

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Karelia-amk
Aleksi Pulkkinen

Henkilönostimen muutostyön suunnittelu ja lujuustarkastelu

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2017



Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2017
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Karjalankatu 3
80260 JOENSUU
FINLAND
Tel. 013 2606800

Tekijä(t)
Aleksi Pulkkinen

Nimeke
Henkilönostimen muutostyön suunnittelu ja lujuustarkastelu

Toimeksiantaja
Mantsinen Group Ltd Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella käytössä olevan maalaamon henkilönostimen muutostyö. Opinnäytetyössä määritettiin ja selvitettiin muutostyön vaatimukset, jonka jälkeen suunniteltiin ja mitoitettiin muutokset. Muutoksen tavoitteena oli kolminkertaistaa nostimen aiempi ulottuma. Nostimen staattinen lujuus tarkasteltiin teräsrakenteiden ja komponenttien osalta.

Opinnäytetyössä perehdyttiin henkilönostimien suunnittelua koskeviin säädöksiin sekä käyttöä ja tarkastamista koskeviin säädöksiin. Työssä selvitettiin, mitkä säädökset koskevat muutostöitä, jotka kohdistuvat käytössä olevaan henkilönostimeen. Säädöksistä selvitettiin, mitä tulee huomioida suunnitellessa muutoksia. Selvitetiin myös mitä varsinaisen mekaniikan suunnittelun ja staattisen lujuustarkastelun lisäksi tulee tehdä ennen nostimen käyttöönottoa.

Opinnäytetyön tuloksena on suunnitelma mekaniikkaan tehtävistä muutoksista ja laskelmat mekaniikan ja käytettyjen komponenttien staattisesta lujuudesta. Muutokset mallinnettiin 3d-malliin ja käytettävät valmiskomponentit määriteltiin. Valmistuspiirustusten tekeminen ja varsinainen muutostyön fyysinen toteutus rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle.

Kieli
suomi

Sivuja 51
Liitteet 4
Liitesivumäärä 9

Asiasanat
Henkilönostin, EN 280, Siirrettävät henkilönostimet.



THESIS
June 2017
Degree Programme in Mechanical Engineering
Karjalankatu 3
80260 JOENSUU
FINLAND
Tel. +358 13 2606800

Author (s)
Aleksi Pulkkinen

Title
Design and Strength Calculation for Alteration Work of a Personnel Lift

Commissioned by
Mantsinen Group Ltd Oy

Abstract

The aim of the thesis was to design desired modifications for a personnel lift used at painting. The goal was to design a structure, which could achieve three times greater reach compared to the original structure. The requirements of the modification were studied and taken into account at design work. Static strength of the lift was examined.

During thesis, regulations considering equipment used for lifting persons were examined. Laws and regulations considering the design of a lift were studied, as well as regulations for use and inspection. On these grounds, it was pointed out what kind of things must be considered in both the design work and before the first use of lift after alterations.

Deliverables of the thesis were a plan of required changes and calculations of static strength of structure and components. The changes were modelled on the CAD-model and the components to be used were defined. The manufacturing drawings and the practical modification work were left to be done outside of the thesis.

Language
Finnish

Pages 51
Appendices 4
Pages of Appendices 9

Keywords

Personnel lift, EN 280, mobile elevating work platform, MEWP

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Työn tavoite ja rajaus.....	5
1.2	Mantsinen Group Ltd Oy.....	5
2	Henkilönostimien suunnittelun teoriaa	6
2.1	Henkilönostimien suunnittelua ja valmistusta koskevat säädökset	6
2.2	Henkilönostimien käyttöä koskevat säädökset.....	6
2.3	Standardeista.....	7
2.4	Henkilönostimien lujuuslaskenta.....	8
2.4.1	Lujuuslaskenta EN 280 mukaan	8
2.4.2	FEM-laskennan perusteita	11
3	Nykytilanne ja tehtävän määrittäminen	15
3.1	Työympäristö	15
3.2	Nostimen lähtötiedot ja kuvaus	16
3.3	Toimeksianto	17
4	Suunnittelutyö	18
4.1	Vaatimusten määrittäminen ja taustatutkimus	18
4.1.1	Lakien asettamat vaatimukset	18
4.1.2	Käytännön vaatimukset	20
4.2	Mekaniikan suunnittelu	20
4.3	Lujuustarkastelu.....	27
5	Tulokset ja analysointi.....	37
5.1	Muutostyön vaatimukset	37
5.2	Suunnittelutyön tulokset.....	38
5.3	Lujuustarkastelun tulokset	41
6	Pohdinta.....	48
7	Lähteet.....	50

Liitteet

Liite 1	Rakennekuvat
Liite 2	Päämitat
Liite 3	Pintapaineet
Liite 4	Valmistuspiirustuksia

1 Johdanto

Henkilönostimien suunnittelua ja valmistusta ohjaavat direktiivit, lait ja asetukset. Myös henkilönostimien käyttöä ja käytönaikaista kunnossapitoa ja korjauksia ohjaavat omat asetuksensa. Mantsinen Groupin tehtaalla haluttiin tehdä muutoksia jo käytössä oleviin henkilönostimiin.

1.1 Työn tavoite ja rajaus

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella halutut ja tarvittavat muutokset käytössä oleviin nostimiin, joita on kaksi samanlaista, ja selvittää mitä toimenpiteitä muutostyöt vaativat suunnitteluvaiheessa sekä myöhemmin käytännön toteutuksessa. Työhön sisältyy mekaniikan suunnittelu ja mallinnus, materiaalien valinta ja ostettavien komponenttien vaatimusten määrittäminen. Muutostöiden luonteen vuoksi nostimelle tulee tehdä myös lujuustarkastelu. Opinnäytetyössä tarkastellaan nostimen staattinen lujuus. Väsymislujuuslaskenta rajataan opinnäytetyön ulkopuolelle. Myös osa- ja valmistuspiirustusten tekeminen sekä muutostöiden käytännön toteutus on rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle.

1.2 Mantsinen Group Ltd Oy

Mantsinen Group on Pohjois-Karjalainen 1974 perustettu perheyrittäjä joka on kasvanut pienestä logistiikkapalveluja tuottavasta yrityksestä yritykseksi, jolla on kansainvälistä liiketoimintaa kahdessa liiketoimintayksikössä. Logistiikkapalvelujen liiketoimintayksikkö toimii Suomessa ja Venäjällä, ja on erikoistunut raaka-putteen käsittelyyn. Materiaalinkäsittelykoneita ja -laitteita valmistava liiketoimintayksikkö myy koneita ympäri maailman. Koneet suunnitellaan ja valmistetaan Ylämyllyn tehtaalla. Koko yrityksessä työskentelee noin 450 työntekijää ja sen liikevaihto on noin 55 miljoonaa euroa vuodessa. (Mantsinen, 2017.)

2 Henkilönostimien suunnittelun teoriaa

2.1 Henkilönostimien suunnittelua ja valmistusta koskevat säädökset

Konelaki, eli Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimuksenmukaisuudesta 1016/2004 velvoittaa valmistajaa osoittamaan laitteen vaatimustenmukaisuuden markkinoille saattamisen yhteydessä. Valtioneuvoston asetuksilla annetaan tarkempia säännöksiä turvallisuus- ja terveysvaatimuksista.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY, annettu 17. päivänä toukokuuta 2006, koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta yhtenäistää Euroopassa markkinoille saatettavien koneiden turvallisuusvaatimuksia. Direktiivi koskee siinä määriteltyjen koneiden suunnittelua ja valmistusta. Konedirektiivi otettiin Suomessa käyttöön valtioneuvoston asetuksella 400/2008. Koneasetukseksi kutsuttu säädös tuli voimaan 29.12.2009 alkaen ja on voimassa edelleen vuonna 2017. Tällä päätöksellä kumottiin aiempi konepäätöksenä tunnettu valtioneuvoston päätös 1314/1994.

Valtioneuvoston asetuksen 400/2008 mukaisesti koneet tulee suunnitella ja valmistaa markkinoille saattamiseen ja käyttöönottoon saakka konedirektiivin vaatimukset täyttäväksi. Koneenrakennuksen yhdenmukaistetuissa standardeissa annetaan teknisiä toteutuksia, joiden mukaan rakennettuna kone täyttää direktiivin. Standardin katsotaan olevan yhdenmukaistettu, mikäli se on julkaistu Euroopan unionin virallisessa lehdessä yhdenmukaistetuksi standardiksi direktiiville. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, 4§,6§.)

2.2 Henkilönostimien käyttöä koskevat säädökset

Henkilönostimien käyttöä suomessa säätelevät Työturvallisuuslaki 738/2002 ja Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta 403/2008, käyttöasetus. Työturvallisuuslain perimmäinen tarkoitus on parantaa

työympäristöä ja työoloja. Asetus 403/2008 on säädetty työturvallisuuslain nojalla. Asetus koskee käytössä olevia koneita, ja siinä määritellään muun muassa työnantajan vastuut koneiden kunnossapidosta ja tarkastamisesta.

Lisäksi henkilönostimien käyttöön ja niihin tehtäviin tarkastuksiin liittyen on säädetty myös Valtioneuvoston asetuksessa 687/2015 työpaikkojen turvamerkeistä ja niiden vähimmäisvaatimuksista, sekä valtioneuvoston asetuksessa rakennustyön turvallisuudesta 205/2009. (AEL, 2016.)

2.3 Standardeista

Konedirektiiville yhdenmukaistetut standardit jaotellaan kolmeen tyyppiin A-, B-, ja C-tyypin standardeihin, sen mukaan miten yksityiskohtaista kunkin standardin sisältö on. A-tyypin standardeista löytyy suunnittelun turvallisuusnäkökohtiin peruseriaatteet. B-tyypin standardit antavat suunnittelijoille tarpeellista perustietoa, esimerkiksi suojauksiin ja turvaetäisyyksiin liittyen. C-tyypin standardit antavat yksityiskohtaisia vaatimuksia eri konetyypeille ja niissä voi olla tarkkaankin määriteltyjä teknisiä toteutuksia. (SFS – Koneturvallisuuden standardit, 2016.)

Mikäli tekniselle laitteelle on olemassa C-tyypin standardi, ovat sen asettamat vaatimukset etusijalla. C-tyypin standardeissa esitetään viittauksin mitä A- ja B-tyypin standardien asettamia vaatimuksia on myös huomioitava. Siirrettävien henkilönostimien suunnitteluun yhdenmukaistettu C-tyypin standardi on SFS-EN 280:2015 *Siirrettävät henkilönostimet. Suunnittelulaskelmat. Vakavuus. Rakenne. Turvallisuus. Tarkastukset ja testit*. Standardissa mainitaan soveltamisalaksi siirrettävät henkilönostimet, joilla siirretään henkilöitä työskentelykohteeseen, jossa työ tehdään nostimesta käsin. Näihin lukeutuu suuri osa yleisimmistä henkilönostimista. Standardia ei sovelleta nostimiin, jotka eivät sisälly siirrettäviin henkilönostimiin. Lista henkilönostoon käytettävistä laitteista joihin ei sovelleta SFS-EN 280 -standardia:

1.3 Tätä eurooppalaista standardia ei sovelleta:

- a) kiinteiden tasojen välillä liikkuviin koneisiin (ks. esim. EN 81-1 ja EN 81-2, EN 12159).
- b) palontorjunta- ja pelastuslaitteisiin (ks. esim. EN 1777).
- c) nostolaitteisiin ripustettuihin työtasoihin, jotka eivät liiku johteissa (ks. esim. EN 1808).
- d) hyllystöhissin nostettaviin ohjaamoihin (ks. EN 528).
- e) takalaitanostimiin (ks. EN 1756-1 ja EN 1756-2).
- f) maston varassa kiipeäviin työtasoihin (ks. EN 1495).
- g) huvipuistolaitteisiin.
- h) nostopöytiin (ks. EN 1570-1).
- i) lentokenttälaitteisiin (ks. esim. EN 1915-1 ja EN 1915-2).
- j) trukkien nouseviin ohjauspaikkoihin (ks. EN 1726-2). (SFS-EN 280:2015, 7.)

2.4 Henkilönostimien lujuuslaskenta

Konedirektiivin 2006/42/EY luvussa 4 on määrätty yleiset periaatteet koneiden mekaaniselle lujuudelle. Lisäksi koneille, joita käytetään henkilönostoihin, on kohdassa 6.1.1 Mekaaninen lujuus tarkennettu, etteivät kohdan 4 mukaiset käyttökertoimet ole riittäviä henkilönostimien kohdalla, vaan ne on yleensä kaksinkertaistettava. Peruspiirteissään konedirektiivi määrää suunnittelemaan, lujuuslaskemaan ja valmistamaan koneet niin, ettei niihin synny vaurioita kulumisesta tai väsymisestä johtuen, ottaen huomioon käyttöolosuhteet. Myös staattisten ja dynaamisten ylikuormatestien kuormakertoimet on huomioitava suunnittelussa. Koneen on läpäistävä ylikuormatestit ilman pysyvää vauriota tai näkyvää vikaa. Yhdenmukaistetuissa standardeissa on annettu tarkempia periaatteita suunnitteluun ja lujuuslaskentaan. Standardeissa on myös määritelty tarkempia konetyyppikohtaisia ylikuormakertoimia.

2.4.1 Lujuuslaskenta EN 280 mukaan

Standardi SFS-EN 280 antaa lujuuslaskentamenettelyyn siirrettäville henkilönostimille. Standardissa on annettu huomioon otettavat kuormitukset, osavarmuuskertoimet sekä staattinen ja dynaaminen lujuus. On valmistajan vastuulla selvittää kuormien suunnat ja paikat sekä niiden yhdistelmät jotka tuottavat kaikkein epäedullisimmat rakenteelliset kuormat (SFS-EN 280:2015, 18.) Standardissa kuormat on eritelty seuraavasti:

$m = m_p + m_e$ = henkilökuorma.

m_p = henkilön massa 80 kg.

m_e = varusteiden massa min. 40 kg.

S_n = Nostimen staattiset ja dynaamiset massat.

W = Tuulikuormat (100 N/m²).

M = manuaalinen työ 200 N / henkilö, 400 N 2 hlöä tai enemmän.

Erityiskuormat.

(SFS-EN 280:2015, 18-22.)

Standardissa on esitetty menetelmät vakavuuslaskelmien tekemiseen ja annettu esimerkkejä kuormitusyhdistelmistä ja varmuuskertoimista. Rakennelaskelmien osalta on viitattu yleisen nosturistandardin kolmanteen osaan, *SFS-EN 13001-3-12:2012 Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 3-1: Teräsrakenteiden rajatilat ja kelpoisuuden osoittaminen*. Teräsrakenteen kelpoisuus tulee osoittaa tämän standardin menetelmien mukaisesti sovellettavissa olevien rakenteiden osalta. Lujuusanalyysi tulee tehdä pahimman tilanteen tuottavan kuormitusyhdistelmän mukaan.

Nosturistandardi tarjoaa nostureiden yleissuunnittelussa yhden tavan huomioida ja välttää mekaaniseen lujuuteen liittyvät riskit. Standardi ohjaa pienentämään ja poistamaan vaaroja mekaanisen lujuuden ylittämisen, materiaalin tai komponenttien lämpötilarajojen ylittämisen ja elastisen stabiliteetin menettämisen osalta. Standardissa on määritelty teräsrakenteiden rajatilat, rakenneterästen osalta nimellisljuudet ja vastaavat suunnittelujännityksen arvot. Rajatilamenetelmässä osoitetaan, etteivät nosturiin samanaikaisesti kohdistuvien kuormitusyhdistelmien ääriarvot, eivätkä kuormavaikutusten arvioidut historiat ylitä vastaavia rajoja nosturin kriittisissä pisteissä (SFS-EN 13001-1:2015, 8-9.) Staattisen lujuuden osalta on osoitettava että:

$$\delta_{sd} \leq f_{Rd\delta} \text{ ja } \tau_{sd} \leq f_{Rd\tau}$$

Jossa:

δ_{sd} = suunnittelujännitys normaalijännityksille, von Mises – jännitykselle.

τ_{sd} = suunnittelujännitys leikkausjännityksille.

$f_{Rd\delta}, f_{Rd\tau}$ ovat vastaavat suunnittelujännitysten rajat.

(SFS-EN 13001-3-1:2012, 62.)

Suunnittelujännityksen rajat normaalijännityksille, sekä von Mises jännitykselle:

$$f_{Rd\delta} = \frac{f_y}{\gamma_{Rm}}$$

Leikkausjännityksille:

$$f_{Rd\tau} = \frac{f_y}{\gamma_{Rm}\sqrt{3}}$$

Jossa:

f_y = materiaalin myötörajan minimi.

$$\gamma_{Rm} = \gamma_m * \gamma_{sm}$$

γ_m = yleinen kestävyyskerroin = 1,1

γ_{sm} = 0,95, valssaamattomille materiaaleille,

valssaussuuntaan oleville jännityksille, sekä puristus ja leikkausjännityksille,

1,0 – 1,50 jännityksille kohtisuorassa valssaustasoon nähden,

(levyn paksuussuunta). Levyn laatuluokituksesta riippuvainen.

(SFS-EN 13001-3-1:2012, 36.)

Nostureiden yleissuunnittelussa kuormitusyhdistelmät joita laskennassa käytetään, on annettu nosturistandardin toisessa osassa SFS-EN 13001-2. Henkilönostimien laskentaa varten EN 280 antaa omat kuormat ja kuormitusyhdistelmänsä. Kuormat on jaettu satunnaisiin ja pysyviin kuormiin.

Kuormitusyhdistelmiä on kaksi. Tapauksessa A otetaan huomioon vain pysyvät kuormat, tapauksessa B myös satunnaiset kuormat, kuten manuaalinen työ ja tuulikuorma (Kuva 1.) Kuormitustapauksissa käytetään eri osavarmuuskertoimia, ja staattinen lujuus tulee laskea huomioiden molemmat kuormitustapaukset. Eri-tyismainintana on huomautettu, etteivät EN-13001-2 mukaiset kuormitusyhdistelmät ole yhteensopivia SFS-EN 280:n kanssa. (SFS-EN 280:2015, 35-36.)

Taulukko 1: EN 280 kuormitusyhdistelmät ja osavarmuuskertoimet. (SFS-EN280:2015, 36.)

Clause	Loading	Partial safety factors γ_p	
		Load combination A	Load combination B
5.2.3.1	Rated load	1.34	1.22
5.2.3.2	Dead weights	1.22	1.16
5.2.3.3	Wind loads	-	1.22
5.2.3.4	Manual force	-	1.22

Henkilökuorma asetetaan pistekuormana 0,1 metrin päähän korin sisäreunasta. Mikäli koriin menee useampi henkilö, on henkilöiden väli 0,5 metriä. Kunkin henkilön varustekuorma asetetaan 25% alalle nostokorin lattiapinta-alasta. (SFS-EN 280:2015, 35-36.)

Väsymislujuuslaskennassa otetaan yleensä huomioon vain kuormitusyhdistelmän A mukaiset kuormat, ja osavarmuuskertoimet saavat arvon 1. Dynaaminen lujuusanalyysi tulee tehdä kaikille kuormaa kantaville osille jotka ovat alttiita väsymiselle. Kelpoisuus väsymistä vastaan tulee osoittaa EN-13001-3-1:2012 mukaisella analyysillä. (SFS-EN 280:2015, 35-36.)

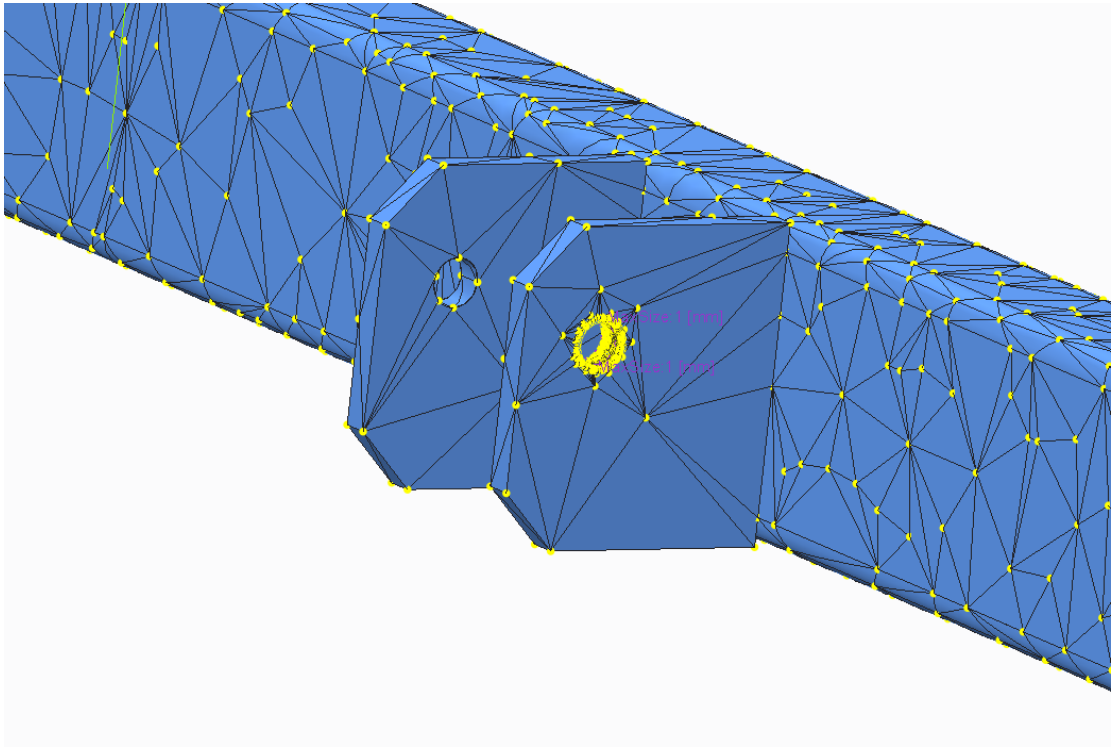
2.4.2 FEM-laskennan perusteita

Finite Element Method, lyhennettynä FEM, on menetelmä, jolla voidaan yksi-, kaksi- tai kolmiulotteisessa avaruudessa ohjelmallisesti simuloida ja ratkaista fyysikan ja lujuusopin ongelmia. Menetelmää hyödynnetään esimerkiksi kiinteän kappaleen mekaniikan, nesteiden dynamiikan ja termodynamiikan simuloinnissa.

Menetelmää käytetään nykyään yleisesti teollisuuden kaikilla aloilla autoteollisuudesta avaruusteknologiaan. FEM-laskennassa tutkittava fyysinen ilmiö tai ongelma mallinnetaan FEM-ohjelmistoon, jossa sitä analysoidaan. Ohjelmistoja on tarjolla lukuisia, kuten Ansys, Mechanical ja SolidWorks. Usein FEM-ohjelmisto on integroitu liitännäisenä CAD-suunnitteluohjelmaan, kuten Catia Simulia ja Creo Parametric -ohjelman Mechanical. (Dhatt, Lefrançois & Touzot 2012, 6-9.)

CAD-ohjelmistojen liitännäisillä tutkitaan yleensä rakenteen käyttäytymistä fyysisten kuormitusten alaisena. Esimerkiksi aerodynamiikan ja termodynamiikan sovelluksiin löytyy omat sovelluksensa, jotka ovat paremmin kohdennettuja näiden ongelmien ratkaisuun. Tyypillisiä analyysejä, joita rakenteen lujuuden tutkimiseen tarkoitettuilla FEM-ohjelmistoilla voidaan ajaa, ovat staattiset, dynaamiset ja väsymislujuusanalyysit sekä nurjahdus- ja lommahdusanalyysit

FEM-analyysissä malli, sovelluksesta riippuen yksi-kolmeulotteinen, jaetaan pienempiin osiin eli verkotetaan (kuva 1). Verkotuksen tiheys vaikuttaa laskennan tarkkuuteen. Verkotuksen paikallisella tihentämisellä voidaan siis parantaa tulosten tarkkuutta kriittisissä kohdissa ja jättää vähemmän kiinnostavat kohteet pienemmälle kuormitukselle laskennassa. Verkotus jataan kahteen osaan: Elementtiin ja solmuun. Elementit voivat olla ohjelmistosta riippuen muodoltaan esimerkiksi tetraedrin tai suorakaiteen mallisia, ja solmut ovat elementtien rajapisteitä. Laskentaohjelmat tekevät yleensä elementtiverkon (kuva 1) automaattisesti, mutta sen rakenteeseen voidaan vaikuttaa määräämällä esimerkiksi elementtien muoto tai suurin sallittu elementin koko mallissa, pinnalla tai tilavuudessa. Laskentaohjelmisto tutkii kappaleen solmupisteiden käyttäytymistä ja rakentaa sarjan algebrallisia kaavoja niiden välille (Cook, 1994 1.) Solmupisteiden välisien etäisyyden muutosten avulla ohjelma pystyy laskemaan kappaleen muodonmuutokset, joista voidaan johtaa tyypillisesti halutut tulokset, kuten jännitys tai venymä. (Gulley, 2014.)



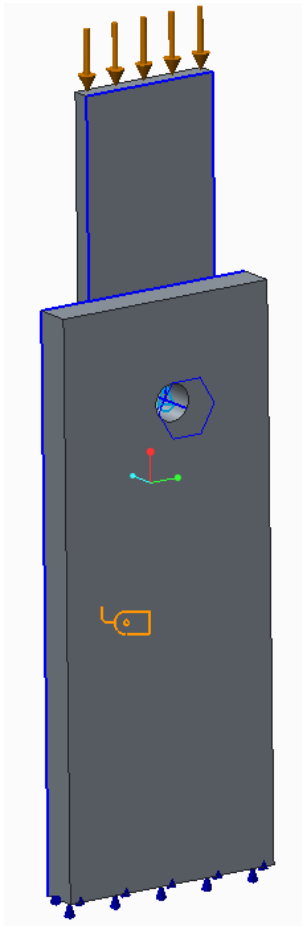
Kuva 1: Verkotus

Lujuuslaskentaan FEM-ohjelmistolla tarvitaan ohjelmasta riippumatta tietyt lähtötiedot. Tarkasteltavana oleva kappale voi olla kiinteä 3d-malli, mutta se voi olla myös viivoista koostuva palkkimalli tai pintamalli. Mallille asetetaan materiaalitiedot. Jotta ohjelma pystyy laskemaan, kuinka materiaali käyttäytyy, tulee materiaalitietojen sisältää esimerkiksi metalleilla vähintään kimmomoduuli ja Poissonin vakio. Yleensä materiaalista on hyvä antaa kaikki mahdolliset vakiot, kuten tiheys ja myötölujuus.

Materiaalitiedon lisäksi FEM-analyysi vaatii rajoitukset kappaleen liikkeelle. Tämä tehdään asettamalla tukia malliin. Tuennoilla voidaan rajoittaa tutkittavan mallin liikkeitä. Tuennat voidaan kohdistaa yleensä pintaan, särmään tai pisteeseen. Tuennoilla määrätään mallin vapauden asteet, aivan kuten perinteisen statiikan tukireaktioilla. Lisäksi jos kyseessä on useammasta osasta koostuva malli, jossa osat liittyvät toisiinsa esimerkiksi hitsi- tai pulttiliitoksella, tulee malliin asettaa kontaktit. Kontaktien mallintamiseen voidaan käyttää esimerkiksi palkkielementtejä, tai kontakti pintojen välillä voidaan määrittää niin, että pintojen liike sallitaan toi-

siinsa nähden, mutta tunkeutumista ei sallita. Monesti kontaktipintojen tarkka tutkiminen ei ole tarkoituksenmukaista, ja kontaktit asetetaan malliin vain siirtämään kuormitukset rakenteessa eteenpäin. (Cook, 1994 118-119.)

Simulaatiomalliin asetetaan myös kuormitukset. Kuormitus voi olla voima tai momentti pisteessä, tai vaikka pintapaine. Toinen vaihtoehto on koko malliin kohdistuva kuorma, kuten gravitaatio- tai muun kiihtyvyyden aiheuttama kuorma tai lämpökuorma. Ohjelmiston käyttäjän tulee määrittellä kuormituksen tyyppi, suuruus, suunta ja vaikutuspiste tai -alue. Ohjelmistot kykenevät muuntamaan asetetun kuorman niin että se välittyy eteenpäin materiaalin verkotuksessa solmusta toiseen. (Cook, 1994 26-27.) Kuvassa 2 on esimerkki simulaatiomallista johon on asetettu kuormitukset, kontaktit ja tuennat.



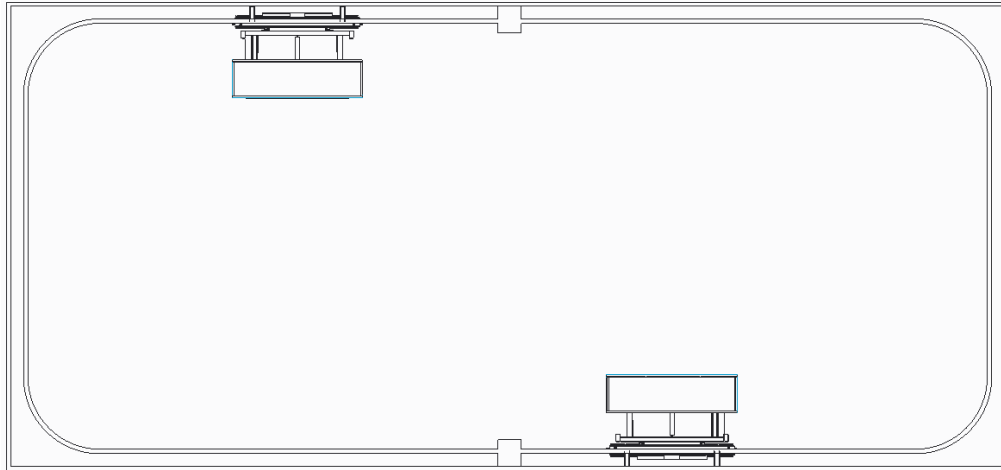
Kuva 2: Malliin asetettu kuormitukset, kontaktit ja tuennat

3 Nykytilanne ja tehtävän määrittäminen

Yrityksessä haluttiin tehdä muutoksia maalaamossa käytössä oleviin henkilönostimiin. Nostimet asennettiin ja käyttöön otettiin vuonna 1999 ja niiden käyttö on jäänyt todella vähäiseksi. Syynä tähän on ollut lähinnä lyhyt ulottuma. Alkuperäisenä nostimen yksi jatke jatkaa ulottumaa vain noin 60 cm. Kaikkia töitä, joiden käyttö vaatisi henkilönostinta ei pystytä tekemään nostimen korista käsin. Alkuperäinen tehtävänanto oli, että nostimen ulottuma tulee vähintään kaksinkertaistaa. Nostimeen tulee suunnitella mekanismi, jolla se saadaan ulottumaan pidemmälle. Nostin ei kuitenkaan saa lyhennettynä viedä enempää tilaa kuin nykytilanteessakaan.

3.1 Työympäristö

Nostimen käyttöympäristö on maalaamo, jossa maalataan märkämaalauksella materiaalinkäsittelykoneiden osia. Nostimia maalaamossa on kaksi kappaletta. Nostimet kulkevat maalaamossa radalla huoneen reunassa. Maalaamo on jaetavissa kahteen osaan väliovella, ja nostinten radat kattavat maalaamon eri puoliskot. Kulku maalaamoon on nosto-ovista molemmista päistä. Nostimet, niiden radat ja käyttö ovat samanlaisia, joten muutostöiden suunnitteluvaiheessa nostimia ei tarvitse eritellä mitenkään. Opinnäytetyössä käsitellään tästä eteenpäin vain nostinta yksikössä, ellei ole tarve erikseen eritellä puolen ja toisen nostimia. Kuvassa 3 nähdään nostinten paikka ja liikerata maalaamossa. Yhdellä nostimella on pääsy maalaamon päätyyn ja molemmille sivuille puoleenväliin saakka.



Kuva 3: Maalamon layout

3.2 Nostimen lähtötiedot ja kuvaus

Maalaamossa käytetty nostin (kuva 4) on toimintansa lopettaneen Saico S.p.A – valmistajan tekemä. Laitteen lähtötietoperustana on olemassa tyyppikilpi sekä englannin- ja italiantieliset ohjekirjat. Laitteen tyyppikilvestä on luettavissa valmistusvuosi 1999, suurin sallittu kuorma 150 kg sekä CE-merkintä. Käyttöönottovuoden perusteella kyseessä on Konedirektiivin 98/37/EY mukainen CE-hyväksytty ja tyyppitarkastettu henkilönostin (AEL 2016, 12.)

Nostin on kiinnitetty radalle huoneen laidalla. Lattiassa kiskona on pyörötanko, halkaisijaltaan 30mm. Nostin liikkuu pyörien varassa kiskolla. Yläpäässä on kulmakisko, joka on kiinnitetty seinään kannakkeilla. Nostin tukeutuu seinäkiskoon laakereilla. Nostimen käyttövoimana toimii hydraulikka, jonka tuotto saadaan erillisestä koneikosta. Koneikon paine on rajoitettu ohjekirjan mukaiseen 55 barin, eli 5,5 MPa:n paineeseen. Nostinta voidaan ohjata lattiatasolta suoraan hydraulikkaventtiilin vivuista tai henkilökörin hallintalaitteista, jotka ohjaavat pneumaattisesti hydraulikan suuntaventtiiliä. Nostinta voidaan ajaa radalla puolikkaan huoneen ympäri. Ajoliikettä varten toiseen nostimen kahdesta kiskopyörästä on asennettu hydraulinen moottori. Nosto/laskuliike on toteutettu hydraulisyylinterillä ja ketjuilla. Korin ylettimen liike on toteutettu hydraulisyylinterillä joka työntää koria ulospäin. Kori liikkuu kahden c-profiilin muodostaman kiskon varassa kohti huoneen keskustaa enintään sylinterin iskun verran, 565mm.



Kuva 4: Nostin käyttöympäristössään.

3.3 Toimeksianto

Opinnäytetyön toimeksianto lähti Mantsisen maalaamon tarpeesta henkilönostimille, joilla voitaisiin turvallisesti maalata isommatkin kappaleet. Nykyiset käytössä olevat nostimet ovat muuten periaatteeltaan ja tekniikaltaan riittävät, mutta niiden ulottuma ei ole tarpeeksi iso, että ne olisivat käyttökelpoisia. Käytössä olevien nostinten muuttamisesta oli tehty jo periaatepäätös. Toimeksiantona oli määrittää ja suunnitella tarvittavat muutokset, sekä selvittää mitä muita toimenpiteitä muutostyö vaatii. Työtä rajattiin myöhemmin sisältämään mekaniikan suunnittelu, staattinen lujuuslaskenta ja selvitys tarvittavista toimenpiteistä. Dynaaminen lujuuslaskenta ja valmistuspiirustusten teko sekä muutostöiden käytännön toteutus rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle.

4 Suunnittelutyö

4.1 Vaatimusten määrittäminen ja taustatutkimus

Muutostöiden suunnittelu aloitettiin selvittämällä lähtötiedot. Selvitettiin mitä nostimista tiedettiin, mitä rajoja laki asettaa henkilönostimiin tehtäville muutoksille sekä millainen on fyysinen muutostarve. Selvitettiin myös millaisia rajoituksia nostimeen tehtävissä muutoksissa olisi, eli mitä haluttiin pitää alkuperäisenä.

4.1.1 Lakien asettamat vaatimukset

Lähtötietona henkilönostimen muuttamiseen liittyen oli jo aiemmin pyydetty työsuojeluviranomaiselta kommentti käytössä olevan henkilönostimen muuttamisesta (Tuunainen 2010). Tuunainen kertoo sähköpostivastauksessaan, etteivät käytössä olevat laitteet ole konedirektiivin vaikutuksen alaisia, vaan niihin sovelletaan käyttöä koskevia säädöksiä, eikä muutostöiden tekijä ole ilmoitusvelvollinen tyyppihyväksynnän tehneelle laitokselle tai valmistajalle. Kommentin perusteella tutkittiin mitä työturvallisuuslailla ja koneasetuksella sekä konelaililla säädetään asiaan liittyen.

Koneasetuksessa 400/2008 1 §:ssä kerrotaan asetuksen koskevan koneiden suunnittelua ja rakentamista ja vaatimuksenmukaisuuden osoittamista markkinoille saattamiseen ja käyttöönottoon asti. Asetus ei suoraan koske jo käytössä olevia koneita. Sen sijaan konelaisissa 1016/2004, Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimuksenmukaisuudesta 10 § säättää tekniseen laitteiden tehtävistä muutoksista seuraavaa:

Jos tekniseen laitteeseen tehdään käyttötarkoituksen vastaisia tai muita olennaisia turvallisuuteen vaikuttavia muutoksia, sitä käsitellään uutena laitteena ja siihen sovelletaan, mitä 4 ja 5 §:ssä säädetään. (Konelaki 1016/2004, 10§.)

Konelain 4 ja 5 § koskevat Valmistajan yleistä huolehtimisvelvollisuutta ja vaatimuksenmukaisuuden osoittamista. Käyttöasetus 403/2008 velvoittaa työnantajan huolehtimaan työvälineiden turvallisesta käytöstä. 25 f § velvoittaa työnantajan tarkastamaan nostolaitteen turvallisuuteen vaikuttavan muutostyön jälkeen. 33 § määrää käyttöönottotarkastuksen tehtäväksi turvallisuuden kannalta merkittävän muutostyön jälkeen. Tällaiseksi katsotaan esimerkiksi kantavien rakenteiden hitsauskorjaus (AEL 2016, 16.)

Kun kyseessä on uuden koneen valmistus, tulee markkinoille saattaminen ja vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen tehdä koneasetuksen mukaisesti. Vanhojen koneiden käytöstä ja muuttamisesta on vastuussa työnantaja käyttöasetuksen mukaisesti, kunhan käytössä olevaa konetta ei muuteta niin radikaalisti, että voidaan katsoa kyseessä oleva uuden koneen valmistaminen. Maalaamon nostimen muutostyössä on tarkoituksena käyttää nostinta edelleen alkuperäiseen tarkoitukseensa, alkuperäisellä asennuspaikalla. Ulottuvuuden jatkaminen voidaan katsoa koneen toimintakyvyn ja tuottavuuden parantamiseksi, toisin sanoen modernisoinniksi.

Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys METSTA ry:n julkaisussa *Turvallisuusvastuut koneiden modernisoinnissa* selvennetään, ettei koneelle muutostöiden jälkeen kuulu tehdä uutta vaatimustenmukaisuuden osoitusta tai riskien arviointia, vaan tarvittaessa annetaan turvallisuusselvitys turvallisuuden toteutuksesta ja riskien arviointia täydennetään siltä osin, mitä muutostyöt koskevat. (Sundquist 2010, 3-4).

Vaikka vaatimuksenmukaisuuden osoitusta ei muutostyön yhteydessä täydykään uusua, tulee muutostyöt toteuttaa turvallisesti, sekä tehdä niistä riittävä dokumentointi. Työnantaja on vastuussa muutostyön turvallisuudesta. Ulottuvuuden jatkamisella on vaikutusta myös nostimen alkuperäiseen runkoon kohdistuviin kuormituksiin ja siksi on tarpeen uusien osien lisäksi tarkastella vanhan rungon lujuus ja mitoittaa siihen tarvittavat muutokset. Standardit ovat hyvä apu myös muutostöiden suunnittelussa ja niistä saa hyvät tiedot ajankohtaisista turvallisuusvaatimuksista (Sundquist 2010, 2). Uudet henkilönostimet suunnitellaan konedirektiivin täyttäväksi esimerkiksi yhdenmukaistetun standardin SFS-EN 280:2015 mukaan.

Muutostöiden suunnittelussa voidaan soveltaa tätä standardia niiltä osin, mitä muutostyöt koskevat. Kun muutokset suunnitellaan henkilönostimia varten yhdenmukaistetun C-tyyppin standardin mukaisesti, voidaan todentaa, että nostimella säilyy riittävä turvallisuustaso.

4.1.2 Käytännön vaatimukset

Käytännön vaatimuksia asettivat olemassa oleva nostin ja koneikko, sekä itse maalaamo ja siinä maalattavat kappaleet. Työkappaleiden koko voi suurimmillaan olla juuri niin leveä, kuin tilaan mahtuu. Nykyisellään, nostin lyhennettynä ylettyy juuri oven sisäreunan tasalle, eikä tilaa haluta pienentää. Maalaamon henkilökunnan kanssa keskusteltiin erilaisten kappaleiden maalauksesta, ja päätettiin, että nostimen tulee jatkua noin kolme kertaa nykyisen verran, jotta muutostyötä yleensä kannattaa ruveta tekemään. Suunnittelutyön pohjaksi otettiin tarvittavaksi yletinliikkeen kokonaispituudeksi $3 \times 565 = 1695 \text{ mm}$. Lyhennettynä nostimen pituus seinästä mitattuna tulisi olla noin 1225 mm tai vähemmän, jatkettuna korin etureunan etäisyys tulisi olemaan noin 3 metriä.

Muutostyössä tarkoituksena oli muutenkin pitää laite mahdollisimman alkuperäisenä. Ylettyvyyden lisäämisen lisäksi tehtäisiin vain turvallisuuden kannalta tarpeelliset muutokset. Tutkittiin, mitkä osat voidaan säilyttää alkuperäisenä, ja mitkä ainakin tulisivat muuttumaan. Tavoitteeksi muutostyön suunnittelussa otettiin, että nostimen rataa ei tarvitsisi tehdä muutoksia. Myös alkuperäinen hydrauliliikka sylintereineen, nostokori ja perusrunko pyritään hyödyntämään kokonaisuudessaan. Jatkemekanismi suunnitellaan alkuperäisen nostinrungon ja nostokorin välille. Muuhun runkorakenteeseen tehdään lujouden ja turvallisuuden kannalta tarpeelliset muutokset.

4.2 Mekaniikan suunnittelu

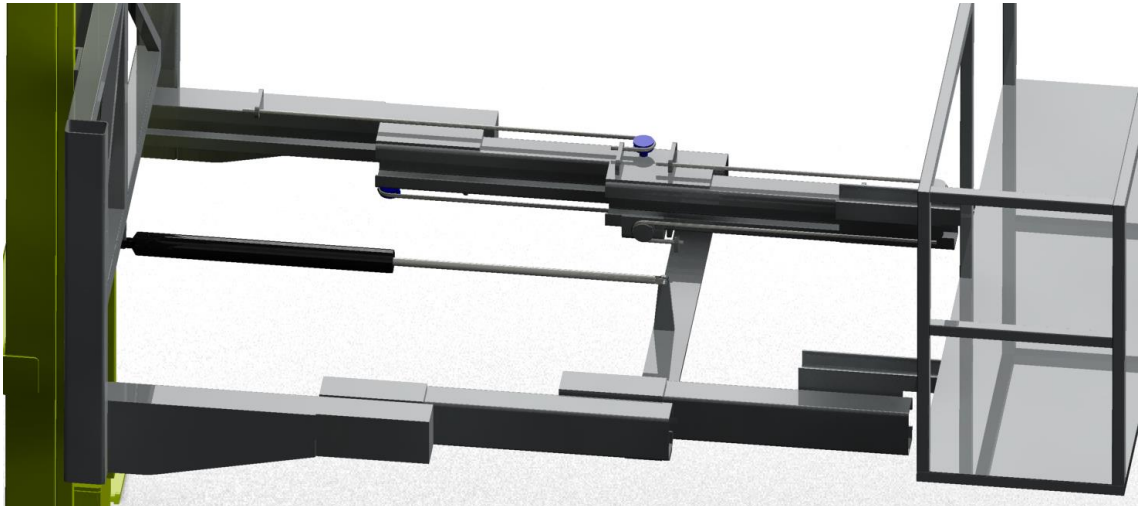
Nostimen päivitykselle asetettujen vaatimusten ollessa selvillä aloitettiin varsinainen mekaniikan suunnittelu. Tehtävän asettelun ja vaatimusten pohjalta luonnos-

teltiin muutamia versioita ylettimen mekaniikasta. Olemassa oleva nostin mallinnettiin Creo Parametric -CAD-ohjelmalla toiminnallisilta osiltaan mahdollisimman tarkasti (kuva 5). Toinen maalaamon nostimista purettiin osiin tarkempia tutkimuksia varten. Puretusta nostimesta mitattiin materiaalivahvuudet ja punnittiin nostokori. 3D-mallia tarkennettiin suunnittelutyön edetessä.



Kuva 5: Alkuperäinen nostin mallinnettuna

Yksi luonnosteluvaiheen ideoista oli jatkaa yletintä saman tyyppisillä c-profiileilla kuin alkuperäisessä perusrungossa (kuva 6). Version hylkäämiseen johti c-profiilien riittävien kokojen huono saatavuus, sekä kokemus nostimen käytöstä. Jo yhden c-profiilin jatke tahmautuu ajan kanssa maalista, eikä toimi jouheasti. Todettiin että ongelma tulisi kertautumaan saman tyyppistä ratkaisua käytettäessä.



Kuva 6: Luonnosversio C-profiilijatkeista.

Nostimelle sallittu pituus lyhennettynä käytännössä määräsi yhden jatkeen maksimipituuden. Aiemmin lyötiin lukkoon teholliselta pituudeltaan 3 x 565 mm jatkeet. 3D-mallissa mallinnettiin jatkeet mahdollisimman pitkiksi niin, etteivät ne törmänneet perusrunkoon, eivätkä tulleet liian ulos. Näin saatiin limitystä jatkeiden välille nostimen ollessa jatkettuna teholliseen 1695 mm pituuteensa.

Ylettimen käyttäväksi voimaksi tarkasteltiin muutamaa vaihtoehtoa. Mahdollisuuksina oli lisätä toinen sylinteri, vaihtaa nykyinen sylinteri teleskooppisylinteriin, tai toteuttaa jatkeet olemassa olevalla sylinterillä. Päätettiin edetä suunnittelussa siltä pohjalta, että jatkeet toimisivat yhdellä alkuperäisellä sylinterillä. Tarkoituksena oli välittää ensimmäisen jatkeen liike seuraaville vaijereilla tai ketjuilla.

Suunnittelua jatkettiin luonnostelemalla jatkeita sisäkkäisistä suorakaideputkista, jotka liikkuvat liukupalojen varassa liukupuominosturin tapaan. Standardikokoisten suorakaideputkien valikoimasta valittiin putket, joiden väliin jää tilaa liukupaloille ja niiden kiinnitykselle. Myös ketjuvälityksille varattiin tilaa putkien väliin. Rakenneputkien kokoja ja seinämävahvuutta tarkasteltiin myöhemmin lujuuslaskentavaiheessa. Ketjuvälitykselle todettiin löytyvän paremmin osia kuin vaijerivälitystä varten, ja levykimppekettu on tämänkaltaisissa sovelluksissa yleisesti käytössä. Riittävä ketju mitoitettiin sylinterin voiman perusteella, kun koneikon paineeksi tiedettiin 5,5 MPa ja sylinterin männän halkaisijaksi n. 45 mm:

Sylinterin tuottama voima F enimmillään:

$$F = p * A = 5,5 \frac{N}{mm^2} * \frac{\pi * 45 mm^2}{4}$$

$$= 8750 N$$

Jossa:

$F = voima.$

$p = paine.$

$A = sylinterin männän pinta - ala.$

Voima jakaantuu kahden puolen ketjulle, jossa se jakaantuu edelleen kahdelle ketjulle. Mitoitettiin ketju $\frac{1}{2}$ -osalle sylinterin voimasta 4375 N. Levykimppuketjun mitoitus Wippermannin mukaan:

$$F_B = F * f_1 * S = 4375 N * 1,3 * 7$$

$$= 39812,5 N$$

Jossa:

$F_B = murtokuorma.$

$F = ketjuun kohdistuva voima.$

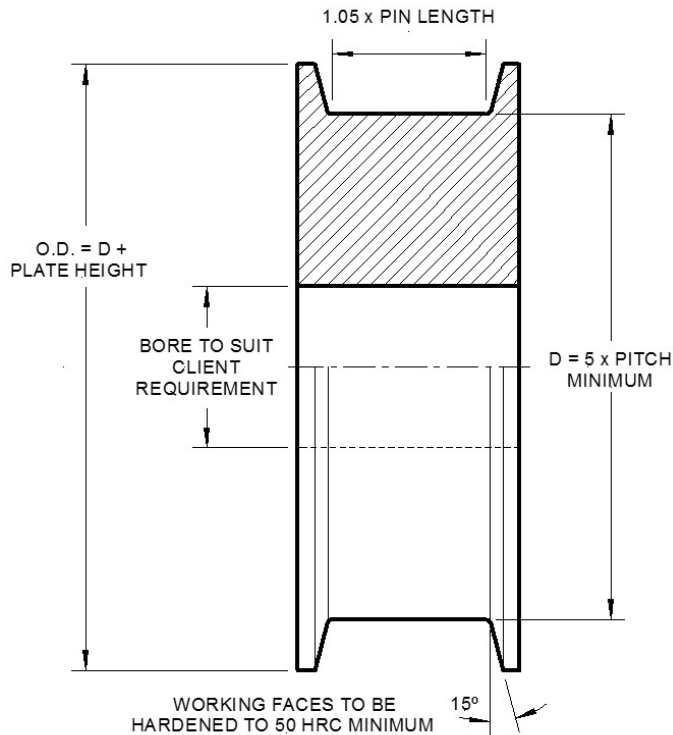
$f_1 = käyttökerroin: epätasainen kuormitus = 1,3.$

$S = murtovarmuuskerroin: 5 m/ min asti, alle 100 x päivässä = 7.$

(SKS, 2017.)

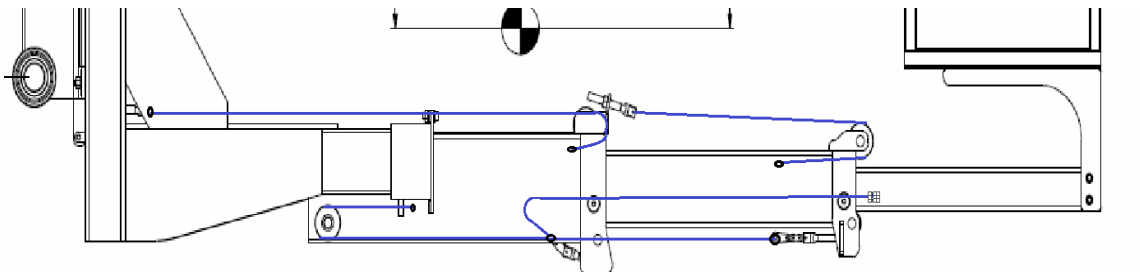
Ketjuksi valittiin ISO 4347- standardin mukainen levykimppuketju LL10-44, jonka rakenne on 4x4 levyä ja standardin mukainen murtokuorma 44,5 kN, joskin valmistajat lupaavat ketjulle suurempia murtokuormia (SKS, 2017.)

Ketjun reititykset suunniteltiin alustavasti, kiinnityksiin ja kiristykseen suunniteltiin käytettäväksi päätepultteja. Taittopyörien mitoitus tehtiin ISO 4347 vaatimusten mukaisesti (kuva 7), mutta halkaisija pienennettiin mittaan 3 x ketjun jako. Standardi antaa jakohalkaisijaksi minimissään viisi kertaa jako, mutta halkaisijan pienentäminen on eurooppalaisten säännösten mukaan sallittu (Konaflex Oy, 2017.) Taittopyörien tilantarpeen minimoinniksi halkaisijan pienentäminen oli välttämätöntä.



Kuva 7: Taittopyörän mitoitus. (FB Chain, 2017)

Ketjувälitys suunniteltiin niin, että sylinteri liikutti suoraan ensimmäistä jatketta, jolta liike välittyi seuraavalle jatkeelle, ja tältä edelleen kolmannelle. Malliin lisättiin kiinnitykset päätepulteille ja taittopyörille. Kuvassa 8 on nähtävissä luonnospirros ketjun reitityksestä.



Kuva 8: Ketjun reitin suunnittelu.

Putkijatkeiden 3D-mallista saatiin jatkeiden painot ja painopisteet. Huomioiden myös henkilöiden ja varusteiden massa sekä nostokorin paino, laskettiin alustavia tukireaktioita jatkeiden tukipisteille. Laskettiin tukireaktiot viimeisellä jatkeella

tilanteessa, jossa miehen massa on 100 mm päässä korin uloimmasta sisänurkasta ja varusteiden paino tulee kokonaan toisen puolen jatkeen varaan (kuva 9). Korin massa jakautuu tasan jatkeiden välillä. Momenttiehdon mukaisesti saadaan laskettua henkilön aiheuttama kuormitus jatkeelle sekä tukireaktiot jatkeen päässä:

$$-T = M_p = \frac{M_{p1} * 1258 \text{ mm}}{1065 \text{ mm}} = \frac{80 \text{ kg} * 1258 \text{ mm}}{1065 \text{ mm}} = 95 \text{ kg}$$

$$M_A = 0$$

$$M_p * 650 \text{ mm} + M_e * 530 \text{ mm} + PP * 467 \text{ mm} - T1 * 167 \text{ mm} = 0$$

$$95 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 650 \text{ mm} + 40 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 530 \text{ mm} - \frac{108}{2} \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 467 \text{ mm} - T1 * 167 \text{ mm} = 0$$

$$T1 = 6354 \text{ N}$$

$$T2 = 3970 \text{ N}$$

Jossa:

M_A = Momentti pisteen A ympäri.

M_{p1} = henkilön massa.

M_p = henkilön massa yhdelle jatkeelle = 95kg.

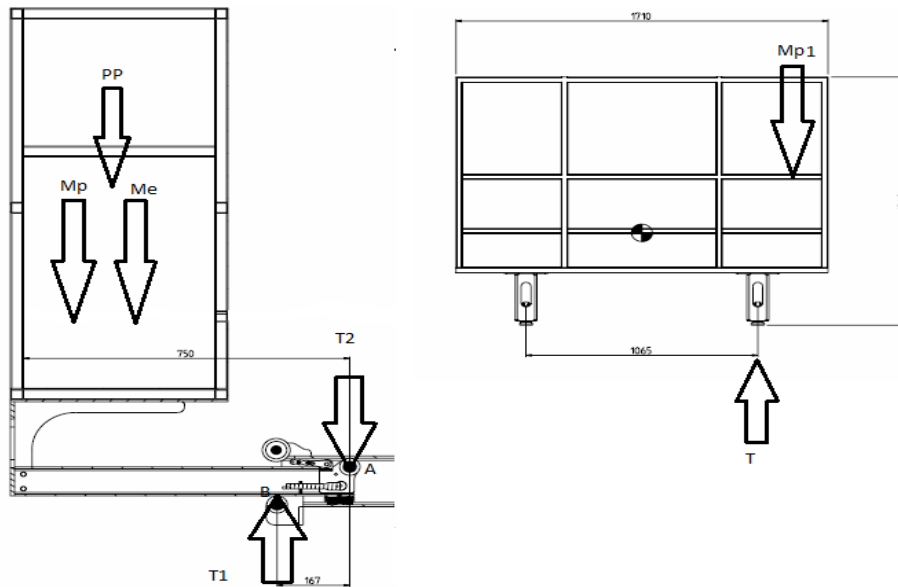
M_e = varusteiden massa.

PP = korin ja 1. jatkeen massa painopisteessä.

T = koko jatkeen tukireaktio.

$T1$ = uloimman liukupalan tukireaktio.

$T2$ = sisemmän liukupalan tukireaktio.



Kuva 9: Tukireaktiot uloimmalla jatkeella.

Tarkasteltiin kitkavoiman voittamiseen tarvittavaa voimaa, jotta saatiin suuntaa voimantarpeesta jatkeiden liikuttamiseen. Kitkakerroin koneenrakennuksessa käytettävillä liukupalamateriaaleilla vaihtelee 0,15-0,25 välillä (Etra, 2010.) Lasketuilla tukivoiman arvoilla saadaan pelkästään uloimman jatkeen kovemman kuormituksen puolelle:

$$F\mu = N * \mu$$

$$N = T1 + T2 = 6354 N + 3970 N = 10324 N$$

$$F\mu = 10324 * 0,2 = 2064,8N$$

Jossa:

$F\mu =$ kitkavoima.

$\mu = 0,2$, POM C.

$N =$ tukivoima.

$T1 =$ uloimman liukupalan tukireaktio.

$T2 =$ sisemmän liukupalan tukireaktio.

Todettiin, että kitkavoimat yletinliikkeellä kasvavat merkittäväksi, kun huomioidaan kaikkien jatkeiden yhtäaikainen liike. Huomioitavaa on myös, että ketjuvälitys puolittaa sylinterin voiman jokaisessa välityksessä. Ketjujen tilantarve tulisi kasvamaan, koska sylinteriltä vaadittava voima kasvaisi, ja sitä myötä ketjulta

vaadittava lujuus. Päätettiin tutkia mahdollisuutta käyttää laakereita tai rullia liukupalojen sijasta, jolloin päästäisiin eroon lepo- ja liukukitkan voittamiseen tarvittavasta voimantarpeesta.

Tukivoimien perusteella mitoitettiin tarvittavat laakerit. Nostimen pienen käyttöasteen ja laakereiden pienen pyörimisnopeuden vuoksi mitoitavana tekijänä pidettiin staattista lujuutta, kun lisäksi huomioitiin, että laakereihin kohdistuva kuormitus pienenee jyrkästi maksimistaan, kun nostinta lyhennetään. Laakerit lisättiin 3D-malliin ja niille suunniteltiin kiinnitykset putkien suulle ja sisäpäähän.

Putkien sivusuuntiin suunniteltiin liukupalakiinnitykset. Putkien sisäpäiden alapuoliset kontaktipinnat päätettiin myös hoitaa liukupaloilla. Alapinnoille sisäpäässä kohdistuu kuormaa ainoastaan nostimen ollessa lyhennettynä, jolloin näiden pintojen välinen kitka ei tule merkittäväksi. Liukupala on kuitenkin tarpeellinen metallipintojen välisen hankauksen ja välysten poistamiseksi.

Jatkerakenteen muuttuessa myös korin kiinnitys jatkeisiin tuli suunnitella uudelleen. Korin kiinnitys suunniteltiin niin, että korilla on esteetön liike suhteessa jatkeisiin ja ketjupyöriin. Lopuksi mallinnettiin vahvikkeet nostokorin perusrunkoon sekä c-profiilien suulle, sekä välituet jatkeiden välille estämään jatkeiden pyörittäminen kuorman alla. Samoja tukia käytetään myös sylinterin varren puolen kiinnitystä varten.

4.3 Lujuustarkastelu

Nostimelle tehtiin staattinen lujuustarkastelu. Lujuustarkastelu tehtiin Creo Parametric 2.0 -ohjelmiston FEM-lisäosalla. Nostin jaettiin pienempiin kokonaisuuksiin, joihin asetettiin kuormitukset SFS-EN 280 mukaisesti. Tarkasteltavat kokoonpanot olivat nostokorin runko ylettimineen ilman koria, nostimen perusrunko ja seinäkisko. Henkilökorin lujuustarkastelu ei ollut tarpeen, koska nostimelle aiemmin sallittu kuorma oli 150 kg, joka nyt pienennettiin EN 280 sallimaan pienimpään kuormaan 120 kg. Tarkastelun tarkoituksena oli osoittaa, etteivät rakenteen nimelliset jännitykset ylitä SFS-EN 13001-3-1 mukaisia suunnittelujännityksiä. Lasketut suunnittelujännityksen arvot $f_{Rd\delta}$:

Valssaussuuntaan:

S420MH:

$$f_{Rd\delta} = \frac{f_y}{\gamma_m * \gamma_{sm}} = \frac{420}{1,1 * 0,95} = 400 \text{ MPa}$$

S355:

$$f_{Rd\delta} = \frac{f_y}{\gamma_m * \gamma_{sm}} = \frac{355}{1,1 * 0,95} = 339,7 \text{ MPa}$$

S235:

$$f_{Rd\delta} = \frac{f_y}{\gamma_m * \gamma_{sm}} = \frac{235}{1,1 * 0,95} = 224,8 \text{ MPa}$$

Valssaussuuntaa vasten:

S420MH:

$$f_{Rd\delta} = \frac{f_y}{\gamma_m * \gamma_{sm}} = \frac{420}{1,1 * 1,0} = 381,8 \text{ MPa}$$

S355:

$$f_{Rd\delta} = \frac{f_y}{\gamma_m * \gamma_{sm}} = \frac{355}{1,1 * 1,0} = 322,7 \text{ MPa}$$

S235:

$$f_{Rd\delta} = \frac{f_y}{\gamma_m * \gamma_{sm}} = \frac{235}{1,1 * 1,0} = 213,6 \text{ MPa}$$

Joissa:

f_y = materiaalin myötörajan minimi.

$\gamma_{Rm} = \gamma_m * \gamma_{sm}$.

γ_m = yleinen kestävyyskerroin = 1,1.

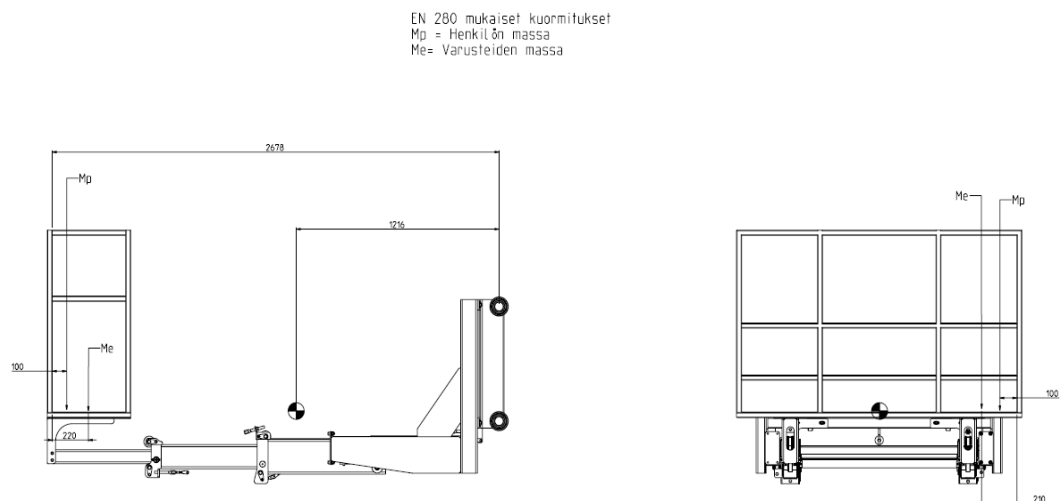
$\gamma_{sm} = 0,95$ valssaussuuntaan oleville jännityksille,

1,0 jännityksille valssaussuuntaa vastaan alle 15mm levynvahvuuksilla.

(SFS-EN 13001-3-1:2012, 36.)

Kuormitukset

Henkilöiden ja varusteiden massa kerrottiin standardin EN 280 taulukon 3 kuormitustapaus A:n mukaisella 1,34 osavarmuuskertoimella. Henkilön kuorma asetettiin korin kauimpaan nurkkaan 100 mm päähän sisänurkasta. Tämä tuottaa suurimmat kuormitukset muuhun nostimen rakenteeseen lukuun ottamatta korin kiinnitysosia. Korin kiinnitys tarkasteltiin myös niin, että henkilön kuorma on korin päinvastaisessa laidassa. Rakenteellisten massojen osavarmuuskerroin 1,22 huomioitiin asettamalla malliin 1,22-kertainen gravitaatiokiihtyvyyys. Nostokorin punnittu massa huomioitiin 1,22 -kertaisena pistekuormana korin painopisteen kohdalla. Tuulikuormia ei tarvitse huomioida, koska nostimen käyttö on vain sisätiloissa. Nostimeen ei kohdistu käytössä myöskään mitään erityiskuormia joita tulisi ottaa huomioon. Standardin mukainen kuormitustapaus B tuotti siis selkeästi pienemmät kuormitukset, ja sitä ei tarkasteltu erikseen. Perusrungon ja yläkiskon tarkastelussa laskettiin nostokorin rungon aiheuttamat tukireaktiot, jotka siirrettiin kuormituksiksi näihin osiin. Kuvassa 10 on esitetty henkilökuorman sijainti nostokorissa sekä kokoonpanon painopiste.



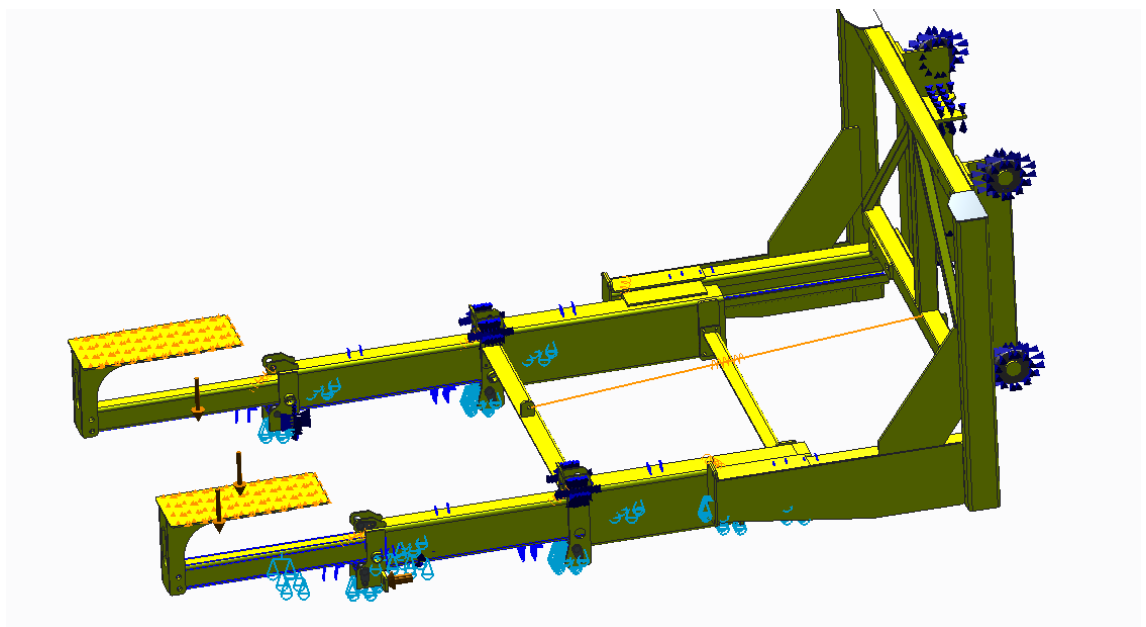
Kuva 10: EN 280 mukaiset kuormitusten paikat.

Materiaalitiedot

Materiaalitiedoiksi asetettiin S355 rakenneteräksen arvot, joskin rakenteen vanhojen osien osalta oli oletettava materiaaliksi heikoin rakenneteräs S235, koska materiaalin lujuusluokituksesta ei ollut varmaa tietoa. Uusissa rakenneosissa materiaalina käytettiin S355K2+N -terästä, rakenneputkien osalta myös S420MH luokituksen täyttävää S355/S420MH Double grade -terästä.

Tuennat ja kontaktit

Laakereiden, niiden kontaktipintojen sekä ketjujen ja niiden kiinnityspisteiden lujuus tarkasteltiin erikseen, ja ne poistettiin FEM-mallista kepeämmän laskennan saavuttamiseksi. Riisuttu FEM-malli on esitetty kuvassa 11. Laakereiden tilalle lisättiin kiinteät osat, joille lisättiin kitkattomat kontaktit rakenneputkien ja akseleiden välille, jotta kuormitukset saatiin siirtymään osasta toiseen luonnollisesti. Tuennat nostokorin rungossa asetettiin niin, että nostosylinterin ketjujen korvallinen kantaa pystysuuntaiset kuormat ja laakeroinnit ottavat vastaan kuormien aiheuttaman momentin.



Kuva 11: Nostokorin runko ja jatkeet, kuormitukset, kontaktit ja tuennat asetettuna.

Analyysit

Kokoonpanoille ajettiin staattiset analyysit, välijatkkeen tuentojen osalta ajettiin myös nurjahdusanalyysi. Alustavien analyysien perusteella lisättiin vanhaan rakenteeseen tarvittavat vahvikkeet. Jatkeiden osalta materiaalivahvuutta kasvatettiin, jonka jälkeen ajettiin uudet analyysit. Analyysien tuloksista tulkittiin rakenteessa syntyviä elastisia muodonmuutoksia ja von Mises vertailujännitystä, joita verrattiin vastaavien materiaalien suunnittelujännityksen $f_{Rd\delta}$ arvoihin.

Tarkasteltiin myös alkuperäisten nostoliikkeellä olevien ketjujen lujuus. Nostokorikokoonpanon paino kasvaa muutoksen myötä, joten on tarpeen tarkastaa ketjujen kestävyys. Levykimppuketjujen mitoituslaskenta sisältää omat varmuuskerroimensa, joten ne lasketaan nimelliskuormalla. Nostoketjuja on 2 kpl 3x4 rakenteella olevia LH10-34 ketjuja. Näiden ISO 4347 mukainen murtokuorma on 48,9 kN /kpl.

Nostoketjuille tuleva kuorma on nostokorin rungon, korin, henkilön ja varusteiden massa:

$$(375 \text{ kg} + 80 \text{ kg} + 40 \text{ kg}) * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4860 \text{ N}$$

$$\frac{4856 \text{ N}}{2 \text{ ketjua}} = 2340 \frac{\text{N}}{\text{ketju}}$$

Lasketaan yhdeltä nostoketjulta vaadittava murtokuorma samalla kaavalla, kun tehtiin ylettimen ketjujen mitoitus:

$$F_B = F \times f_1 \times S = 2340 \text{ N} \times 1,5 \times 7$$

$$= 24570 \text{ N}$$

$$< 48900 \text{ N} \rightarrow \text{Ok}$$

Jossa:

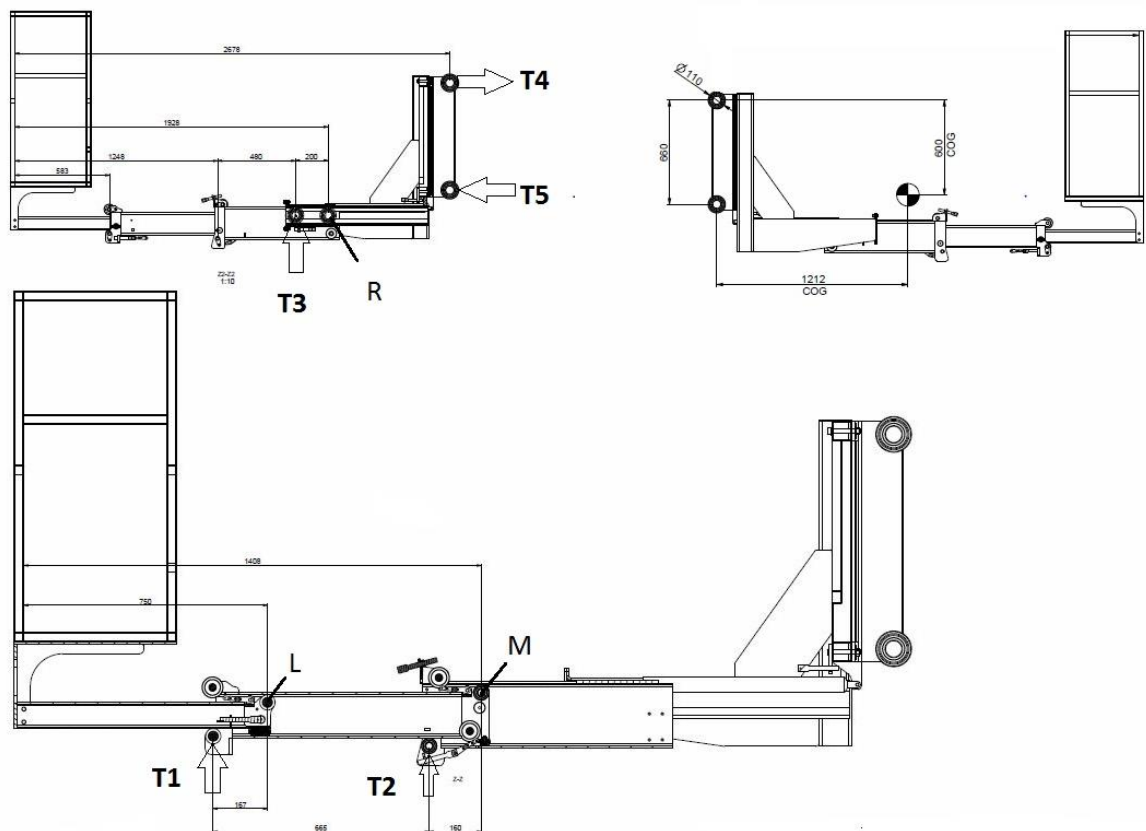
$F_B = \text{murtokuorma.}$

$F = \text{ketjuun kohdistuva voima.}$

$f_1 = \text{käyttökerroin: sysäyksellinen kuormitus} = 1,5.$

$S = \text{murtovarmuuskerroin: } 5 \text{ m/min asti, alle } 100 \text{ x päivässä} = 7.$
(SKS, 2017.)

Laakereiden laskentaa varten laskettiin tukireaktiot käsin. Kuormitukset laskettiin nimellisten painojen mukaan, sillä laakereiden kuormitusarvot sisältävät varmuuskertoimet. Kuten jo aiemmin kohdassa 4.2 laskettiin, henkilön kohdistama kuorma yhdelle jatkeelle on 95 kg, kun henkilön massa on 100 mm päässä korin uloimmasta sisänurkasta. Tukireaktiot T1, T2, T3 T4 ja T5 tarkasteltiin jatke kerrallaan momenttiehdolla pisteissä L, M ja R (kuva 12).



Kuva 12: Tukireaktiot laakereilla.

$$M_L = 0$$

$$M_p * 650 \text{ mm} + M_e * 530 \text{ mm} + \frac{PP}{2} * 467 \text{ mm} - T1 * 167 \text{ mm} = 0$$

$$95 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 650 \text{ mm} + 40 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 530 \text{ mm} - \frac{108}{2} \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 467 \text{ mm} - T1 * 167 \text{ mm} = 0$$

$$T1 = 6354 \text{ N}$$

$$M_M = 0$$

$$M_p * 1308 \text{ mm} + Me * 1188 \text{ mm} + PP1 * 1125 \text{ mm} + PP2 * 410 \text{ mm} - T1 * 160 \text{ mm} = 0$$

$$95 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1308 \text{ mm} + 40 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1188 \text{ mm} + \frac{108 \text{ kg}}{2} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1125 \text{ mm} + \frac{41 \text{ kg}}{2} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 410 \text{ mm} - T2 * 160 \text{ mm} = 0$$

$$T2 = 14772 \text{ N}$$

$$M_R = 0$$

$$M_p * 1828 \text{ mm} + Me * 1708 \text{ mm} + PP1 * 1645 \text{ mm} + PP2 * 930 \text{ mm} + PP3 * 287 \text{ mm} - T3 * 200 \text{ mm} = 0$$

$$95 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1828 \text{ mm} + 40 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1708 \text{ mm} + \frac{108 \text{ kg}}{2} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1645 \text{ mm} + \frac{41 \text{ kg}}{2} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 930 \text{ mm} + \frac{72 \text{ kg}}{2} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 287 \text{ mm} - T3 * 200 \text{ mm} = 0$$

$$T2 = 17668 \text{ N}$$

$$T4 = -T5$$

$$M_p * 2578 \text{ mm} + Me * 2458 \text{ mm} + \frac{PP4}{2} * 1212 \text{ mm} = T4 * 660$$

$$95 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2578 \text{ mm} + 40 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2458 \text{ mm} + \frac{372}{2} \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1212 \text{ mm} = T4 * 660$$

$$T4 = 8452 \text{ N}$$

Jossa:

$M_{L,M,R}$ = Momentti pisteiden L, M ja R ympäri.

M_p = henkilön massa yhdelle jatkeelle = 95 kg.

M_e = varusteiden massa = 40 kg.

PP1 = korin ja 1. jatkeen massa painopisteessä.

PP2 = 2. jatkeen massa painopisteessä.

PP3 = 3. (sisimmän) jatkeen massa painopisteessä.

PP4 = yletinrungon massa painopisteessä.

T1, 2, 3, 4, 5 = tukireaktiot laakereille.

$9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ = gravitaatiokiihtyvyys.

Laakereiden mitoitus tarkistettiin SKF:n mukaan. Laakeiden käyttötavasta johdun mitoittava tekijä oli kestävyys staattisen kuorman alaisena. Mitoitukseen tarvitaan laakerin staattinen kantavuusluku, laakeriin kohdistuvat kuormitukset säteensuuntaisille kuormille ja aksiaalisuuntaisille kuormille. Jos kyseessä on näiden kuormien yhdistelmä, lasketaan ekvivalenttikuorma. Tässä tapauksessa laakereihin kohdistuu vain säteensuuntaisia kuormituksia, jolloin ekvivalenttikuorma P_0 on yhtä suuri kuin laakeriin kohdistuva säteiskuorma F_r . Laakereiden mitoitus staattisen kantavuuden perusteella:

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

P_0 = ekvivalenttikuorma = F_r pelkille säteiskuormille.

F_r = Laakeriin kohdistuva säteensuuntainen kuorma.

s_0 = staattinen varmuuskerroin, (taulukko 2).

C_0 = laakerin staattinen kantavuusluku, valmistajalta.

Taulukko 2: Varmuuskerrointen S0 arvot (SKF 2017.)

Type of operation	Rotating bearing						Non-rotating bearing	
	Performance requirements (e.g. quiet running or vibration-unimportant)							
	unimportant		normal		high			
	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller bearings
Smooth, vibration-free	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Pronounced shock loads ¹⁾	≥ 1,5	≥ 2,5	≥ 1,5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Taulukosta 2 valitaan kuormitukseen sopiva varmuuskerroin: Kuulalaakereille 1,5 ja rullalaakereille 2,5. Välijatkeella suunniteltiin käytettävän kahta tukirullaa rinnakkain, viimeisellä jatkeella yhtä (Kuva 14.) Ensimmäisellä jatkeella ja nostoliikkeellä tarkastettiin alkuperäisen kokoisten laakereiden mitoitus.

Tukirullat:

$$F_{r,max} = \frac{14772 \text{ N}}{2 \text{ laakeria}} = 7386 \text{ N/laakeri}$$

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} \Rightarrow C_0 = P_0 * s_0 = 2,5 * 7,4 \text{ kN}$$

$$C_{0,min} = 18,5 \text{ kN}$$

Tukirulliksi valitaan: NATR 20 PPA, $C_0 = 24,5 \text{ kN}$.

Kuulalaakerit 6309 ZP $C_0 = 31.5 \text{ kN}$, 1.jatke:

$$F_{r,max} = 17668 \text{ N/laakeri}$$

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{31,5 \text{ kN}}{17,7 \text{ kN}} = 1,78$$

Kuulalaakerit 6310 ZR $C_0=38\text{kN}$, nostoliike:

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{38 \text{ kN}}{8,5 \text{ kN}} = 4,47$$

Laakereiden vastinpinnan pintapainetta tutkittiin myös FEM-analyyseissä. Hertzin pintapaine myös tarkastettiin laskurilla (AMES 2017) ja sitä verrattiin taulukon 3 sallitun staattisen pintapaineen arvoihin (Kuva 13; Liite 3.)

Taulukko 3: Sallitut Hertzin pintapaineet (Schaeffler 2017)

Material		Material no.	Hertzian pressure		Proof stress of material
			$P_{H \text{ stat}}$ N/mm ²	$P_{H \text{ dyn}}$ N/mm ²	$R_{p0,2}$ N/mm ²
Cast iron	GG-15	0.6015	850	340	120
	GG-20	0.6020	1 050	420	150
	GG-25	0.6025	1 200	480	190
	GG-30	0.6030	1 350	540	220
	GG-35	0.6035	1 450	580	250
	GG-40	-	1 500	600	280
Spheroidal graphite cast iron	GGG-40	0.7040	1 000	490	250
	GGG-50	0.7050	1 150	560	320
	GGG-60	0.7060	1 400	680	380
	GGG-70	0.7070	1 550	750	440
	GGG-80	0.7080	1 650	800	500
Cast steel	GS-38	1.0420	780	380	200
	GS-45	1.0446	920	450	230
	GS-52	1.0552	1 050	510	260
	GS-60	1.0558	1 250	600	300
	GS-62	-	1 300	630	350
	GS-70	-	1 450	700	420
Construction steel	St 37-2	1.0037	690	340	235
	St 44-2	1.0044	860	420	275
	St 52-3	1.0570	980	480	355
Quenched and tempered steel	C 45 V	1.0503	1 400	670	500
	Cf 53 V	1.1213	1 450	710	520
	Cf 56 V	-	1 550	760	550
	C 60 V	1.0601	1 600	780	580
	46 Cr 2 V	1.7006	1 750	850	650
	42 CrMo 4 V	1.7225	2 000	980	900
Hardened steel	50 CrV 4 V	1.8159	2 000	980	900
	100 Cr 6 H	1.3505	4 000	1 500	1 900
	16 MnCr 5 E	1.7131	4 000	1 500	770
	Cf 53 HI	1.1213	4 000	1 500	730
	Cf 56 HI	-	4 000	1 500	760

INPUT PARAMETERS				
Parameter	Symbol	Object-1	Object-2	Unit
Object shape		Cylinder ▼	Plane ▼	
Poisson's ratio	ν_1, ν_2	0.33	0.33	
Elastic modulus	E_1, E_2	200	200	GPa ▼
Diameter of object	d_1, d_2	47		mm ▼
Force	F		7386	N ▼
Line contact length	l		24	mm ▼
<input type="button" value="Calculate"/>				

RESULTS				
Parameter	Symbol	Object-1	Object-2	Unit
Maximum Hertzian contact pressure	p_{max}	684		MPa ▼
Max shear stress	τ_{max}	205.4	205.4	
Depth of max shear stress	z	0.225	0.225	mm ▼
Rectangular contact area width	2b	0.573		

Kuva 13: Pintapaine tukirullalla. (Ames 2017)

5 Tulokset ja analysointi

5.1 Muutostyön vaatimukset

Arvioitiin että muutostyöt aiheuttavat riskejä mekaanisen lujuuden osalta, niiltä vältytään osoittamalla rakenteen kelpoisuus muutostöiden osalta, sekä niiltä osin kuin muutokset muuta rakennetta kuormittavat. Lujuus osoitetaan nykystandardin SFS-EN 280 ja edelleen SFS-EN 13001 mukaisella menettelyllä. Rakenteesta tehdään osapiirustukset, joista on nähtävissä nostimen rakenne käytetyt materi-

aalit mukaan lukien. Esimerkki osapiirustuksista liitteessä 4. Muutostyöstä voidaan tehdä käytössä olevan koneen modernisoinnin turvallisuus selvitys, jossa vakuutetaan muutostyöt suunnitelluiksi ja tehdyiksi turvallisesti, ja mainitaan mitä standardeja muutostyössä on sovellettu. Ohjekirjaan lisätään muutoksien jälkeen ohjeet uusista huolettavista kohteista. Lisäkohteita huolloissa ja tarkastuksissa ovat jatkeet, ketjut sekä niiden laakerointi.

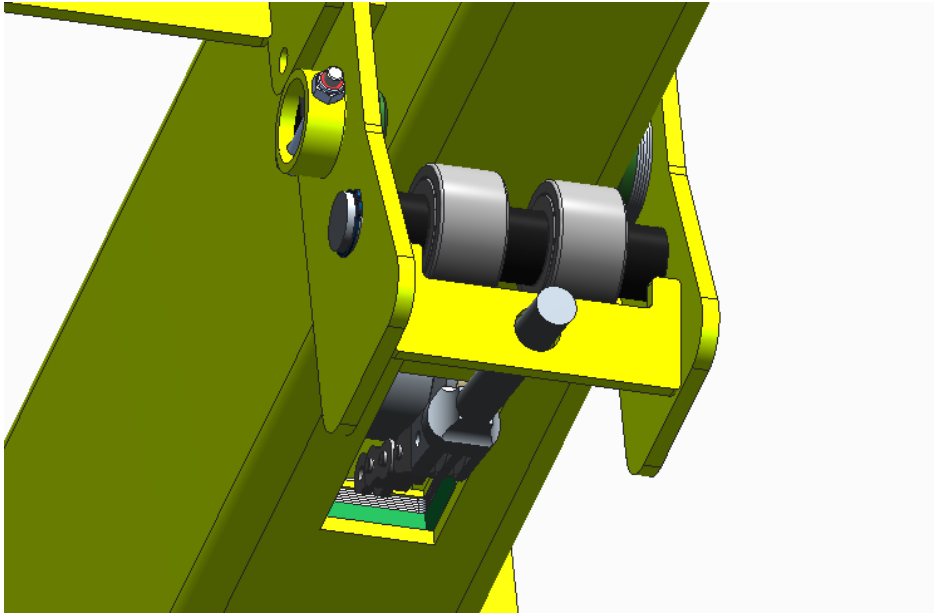
Muutostyön fyysinen osuus tehdään normaaleiden Mantsinen Group Ltd Oy:n tuotantolinjan käytäntöjen mukaisesti, ja tällä varmistetaan riittävä tuotannon laatu niin materiaalin hankinnan, hitsaustöiden kuin kokoonpanonkin osalta. Ennen nostimen käyttöönottoa tulee tehdä valtioneuvoston antaman käyttöasetuksen 403/2008 33 § tarkoittama käyttöönottotarkastus merkittävän muutoksen jälkeen.

5.2 Suunnittelutyön tulokset

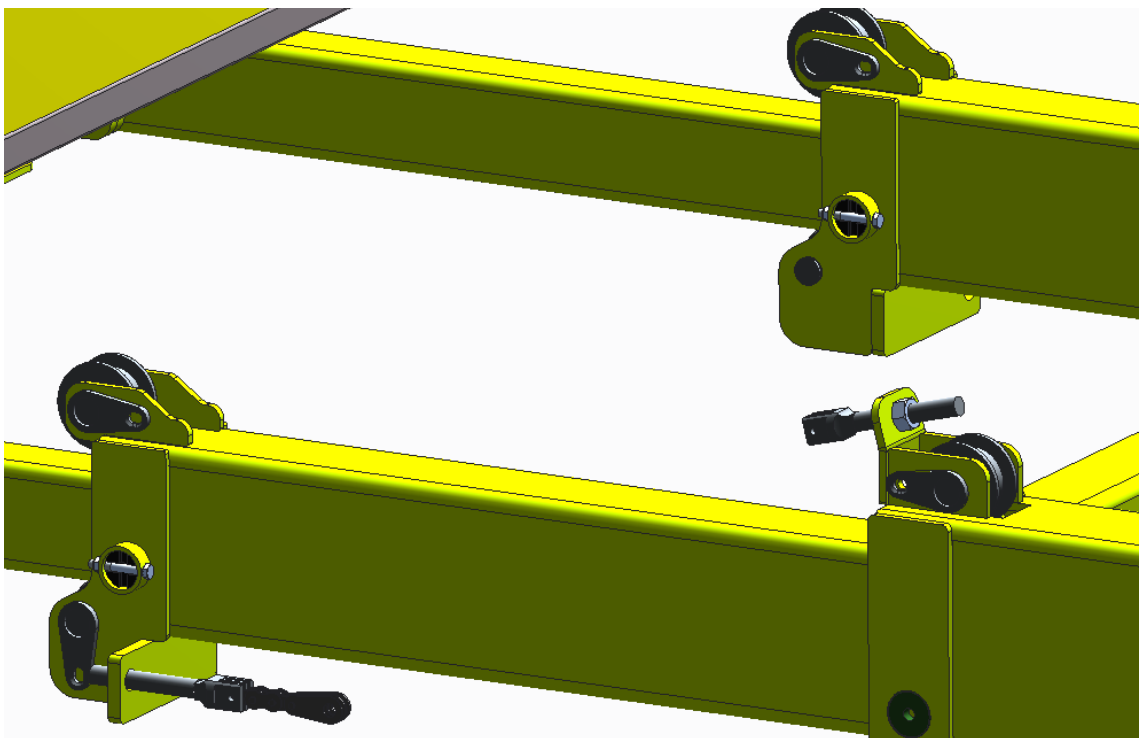
Suunniteltu jatkemekanismi koostuu kolmesta sisäkkäisestä RHS-putkesta kahdella puolen. Nostimen alkuperäinen jatkesylinteri liikuttaa ensimmäistä putkea c-profiileissa. Ensimmäinen jatke tukeutuu c-profiiliin alkuperäisillä 6309 ZP laakereilla. Putkien koot ovat 200x100x6, 140x80x6 ja 80x60x5, teräslaatuina jatkeilla käytetään S420MH/S355J2H kaksoislaatua. Putkijatkeet rullaavat NATR 20 tukipyörien varassa niin, että viimeisellä jatkeella käytetään yhtä tukipyörää alapuolella ja sisäpäässä (kuva 16, osa 4), keskimmaisella jatkeella käytetään kahta rullaa rinnakkain (kuva 14). Tukipyörille suunniteltiin kiinnitykset jatkeiden suulle alapuolelle, sekä sisäpään yläpuolelle. Sivusuuntaan, sekä putkien sisäpäässä alapuolella tuenta on hoidettu PA 6 -muovista koneistettavilla liukupalloilla (kuva 16, osat 10 ja 11), jotka säädetään välyksettömiksi säätölevyillä. Putkien suuaukon sivusuuntaiset liukupalat ovat säädettävissä kierresäätöisillä säätöpaloilla.

Ensimmäisen jatkeen liike välitetään seuraaville LL10-44 levykimppuketjuin. Välitys nopeuttaa jatkeiden toimintaa, joten nopeus säädetään sopivaksi sylinterin paluupuolella jo olevalla virransäätöventtiilillä. Ketjujen pituuden säätöä ja kiinni-

tystä varten käytetään kierrepituudeltaan noin 75 mm pituisia päätepultteja. Levykimppuketjujen taittopyörät (kuva15) koneistetaan ja laakeroidaan 20x23x30 mm itsevoitelevilla pronssiheloilla. Pyörien kiinnitysakselit valmistetaan 20mm karkaistusta tangosta. Jatkeiden rakenne purettuna on nähtävissä liitteessä 1.

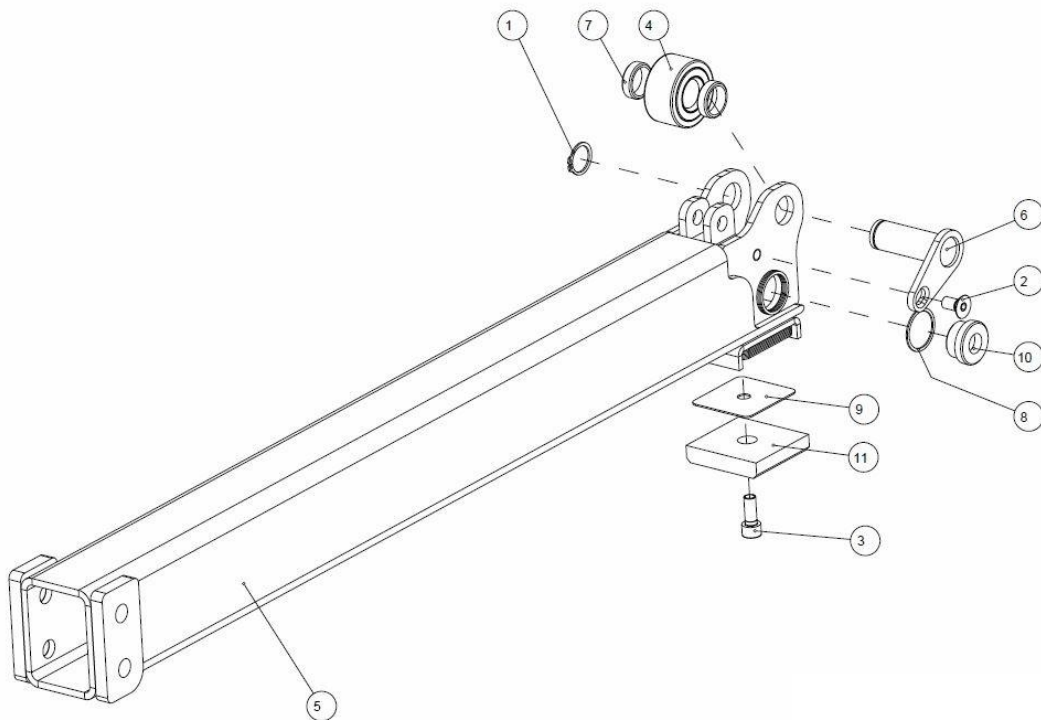


Kuva 14: Tukipyörät, liukupalat ja päätepultti ketjulle.



Kuva 15: Taittopyörät levykimppuketjuille.

Jatkeiden rakenne ja korin kiinnitys suunniteltiin niin, että ylettimen rakenne on kokoonpantavissa yksi puoli kerrallaan. Henkilökori kiinnitetään lopuksi jatkeiden päähän pulttiliitoksella. Nostin ylettää 2,7 metrin päähän lattiakiskon kohdalta mitattuna, lyhennettynä sen tilantarve on metrin verran, kuten alkuperäisenäkin. Päämitat jatkettuna on nähtävissä liitteessä 2. Kuvissa 17 ja 18 otokset 3d-mallista yletinrakenne pitkänä ja lyhyenä.



Kuva 16: Kolmas jatke räjäytettynä.

Myös tuoterakenne tehtiin CAD-ohjelmistossa ja sen PDM-järjestelmä Windchillissä materiaalinhankintaa ja valmistusta ajatellen valmiiksi. Kokoonpanot jaettiin hitsaus-, koneistus- ja osakokoonpanoihin. Näin valmistuspiirustusten valmistuttua tuoterakenne on suoraan valmis. Esimerkki valmistuspiirustuksista ja tuoterakenteesta osapiirustuksesta kokoonpanoon asti liitteessä 3. Kuvassa 16 on nähtävissä uloimman jatkeputken rakenne purettuna. Kokoonpano sisältää hitsatun teräsrakenteen (osa 5), johon on koneistettu reiät korin kiinnityspultteja, liukupaloja ja tukirullan akselia varten. Myös ketjupäiden kiinnitystä varten on korvalliset. Lisäksi kokoonpano sisältää tukirullan ja sen kiinnitystarpeet, osat 4, 7, 6, 1 ja 2, sekä liukupalat säätölevyineen.

Kuvat 3d-mallista nostin lyhennettynä ja pisimmillään:



Kuva 17: Nostin lyhennettynä

Kuva 18: Nostin jatkettuna

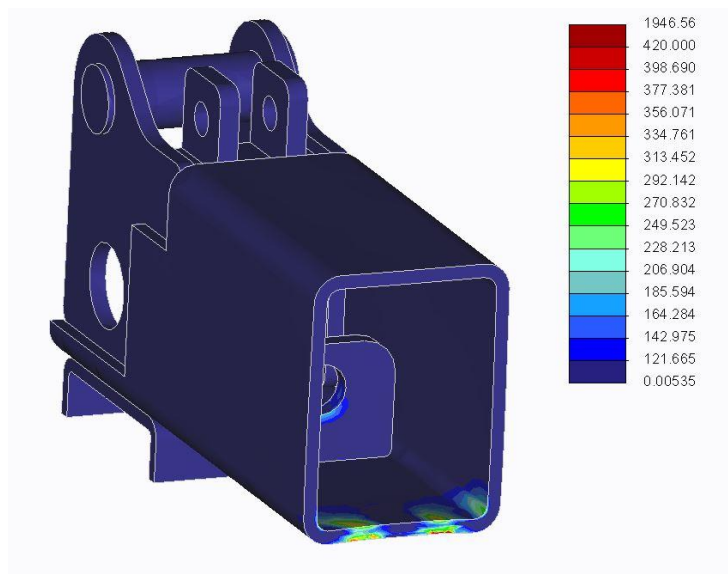
Nostimen muutostyössä tarvittavat osat ovat pääasiassa teräsosia, jotka voidaan valmistaa leikkaamalla, hitsaamalla ja koneistamalla perusraaka-aineista. Lisäksi tarvittavia komponentteja ovat laakerit ja liukupalat, sekä levykimppuketjut ja niiden osat. Myös korin ohjainlaitteen paineilmaletkut tulee vaihtaa pidempiin. Samalla voidaan kunnossapitotarkoituksessa uusia alkuperäisiä hydraulikkaletkuja, tiivisteitä ja laakereita.

5.3 Lujuustarkastelun tulokset

Lujuustarkastelun tuloksia analysoitiin pääasiassa kolmessa osassa: Von Mises jännitykset yletinrakenteessa, von Mises jännitykset perusrungossa sekä von Mises jännitykset seinäkannatuksessa. Rakenteiden osalta tarkasteltiin myös muodonmuutoksia ja nurjahdusta. Esimerkiksi seinäkannatuksessa mitoittavana tekijänä olivat elastiset muodonmuutokset suurimpien jännitysten sijasta.

Lujuustarkastelu aloitettiin yletimestä ja siitä edettiin kohti seinää. Pyrkimyksenä oli, ettei jatkeissa käytetä turhan paksuja materiaalivahvuuksia, joten tarkastelu aloitettiin ohuemmillä materiaaleilla, joita tarvittaessa vahvistettiin ensimmäisten tulosten myötä. Vasta kun yletinrakenteessa käytetyt materiaalivahvuudet olivat selvillä, oli mahdollista tarkkaan määritellä muuhun rakenteeseen kohdistuvat kuormat. Aluksi tutkittiin yletinputkien jännityksiä eri materiaalivahvuuksilla.

Heti oli nähtävissä, että putkissa yleisesti ei synny suuria jännityksiä. Suurimmat jännitykset tulivat luonnollisesti laakerituntojen kohdalle. Tutkittiin jännityksiä poikkileikkauksessa, ja pyrittiin löytämään ainevahvuus jolla jännitykset poikkileikkauksessa pysyvät yleisesti materiaalia vastaavan suunnittelujännityksen alapuolella, putkien tapauksessa S420MH suunnittelujännitys on 400 MPa. Kuvassa 19 nähdään poikkileikkaus uloimman jatkeen tukirullan kohdalta. Kuvasta nähdään jännitysten poikkileikkauksessa nousevan liki S420 suunnittelujännitystä, kun putki on 4 mm vahva. Kuormien pistemäisyydestä syntyviä jännityshuippuja ei huomioitu. Jatke kerrallaan tarkastelemalla päädyttiin käyttämään 6 mm materiaalivahvuutta muilla jatkeilla, paitsi uloimmalla 5 mm putkea. Tämän jälkeen tarkasteltiin kuormituksia koko yletinrakenteessa.

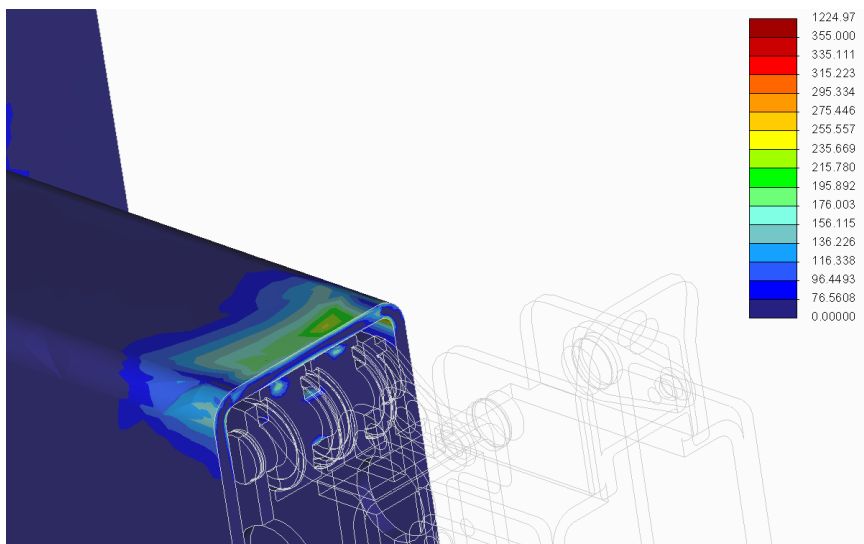


Kuva 19: Kolmas jatke 4 mm putkella. Yksikkö MPa

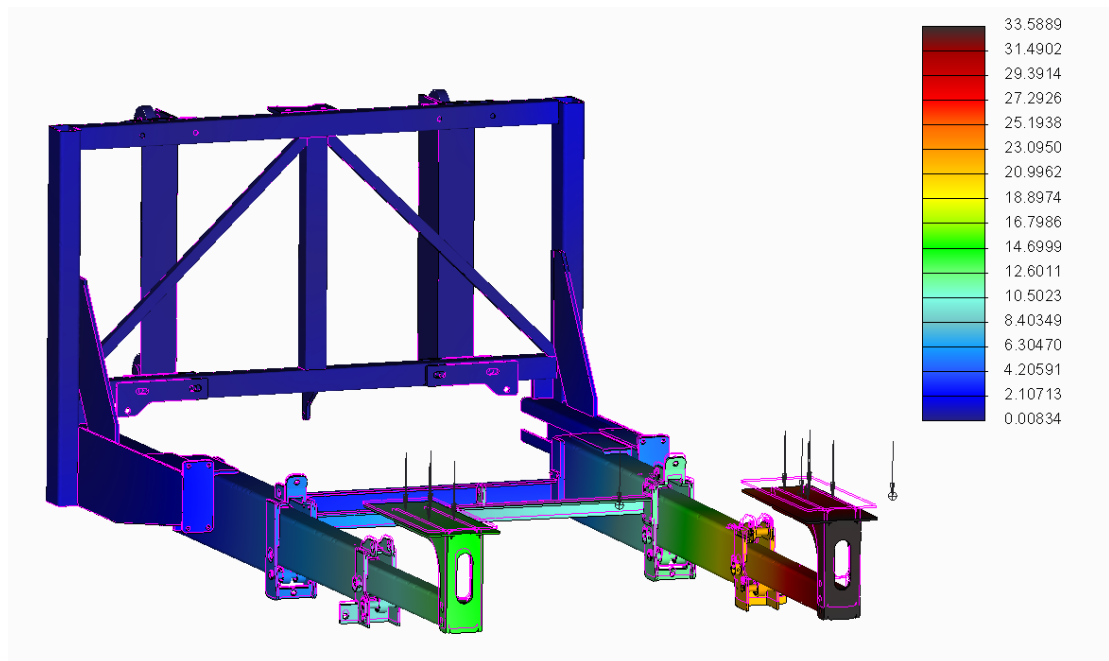
Kuvasta 20 on nähtävissä, etteivät jännitykset yleisesti nouse kovin korkeaksi. Suurimmalla kuormituksella ovat putkien kohdat, joihin laakerit tukevat, sekä tulpapalevyt c-profiilien suulla. Putkien osalta pysytään S420 suunnittelujännityksen rajoissa poikkileikkauksissa laakereiden kohdalla, kuten kuvassa 21 ensimmäisen jatkeen jännitykset toisen jatkeen laakereiden kohdalla. Akseleissa ja levyosissa käytettävä materiaali on S355, eikä sen suunnittelujännitysrajoja ylitetä. Myös elastisia muodonmuutoksia ja nurjahdusvarmuutta tutkittiin, esimerkkinä kuvassa 22 näkyvät rakenteen siirtymät ja kuvassa 23 nähtävä ensimmäisen jatkeen nurjahdusvarmuus.



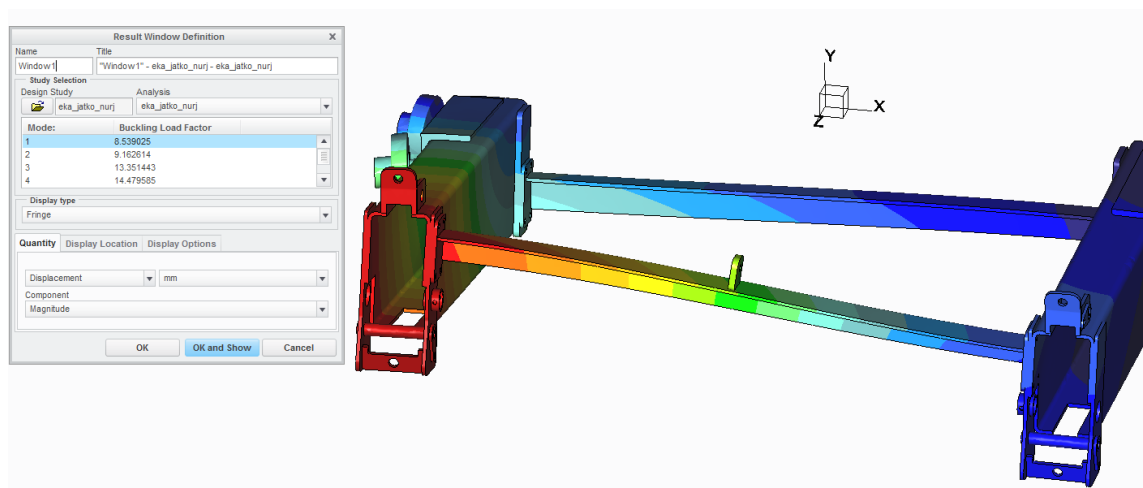
Kuva 20: Jännitykset yletinrakenteessa. Yksikkö MPa.



Kuva 21: Jännitykset 1. jatkeen poikkileikkauksessa. Yksikkö MPa.

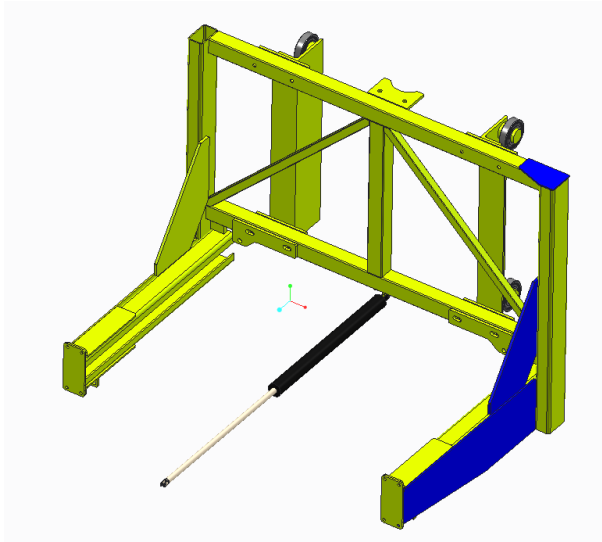


Kuva 22: Siirtymät yletinrakenteessa. Yksikkö millimetriä.



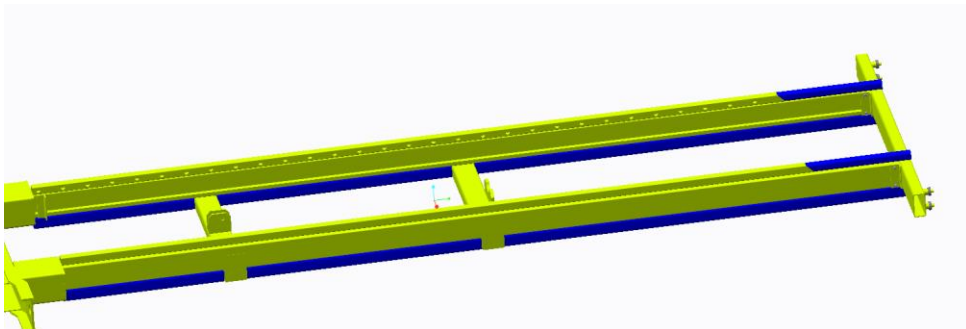
Kuva 23: Ensimmäisen ylettimen nurjahdusvarmuus.

Alkuperäisiltä osiltaan runko oli oletettava olevan S235 rakenneterästä, joten runkoon lisättiin vahvikkeita 5-10mm teräslevyistä. Vahvikkeiden avulla jännitykset rungon alkuperäisosissa pysyvät S235 suunnittelujännityksen puitteissa. Runkoon tulevat vahvikkeet on merkattu sinisellä kuviin 24 ja 25. Lisäksi c-profiilit vaihdettiin S420MH rakenneputkesta leikattaviksi, ja sen suulle lisättiin vahvikelevyt estämään profiilin aukeaminen kuormituksen alla.

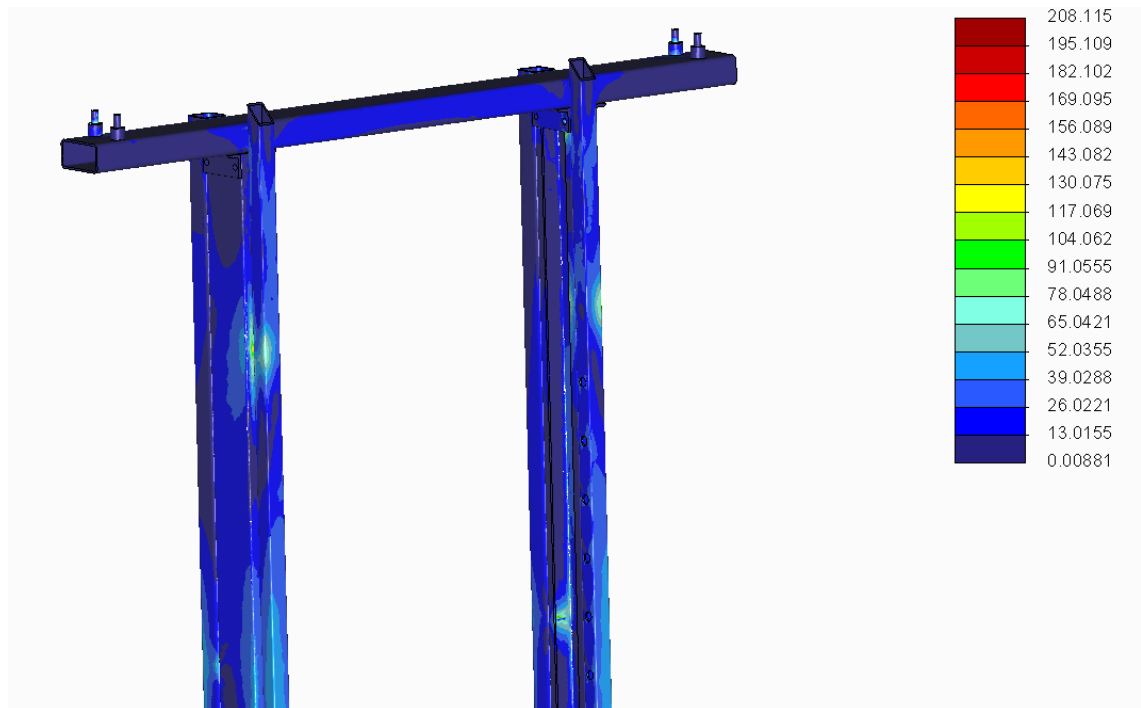


Kuva 24: Vahvistukset nostorunkoon.

Myös nostimen perusrunkoon lisättiin vahvikkeet niin, että tolppien taakse lisättiin 60x60x5 neliöputkea, ja edessä oleva putki jatkettiin ylös asti 40x40x5 putkella. Vahvikkeet värjättyinä sinisellä kuvassa 25. Kuten kuvasta 26 nähdään, jännitykset pysyvät tämän jälkeen S235 suunnittelujännityksen rajoissa. Perusrunkoa tarkasteltiin eri korin asennoissa korkeussuunnassa. Korin korkeudella ei ollut merkittävää vaikutusta suurimpiin jännityksiin.

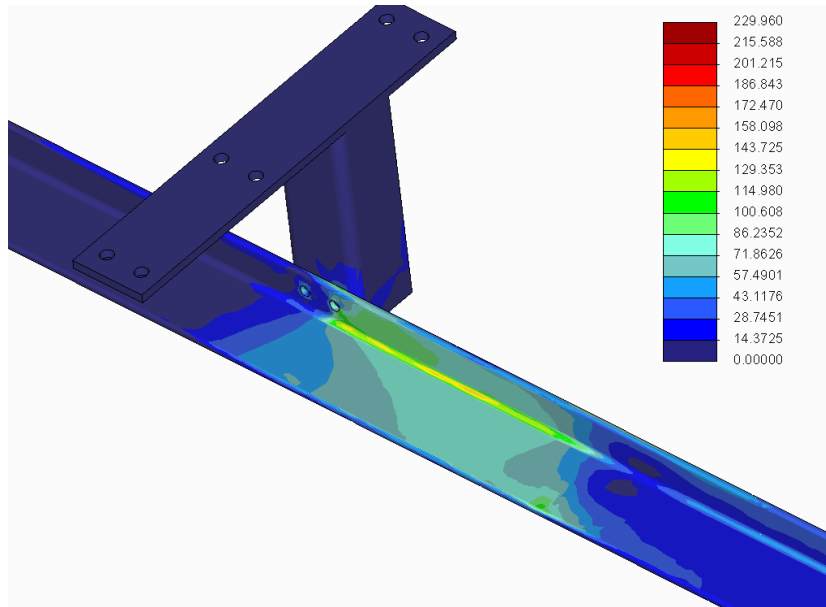


Kuva 25: Vahvikkeet perusrunkoon.

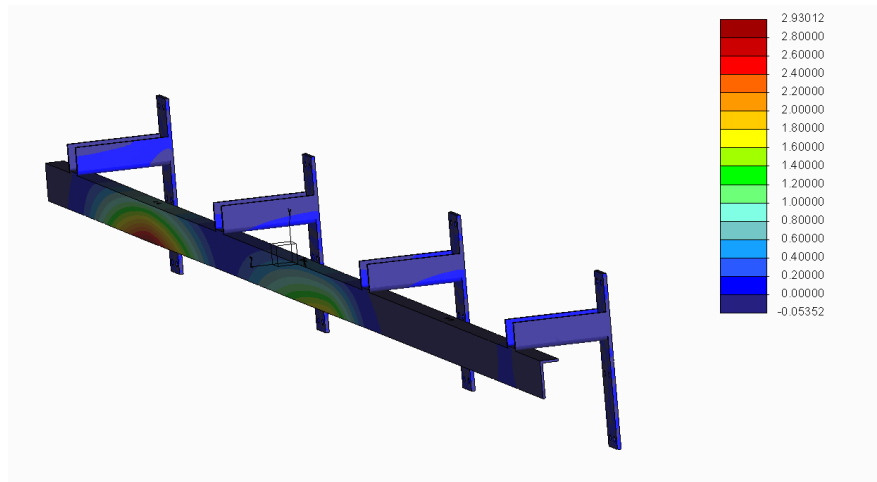


Kuva 26: Jännitykset perusrungossa kori yläasennossa. Yksikkö MPa.

Seinäkannatinkiskossa jännitykset olivat sallituissa rajoissa (kuva 27). Kuitenkin muodonmuutokset olivat sitä luokkaa, että ne haluttiin pienemmäksi. Jos kisko pääsee taipumaan liikaa, on riskinä, että nostin pääsee luiskahtamaan kiskolta ja kaatumaan. Tarkasteltiin vaikutusta siirtymiin, kun nostetaan kiskoon kantavia laakereita ylemmäs. Laakereiden ollessa 20mm päässä kulmakiskon sisänurkasta, siirtymät kiskon reunassa olivat jo alle kolme milliä (kuva 28). Laakerin kohdalla siirtymät olivat enää 1,5 mm luokkaa. Seinäkannatukseen ei siis tarvitse tehdä muutoksia, vaan kiskon kestävyys varmistetaan muuttamalla laakereiden kiinnityspistettä ylemmäs.

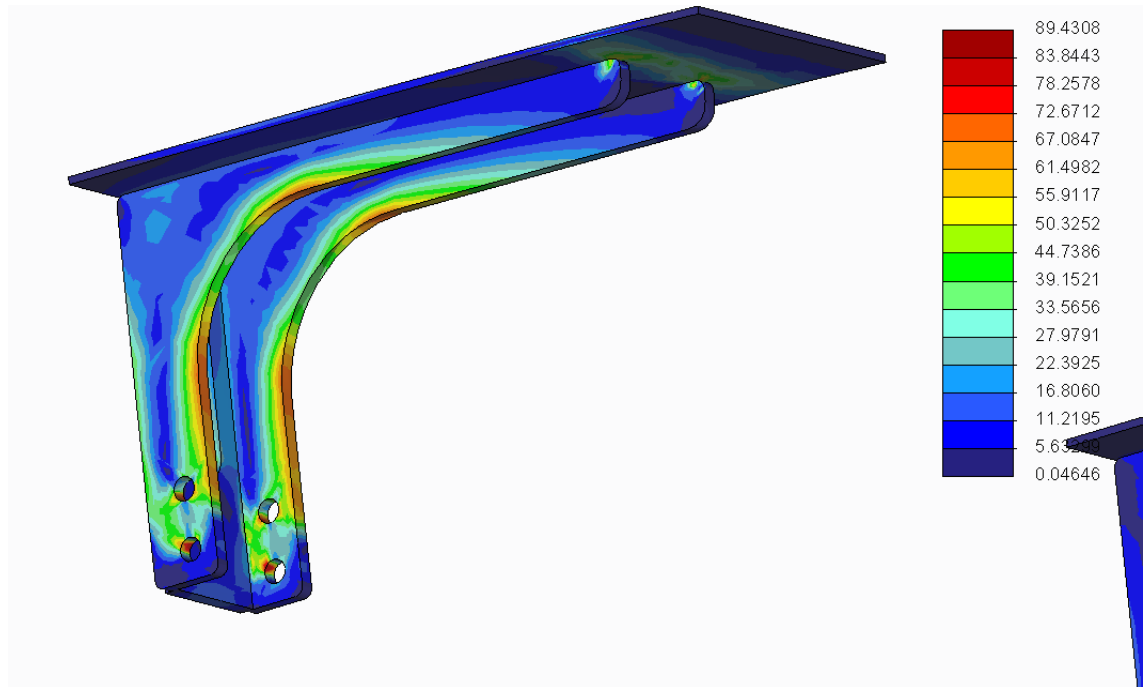


Kuva 27: Jännitykset seinäkiskossa. Yksikkö MPa.



Kuva 28: Siirtymät seinäkiskossa. Yksikkö millimetriä.

Runkorakenteeseen syntyvät suurimmat jännitykset nostimen ollessa pisimmässä asennossaan, ja henkilö aivan korin ulkonurkassa. Nostokorin kannakkeiden osalta tarkasteltiin myös tilanne, jossa henkilö on korin takalaidassa. Tässä osassa jännitykset ovat sitä suurempia, mitä kauempana korin etulaidasta henkilö on. Jännitykset pysyvät maltillisena, alle 90 MPa maksimissaankin, joten korin kannakkeet kestävät riippumatta henkilön sijainnista korissa. (Kuva 29). Samalla tavalla tutkittiin myös korin kiinnityspulttien jännityksiä, ja todettiin pultti M12 10.9 riittäväksi.



Kuva 29: Korinkannatuksen jännitykset, henkilön ollessa korin takalaidassa. Yksikkö MPa.

Lujuustarkastelun lopuksi päivitettiin varsinaisesta 3d-mallista vastaamaan laskennassa käytettyjä ja korjattiin materiaalivahvuuden muutosten aiheuttamat virheet mitoituksissa. Malliin lisättiin myös alkuperäiseen runkoon tulevat vahvikkeet

6 Pohdinta

Yrityksessä haluttiin hyödyntää olemassa olevia henkilönostimia nykyistä paremmin. Ulottumaa jatkamalla arveltiin parannettavan niin työolosuhteita kuin työturvallisuuttakin. Opinnäytetyössä suunniteltu muutos jatkaa nostimen ulottuman kolminkertaiseksi, ja muutos aiheuttaa myös tarvetta vahvistaa alkuperäistä runkoa. Lujuuslaskentavaiheessa huomattiin, ettei paljon pidempi ulottuman jatko olisi ollut mahdollinen, vaan se olisi aiheuttanut merkittäviä muutoksia nostimen alkuperäiseen runkorakenteeseen.

Suunniteltu mekanismi täyttää työn alkuvaiheessa määritellyt vaatimukset. Muutostyön toteutus tullaan tekemään kesän ja syksyn 2017 aikana, ja tämän jälkeen nähdään lopullisesti, kuinka suunnittelutyössä on onnistuttu. On todennäköistä,

että rakenteesta löytyy kehitettäviä kohtia kokoonpanovaiheessa tai käytön alkaessa. Koska samanlaisia nostimia on kaksi, on mahdollista toteuttaa muutokset porrastettuna, niin että toiseen nostimeen voidaan päivittää ja korjata mahdollisia ensimmäisessä havaittuja ongelmakohtia.

Opinnäytetyöprosessi alkoi vaatimusten määrittelyllä tammi-helmikuussa. Tässä vaiheessa aloin myös tutustua lain ja asetusten asettamiin vaatimuksiin. Muutostyön vaatimukset vaativat verrattain paljon opiskelua. Tutustuin koneita koskeviin säädöksiin ja standardeihin melko laajasti, ja uskon että tästä on hyötyä myös jatkossa. Koneenrakennuksessa tulee aina huomioida turvallisuusnäkökohdat, ja varsinkin standardit antavat hyviä ohjeita siihen, kuinka ne otetaan huomioon. Lisäkokemusta sain varsinkin tiedonhausta, sekä standardien tulkinnasta. Varsinaisen mekaniikan suunnittelun aloitin helmikuun alkupuolella, kun nostimeen halutut muutokset oli määritelty. Opinnäytetyö antoi hyvää oppia myös suunnitteluitä ajatellen. Muutokset mekaniikkaan olivat suunniteltuna maaliskuun loppupuolella. Tämän jälkeen suunnitelmia hiottiin ja tarkennettiin lujuuslaskentavaiheessa.

Opinnäytetyön raportoinnin aloitin samalla kun itse suunnittelun, mutta käytännössä raportin tekeminen jäi aivan viimeiseksi vaiheeksi. Suunnittelutyön aikana raportin päivitys oli lähinnä lähteiden merkitsemistä muistiin. Raportin valmistuminen meni lopulta kesäkuun alkupäiviin asti. Alkuperäinen suunnitelma oli saada opinnäytetyö valmiiksi noin huhtikuun loppuun mennessä, joten tähän tavoitteeseen ei päästy, vaan siitä jouduttiin joustamaan.

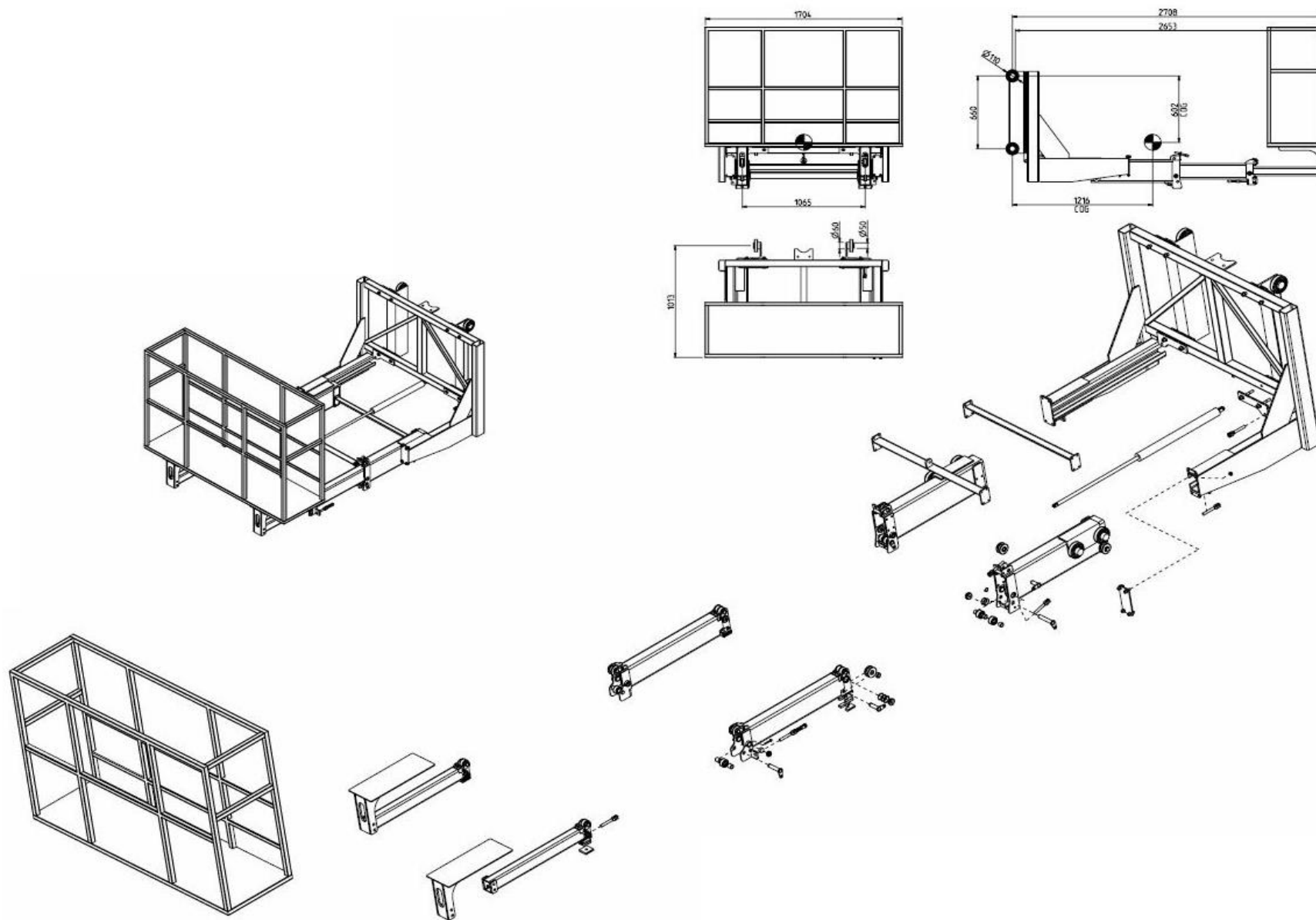
Tehtäväksi jää vielä nostimen lujuuden osoittaminen väsyttävän kuormituksen alaisena ja varsinainen muutostyön toteutus. Valmistuspiirustukset osista piirretään, kunnes on varmistettu, ettei rakenteeseen tarvita muutoksia dynaamisen lujuuslaskennan perusteella. Tämän jälkeen päästään tilaamaan osat ja tekemään muutokset. Toivon että muutostöillä saavutetaan toivottu hyöty maalaamon käyttöolosuhteissa. Nostinten käyttöönoton ja käytön myötä niiden toimintaa seurataan, ja pienempiä päivityksiä tullaan varmasti tekemään jatkossakin.

7 Lähteet

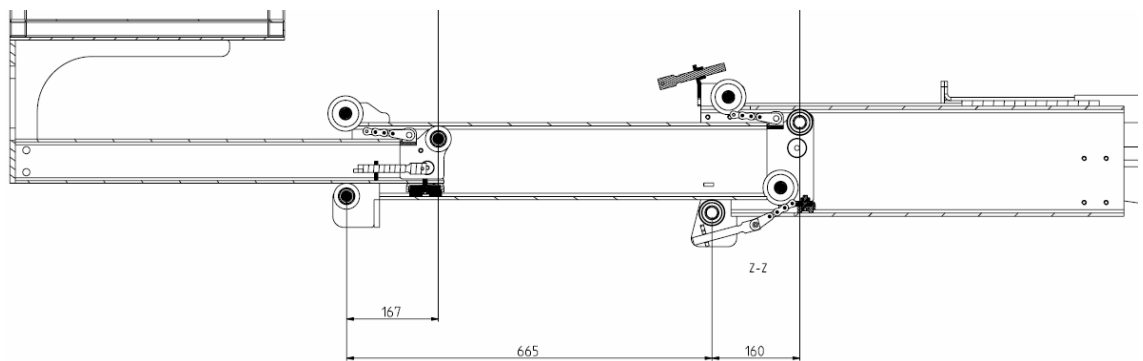
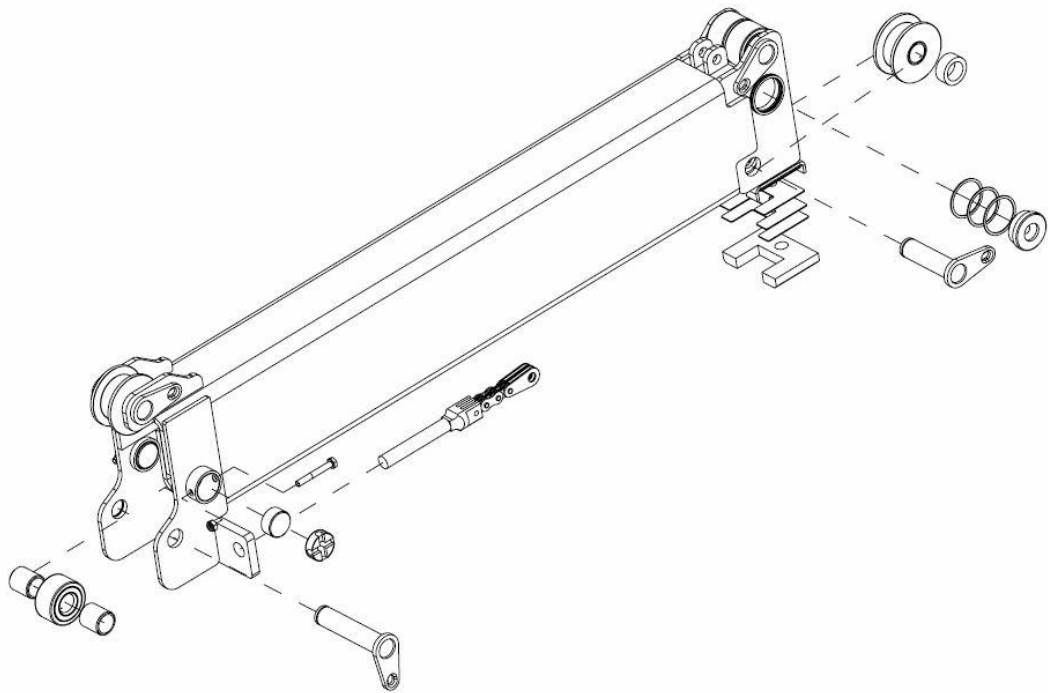
- Ames. 2017. Hertzian contact stress calculator.
<http://www.amesweb.info/HertzianContact/HertzianContact.aspx>.
 10.4.2017.
- Ammattienedistämislaitossäätiö AEL ry. 5.2.2016. Henkilönostimet – Tarkastus.
https://www.ael.fi/sites/default/files/pdfs/160205_henkilonostimet_-_tarkastusohjeet.pdf. 17.4.2017.
- Cook Robert D. 1994. Finite Element Modeling for Stress Analysis.
 United States of America: John Wiley & Sons, INC.
- Etra Oy. 2010. Tekniset muovit – tuoteluettelo 2010.
<http://www.etra.fi/uploads/pdf/Muoviluettelo2010pdf.pdf>. 25.5.2015
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY, annettu 17 päivänä toukokuuta 2006, koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta.
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/ALL/?uri=CELEX:32006L0042>.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 98/37/EY, annettu 22 päivänä kesäkuuta 1998, koneita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä.
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/ALL/?uri=CELEX:31998L0037>.
- FB Chain. 2017. Leaf chain pulley design tips.
<http://www.leafchain.com/bolts-and-pulleys/leaf-chain-pulley-design-tips>. 10.5.2017.
- Gouri Dhatt, Emmanuel Lefrançois, Gilbert Touzot. 2012. Finite Element Method. John Wiley & Sons INC, ISTE Ltd.
- Gulley C. 2014 SIMULATION TECH TIP: Meshing with Solid Elements in SOLIDWORKS Simulation.
<http://www.fisherunitech.com/blog/simulation-tech-tip-meshing-with-solid/>. 15.5.2017.
- Konaflex Oy. 2017. Sedis-ketjuluettelo.
<http://www.konaflex.fi/wp-content/uploads/Sedis-ketjuluettelo.pdf>
 15.5.2017.
- Mantsinen Group. 2017. Yritysesittely.
<http://www.mantsinen.com/fi/yritys/> 17.4.2017.
- Schaeffler. 2017. Yoke type track rollers – Design and safety guidelines.
http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.info/NATR*UK*kshinweise#ST4_662288011. 30.5.2017.
- SFS-EN 13001-1:2015. Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 1: Yleiset periaatteet ja vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 13001-3-1:2012. Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 3-1: Teräsrakenteiden rajatilat ja kelpoisuuden osoittaminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 280:2015. Mobile elevating work platforms. Design calculations. Stability criteria. Construction. Safety. Examinations and tests. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SKF. 2017. Selecting bearing size using the static load carrying capacity.
<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/selecting-bearing-size/static-load-carrying-capacity/index.html>. 30.5.2017.

- SKS Mekaniikka Oy. 2017. Wippermann vakio- ja erityisketjut ja tarvikkeet.
[http://www.sks.fi/www/sivut/B3A8595A4C2C6E08C2257B6A003D5A2C/\\$FILE/Wippermann%20vakio%20ja%20erikoisketjut%20ja%20tarvikkeet.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/B3A8595A4C2C6E08C2257B6A003D5A2C/$FILE/Wippermann%20vakio%20ja%20erikoisketjut%20ja%20tarvikkeet.pdf)
- Sundquist M. 2010. Turvallisuusvastuut koneiden modernisoinnissa – eurooppalaiset turvallisuusvaatimukset. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisointi ry.
http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden_teemasivut/artikkelit/2010_nro_008.pdf. 15.5.2017.
- Tuunainen S. 2010. Työsuojausinsinööri, Etelä-Suomen aluehallintavirasto. Vastaus sähköpostikyselyyn.
- Työturvallisuuslaki 738/2002.
- Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>.
- Valtioneuvoston päätös koneiden turvallisuudesta 1314/1994.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/kumotut/1994/19941314>.
- Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta 403/2008.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080403>.

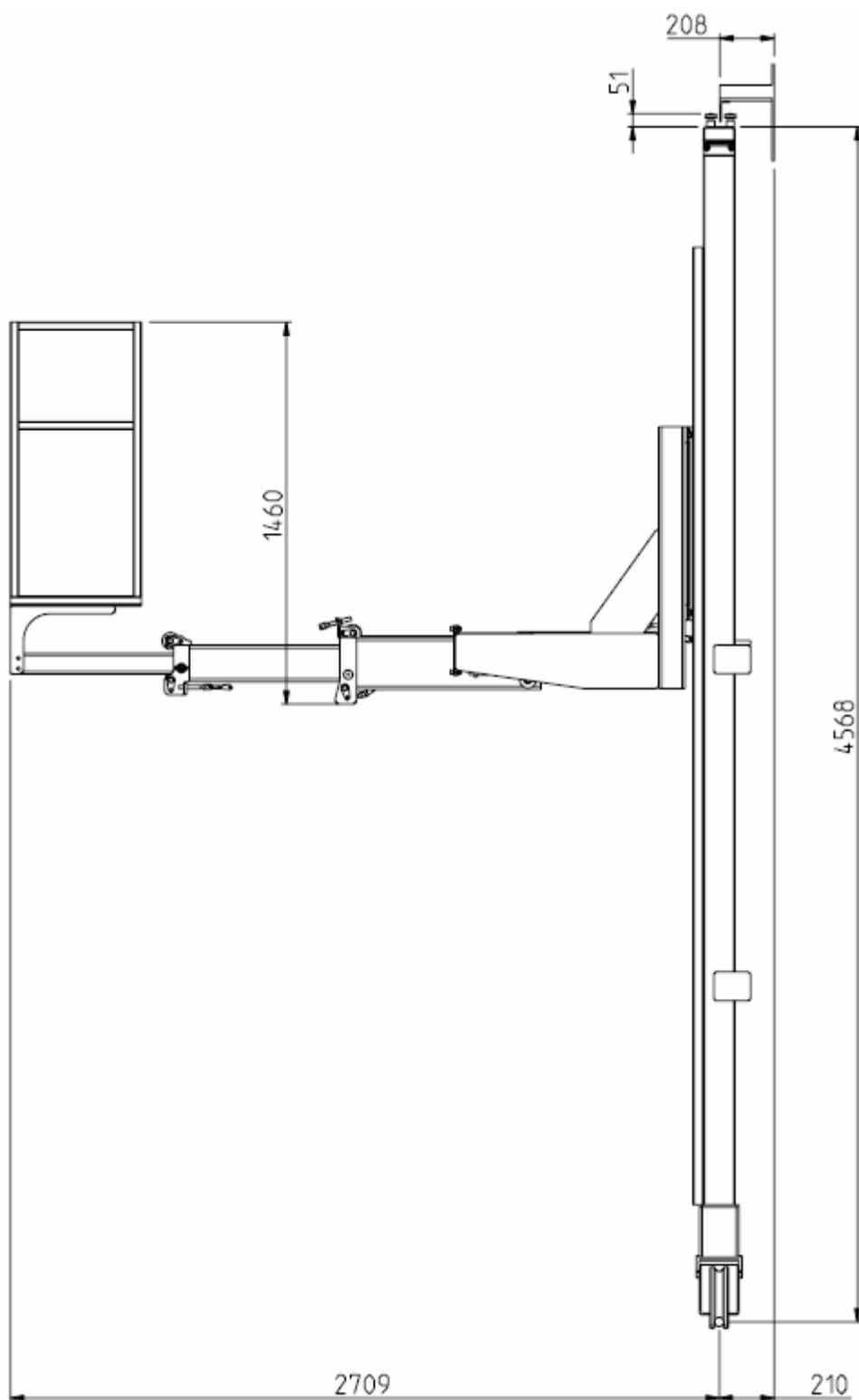
Rakennekuvat



Rakennekuvat



Päämitat



Pintapaineet

Pintapaineet 6309 laakereilla:

INPUT PARAMETERS				
Parameter	Symbol	Object-1	Object-2	Unit
Object shape		Cylinder ▾	Plane ▾	
Poisson's ratio	ν_1, ν_2	0.33	0.33	
Elastic modulus	E_1, E_2	200	200	GPa ▾
Diameter of object	d_1, d_2	100		mm ▾
Force	F		17700	N ▾
Line contact length	l		25	mm ▾

Calculate

RESULTS				
Parameter	Symbol	Object-1	Object-2	Unit
Maximum Hertzian contact pressure	p_{max}	711.2		MPa ▾
Max shear stress	τ_{max}	213.6	213.6	
Depth of max shear stress	z	0.498	0.498	mm ▾
Rectangular contact area width	2b	1.268		

Pintapaine 6310 laakereilla:

INPUT PARAMETERS				
Parameter	Symbol	Object-1	Object-2	Unit
Object shape		Cylinder ▾	Plane ▾	
Poisson's ratio	ν_1, ν_2	0.33	0.33	
Elastic modulus	E_1, E_2	200	200	GPa ▾
Diameter of object	d_1, d_2	110		mm ▾
Force	F		8500	N ▾
Line contact length	l		25	mm ▾

Calculate

RESULTS				
Parameter	Symbol	Object-1	Object-2	Unit
Maximum Hertzian contact pressure	p_{max}	469.9		MPa ▾
Max shear stress	τ_{max}	141.1	141.1	
Depth of max shear stress	z	0.362	0.362	mm ▾
Rectangular contact area width	2b	0.921		

Valmistuspiirustuksia: Osapiirustus

This document is not allowed to be copied without our written permission and its contents is not allowed to be imparted to a third party. Contravention will be prosecuted.
 MANTSINEN GROUP LTD OY

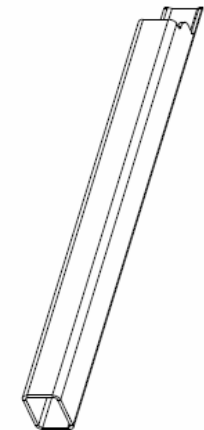
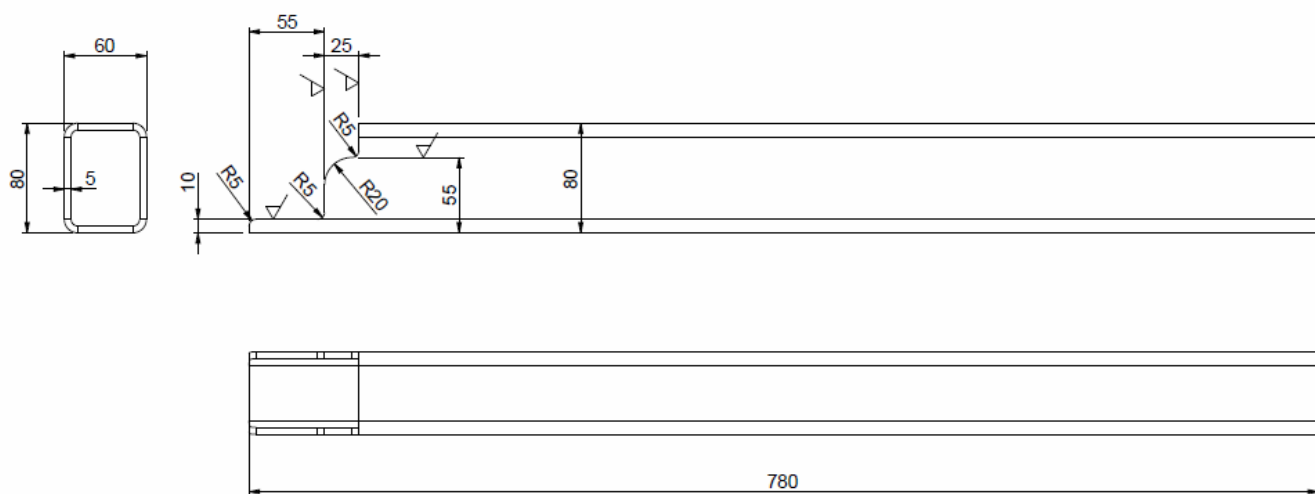
Tätä asiakirjaa ei saa ilman lupamme jäljentää, eikä sitä saa esittää ulkopuolisille. Tämän rikkomisesta rangaistaan voimassa olevan lain nojalla.
 MANTSINEN GROUP LTD OY

WELD QUALITY ACCORDING TO SFS-EN 25817		HITSILAADUT SFS-EN 25817:N MUKAAN											
GENERAL TOLERANCES		SFS-EN ISO 13000, SFS-EN 22798-1, SFS-EN ISO 9013											
FLEISHTOLERANSSIT		Dimension range/ Mitta-alue											
LENGTH DIMENSIONS	PITÄJÄSMITAT	>0.5	3	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	16000
Machining	Koneistus	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±1.7	±2.5	±4	±5	±8
Chamfers and reell	Pöydätykset, viilet	±0.2	±0.5	±1	±2	±4	±7	±10	±15	±20	±30	±40	±60
Cutting, bending	Leikkaus, taivutus	±0.2	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	±8	±10	±15	±20
Thermal cutting Spec 50	Polttoleikki, Spec 50	±1.5	±1.5	±2.5	±3	±4	±5	±8	±10	±12	±14	±16	±20
50\leq100	50\leq100	±2.5	±2.5	±4	±5	±8	±10	±12	±14	±16	±18	±20	±25
Welding	Hitseus	±2	±2	±3	±4	±5	±8	±10	±12	±14	±16	±18	±20

Welding constructions and groove preparations are to be performed in accordance with the "internal regulations".
 Hitsatut rakenteet ja railon valmistus suoritetaan "sisäisten sääntöjen" mukaisesti.

Welding quality level:
 Hitsiluokka: C

Thermal cutting quality level:
 Polttoleikkauksen laatuokka: 1



1:6

Surface treatment
 No treatment

Osa / Item		Suorakaideputki		60X80X5 L=780 S420MH EN 10219		Standard		Kpl / Pes	
Nimike nro / Code		Osan nimitys / Name		Muoto, malli / Dimensions		Määrä / Amount		Laatu / Material	
In Work		Suhte / Scale		Tuote Product		Standard		Kpl / Pes	
Suunn. / Design. 01.06.2016		1:3		Sekalaiset		Standard		7 kg	
Tark. / Chd.				Liitty / Refers to		Standard			
				PAINTLIFT		Standard		Korvaa / Replaces	
				Nimitys Title		Standard		Nimike nro / Part No.	
				JATKEPUTKI		Standard		99-3814	
				Valmistusohje		Standard		Rev	
						Standard		A	



Rev/Muutos tai huomautus	Rev.note	Pvm. Date	Muutt. By
--------------------------	----------	-----------	-----------

Valmistuspiirustuksia: Hitsauspiirustus

This document is not allowed to be copied without our written permission
 and its contents are not allowed to be imparted to a third party.
 Tämä asiakirja ei saa ilman lupaa kopioida eikä sen sisältöä luovuttaa kolmannelle.
 KONEPAINAJA MANTSIEN OY

**SIVU 1/2 HITSAUS
KONEISTUS SIVULLA 2**

Osa / Item	Nimike nro / Code	Osan nimi / Name	Muoto, malli / Dimensions	Määrä / Amount	Laatu / Material	Standardi / Standard	Piiri / Pcs
7	99-3814	JATKEPUTKI	60X80X5 L=780 S420MH EN 10219	2			
6	99-3815	Levy	PL10 80X40 S355K2G3	2			
5	99-3816	Levy	PL5 90X95 S355K2G3	2			
4	99-3817	Levy	PL6 45X35 S355K2G3	1			
3	99-3818	Levy	PL6 40X30 S355K2G3	1			
2	99-3819	Levy	PL6 26X25 S355K2G3	2			
1	99-3820	Levy	PL4 90X50 S355K2G3	1			

QUALITY ACCORDING TO SPES 2007	MÄÄRÄYKSET SPES 2007 (MÄÄRÄYKSET)		MÄÄRÄYKSET SPES 2007 (MÄÄRÄYKSET)															
GENERAL TOLERANCES	KOKOVALMIKUNNAT		KOKOVALMIKUNNAT															
	IT	FS	IT	FS	IT	FS	IT	FS	IT	FS	IT	FS	IT	FS	IT	FS	IT	FS
Dimensions	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2
Welding	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2
Thermal cutting	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2

Welding constructions and groove preparations are to be performed in accordance with the "Internal regulations".
 Hitsaus rakenteet ja rillon valmistus suoritetaan "sisäisten sääntöjen" mukaisesti.
 Welding quality level: CK, CU
 Thermal cutting quality level: 1

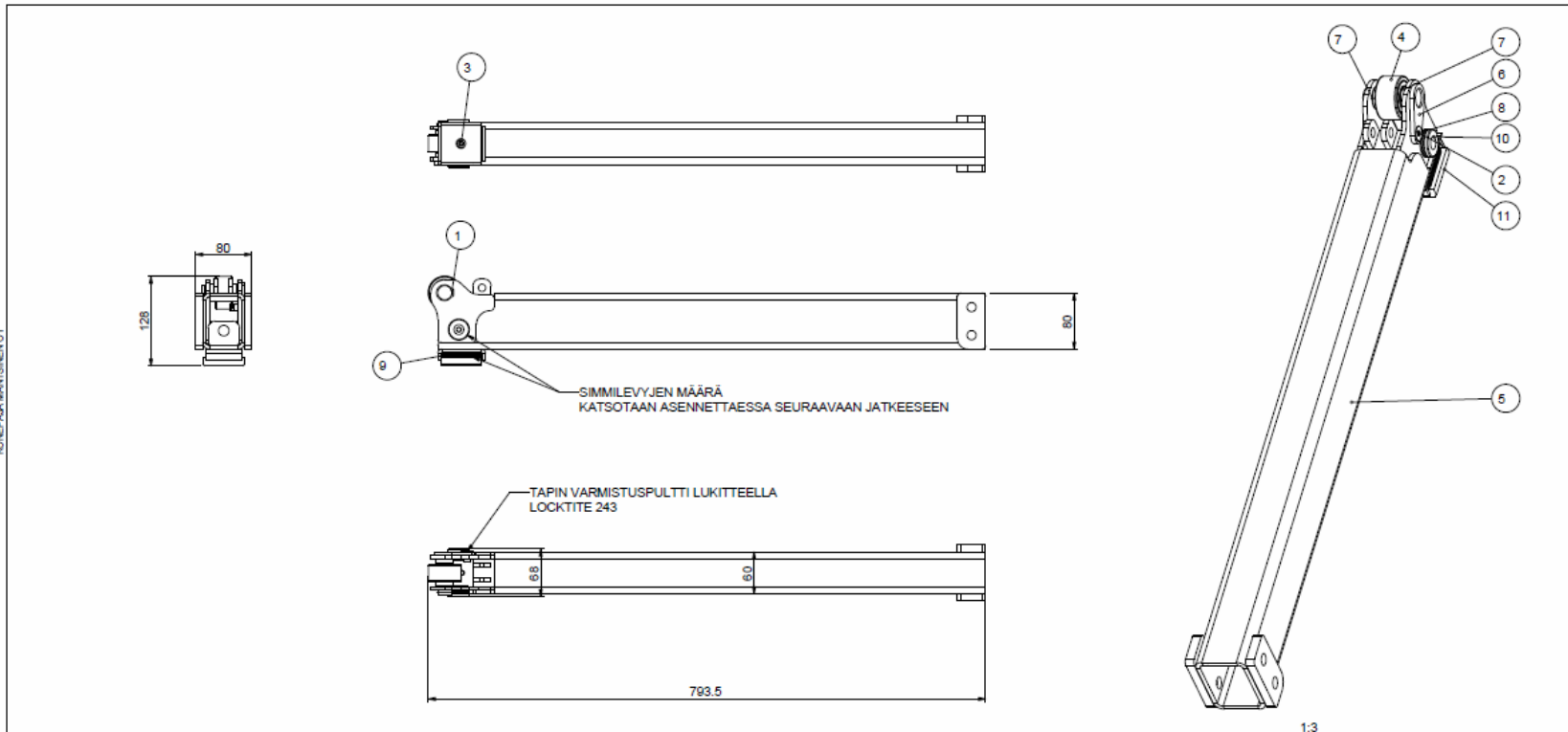


Tuote Product: **Sekalaiset**
 Piirustus Design: 01.06.19leksip
 Suurennus Scale: 1:3
 Nimitys Title: **JATKE 3, HITSAUS+KONEISTUS**
 Piirustuksen nro Part No.: 99-XXX1
 Pvm. Date: Muutt. By:

Valmistuspiirustuksia: Kokoontanopiirustus

This document is not allowed to be copied without our written permission and its contents is not allowed to be impinged to a third party.
 KonePALA MANTSIEN OY

Tämä asiakirja ei saa ilman lupamme jäljitellä, eikä sitä saa esittää ulkopuolisille.
 Tämän informoimista rajoitetaan voimassa olevien lain nojalla.
 KONEPALA MANTSIEN OY



Surface treatment
No treatment

SIVU 1/2

Welding constructions and groove preparations are to be performed in accordance with the "internal regulations".
 Hitsaus "sisäisten sääntöjen" mukaisesti.
 Welding quality level: OK, CU
 Thermal cutting quality level: 1
 Pölysuojauksen testulokki: 1

WELD QUALITY ACCORDING TO EN ISO 5817		WELDING QUALITY ACCORDING TO EN ISO 5817									
GENERAL TOLERANCES		TOLERANCES									
KOKOONPANNUS		TOLERANSSIT									
		KOKOONPANNUS									
Length	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Width	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Thickness	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Radius	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Position	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Angle	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
Surface	±0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50			

