä olevaan paineilmaohjattuun vaihtolavakiinnikkeeseen verrattuna hyvin yksinkertainen ja moneen käyttötarkoitukseen soveltuva ratkaisu. Mekaanisen kiinnityksen ansiosta rakenne ollaan voitu toteuttaa myös kevyemmäksi ja halvemmaksi valmistaa. (TMT. Malinen Oy, [Viitattu 16.4.2017])

Työlaitteen kiinnityksessä vaihtolavojen kiinnitysmekanismit ovat pääsääntöisesti sopimattomia, sillä useimpia mekanismeja käytetään paineilmalla. Vaikka työlaitteen kiinnitys voitaisiin myöhemmässä vaiheessa suunnitella käytettäväksi kauko-ohjatusti ulkoista energiaa hyödyntämällä, olisi järkevää käyttää työlaitteissa tyyppillisesti käytettävää hydraulikkaa paineilman sijaan. Mekaanisella kiinnityksellä toteutettu TMT. Malinen Oy:n tarjoama *K-80*-vaihtolavakiinnike soveltuisi myös työlaitteen kiinnikkeeksi. Kiinnitysmekanismin yksinkertaisuudella päästään kustannuksellisiin tavoitteisiin ja hitsattavan rakenteen ansiosta kiinnikkeen

asennuksen toteutusmahdollisuudet monipuolistuvat. Kiinnitykselle on osoitettu lujusominaisuudet, joiden perusteella mitoitus helpottuu.

5 SUUNNITTELU

Suunnittelutyöhön kuuluu käyttää paljon aikaa, koska laitteen valmistuskustannukset koostuvat pääosin muualta. Suunnittelu on toteutettava niin, ettei valmistuksen yhteydessä synny katkoja suunnitteluvirheiden takia. Suunnitteluvirheiden korjaamiseen kesken tuotteen valmistuksen syntyy huomattavia kustannuksia mm. työn seisauksen, läpimenoaikojen pitenemisen ja ylimääräisten kuljetusten takia. Suunnittelun vaikutus tuotteen valmistuskustannuksiin on täten suuri.

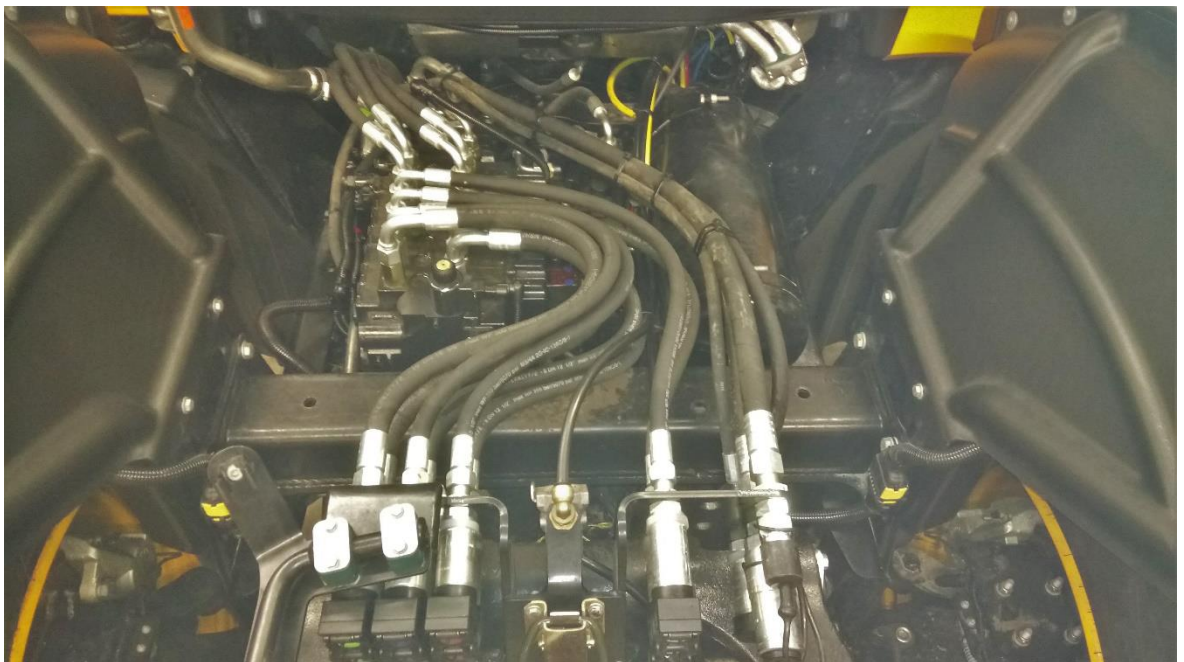
Suunnittelun aikana tärkeitä huomioitavia asioita ovat tuotteen valmistettavuus, teräksen työstöominaisuudet, kokoonpantavuus ja riskien minimoiminen. Valmistettavuudella tarkoitetaan sitä, että materiaaliominaisuuksien tulee sopia käytettäviin liitos- ja muokkausmenetelmiin. Kokoonpantavuuteen kuuluu liitosmenetelmien suunnittelun lisäksi kokoonpanojärjestyksen laatiminen. Suunnittelutyö aloitetaan arvioimalla työlaitealustan ainevahvuuksia kokemusten sekä työkoneen mittaustulosten perusteella sekä aloittamalla piirtämään suunniteltavia osia niiden perusteella. Kun kappaleista tehdään myöhemmässä vaiheessa lujuuslaskennat, voidaan arvioida, mikä teräslaatu olisi paras mahdollinen tähän tarkoitukseen ja ovatko ainevahvuudet sopivia. Mitä lähempänä ainevahvuuden arviointi on lopullista ainevahvuutta, sen vähemmän työtä vaaditaan materiaalivalintoja vertaillaessa. (Yli-Suomu 2017)

5.1 Luonnostelu

Apurungon luonnostelu alkoi työkoneen mittauksista ja mittausten perusteella osien mallintamisesta suunnitteluohjelmalla. Mitoitus toteutettiin mittaamalla työkoneesta työlaitealustalle varatun tilan mitat. Mittauksessa käytettiin apuna rullamittaa ja työntömittaa. Ensimmäisissä mittauksissa mitattiin työlaitteelle varatun tilan pääpiirteiset mitat, jotta työlaitteesta saatiin luonnosteltua halutun mallinen. Mallista tehtiin arviointien perusteella sellainen, että se vastaa mahdollisimman paljon lopullisia mittoja, mutta tulee muuttumaan tarkempien mitoitusten myötä. Luonnoksen perusteella voitiin arvioida alustavasti valittujen ainevahvuuksien

riittävyttä sekä rungon vahvistuksen tarvetta. Luonnosteluvaiheessa ohutlevyrungon levyjen vahvuutena käytettiin 5-10 mm arvoja, joiden perusteella arvioitiin lopullisen ainevahvuuden ja materiaalin tarpeellisuutta. Koska rungon muoto ei tule luonnoksesta radikaalisti muuttumaan, tuli myös tuotteen kokoonpantavuus, asennettavuus ja huoltotoimenpiteet huomioida tässä vaiheessa.

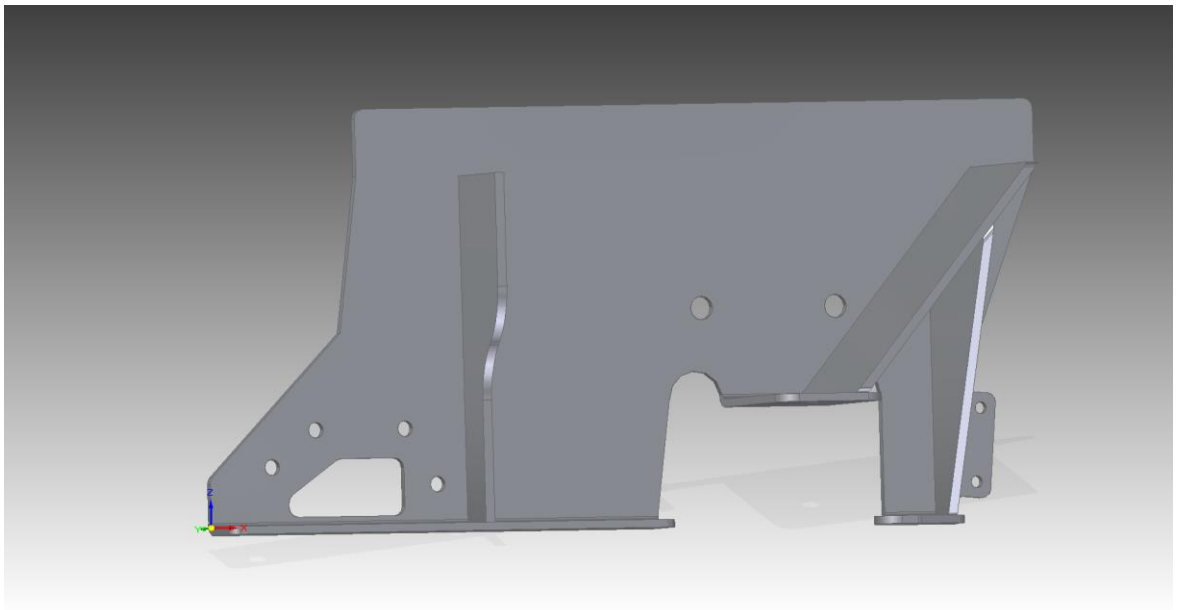
Koska apurunko on projektiin kuuluvista kolmesta kokonaisuudesta ominaisuuksiltaan ja piirteiltään toteutustapoja eniten rajoittava kappale, käytettiin apurungon luonnosteluun selvästi eniten aikaa. Erilaisia luonnospiiroksia tehtiin noin kymmenkunta. Luonnospiiirrosten eroavaisuuksia pohdittiin mm. ainevahvuuksien, työkoneessa käytettävissä olevan tilan, apurungon asennettavuuden, tuotantokustannusten, huoltotoimenpiteiden helppouden sekä käytettävissä olevien valmistustekniikoiden vaikutukset huomioiden. Apurungon muodot määräytyivät traktorin takarungon ja sen ympärillä olevan tilan perusteella. Kaikki apurunkoon kuuluvat osat mitoitettiin siten, että käytettävissä oleva tila tulee mahdollisimman tehokkaasti hyödynnetyksi.



Kuva 2. Apurungolle varattu tila traktorin ohjaamon takana.

Apurunkoa tullaan tarjoamaan asiakkaille myös käytettyihin traktoreihin yhteensopivaksi. JCB:n tarjoaman tehdasvalmisteisen työlaitealustan eräänä myyntimääriä rajoittavana tekijänä on traktorin takalokasuojien sijoituksen muutos

tilattaessa traktori tehdasvalmisteisella työlaitealustalla. Työlaitealustan kehityksessä valmistuskustannuksia vähennettiin suunnittelemalla rakenne siten, ettei lokasuojien alkuperäistä kiinnitystä tarvitse muuttaa. Kuviossa 2 on esitetty apurungon toisen kyljen muodot tukilevyineen. Kyljen muodot on suunniteltu mukailemaan käytettävissä olevaa tilaa. Täten voidaan maksimoida kevyen rakenteen kestävyysominaisuudet. Asennettavuutta on helpotettu kuvassa näkyvien asennusaukkojen avulla. Alustaa voidaan muutosten ansiosta tarjota myös jälkiasenteisena.



Kuvio 2. Apurungon kylki.

5.2 Materiaalien vertailu

Teräksen laadun valinnalla voidaan määritellä tuotteelle erilaisia ominaisuuksia. Tuote asettaa materiaalille vaatimuksia, joiden mukaisesti parhaiten soveltuvan ja edullisimman materiaalin valinta tulee selvittää. Yksi huomioitavista vaatimuksista materiaalille on suurimman jännityksen kestävyys, eli myötölujuus. Myötölujuudella kuvataan materiaalin raja-arvoa, jonka suuruisella jännityksellä materiaalin taipuma aiheuttaa pysyvän muodonmuutoksen (Koivisto ym. 2008, 63). Teräslaatuojen yksi nimeämisperusteista on lähtöisin myötölujuusarvosta.

Tuotteen valmistus tulee onnistua mahdollisimman yksinkertaisilla menetelmillä, jolloin kustannukset jäävät pieniksi. Materiaalivalinnan yhteydessä selvitettiin, millaisia valmistus- ja työstömenetelmiä valmistuksen yhteydessä toteutetaan. Ohutlevymateriaalin valinnassa selvitettiin materiaalin hitsattavuuteen ja taivutettavuuteen liittyvät rajoitukset. Työssä selvitettiin muutamien saatavilla olevien teräslaatuojen ominaisuuksia. Erikoislujuista, arvokkaammista teräslaaduista S650MC-laatuista terästä suositeltiin järkevän hintatason takia. Teräksen toimittaja SSAB suositteli vaihtoehdoksi myös saatavilla olevaa S700MC PLUS-laatuista terästä. Molemmat teräslaadut ovat ominaisuuksiltaan samojen standardien mukaisia, joten ominaisuuksia ja rajoituksia on helppo verrata. Teräkset ovat kylmämuovaukseen soveltuvia, tavanomaisilla hitsausmenetelmillä hitsattavia sekä särmäykseen soveltuvia ilman halkeilua. Taulukossa 3 esitetään kyseisten teräslaatuojen sekä tavanomaisemman S355MC-teräslaadun eroavaisuuksia. Teräslaatuojen ominaisuuksia vertailtiin SSAB:n verkkosivuilta.

Taulukko 3. Teräslaatuojen vertailua.

	S650MC	S700MC PLUS	S355MC
Myötölujuus	650 MPa (1)	700 MPa (1)	355 MPa
Murtolujuus	700-850 MPa	750-950 MPa	430-550 MPa
Paksuus	2-10 mm	3-12 mm	6-16 mm
Pienin sisäpuolinen taivutussäde 90°	1,5*t	1,5*t	0,5*t

(1) Jos paksuus on >8 mm, vähimmäismyötölujuus voi olla 20 MPa pienempi.

Putkipalkkiprofiiliksi suositeltiin S355- tai S420-teräslaadun tuotteita niiden järkevän hintatason takia. SSAB:lta pystytään tilaamaan myös erikoislujuja putkipalkkiprofiileja. Lujuuslaskelmien analysointivaiheessa kokeiltiin erikokoisten putkipalkkiprofiilien sopivuutta ja lopullinen valinta tehtiin lujuuslaskelmien jälkeen. Kaikkien teräsmateriaalien ja -profiilien saatavuustiedot varmistettiin teräksentoimittajilta.

Muokkausominaisuuksien lisäksi materiaalit asettavat hitsausmenetelmiin ja -aineisiin liittyviä vaatimuksia. MAG-hitsauksessa käytettävän lisäainelangan ja

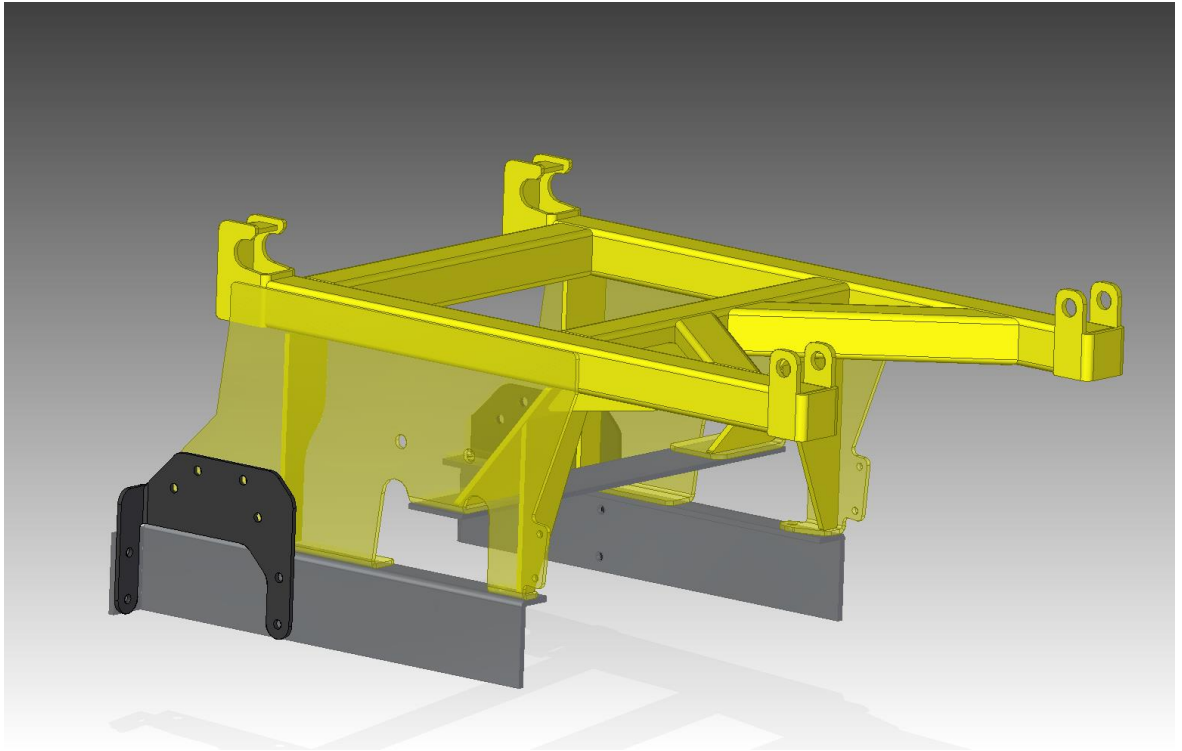
suojakaasun avulla tuotettavien ominaisuuksien on vastattava lujuusarvoiltaan hitsattavan materiaalin lujuutta. Hitsauslisäaineen valinnassa hyödynnettiin hitsausaineiden luokittelustandardia SFS-EN ISO 14341 sekä lisäainevalmistaja Esabin yhteyshenkilön (Halonen 2017) suosituksia. Lisäainelankana käytetään umpilankaa vaihtoehtoisen täytelangan sijaan edullisemmän hintatason takia.

MAG-hitsauksessa suojakaasuna käytetään tyypillisesti argonin ja hiilidioksidin tai argonin ja hapen kaasuseosta. Seosten pitoisuudet vaihtelevat happea sisältävällä suojakaasulla 1-10%:ssa ja hiilidioksidia sisältävällä suojakaasulla 1-25%. (Lepola ym. 2005. 103-113.) Kaasuntuotantoyhtiö Oy AGA Ab:n yhteyshenkilön (Kuusisto 2017) mukaan kaikkien vertailussa mukana olleiden terästen MAG-hitsauksessa voidaan käyttää tavanomaisille rakenneteräksille tarkoitettua argonin ja hiilidioksidin seoskaasua, joka sisältää 18% hiilidioksidia ($Ar + 18\%CO_2$).

5.3 Liitosmenetelmien suunnittelu

Työlaitekiinnikkeen rakenteeseen kuuluu useita hitsausliitoksia ja ruuviliitoksia. Liitosmenetelmät vaikuttavat rakenteen lujuuteen, voimien siirtymiseen, kokoonpantavuuteen, huollettavuuteen sekä materiaalikustannuksiin. Kiinnikkeen ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät ovat usein ristiriidassa toisiinsa nähden. Tästä syystä suunnittelijalla on merkittävä vaikutus toteuttaa ratkaisusta mahdollisimman järkevä jokaista osapuolta ajatellen.

Opinnäytetyön alkuvaiheessa todettiin, että apurunko ja sovite voitaisiin yhdistää toisiinsa pulttiliitoksin helpottaakseen kokoonpanon asennusta ja kokoonpanon alle jäävien hydraulikkakomponenttien huoltoa. Ruuviliitoksilla toteutettava rakenne lisäisi kuitenkin valmistuskustannuksia hitsattavaan rakenteeseen verrattuna lisääntyvän osien määrän myötä. Kokoonpanon suunnittelussa päädyttiin ratkaisuun, jossa apurunko ja sovite yhdistettiin toisiinsa hitsausliitoksin ottaen huomioon myös luoksepäästävyys hydraulikkakomponentteihin. Kuviossa 3 on esitetty kokoonpano, jossa sovite ja apurunko on yhdistetty hitsausliitoksin toisiinsa.



Kuvio 3. Apurunko ja sovite.

Apurungon kylkien liittämiseen työkoneeseen käytetään 8 kappaletta M16-kokoluokan pultteja molemmissa kyljissä. Liitosten kestävyden laskemisessa käytetään lujuusluokan 8.8 pultteja. Ruuviliitoksiin kohdistuu leikkausvoiman aiheuttama rasitus, jolloin ruuviliitokset mitoitetaan standardin EN 1993-1-8 (2005) mukaisesti:

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} \quad (1)$$

missä

a_v = kerroin lujuusluokan 8.8 ruuville 0,6

f_{ub} = vetomurtolujuus lujuusluokan 8.8 ruuville 800 N/mm^2

A = Ruuvin jännityspinta-ala 157 mm^2

γ_{M2} = Ruuviliitoksen osavarmuusluku 1,25

Yhden ruuviliitoksen kestävyys:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 157}{1,25} = 60288 \text{ N}$$

Ruuviliitokset toteutettiin samalla tavoin kuin JCB:n tehdasvalmisteisessa työlaitealustassa. Liitosten kestävyys voidaan todeta, kun ajatellaan traktorin olevan kallellaan epäedullisimmalla tavalla ja lasketaan kyseiseen suuntaan vaikuttavien pulttiliitosten kestävyys. Tässä tarkastelussa ei otettu huomioon muiden pulttiliitosten kitkaliitoksen vaikutusta. Epäedullisimmassa tilanteessa traktori on pystysuorassa, jolloin etupään neljä pulttiliitosta pitävät työlaitealustan paikallaan. Pulttiliitosten kestävyys tässä tilanteessa on yhteensä 240 kN, joten liitosten 6-kertainen kestävyys suurimpaan sallittuun kuormaan nähden voitiin todeta riittävän.

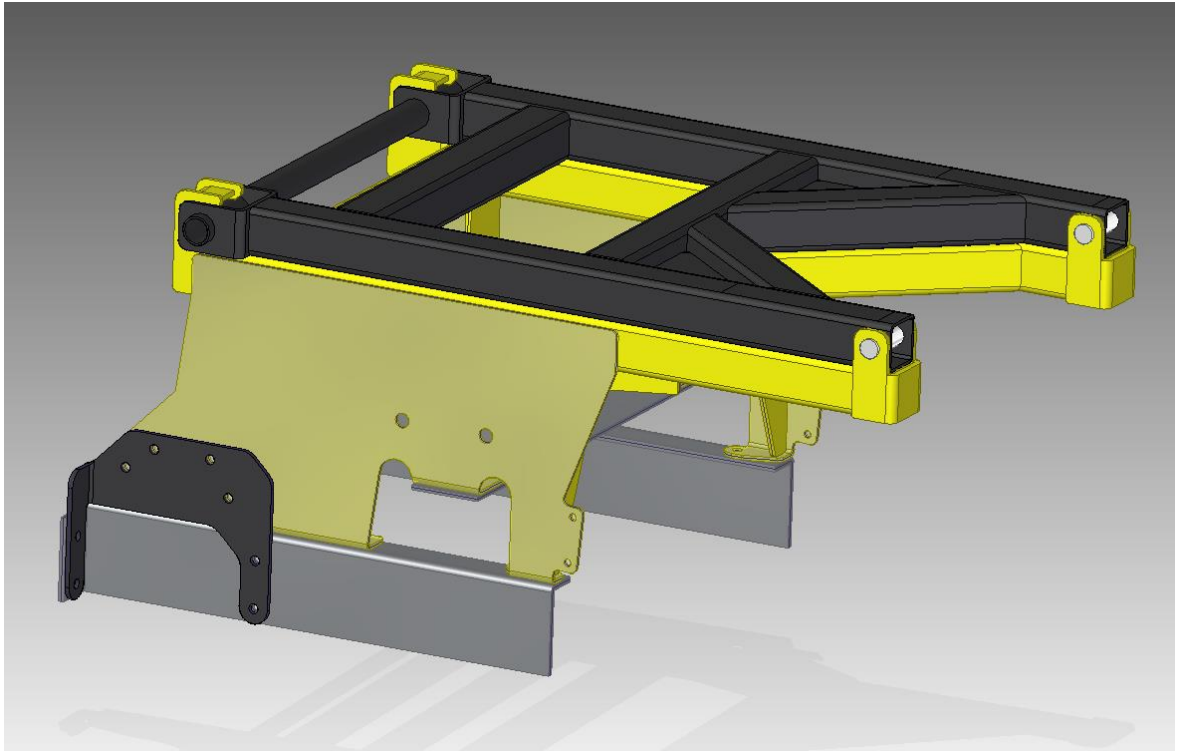
Hitsausliitosten suunnittelussa liitokset on jaoteltava voimaliitoksiksi ja kiinnitysliitoksiksi. Voimaliitokset voidaan mitoittaa suoraan tasavahvoiksi liitettävien materiaalien kanssa. Kiinnitysliitosten, joihin kohdistuu vain epäsuoria voimia, suunnittelussa tulee arvioida liitokseen kohdistuvan voiman suuruus ja mitoittaa liitos sen mukaisesti. Voimaliitosten mitoituksessa käytettiin nyrkkisääntönä ainevahvuuden kokoista a-mittaa.

5.4 FEM-Laskenta

Työlaitekiinnikkeen lopullinen mitoitus toteutettiin hyödyntäen FEM-laskentaa. Tietokoneavusteisella laskennalla voidaan simuloida rakenteelle kohdistuvia staattisia ja dynaamisia kuormituksia. Tässä työssä simuloitiin työlaitteen ja sen kuorman aiheuttamaa staattista kuormitusta työlaitealustalle sekä arvioitiin työlaitteen aiheuttamaa suurinta sallittua vääntömomenttia. Dynaamisella tarkastelulla voidaan simuloida liikkeestä aiheutuvia rasituksia, kuten epätasaisen maaston aiheuttamia värähtelyjä sekä rakenneosien väsymistä. Koulun tarjoamat resurssit rajoittivat kokoonpanon simuloinnissa käytettäväksi ainoastaan staattisten voimien simulointia.

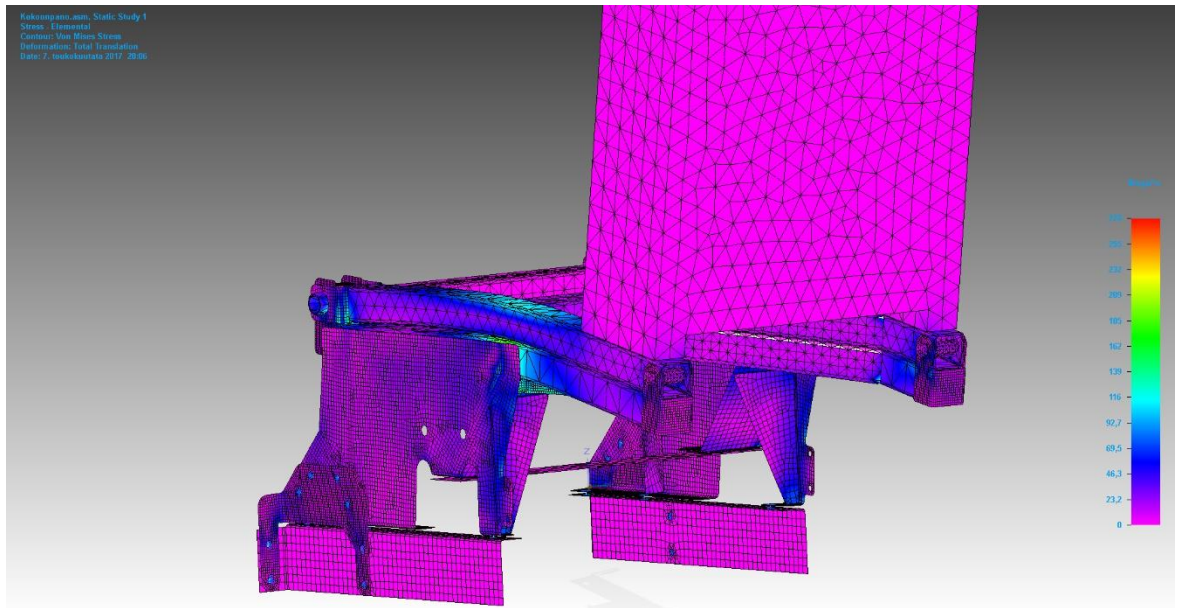
Simulointi toteutettiin kahdella tavalla. Ensin asetettiin voima työlaitekiinnikkeen pinnalle, jolloin kiinnikkeestä on helpompaa tarkastella alueita, jonne suurimmat kuormitukset kohdistuvat. Myöhemmissä tarkasteluissa työlaitekiinnikkeen päälle mallinnettiin työlaite kuvaamaan paremmin todellista tilannetta sekä vertailtiin

simuloinneista saatuja tuloksia. Tässä kappaleessa esitetään työlaitekiinnikkeen pinnalle asetetun voiman aiheuttamia kuormituksia. Työlaitteen avulla todenmukaistetut jännitys- ja nurjahdussimuloinnit on esitetty liitteissä 4 ja 5. Kaikista simulointien tuloksista saatiin hyväksyttäviä.



Kuvio 4. Työlaitekiinnike asennettuna alustaan.

Tietokoneavusteisen laskennan avulla verrattiin eri materiaalivahvuuksien toimivuutta kokoonpanossa sekä analysoitiin vääntökestävyyden suuruuden riittävyttä käytännön työtehtäviin. Kokoonpanon tarkasteluun käytettiin Siemens Solid Edge ST8 -ohjelmistoa. Staattisella tarkastelulla määriteltiin rakenteelle tarpeen mukaiset mitat, joilla kokoonpano tulee kestäväksi sille kohdistuvaa suurinta mahdollista kuormitusta. Mitoitus toteutettiin konedirektiivin 2006/42/EY (2006, Liite 1, kohta 4.1.2.3) mukaisesti laskemalla kuormitukset epäedullisimmassa tilanteessa maksimikuormituksella käyttäen staattisen mitoituksen varmuuskerrointa 1,5.



Kuvio 5. Jännitysten simulointi.

Kuviossa 5 työlaitealustaan ja -kiinnikkeeseen on kohdistettu suurin sallittu kuormitus epäedullisimmassa tilanteessa ottaen huomioon direktiivin mukainen varmuuskerroin. Kuvassa on siis simuloitu 6000 kg:n työlaitteen olevan painopisteeltään 140mm takapään kiinnityksen etupuolella. Simuloinnin mukaan työlaitekiinnikkeeseen kohdistuu tällöin suurimmillaan 278 MPa:n jännitys. Täten simuloinnista voidaan todeta tavanomaisen rakenneteräslaadun S355MC olevan riittävää tässä rakenteessa.

Kuviossa esitetty simulaatio on kokoonpanon viimeisimmästä versiosta. Simuloinnista voidaan todeta suurimman jännityksen sijainti graafisen tarkastelun perusteella, jolloin tuotteen kehittäminen helpottuu. Simuloinnin perusteella suurin kokoonpanoon kohdistuva rasitus kyseisellä kuormituksella sijaitsee sovitteen takimmaisena poikkipalkin ja apurungon takimmaisena tuen yhtymäkohdassa. Kokoonpanoa on simuloitu ja kehitetty projektin aikana useista eri kohteista

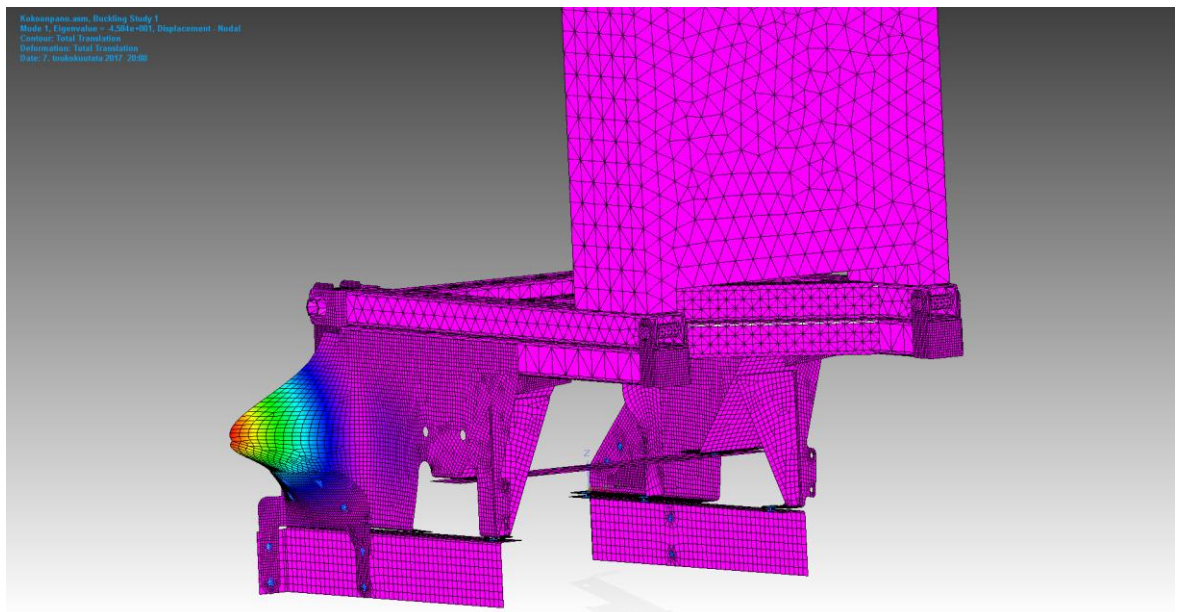
Rakenteen kestävä vääntöjäykkyyttä testattiin kuormittamalla työlaiteeseen sivulta kohdistuvaa tasaista voimaa painopistealueen rajalla. Työlaiteeseen kohdistettiin 18 kN:n voima sivulta, jolloin suurin alustaan aiheutuva jännitys on 352 MPa. Staattinen varmuuskerroin huomioiden työlaitealustalle voidaan laatia suurin sallittu vääntövoima kertomalla voima painopisteen korkeudella:

$$\frac{18000 \text{ N}}{1,5} * 0,54\text{m} = 6480 \text{ Nm}$$

5.4.1 Nurjahdus

Rakenteen tasapainon varmistaminen on ohutlevykokoonpanossa merkittävä. Nurjahdus tarkoittaa kappaleeseen kohdistuvan voiman aiheuttamaa pysyvää taipumaa, toisin sanoen vauriota kappaleessa. Apurungon kylkiin suunnitelluilla tukilevyillä vähennetään nurjahduksen vaaraa. Kappaleen tasapainoa voidaan tarkastella nurjahduskuormitusta simuloimalla FEM-laskennalla.

CAD-ohjelmistolla tarkasteltava nurjahdus on käytännössä epätarkka, sillä materiaalit eivät ole koskaan absoluuttisen suoria, kun taas ohjelmisto olettaa kappaleiden olevan täsmällisen suoria. Nurjahduskestävyyttä analysoidessa kannattaa kertoa ohjelman antama arvo 0,5:llä, jolloin ollaan lähempänä todellista arvoa. Nurjahduksen tarkempaan analysointiin vaaditaan kokemusperäistä käytännön testausta. (Kangas 2017)



Kuvio 6. Nurjahduksen simulointi.

Kuviossa 6 on simuloitu kokoonpanon nurjahdusta. Kuvasta huomataan graafisen muodon ja värin muutoksen perusteella apurungon vasemman kyljen etupään

olevan ensimmäisenä vaarassa nurjahtaa. Ohjelmalla laskettiin nurjahdukselle neljä ensimmäistä todennäköisintä kohtaa kokoonpanossa, joissa nurjahdus tulee todennäköisimmin tapahtumaan. Tuloksena ohjelma luo simulaatiot jokaisen kohdan nurjahduksesta ja antaa niille omat nurjahduskertoimet. Nurjahduskerroin kertoo kuinka moninkertaisesti kokoonpano tulee kestävänsä asetetun kuorman. Kun tarkastellaan epäedullisinta mahdollista tilannetta, asetetaan kuormaksi suurin sallittu kuorma ilmoitetun painopisteen rajalle. Kuormituksen suuruus on siis varmuuskertoimella kerrottuna $40 * 1,5 = 60 \text{ kN}$, joka vastaa noin 6000 kg:n kuormaa. Tällä kuormituksella ohjelma antaa nurjahduskertoimeksi 46. Kun tämä lukema kerrotaan 0,5:llä saadaan nurjahduskertoimeksi edelleen 23. Vaikka nurjahduksen tarkastelu todettiin FEM-laskennalla epätarkaksi, voidaan suuren kertoimen perusteella todeta kappaleen kestävänsä nurjahduksen puolesta varmasti.

Myös vääntöjäykkyyttä tarkastellessa tulee ottaa huomioon nurjahduksen mahdollisuus. Kun nurjahdusta tarkastellaan rasittamalla kokoonpanoa edellisessä kappaleessa käytetyillä arvoilla, saadaan nurjahduskertoimeksi 28. Puolittamalla nurjahduskerroin saadaan lukemaksi 14, joten voidaan todeta kappaleen kestävänsä myös tässä tapauksessa nurjahduksen puolesta varmasti.

5.4.2 Kiinnityksen testaus

Koska JCB Fastrac -traktorit ovat nopeakulkuisia liikennetraktoreita, on myös liikkeestä aiheutuvan liike-energian määrä suuri. Painavien laitteiden kuljetuksessa on kiinnitysten lujuuteen kiinnitettävä erityistä huomiota. Kiinnitysten lujuuslaskelmissa käytettiin kuorma-autojen vaihtokorien kiinnityksiin kohdistuvien suurimpien sallittujen voimien arvoja, jotka on ilmoitettu standardissa SFS 5455. Kiinnitysten on kestävä vaihtokorin ja sen kuorman yhteismassaan vaikuttavat voimat, kun tähän massaan vaikuttaa eteen- tai taaksepäin 14 m/s^2 , sivulle 7 m/s^2 tai pystysuoraan 10 m/s^2 kiihtyvyys (SFS 5455). Newtonin toisen lain mukaan kiihtyvyyden aiheuttaman kappaleeseen kohdistuvan voiman suuruus lasketaan kaavalla:

$$F = m * a \quad (2)$$

missä

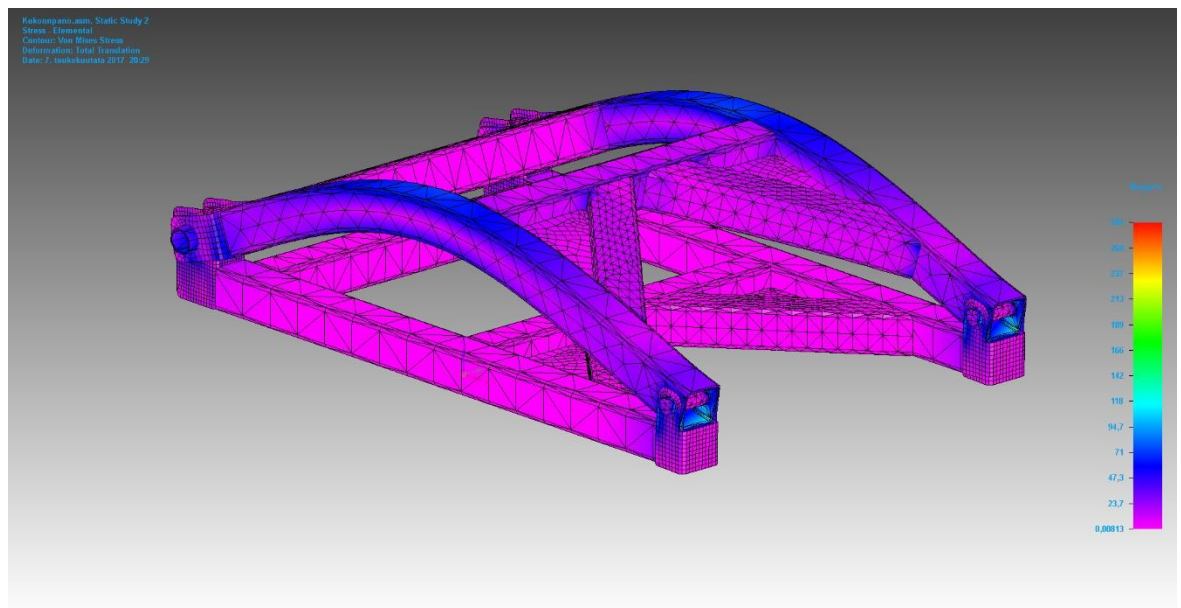
m = massa

a = kiihtyvyys

Esimerkiksi kiihtyvyyden $14m/s^2$ aiheuttama voima on

$$F = 4000kg * 14 \frac{m}{s^2} = 56 kN$$

Suurin kiinnikkeeseen kohdistuva jännitys edellä mainituilla testausarvoilla saatiin testatessa kiinnikkeiden lujuuksia ylöspäin kohdistuvilla kuormituksilla. Kiinnikkeeseen kohdistettu kuorma oli 40 kN ja siihen aiheutuva suurin jännitys 284 MPa. Kuviossa 7 on esitetty kyseinen simulaatio ylöspäin suuntautuvasta 40 kN:n kuormituksesta kiinnitykseen. Kiinnitysten lujuudet testattiin kaikissa edellä mainituissa tilanteissa. Kuvat muista simuloinneista on esitetty liitteessä 3.



Kuvio 7. Kiinnityksen simulointi

6 VALMISTUS

Tämän opinnäytetyön tuloksena laadittiin valmistuspiirustukset työlaitealustasta ja -kiinnikkeestä toimeksiantajayritykselle. Yritys voi valmistuttaa työlaitealustan ja -kiinnikkeen joko Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa tai ulkopuolisella konepajayrityksellä. Valmistuksessa noudatettiin konedirektiivin 2006/42/EY asettamia vaatimuksia niiltä osin, kuin tässä työssä toteutetuissa toimenpiteissä oli vaadittu. Konedirektiivin mukaisen työlaitteen valmistaminen vaatii tuotteelle toteutettavaa jatkokehitystä. Konedirektiivin mukaiset ja tässä työssä noudatetut vaatimukset on esitetty liitteessä 2. B-hitsausluokan vaatimustaso edellyttää hitsausohjeiden laatimista. Hitsausohjeet tulee laatia tuotteen valmistuksen yhteydessä. Tuotteen markkinoille saattaminen ei vaadi pakollisia käytännön testausmenettelyjä (Serenius 2017).

Tuotteen suunnittelussa huomioitiin mahdollisuus toteuttaa valmistus Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa. Työn tulosten perusteella konelaboratorioon voidaan tilata levy materiaalit ja toimia kuten normaalissa konepajassa. Koulun konelaboratoriossa on materiaalin muokkaamiseen liittyviä rajoitteita, kuten maksimissaan 3 mm:n paksuisen ohutlevyn särmäys. Koska tuotteessa käytetään suurempaa materiaalivahvuutta, tulee valmistus koulun tiloissa rajoittumaan kokoonpanohitsaukseen, jolloin osat tilattaisiin ulkopuoliselta konepajayritykseltä. Työn voisi toteuttaa projekti- tai opinnäytetyönä B-hitsausluokan pätevyyden suorittanut opiskelija. Mikäli kiinnostunut opiskelijaa ei löydy valmistusprojektia toteuttamaan, voidaan valmistus toteuttaa myös konepajayrityksessä. Työssä tehtiin toimeksiantajayritykselle selvitys muutamasta lähiseudulla sijaitsevasta konepajayrityksestä, joissa kyseisen kokoonpanon valmistus olisi mahdollista.

Haastavissa olosuhteissa käytettävälle ja korroosioherkälle teräsrakenteelle on tehtävä pintakäsittely. Kuumasinkitys on ulkokäyttöön soveltuva korroosiota kestävä pintakäsittelymenetelmä. Yleisimmin metallien maalauksessa käytetään jauhe- eli pulverimaalauksia. Se sopii hyvin suurille ohutlevytuotteille moniulotteisuutensa vuoksi. (Piironen 2013) Työlaitekiinnikkeen valmistuksen jälkeen tuote on

pintakäsiteltävä käyttöä varten. Pintakäsittelyä ei kuitenkaan käsitellä tämän enempää tässä opinnäytetyössä.

7 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä toteutettu tuotekehitysprojekti eteni odotusten mukaisesti. Tuloksena saatiin suunniteltua traktoriin 4000kg:n painoisen työlaitteen kestävä työlaitealusta, josta voidaan valmistus- ja kokoonpanopiirustusten mukaisesti rakentaa työlaitealustan prototyyppi. Staattisten lujuus- ja nurjahdustarkastelujen perusteella asetettiin työlaitealustalle asennettavan työlaitteen suurimmat sallitut jännitysten raja-arvot.

Tuotteen kehitystä voidaan laajentaa tarkastelemalla työlaitealustaan kohdistuvia dynaamisia kuormituksia. Dynaamisten kuormitusten perusteella voidaan simuloida rakenteeseen kohdistuvia väsyttäviä kuormia. Väsyttävien kuormitusten analysoinnilla voidaan arvioida muun muassa tuotteen kestoikää verraten käyttöolosuhteisiin. Lisäksi dynaamisen kuormituksen simuloinnilla voidaan tehdä tarkemmat kestävyysanalyysit ja käyttää konedirektiivin 2006/42/EY (2006, Liite 1: kohta 4.1.2.3) mukaista varmuuskerrointa 1,1. Täten materiaalivahvuuksien tarpeellisuutta voidaan analysoida tarkemmin ja mahdollisesti säästää valmistuskustannuksissa. Työhön oli tarkoitus suunnitella myös mitoitukset traktorin vetokoukun peilin uudelle telineelle sekä työntövarren kiinnityksen uudelle sijainnille, mutta suunnittelu todettiin olevan järkevämpää toteuttaa vasta työlaitekiinnikkeen valmistuttua.

Prototyypin valmistukseen ja esittelylaitteen luontiin staattisten kuormitusten tarkastelun voidaan todeta riittävän. Vaikka traktoriin asennettaville lisälaitteille, kuten työlaitealustalle, ei vaadita mitään pakollisia testausmenettelyjä, on tuotteelle hyvä toteuttaa jonkin asteiset käytännön testausmenettelyt. Testausmenettelyjen osoittamien havaintojen perusteella alustasta voidaan arvioida mahdollisia väsymisen merkkejä. Toinen suositeltava menetelmä alustan lujuuden varmistamiseksi on edellä mainittu dynaamisen tarkastelun suorittaminen, joka on tuotteen markkinoille saattamiseksi myös pakollinen toimenpide.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella toimeksiantajayritys NHK Groupille kotimaan markkinoille paremmin soveltuva työlaitealusta JCB Fastrac 4000 -sarjan traktoriin JCB:n tehdasvalmisteiseen malliin verrattuna. JCB tarjoaa uusiin traktoreihin tehtaalla asennettavaa työlaitealustaa, jota ei voi muutoksitta asentaa käytettyyn traktoriin. Uuden mallin myötä työlaitealustaa voidaan tarjota myös käytettyihin traktoreihin asennettavaksi, joten työlaitealustan myynnin voidaan odottaa kasvavan Suomessa.

Työn tausta rakennettiin perehtymällä tuotekehitystoimintaan, teräsrakenteiden valmistukseen ja erilaisiin käytössä oleviin työlaitteiden ja kuorma-autojen kiinnitysratkaisuihin. Suunnittelu toteutettiin tuotekehitysprojektina, jossa keskityttiin systeemi- ja detaljisuunnitteluun. Työlaitekiinnikkeelle määrättiin sekä kuluttajan että jälleenmyyjän näkökulmasta tärkeimmät tavoitteet, joiden mukaisesti tuotteen fyysinen mitoitus tuli toteuttaa. Kokoonpanon valmistuskustannukset mitoitettiin siten, että tuotetta on helpompi tarjota kotimaan markkinoille. Työlaitealustan kiinnityksen suunnittelussa hyödynnettiin kuorma-autojen päällirakentamisohjeita, joita voitiin osittain soveltaa tässä työssä. Työlaitekiinnityksen suunnittelussa selvitettiin erilaisissa työlaitteissa ja kuorma-autojen päällirakenteissa käytettäviä pikakiinnitysmenetelmiä ja analysoitiin niiden soveltuvuutta tässä työssä. Lopputuotoksena työlaitealustasta ja -kiinnikkeestä saatiin laadittua toimeksiantajalle valmistuspiirustukset, joiden pohjalta prototyyppi voidaan valmistaa. Työn lopputulosta voidaan pitää onnistuneena.

Sain opinnäytetyön aiheen ennalta tuntemattomalta toimeksiantajalta. Koin työn mielenkiintoisena haasteena, sillä työssä sai yhdistää uudistuvan maatalouskonetekniikan tietämystä sekä konesuunnittelun oppeja. Haastavinta työssä oli monimutkaisen kokoonpanon simuloinnin analysointi sekä rakenteen muokkaaminen jokaiselle taholle edullisimpaan mahdolliseen lopputulokseen.

LÄHTEET

- Haahkola, M. 2015. Kuormatilan vaihtojärjestelmän tuotekehitysprosessin arviointi. [Opinnäytetyö]. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu. [Viitattu 13.4.2017].
Saattavana:
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90567/Maiju_Haahkola.pdf?sequence=1
- Halonen, J. 2017. Yhteyshenkilö. Oy Esab. Sähköpostikeskustelu. 17.5.2017.
- Hentunen, E. 13.5.2013. Soviterunko. [Verkkodokumentti]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. [Viitattu 21.3.2017]. Saattavana:
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58897/Hentunen_Esa.pdf?sequence=1
- Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.
- Kangas, J. 2017. Yhteyshenkilö. Ideal Product Data Oy. Puhelinkeskustelu 2.5.2017.
- Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 2008. Konetekniikan materiaalioppi. 12.p. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Konedirektiivi. 9.6.2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.5.2017]. Saattavana: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/ALL/?uri=CELEX:32006L0042>
- Korhonen, S. A. & Larkiola, J. 2012. Ohutlevyjen muovauksen perusteet. Oulu: Teknillinen tiedekunta, Oulun yliopisto.
- Kuusisto, T. 2017. Yhteyshenkilö. Oy AGA Ab. Sähköpostikeskustelu 6.4.2017.
- Leino, T. 19.7.2006. Staattisesti kuormitettujen hitsausliitosten suunnittelu. [Verkojulkaisu]. Opetusministeriö, Ympäristöministeriö, Teräsrakenneyhdistys Ry. [Viitattu 9.2.2017]. Saattavana:
http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/HitsLiitSuunn_19-7-2006.pdf
- Lempiäinen, J & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – Puoliksi valmistettu. Helsinki: Suomen robotiikkayhdistys Ry.
- Lepola, P & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

NHK-Keskus Oy. Ei päiväystä. Fastrac traktorit. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.1.2017].
Saatavana: <http://www.nhk.fi/tks/96/fastrac-traktorit.html>

NHK-Keskus Oy. Ei päiväystä. Yritys. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.4.2017].
Saatavana: <http://www.nhk.fi/yritys.html>

Perttilä, A. 21.4.2015. Transmodi – Keino kausivaihtelun tasaamiseen.
[Verkkolehtiartikkeli]. Koneporssi. [Viitattu 13.4.2017]. Saatavana:
<http://www.koneporssi.com/uutiset/transmodi-keino-kausivaihtelun-tasaamiseen/>

Piironen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. [Verkkojulkaisu]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, HitNet. [Viitattu 9.2.2017]. Saatavana:
<http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>

Pukkila, T. 2017. Toimitusjohtaja. Ferrum Steel Oy. Sähköpostikeskustelu 23.3.2017.

Salmi, T & Pajunen, S. 2010. Lujusoppi. Tampere: Pressus Oy.

Serenius, M. 2017. Asiantuntija. VTT Expert Services Ltd. Sähköpostikeskustelu 21.4.2017.

SFS 5455. 1989. Ajoneuvot: Maahanlaskettavat vaihtokorilaitteet: KytKentämitat ajoneuvoissa. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 10149-1. 2013. Kuumavalssatut lujat kylmämuovattavat teräslevytuotteet: Osa 1: Yleiset tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 10149-2. 2013. Kuumavalssatut lujat kylmämuovattavat teräslevytuotteet: Osa 2: Termomekaanisesti valssattujen terästen tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu: osat 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-ISO 11001-2.1994. Traktorit ja maatalouskoneet: Työkonekytkimet Osa 2: A-kehyskytkin. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-ISO 11001-3. 1994. Traktorit ja maatalouskoneet: Työkonekytkimet Osa 3: Kourakytkin. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-ISO 11374. 1994. Traktorit, maatalous- ja metsäkoneet: Työkoneiden nelipistekiinnitys. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

- SFS-ISO 23206. 2007. Traktorit ja lisälaitteet: Etukuormaimet: Työvälineiden kiinnityslaitteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-ISO 2332. 1994. Traktorit ja maatalouskoneet: Työkoneiden kolmipistekiinnitys: Vapaatilat työkoneen ympärillä. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-ISO 730-1. 1996. Traktorit ja maatalouskoneet: Kolmipistekiinnitys. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SSAB Strenx 650 MC. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.3.2017]. Saatavana: <http://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/strenx/tuotteet/strenx-650-mc>
- SSAB Strenx 700. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.3.2017]. Saatavana: <http://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/strenx/tuotteet/strenx-700>
- Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Ei päiväystä. Standardit. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.2.2017]. Saatavana: <http://www.sfs.fi/>
- TMT. Malinen Oy. Ei päiväystä. K-80 Vaihtolavakiinnike. [Verkkosivu]. [Viitattu 16.4.2017]. Saatavana <http://www.tmt.fi/cms/tmt-malinen-oy/tuotteet/lukintalaitteet/lavakiinnikkeet/Vaihtolavakiinn-K-80-635847381137085294-detail>
- Vale, S. 4.4.2017. Lightweight 100hp French-made vehicle. [Verkkolehtiartikkeli]. Profi. [Viitattu 17.4.2017]. Saatavana: <https://www.profi.com/news/Lightweight-100hp-French-made-vehicle-8061960.html>
- Valtanen, E. 2013. Tekniikan taulukkokirja. 20.p. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.
- Veho trucks päällirakenteet. 9.12.2010. Päällirakentamisen yleisohjeet. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 14.3.2017]. Saatavana: <http://www.vehotrucks.fi/uudet-autot/paallirakenteet/>
- Yli-Suomu, J. 2017. Konelaboratorioinsinööri. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Haastattelu 14.2.2017.

LIITTEET

Liite 1: Työlaitealustalle laaditut rajoitukset

Liite 2: Konedirektiivin vaatimukset

Liite 3: Kiinnikkeiden simulointi

Liite 4: Jännityssimulaation raportti

Liite 5: Nurjahdussimulaation raportti

LIITE 1: Työlaitealustalle laaditut rajoitukset

- Painopisteen etäisyys takapään kiinnityksen etupuolella 140mm
- Painopisteen korkeus, jota on käytetty lujoustarkasteluissa: 540mm
- Suurin sallittu työlaitteen massa: 4000kg
- Suurin sallittu työlaitealustalle sivusuuntaan kohdistuva vääntömomentti:
6480 Nm

LIITE 2: Konedirektiivin vaatimukset

Konedirektiivissä on asetettu vaatimuksia, joiden mukaisesti kuluttajille tarjottavan työlaitekiinnikkeen valmistus tulee toteuttaa. Jatkokehitystä ajatellen tässä kappaleessa on eritelty konedirektiivin mukaisesti huomioitavia asioita. Työlaitekiinnike on luokiteltu direktiivissä nostoapuvälineeksi ja sen valmistuksessa tulee noudattaa liitteen 8 osoitettuja toimintavaatimuksia. Tuotteelle on toteutettava liitteen 7 kohdan A mukaisesti vaaditut toimenpiteet sekä siitä on laadittava kyseisen kohdan mukainen tekninen tiedosto, jolla osoitetaan tuotteen vaatimusten mukaisuus.

Tässä työssä on noudatettu seuraavia konedirektiivin mukaisia vaatimuksia:

- Staattisen lujuustarkastelun vaatimuksissa ja käytetty tuotteen kestävyuden simuloinnissa varmuuskerrointa 1,5.
- Tuotteeseen on laadittu rajoituksina korkeintaan 4000kg:n painoisen työlaitteen asentaminen työlaitalustan päälle siten, että sen painopisteen vähimmäisetäisyys takapäin kiinnityspisteestä on 140mm.
- Tuotteen valmistuksessa hitsaajalla tulee olla voimassa oleva B-hitsausluokan pätevyys.
- Työlaitealustaa ei olla suunniteltu henkilöiden nostamiseen tai kuljettamiseen.

Lisäksi:

- Tuotteeseen laadituista rajoitteista tulee olla tieto nostoapuvälineessä.
- Työlaitealusta tulee mitoitaa väsymis- ja vanhenemisilmiöt huomioonottaen, joka tarkoittaa käytännössä työlaitealustan dynaamisia tai kokeellisia tarkasteluja
- Jokaisessa myytävässä kokoonpanossa on ilmoitettava
 - o Tarkoitettu käyttö
 - o Käyttörajoitukset
 - o Kokoonpano-, käyttö- ja huolto-ohjeet
 - o Käytetty staattisen testin kerroin
- Konedirektiivin mukaisesti on suoritettava riskien arviointi. Riskien arviointi on iteratiivinen prosessi, johon kuuluu

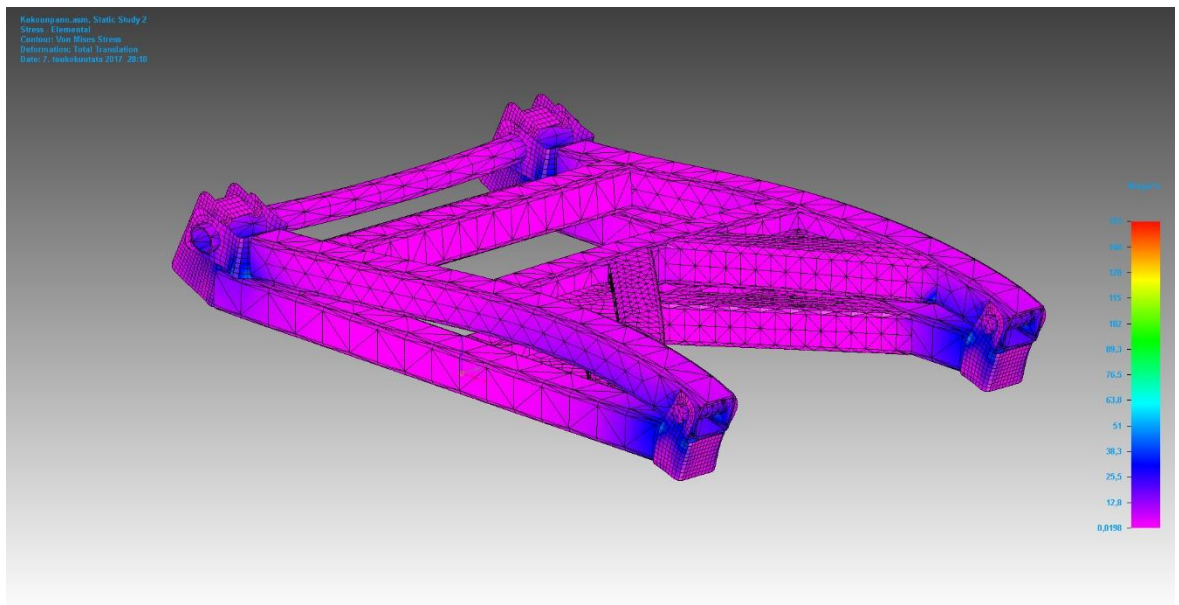
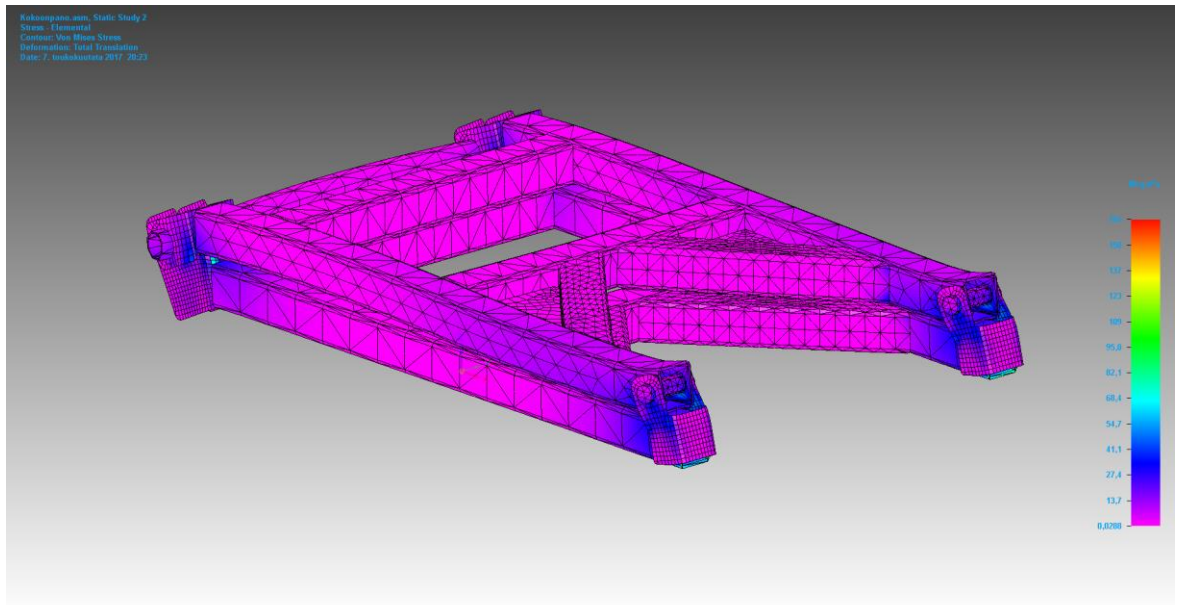
- Koneen raja-arvojen määrittäminen ja ennakoitavissa olevien väärinkäyttöjen huomioiminen
- Koneen mahdollisesti aiheuttamien vaarojen ja riskien tunnistaminen
- Riskin suuruuden arvioiminen huomioiden vamman tai terveyshaitan vakavuus ja todennäköisyys
- Riskien merkityksen arvioiminen riskin pienentämisen tarpeen arvioimiseksi
- Vaarojen poistaminen tai niihin kohdistuvien riskien pienentäminen direktiivin liitteen 1 kohdan 1.1.2 mukaisesti
- Käytettävä liitteen 1 kohdan 1.7.3 ja 1.7.4 merkintöjä ja ohjeita koskevia velvoitteita

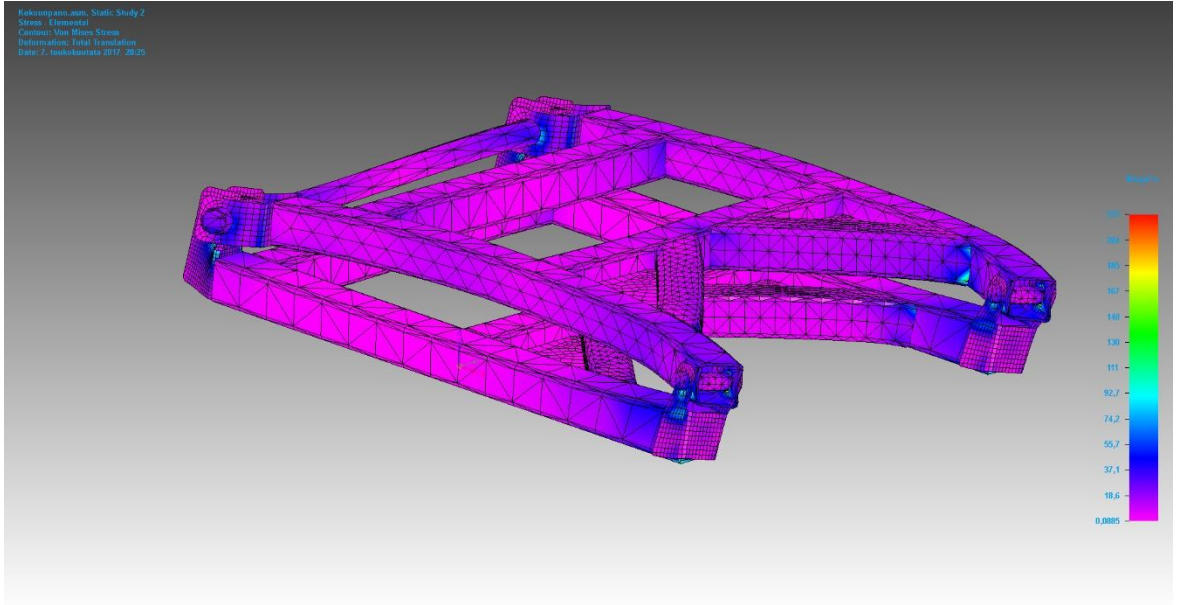
LIITE 3: Kiinnikkeiden simulointi

Kuva 1: Kuormituksen kohdistuessa takaapäin 164 MPa

Kuva 2: Kuormituksen kohdistuessa edestä päin 154 MPa

Kuva 3: Kuormituksen kohdistuessa sivulta 222 MPa





LIITE 4: Jännityssimulaation raportti

Jännityssimulaatio

Company

SeAMK

Date

7.5.2017

Software Used

Solid Edge ST(108.00.07.004 x64)

Femap (11.1.2)

Solver Used

NX Nastran (9)

Study Properties

Study Property	Value
Study name	StaticStudy 1
Study Type	Linear Static
Mesh Type	Mixed and General Bodies
Iterative Solver	Off
NX Nastran Geometry Check	Warning Only
NX Nastran command line	
NX Nastran study options	
NX Nastran generated options	
NX Nastran default options	
Surface results only option	On

Study Geometry

Solids

Solid Name	Material	Mass	Volume	Weight
------------	----------	------	--------	--------

Työlaite.par:1	Stainless Steel (Occurrence)	4000,000 kg	220094000,000 mm ³	39200004,519 mN
80x80x5 R10 S01.par:1	Steel (Occurrence)	13,775 kg	1758633,825 mm ³	134998,712 mN
80x80x5 R10 S02.par:1	Steel (Occurrence)	7,411 kg	946073,217 mm ³	72623,797 mN
80x80x5 R10 S01.par:2	Steel (Occurrence)	13,775 kg	1758633,825 mm ³	134998,712 mN
80x80x5 R10 S02.par:2	Steel (Occurrence)	7,411 kg	946073,217 mm ³	72623,797 mN
80x80x5 R10 S03.par:1	Steel (Occurrence)	4,565 kg	582791,908 mm ³	44737,088 mN
80x80x5 R10 S03.par:2	Steel (Occurrence)	4,565 kg	582791,908 mm ³	44737,088 mN
80x80x5 R10 TL1.par:1	Steel (Occurrence)	13,429 kg	1714447,571 mm ³	131606,825 mN
80x80x5 R10 TL2.par:1	Steel (Occurrence)	7,411 kg	946073,217 mm ³	72623,797 mN
80x80x5 R10 TL2.par:2	Steel (Occurrence)	7,411 kg	946073,217 mm ³	72623,797 mN
80x80x5 R10 TL1.par:2	Steel (Occurrence)	13,429 kg	1714447,571 mm ³	131606,825 mN
80x80x5 R10 TL3.par:1	Steel (Occurrence)	4,565 kg	582791,908 mm ³	44737,088 mN
80x80x5 R10 TL3.par:2	Steel (Occurrence)	4,565 kg	582791,908 mm ³	44737,088 mN
Kiinnityspotki.par:1	Steel (Occurrence)	3,196 kg	408055,187 mm ³	31323,704 mN
Takapään kiinnitystappi.par:1	Steel, structural (Occurrence)	0,699 kg	89271,497 mm ³	6852,784 mN
Takapään kiinnitystappi.par:2	Steel, structural (Occurrence)	0,699 kg	89271,497 mm ³	6852,784 mN

Material Properties

1 Steel

Property	Value
Density	7833,000 kg/m ³
Coef. of Thermal Exp.	0,0000 /C
Thermal Conductivity	0,032 kW/m-C
Specific Heat	481,000 J/kg-C
Modulus of Elasticity	199947,953 MegaPa
Poisson's Ratio	0,290
Yield Stress	355,000 MegaPa
Ultimate Stress	470,000 MegaPa
Elongation %	0,000

2 Steel, structural

Property	Value
Density	7833,000 kg/m ³
Coef. of Thermal Exp.	0,0000 /C
Thermal Conductivity	0,032 kW/m-C
Specific Heat	481,000 J/kg-C
Modulus of Elasticity	199947,953 MegaPa
Poisson's Ratio	0,290
Yield Stress	355,000 MegaPa
Ultimate Stress	430,000 MegaPa
Elongation %	0,000

3 Stainless Steel

Property	Value
----------	-------

Density	18174,055 kg/m ³
Coef. of Thermal Exp.	0,0000 /C
Thermal Conductivity	0,017 kW/m-C
Specific Heat	502,000 J/kg-C
Modulus of Elasticity	193053,196 MegaPa
Poisson's Ratio	0,290
Yield Stress	255,106 MegaPa
Ultimate Stress	579,160 MegaPa
Elongation %	0,000

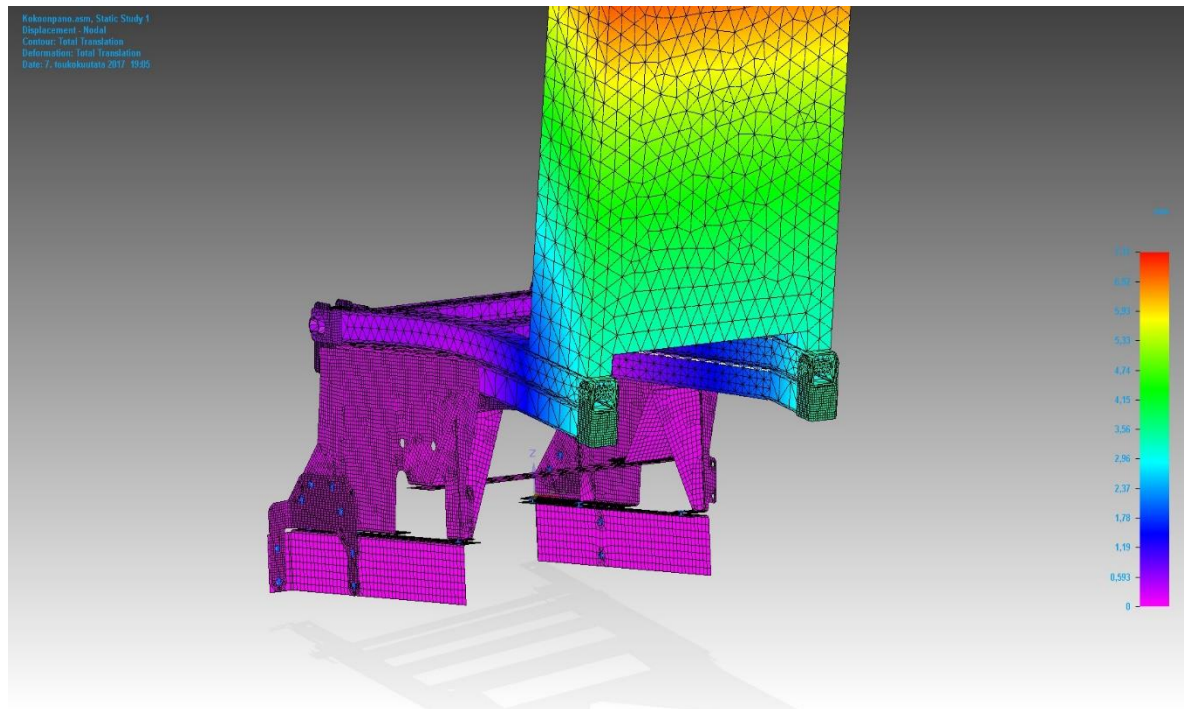
Mesh Information

Mesh type	Mixed and General Bodies
Total number of bodies meshed	43
Total number of elements	68 237
Total number of nodes	108 254
Subjective mesh size (1-10)	6

Results

1 Displacement Results

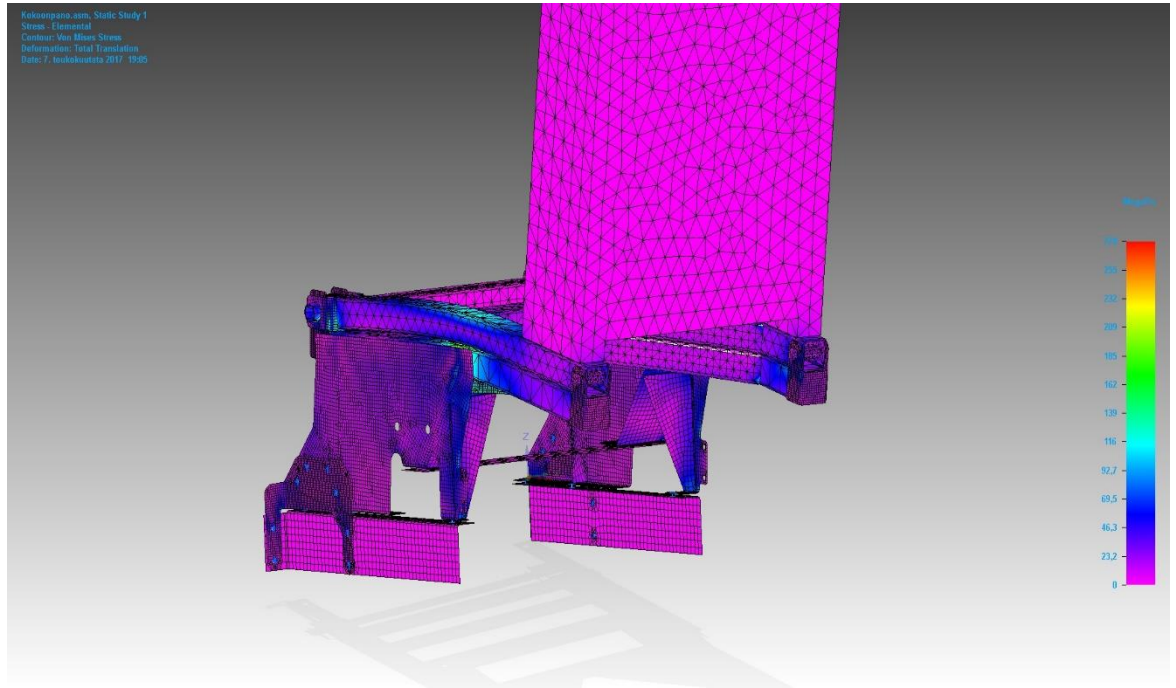
Result component: Total Translation				
Extent	Value	X	Y	Z
Minimum	0 mm	629,990 mm	-103,010 mm	113,000 mm
Maximum	7,11 mm	1437,606 mm	-819,000 mm	1522,000 mm



Total Translation

2 Stress Results

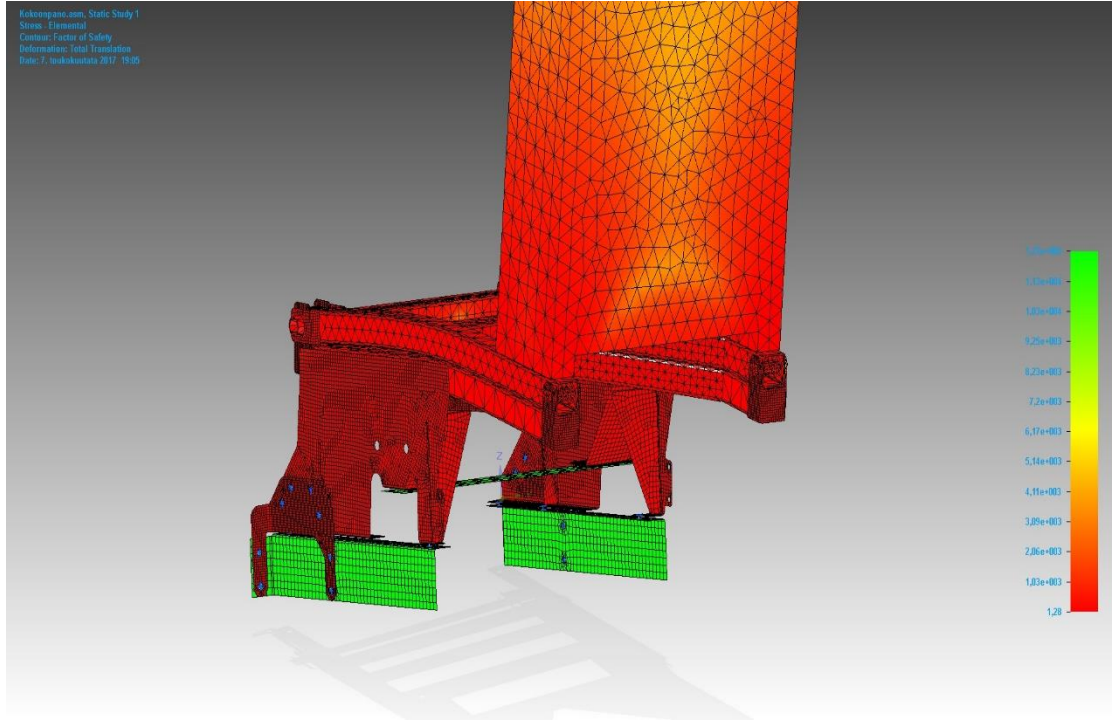
Result component: Von Mises				
Extent	Value	X	Y	Z
Minimum	0 MegaPa	629,990 mm	-103,010 mm	113,000 mm
Maximum	278 MegaPa	822,605 mm	-739,000 mm	432,000 mm



Von Mises

3 Factor of Safety Results

Result Component: Factor of Safety				
Extent	Value	X	Y	Z
Minimum	1,28	822,605 mm	-739,000 mm	432,000 mm
Maximum	1,23e+004	452,605 mm	-452,478 mm	482,000 mm



Factor of Safety

LITE 5: Nurjahdussimulaation raportti

Nurjahdussimulaatio

Company

SeAMK

Date

7.5.2017

Software Used

Solid Edge ST(108.00.07.004 x64)

Femap (11.1.2)

Solver Used

NX Nastran (9)

Study Properties

Study Property	Value
Study name	Buckling Study 1
Study Type	Linear Buckling
Mesh Type	Mixed and General Bodies
Iterative Solver	Off
Number of modes	4
Frequency Range	
NX Nastran Geometry Check	Warning Only
NX Nastran command line	
NX Nastran study options	
NX Nastran generated options	
NX Nastran default options	
Surface results only option	On

Study Geometry

Solids

Solid Name	Material	Mass	Volume	Weight
Työlaite.par:1	Stainless Steel (Occurrence)	4000,000 kg	220094000,000 mm ³	39200004,519 mN
80x80x5 R10 S01.par:1	Steel (Occurrence)	13,775 kg	1758633,825 mm ³	134998,712 mN
80x80x5 R10 S02.par:1	Steel (Occurrence)	7,411 kg	946073,217 mm ³	72623,797 mN
80x80x5 R10 S01.par:2	Steel (Occurrence)	13,775 kg	1758633,825 mm ³	134998,712 mN
80x80x5 R10 S02.par:2	Steel (Occurrence)	7,411 kg	946073,217 mm ³	72623,797 mN
80x80x5 R10 S03.par:1	Steel (Occurrence)	4,565 kg	582791,908 mm ³	44737,088 mN
80x80x5 R10 S03.par:2	Steel (Occurrence)	4,565 kg	582791,908 mm ³	44737,088 mN
80x80x5 R10 TL1.par:1	Steel (Occurrence)	13,429 kg	1714447,571 mm ³	131606,825 mN
80x80x5 R10 TL2.par:1	Steel (Occurrence)	7,411 kg	946073,217 mm ³	72623,797 mN
80x80x5 R10 TL2.par:2	Steel (Occurrence)	7,411 kg	946073,217 mm ³	72623,797 mN
80x80x5 R10 TL1.par:2	Steel (Occurrence)	13,429 kg	1714447,571 mm ³	131606,825 mN
80x80x5 R10 TL3.par:1	Steel (Occurrence)	4,565 kg	582791,908 mm ³	44737,088 mN
80x80x5 R10 TL3.par:2	Steel (Occurrence)	4,565 kg	582791,908 mm ³	44737,088 mN
Kiinnityspotki.par:1	Steel (Occurrence)	3,196 kg	408055,187 mm ³	31323,704 mN
Takapään kiinnitystappi.par:1	Steel, structural (Occurrence)	0,699 kg	89271,497 mm ³	6852,784 mN
Takapään kiinnitystappi.par:2	Steel, structural (Occurrence)	0,699 kg	89271,497 mm ³	6852,784 mN

Material Properties

1 Steel

Property	Value
Density	7833,000 kg/m ³
Coef. of Thermal Exp.	0,0000 /C
Thermal Conductivity	0,032 kW/m-C
Specific Heat	481,000 J/kg-C
Modulus of Elasticity	199947,953 MegaPa
Poisson's Ratio	0,290
Yield Stress	355,000 MegaPa
Ultimate Stress	470,000 MegaPa
Elongation %	0,000

2 Steel, structural

Property	Value
Density	7833,000 kg/m ³
Coef. of Thermal Exp.	0,0000 /C
Thermal Conductivity	0,032 kW/m-C
Specific Heat	481,000 J/kg-C
Modulus of Elasticity	199947,953 MegaPa
Poisson's Ratio	0,290
Yield Stress	355,000 MegaPa
Ultimate Stress	430,000 MegaPa
Elongation %	0,000

3 Stainless Steel

Property	Value
Density	18174,055 kg/m ³
Coef. of Thermal Exp.	0,0000 /C
Thermal Conductivity	0,017 kW/m-C

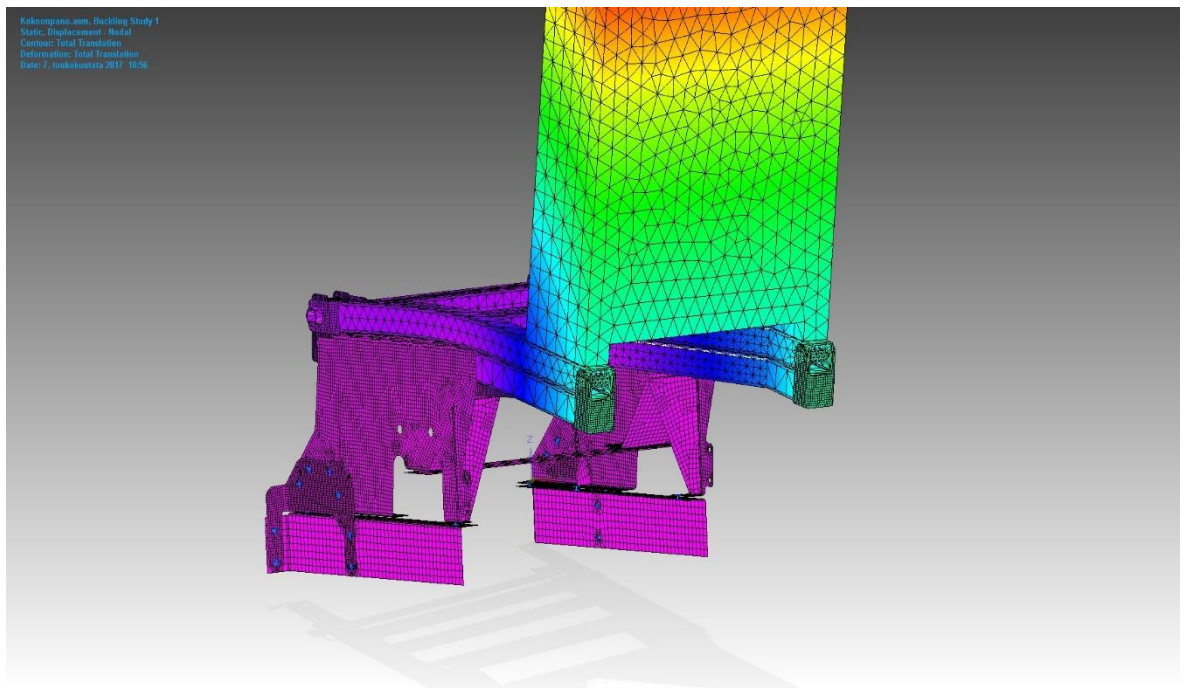
Specific Heat	502,000 J/kg-C
Modulus of Elasticity	193053,196 MegaPa
Poisson's Ratio	0,290
Yield Stress	255,106 MegaPa
Ultimate Stress	579,160 MegaPa
Elongation %	0,000

Results

1 Static

1.1 Displacement Results

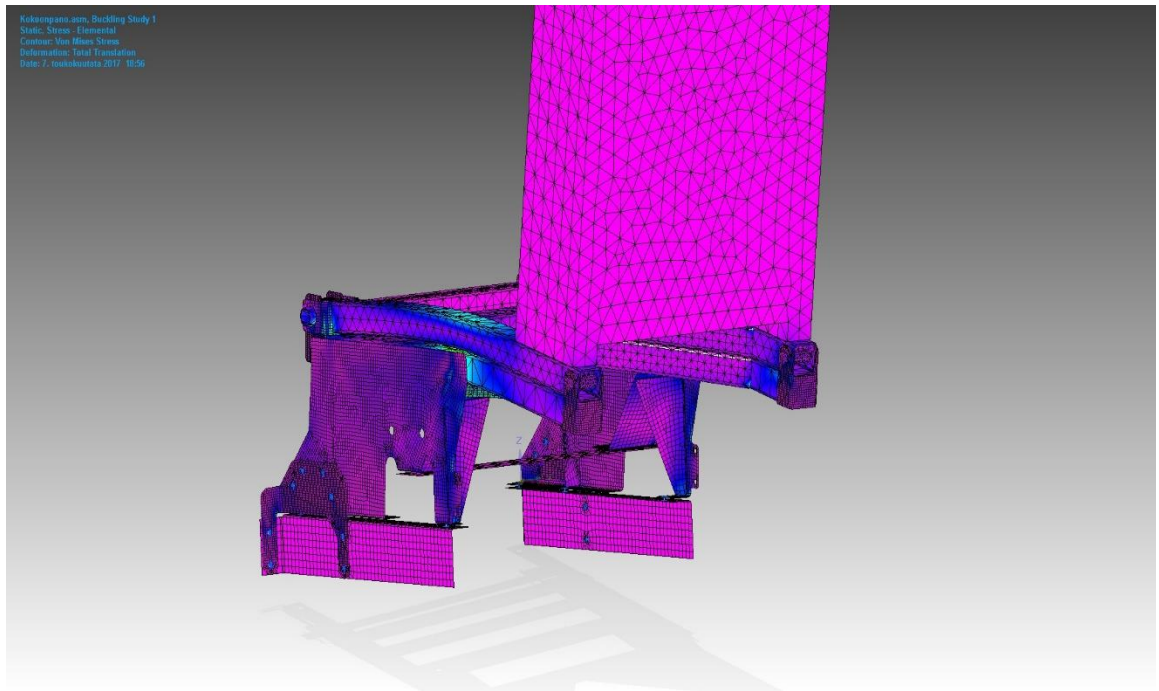
Result component: Total Translation				
Extent	Value	X	Y	Z
Minimum	0 mm	629,990 mm	-103,010 mm	113,000 mm
Maximum	7,11 mm	1437,606 mm	-819,000 mm	1522,000 mm



Total Translation

1.2 Stress Results

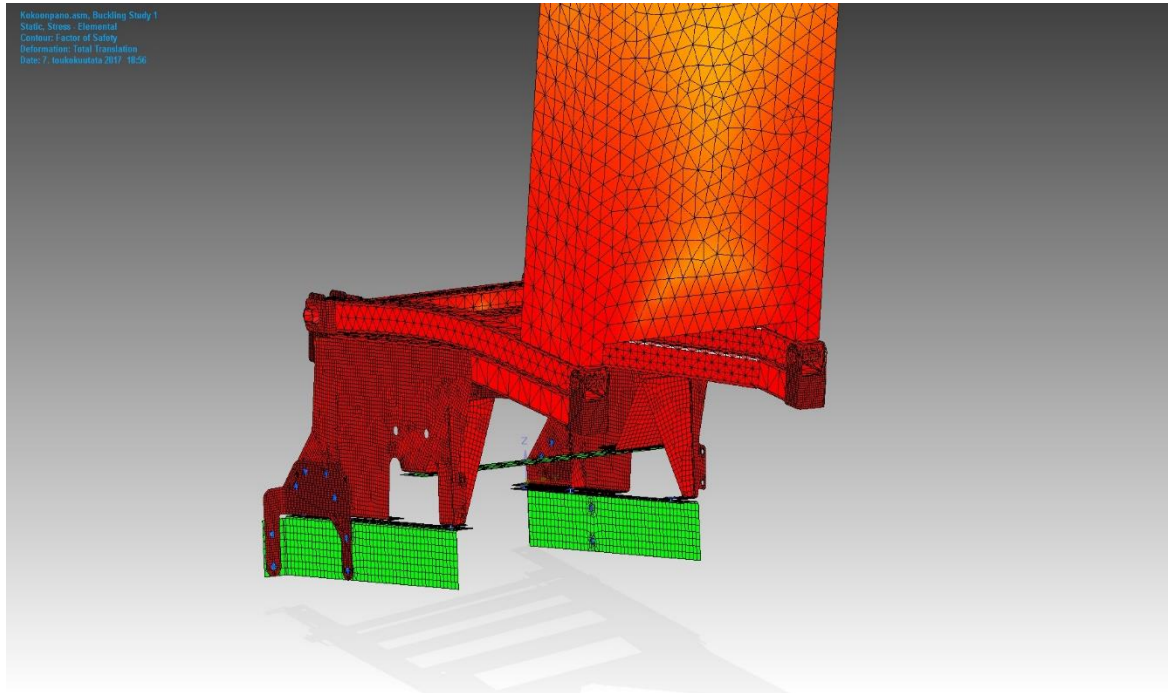
Result component: Von Mises				
Extent	Value	X	Y	Z
Minimum	0 MegaPa	629,990 mm	-103,010 mm	113,000 mm
Maximum	278 MegaPa	822,605 mm	-739,000 mm	432,000 mm



Von Mises

1.3 Factor of Safety Results

Result Component: Factor of Safety				
Extent	Value	X	Y	Z
Minimum	1,28	822,605 mm	-739,000 mm	432,000 mm
Maximum	1,23e+004	452,605 mm	-452,478 mm	482,000 mm



Factor of Safety

2 Eigenvalues

2.1 Displacement Results

Result component: Total Translation				
Extent	Value	X	Y	Z
Mode 1, Eigenvalue = -4,584e+001				
Minimum	0 mm	629,990 mm	-103,010 mm	113,000 mm
Maximum	106 mm	152,512 mm	-823,000 mm	218,000 mm
Mode 2, Eigenvalue = -4,716e+001				
Minimum	0 mm	629,990 mm	-103,010 mm	113,000 mm
Maximum	106 mm	152,512 mm	4,000 mm	218,000 mm
Mode 3, Eigenvalue = 5,019e+001				

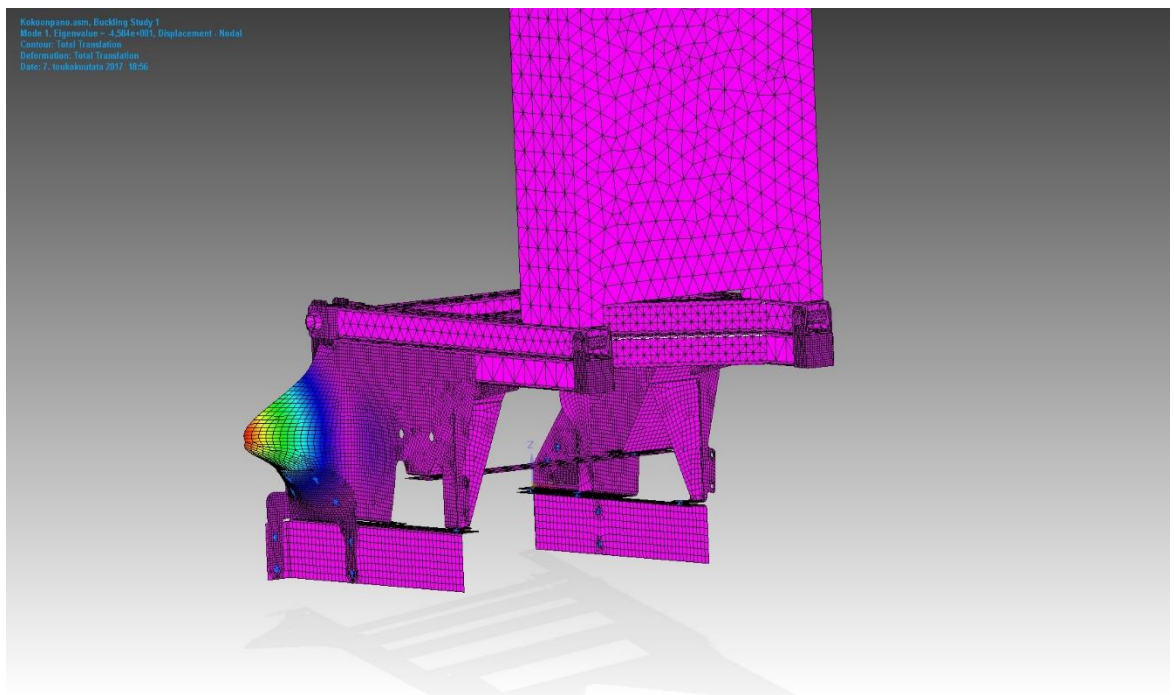
Minimum	0 mm	629,990	-103,010	113,000
		mm	mm	mm

Maximum	51,2 mm	896,870	4,000	269,090
		mm	mm	mm

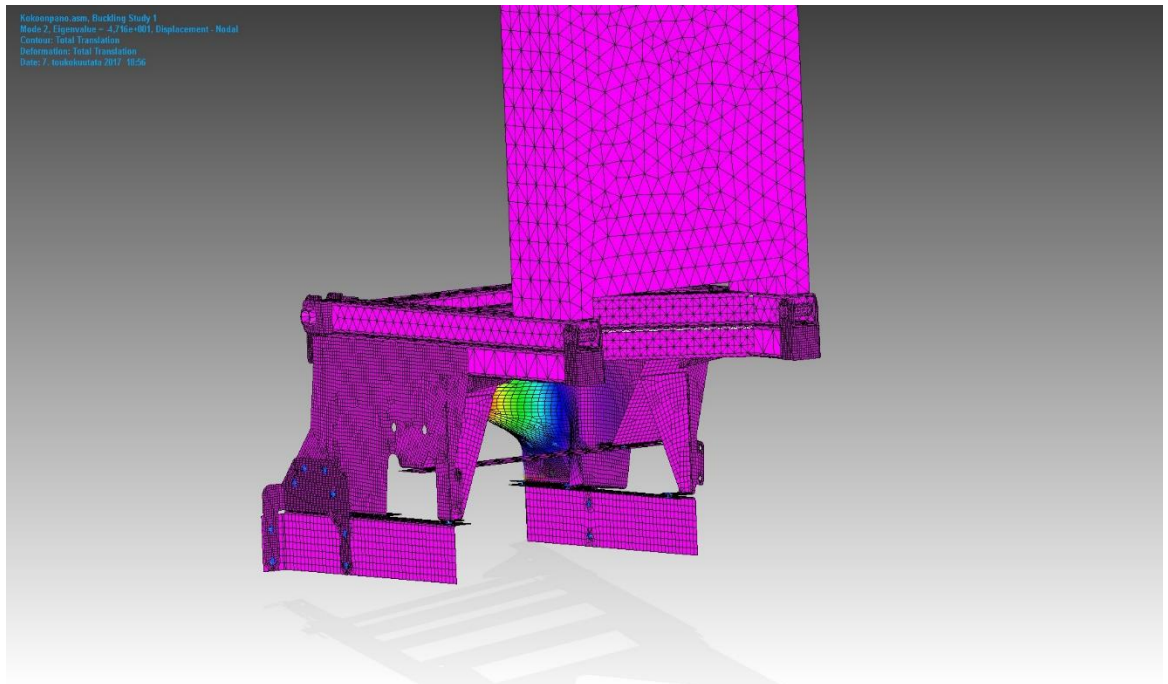
Mode 4, Eigenvalue = 5,086e+001

Minimum	0 mm	629,990	-103,010	113,000
		mm	mm	mm

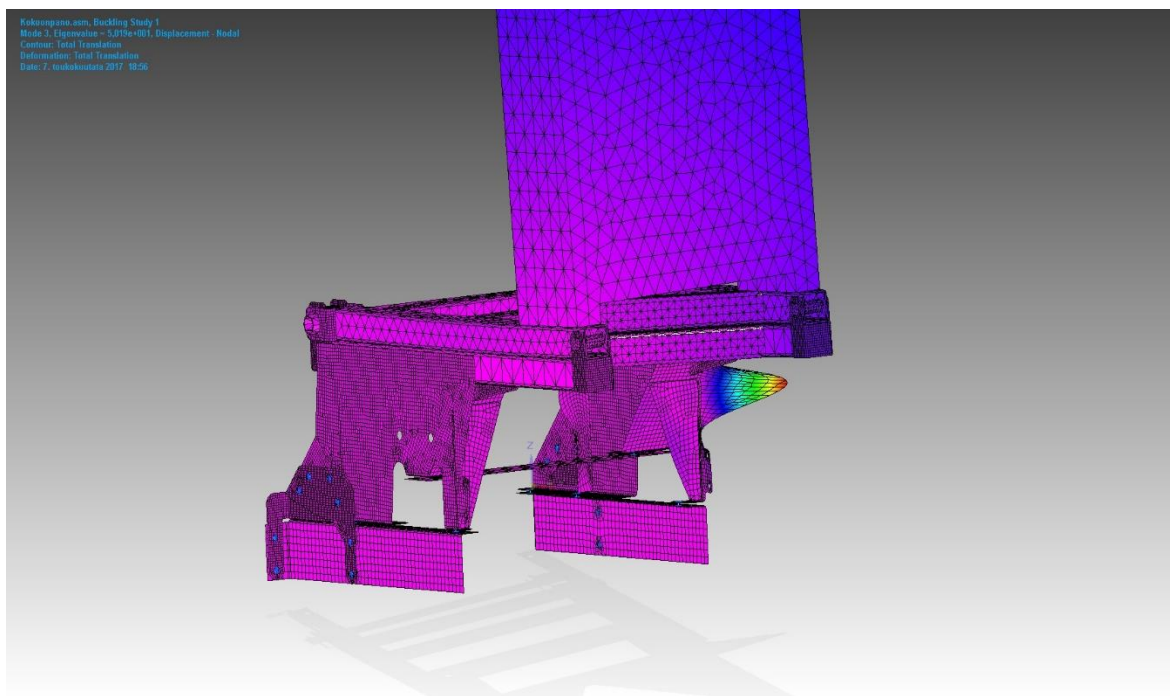
Maximum	51,2 mm	896,870	-823,000	269,090
		mm	mm	mm



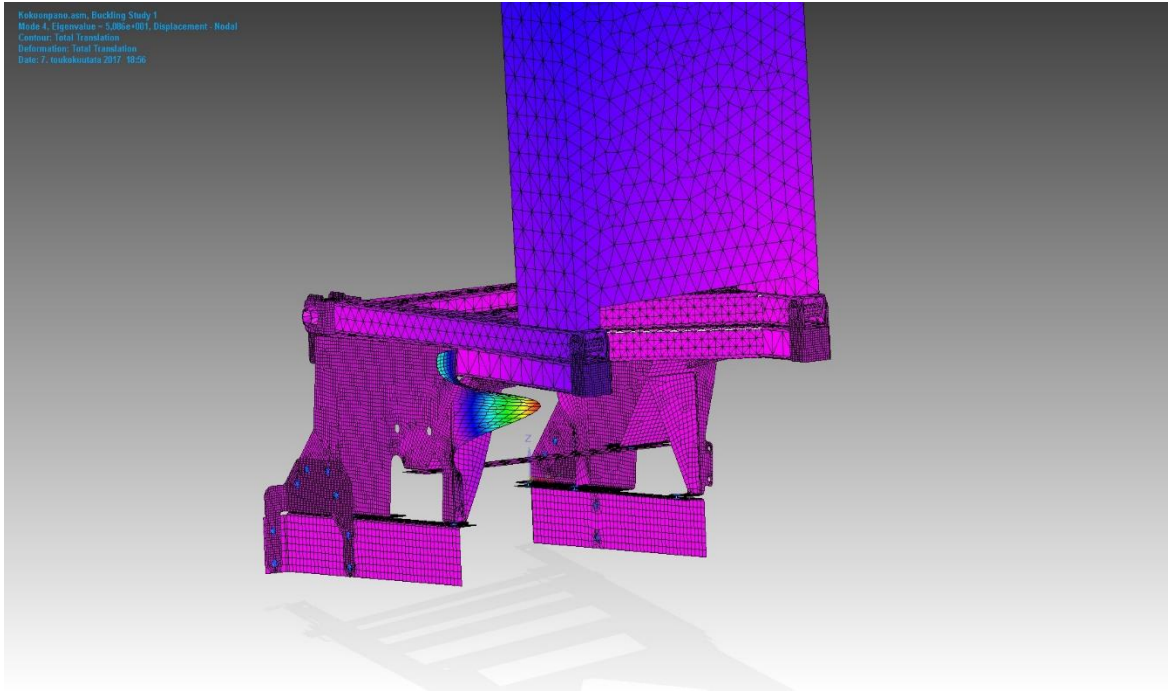
Mode 1



Mode 2



Mode 3



Mode 4