

Jukka Ekola

NOSTOAPUVÄLINEEN SUUNNITTELU

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2017**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Toukokuu 2017	Tekijä/tekijät Jukka Ekola
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn nimi NOSTOAPUVÄLINEEN SUUNNITTELU		
Työn ohjaaja Mika Kumara	Sivumäärä 41	
Työelämäohjaaja Erkki Holtti		
<p>Opinnäytetyön aiheena oli muoviteollisuudessa käytettävän nostoapuvälineen suunnittelu. Nostoapuvälineellä on tarkoitus nostaa muovitehtaassa käytetty tela pois telakoneistosta huoltoa varten. Suunnittelu koostui nostoapuvälineen mallintamisesta, lujuustarkasteluista, mitoituksesta sekä nostoapuvälineen valmistuksessa ja käytössä tarvittavien dokumenttien laatimisesta.</p> <p>Nostoapuväline mallinnettiin Autodesk Inventor Professional 2016 -ohjelman opiskelijaversiolla, jonka jälkeen sen osien lujuutta tarkasteltiin kyseisen ohjelman lujuustarkastelusovelluksessa. Tarkastelusta saatujen tulosten perusteella muutettiin tarvittaessa osien geometriaa, kunnes tarkastelujen tulokset olivat vaatimusten mukaisia.</p> <p>Työn tilaajalle toimitettiin nostoapuvälineen valmistuksessa tarvittavat osapiirustukset sekä kokoonpanopiirustus, johon on merkitty myös hitsit ja pintakäsittely. Lisäksi työn tilaajalle toimitettiin lujuustarkasteluraportti sekä nostoapuvälineen käyttö- ja huolto-ohjeet.</p>		
Asiasanat Lujuuslaskenta, Nostoapuväline, Suunnittelu		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date May 2017	Author Jukka Ekola
Degree programme Mechanical Engineering and Production Technology		
Name of thesis Designing a load lifting attachment		
Instructor Mika Kumara		Pages 41
Supervisor Erkki Holtti		
<p>Subject of this thesis was designing a load lifting attachment to be used in plastic industry. The load lifting attachment will be used to lift a roller off from a roller device for service. Design work consisted of modelling the load lifting attachment, stress analyses, dimensioning and preparing all the documents needed in making the load lifting attachment and using it.</p> <p>The load lifting attachment was modelled and stress analyzed with a student version of Autodesk Inventor 2016 Professional. Dimensions of the load lifting attachment were changed based on the results of the stress analyses until they fulfilled all the demands.</p> <p>All the blueprints which are needed in making the load lifting attachment were delivered to client. Weld markings and paint requirements were included in the blueprints. Report of stress analyses and manual were delivered to the customer. Service instructions were also included in the manual.</p>		

ABSTRACT

Key words

Modelling, Stress Analysis, Load Lifting Attachment

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
1.1 Rani Plast Oy	1
1.2 Tarve nostoapuvälineen suunnittelulle	1
2 TYÖN VAATIMUKSET	4
2.1 Tilaaajan asettamat vaatimukset	4
2.1.1 Kallistettavuus ja tilankäyttö	4
2.1.2 Turvallisuus, helppokäyttöisyys ja ergonomisuus	5
2.1.3 Tarvittavien dokumenttien laatiminen	5
2.1.4 Edullisuus	5
2.2 Normit	6
2.2.1 Konedirektiivi sekä konelaki ja -asetus	6
2.2.2 Irrotettavia nostoapuvälineitä koskeva standardi	7
3 TYÖN TOTEUTUS	8
3.1 Käytetyt ohjelmistot	8
3.2 Mallinnus	8
3.2.1 Yleistä	8
3.2.2 Kallistuksen simulointi	8
3.3 Lujuustarkastelu	10
3.3.1 Lujuustarkastelun johdanto	10
3.3.2 Järjestelyt	11
3.3.3 Materiaali	12
3.3.4 Voimat	13
3.3.5 Kiinnitys	16
3.3.6 Verkotus	17
3.3.7 Ohjelman laskemat jännitykset	17
3.3.8 Suurin jännitys tietyllä siirtymällä	18
3.3.9 Lujuustarkastelu kolminkertaisella kuormalla	24
3.4 Hitsien mitoitus	28
3.5 Taljojen mitoitus	31
3.6 Kääntövarsien kiinnitys noston ajaksi	34
3.7 Lopputulos	36
4 TILAAJALLE TOIMITETUT DOKUMENTIT	38
4.1 Valmistuspiirustukset	38
4.2 Lujuustarkasteluraportti	38
4.3 Käyttö- ja huolto-ohjeet	38
5 YHTEENVETO	40
LÄHTEET	41

1 JOHDANTO

1.1 Rani Plast Oy

Rani Plast Oy on yksi johtavista muovikalvojen toimittajista Pohjoismaissa. Yhtiö kuuluu alan 20 suurimman yrityksen joukkoon Euroopassa ja on yksi maailman suurimmista maatalouskalvojen valmistajista. Rani Plast-konserniin kuuluu yhdeksän tehdasta viidessä eri maassa, ja yhtiön liikevaihto on yli 200 miljoonaa euroa. Tuotteita viedään yli neljäkymmeneen maahan. (Raniplast 2017.)

Yrityksen historia juontaa juurensa vuoteen 1955, jolloin Nils Ahlbäck veljensä Alfin ja ystäviensä Runar Svartsjön ja Ingmar Albäckin kanssa perustivat yrityksen Teerijärvelle. Sodan jälkeen Pohjanmaalla oli pulaa työpaikoista, ja siksi monet muuttivat muualle työn perässä. Teerijärven kylässä asuvat kumppanukset halusivat jäädä kotikyläänsä ja siksi heidän oli luotava työpaikkansa itse. Yrityksen nimi muodostui perustajien etunimien alkukirjaimista. (Raniplast 2017.)

Nils Ahlbäck oli Ruotsissa ollessaan tutustunut muovin suulakepuristukseen ja halusi aloittaa samankaltaisen toiminnan Teerijärvellä. Toiminnan aloittamiseen tarvittiin kuitenkin niin suuri laina, että Nils Ahlbäck ei uskonut sitä voitavan koskaan maksaa takaisin. Yrityksen alkuaikoina haasteena oli myös muovin uutuus ja tuntemattomuus markkinoilla. Asiakkaat täytyi saada vakuutettua muovin paremmuudesta vanhoihin materiaaleihin nähden. (Raniplast 2017.)

Yksi syy Rani Plastin menestykseen on ollut rohkeus sijoittaa nykyaikaisiin koneisiin. Myös rohkeus tarttua tilaisuuksiin esimerkiksi yrityskauppojen muodossa on ollut yksi yrityksen vahvuuksista. Rani Plast on laajentunut voimakkaasti yrityskauppojen myötä 80 – luvulta alkaen. (Raniplast 2017.)

1.2 Tarve nostoapuvälineen suunnittelulle

Rani Plast Oy on tehnyt suuren investoinnin uuteen, maailman suurimpaan muovikalvon tuotantolinjaan joka otettiin käyttöön tammikuussa 2017. Uusi tuotantolinja tuottaa 16 000 tonnia muovikalvoa vuodessa ja nostaa Rani Plast Oy:n tuotantokapasiteettia noin viidenneksellä. Uuden tuotantolinjan avulla voidaan valmistaa 22 metriä leveää muovikalvoa entisen maksimileveyden ollessa 18 metriä. (Raniplast 2017.)

Muovikalvon puhalluskoneet toimivat siten, että ympyrän muotoisen suulakkeen läpi puristetaan muoviraetta, joka puristuksen aikaansaaman ja ulkoapäin tuodun lämmön vaikutuksesta sulaa. Tätä kutsutaan ekstruusiomenetelmäksi. Sula muovi muotoutuu putkimaiseksi kalvoksi pyöreän suutinrenkaan sisäpuolella ja lähtee välittömästi puhallustornissa ylöspäin tornin huipulla sijaitsevan telakoneiston vetämänä. Kuvassa 1 on esitetty uuden puhalluskoneen ekstruusioyksikkö toiminnassa (KUVA 1).

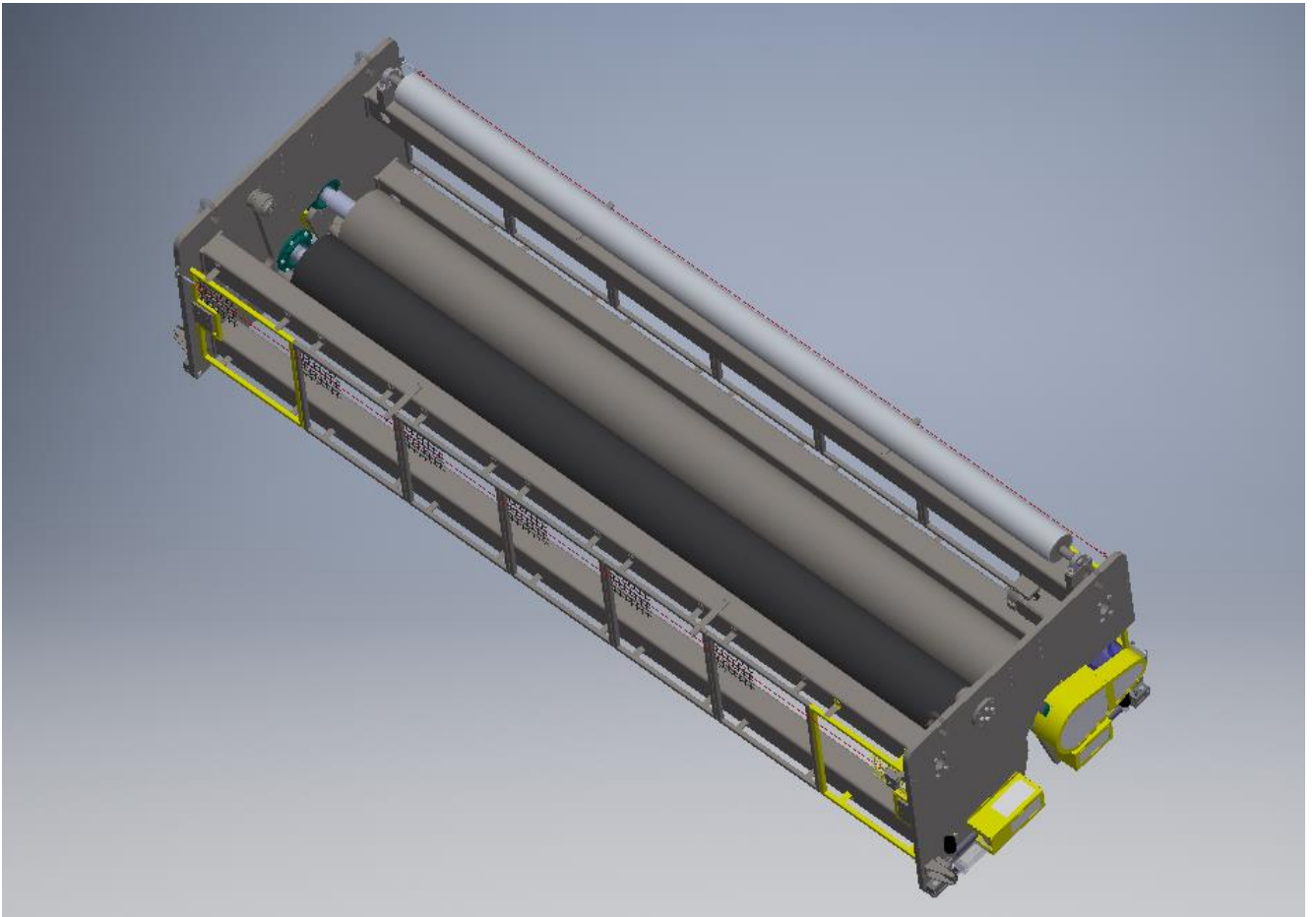


KUVA 1. Muovikalvon puhallusta

Sulan muovikalvoputken sisäpuolelle puhalletaan alhaaltapäin ilmaa, jotta se pysyisi aukinaisena niin kauan, että se on jäähtynyt. Puhallustorni on oltava niin korkea, että muovikalvoputki ehtii jäähtyä ennen kuin se laskostetaan tornissa olevien siivekkeiden avulla litteäksi, muuten muovikalvoputken eri puolet tarttuisivat toisiinsa kiinni. Siivekkeiden yläpuolella tornissa oleva telakoneisto puristaa muovikalvon väliinsä ja vetää sitä ylöspäin. Tornin huipulla olevan telakoneiston jälkeen viikattu muovikalvo lähtee alaspäin erilaisten telojen vetämänä. Lopuksi viikattu muovikalvo rullataan halutun kokoisiksi rulliksi lattiatasolla sijaitsevalla pakkauspisteellä.

Tämä opinnäytetyö liittyy edellä mainitun, tornin huipulla sijaitsevan telakoneiston telojen huoltoon. Telakoneisto koostuu kuvan mukaisesti kahdesta telasta, joista toista puristetaan toista vasten. Toista telaa pyöritetään moottorin avulla, joten se on niin sanottu vetävä tela. Tämän puristuksen ja vedon

avulla pystytään viikattua muovikalvoa vetämään ylöspäin puhallustornissa. Kuvassa 2 on 3D-malli telakoneistosta (KUVA 2).



KUVA 2. Telakoneisto

Telakoneiston telat on huollettava määrätyn väliajoin, mitä varten ne on irrotettava telakoneistosta. Irrotuksessa telat on nostettava telakoneistosta yläkautta nosturin ja teloja varten suunnitellun nostoapuvälineen avulla. Kyseisen nostoapuvälineen suunnittelu on tämän opinnäytetyön aiheena.

2 TYÖN VAATIMUKSET

Nostoapuvälineen suunnittelulle asettavat vaatimuksia sekä työn tilaaja, että työtä rajoittavat ja määrittävät normit. Tässä luvussa käsitellään näitä työhön vaikuttavia tekijöitä.

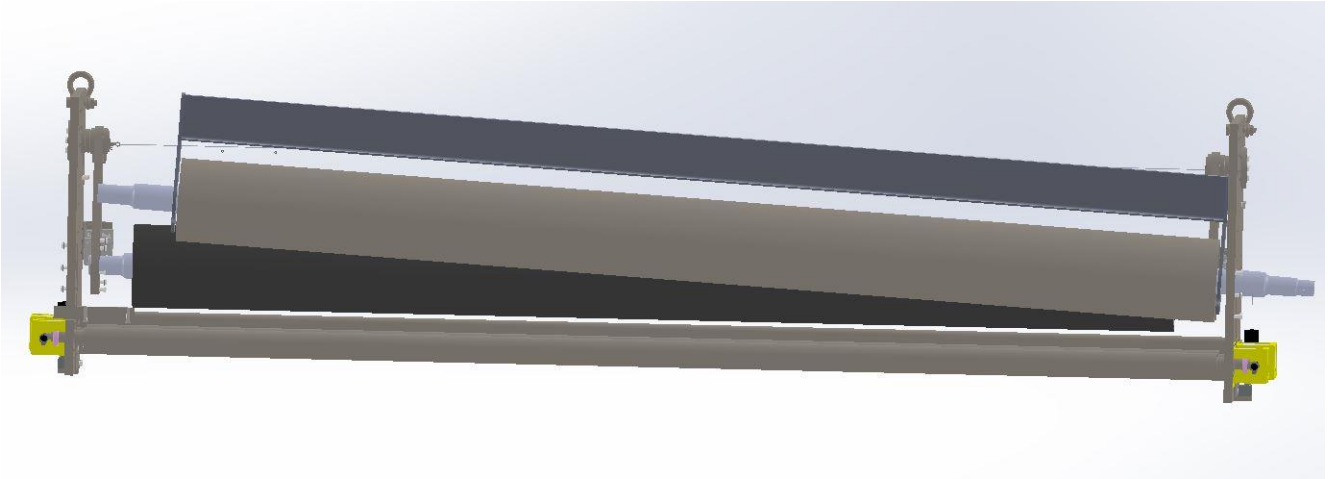
2.1 Tilaajan asettamat vaatimukset

Tilaajan asettamia vaatimuksia nostoapuvälineelle ovat kallistettavuus ja tilankäyttö, sekä turvallisuus, helppokäyttöisyys ja ergonomisuus. Myös tarvittavien dokumenttien laatiminen sekä edullisuus vaikuttavat työprosessiin.

2.1.1 Kallistettavuus ja tilankäyttö

Nostoapuvälineellä suoritettava nostotehtävä itsessään asetti nostoapuvälineelle joitakin vaatimuksia. Toinen nostettavista teloista on pystyttävä kallistamaan, että se saadaan pois telakoneistosta. Tämä tarkoittaa sitä, että tela irrotetaan laakereistaan ja sitä siirretään sen verran akselinsa suuntaisesti, että telan akselin toinen pää tulee telakoneiston sisäseinämän sisäpuolelle. Kun telan akselin pää on seinämän sisäpuolella, sitä nostetaan ylöspäin niin paljon, että telaa voidaan siirtää takaisin kyseisen telan pään suuntaan. Telaa siirretään kyseiseen suuntaan niin paljon, että vastakkaisen pään akselin pää tulee ulos telakoneiston seinämässä olevasta aukosta. Sen jälkeen tela nostetaan niin ylös, että se voidaan nostaa telakoneiston seinämän yli. Nostoapuvälinettä on siis pystyttävä kallistamaan.

Kallistamisen avulla tapahtuva nostaminen asetti myös vaatimuksia nostoapuvälineen geometrialle. Nostoapuvälineen ja siinä kiinni olevan telan on mahdolltava telakoneiston sisäseinämien väliin kallistettaessa. Nostoapuvälineestä ei myöskään saanut tulla liian korkea, jotta nosturin suurin nostokorkeus riittäisi nostamaan telan telakoneiston seinämän yli. Kuvassa 3 esitetään kallistuksen ensimmäisiä simuloitukertoja (KUVA 3).



KUVA 3. Telan kallistus

2.1.2 Turvallisuus, helppokäyttöisyys ja ergonomisuus

Työn tilaajan vaatimusten mukaan nostoapuvälineen on oltava turvallinen siten, että henkilö- ja omaisuusvahinkojen riskit on minimoitu. Suunniteltavan nostoapuvälineen vaatimukseen kuului myös helppokäyttöisyys ja ergonomisuus, joiden toteutuminen osaltaan lisää edellä mainittua turvallisuutta. Ergonomiaa käsittelevät standardit oli vaatimusten mukaan otettava huomioon nostoapuvälineen suunnittelussa. Lisäksi kaikkien nostoapuvälineitä koskevien normien oli toteuduttava valmiissa nostoapuvälineessä.

2.1.3 Tarvittavien dokumenttien laatiminen

Työn suorittajan oli suoritettava ja dokumentoitava nostoapuvälineeltä normeissa vaaditut tarkastelut sekä laadittava EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa vaadittavat dokumentit ja asiakirjat.

2.1.4 Edullisuus

Nostoapuvälinettä suunniteltaessa oli pidettävä sen valmistuskustannukset alhaisina kuitenkin muista vaatimuksista tinkimättä. Yksi edullisuusvaatimuksen alavaatimuksista oli käyttää, mikäli mahdollista, nostoapuvälineen nostopuomina tilaajan hallussa jo ollut sopivan pituista IPE-270-teräspalkkia. Tätä palkkia käytettiin, siihen tosin lisättiin vahvistuslevyt.

2.2 Normit

Tilaaajan asettamien vaatimusten lisäksi nostoapuvälineelle asettavat vaatimuksia myös nostoapuvälineen suunnittelua rajoittavat ja määrittävät normit. Tässä kappaleessa käsitellään näitä normeja.

2.2.1 Konedirektiivi sekä konelaki ja -asetus

Suomessa voimassa olevat koneiden turvallisuutta koskevat säädökset perustuvat Euroopan Unionin (vanhemmat Euroopan talousyhteisön-, tai Euroopan yhteisöjen-) direktiiveihin. Kun direktiivi vahvistetaan, se ei ole sellaisenaan vielä voimassa missään EU:n jäsenmaassa, vaan jokaisen jäsenmaan on otettava se osaksi omaa lainsäädäntöään direktiivissä säädetyn ajan kuluessa. (Siirilä & Tytykoski 2016, 29.) Tämän vuoksi Suomessa tarvitaan konedirektiiviä toteuttavaa konelakia ja -asetusta.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY eli niin sanottu konedirektiivi on luotu Euroopan Unionin jäsenvaltioiden koneita koskevan lainsäädännön yhdenmukaistamiseksi (Euroopan Parlamentin ja Neuvoston direktiivi 2006/42/EY 2006, 1). Euroopan Unionin jäsenvaltiot ovat vastuussa siitä, että konedirektiivi pannaan niiden alueella tehokkaasti täytäntöön (Euroopan Parlamentin ja Neuvoston direktiivi 2006/42/EY 2006, 2). Konedirektiiviä sovelletaan myös nostoapuvälineisiin (Euroopan Parlamentin ja Neuvoston direktiivi 2006/42/EY 2006, 3).

Konelaki on oikealta nimeltään laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta. Se koskee varsinaisten koneiden lisäksi kaikkia muitakin työssä käytettäväksi tarkoitettuja laitteita, kuten telineitä, suojaimia tai vaikka nostoapuvälineitä. Laissa määrätään välineen valmistaja suunnittelemaan ja valmistamaan väline siten, että se ei aiheuta tapaturman vaaraa eikä haittaa terveydelle ja sen on sovelluttava sille suunniteltuun käyttöön. Laki antaa viranomaisille valtuudet poistaa vaatimusten vastaiset koneet markkinoilta. Lakia täsmentävät yksityiskohtaisemmat vaatimukset esitetään koneasetuksessa eli valtioneuvoston asetuksessa koneiden turvallisuudesta. (Siirilä & Tytykoski 2016, 31.)

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400 eli niin sanottu koneasetus panee edellä mainitun direktiivin täytäntöön Suomessa määräämällä koneiden suunnitteluun ja valmistamiseen liittyvistä terveys- ja turvallisuusvaatimuksista. Lisäksi koneasetuksessa säädetään koneiden vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta ja käyttöönotosta. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400 2008, § 1.) Koneasetusta sovelletaan myös nostoapuvälineisiin (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400 2008, § 2).

2.2.2 Irrotettavia nostoapuvälineitä koskeva standardi

Euroopan talousyhteisön ETYn (Englanniksi EEC) aiemmin tekemät direktiivit olivat hyvin yksityiskohtaisia ja sisälsivät kaikki tarpeellisena pidetyt vaatimukset. Tekniikan kehittyessä laitteita koskevien standardien ajan tasalla pitäminen kävi hyvin monimutkaiseksi. Tämän vuoksi kahdeksankymmentäluvulla aloitettiin niin sanottu uusi lähestymistapa (new approach), jonka mukaan direktiiveissä säädettiin vain peruseriaatteet ja tavoitteet. Periaatteita täsmennetään jäsenvaltioiden kesken yhdenmukaisilla standardeilla, joita EU:n komissio tilaa eurooppalaisilta standardisoimisjärjestöiltä. Tämä järjestelmä on edelleen käytössä. (Siirilä & Tytykoski 2016, 34.)

Irrotettavia nostoapuvälineitä koskeva standardi SFS-EN 13155 +A2 on ”laadittu Euroopan komission ja Euroopan vapaakauppaliiton CENille antaman mandaatin perusteella ja standardi tukee EU:n direktiivi(e)n olennaisia vaatimuksia” (SFS-EN 13155 + A2 2009, 4). Siten kyseistä standardia voi Suomessa käyttää nostoapuvälineen suunnittelun lähtökohtana, eikä se ole ristiriidassa konelain tai -asetuksen kanssa. Standardi antaa irrotettaville nostoapuvälineille yhden tavan täyttää konedirektiivin olennaiset turvallisuusvaatimukset (SFS-EN 13155 + A2 2009, 6).

Edellä mainittu standardi koskee nostoapuvälineitä, joiden suunnitellun elinkaaren aikana käyttökertoja tulee alle 20 000 kappaletta. Käyttökertojen ollessa alle mainitun määrän, ei väsymistarkastelua vaadita. Näin ollen standardi ei käsittele väsymistarkastelua. (SFS-EN 13155 + A2 2009, 8.) Tässä opinnäytetyössä suunniteltavalla nostoapuvälineellä tullaan suorittamaan korkeintaan neljä nostoa vuodessa. Nostokertojen ollessa näin harvassa, ei väsymistarkastelua tarvita ja edellä mainittua standardia voidaan soveltaa.

Irrotettavia nostoapuvälineitä käsittelevä standardi määrittelee Euroopan Talousalueella käytettävien irrotettavien nostoapuvälineiden vaatimukset yksityiskohtaisesti, eikä se ole muiden niitä koskevien säädösten kanssa ristiriidassa. Tämän vuoksi kyseistä standardia käytettiin suunnittelun normina tässä opinnäytetyössä.

3 TYÖN TOTEUTUS

Tässä luvussa käsitellään työn toteutusta yksityiskohtaisesti. Eniten huomiota annetaan nostoapuvälineelle suoritetuille lujuustarkasteluille.

3.1 Käytetyt ohjelmistot

Nostoapuvälineen mallintamiseen ja lujuustarkasteluihin käytettiin Autodesk, Inc. -yhtiön valmistaman Autodesk Inventor Professional 2016 -ohjelman opiskelijaversiota. Ohjelma on tarkoitettu 3D – mallintamiseen ja kevyeen lujuustarkasteluun.

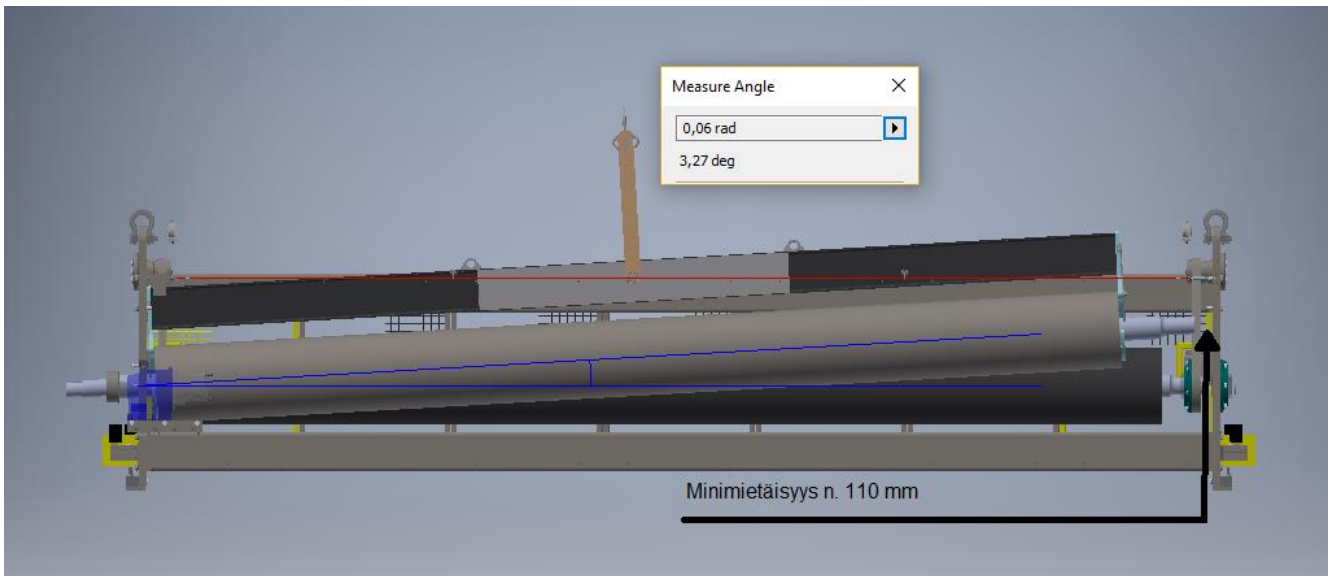
3.2 Mallinnus

3.2.1 Yleistä

Suunnittelun pohjana käytettiin työn ohjaajien ja työn tekijän välisiä keskusteluja, joissa hahmoteltiin tulevan nostoapuvälineen karkea geometria. Nostoapuvälineen geometrian suunnittelu toteutettiin iteroimalla eli käytännössä mallintamalla nostoapuvälineen alustava malli, jonka osia analysoitiin Autodesk Inventor – ohjelman lujuustarkastelusovelluksessa. Tulosten perusteella apuvälineen geometriaa ja ainevahvuuksia muutettiin kunnes lujuustarkastelun tulokset olivat nostoapuvälineitä käsittelevän standardin vaatimukset täyttäviä. Myös ergonomiset näkökulmat otettiin huomioon nostoapuvälineen suunnittelussa mm. lukitussalpojen ideoinnissa.

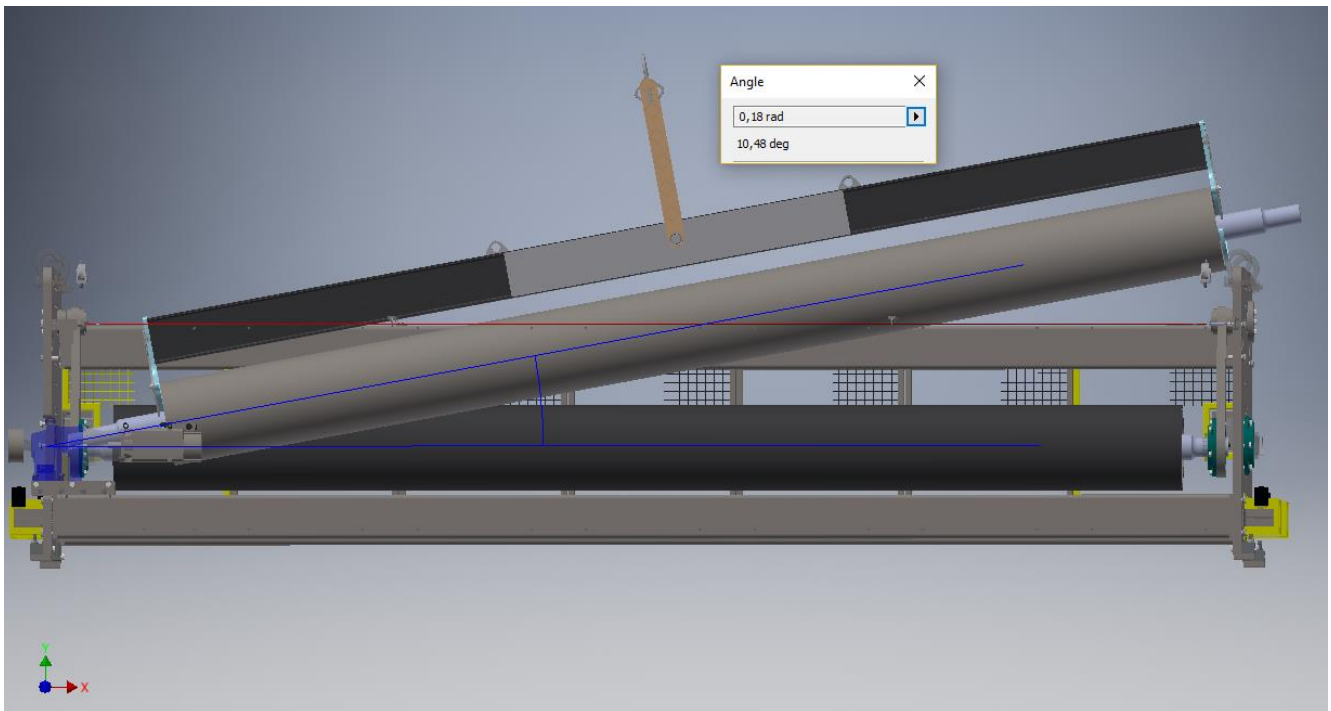
3.2.2 Kallistuksen simulointi

Kallistuksen simulointi aloitettiin Autodesk Inventor -ohjelman kokoonpanosovelluksessa kiinnittämällä nostettava tela nostoapuvälineen alustavaan malliin oikealle paikalleen nostokoukkuihin. Telan akselin keskipisteen läpi menevä suora kiinnitettiin telakoneiston seinämän läpi menevän pyöreän reiän keskikohtaan mate -komennolla. Nostoapuvälineen toinen ylänurkka kiinnitettiin telakoneiston seinämän sisäreunaan myöskin mate -komennolla. Tämän jälkeen nostoapuväline-tela kokonaisuutta pystytettiin liikuttamaan telakoneiston sisällä niin, että ainoastaan nostoapuväline-tela kokonaisuuden ja vaaka-suoran välinen kulma muuttui. Kulma aseteltiin sellaiseksi, missä telan akselin toinen pää oli lähimpänä telakoneiston seinämän sisäreunaa ja etäisyys siihen mitattiin ohjelman distance -komennolla. Etäisyys oli noin 120 mm ja se riittää hyvin, nostoapuväline ja siihen kiinnitetty tela sopivat kallistumaan telakoneiston seinämien välissä. Kuvassa 4 simuloidaan telan kallistusta telakoneiston sisällä (KUVA 4).



KUVA 4. Tila telan nostossa

Lujuustarkasteluja varten piti nostoapuvälineen suurin tarvittava kallistuskulma saada selville. Tämä kulma selvitetiin myös simuloimalla Inventor – ohjelman kokoonpanosovelluksessa. Edellä rakennetussa nostoapuväline – tela yhdistelmässä kiinni olevan telan keskipisteen läpi menevä suora kiinnitettiin jälleen telakoneiston seinämässä olevan reiän keskipisteeseen. Telan ulkopinta kiinnitettiin telakoneiston vastakkaisen seinämän ylänurkkaan sisäpuolelle. Telan keskipisteen läpi kulkevan suoran ja vaakasuoran välinen kulma mitattiin yhdistelmän ollessa kyseisessä asennossa. Saatu kulma on pienin mahdollinen kulma, jossa tela saadaan nostettua telakoneistosta pois. Kulman suuruudeksi saatiin $10,5^\circ$ ja se pyöristettiin ylöspäin 12° lukemaan. Lujuustarkasteluissa tähän lisättiin vielä standardin vaatima 6° mutta käyttöohjeisiin merkittiin suurimmaksi sallituksi kulmaksi 12° . Kuvassa 5 simuloidaan pienin mahdollinen kallistuskulma, jolla tela saadaan pois koneistosta (KUVA 5).



KUVA 5. Tarvittava kallistuskulma nostossa

3.3 Lujuustarkastelu

Esimerkkinä lujuustarkastelusta tässä kuvataan miten nostokoukun ja nostopuomin pään lujuustarkastelu on suoritettu. Muiden osien ja kokonaisuuksien lujuustarkastelu on suoritettu samoja menetelmiä käyttäen. Muiden osien lujuustarkastelujen raportit ovat liitteenä.

3.3.1 Lujuustarkastelun johdanto

Lujuustarkastelussa kriittisimmäksi osoittautui nostokoukun riittävä lujuus telan kallistusvaiheessa. Kallistusvaiheessa nostokoukkuun vaikuttaa alaspäin koukun lokaalikoordinaatiston negatiivisen y - akselin suuntaisen voiman lisäksi telan akselin suuntainen voima joka työntää nostokoukkuja telasta pois päin. Tämä apuvälineen lokaalikoordinaatiston negatiivisen z - akselin suuntainen voima täytyy lujuustarkastelussa ottaa huomioon kaksinkertaisena, koska kallistuksessa ylemmäksi jäävä nostokoukku pystyy kantamaan z - akselinsa suuntaista voimaa vain kitkakertoimesta riippuen.

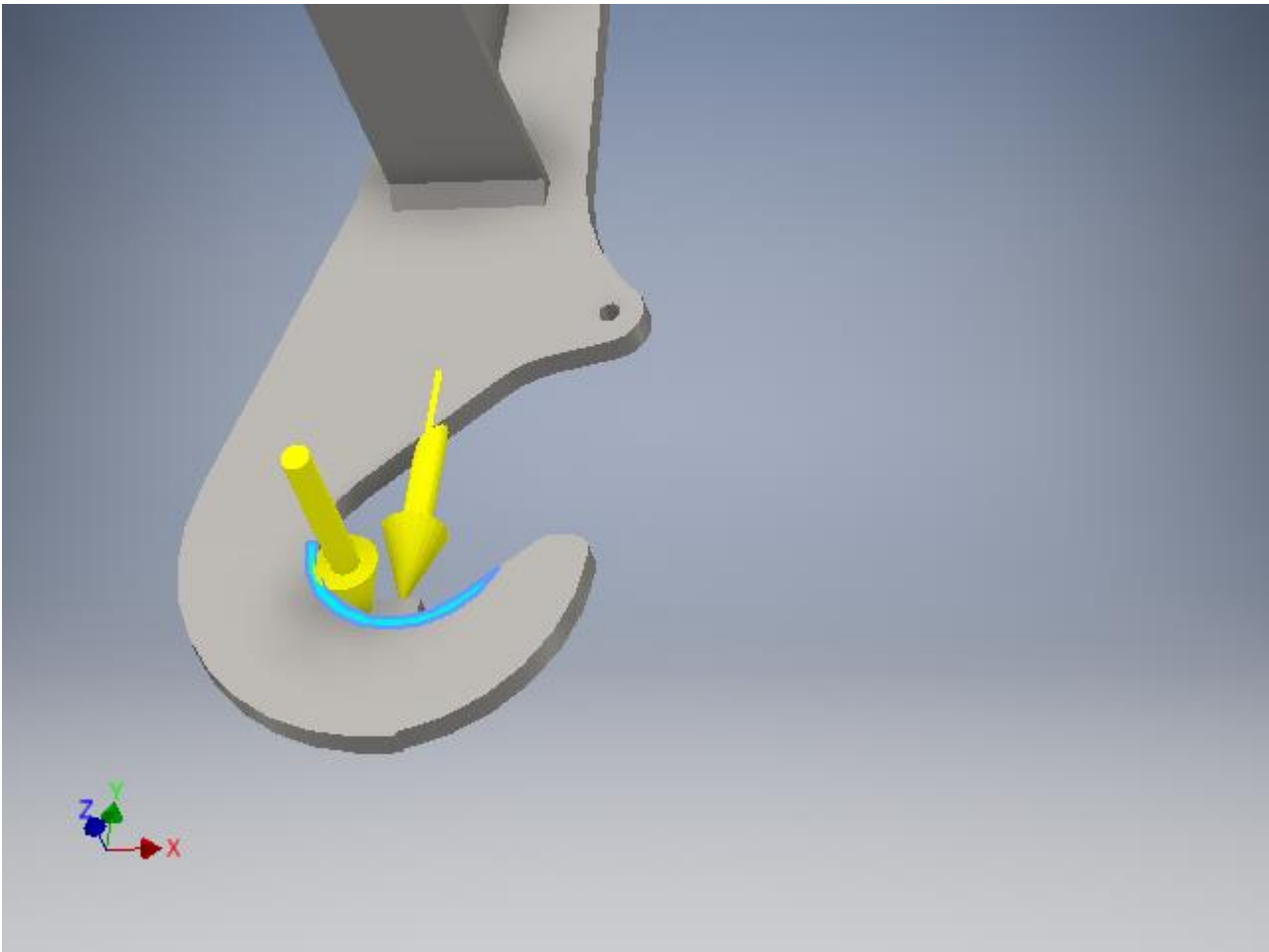
Tämä telan akselin suuntainen voima aiheuttaa taivutusmomentin nostokoukkuun, joka käytännössä on suurimmillaan nostokoukun ja nostopuomin liitoskohdassa puomin alareunassa. Nostokoukussa vaikut-

tava taivutusmomentti aiheuttaa nostokoukun sisäpuolelle vetojännityksen, joka summautuu nostokoukkuun vaikuttavan alaspäin suuntautuvan voiman aiheuttaman vetojännityksen kanssa. Tämän yhteisvaikutuksen vuoksi kriittinen piste sijaitsee nostokoukun ja nostopuomin välisessä liitoskohdassa puomin alareunassa nostokoukun sisäpinnalla.

3.3.2 Järjestelyt

Lujuustarkastelu aloitettiin mallintamalla kokoonpanon sijaan yksinkertaistettu malli nostokoukusta, johon oli pursotettu nostopuomin pää tukilevyyn asti. Näin menettelemällä voitiin nostokoukun ja puomin liitoskohtaa tarkastella yhtenä osana. Nostokoukun mallia yksinkertaistettiin poistamalla siitä suorakaitteen muotoinen reikä, jonka läpi nostopuomin uuman on tarkoitus mennä. Osien yksinkertaistus mahdollistaa tiheämmän verkotuksen käytön FEA – ohjelmistoissa, mikä puolestaan tarkoittaa tarkempaa laskentaa.

Nostokoukkuun mallinnettiin pinnat, joiden normaalien suuntaisesti voitiin sijoittaa nostokoukkuun kallistuksessa vaikuttavat kuormitukset. Pinnat pyrittiin mallintamaan siten, että ne eivät vaikuttaisi ohjelman laskemiin tuloksiin. Tässä voimat asetettiin jakautuneena kuormana pinnoille pistevoimien sijaan. Kuvassa 6 on voimavektorit sijoitettuna tarkasteltavan kappaleen pinnoille (KUVA 6).



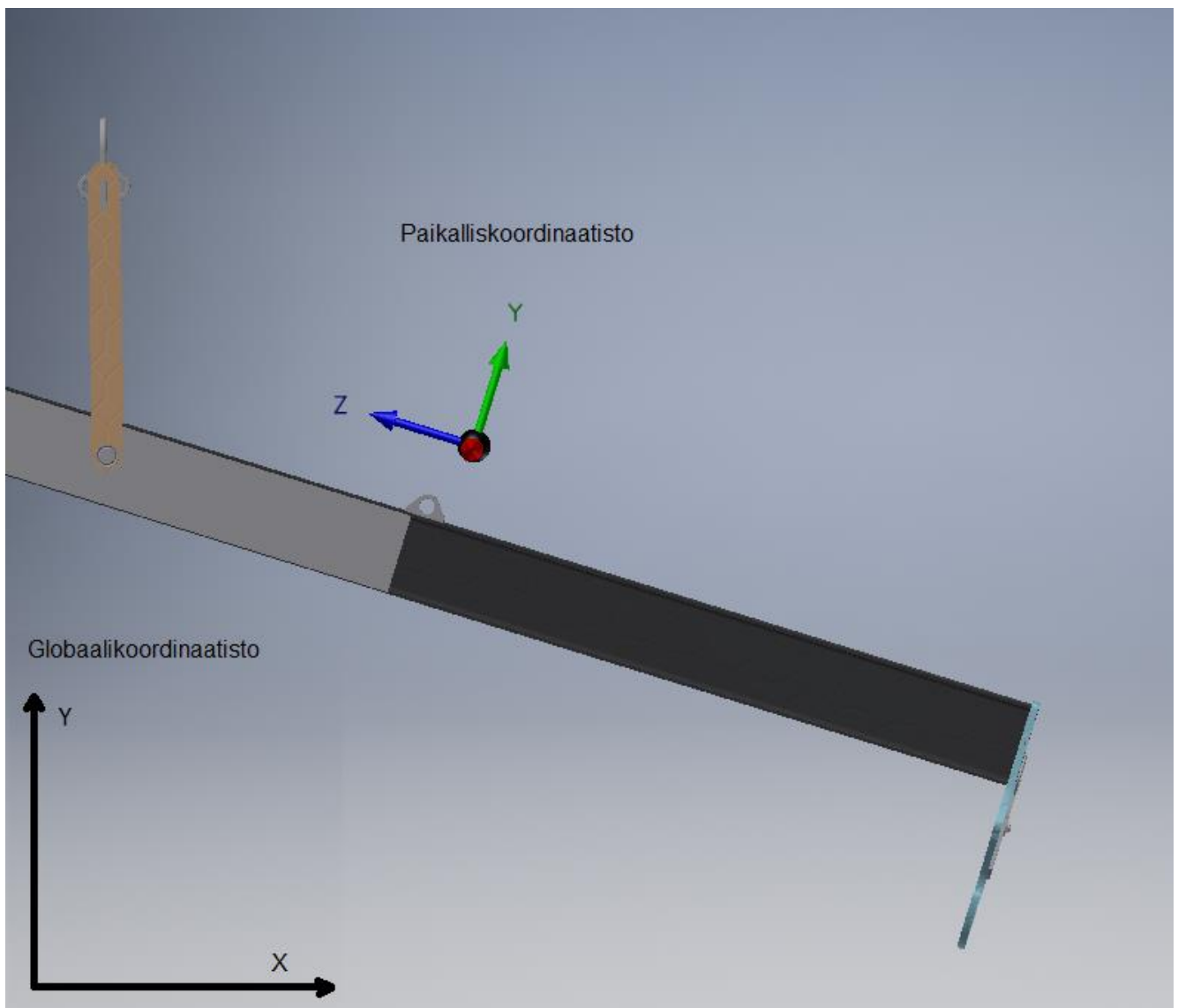
KUVA 6. Voimavektoreiden sijoittaminen kappaleen pinnoille

3.3.3 Materiaali

Valmistettavan nostoapuvälineen kaikki osat tullaan valmistamaan S355 -rakenneteräksestä, joten lujuuslaskentaohjelmaan määriteltävät materiaaliominaisuudet noudattavat S355 -rakenneteräksen ominaisuuksia. Autodesk Inventor – ohjelman opiskelijaversio materiaalikirjastosta ei löydy S355 -terästä, joten vastaavat ominaisuudet on määriteltävä itse. Lujuustarkastelussa käytettävälle materiaalille määritettiin myötöraja 355 MPa sekä kimmokerroin 206 GPa, jotka vastaavat S355 -rakenneteräksen ominaisuuksia (Valtanen 2013, 1067). Nostoapuvälinettä tullaan käyttämään huoneenlämmössä eikä siinä ole särmyksiä, joten nämä eivät aseta materiaalille lisävaatimuksia.

3.3.4 Voimat

Nostoapuvälineen koukkuun vaikuttava painovoima voidaan jakaa komponentteihin sen kallistuskulman mukaisesti. Tässä tarkastelussa koukkuun kallistuksen aikana vaikuttava voima jaettiin kahteen apuvälineen paikalliskoordinaatiston suuntaiseen komponenttiin laskennallisen kallistuskulman mukaisesti. Kuvassa 7 on esitetty kallistetun nostoapuvälineen paikalliskoordinaatisto sekä globaalikoordinaatisto (KUVA 7).

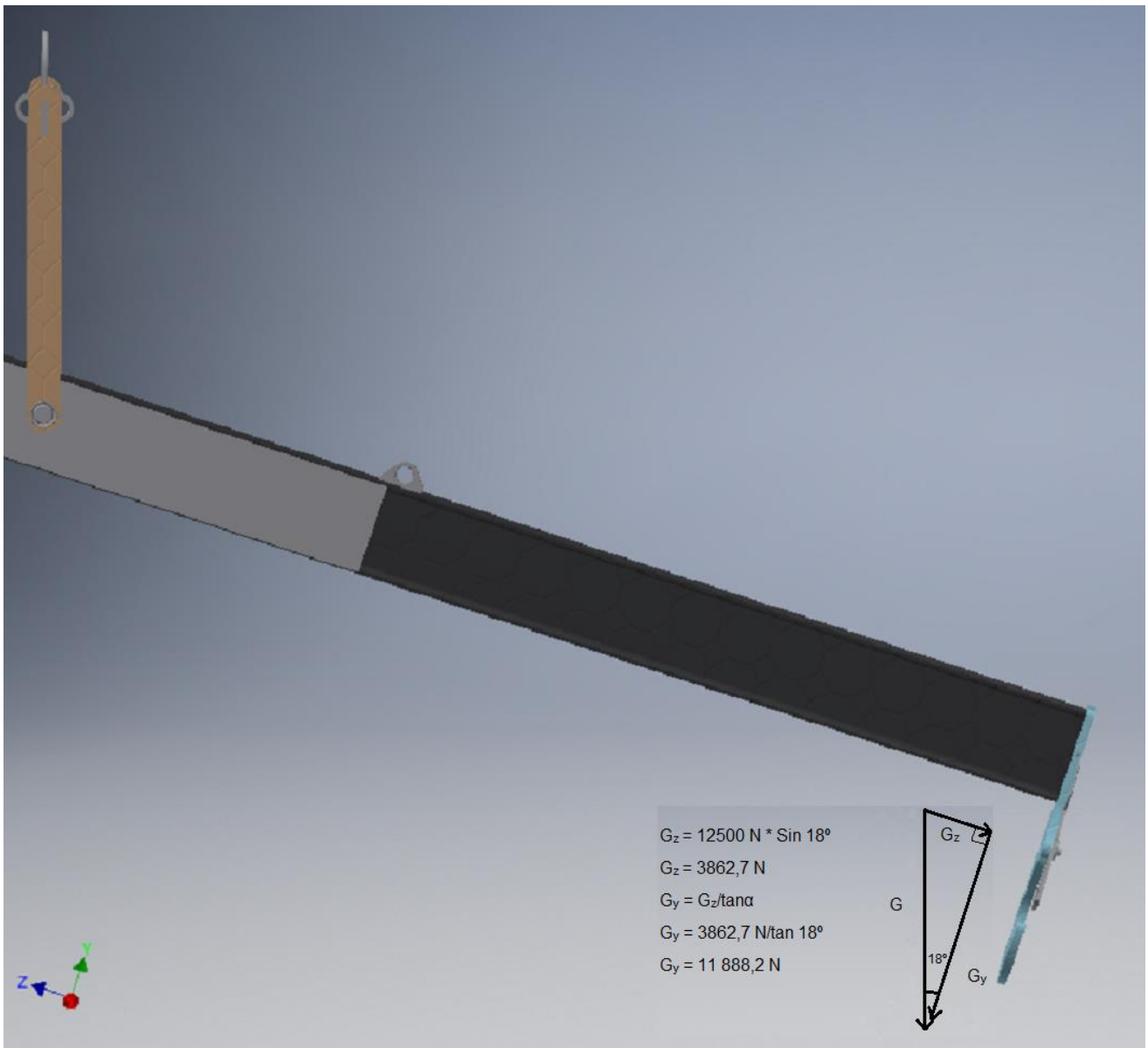


KUVA 7. Käytetyt koordinaatistot

Nostossa tarvittavaksi kallistuskulmaksi saatiin edellä 12° johon lujuustarkastelussa on lisättävä standardin vaatima 6° , siten kallistuksessa vaikuttava voima jaettiin komponentteihin 18° kulmassa (SFS-EN 13155 + A2 2009, 42).

Nostettavista teloista raskaamman massa on 2500 kg. Tätä laskennassa käytettävää massaa on pyöristetty noin 100 kg ylöspäin. Kun tämä massa on muutettu voimaksi, on maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys $9,81 \frac{m}{s^2}$ myös pyöristetty ylöspäin varmuuden lisäämiseksi. Maan vetovoiman aiheuttamasta kiihtyvyydestä on käytetty arvoa $10,0 \frac{m}{s^2}$.

Tarkastelussa käytettäväksi koko telan painovoimaksi saatiin edellisten perusteella 25 000 N ja siten yhteen koukkuun vaikuttavaksi painovoimaksi suorassa nostossa 12 500 N. Yhteen koukkuun vaikuttava painovoima jaettiin komponentteihin trigonometrian avulla siten, että apuvälineen paikalliskoordinaatistossa negatiivisen z-akselin suuntaisesti sivulle päin painava voima G_z laskettiin yhtälön $G_z = 12\,500 \text{ N} * \sin 18^\circ = 3862,7 \text{ N}$ avulla. Koukkuja lokaalikoordinaatiston negatiivisen y-akselin suuntaisesti painava voima saatiin yhtälön $G_y = \frac{G_z}{\tan 18^\circ} = 11\,888,2 \text{ N}$ avulla. Kuvassa 8 esitetään nostoapuvälineen ja telan painovoiman komponentteihin jakaminen (KUVA 8).



KUVA 8. Painovoiman jakaminen komponentteihin

Nostettavan telan akselin ja nostokoukkujen välinen kitkakerroin vaikuttaa siihen, kuinka paljon kallistuksessa ylemmäksi jäävä nostokoukku pystyy ottamaan oman z -akselinsa suuntaista voimaa vastaan. Tätä kitkakerrointa on puolestaan erittäin vaikea selvittää. Siksi laskennassa oletettiin, että ylös jäävä koukku ei ota lainkaan tätä voimaa vastaan. Näin ollen edellä saatu nostoapuvälineen z -akselin suuntainen voima kerrottiin kahdella $G_{2z} = 3862,7\text{N} \cdot 2 = 7725,42\text{N}$.

3.3.5 Kiinnitys

Lujuustarkastelussa käytetty koukun yksinkertaistettu malli, johon oli myös pursotettu osa nostopuomia, kiinnitettiin kiinteästi kiinni nostopuomin osan päässä olevasta leikkauspinnasta fixed constraint – komennolla. Kyseinen komento tarkoittaa sitä, että sillä kiinnitetty pinta, tässä tapauksessa nostopuomin pään leikkauspinta, ei pääse liikkumaan mihinkään suuntaan eli sillä ei ole yhtään vapausastetta. Kiinnityskohdan valintaan päädyttiin harkinnan ja kokeilujen perusteella ja se todennäköisesti kuvaa parhaiten todellisuutta. Kuvassa 9 on esitetty tarkasteltavan kappaleen kiinnityspinta (KUVA 9).



KUVA 9. Tarkasteltavan kappaleen kiinnityspinta

3.3.6 Verkotus

Autodesk Inventor – ohjelman lujuuslaskentasovelluksen luoma verkotus koostuu tetraedriä muistuttavista elementeistä. Elementtien sivujen kolmiot eivät kuitenkaan ole tasasivuisia kuten tetraedrissä. Särmien pituudet vaihtelevat ja ne voivat olla kaareutuvia. Kuten tetraedrissäkin, myös näissä elementeissä on 4 kärkipistettä. Näitä kärkipisteitä kutsutaan solmuiksi. Elementtien koko määritellään suhteessa tarkasteltavan kappaleen kokoon siten, että ensinnäkin määrätään keskimääräinen särmän pituus. Keskimääräinen särmän pituus määritellään osana tarkasteltavan kappaleen suurimmasta pituudesta ja se on oletusarvoisesti 0,1 eli kymmenesosa. Keskimääräisen särmän pituuden lisäksi ohjelmaan on määriteltävä pienin mahdollinen särmän pituus, joka puolestaan on osa keskimääräisen särmän pituudesta. Ohjelmassa pienimmän mahdollisen särmän pituuden oletusarvo on 0,2 eli viidesosa keskimääräisen särmän pituudesta. Internet-sivu: (Autodesk 2017.)

Tässä lujuustarkastelussa keskimääräinen särmän pituus oli kymmenesosa tarkasteltavan kappaleen suurimmasta pituudesta ohjelman suosituksen mukaan. Pienin mahdollinen särmän pituus oli kymmenesosa keskimääräisestä särmän pituudesta. Elementtien kaareutuminen sallittiin. Kriittiseen kohtaan, eli tässä tapauksessa nostokoukun ja nostopuomin väliseen hitsiin määriteltiin elementin särmän pituudeksi 7mm, joten sillä alueella elementit ovat huomattavasti keskimääräistä pienempiä. Molemmissa suorite-
tuissa lujuustarkasteluissa käytettiin samoja verkotuksen asetuksia.

Samoista verkotuksen asetuksista huolimatta lujuustarkasteluihin tuli eri määrä solmuja ja elementtejä tarkasteltavien kappaleiden erilaisuudesta johtuen. Tarkasteltavat kappaleet olivat hieman erilaisia, koska niihin oli mallinnettu voimien kohdistukseen tarvittavat pinnat eri kohtiin. Alaluvussa **3.3.7** käsiteltävässä lujuustarkastelussa elementtejä oli 2785 kappaletta ja solmujen määrä oli 5788. Alaluvussa **3.3.8** käsiteltävässä kolminkertaisen kuorman lujuustarkastelussa vastaavat luvut olivat 6278 solmua ja 3036 elementtiä.

3.3.7 Ohjelman laskemat jännitykset

Autodesk Inventor – ohjelman lujuustarkastelusovellus ilmoittaa vertailujännityksen von Misesin jännityksenä. Von Misesin jännityksellä tarkoitetaan vakiomuodonvääristymisenergiyahypoteesin avulla laskettua vertailujännitystä, jota verrataan tarkasteltavan materiaalin myötörajaan. Vakiomuodonvääristy-

misenergiyahypoteesi eli VMVEH yhdistää kappaleen tietyssä pisteessä vaikuttavat eri suuntaiset normaali-, ja leikkausjännitykset vertailujännitykseksi, jota verrataan kappaleen myötörajaan. (Karhunen, Lassila, Pyy, Ranta, Räsänen, Saikkonen & Suosara 2012, 308-309.)

Vertailujännityksen voi laskea xyz – koordinaatiston jännityksistä seuraavalla kaavalla (1):

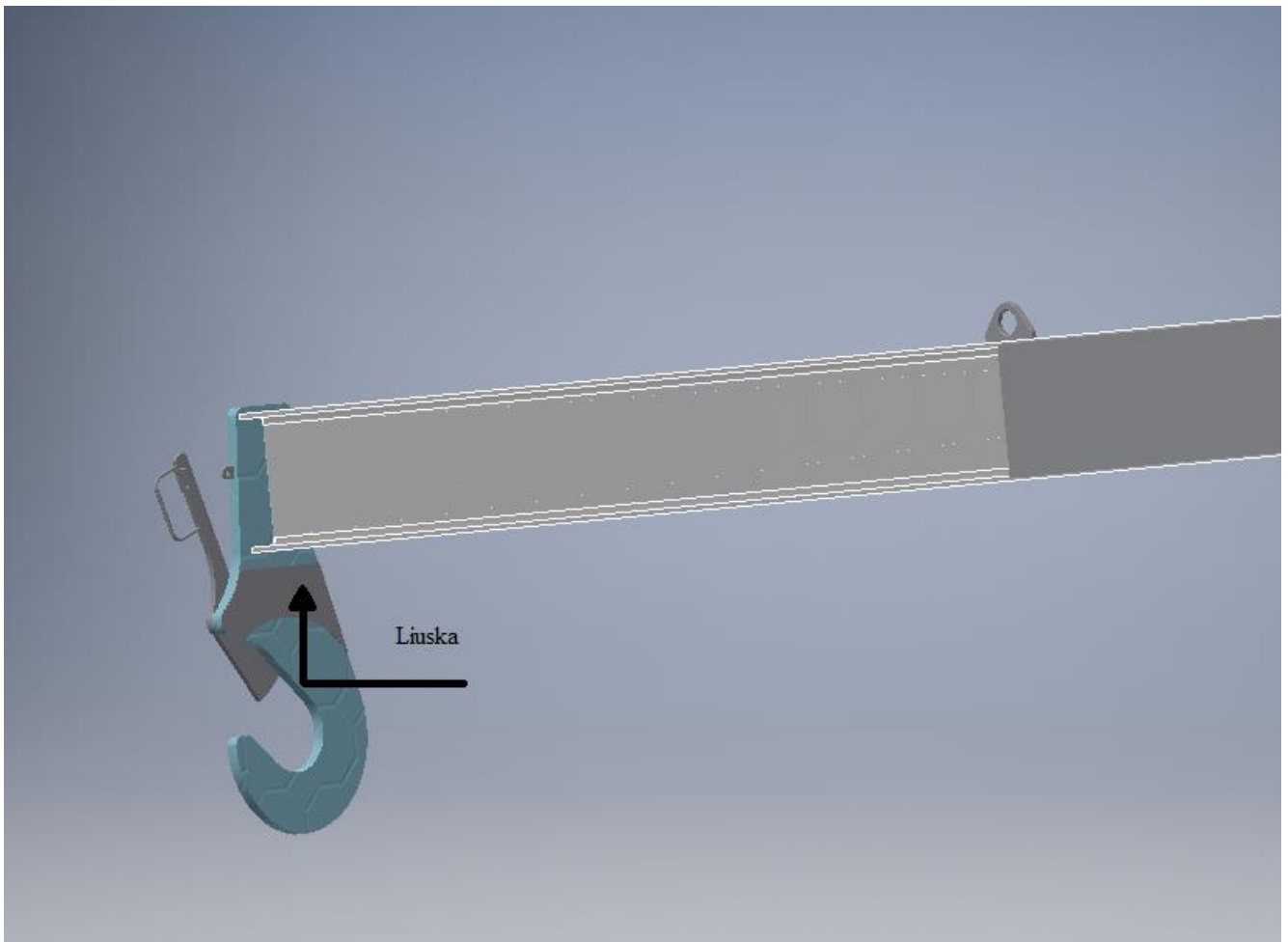
$$\sigma_{vrt} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (1)$$

(Karhunen ym. 2012, 309).

Autodesk Inventor – ohjelma ilmoittaa Von Misesin jännityksen laskemisessa käytetyt jännitykset siten, että kolmen koordinaattiakselin mukaiset normaalijännitykset ovat Stress XX, Stress YY, ja Stress ZZ. Edellä mainitut kolme normaalijännitystä vastaavat kaavassa (1) esiintyviä normaalijännityksiä σ_x , σ_y ja σ_z . Leikkausjännityksiä puolestaan ovat Stress XY, Stress YZ ja Stress XZ. Kaavassa (1) näitä leikkausjännityksiä vastaavat leikkausjännitykset τ_{xy} , τ_{yz} , ja τ_{zx} . Internet-sivu: (Autodesk 2017.)

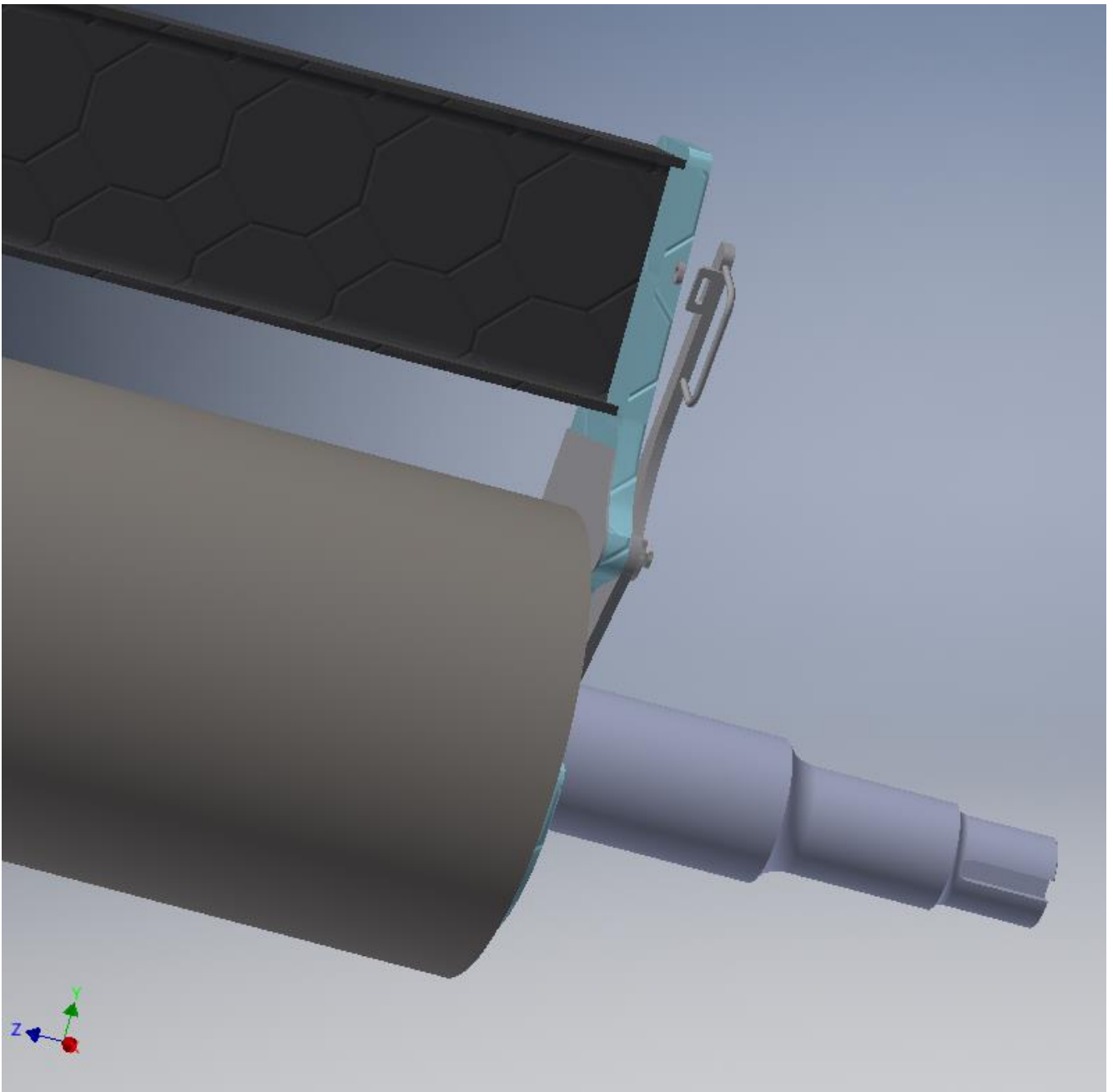
3.3.8 Suurin jännitys tietyllä siirtymällä

Telan nostokoukkuun vastaava pinta sijaitsee telan yläreunassa. Tämän yläreunan vastatessa nostokoukun pintaan, on telan kallistuksessa syntyvän aksiaalivoiman aiheuttama vääntömomentti nostokoukun ja nostopuomin liitoskohdassa suhteellisen pieni. Edellä mainitun toteutuminen on haluttu varmistaa mallintamalla nostokoukun sisäpinnoille, telan yläreunojen kohdille teräsliuskat, että telan yläreunassa oleva vällys olisi pienempi kuin telan akselin kohdalla. Kuvassa 10 on esitetty teräsliuskat paikoillaan nostokoukuissa (KUVA 10).



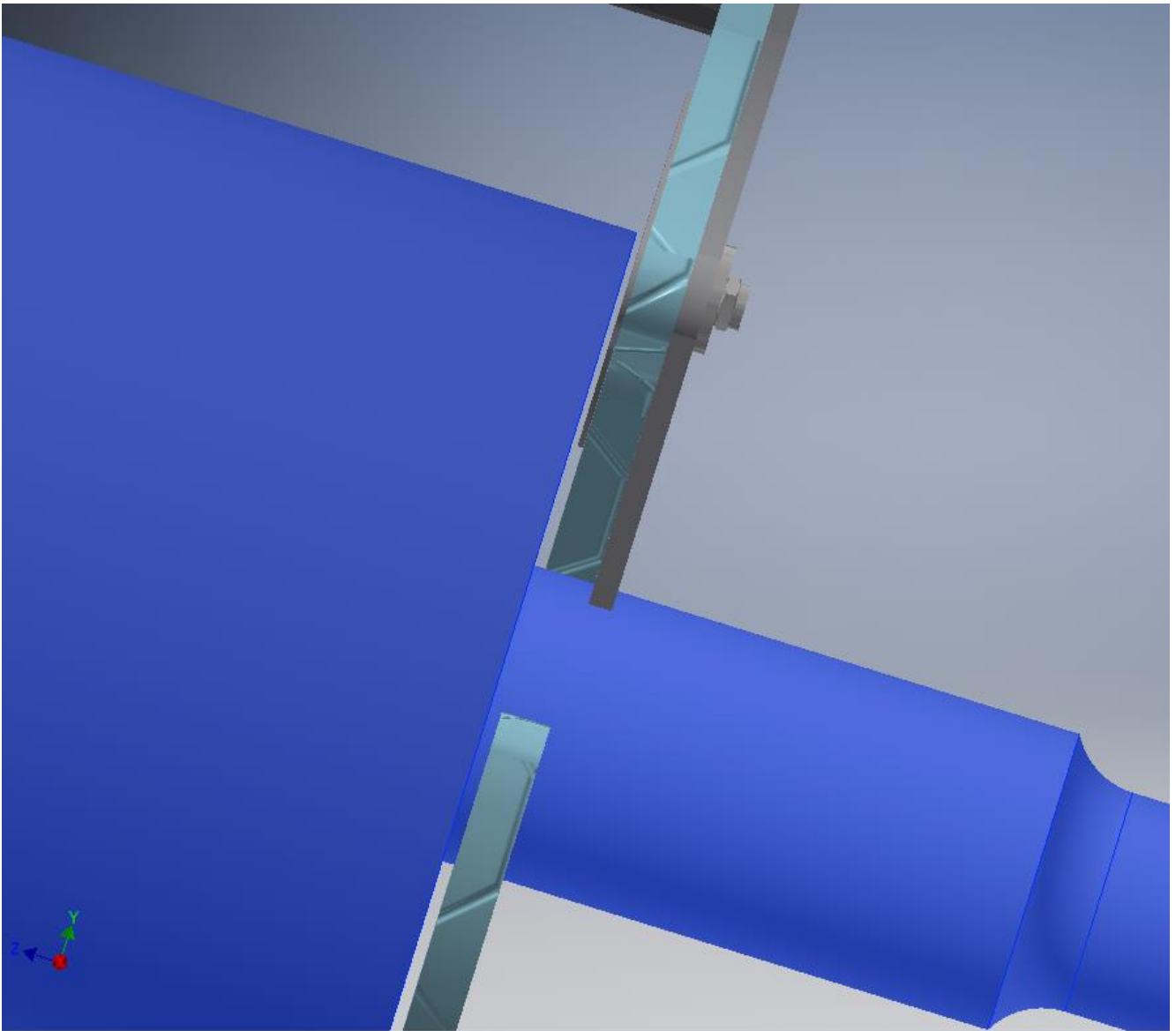
KUVA 10. Koukun sisäpinnalle mallinnettu liuska

Nostoapuvälineen käyttöohjeisiin ja itse nostoapuvälineeseen merkitään vaatimus nostoapuvälineen kiinnittämisestä telaan siten, että kallistuksessa alapuolelle jäävän nostokoukun sisäreuna vastaa nostettavan telan yläreunaan. Kuvassa 11 on esitetty nostoapuvälineen oikea käyttö (KUVA 11).



KUVA 11. Oikea käyttö

Tarkasteltavana on tilanne, jossa nostoapuväline on vastoin ohjeita kiinnitetty telaan siten, että kallistuksessa yläpuolelle jäävän nostokoukun sisäreuna vastaa nostettavaan telaan. Tällöin alapuolella sijaitsevan nostokoukun ja nostettavan telan välinen välys on kaikista suurin eli tilanne on kaikista epäedullisin. Kuvassa 12 on esitetty telan väärä kiinnitystapa (KUVA 12).



KUVA 12. Väärä käyttötapa

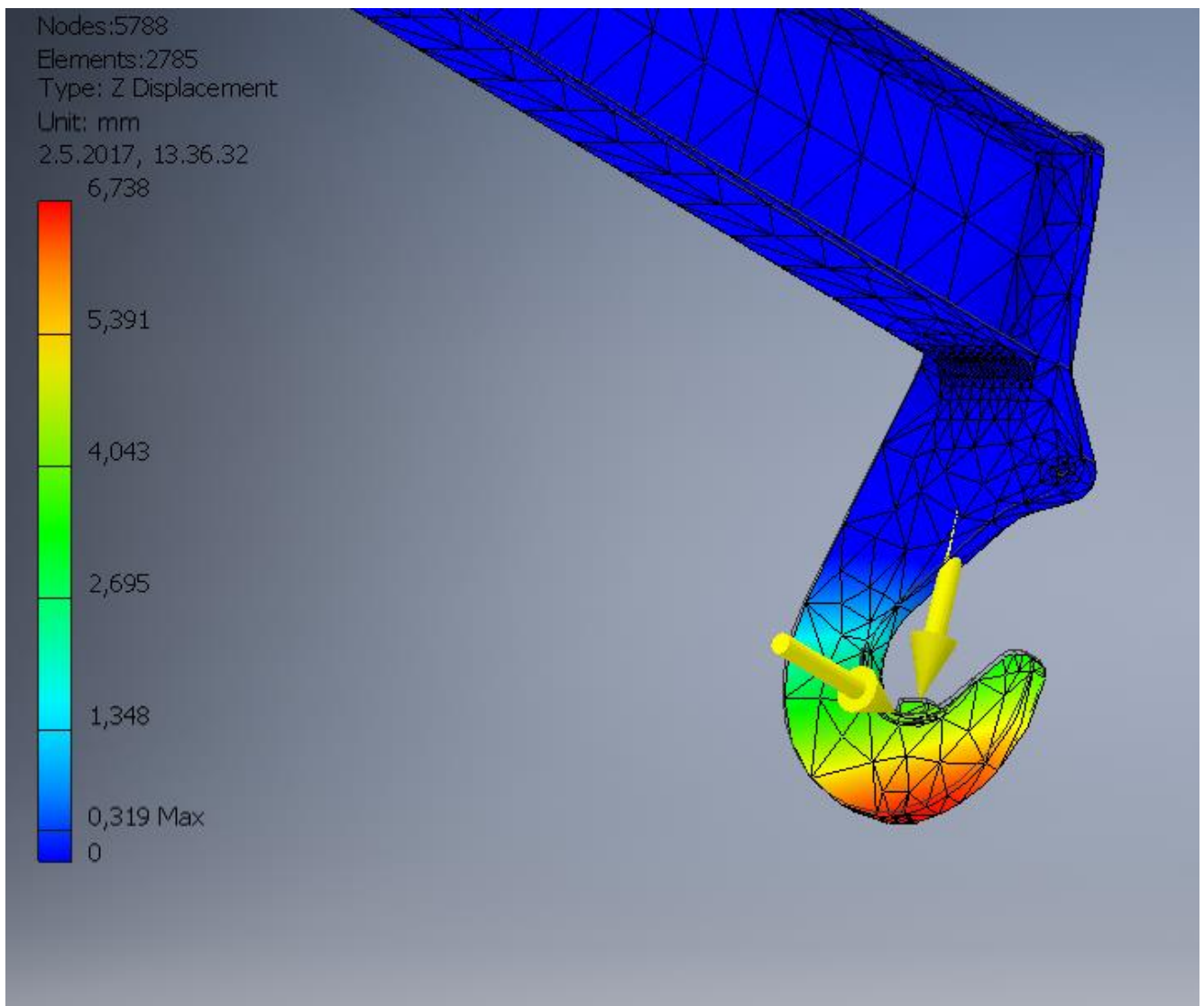
Nostokoukkujen yläosiin kiinnitettävien liuskojen paksuudeksi määriteltiin 2,85mm. Kun nostettava tela vastaa yläreunastaan toisen nostokoukun sisäpinnassa olevaan liuskaan, jää telan toisessa päässä olevan yläreunan ja nostokoukun sisäpinnassa olevan liuskan väliin tyhjää tilaa 3,5mm.

Tätä lujuustarkastelua varten tehtiin nostokoukusta ja nostopalkin osasta oma malli, jossa z -akselin suuntaiselle voimalle oli oma kohdistuspinta kohdassa, jossa telan akseli makaa nostokoukun sisällä. Siten ohjelman laskema taivutusmomentti ja edelleen jännitykset saatiin mahdollisimman totuudenmukaisesti vastaamaan nostoapuvälineen väärää käyttöä. Kuvassa 13 on esitetty voimavektoreiden sijoi- tusta varten mallinnetut pinnat (KUVA 13).



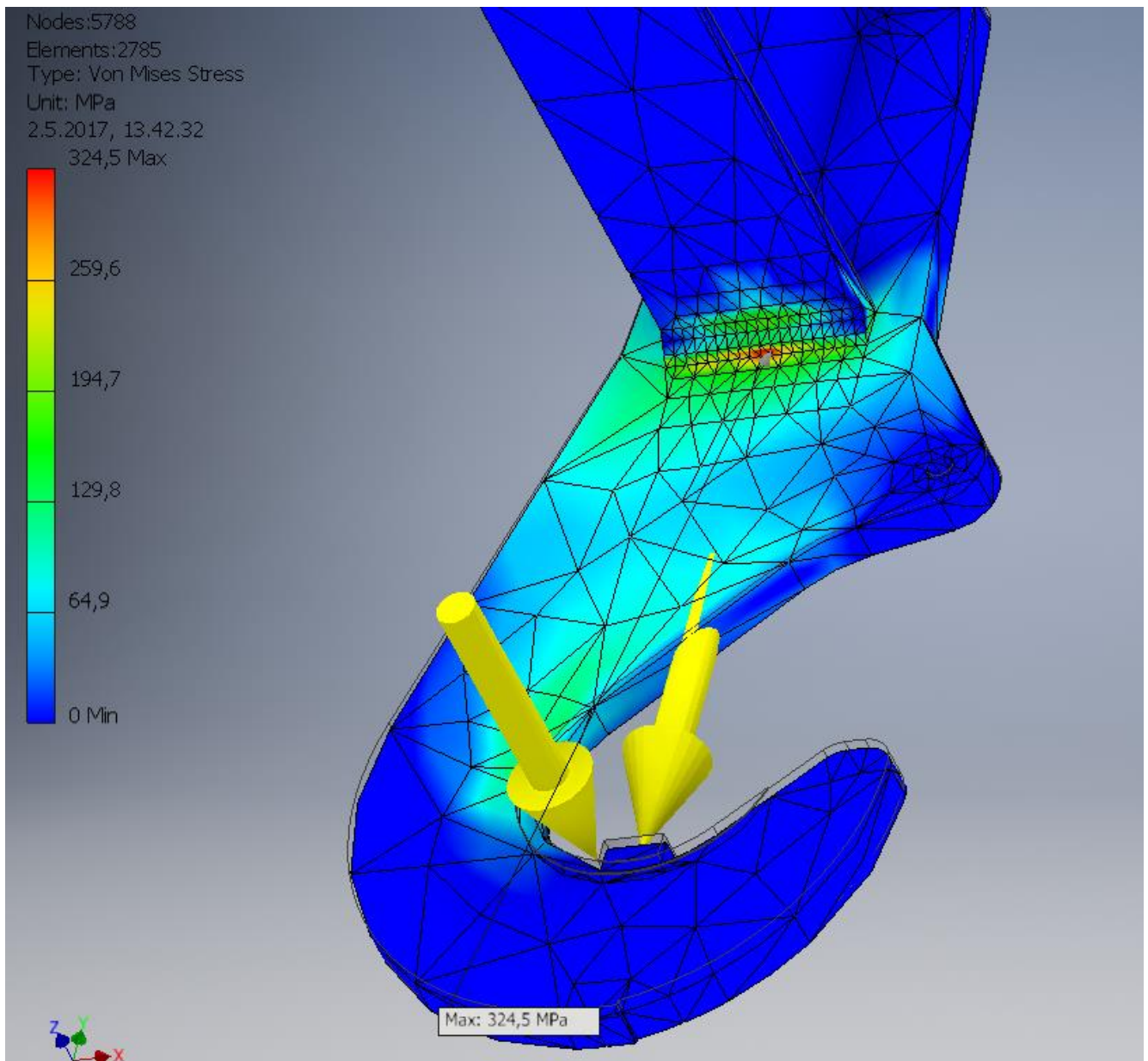
KUVA 13. Voimavektoreita varten mallinnetut pinnat

Lujuustarkasteluohjelman avulla laskettiin maksimijännitys tilanteessa, jossa telan aksiaalinen voima on taivuttanut nostokoukun telan akseliin vastaavaa pintaa z -akselin negatiivisessa suunnassa yli 3,5mm niin, että telan yläreuna alkaa vastata nostokoukun yläosassa olevaan liuskaan. Kuvassa 14 esitetään z -akselin suuntainen siirtymä lujuustarkastelussa (KUVA 14).



KUVA 14. Siirtymä z – akselin suunnassa

Tarkastelussa maksimijännitys pysyi myötörajan alapuolella, joten nostoapuvälineeseen ei synny pysyviä muodonmuutoksia vaikka sitä käytettäisiin ohjeiden vastaisesti. Tämän osalta nostoapuväline täyttää turvallisuusvaatimukset. Kuvassa 15 on esitetty suurin jännitys ja sen sijainti tarkasteltavassa kappaleessa (KUVA 15).



KUVA 15. Suurin jännitys

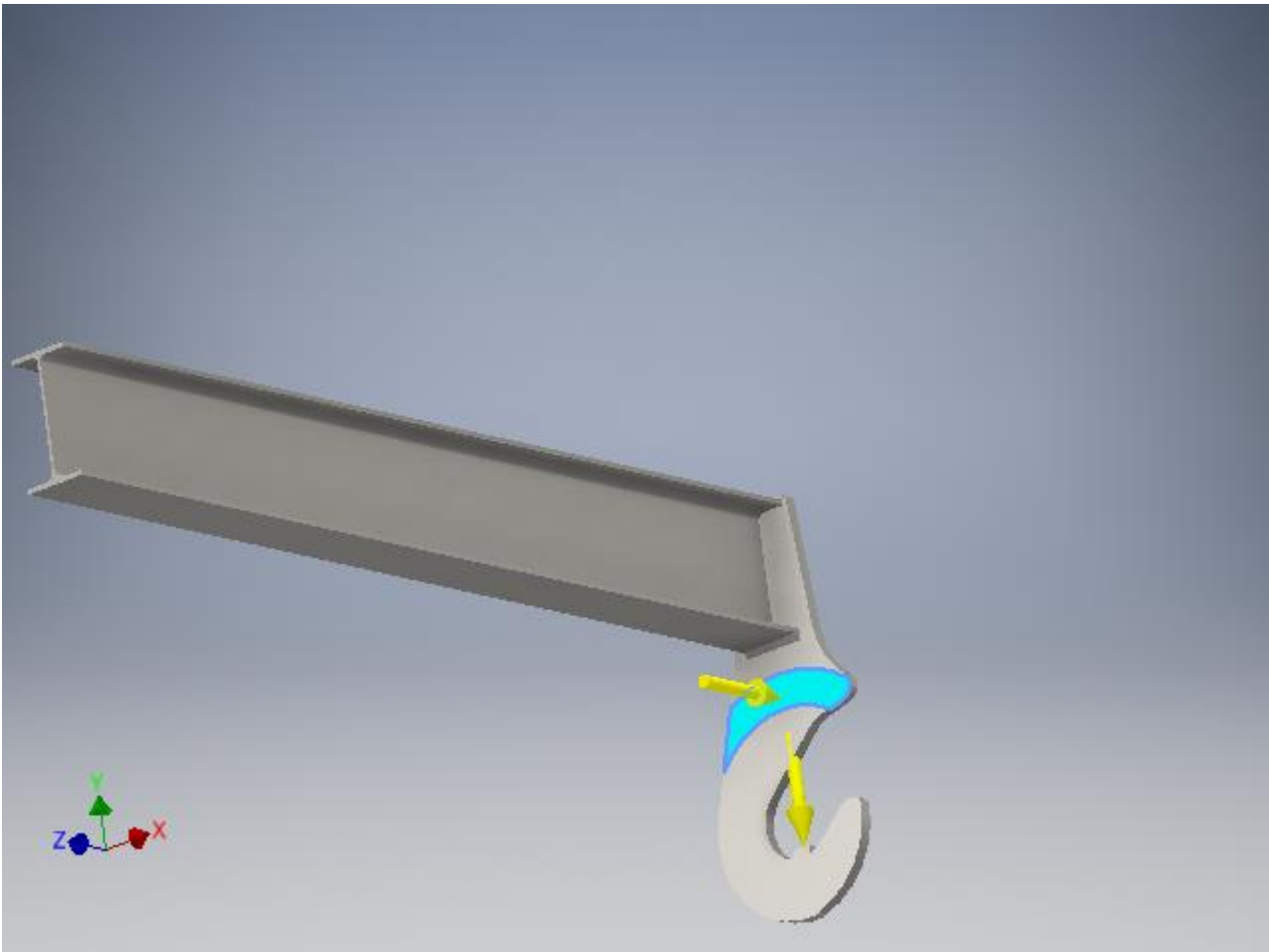
3.3.9 Lujuustarkastelu kolminkertaisella kuormalla

Nostoapuvälineitä koskevan standardin mukaan nostoapuvälineen on kestävä staattinen kuorma, joka vastaa sen nostokykyä kolminkertaisena kuorman irtoamatta, vaikka nostoapuvälineessä tapahtuisi pysyviä muodonmuutoksia. (SFS-EN 13155 + A2 2009, 32)

Edellä mainittu standardin vaatimus tarkoittaa käytännössä sitä, että lujuustarkastelu on tehtävä kolminkertaisella kuormituksella ja tuloksissa aineen murtolujuus ei saa ylittyä. Lujuusluokan S355 – rakenneräksen murtolujuus on 470 – 630 MPa ainepaksuuden ollessa suurempi kuin 3mm ja pienempi tai yhtä suuri kuin 100mm (Valtanen 2013, 1065).

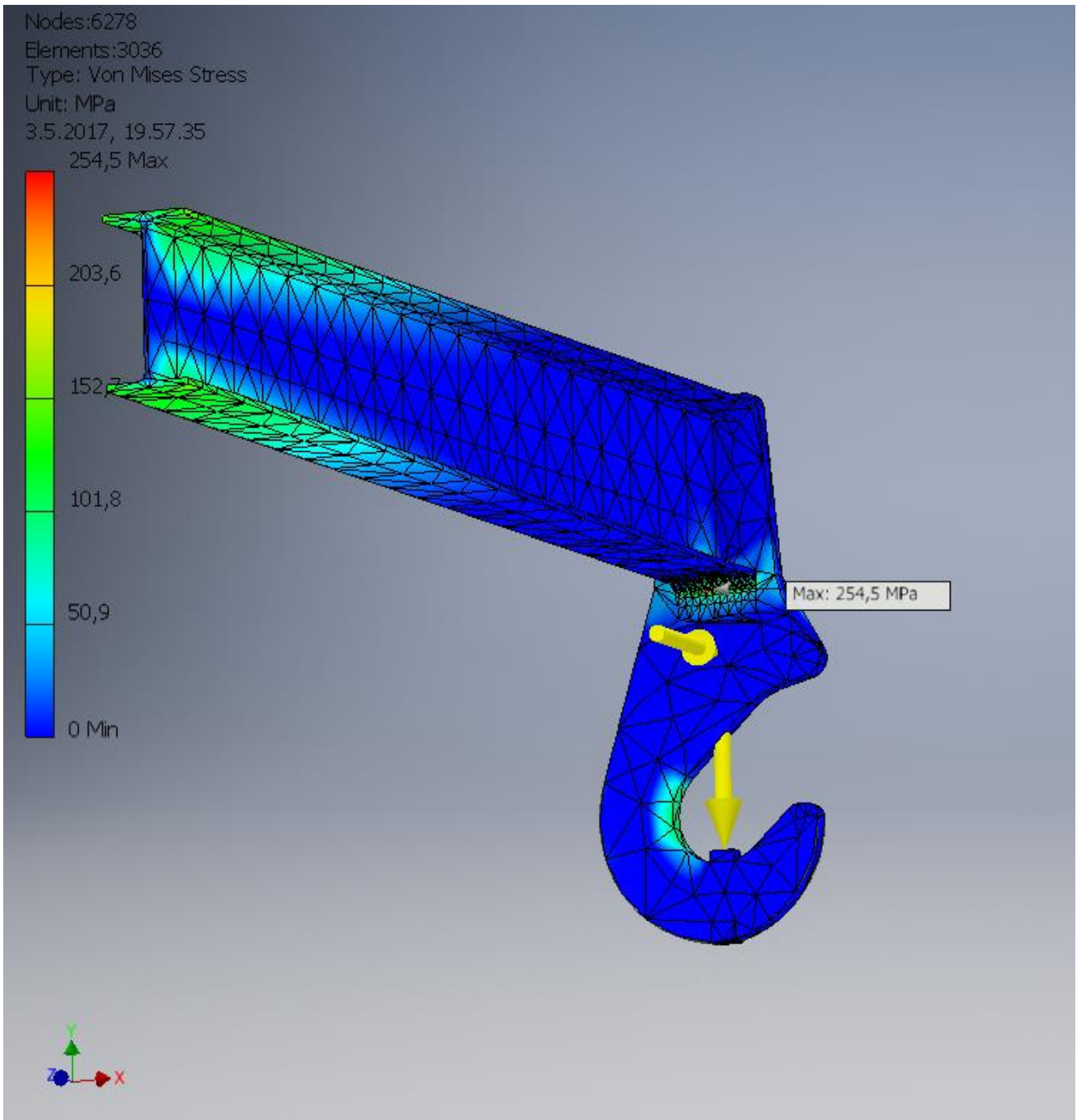
Alaluvussa **3.3.4** lasketut voimavektoreiden suuruudet kerrottiin luvulla kolme, jotta edellä mainittu standardin vaatimus toteutuisi. Lujuustarkastelussa käytettyjen voimavektoreiden suuruudet olivat siten seuraavat: $F_{3y} = 11\,888,2\text{ N} * 3 = 35\,664,6\text{ N} \approx 35\,665\text{ N}$ ja $F_{3z} = 7725,42\text{ N} * 3 = 23\,176,3\text{ N} \approx 23\,177\text{ N}$.

Tätäkin lujuustarkastelua varten tehtiin oma malli, jotta tarkasteltavat kuormitukset saatiin kohdistettua oikein. Nostokoukun yläosaan sen sisäpuolelle mallinnettiin pinta, johon z -akselin suuntainen voima voitiin kohdistaa. Pinta mallinnettiin kohtaan, jossa tela vastaa nostokoukkuun kallistuksessa. Y -akselin suuntainen voima sijoitettiin vaikuttamaan samalle pinnalle kuin edellisessäkin tarkastelussa. Kuvassa 16 on esitetty voimavektoreiden kohdistaminen (KUVA 16).



KUVA 16. Voimien vaikutuspinnat

Lujuustarkastelun tulosten perusteella nostoapuväline kestää kolminkertaisen kuormituksen. Koska myötöraja ei ylity missään kohdassa, ei lujuustarkastelua tarvitse suorittaa kaksinkertaisella kuormituksella. Kuvassa 17 on esitetty suurin jännitys ja sen sijainti kolminkertaisella kuormalla (KUVA 17).

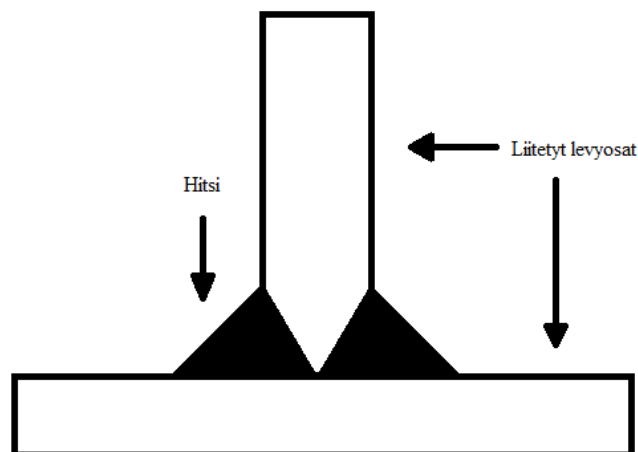


KUVA 17. Suurin jännitys kolminkertaisella kuormalla

3.4 Hitsien mitoitus

Tasalujilla liitoksilla tarkoitetaan hitsiliitoksia, jotka kestävät samat staattiset rasitukset kuin liitettävistä rakenneosista heikompi. Kaikki teräsrakenteissa käytetyt läpihitsatut liitokset ovat tasalujia jos ne on oikein toteutettu ja hitsiluokan C vaatimukset täyttäviä. Tasalujien liitosten staattista kestävyyttä ei tarvitse erikseen laskea. (Niemi 2003,74.) Hitseille ei tarvitse suorittaa väsymistarkastelua, jos niissä esiintyvien jännitysvaihteluiden lukumäärä on alle 10 000 kertaa (Niemi 2003, 65). Irrotettavia nostoapuvälineitä koskevan standardin mukaan väsymistarkastelua ei tarvitse suorittaa jos käyttökertojen määrä on alle 20 000 kertaa (SFS-EN 13155 + A2 2009, 8). Tässä opinnäytetyössä suunniteltavaa nostoapuvälinettä tullaan käyttämään korkeintaan neljä kertaa vuodessa, joten väsymistarkastelua ei tarvitse suorittaa.

Suunniteltuun nostoapuvälineeseen tulee suhteellisen vähän hitsejä, joten niiden tyypeistä tai laadusta ei tarvitse kustannusten nimissä tinkiä. Kaikki hitsit päätettiin toteuttaa parhaalla mahdollisella tavalla, eli tasalujina ja hitsiluokan B vaatimukset täyttävinä. Kaikki liitokset toteutettiin läpihitsattuna (KUVA 18) jos se oli mahdollista tai järkevää. Kaikki hitsit joita ei läpihitsattu, mitoitetiin kuitenkin tasalujiksi laskemalla niille riittävän suuret a – mitat. Kuvassa 18 on esitetty läpihitsattu K – hitsi (KUVA 18).



KUVA 18. Läpihitsattu K-hitsi

Niemi (2003, 68-69) esittelee kirjassaan kaksi erilaista laskukaavaa hitsin a-mitan ratkaisemiseksi. Näitä ovat tarkempi- ja yksinkertaisempi mitoitustapa. Yksinkertaisempi mitoitustapa olettaa kaikkien hitsiin kohdistuvien jännitysten olevan leikkausjännityksiä eli hitsin kannalta kaikista epäedullisimpia. Yksinkertaisemman mitoitustavan avulla lasketut hitsit saattavat joskus olla hieman ylimitoitettuja, mutta erot tarkemman tavan välillä eivät ole suuria. (Niemi 2003, 68-69.)

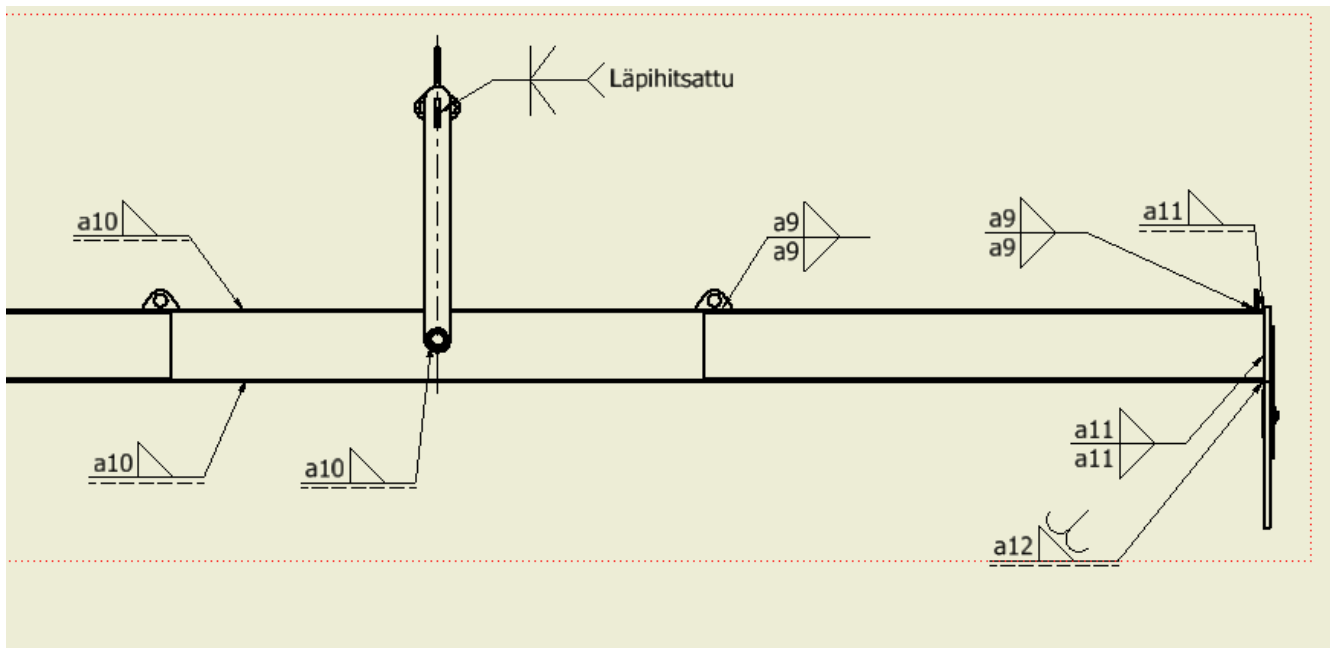
Tässä hitsit, joita ei voitu toteuttaa läpihitsattuina, mitoitettiin tasalujuiksi liitosten heikomman rakenneosan kanssa edellä mainitun yksinkertaisemman mitoitustavan avulla (2). Kaavaa on muokattu helpommin sovellettavaan muotoon (kaava 2).

$$a \geq a_{\text{mit}} = \frac{F_{\text{mit}} * \sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * l} \quad (2)$$

Kaavassa (2) esiintyvistä termeistä a_{mit} tarkoittaa mitoituksessa käytettävää a – mittaa, F_{mit} tarkoittaa mitoitusvoimaa, β_w -kerroin edustaa perusaineen ja hitsiaineen lujuuden välistä suhdetta ja on materiaalilla S 355 arvoltaan 0,9, γ_{M2} tarkoittaa hitsin osavarmuuslukua ja on arvoltaan 1,25. Kaavassa tarvittava mitoitusvoima F_{mit} ratkaistiin siten, että materiaalin myötölujuus 355 MPa kerrottiin jokaisessa liitoksessa heikomman rakenneosan pinta-alalla ja tuloksena saatiin mitoitusvoima. Tällöin kaava (2) antoi suoraan pienimmän mahdollisen a – mitan, jolla hitsi oli tasaluja heikomman rakenneosan kanssa.

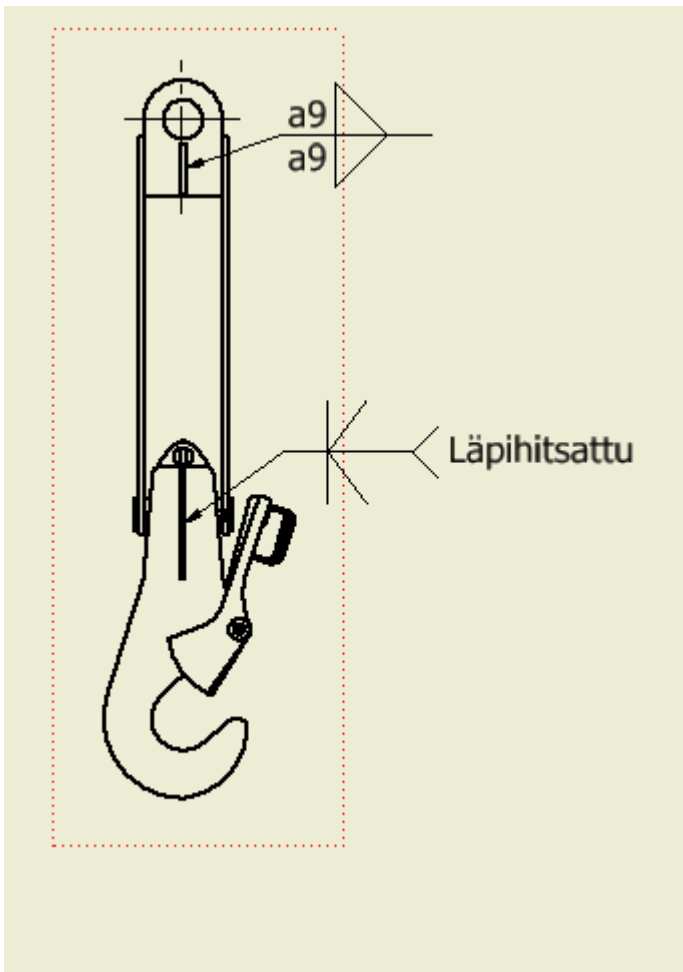
Hitsien mitoituksen valmistuttua huomattiin, että Niemen kirja perustui vanhentuneisiin standardeihin (Niemi 2003, 62). Käytetyn laskukaavan (2) oikeellisuus tarkistettiin ajantasaisesta standardista ja standardin antama laskukaava oli täysin yhdenmukainen käytetyn laskukaavan kanssa (SFS-EN 1993-1-8 2005, 47).

Kuvassa 19 on esitetty nostoapuvälineen hitsausmerkintöjä (KUVA 19).



KUVA 19. Nostoapuvälineen hitsausmerkintöjä

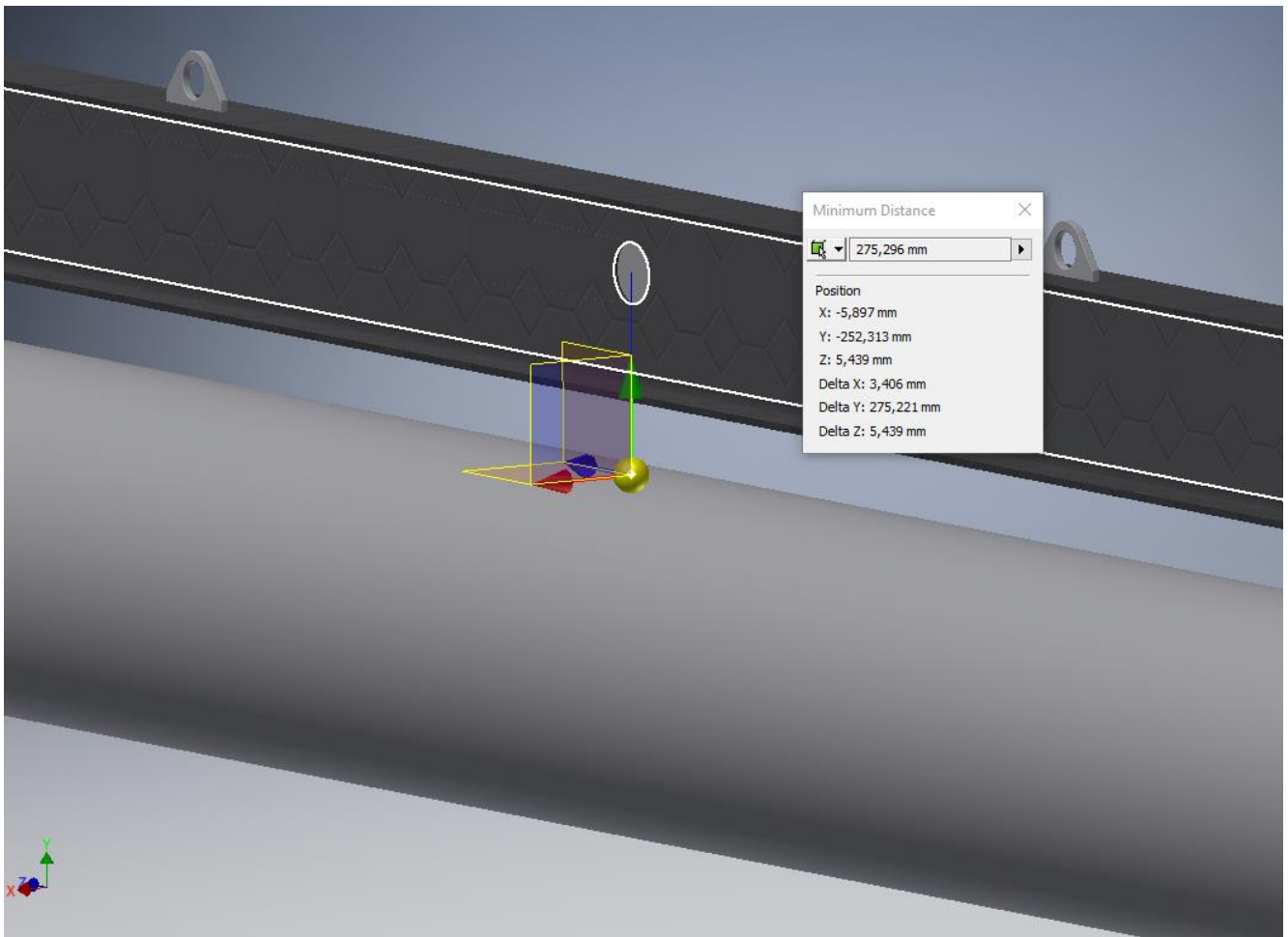
Kuvassa 20 on esitetty lisää nostoapuvälineen hitsausmerkintöjä (KUVA 20).



KUVA 20. Lisää nostoapuvälineen hitsausmerkintöjä

3.5 Taljojen mitoitus

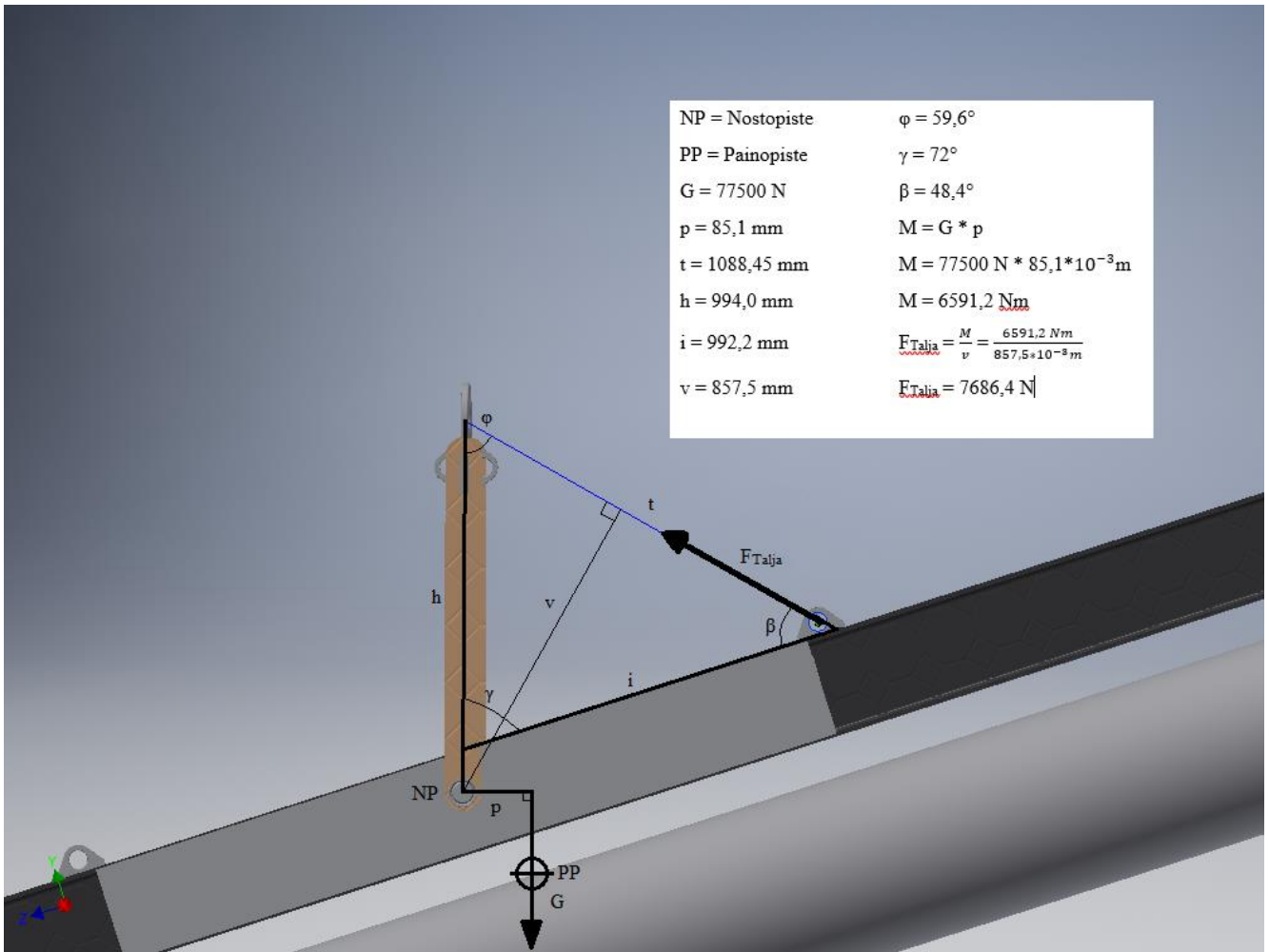
Telan kallistukseen käytetään ketjugaljoja tilaajan toivomuksesta. Ketjugaljojen mitoitus suoritettiin selvittämällä nostoapuvälineeseen kallistuksen aikana vaikuttavien voimien suuruudet ja suunnat, sekä niiden aiheuttamat momentit nostopisteen eli nostopalkin läpi menevän reiän suhteen. Autodesk Inventor –ohjelmassa on toiminto, joka näyttää painopisteen sijainnin mille tahansa kappaleelle tai kokoonpanolle. Kuvassa 21 on esitetty painopisteen pystysuora etäisyys nostopisteestä (KUVA 21).



KUVA 21. Painopisteen pystysuora etäisyys nostopisteeseen

Painopisteen pystysuuntainen etäisyys nostopisteestä mitattiin nostoapuvälineen ollessa suorassa, tämän jälkeen voitiin trigonometrian avulla laskea lyhin suorakulmainen etäisyys painopisteeseen sijoitetun keskitetyn painovoiman vaikutussuoralta nostopisteeseen nostoapuvälineen ollessa kallistuskulmassa. Tämä lyhin suorakulmainen etäisyys painovoiman vaikutussuoralta on painovoiman momenttivarsi nostopisteen suhteen, joka kerrottuna itse painovoimalla antaa painovoiman nostopisteeseen aiheuttaman momentin. Tämä momentti pyrkii kallistamaan nostoapuvälinettä takaisin vaakasuoraan asentoon ja sen suuruus kasvaa kallistuskulman kasvaessa. Tästä nostoapuvälineen vakavuudesta johtuen voidaan kallistuksessa nostoapuvälineen alempana olevan pään puoleisen ketjutaljan lujustarkastelu sivuuttaa. Sen tarkoituksena on vain estää nostoapuvälineen tahaton ylimääräinen liike yli suurimman sallitun kallistuskulman esimerkiksi liikuteltaessa nostoapuväline-tela yhdistelmää nosturissa.

Kallistuksessa nostoapuvälineen ylemmäs jäävän pään puoleisen ketjutaljan mitoitus suoritettiin siten, että selvitettiin mikä on sen voiman F_{Talja} suuruus, joka synnyttää riittävän suuren vastamomentin nostopisteeseen vaikuttavalle painovoiman synnyttämälle momentille siten, että nostopisteeseen vaikuttavat momentit ovat tasapainossa. Kuvassa 22 on esitetty taljavoiman ratkaisu (KUVA 22).

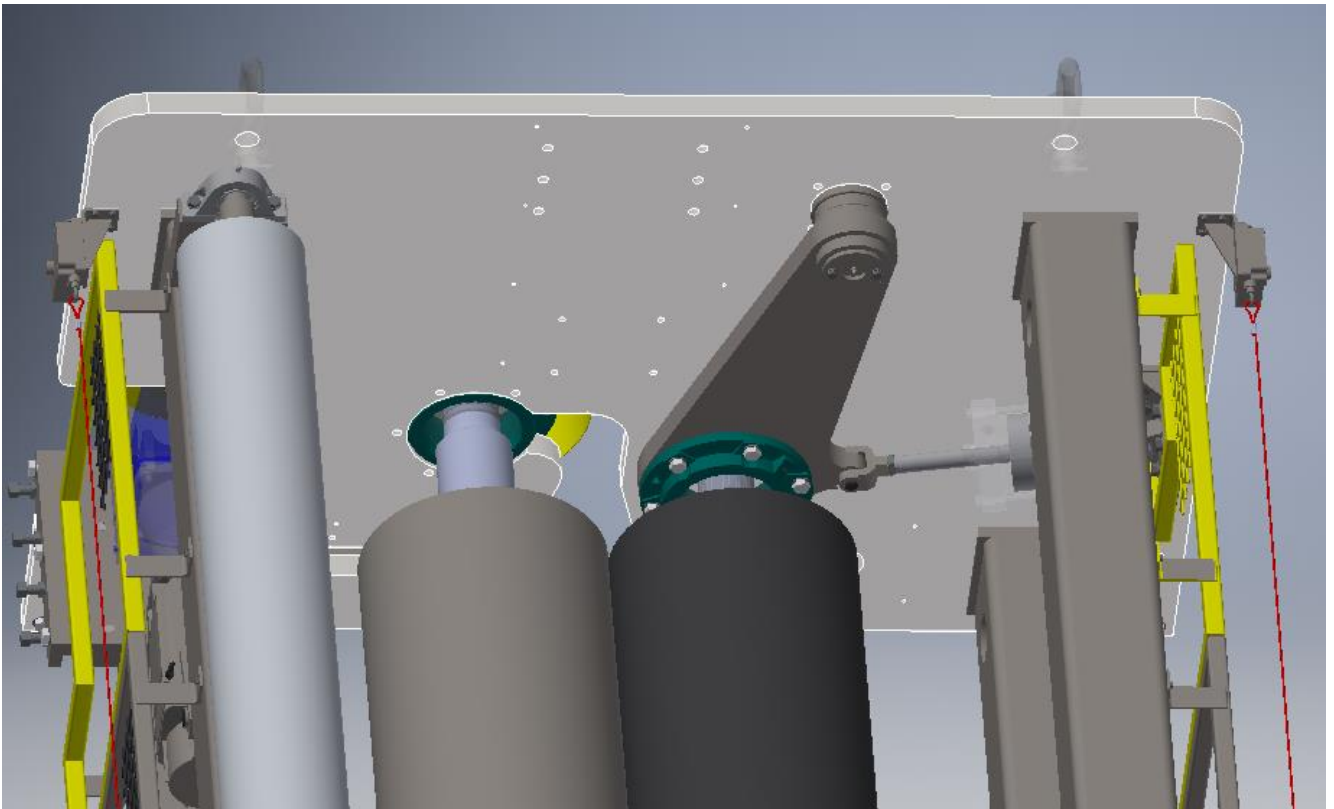


KUVA 22. Taljavoiman ratkaisu

Kuvan 22 mukaisesti taljavoiman arvoksi saatiin $F_{\text{Talja}} = 7686,4 \text{ N}$, joka vastaa noin 790 kg:n suuruista massaa (KUVA 22). Koska laskelmissa käytettiin G :n arvona nostoapuvälineen ja telan painovoimaa kolminkertaisena, ei edellä mainittua 790 kg:n lukemaa tarvitse enää kertoa millään varmuuskertoimella. Ketjutaljana on käytettävä CE – hyväksyttyä, nostamiseen tarkoitettua ketjutaljaa, jonka suurin sallittu kuormitus on oltava vähintään 790 kg.

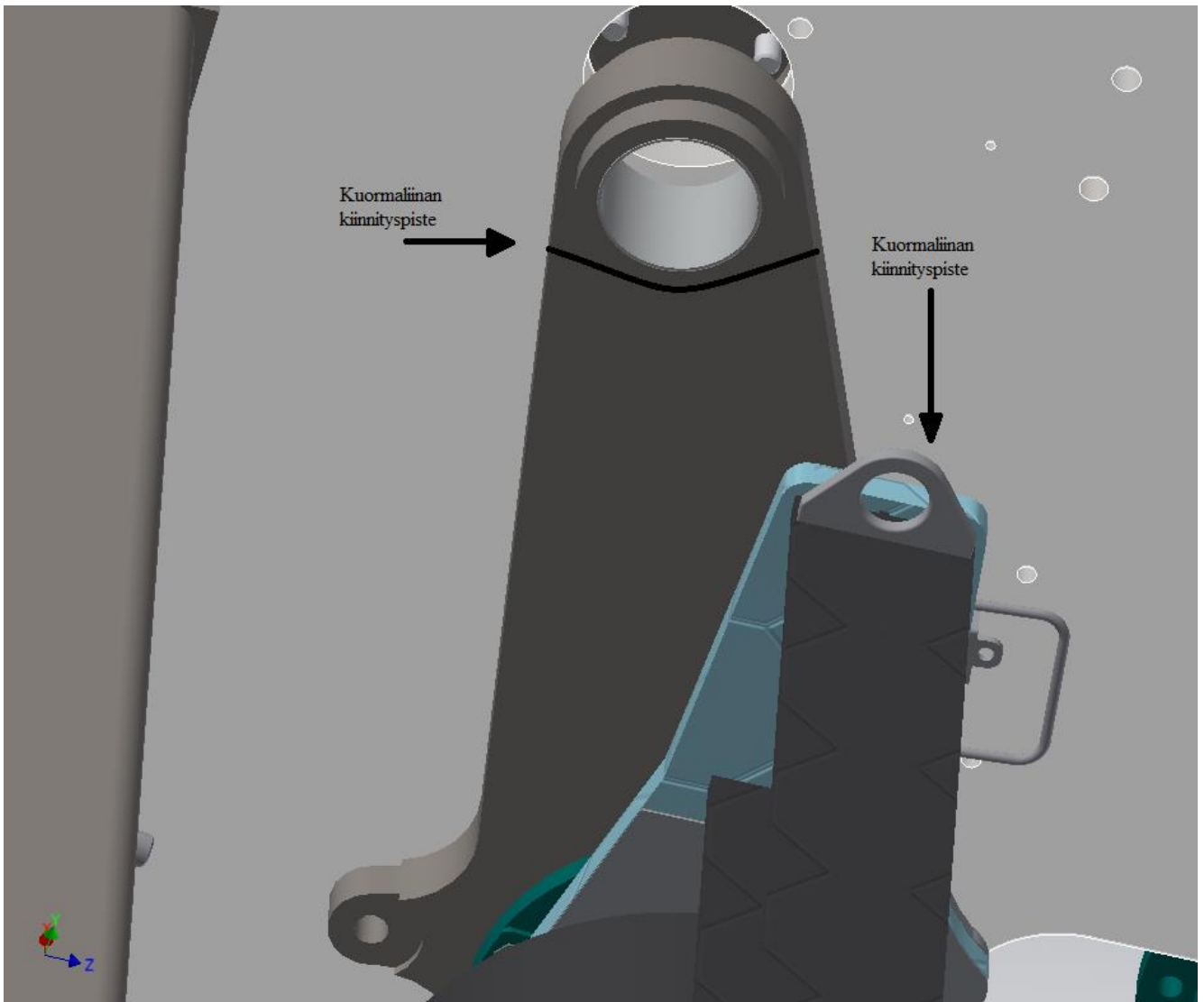
3.6 Kääntövarsien kiinnitys noston ajaksi

Toinen telakoneiston teloista on hydraulisyntereiden avulla kääntyvä. Se on kiinnitetty molemmista päistään kuvan 23 mukaisesti kääntövarsiin, jotka puolestaan ovat yläosistaan kiinnitetty telakoneiston seinämiin laakereiden välityksellä. Kuvassa 23 on esitetty toinen kääntövarsista (KUVA 23).



KUVA 23. Kumitelan akseli on kiinnitetty kääntövarteen

Edellä mainittua kumitelaa ei tarvitse kallistaa kun se nostetaan pois telakoneistosta. Kumitela irrotetaan siten, että se kiinnitetään nostoapuvälineeseen, myös kääntövarret kiinnitetään nostoapuvälineeseen (KUVA 24), kääntövarsien yläpäätt irrotetaan laakereistaan ja puristusmäntien varret irrotetaan kääntövarsien alaosista, jonka jälkeen kumitela kääntövarsineen voidaan nostaa suoraan ylöspäin pois telakoneistosta. Kääntövarret on voitava kiinnittää nostoapuvälineeseen, koska muuten ne kaatuisivat alas kun niiden yläpäätt on irrotettu laakereistaan ja puristusmäntien varret irrotettu. Kääntövarsien kiinnitystä varten nostopuomin päihin on hitsattu kiinni korvat, joihin kääntövarret voidaan kiinnittää kuormasidontaliinojen avulla. Kuvassa 24 on esitetty toisen kääntövarren kiinnityspiste, sekä nostopuomissa oleva koukku, johon kuormasidontaliina kiinnitetään (KUVA 24).

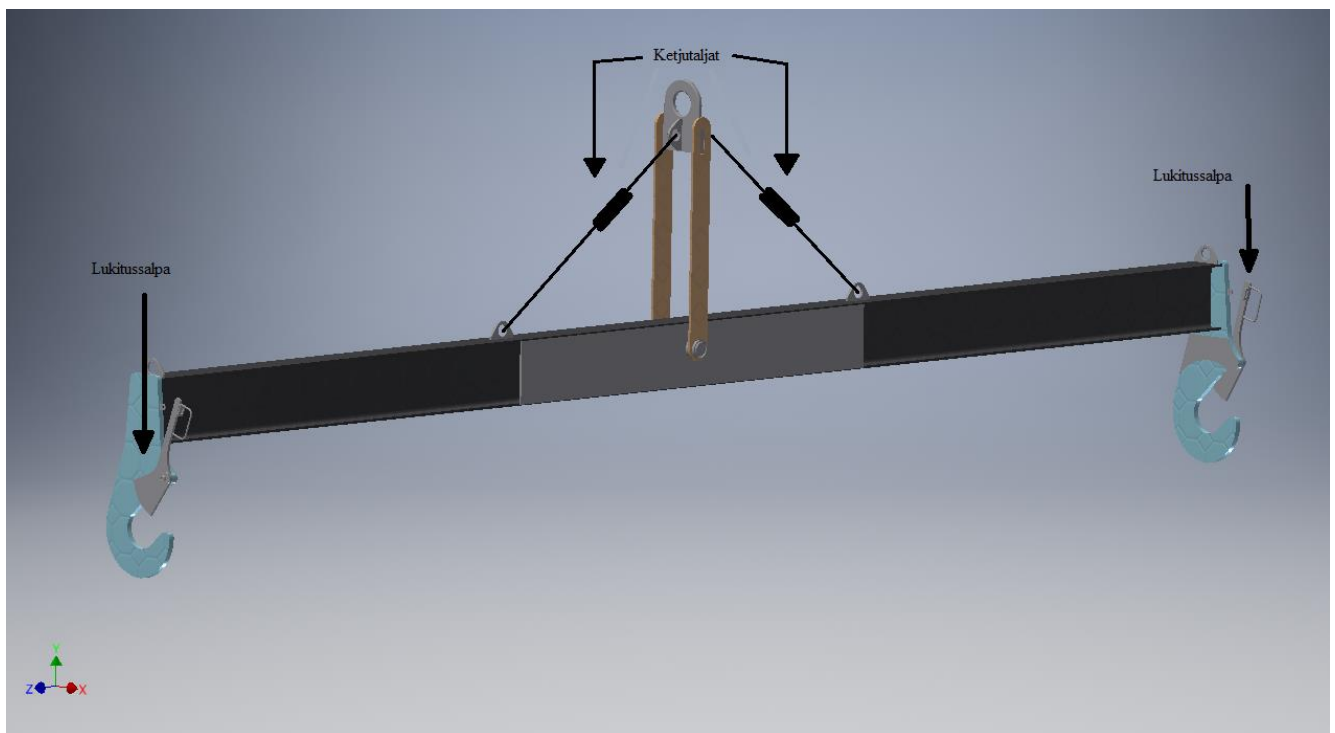


KUVA 24 Kääntövarren kiinnityspisteet

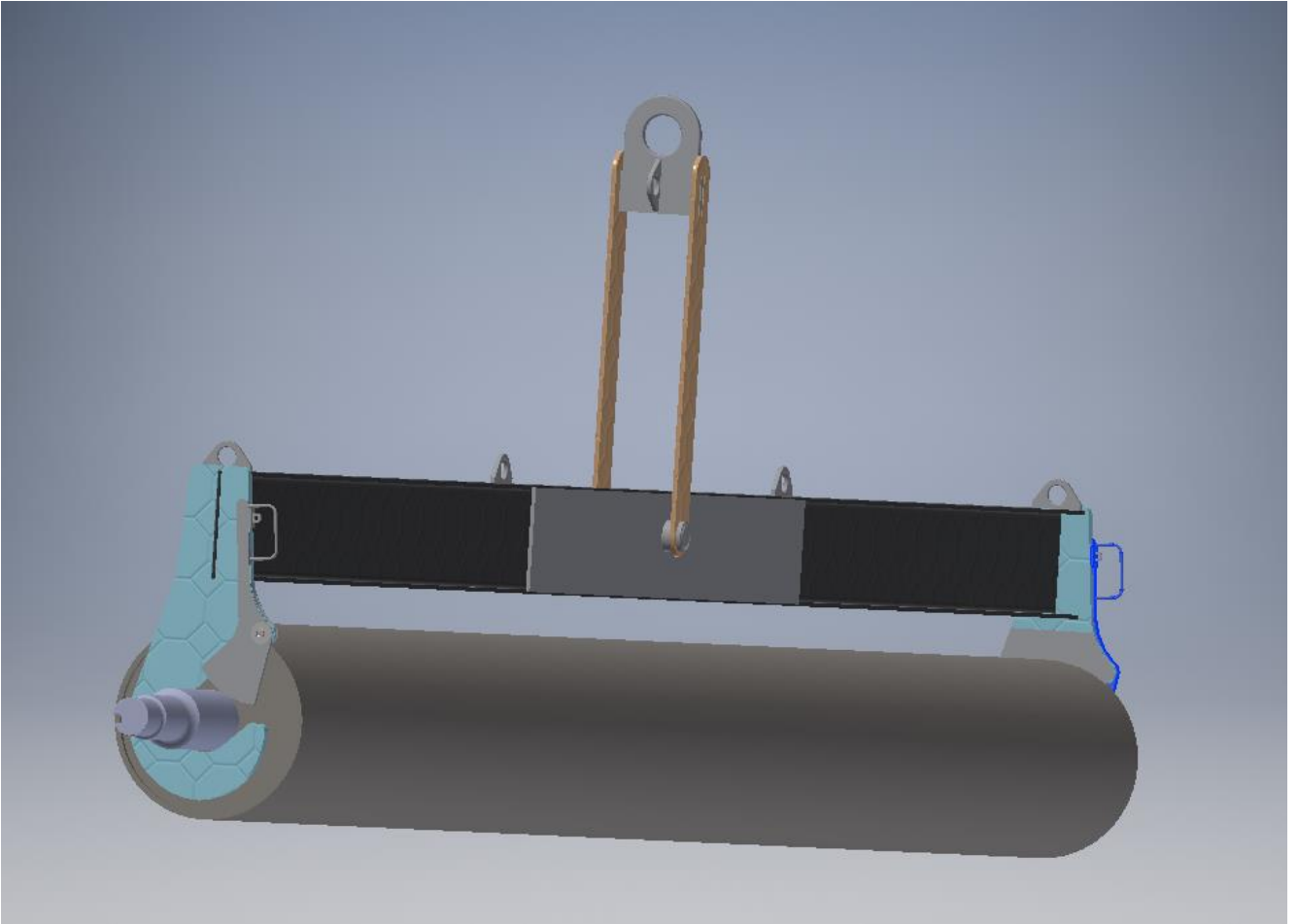
Kääntövarsi kiinnitetään siten, että kuormaliina vedetään nostopuomissa olevalta kiinnityskorvalta kääntövarren taakse ja pyöräytetään sen ympäri joitain kertoja, ennen kuin se kiinnitetään takaisin nostopuomissa olevaan kiinnityskorvaan. Näin estetään kuormaliinan liukuminen kääntövarren päällä. Kääntövarren sitomisessa käytetty kuormaliina on oltava CE – hyväksytty ja se on oltava mitoitettu kestäämään vähintään 1500 N voima.

3.7 Lopputulos

Lujuustarkastelujen ja geometrian muuttamisen jälkeen nostoapuvälineen geometria oli suhteellisen samankaltainen kuin ennen lujuustarkasteluja. Ainevahvuuksia tosin oli jouduttu suurentamaan monessa kohtaa, mutta mitään suuria muutoksia alustaviin suunnitelmiin ei jouduttu tekemään. Tämä on huolellisen esisuunnittelun ansiota. Ohessa on kuvia nostoapuvälineen lopullisesta geometriasta (KUVA 25), (KUVA 26). Kuvaan 25 lisättyjen ketjutaljojen muoto on vain suuntaa antava.



KUVA 25. Nostoapuvälineen lopullinen geometria



KUVA 26 TELA KIINNITETTYNÄ NOSTOAPUVÄLINEESEEN

4 TILAAJALLE TOIMITETUT DOKUMENTIT

4.1 Valmistuspiirustukset

Työn tilaajalle toimitettiin nostoapuvälineestä osapiirustukset ja kokoonpanopiirustus. Kokoonpanopiirustuksessa määritellään myös hitsit ja pintakäsittely. Lisäksi tilaajalle toimitettiin leikattavista levyosista DWG -kuvat. Nämä kuvat helpottavat levyosien valmistamista NC – koneella.

4.2 Lujuustarkasteluraportti

Nostoapuvälineen lopulliselle geometrialle suoritetuista lujuustarkasteluista laadittiin raportti, josta ilmenee sen eri osien vaatimustenmukaisuus. Tämä raportti toimitettiin työn tilaajalle.

4.3 Käyttö- ja huolto-ohjeet

Nostoapuvälineelle laadittiin standardin mukaiset käyttö- ja huolto-ohjeet. Näiden ohjeiden laatimisessa pyrittiin yksinkertaiseen, helposti ymmärrettävään tekstiin.

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella nostoapuväline käytettäväksi Ab Rani Plast Oy:n uudella tuotantolinjalla rullaustelan nostossa. Työn toteutuksessa onnistuttiin tekijän oman arvion mukaan hyvin, koska nostoapuväline saatiin suunniteltua vaatimukset täyttäväksi. Työn tilaajalle toimitettiin nostoapuvälineen valmistuksessa ja käytössä tarvittavat dokumentit. Nostoapuvälineen ensimmäinen todellinen käyttökerta näyttää lopullisesti miten hyvin ergonomia- ja helppokäyttöisyysvaatimusten toteuttamisessa onnistuttiin.

Nostoapuvälineiden suunnittelussa on suurena apuna nostoapuvälineitä käsittelevä standardi. Kaikkea tarvittavaa tietoa ei kuitenkaan tästä standardista löydy, joten tietoa on etsittävä muualtakin, myös muista standardeista. Toivon mukaan tehty tiedonetsintätyö auttaa tämän raportin lukijaa löytämään etsimänsä.

Koska kyseessä on opinnäytetyö, ei sen tekijällä ollut suurta kokemusta suunnittelutyöstä eikä nostoapuvälineistä. Näin ollen huomattava osa ajasta kului tiedon etsintään ja sen käsittelyyn. Tiedon etsiminen ja soveltaminen itsenäisesti opettavat yleensä varsin tehokkaasti työn tekijää. Uuden nostoapuvälineen suunnittelu sujuisikin tämän työn tekijältä jo huomattavasti tehokkaammin.

LÄHTEET

- Ab Raniplast Oy 2017a. Saatavissa: <http://www.raniplast.com/fi/rani-plast-2/tarinamme/> Viitattu 15.3.2017
- Ab Raniplast Oy 2017b. Saatavissa: <http://www.raniplast.com/fi/rani-plast-on-avannut-maailman-suurimman-maatalouskalvojen-tuotantolinjan/>, Päiväys: 20.1.2017, Viitattu 15.3.2017
- Autodesk, Inc. 2014a. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/Inventor/files/GUID-10291E2B-03E4-4A5E-AB23-BC6083B6538A-htm.htm>. Päiväys: helmikuu 2014, Viitattu 2.5.2017
- Autodesk, Inc. 2014b. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/Inventor/files/GUID-A88840EF-391B-4987-A77B-5D58F19600CA-htm.htm>. Päiväys: helmikuu 2014, Viitattu 2.5.2017
- Euroopan Parlamentin ja Neuvoston direktiivi 2006/42/EY 2006. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0042:FI:PDF>. Viitattu 2.5.2017
- Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M. & Suosara, E. 2012. Lujusoppi. 10., muuttumaton painos. Helsinki: Oy Yliopistokustannus/Otatieto
- Niemi, E. 2003. Levyrakenteiden suunnittelu. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy
- SFS-EN 13155 + A2. Nosturit. Turvallisuus. Irrotettavat nostoapuvälineet. 2009. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 1993-1-8. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. 2009. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- Siirilä, T. & Tytykoski, K. 2016. Koneturvallisuuden käsikirja. 2., painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy
- Valtanen, E. 2013. Tekniikan taulukkirja. 20., painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy
- Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400 2008. Saatavissa: <http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20080400?toc=1>. Viitattu 2.5.2017