



Tuotekehitysprojekti Haaratrukin jousitukseen

Sampo Jansson

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Kone ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys, älykkäät
koneet

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys, älykkäät koneet

SAMPO JANSSON:
Tuotekehitysprojekti Haaratrukin jousitukseen

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 12 sivua
Toukokuu 2013

Haaratrukki on yleisesti käytössä suuremmilla terästehtailla ympäri maailmaa. Terästeollisuuteen suunniteltu haaratrukki on pienikokoinen ja tehty kestäväksi kovaa kanttikulutusta. Tämä on tutkimustyö SC-30 mallisen haaratrukin jousitusmekaniikkaan. Asiakkailta saadun palautteen mukaan jousitus on hyvä ja toimiva mutta valmistajan kannalta se on liian kallis. Työssä käydään läpi itse kone ja vielä tarkemmin koneen jousitus kustannussäästöjä hakien, jousitusta kumminkaan heikentämättä. Tavoitteena teknisesti vähintään yhtä hyvä jousitus kuin nykyinenkin, valmistuskustannusten tavoitteena oli 20 % kustannusten pienentäminen.

Työssä onnistuttiin hyvin, kaikki tavoitteet täyttyivät eikä mekaniikka heikentynyt. Kustannussäästöjä kertyi noin 45 % verrattuna tuotannossa olevaan jousitukseen. Työn tuloksena voitiin poistaa useita osia ja yksinkertaistaa kokonaisuutta. Koneen kuljettajan näkökenttä parani jousituksen madaltuessa. Huollettavuutta ja osien käyttöikää onnistuttiin parantamaan.

Tutkimustyö osoittautui luultua laajemmaksi. Sitä voisi myös jatkaa edelleen sillä työn aikana syntyi uusia ideoita. Jousituksesta sekä koneen mekaniikasta pystyisi säästämään tuotekehitykseen panostamalla erityisesti valmistusprosesseihin ja niiden suunnitteluun. Kehittämissuunnitelmana työstä pois jätetty kumilla toteutettava jousitus olisi tutkimisen arvoinen kohde. Kokonaisuutta voitaisiin yksinkertaistaa vielä enemmän.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bachelor of Mechanics
Research and Development, Intelligent Machines

SAMPO JANSSON:

Research and Development Project to Straddle Carrier's Suspension

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 12 pages

May 2013

Straddle carrier is commonly used in heavy steel industry all over the world. This particular straddle carrier has been designed to be compatible, but still able to carry heavy lifts over working yards. This is a research of SC-30 carrier's suspension mechanics. The project is to go through the carrier itself, focus on the suspension. Finding savings and the suspension to be efficient, longer lasting and easier to maintain. These goals are met, if the suspension is at least as good as it is now, and the savings are minimum 20 %.

The targets of this project were met well and all the requirements were filled, still maintaining the quality of the mechanics. Overall savings came up approximately 45 %. As a result of the research, many parts could be removed, and the whole structure was simplified. The view field of the driver is increased due to the suspension being lower than before. Maintenance and durability of the parts has also improved significantly.

The research proved to be far larger than expected, and the possibilities to continue the work are nearly endless. The costs of the suspension and the mechanics could be trimmed down even further by product development, especially in the manufacturing process there is always capability of simplifying. This has been a learning process over all. The earlier idea of the possibility of suspension including rubber parts should be looked at as a target worth putting effort and further research. As a whole, the carrier could be simplified further, creating more savings time wise and financially.

Key words: straddle carrier, suspension, savings

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	Yrityksen esittely: TTS-Liftec Oy.....	7
2.1	Perustettu vuonna 1991.....	7
2.2	Yritys tänä päivänä	8
3	JOUSITUKSEN TUOTEKEHITYS	9
3.1	Spesifikaatiot	9
3.2	Haaratuksen esittely	10
3.3	Tutkimustyön aloitus	16
3.4	Kartoitus.....	17
3.5	Tutkimusmenetelmät	20
3.5.1	Värähtelymekaniikka	21
3.5.2	Statiikka	22
3.5.3	Mekaniikka ja hydraulikka.....	25
3.5.4	Elementtimenetelmä.....	26
3.6	Tulosten käsittely	28
3.7	Alatuenta	29
3.8	Ylätuenta	33
4	ANTUROINNIN TUOTEKEHITYS.....	39
4.1	Korkeusanturointi	39
4.2	Ohjausanturointi.....	39
4.3	Ohjaussylinterin tuotekehitys.....	41
5	YHTEENVETO JA POHDINTA	42
	LÄHTEET.....	43
	LIITTEET.....	44
	Liite 1. Alaripustukset 1 (5).....	44
	Liite 1. Alaripustukset 2 (5).....	45
	Liite 1. Alaripustukset 3 (5).....	46
	Liite 1. Alaripustukset 4 (5).....	47
	Liite 1. Alaripustukset 5 (5).....	48
	Liite 2. Yläripustukset 1 (6).....	49
	Liite 2. Yläripustukset 2 (6).....	50
	Liite 2. Yläripustukset 3 (6).....	51
	Liite 2. Yläripustukset 4 (6).....	52
	Liite 2. Yläripustukset 5 (6).....	53
	Liite 2. Yläripustukset 6 (6).....	54
	Liite 3. Ohjausanturoinnin paikoitus	55

ERITYISSANASTO

SC-30	straddle carrier – 30 tons
M	Laskettava paino
M_{kok}	Koneen kokonaispaino
k	Jousivakio
g	Maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys
x	Jousen liike
ω	Ominaiskulmataajuus
C_k	Kriittinen vaimennus
potentiometri	mittaa pyörän asentoa, kääntyy alle 360°
pulssianturi	mittaa ratin asentoa, kääntyy yli 360°
FEM	Finite Element Method

1 JOHDANTO

Tutkimustyössä käydään läpi terästeollisuudessa käytössä oleva haaratrukki ja sen jousitus. Jousitus on toteutukseltaan hieman erilainen kuin normaali tukivarrellinen jousitus työkoneissa. Haaratrukin ”jalkojen” väliin pitää mahtua raskaan terästeollisuuden tuotteita, esimerkiksi ainesputkia jotka ovat ladottuina erilliselle kuormapukki parille. Koneen tulee pystyä ylittämään kuormapukkijono kuormattuna. Jousituksen pitää olla kompaktin kokoinen ja sen tulee kääntyä renkaitten mukaan, eikä se saa viedä tilaa sivusunnassa. Tämän kyseisen mallin trukin alustan pitää kestää 58 000 kg:n kokonaispaino myös ääritilanteissa, esimerkiksi tilanteissa joissa ristikkäiset renkaat kantavat, tai kun koneella ajetaan ratakiskojen yli. Haaratrukin kuorma saattaa olla lämpötilaltaan 700°C tullessaan terästehtaan linjalta. Kone on käytössä ympäri vuorokauden ja on tärkeä työväline terästehtaan logistiikan kannalta. Jousitus sijaitsee trukin renkaiden haarukkaputken sisällä, putken yläpäässä. Jousituksen sijainti on työn kannalta haaste koska tilaa jousitukselle on niukalti. Työn tavoitteeksi otettiin jousituksen uudelleen suunnittelu niin, että jousituksen ominaisuudet eivät huonone, mutta jousituksen valmistuskustannukset laskevat.

Haaratrukin nykyinen jousitus on varmatoiminen ja huoltovapaa. Asiakasyritykset ovat olleet erittäin tyytyväisiä jousitukseen, he ovat antaneet hyvää palautetta jousituksen toiminnasta. Jousitus pitää sisällään vaativia koneistettavia osia jotka yhdessä muodostavat huomattavan menoeran koneen alustan kustannuksista. Jousitus on suunniteltu sopivaksi 200mm sisähalkaisijaltaan olevan putken sisään, jousitusylinterin alapään kiinnitys on toteutettu painevoidellulla pallolaakerilla, jolta pystyvoima viedään erillisellä kupilla sylinteriltä haarukkaputkelle. Jousitusylinterin yläpään voimat otetaan vastaan korvakkeilla sekä erillisellä hatulla joka on kiinni koneen rungossa. Jousituksen kaikki liikkuvat nivelet ovat kytkettyinä painevoitelujärjestelmään. Jousitusylinterinä toimii Hydoring HD**50 malliin perustuva kytkennöiltään modifioitu 125mm männähalkaisijalla oleva kaksitoiminen hydraulikkasylinteri.

Työn tavoite kuulostaa kunnianhimoiselta, mutta tänä päivänä tuotekehityksen tavoite on usein laskea kustannuksia itse tuotteen siitä kärsimättä. Ongelma oli moniosainen, sitä lähdettiin ratkomaan yksi alue kerrallaan. Jos jollain osa-alueella tuli vaikeuksia edetä, jätettiin se hautumaan ja keskityttiin muihin jousituksen komponentteihin. Kovalle rasitukselle joutuvan jousituksen ratkaiseva kysymys on jousituksen ja sen komponenttien mekaaninen kesto. Osien rasitukset on simuloitu elementtimenetelmää ja lujuusoppia käyttäen. Tämän työn laajuus ei sallinut prototyypin valmistusta ja testausta.

2 Yrityksen esittely: TTS-Liftec Oy

2.1 Perustettu vuonna 1991

Aikaisemmin nimellä Liftec Products Oy, nykyisin nimellä TTS-Liftec toimiva yhtiö on vuonna 1991 perustettu perheyritys, joka aloitti toimintansa Tampereella. Liftec Products Oy valmisti ja valmistaa edelleen vakiomallisia sekä asiakkaan vaatimuksiin spesifioitavia nostosiirtovaunuja, jotka nopeuttavat raskaiden ja suuridimensioisten kappaleiden käsittelyä. Nostosiirtovaunuja on saatavilla kevyistä 10 tonnin kapasiteetin omaavista, trukilla siirrettävistä versioista massiivisiin 360 tonnia kantaviin mammutti vaunuihin. Liftec Products Oy valmisti myös yrityksen kehittämää kasettijärjestelmää nopeuttamaan Ro-Ro (Roll on- Roll off) laivojen lastausta ja purkua.



KUVA 1: Nostosiirtovaunu LT 80 (Liftec Productions arkistomateriaalia)

Liftecin tuotannossa kääntyvällä nostotelistöllä oli suuri osuus, tämä mahdollisti paremman kuormankäsittelyn pienemmässä tilassa, nostosiirtovaunun kääntösäde pieneni huomattavasti käytettäessä kääntyvää telistöä.



KUVA 2: Jättimäinen 360 tonnin nostosiirtovaunu (Kuva: Liftec Products arkistomateriaalia)

2.2 Yritys tänä päivänä

Yritys sijaitsee Pirkkalan Lahdesjärvellä lentokentän läheisyydessä. TTS-Liftec työllistää noin 30 henkeä ja omaa 10milj.€ vuosittaisen liikevaihdon. Tuotepereeseen on otettu vuodesta 2007 lähtien SC-30 mallinimikkeellä toimiva, terästeollisuuden tarpeisiin räätälöity haaratrukki, joka soveltuu kompaktin kokoisena kuljettamaan pieniä, mutta raskaita taakkoja pitkiä matkoja. Trukin huippunopeus on 30km/h ja maksimikuorma on 29 tonnia.



KUVA 3: TTS-Liftec yhtiön tilat Pirkkalassa (Kuva: www.ttsgroup.com/Companies/TTS-Liftec-Oy/)

3 JOUSITUKSEN TUOTEKEHITYS

3.1 Spesifikaatiot

Tavoitteena on haaratrukin jousituksen kehittäminen siten, että valmistuksen kokonaiskustannukset alenevat, mutta ominaisuudet eivät saa oleellisesti huonontua. Tarkoituksena on käydä olemassa oleva toteutus läpi ja tutkia voisiko sen tehdä paremmin muuttamalla yksittäisiä osia tai kokonaisuutta. Muutoksia ei ole pakko tehdä jos todetaan jonkin asian olevan jo nyt hyvin toteutettu.

Työn tuloksena saadaan suunnitelmat työkuvineen uudesta toteutustavasta ja uuden toteutustavan kokonaiskustannukset, joita voidaan verrata vanhoihin kustannuksiin. (taulukko 1)

TAULUKKO 1. Työn sisältö ja rajaukset

Osan nimi:	Kuuluu työhön	Ei kuulu työhön
Pyöräntuennan tukiholkit		X
Haarukkaputken pintakäsittely		X
Jousituksen sylinteri ja siihen liittyvät osat	X	
Ohjausanturointi	X	
Korkeusanturointi	X	
Ohjaussylinteri	X	

3.2 Haaratrukin esittely

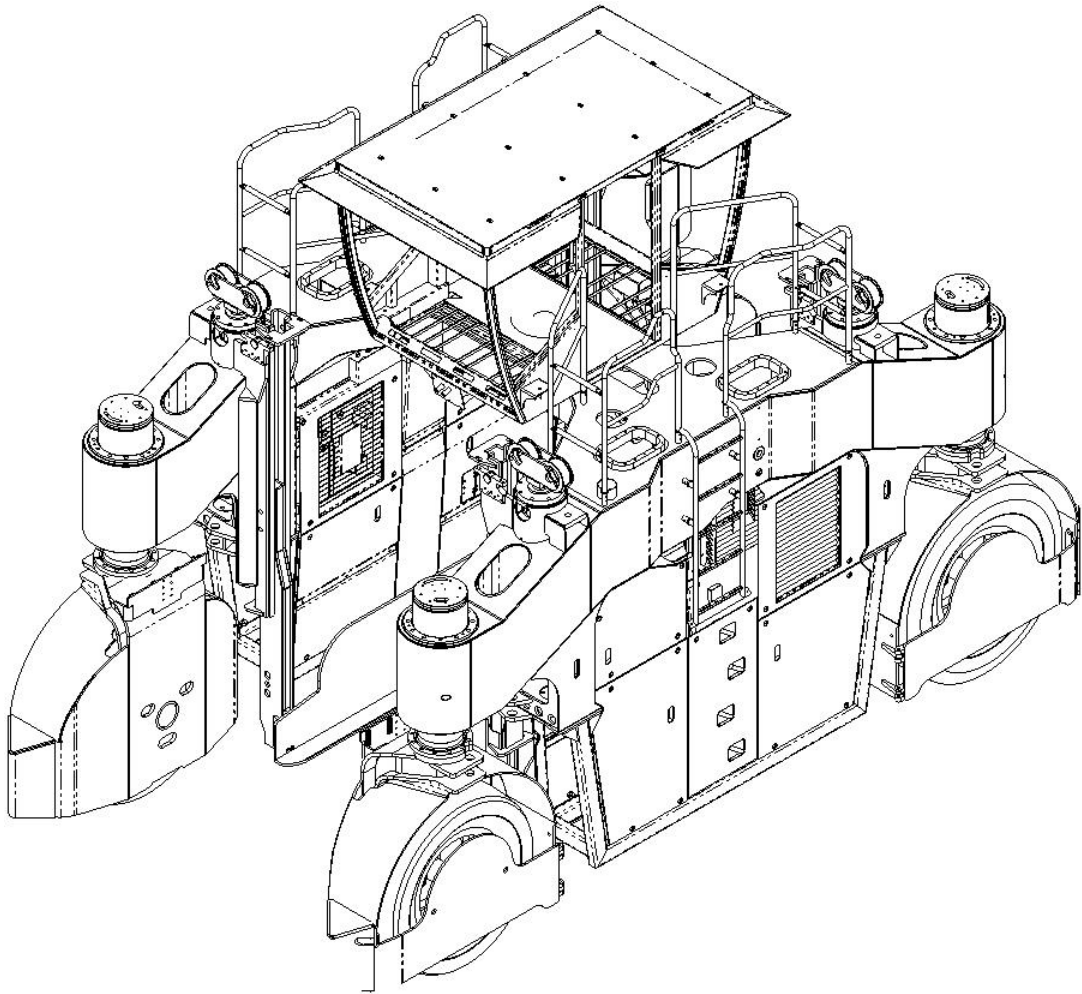
Haaratrukin tehtävä on nostaa kuormia ja kuljettaa niitä paikasta toiseen. Kompakti koko mahdollistaa trukin käytön myös terästehtaan sisätiloissa. Koneen voimansiirto on hydrostaattinen eikä mekaanista voimansiirtoa esiinny. Suurimman kulutuksen kohteeksi koneessa joutuvat nostotyökalut sekä nostotyösylinterit. Trukki on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin satamissa käytettävä, yleisempi konttilukki. Itse nostovoima välitetään työkalulle ketjulla, ketju on kiinni rungossa ja sylinteri nostaa ketjua alaspäin. Haaratrukissa on kaksi moottoria, osaksi turvallisuuden takia, sekä huippunopeuden saavuttamiseksi täydellä kuormalla.



KUVA 4: Haaratrukki Liftec SC-30 (Kuva: TTS-Liftec yhtiön arkistokuva)

Nykyinen haaratrukki on modernisoitu versio Kalmar Industries Oy Ab:n valmistamasta mekaanisesti toimivasta haaratrukista. Kalmar lopetti haaratrukkien valmistuksen 2000-luvun alussa.

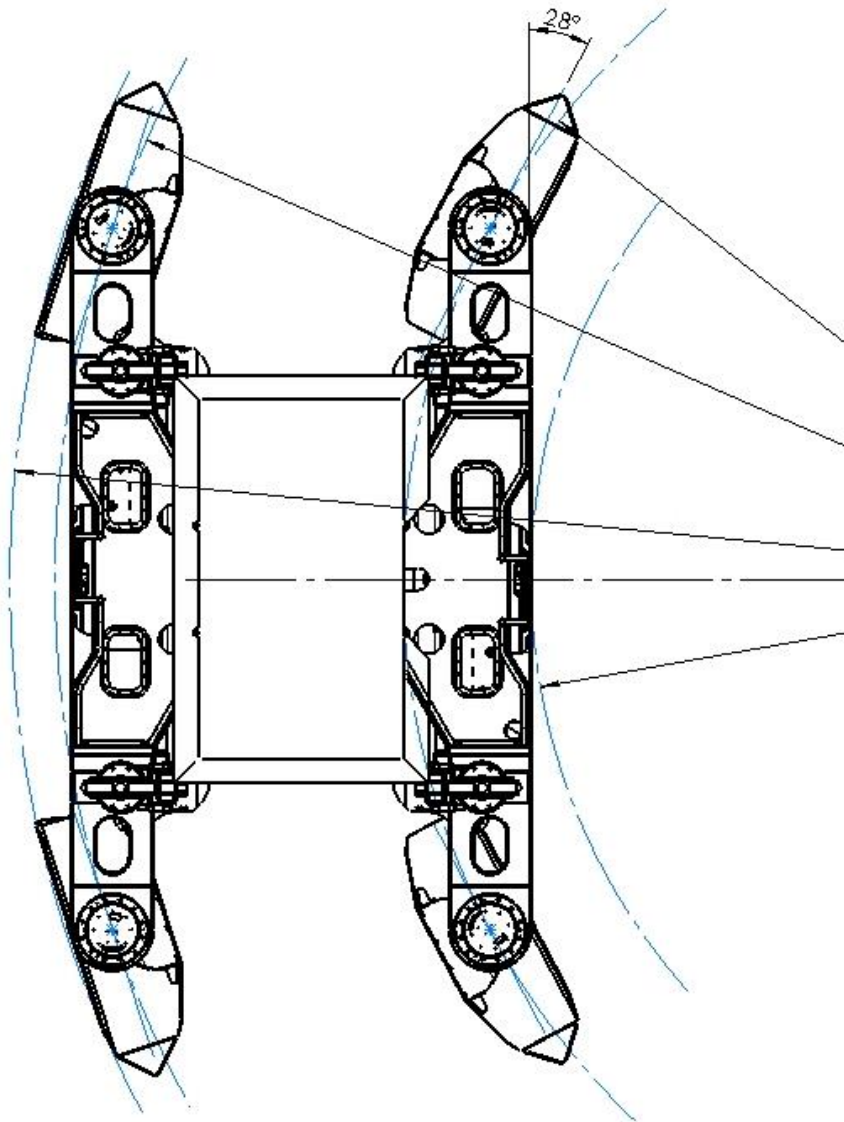
Trukilla kuljetetaan kuumia, noin 700°C olevia kuormia, joiden massa nousee 29:n tonniin. Ensimmäisellä moottorilla käytetään hydrostaattista voimansiirtoa ja toisen puolen hydraulikkaa, toisella moottorilla käytetään nostosylintereitä ja kyseisen puolen hydraulikkaa. Häätäajomoodissa trukkia voidaan ajaa kummalla moottorilla tahansa, kone on voitu pelastaa vaikka varsinainen ajomoottori on hajonnut kuuman kuorman ollessa päällä. Koneessa on keskusvoitelujärjestelmä joka pidentää huoltoväliä ja helpottaa kuskin päivittäistä arkea.



KUVA 5. Haaratrukki SC-30

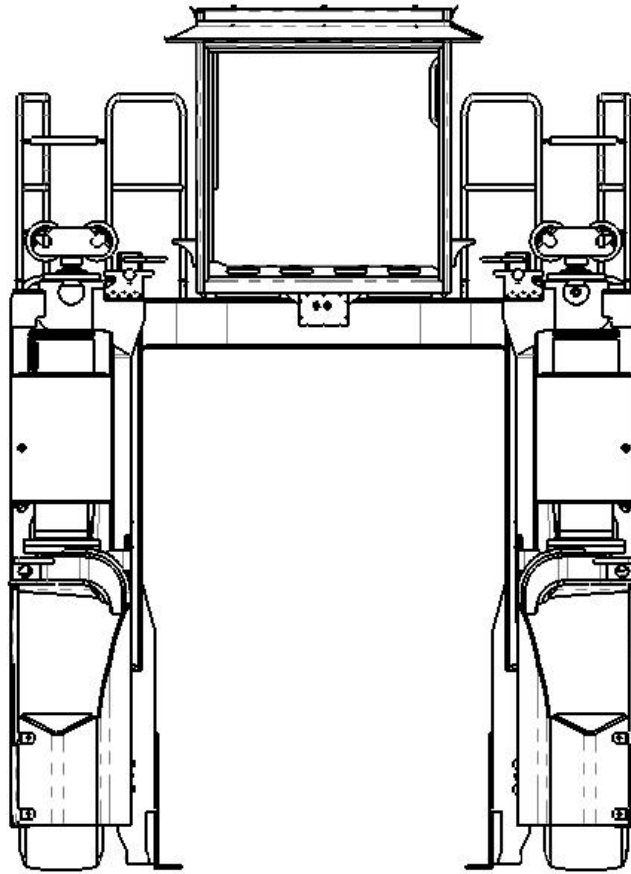
Koneessa on kääntyvä penkki, jossa sijaitsee hallintalaitteet. Koneella voi ajaa molempiin suuntiin ilman että kuljettajan tarvitsee peruuttaa. Haaratrukin ohjaus poikkeaa tavallisesta työkoneesta toimintaperiaatteeltaan. Pyörän tuenta on toteutettu ohjausputkella, jonka yhteydessä koneen jousitus liikkuu vertikaalisesti. Ohjaus tapahtuu kiertämällä ohjausputkea hydraulikkasynterillä. Koneen kääntösäde on noin 6.5m, käännettäessä koneen sisemmät renkaat kääntyvät ohjelmallisesti enemmän kuin ulommat renkaat. Lisäksi trukin renkaita voi kääntää samaan suuntaan eli konetta

pystyy liikuttamaan myös sivuttaissuunnassa edestakaisella liikkeellä ja renkaiden käännöllä.



KUVA 6. Koneen yläprofiili ja kääntösäde

Haaratrakissa on aktiivinen jousitus, joka valvoo koneen korkeutta ja tasaa itseään kuorman mukaan. Kuljettajalla on mahdollisuus nostaa tai laskea jousitusta. Aktiivijousitus tasaa kuorman jousituksen liikkeen ollessa yli $\pm 25\text{mm}$.

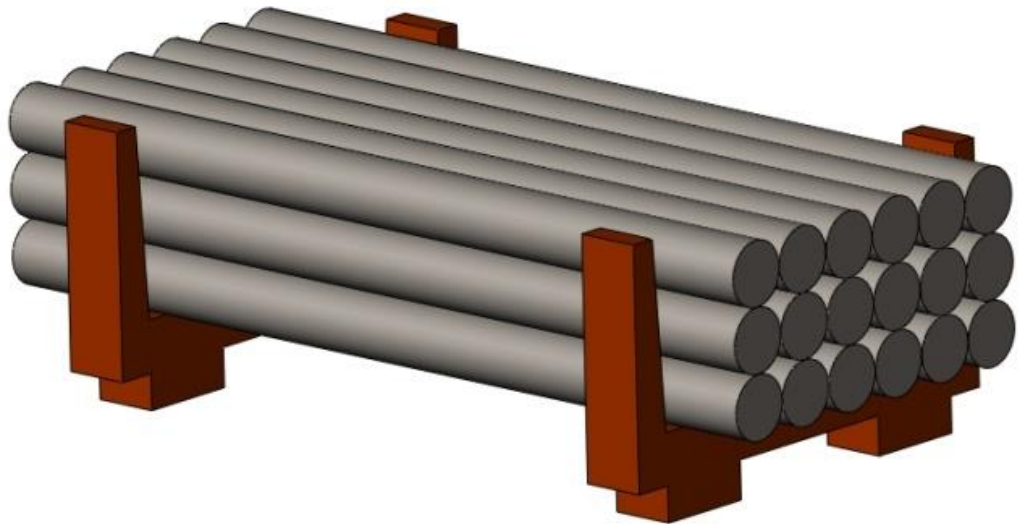


KUVA 7. Haartrukin etuprofiili

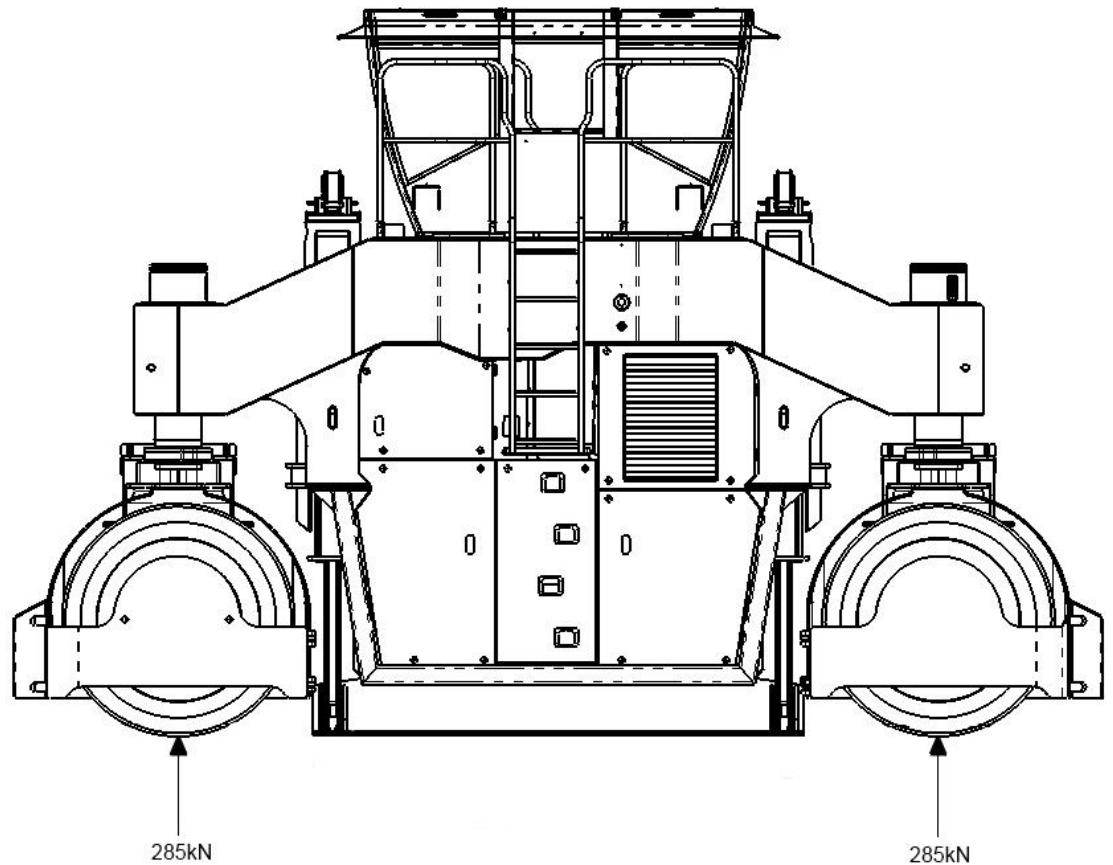
Haartrukki on suunniteltu kompaktiksi niin vaaka kuin korkeussuunnassa, tämä mahdollistaa toimimisen myös tehtaitten sisätiloissa. Koneen renkaiden väliin mahtuu (3,5*2*1)m kokoinen kuormapukki jossa tehdään tuotteet kuljetetaan. Trukilla toimitaan pukkikentällä, jossa kuormapukki jonot ovat riveissä. Koneen tulee pystyä nostamaan kuorma toisten pukkien yli jotta pystytään hakemaan tuotteita keskeltä pukkikenttää. Koneen renkaat ovat vahvasti suojattuja johtuen säännöllisistä törmäyksistä pukkiriveissä, pukkirivit ovat niin kapeita kuin mahdollista eikä törmäyksiltä voida välttyä. Hydraulisen ohjauksen ansiosta törmäyksissä tapahtuu harvoin vaurioita itse trukille, hydraulinen sylinteri ottaa vastaan törmäyksessä aiheutuneet vääntövoimat. Renkaiden suojaus poistaa terävät iskut renkailta.



KUVA 8: Sandvikin tehtaan sisätilaa (Kuva: TTS-Lifteck yhtiön arkistokuva)



KUVA 9: Kuormapukki



KUVA 10. Koneen sivuprofiili ja akselivoimat

Koneen käyttötunnit ovat keskimäärin 5000 tuntia vuodessa, koneen huoltoväliksi on suunniteltu noin 500 tuntia ja koneen käyttöiäksi noin 30000 tuntia. Konetta ei rasiteta täydellä kuormalla kovinkaan tiheästi, noin kymmenen kertaa vuorokaudessa.



KUVA 11: Ohjaamo (Kuva: TTS-Liftec yhtiön arkistokuva)

3.3 Tutkimustyön aloitus

Tutkimustyö aloitettiin perehtymällä vanhaan jousitukseen. Pääasiassa koko jousitusjärjestelmä oli hyvin toimiva jousituksen osalta, mutta järjestelmän osat ovat vaativia koneistettavia. Tavoite oli yksinkertaistaa jo olemassa olevaa järjestelmää. Alkuperäinen tarkoitus oli tehdä jousitus kumista, mutta tämä osoittautui vaikeammaksi kuin oli oletettu. Opinnäytetyön ohjaaja antoi lopullisen päätöksen kumijousille kertomalla asiakkaiden hyvän palautteen eritoten hydraulikalla toimivista jousista. Työhön ei ollut käytettävissä super-elastisten materiaalien laskentaohjelman erillistä lisenssiä. Kumilla toteutettava jousitus poistettiin tästä jousituksen versiosta.



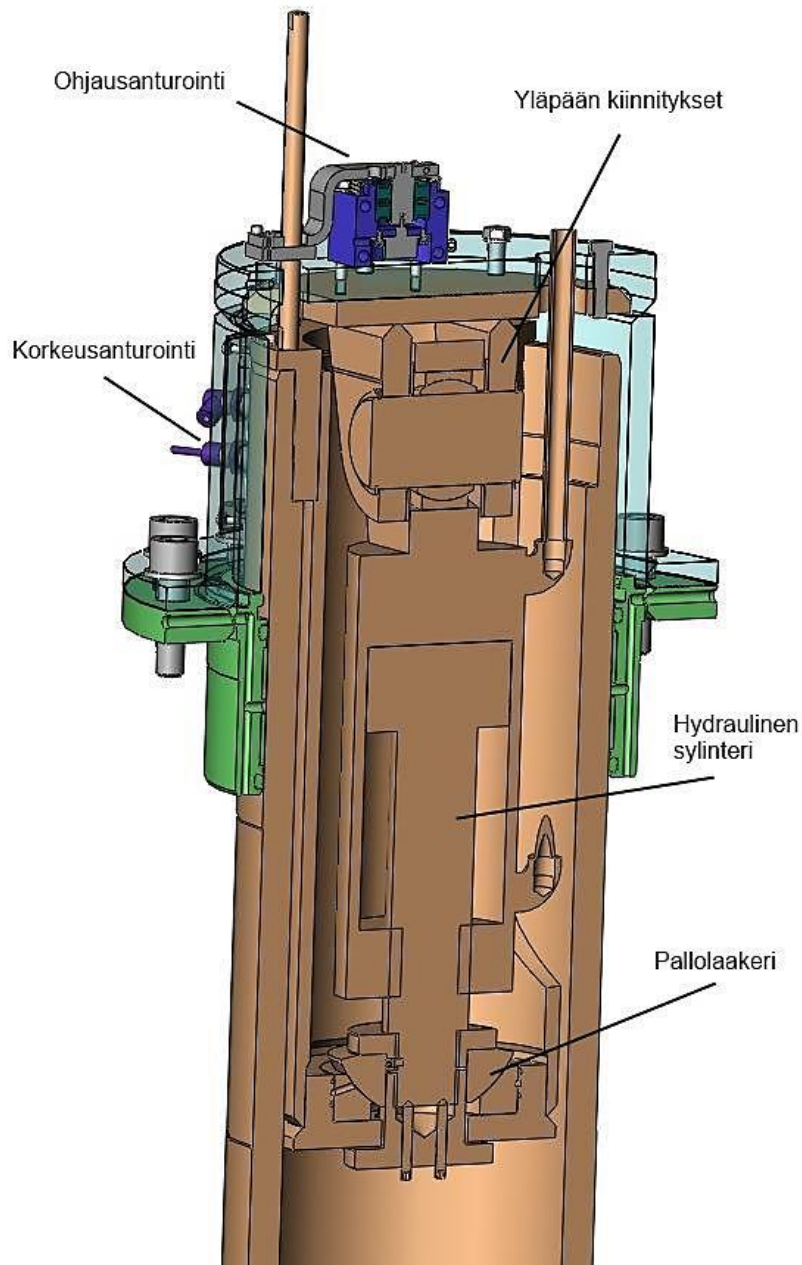
KUVA 12: Kumijousi sovellus (Kuva: <http://www.ferret.com.au>)

Anturoinnin osalta tehtäväksi jäi suunnitella edullisemmat kiinnitykset ja korjata ohjausanturoinnin hankala ja kulutusosia sisältävä mekaniikka. Korkeusanturoinnin kiinnitykseen oli jäänyt selvästi jäänteitä protoversiosta, mikä ilmeni säädettävänä anturoinnin kiinnityksenä, vaikka osat tulivat valmiina ja antureita oli käytetty monessa koneessa samoilla asetuksilla. Koneen ohjaus on toteutettu ohjaamossa olevilla kahdella peräkkäisellä pulssianturilla, jotka antavat käskyjä ohjaussylinteriä ohjaavalle venttiilille. Renkaan ohjauskulmaa on tarkastelemassa potentiometri. Jousituksen liikkua pystyakselilla $\pm 75\text{mm}$ on ohjauskulman mittaaminen haaste. Olemassa olevassa kokoonpanossa ohjausrenkaalta potentiometrille on toteutettu pitkällä tangolla johon on tehty liukukytkentä pystytapin ja potentiometrille menevän ohjaustangon välille. Yrityksen asentajia sekä vanhempia suunnittelijoita kuultiin, heiltä löytyi ideoita ja mahdollisia ratkaisuja. Ratkaisumallit esiteltiin usein asentajille, heiltä sai suurimman palautteen.

Tarkemman jousituksen tarkastelun jälkeen oli kehittynyt kuva siitä, miten jousitusta muutettaisiin niin, että sen ominaisuudet eivät heikkenisi kustannusten kuitenkin pienentyessä. Lopullinen malli poikkeaa hyvin suuresti siitä mitkä olivat ensimmäiset ajatukset jousituksen toteuttamisesta. Tämän tuli ilmi jatkuvana mallin kehittymisenä. Johonkin on tuotekehitys lopetettava ja ruvettava viimeistelemään parasta sen hetkistä toimivaa mallia.

3.4 Kartoitus

Osakokonaisuudet kartoitettiin ja osien tarpeellisuus punnittiin. Tässä vaiheessa kiinnitettiin huomiota sylinterin alapäässä olevaan pallolaakeriin. Laakeripesän tekeminen syvän umpinaisen putken pohjalle on työlästä ja vie kokeneeltakin koneistajalta aikaa. Tässä vaiheessa mietittiin, että tarvitseeko hydrauliselta sylinteriltä todella ottaa pois noin $\pm 30^\circ$ kiertyminen. Hydraulisessa sylinterissä itse mäntä on kosketuksissa seinämään kumitiivisteiden kautta, joka jo itsessään laahaa sylinterin liikkessa. Hydraulisten sylinterien toimittajaa konsultoitiin, yrityksessä oltiin sitä mieltä, että kiertymää ei tarvitse poistaa sylinteriltä. Tämä tieto teki alapään pallolaakerista turhan, joten pallolaakeri poistettiin ylimääräisenä osana. Laakerin poisjäänti mahdollisti jousituksen alapään ripustusten radikaalin yksinkertaistamisen.

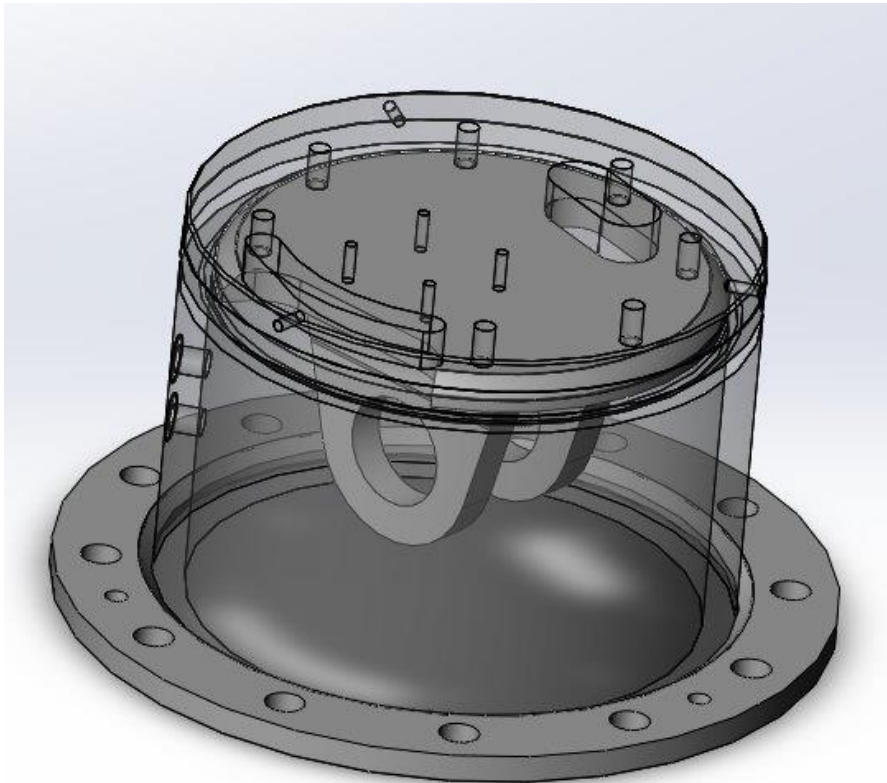


KUVA 13. Jousitusysteemi

Seuraava ongelma alapään ripustuksissa oli sylinterin jäykkä putkitus, joka vei suuren tilan koko systeemistä koska itse sylinteri pysyy paikoillaan kun rengas on kiertynyt. Tutkimme onko sylinterin tarvetta olla kaksitoiminen, vai riittäisikö pelkällä takaisinkytkennällä oleva sylinteri. Takaisinkytkentä poistaisi sylinterin sisäänmenopuolen putkituksen kokonaan, jolloin voitaisiin siirtää sylinterin ainoa kytkentä lieriöstä sylinterin päässä olevaan tasopintaan. Takaisinkytkentä toteutettiin kahdella männän läpäisevällä reiällä joiden pinta ala on yhtä suuri kuin käytössä olevan hydraulikkaputken sisäpinta-ala. Uusi alaripustus toteutettiin pääosin vanhaa kokoonpanoa mukaillen ja toimintatapa on hyvin samanlainen, kuin uudessa

kokoonpanossa. Suurimpana erona on, että kiertymää ei yritetä poistaa hydraulikkasyylinteriltä, vaan kiertymä menee suoraan sylinterin männälle. Lisäksi vakiosylinteri on hieman nykyistä spesifioitua sylinteriä kapeampi.

Jousituksen yläpään suunnittelu oli vähintäänkin yhtä haastavaa kuin alapuolen suunnittelu. Laserleikkaus on tullut vahvasti esiin uusien kappaleiden suunnittelussa erinomaisen jäljen, nopean työstön ja edullisen hinnan takia. Lähtökohtana yläpään kiinnitykset suunniteltiin tehtäväksi laserleikkeistä. Tämä mahdollisti ylätuennalle suuremman vääntöjäykkyyden verrattuna vanhaan kokoonpanoon. Täten pystyttiin karsimaan kokonaan yhden koneistettavan osan pois.



KUVA 14. Yläripustus yhdistettiin kahdesta osasta yhdeksi, tästä syntyi mittava säästö

Tutkimustyössä koneen ohjausanturointiin tutustuttiin, sen mekaniikkaa ja paikkaa muutettiin haarukkaputken päältä lähemmäksi rengasta. Ohjauskäskyihin ja automaatiotekniikkaan ei perehdytty työn aikana.

3.5 Tutkimusmenetelmät

Jousitukseen tutustuttiin ensin laskemalla jousille jousivakio, sekä tarvittava kriittinen vaimennus. Päädyimme käyttämään käytössä olevan sylinterin vakiomallia, joten sylinteriä ei tarvinnut mitoitaa uudestaan. Jousivakion laskemisessa käytettiin jousivakion kaavaa (2) jossa M on jouseen kohdistuva massa (1), x on jousen tarvittava liike, sekä g kuvaa maan vetovoiman aiheuttamaa kiihtyvyyttä. Saadulla tiedolla jousivakiosta pystyimme selvittämään koneen ominaistajuuden(3), (4) sekä kriittisen vaimennuksen.(5)

$$M = \frac{M_{kok}}{4} \quad (1)$$

$$k = \frac{M \cdot g}{x} \quad (2)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad (3)$$

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \quad (4)$$

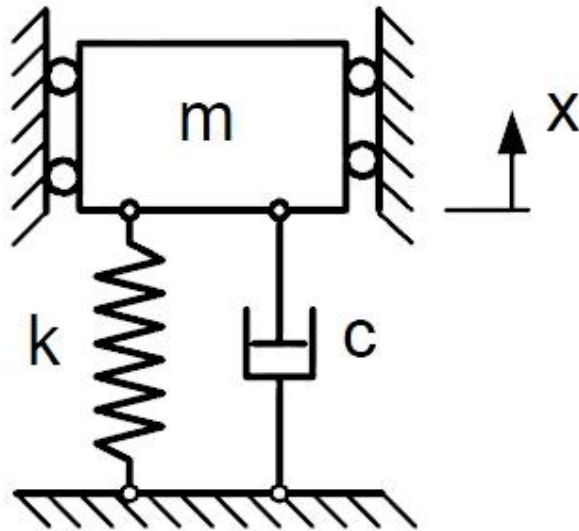
$$c_k = 2 \cdot \sqrt{k \cdot M} \quad (5)$$

3.5.1 Värähtelymekaniikka

Värähtely on selitetty hyvin Matti Lähteenmäen opetusmateriaalissa jonka mukaan

Värähtely on yleinen luonnon ilmiö jota esiintyy luonnon eri ilmiöissä esimerkiksi äänten muodostaminen ja kuuleminen. Värähtelyä esiintyy myös mekaanisissa laitteissa sekä koneissa johtuen pyörivien osien epätasapainosta. Värähtelevällä systeemillä tarkoitetaan konetta tai koneen osaa joka liikkuu ja johon kuuluu potentiaalienergiaa varastoivia osia esimerkiksi jouset ja materiaalien kimmoisuus. Liike-energiaa varastoivat osat esimerkiksi massat ja hitausmomentit sekä osia jotka muuttavat mekaanisen energian toiseen muotoon, näitä ovat vaimentimet ja kitka. (Lähteenmäki, M. 2008, 1.)

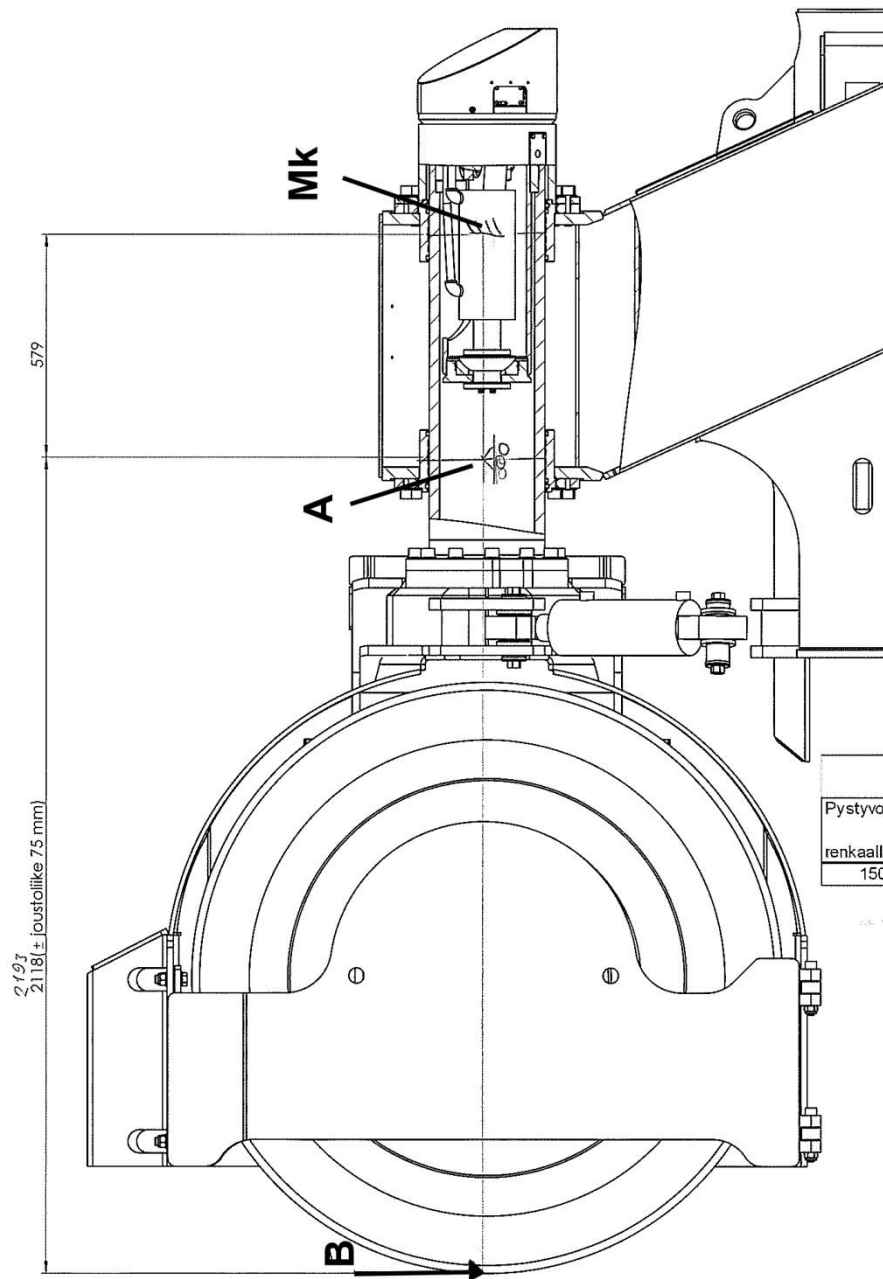
Kun lähdetään muodostamaan laskentamallia värähtelystä, pyritään varmistamaan se että teorianmalli on riittävän lähellä laskettavaa todellista mallia. Laskentamallista ei silti kannata tehdä liian monimutkaista. Yksinkertaistaminen kannattaa, pitää vain tietää tarkasti mitä ilmiöitä laskentamallista poistaa. Tieto työkoneen ominaistaajuudesta antaa meille tiedon siitä, minkä taajuisista värähtelyä meidän tulee välttää koneen suunnittelussa, jotta itse kone ei joutuisi resonanssiin tai sen lähelle. Resonanssissa kone värähtelee hallitsemattomasti, tästä saattaa aiheutua vaurioita ja osien liiallista kulumista.



KUVA 15: Yhden vapausasteen laskentamalli (Kuva: Lähtenmäki, M. Opetusmateriaali. luku 1.2 sivu 1)

3.5.2 Statiikka

Seuraavaksi selvitettiin leikkausvoimakuvio ja taivutusmomenttikuvio. Leikkausvoimakuviolla ja taivutusmomenttikuviolla tarkoitetaan leikkausvoima (Q -kuvio) ja taivutusmomentin (M_t -kuvio) graafisia esityksiä, joista näkyy näiden rasitusten arvot kannattimen kaikissa poikkileikkauksissa. (Outinen 2006, 158) Leikkausvoima ja taivutusmomenttikuva tehtiin jotta päästäisiin laskemaan haarukkaputkelle aiheutuva suurin momentti. Jousitusysteemi on ajateltuna leikkausvoima ja momenttikuviossa palkkina. Tuet ovat sijoitettu haarukkaputken liukulaakerointiin, jousituksen vertikaalista liukuvuutta ei otettu huomioon laskuissa. Voima B tulee trukin jarruttaessa tasaisella nopeudella, tuki A on haarukkaputken liukulaakerointi sekä tuki M_k on liukulaakerointi (Kuva 16). Suunnitteluarkistosta löytyi suunnitteluryhmän selvittämiä liukulaakereihin kohdistuvia voimia, tuloksia käytettiin holkitetun haarukkaputken mitoittamiseen elementtimenetelmällä (Kuva 20).



KUVA 16. Jousitukseen vaikuttavat voimat

A

$$= 150kN * 2,193m - 548kN * 0,579m - M_k = 0$$

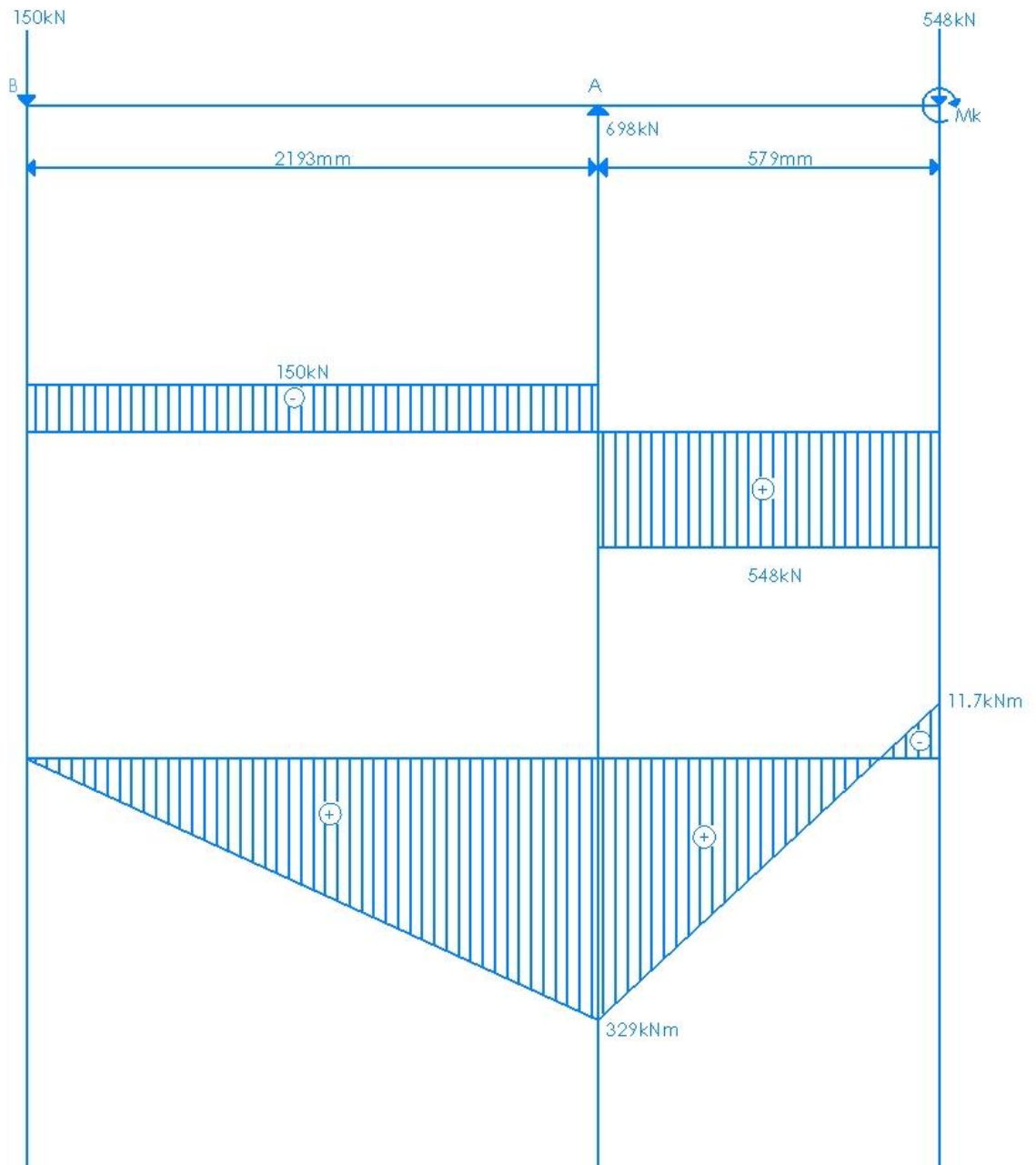
$$M_k = 11,658kNm$$

Mk

$$= 150kN * (2,193 + 0,579)m - 698kN * 0,579m = -11,658kNm$$

B

$$= 150kN * 2,196m = 328,95kNm$$



KUVA 17. Leikkausvoima ja momenttikuvio järjestyksä ylhäältä alaspäin

Jousitukseen ei tuennasta johtuen kohdistu muita voimia kuin pystyvoimia joten yhden vapausasteen laskentamalli riitti jousitukseen kohdistuvien voimien laskemiseen.

3.5.3 Mekaniikka ja hydrauliiikka

Haaratrikin jousituksessa ei ole laisinkaan varsinaista joustaa vaan jousena sekä vaimentimena toimii hydrauliiikkanesteen viskoosi ja virtaus putkissa päättyen paineakkuun. Jousitusylinteristä on mittaamalla saatu vallitsevaksi maksimipaineeksi 70bar täydellä kuormalla koneen ollessa paikallaan. Ilmoitetusta paineesta laskettiin jousitusta rasittava staattinen pystyvoima.

$$\left(\pi * \frac{(125mm)^2}{4} \right) * 70 * 10^5 Pa = 85.903kN$$

Laskimme pystyvoimat kuorman mukaan joka on noin 58 tonnia täydellä kuormalla.

$$\frac{58000kg * 9,81 m/s^2}{4} = 142,245kN$$

Käytimme jälkimmäistä tulosta mitoittavana voimana.

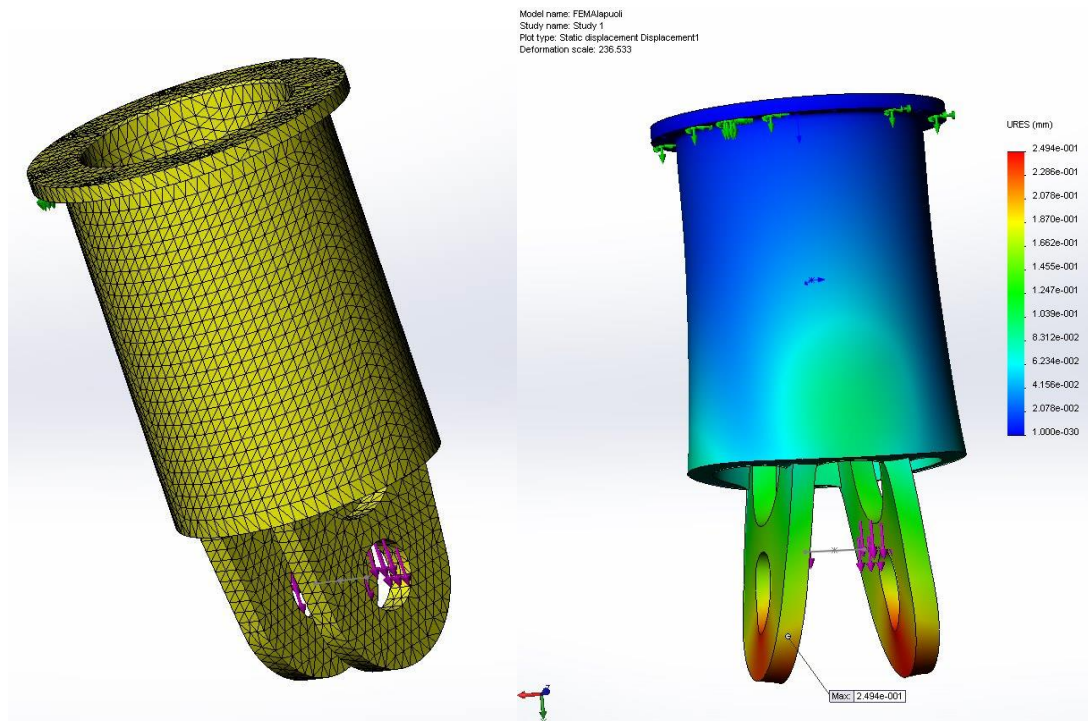
Jotta pääsisimme lähelle ääriolosuhteita, otimme varmuusluvuksi käyttöön 3:n. Ääriolosuhde olisi tilanne kun koneen ristikkäiset renkaat ovat ilmassa ja samaan aikaan kone ajaisi kuoppaan. Simuloimme ääriolosuhteita jousitusta mitoittaessa voimalla 435kN. Jousituksen edellistä versiota on mitoitettu varmuusluvulla 2. Jousitus on kestänyt vanhemmassa tuotannossa moitteetta.

Jousitusylinteristä päätettiin tehdä differentiaalikytketty. Differentiaalikytkennällä tarkoitetaan kytkentää jolla paineistetaan hydraulisynterinin molemmat kammiot. Pinta-alaero painaa sylinterin pitkäksi. Differentiaalikytketyssä sylinterissä vallitsee usein moninkertainen paine kaksitoimiseen sylinteriin verrattuna. Tämän seurauksena sylinterin palautuspuolen putkia ei enään tarvittu. Mäntään porattiin reikiä, jolloin öljy pääsee kiertämään molempiin kammioihin. Työntöpuolen suuremman pinta-alan johdosta sylinteri pyrkii pitämään itsensä pitkänä paineistettaessa. Pinta-alojen suhde on 3/1. Sylinteri toimii kuten tavallinen iskunvaimennin, paineakkuina toimii Hydröll HPS**-**0-100-0** mallinen paineakku jossa on 70bar:n esitäyttö. Nesteen virtaus ja paineakku toimivat lisävaimennuksena. Vaimennus on tällä hetkellä ylikriittinen, kriittisen vaimennuksen saavuttamiseen tarvitaan käytännön testausta.

Iskunvaimentimien säätöön on olemassa nyrkkisääntöjä, mutta kriittisen vaimennuksen löytäminen on erittäin vaikeaa pelkän teorian avulla, siihen ei tässä työssä keskitytä enempää, vaan iskunvaimentimen tarkka säätö ja kriittisen vaimennuksen löytäminen jätetään prototyypin testausvaiheeseen.

3.5.4 Elementtimenetelmä

Opinnäytetyön päätavoite oli hakea kustannussäästöjä jousituksesta, tämä seikka vaikutti muotoiluun suuresti. Muotoilun edetessä tehtiin lujuustarkasteluja Solidworks 2012 ohjelmiston avulla. Asiakasyrityksellä on niin sanottu FEM lisenssi, ja käytössä oli hyväksi havaittu Solidworks 2012 Simulation ohjelmisto. FEM lyhenne tulee sanoista finite element method, joka tarkoittaa suomennettuna elementtimenetelmää. Elementtimenetelmällä pystytään ratkaisemaan likimääräisesti staattista sekä dynaamista rasituksia, taajuuksia, virtauksia, lämmönliikettä, sekä lukemattomia muita fysiikan ilmiöitä. Lyhyesti selitettynä lujuusopillisessa FEM laskennassa kappale jaetaan valitun muotoisiin kulmikkaisiin osiin, tätä kutsutaan verkottamiseksi. Seuraavaksi kappaleelle annetaan materiaalivakiot, jonka jälkeen määritetään kappaleen liikettä vastustavat voimat. Tämän jälkeen määritetään kappaletta rasittavat voimat.



KUVA 18. Verkoitettu laskentamalli

KUVA 19. FEM mallin lasketut solmushiirtymät

Elementtimenetelmä on likimääräinen menetelmä, eikä tällä laskutavalla voi saada täysin tarkkoja tuloksia. Ohjelmiston käyttämästä laskutavasta johtuen voi tuloksilla olla suurtakin eroa. Käyttäjän tulee olla tarkasti perillä elementtimenetelmän toiminnasta, laskutavoista sekä teoriasta. Solidworks 2012 simulation ohjelmisto käyttää ainoastaan tetraedrin muotoista elementtiä, laskutavan voi itse määrittää ohjelmistosta. Laskutapoja on kaksi, Direct Sparse sekä FFEPlus. Direct Sparse ratkaisee ongelman käyttäen suurta määrää tietokoneen keskusmuistia, se sopii pieniin malleihin jotka pitävät sisällään alle 50 000 vapausastetta. FFEPlus on suunniteltu suurille malleille jotka ylittävät 50 000 vapausastetta, FFEPlus ratkaisee ongelman iteroiden. Vapausasteiden määrä riippuu kappaleen koosta, sekä käytettävän elementin kokoluokasta. Ohjelmistossa voi valita myös automaattisen valinnan joka laskee vapausasteet, ja valitsee laskutavan vapausasteiden määrään mukaan. Ohjelma laskee ratkaisut seuraavassa järjestyksessä: siirtymät, liukumät ja viimeiseksi jännitykset. Mitoittamisessa on suositeltavaa käyttää siirtymätuloksia kappaletta mitoitettaessa. Mitä pidemmälle lasketaan ja ratkotaan edellisestä tuloksesta, sitä suurempi on virhemarginaali (Solidworks help. <http://help.solidworks.com/2012/english/>).

Simulation ohjelmiston avulla oli nopeaa ratkoa likimääräisesti kestäkö kappale vai ei, ja mikä on paras mahdollinen muoto. Malleja laskettiin useampia kymmeniä päivässä kun kappaleita optimoitiin. Tuloksiin ei kuitenkaan voi luottaa sokeasti, vaan käytännön testit osoittavat kestäkö kappale rasitusta yhtä hyvin kuin laskentamallissa. Mallilla haettiin kappaleitten rasituskohtia, ja poistettiin rasitusta heikoista kohdista, esimerkiksi hitsausaumoista.

3.6 Tulosten käsittely

Koneen kokonaispaino:	$M_{kok} = 58000kg$
Jousituksen liike:	$x = \pm 75mm$
Maanvetovoiman aiheuttama kiihtyvyys:	$g = 9.807 m/s^2$

Lasketaan jousitukseen kohdistuva massa M kaavalla 1.

$$M = \frac{58000kg}{4} = 14500kg$$

Lasketaan koneen yhden jousen jousivakio kaavalla 2.

$$k = \frac{14500kg * 9.807 m/s^2}{75mm} = 1895.952 \frac{kN}{m}$$

Lasketaan ominaiskulmataajuus kaavalla 3.

$$\omega = \sqrt{\frac{1895.952 \frac{kN}{m}}{14500kg}} = 11.435 \frac{1}{s}$$

Lasketaan ominaistaajuus kaavalla 4.

$$f = \frac{11.435 \frac{1}{s}}{2 * \pi} = 1.82Hz$$

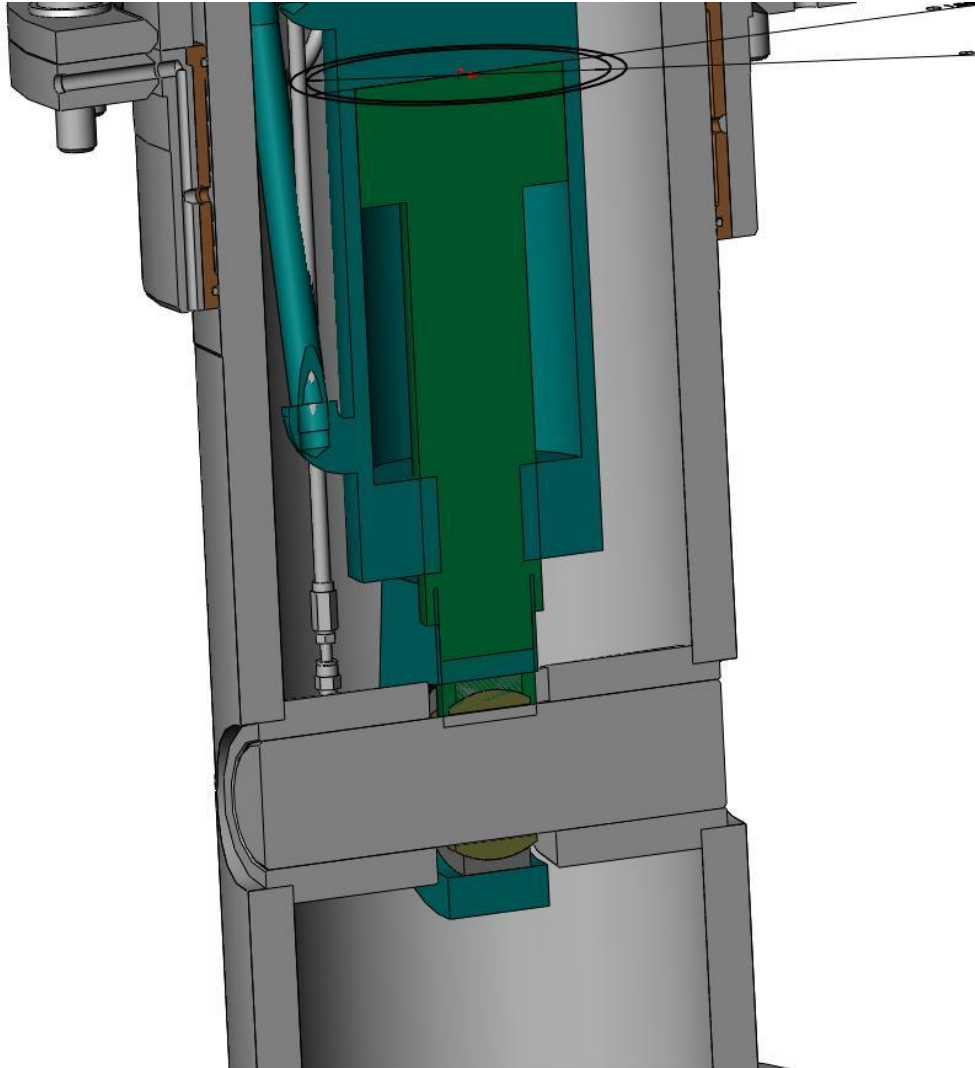
Ratkaistaan kriittinen vaimennus kaavalla 5.

$$c_k = 2 * \sqrt{1895.952 \frac{kN}{m} * 14500kg} = 331.61 \frac{kNs}{m}$$

Kriittisen vaimennuksen arvolla rakenne saavuttaa nopeimmin uuden tasapainotilansa, kun siihen kohdistuu dynaaminen voima.

3.7 Alatuenta

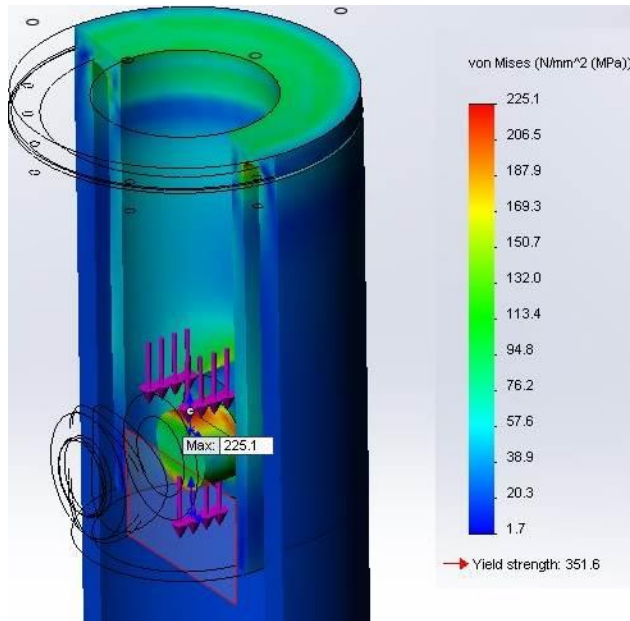
Alatuennan ensimmäisessä versiossa harkittiin holkitettua reikää suoraan tehtäväksi haarukkaputkeen, tämä jättäisi pois kokonaan alapuolen ripustuksen. Tästä tehtiin muutama FEM laskelma mutta ajatuksesta luovuttiin nopeasti huollettavuuden vaikeuden takia.



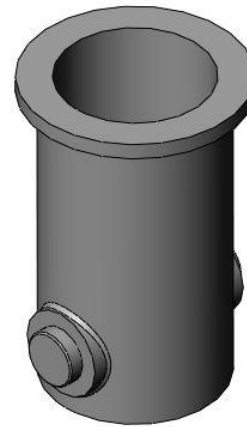
KUVA 20. Holkitettu kiinnitys suoraan haarukkaputkeen

Seuraavat versiot alatuennasta olivat samalla periaatteella toimivia kuin käytössä oleva alatuenta, sillä erolla, että sylinterin kiinnitys on tehty myös alas silmukalla. Eniten ongelmia tuotti tilan ahtaus. Jousituksen pitää olla riittävän järeä, jotta se varmasti kestää. Suunnittelutyössä pyrittiin pyörähdysymmetriseen kappaleeseen. Laserleikkeestä yritettiin tehdä alatuenta, mutta kiinnityksen pituus ja tilan ahtaus

estivät käyttämästä pelkkää laserleikettä. Putki kestää huomattavan rasituksen kun kyseessä on putken suuntainen veto.



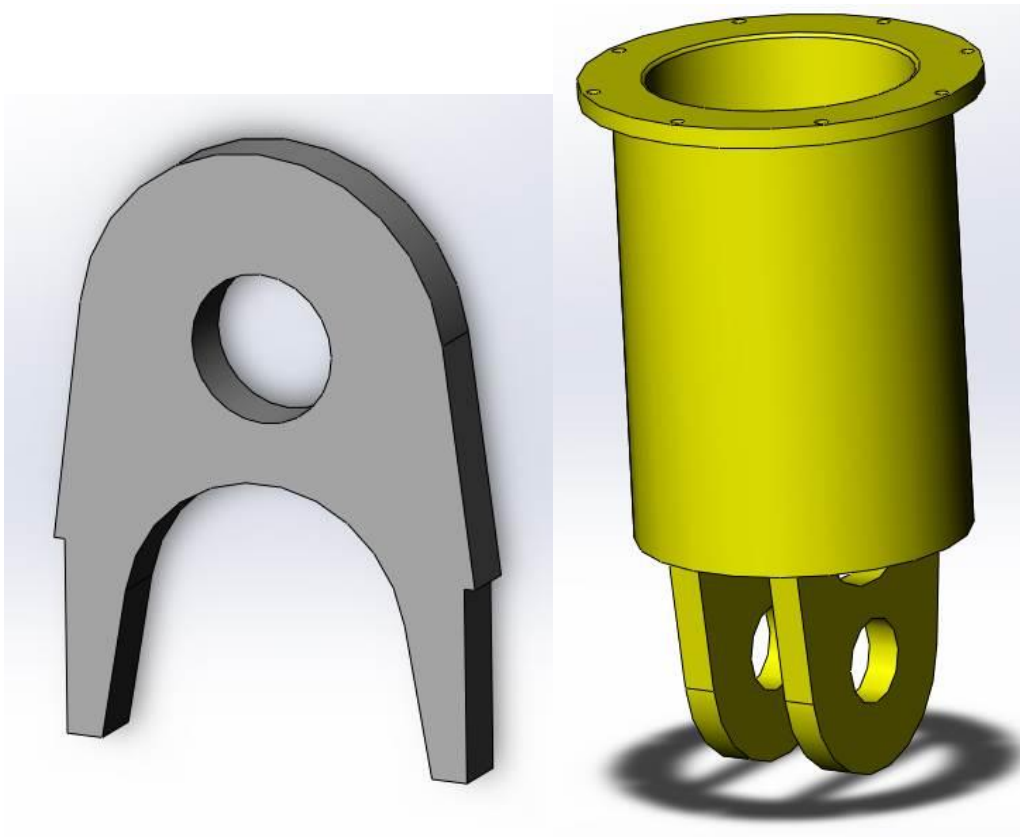
KUVA 21. Holkkikiinnityksen FEM malli



KUVA 22. Holkkikiinnitys

Lopullinen alatuenta ei eroa holkkikiinnityksellä toimivasta mallista juurikaan, suurin ero on kiinnityksessä. Syy miksi siirryttiin korvakemalliin, on holkin silmukkaa vasten nojaavan pinnan koneistus. Koneistus olisi onnistunut 60mm halkaisijaltaan olevalla kiekkoterällä, mutta tämä olisi ollut huomattavasti työläämpää kuin toteutettu ratkaisu. Holkituksen tilalle ideoitiin korvake laserleikkeestä.

Lähtökohtaisesti hitsaussaumoja lujuustarkastellessa oletetaan, että kappaleet ovat saumattomasti yhdessä. Tämä tarkoittaa sitä, että hitsi on tunkeutunut kappaleen koko leveydeltä. Jos ei ole mahdollista sulattaa kappaletta läpi, on tämä huomioitava pienhitsissä hitsin pinta-alana jonka pitää olla vähintään yhtä suuri, kuin kappaleet yhdistävä pinta-ala. Tässä tapauksessa hitsattaviin saumoihin piirrotettiin viisteet, mitkä mahdollistavat sulan muodostamisen juurta myöten, eikä hitsiä tarvitse levittää pinta-alaltaan suuremmaksi.



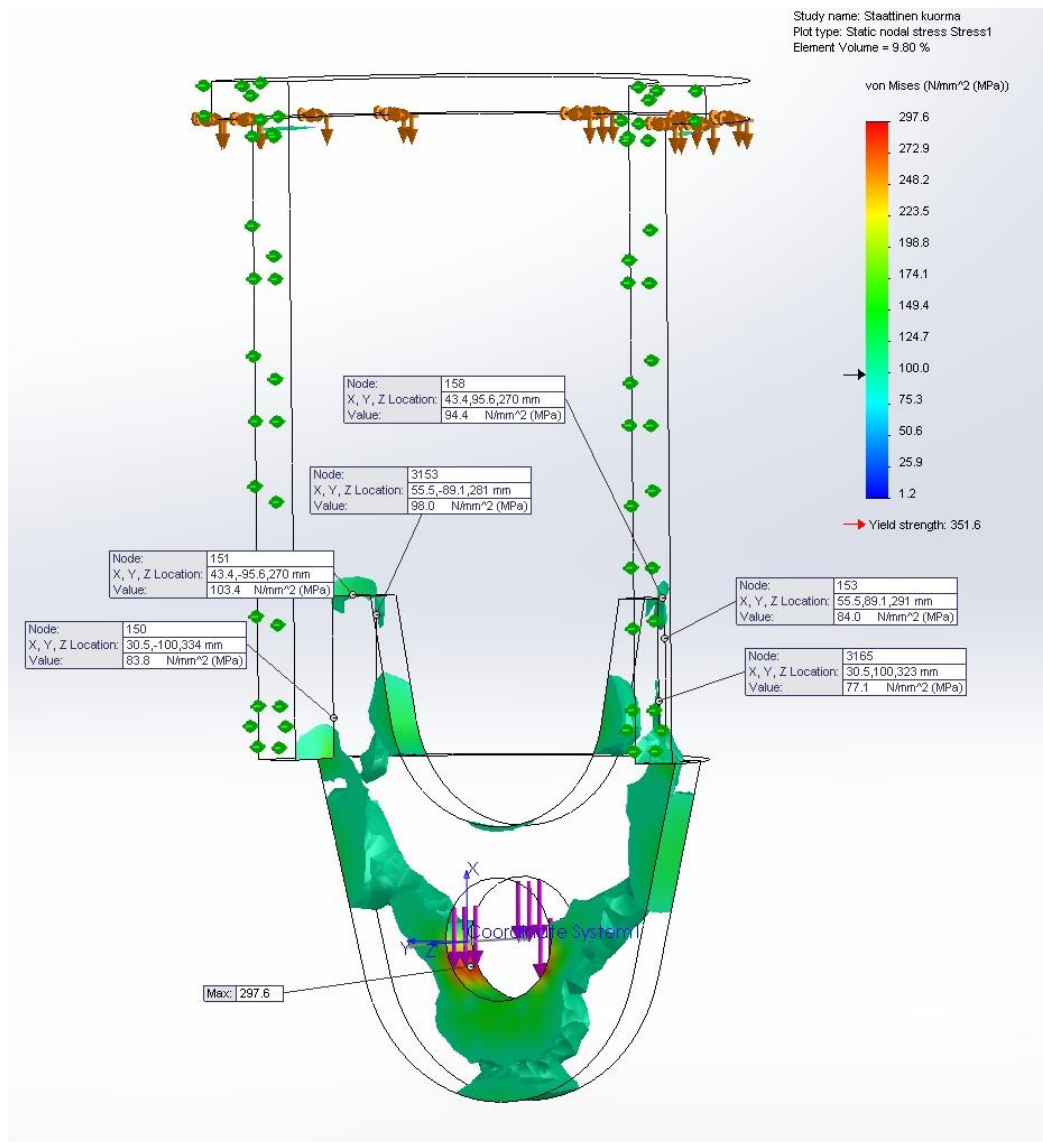
KUVA 23. Korvake laserleikkeestä KUVA 24. Alatuenta korvakkeilla

Malli lujuustarkasteltiin erityisesti hitsausseamojen kohdalta, saumat pidennettiin niin pitkiksi, että jännityspisteet saatiin eliminoitua ja rasitus kohdistui riittävän suurelle pinta-alalle putken sisällä. Teräviä nurkkia vältettiin sinne syntyvien suurten jännitysten takia. Terävät nurkat edesauttavat murtumien syntymistä. Nominaaliseksi jännitykseksi 5 kertaa a mitan päästä saatiin 34,8 Mpa. Laskettu jännitys on selvästi alle sen nominaalin jännitysvaihtelun, jolla standardin mukaiset testikappaleet ovat kestäneet kaksi miljoonaa kuormanvaihtoa ($2 \cdot 10^6$), joten mitoitus tuntuu turvalliselta. (Standardi SFS-EN 1993-1-9, 28)

Putki suunniteltiin laipan ja korvakkeen ympärille. Putken mitoitukseen vaikuttivat hitsattava laippa ja korvakkeet. Putken sisähalkaisijaksi tuli 200mm ja ulkohalkaisijaksi 250mm. Putkeen itseensä ei kohdistu jousituksen takia mainittavia voimia, vaan kaikki mitoittavat voimat johtuvat putken kiinnityksistä.

Korvakkeiden paksuudeksi päätettiin 25mm, tämä mahdollistaa kuluvan akselin korvaamisen expanderilla. Expander nimitystä käytetään akselista joka on keskeltä vakioittainen, mutta sen päät laajenevat läpipulttia kiristettäessä. Käytössä kuluvan

sylinterin kiinnitysakselin ja korvakkeiden väljentyessä voidaan akseli korvata laajenevalla expanderilla. Tämä tuo huomattavan määrän käyttöikää lisää, kun korvakkeita voidaan käyttää pidempään jousituksen ominaisuuksien siitä kärsimättä. Jos korvakkeet olisivat suunniteltu mitoittamalla, varmuusluku 3:llä, paksuus olisi ollut 10mm.



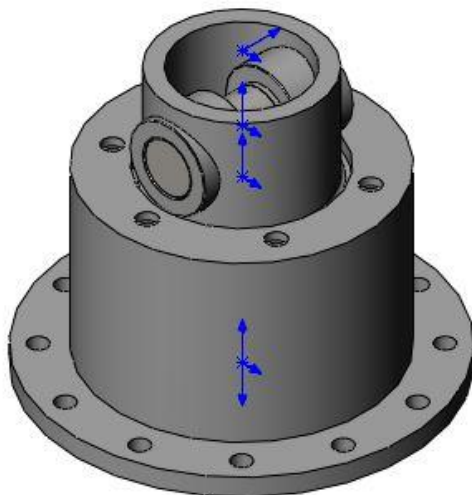
KUVA 25. Hitsaussaumojen ja nurkkien lujuustarkastelu

Alatuennan valmistustekniset ongelmat yritettiin suunnitteluvaiheessa poistaa mutta sylinterin kiinnityksen tarkka reikä vaatii erikoisjärjestelyjä jotta siitä saadaan riittävän kohtisuora eikä sylinterin pystyvoimat pääse liikkumaan sivulle. Valmistusteknisesti kappale on yksinkertainen. Laserleikkeitten jälki riittää ulkopinnaksi, pois lukien sylinterin kiinnitysakselin tarkka reikä. Leikkausvaiheen jälkeen kappaleet hitsataan yhteen, jolloin kiinnitetään huomiota korvakkeiden kohtisuoruuteen. Koneistusvaiheessa kappale suoristetaan ja koneistetaan puhtaaksi. Putken yläpään

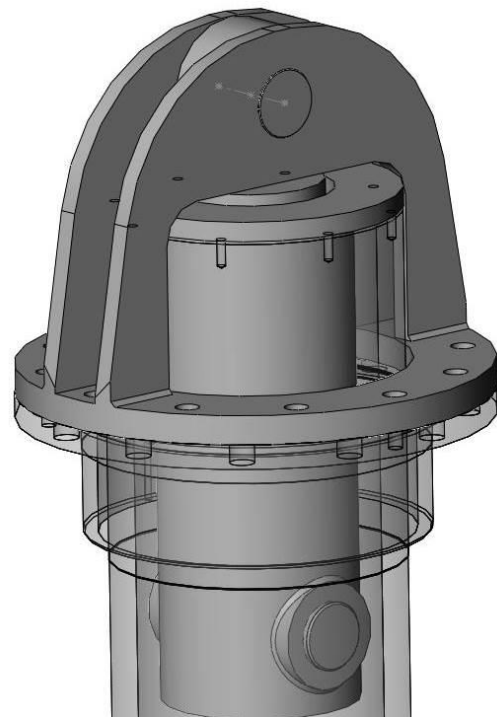
ohjauspinnat ja korvakkeen reiät koneistetaan samalla kiinnityksellä jotta ohjauspinnan ja kiinnitysreiän kohtisuoruus ei kärsisi. Alatuennan osapiirustukset, hitsauskuvannot sekä kokoonpanopiirustukset liitteenä 1.

3.8 Ylätuenta

Ylätuennan ideointivaiheessa käytiin läpi ensimmäiseksi pyörähdyssymmetriset kiinnitysvaihtoehdot. Ongelmaksi ilmeni jälleen tilanpuute. Lähdimme ratkaisemaan tätä ongelmaa laserleikkeillä. Hahmotelma laserleikkeistä oli kehittynyt työtä tehdessä, ja ylätuenta rupesi muodostumaan huomattavasti ripeämmin kuin työn muut suunniteltavat osat.

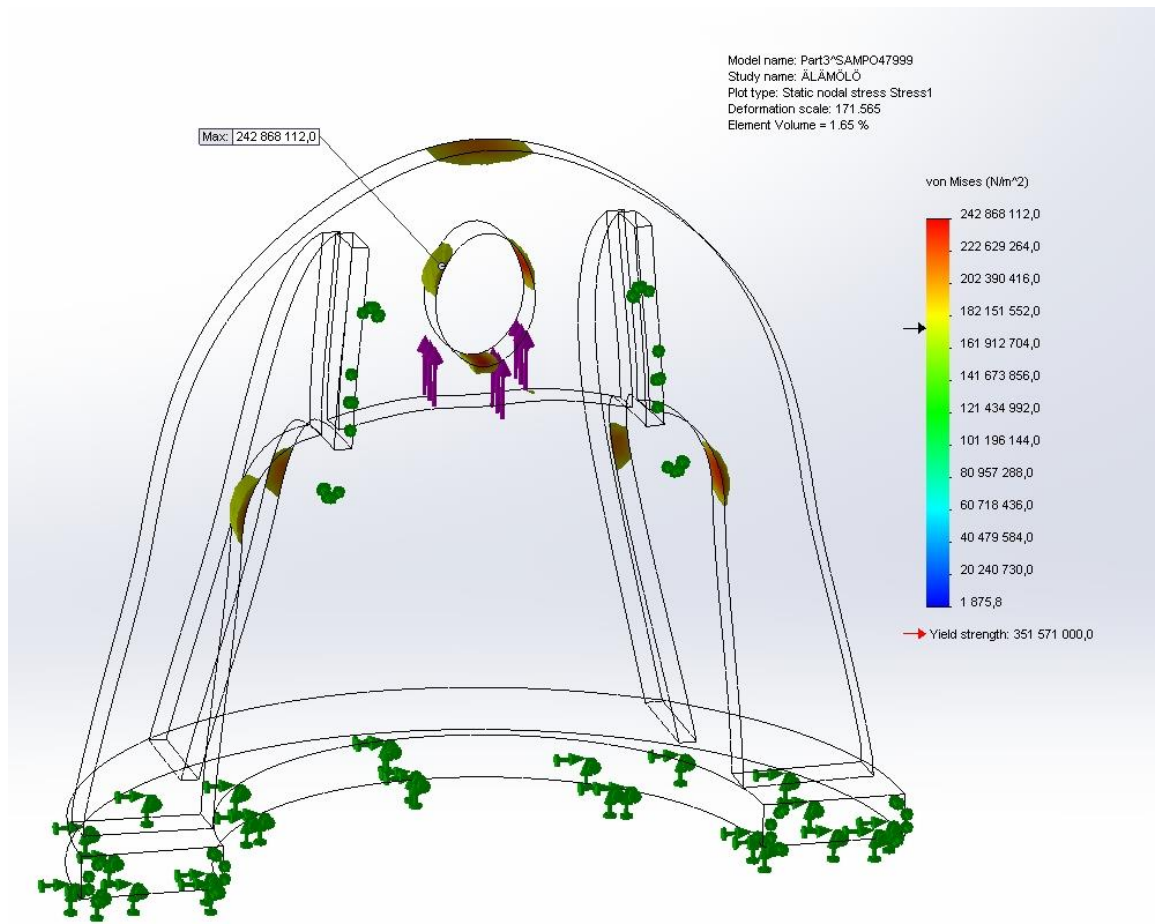


KUVA 26. Yläpuolen sorvattu kiinnitys

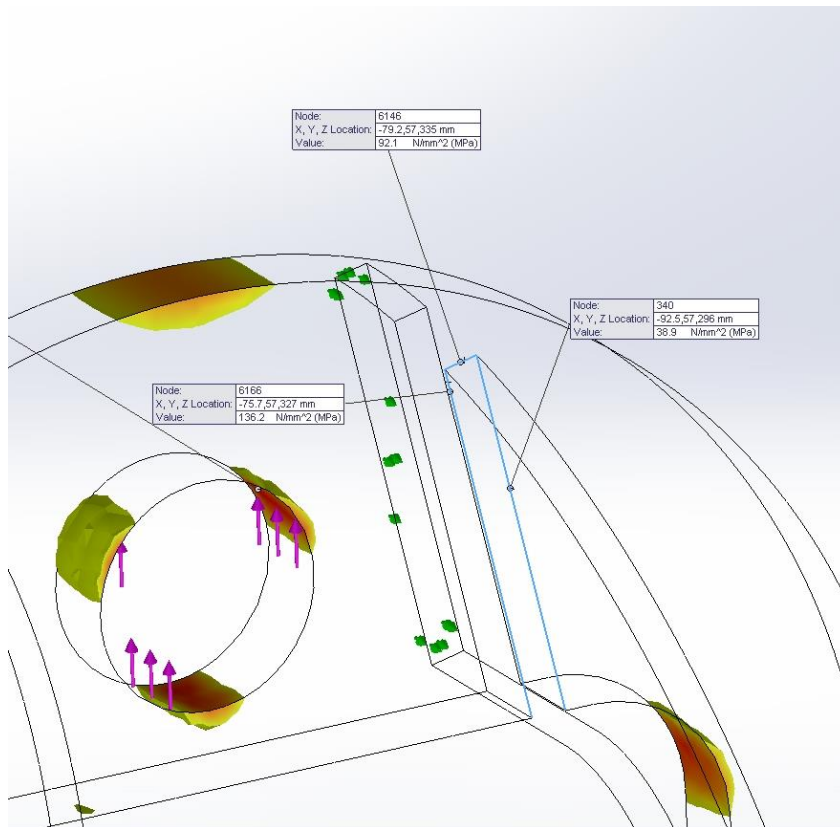


KUVA 27. Yläpuolen suunnitteluvaihe

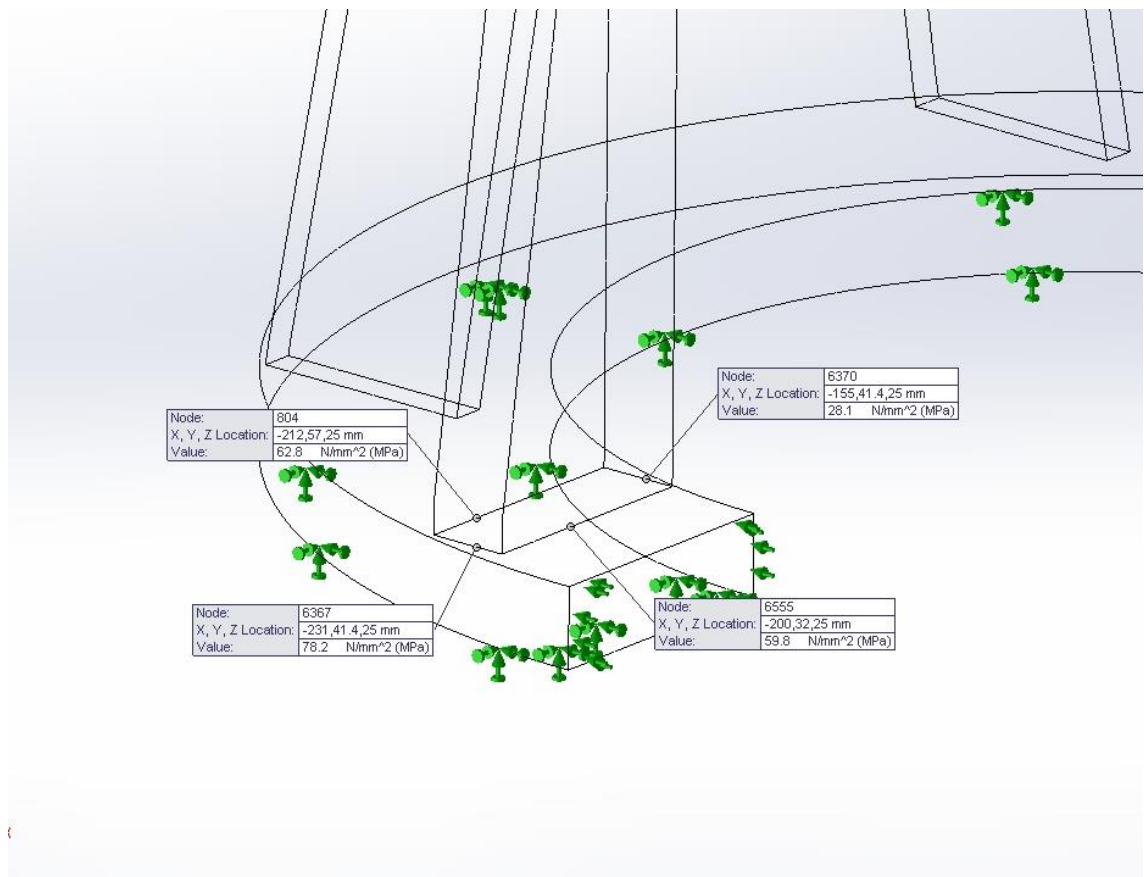
Laserleikkeistä valmistettu yläkiinnike osoittautui sorvattua kiinnitystä yksinkertaisemmaksi suunnitella. Ainoastaan tukirautojen paikkoja sekä asentoa piti muuttella useampaan otteeseen sopivammaksi. FEM laskentamallista etsittiin heikkoja kohtia, sekä katsottiin, että suurimmat rasitukset eivät kohdistu hitsauksiin. Leikkeet suunniteltiin niin, että hitsausvaiheessa hitsarin on helppo saada aikaan hitsille suuri tunkeuma, eikä hitsin pinta-alaa tarvinnut kasvattaa pienellä. Rakenteen nominaaliseksi jännitykseksi hitsausaumasta noin 5 kertaa a mitan verran ylöspäin tuli yhteensä 43 MPa. Yläpuolen tuennan työpiirustukset liitteenä 2.



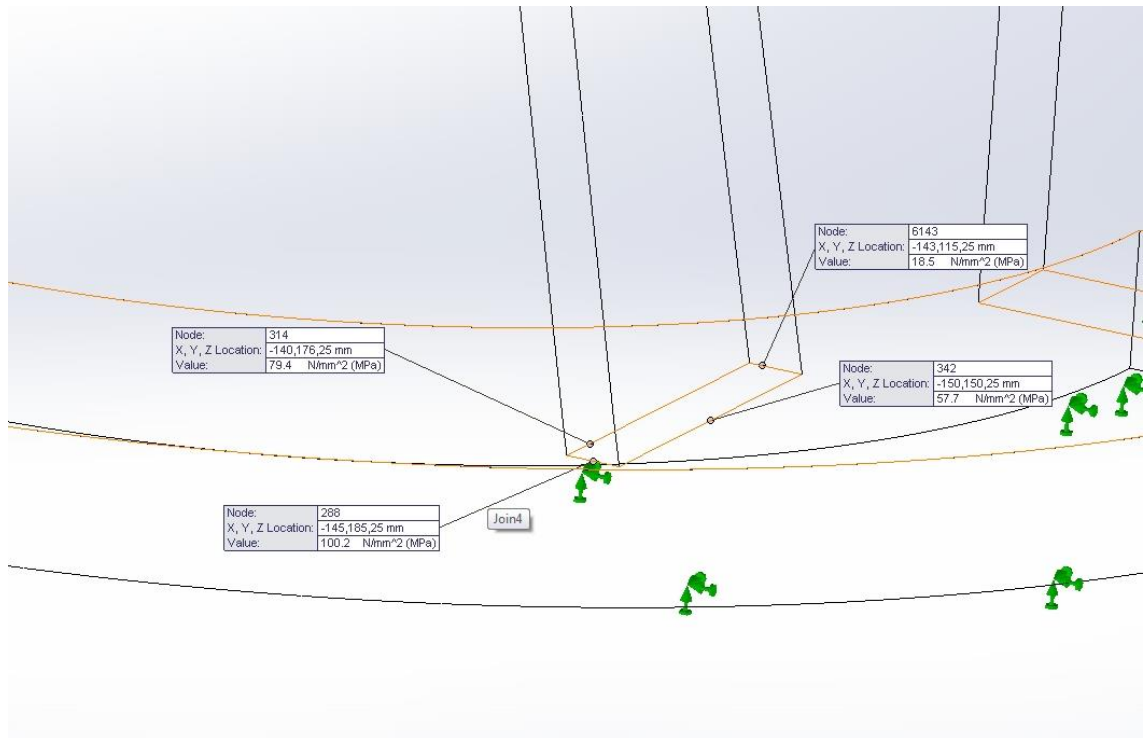
KUVA 28. Ylätuennan lujuustarkastelu



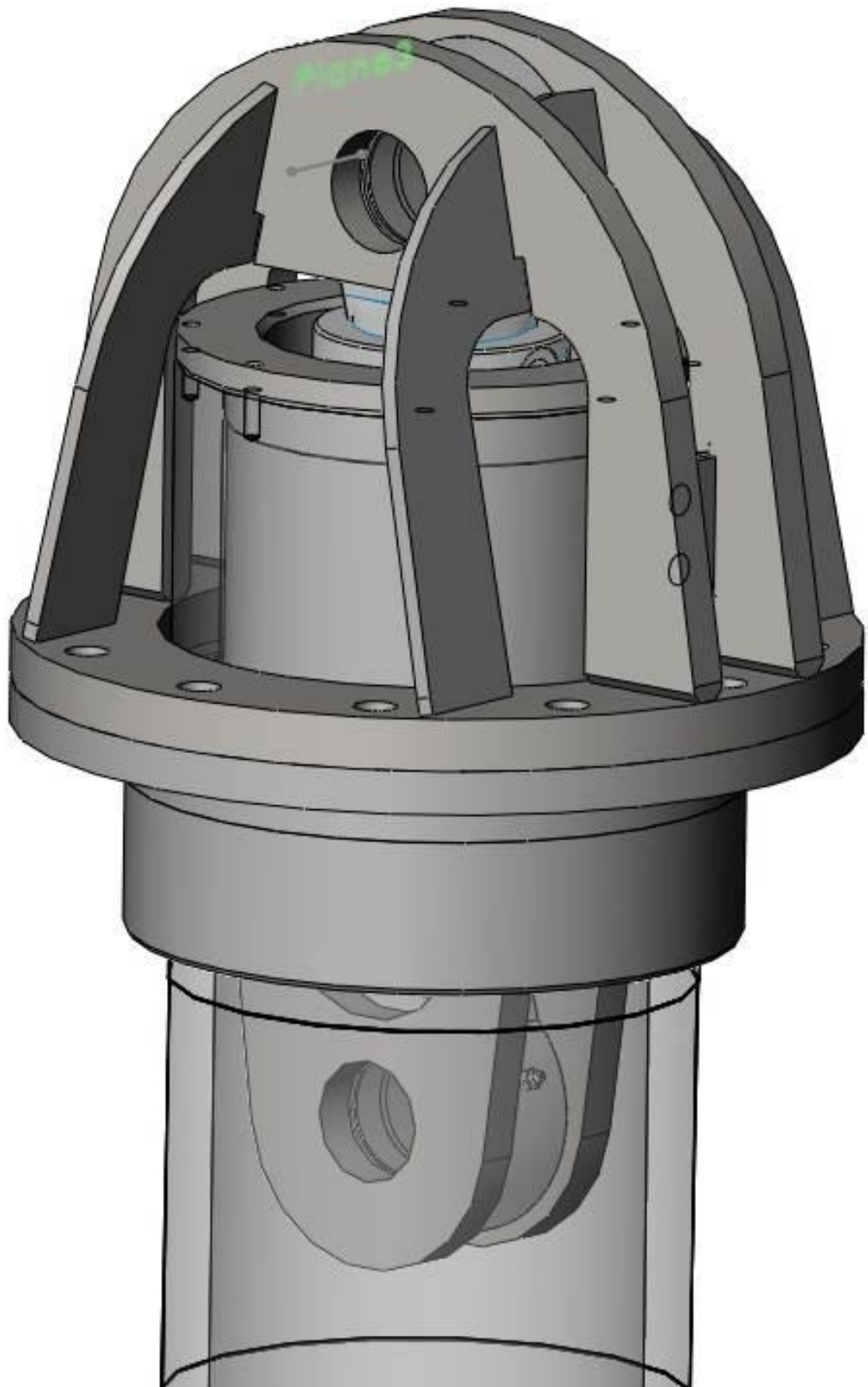
KUVA 29. Ylätuennan hitsaussaumojen tarkastelu



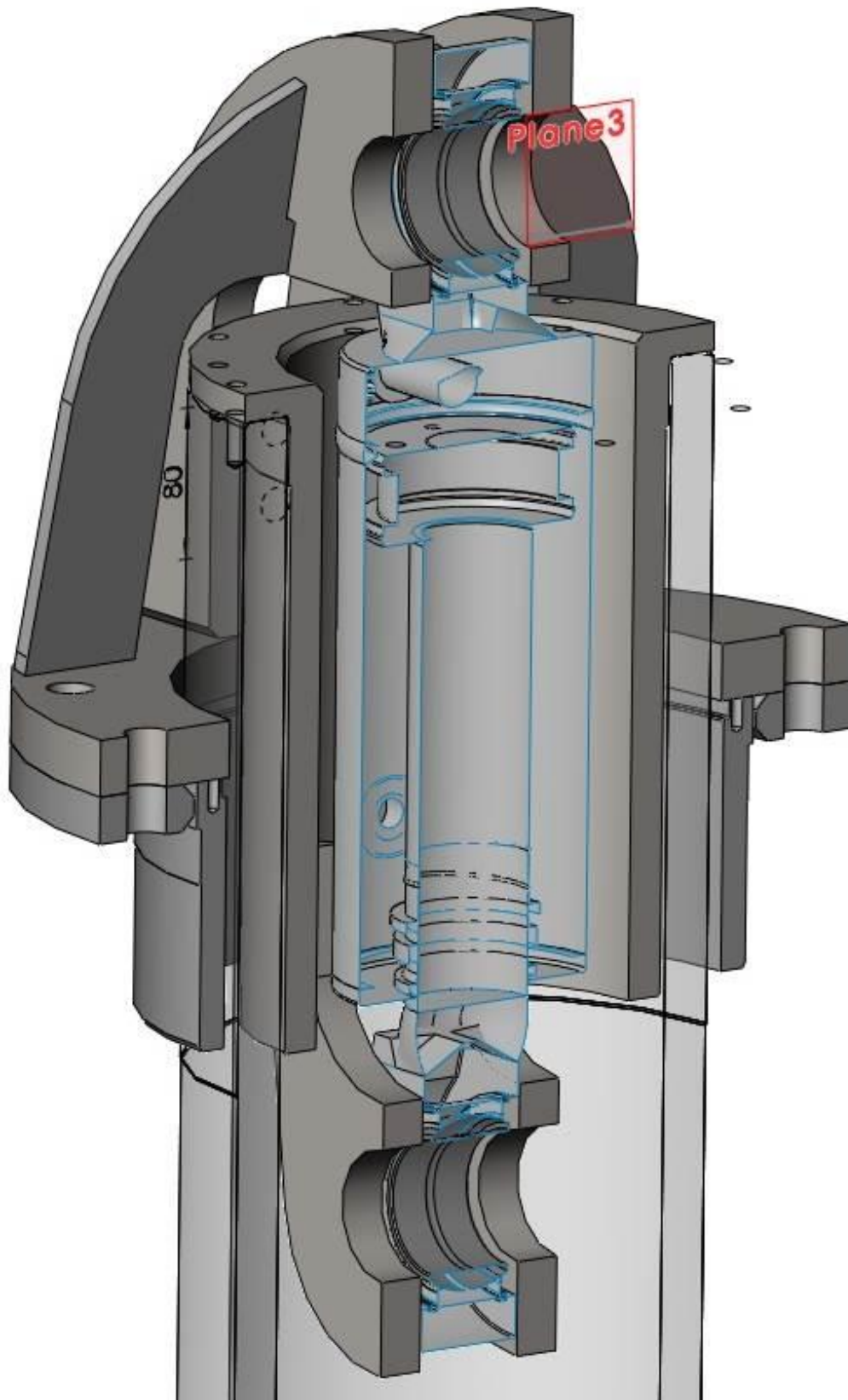
KUVA 30. Ylätuennan hitsaussaumojen tarkastelu



KUVA 31. Ylätuennan hitsaussaumojen tarkastelu



KUVA 32. Jousituksen tuenta



KUVA 33. Jousituksen tuenta, poikkileikkauskuvanto

4 ANTUROINNIN TUOTEKEHITYS

4.1 Korkeusanturointi

Korkeusanturointina koneessa toimii Omronin E2* mallinen induktiivinen lähestymiskytkin. Korkeusanturoinnin asemointiin tai toimintaan ei tehty muutoksia tutkimustyön aikana.

4.2 Ohjausanturointi

Ohjausanturina toimii NovotechnikSP**** S00** mallia oleva potentiometri.

Koneen ohjausanturoinnin paikkaa sekä toimintamekaniikkaa muutettiin. Ohjausanturointi valvoo jatkuvasti renkaan kääntöä pystyakselinsa ympäri. Ohjaussyylinteri saa käskyn pidentyä tai lyhentyä ohjaamosta, ratin pulssianturilta tai joystick ohjaukselta. Ohjausanturi valvoo tätä toimintaa. Kehitystyössä ei muutettu ohjausanturoinnin toimintaa millään tavalla, vaan anturoinnin mekaniikkaa ja paikkaa muutettiin jousituksen päältä lähelle rengasta. Ohjausanturointi saa liikkeensä ohjaussyylinterin päästä ohjaussauvojen avulla. Ohjausanturoinnin potentiometri kääntyy 130 astetta, ja siinä on 1000 mittapistettä.

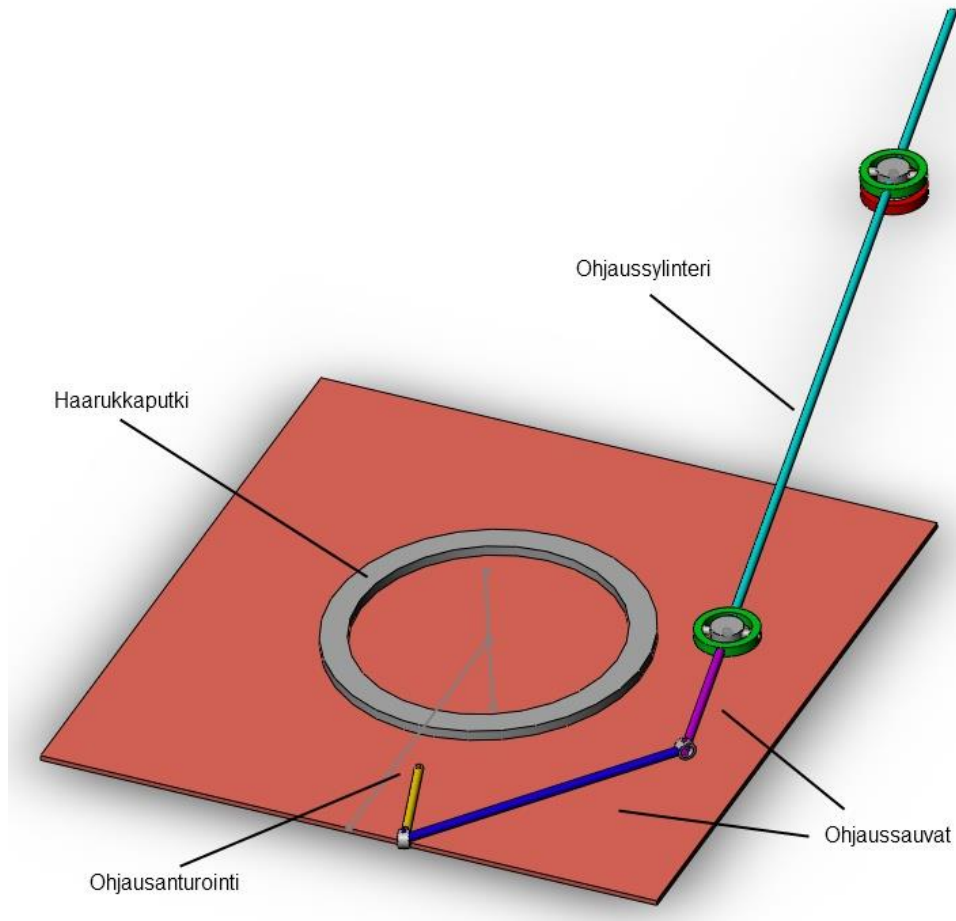


KUVA 34. Ohjausanturi



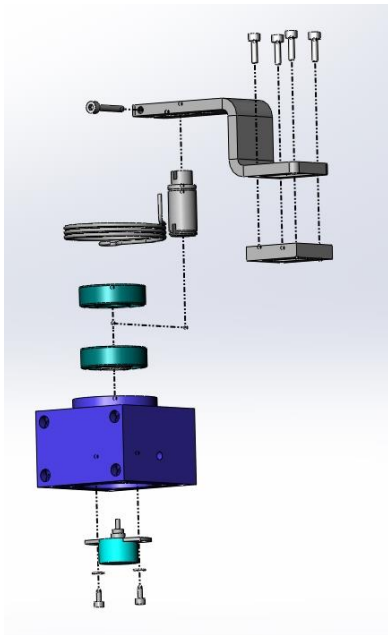
KUVA 35. Ohjausanturin päivitetty paikka

Suunnitteluvaiheessa teimme havainnointimallin, joka toimi samoin kuin koneen jousitus, liikkuen $\pm 75\text{mm}$ ylös ja alas. Vertikaalisesta liikkeestä johtuen potentiometrille tuli hieman virhettä, mutta asemoinnilla tämä saatiin korjattua mitättömän pieneksi. Potentiometrin kääntösäteeksi jätettiin 100 astetta, jolloin tarkistuspisteitä jää käytettäväksi noin 800.

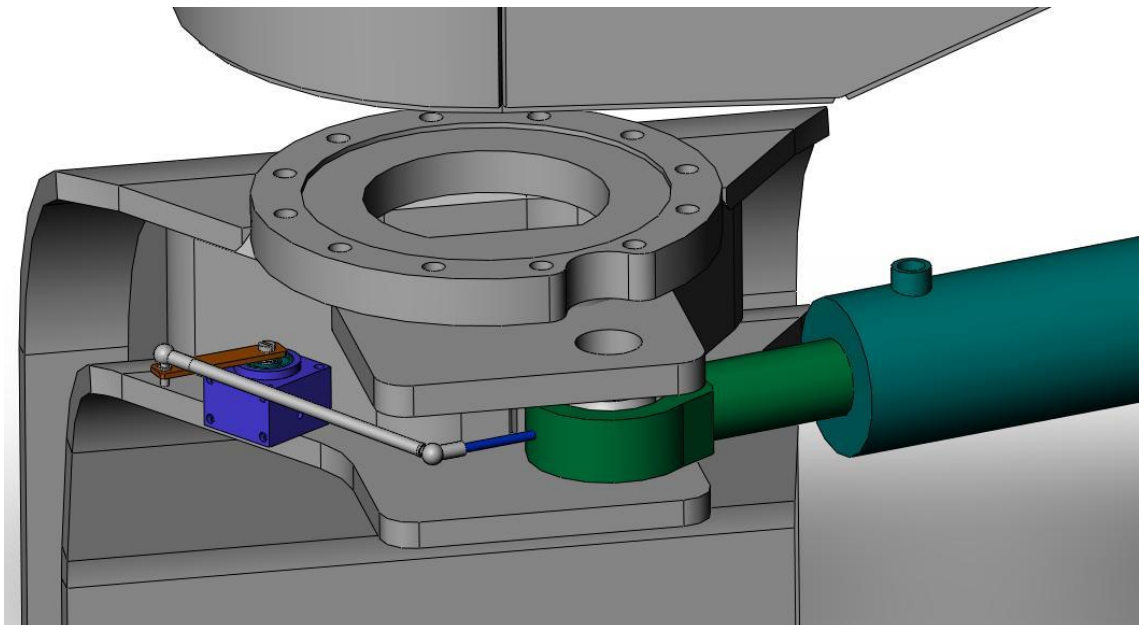


KUVA 36. Ohjausanturoinnin kuvantaminen

Nivellykseksi valittiin pallomaiset nivelpäät joiden liikevara oli riittävä mekaniikalle. Itse ohjausanturointia ei muutettu, jo olemassa oleva kotelointi ja laakerointi oli riittävän järeää. Ohjausanturin paikoituspiirustus liitteenä 3.



KUVA 37. Ohjausanturin räjäytyskuva



KUVA 38. Uusi ohjausanturoinnin paikka

4.3 Ohjaussylinterin tuotekehitys

Ohjaussylinterinä toimii Hydoring HD22** mallinen vakiosylinteri jonka molemmissa päissä on silmukkakiinnitys. Ohjaussylinteriin tai sen toimintaan ei tehty merkittäviä muutoksia tutkimustyön aikana.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tutkimustyössä onnistuttiin hienosti, yhteenlasketut säästöt nousivat lähelle 45% alkuperäisestä kustannuksesta. Lähes kaikki säästö syntyi yksinkertaisemmasta kokoonpanosta, välttämällä turhaa valmistustarkkuutta, sekä valmistusmenetelmiä tarkistamalla. Tutkimustyö oli erittäin mielenkiintoinen ja täynnä haasteita. Kun yhdestä haasteesta selvittiin, oli seuraava odottamassa ratkaisua. Laserleikkeistä syntyi merkittävä säästö. Työstömenetelmänä laserleikkaus on erittäin tarkka ja pinnanlaadultaan hyvä. Käyttämällä oikeita teräslaatuja laserleikkeessä, vältetään merkittävien lämpöjännitysten syntyminen. Näin vältetään tarve poistaa jännityksiä esimerkiksi hehkuttamalla.

Alaripustuksen pyörähdyssymmetrinen kappale laserleike korvakkeilla sisälsi vaikeasti hitsattavia saumoja, mutta oikeilla työtaivoilla, sekä riittävällä viistellä saadaan aikaan edullinen ja kestävä ratkaisu. Ilman elementtimenetelmää olisi ollut huomattavasti haastavampaa poistaa jännityspisteitä kappaleesta, ja kestävyuden kenttättestaus olisi ollut suuremmassa roolissa tutkimustyössä. Oikealla kappaleen suunnittelulla voidaan tehdä hyvää tulosta, tai vielä isompaa tappiota. Suunnittelijan tulee olla tietoinen siitä miten kappaleet valmistetaan, jotta kappale olisi edullinen valmistaa, mutta ominaisuuksiltaan täyttäisi vaatimukset.

Takaisinkytkentä sekä ohjausanturin muutokset syntyivät muun työn ohessa. Niille oli selvä tarve, kun haettiin edullisempia ratkaisuja. Tutkimustyön tuloksena tehtiin piirustukset jotka voidaan viedä sellaisenaan tuotantoon. Jousitus valmistutetaan sekä testataan loppuvuonna 2013.

LÄHTEET

Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-9: Väsyminen. 2008. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Outinen, H. 2006. Statiikka osa II. Tampere: Pressus

Lähteenmäki, M. 2008. Värähtelymekaniikan luennot. Tampereen ammattikorkeakoulu. 1-2.

Kuva ttsgroup internet sivuilta. Luettu 23.3.2013.
<http://www.ttsgroup.com/Companies/TTS-Liftec-Oy/>

Kuva ferret.com.au internet sivuilta. Luettu 23.3.2013.
<http://www.ferret.com.au/c/Air-Springs-Supply/images/Heavy-duty-Airstroke-actuators-from-Air-Springs-Supply-for-compact-lifts-in-confined-spaces-309542-600x478.jpg>

Liftec Prodictions Oy:n arkisto 03/2013

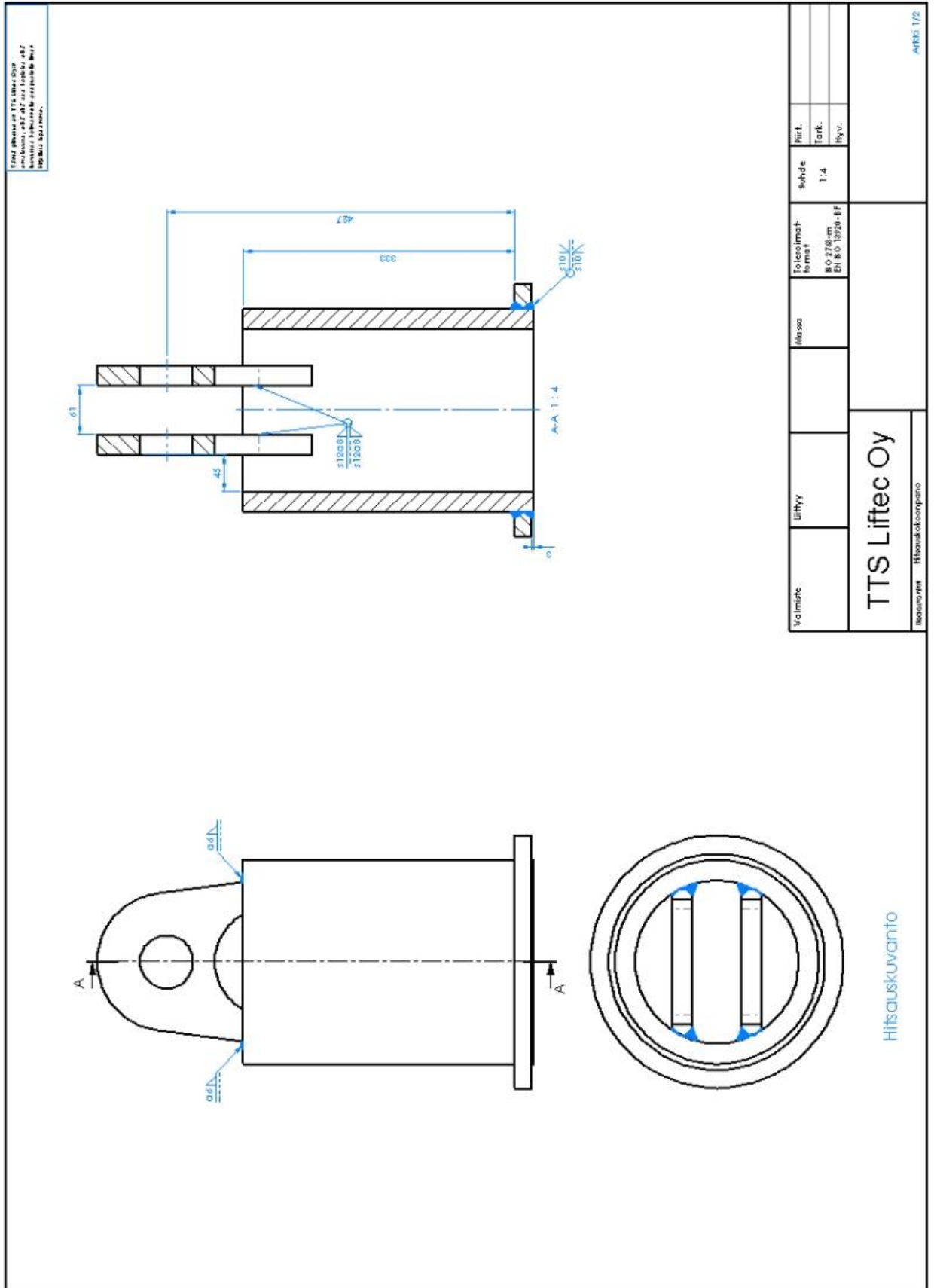
Solidworks help. Statics analysis help. Luettu 10.4.2013
http://help.solidworks.com/2012/english/solidworks/cworks/IDC_HELP_PRESTATIC_OPTIONS.htm

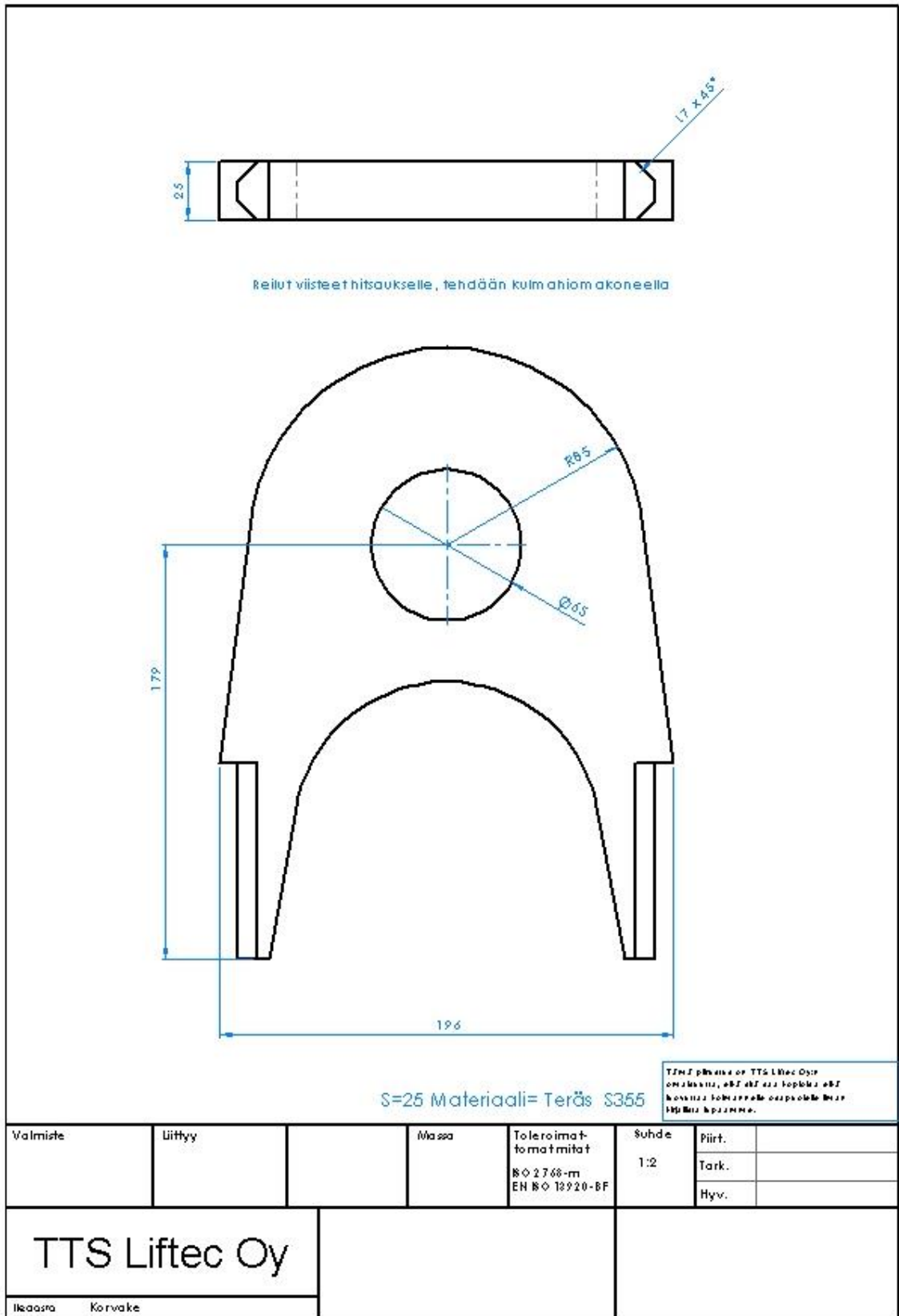
TTS-Liftec Oy:n arkisto 04/2013

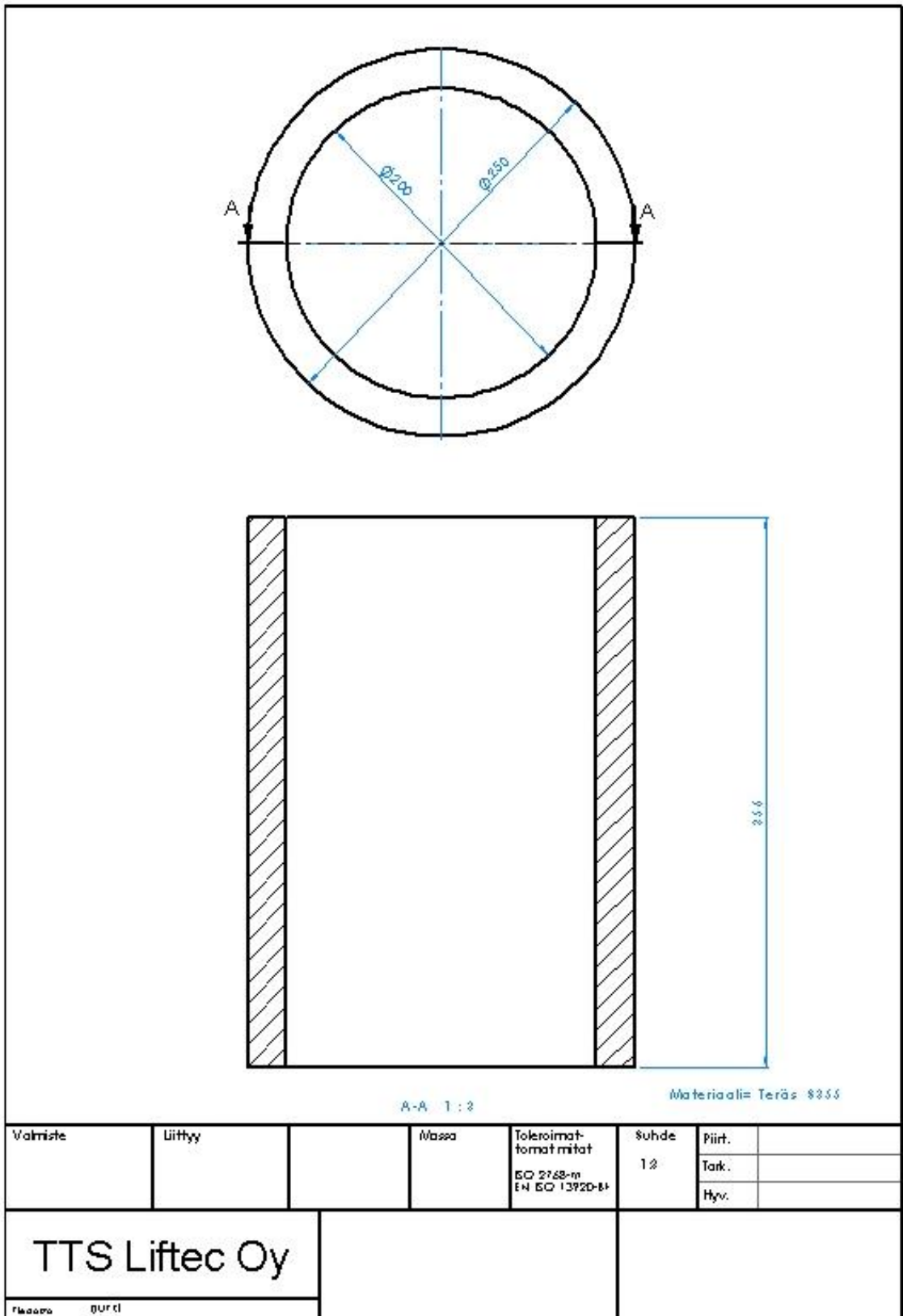
LIITTEET

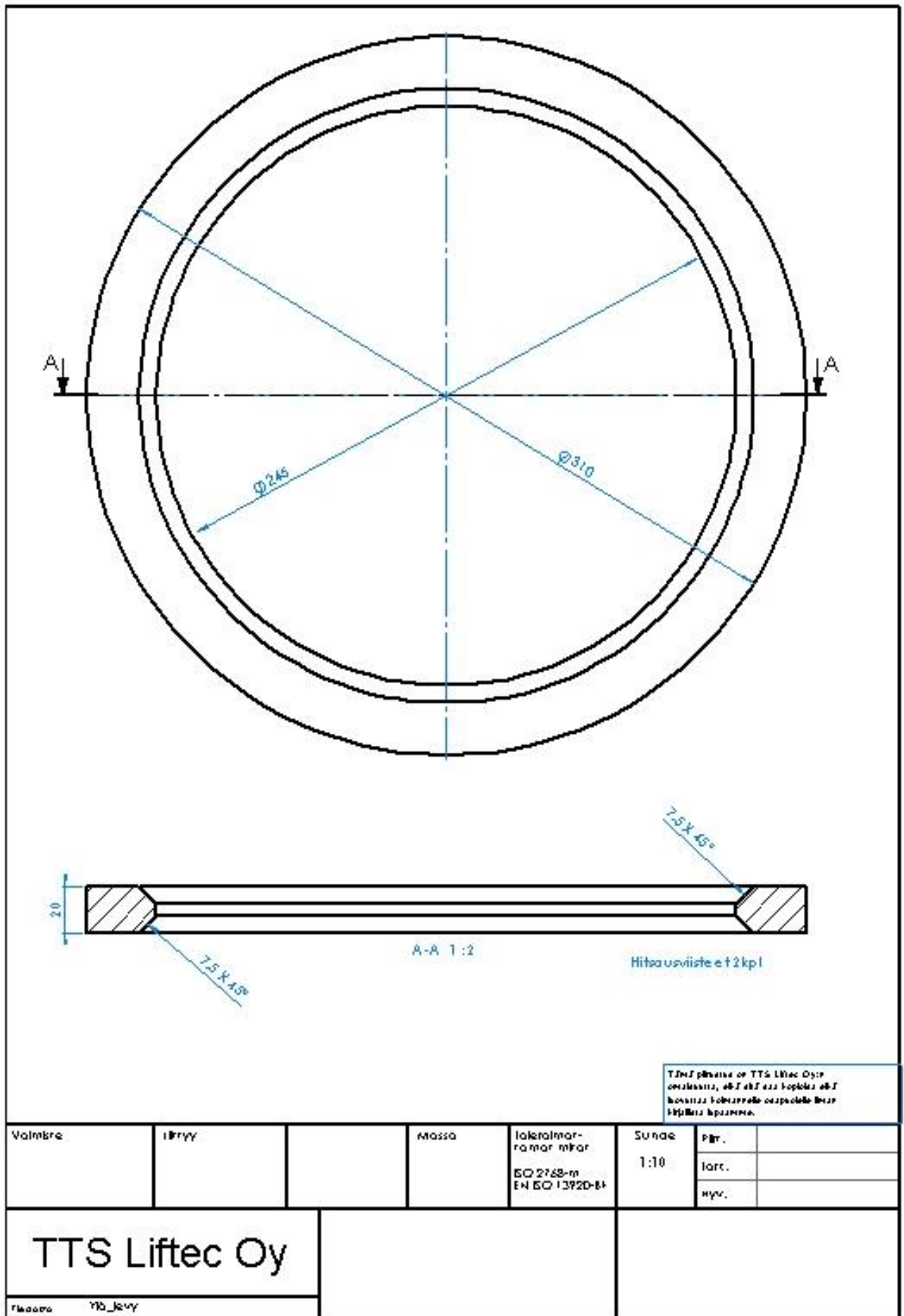
Liite 1. Alaripustukset

1 (5)









Tämä piirros on TTS Liftec Oy:n omaisuus, eikä sitä kopioi eikä levitä julkisesti ilman lupaa.

Valmistaja	Yhtiö		Massa	Isokeraamirakenteen määrittäminen	Suhteellinen	Fig.	
				ISO 2768-m EN ISO 13920-1	1:10	lort.	
						ryv.	
TTS Liftec Oy							
Maasto	Yö_kiv						

Liite 2. Yläripustukset

1 (6)

Tämä piirros on TTS Liftec Oy:n oma. Sen kopiointi, jakaminen tai muu käyttö ilman TTS Liftec Oy:n kirjallista lupaa on kielletty.

Valmistaja: **TTS Liftec Oy**

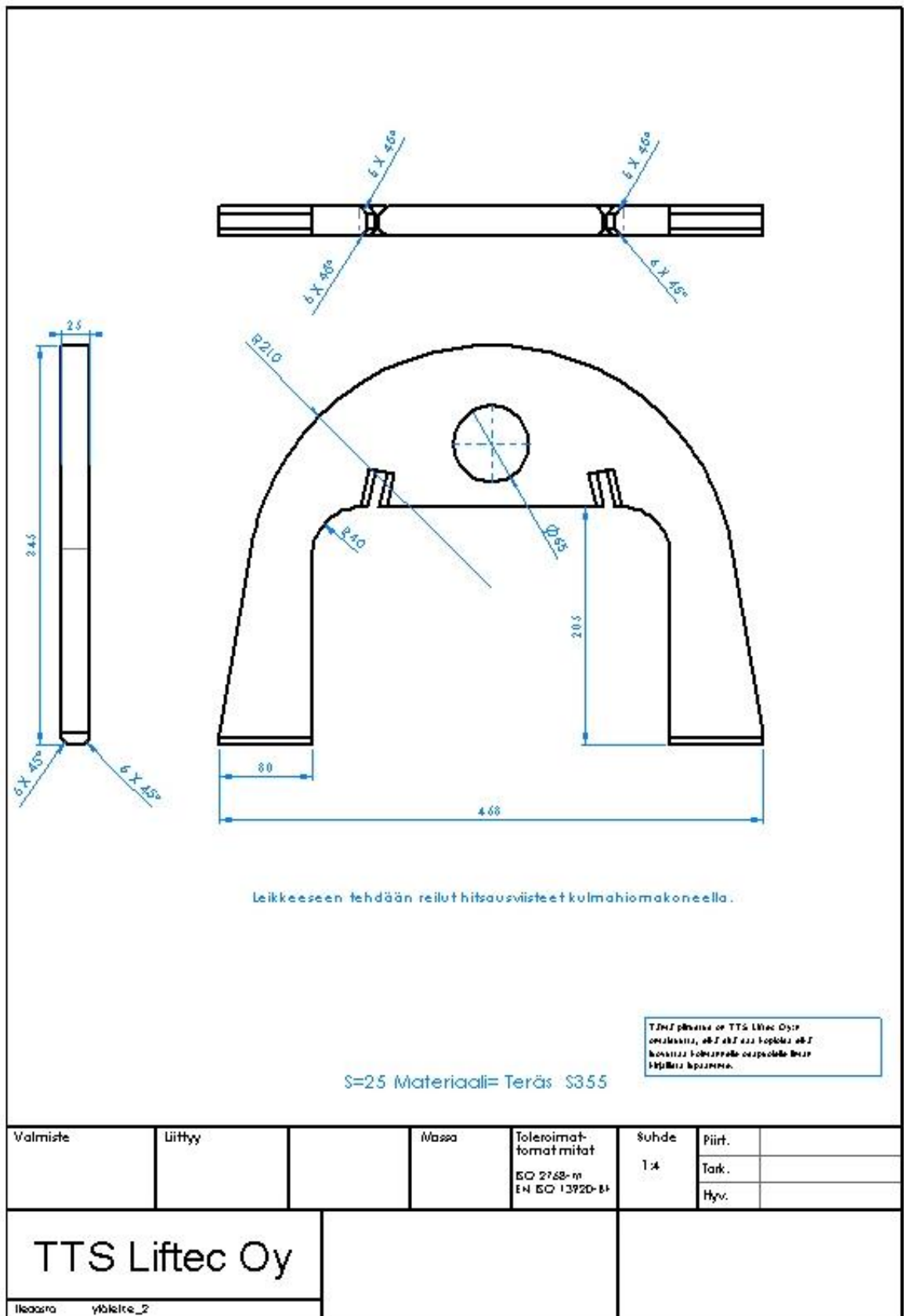
Ilmoitusnro: Y0101022

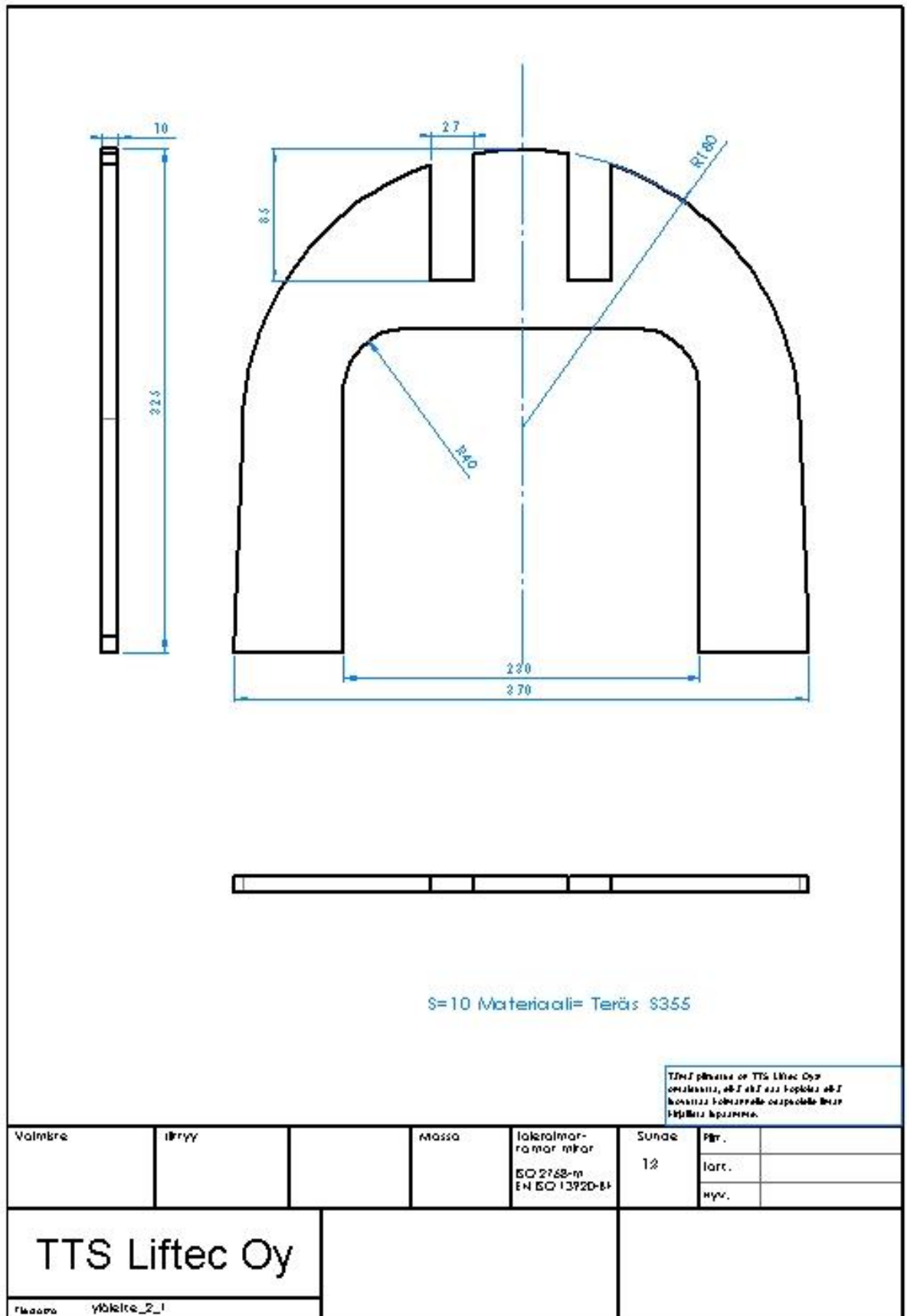
ANKKI 1/2

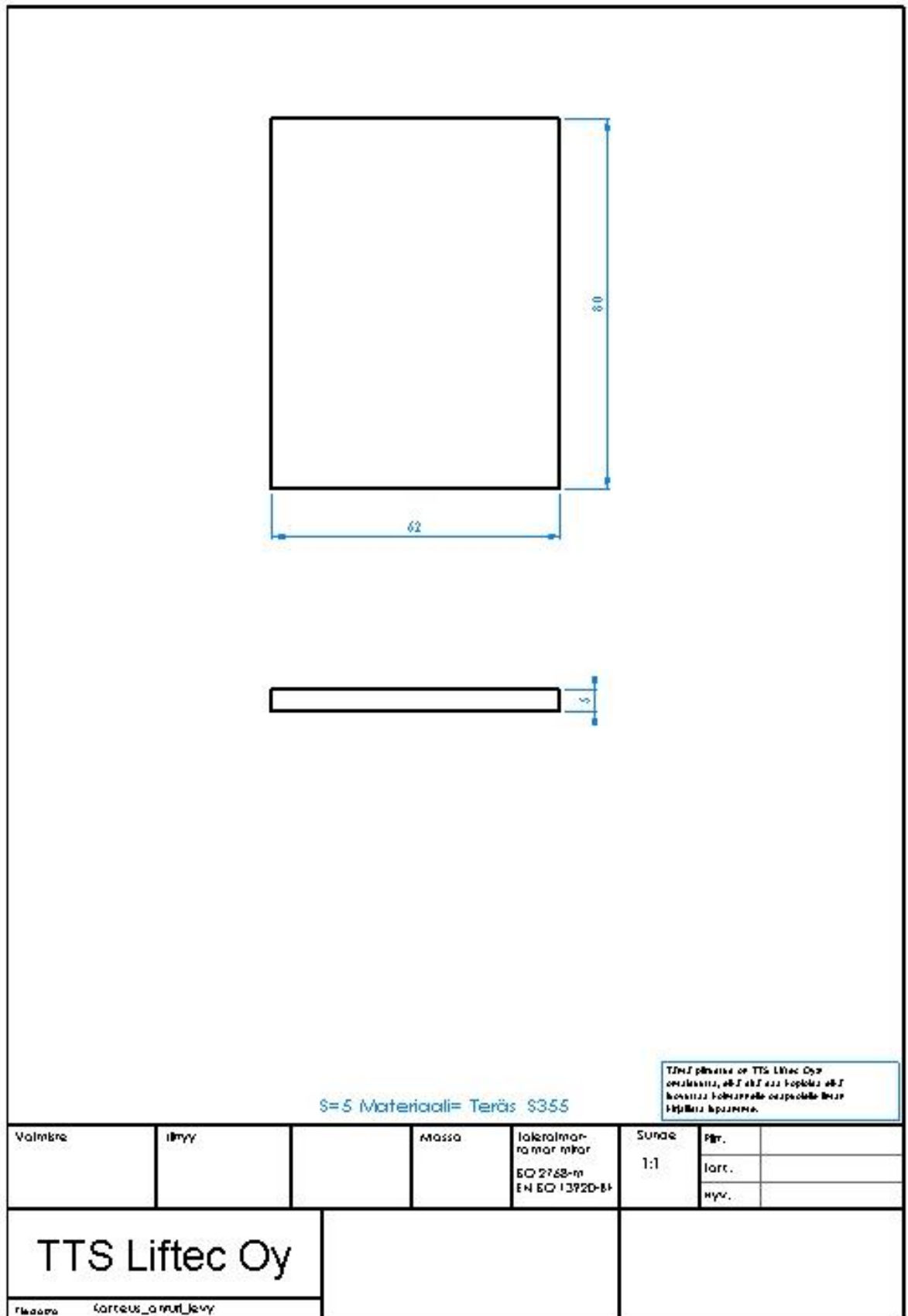
Vinotuet asetetaan hahlon mukaan.

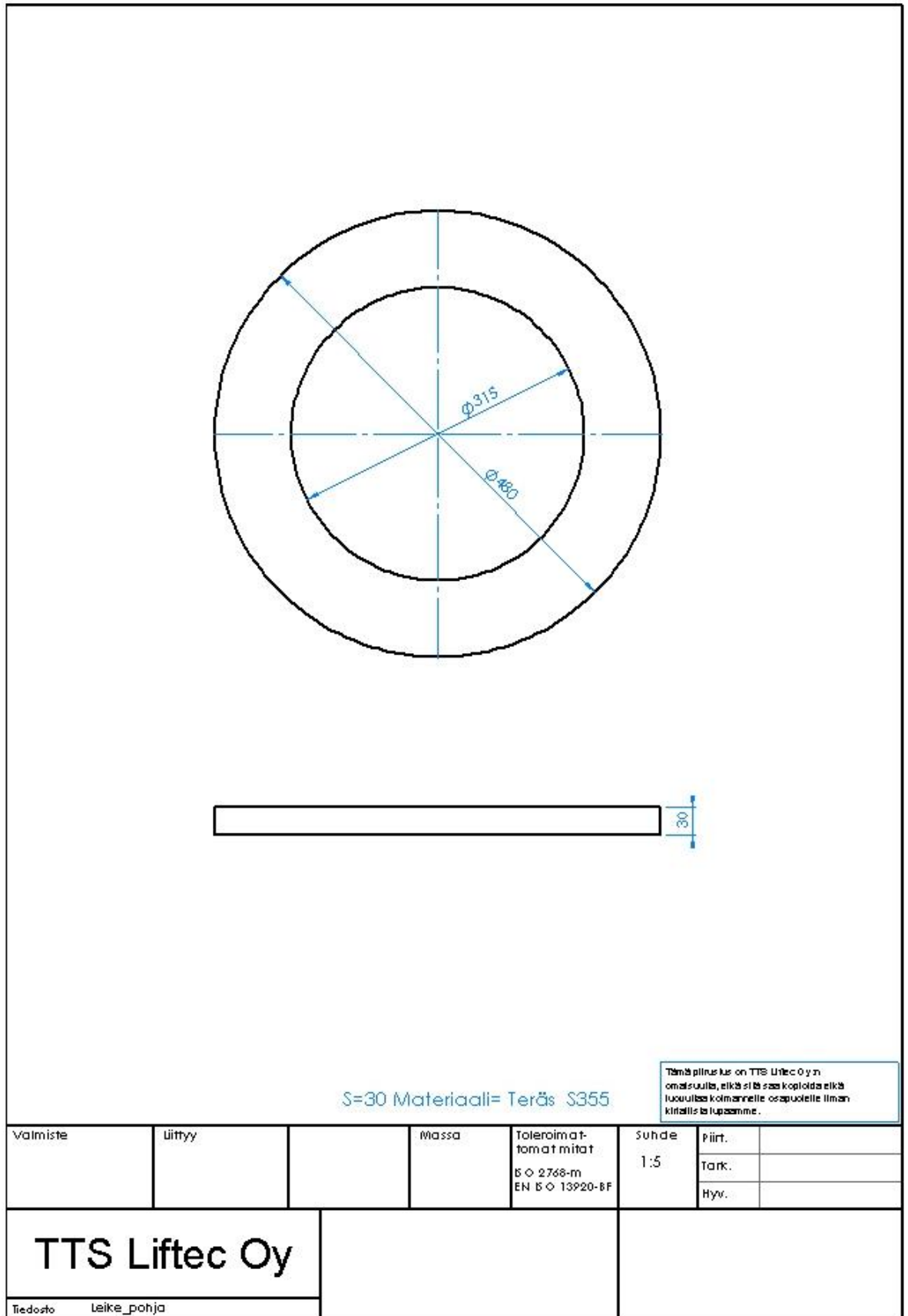
Kehikko heiftetaan ensimmäiseksi, viimeisenä hitsaus pohjalevyyn.

ITEM NO.	PART NAME	MATERIAL	WEIGHT	QTY.
1	Leike_pohja	S355	24.4kg	1
2	ylileike_2	S355	20.4kg	2
3	ylileike_2_1	S355	4.1kg	1
5	Korkeus_anturi_levy	S355	0.2kg	1









Liite 3. Ohjausanturoinnin paikoitus

