

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# HENKILÖSIIRTIMEN VALMISTUK- SEN SUUNNITTELU JA LUJUUSTAR- KASTELU

TEKIJÄ Ville Herranen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Ville Herranen			
Työn nimi Henkilösiirtimen valmistuksen suunnittelu ja lujuustarkastelu			
Päiväys	2.5.2023	Sivumäärä/Liitteet	38
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) WelhoLift Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä WelhoLift Oy:n henkilösiirtimen prototyypistä 3D-malli, koneenpiirustukset, lujuuslaskelmat sekä FEA-analyysi. Opinnäytetyössä selvitettiin millaisia vaatimuksia konedirektiivi 2006/42/EY ja lääkinällisten laitteiden direktiivi 2017/745/EU asettavat henkilösiirtimien suunnittelulle, valmistukselle ja markkinoille saattamiselle. Henkilösiirtimelle tehtiin myös riskianalyysi konedirektiivin suositusten mukaisesti. Henkilösiirtin tuli todentaa FEA-analyysin ja lujuuslaskelmien avulla turvallisesti 125 kg painavalle henkilölle. FEA-analyysissä käytettiin standardin SFS-EN 14502-2 + A1 mukaisia varmuuskertoimia.</p> <p>Henkilösiirtimen prototyypistä tehtiin 3D-malli ja koneenpiirustukset SolidWorks-ohjelmalla. Koneenpiirustukset tehtiin yleisten suunnitteluperiaatteiden mukaisesti, jotta ne olisivat mahdollisimman selkeät ja helppoluokiset. Lujuuslaskelmat tehtiin standardisarjan SFS-EN 13001 mukaisesti. FEA-analyysiä varten tehtiin yksinkertaistettu 3D-malli, joka on laskennallisesti kevyempi tietokoneelle. FEA-analyysi tehtiin Ansys Workbench -sovelluksella. Analyysin avulla tutkittiin henkilösiirtimeen kohdistuvia von Mises -jännityksiä sekä siirtimessä ilmeneviä muodonmuutoksia.</p> <p>Lujuuslaskelmilla saatiin todennettua, että suunnittelujännitykset eivät ylitä rakenteiden tai liitosten kestävyysrajoja. Jotta henkilösiirtin saadaan vietyä markkinoille, täytyy esimerkiksi tehdä väsymislujuuden kelpoisuuslaskelmat ja tekninen tiedosto sekä varmistaa, että henkilösiirtin täyttää lakien, direktiivien ja CE-merkinän asettamat vaatimukset. Tämä opinnäytetyö toimii hyvänä pohjana henkilösiirtimen jatkokehitykselle.</p>			
Avainsanat FEA-analyysi, Henkilösiirtin, Ruostumaton teräs, Konedirektiivi, Lääkinällinen laite			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering	
Author(s) Ville Herranen	
Title of Thesis Design for manufacturing and strength inspection for a person lift	
Date May 2, 2023	Pages/Appendices 38
Client Organisation /Partners WelhoLift Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The aim of this thesis was to make a 3D model, engineering drawings, strength calculations and FEA analysis of the prototype of WelhoLift Oy's person lift. In this thesis, it is explained what requirements the Machinery Directive 2006/42/EC and the Medical Device Regulation 2017/745/EU set for the design, manufacture, and marketing of person lifts. Risk analysis was made for person lift with the recommendations of the machinery directive. Using FEA analysis and strength calculations, the person lift had to be made sure it is safe for a person weighing 125 kg. Safety factors set by the standard SFS-EN 14502-2 + A1 were used in FEA analysis.</p> <p>The 3D model and the engineering drawings were made by using the SolidWorks program. The engineering drawings were made according to general design principles to make them as clear and easy to read as possible. The strength calculations were made according to the standard series SFS-EN 13001. For the FEA analysis, the simplified 3D model was made because it is easier for the computer. The FEA analysis was made using the Ansys Workbench program. The von Mises stresses and total deformations were examined with FEA analysis.</p> <p>With strength calculations, it was verified that the design stresses do not exceed the durability limits of the structures or joints. In order to it is possible to launch the person lift, for example, fatigue strength qualification calculations and a technical file must be made. Also, it must be ensured that the person lift meets the requirements set by laws, directives and the CE marking. This thesis is a good foundation for the further development of the person lift.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>FEA-analysis, person lift, stainless steel, machinery directive, medical device</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	TOIMEKSIANTAJA .....	7
2.1	WelhoLift Oy.....	7
2.2	WelhoLift Oy:n henkilösiirrin .....	7
3	POTILASNOSTIMIEN TEORIAA .....	9
3.1	Yleistä tietoa.....	9
3.2	Henkilönostinta koskevat säädökset.....	9
3.2.1	Lääkinnällisten laitteiden direktiivi .....	9
3.2.2	Koneasetus.....	10
3.2.3	Koneasetuksen mukainen koneen suunnittelu ja rakentaminen .....	10
3.2.4	Tekninen tiedosto.....	11
3.2.5	EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus .....	11
3.2.6	CE-merkintä.....	11
4	3D-MALLINNUS JA KONEENPIIRUSTUKSET .....	12
4.1	CAD-mallinnus .....	12
4.2	Koneenpiirustusten vaatimukset.....	12
4.2.1	SolidWorks .....	14
4.3	Prototyypin 3D-mallinnus .....	14
5	LUJUUSTEKNINEN TARKASTELU .....	17
5.1	Lujuuslaskentaa koskevat standardit.....	17
5.2	Rajatilat .....	18
5.3	Kuormien varmuuskertoimet.....	19
5.4	Kuormitusyhdistelmät .....	19
5.5	Rakenneosien kelpoisuuden osoittaminen.....	19
5.5.1	Ruuviliitosten kelpoisuuden osoittaminen .....	20
5.5.2	Niveltappiliitosten kelpoisuuden osoittaminen .....	22
5.5.3	Hitsausliitosten kelpoisuuden osoittaminen .....	26
6	FEA-ANALYYSI .....	30
6.1	FEA-analyysiteoria.....	30
6.2	Karsittu 3D-malli henkilösiirtimestä FEA-analyysia varten .....	30
6.3	Henkilösiirtimen FEA-analyysi.....	31

6.4	Kuormitukset .....	31
6.5	FEA-analyysin tulokset .....	32
7	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET .....	37

## KUVALUETTELO

Kuva 1.	Henkilösiirrin.....	8
Kuva 2.	Riskiarviointitaulukko .....	11
Kuva 3.	Eri mitoituksissa käytettyjä viivatyyppejä (SFS-EN ISO 128-2:2022, 8) .....	12
Kuva 4.	Piirustuspohjien koot ja piirustustilat (SFS-EN ISO 5457, 1999, 8).....	13
Kuva 5.	Valmistuspiirustuksien pohja.....	13
Kuva 6.	3D-malli rungon kokoonpanosta.....	14
Kuva 7.	Nivelkappale ja valjaiden kiinnitysosa .....	15
Kuva 8.	Radan osa.....	16
Kuva 9.	Nostureiden kelpoisuuslaskelmissa käytetty yleinen kaavio (SFS-EN 13001-1, 2015, 9).....	18
Kuva 10.	Havainnollistava kaavio rajatilamenetelmästä (SFS-EN 13001-1, 2015, 12).....	19
Kuva 11.	Ruuviliitokset nostolaitteessa .....	21
Kuva 12.	Ruuvien jännityspinta-alat (Nordic Fastening Group, 2023).....	21
Kuva 13.	Ruuvien lujuusluokat (SFS-EN 13001-1, 2015, 16).....	22
Kuva 14.	Niveltappiliitokset henkilösiirtimessä .....	23
Kuva 15.	Niveltappiliitos (SFS EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 29).....	24
Kuva 16.	Liittyvien osien eri tyypit (SFS EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 30).....	25
Kuva 17.	Jännityskonsentraatiokertoimet niveltappiliitoksille (SFS EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 31).....	26
Kuva 18.	Korvakkeiden hitsausliitokset runkoon havainnollistettuna .....	26
Kuva 19.	Varsien päihin hitsattavat laakeripesät .....	27
Kuva 20.	Hitsiliitoksien mitat (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 60.) .....	29
Kuva 21.	Karsittu FEA-malli .....	31
Kuva 22.	Voiman kohta "remote force" -käskyllä.....	32
Kuva 23.	Jännitysten jakautuminen siirtimessä .....	32
Kuva 24.	Suurimmat von Mises -jännitykset alavarressa ja työntösynterinin kannattimessa.....	33
Kuva 27.	Nykyinen osa .....	36
Kuva 28.	Paranneltu malli osasta .....	36

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä WelhoLift Oy:n henkilösiirtimen prototyypistä 3D-malli, koneenpiirustukset ja lujuustarkastelut sekä käsin laskettuna että FEA-mallin avulla. 3D-malli ja koneenpiirustukset tehdään SolidWorks 3D CAD-ohjelmalla. Henkilösiirtimen FEA-analyysi tehdään Ansys Workbench -ohjelmalla. Työ tehdään WelhoLift Oy:n toimeksiannosta. Henkilösiirrin on tarkoitus saada sarjatuotantoon ja EU:n markkinoille, joten tuotteen tulee täyttää CE-merkinnälle ja lääkinälliselle laitteelle asetetut vaatimukset. Tässä opinnäytetyössä esitellyt dokumentit noudattavat näitä vaatimuksia siinä laajuudessa kuin se on opinnäytetyön kohdalla mahdollista.

Opinnäytetyön alussa esitellään toimeksiantaja WelhoLift Oy ja kerrotaan heidän henkilösiirtolaitteestaan. Laite mahdollistaa liikuntarajoitteisten henkilöiden vapaampaan ja itsenäisempään liikkumiseen. Henkilösiirrintä voidaan käyttää arkipäiväiseen liikkumiseen ja sillä voidaan mahdollistaa eri harrastuksiin osallistumista.

Kohdan kolme alussa käydään läpi, minkä tyyppisiä potilasnostimia hoitotyössä käytetään yleisesti Suomessa. Sen jälkeen käydään läpi mitä eri lakeja, asetuksia ja direktiivejä tässä työssä käsiteltävään henkilösiirtimeen liittyy. Riskiarviointi tehdään standardin SFS-EN ISO 12100 vaatimusten mukaisesti. Standardi on apuna riskien arvioinnissa ja niiden pienentämisessä. Standardin määritykset riskien arvioinnissa perustuvat kokemuksista, tapaturmista ja epätavallisista tapahtumista koottuun tietoon.

Kohdassa neljä esitellään prototyypin 3D-mallinnuksen ja koneenpiirustuksien toteuttamisen eri vaiheita. Osion alussa kerrotaan, mitä CAD-mallinnus on ja mitä etuja se tuo mekaniikasuunnitteluun. Osiossa tutustutaan myös koneenpiirustuksien eri vaatimuksiin ja standardeihin, joissa määritellään, kuinka piirustukset tulee tehdä.

Viidennessä kohdassa tarkastellaan lujuuslaskujen teoriaa standardisarjan SFS-EN 13001-1 pohjalta. Standardisarja määrittelee nostureiden yleisiä periaatteita ja vaatimuksia. Standardisarjan osiossa kolme määritellään tavat, joiden avulla rakenteiden ja liitosten kestävyys voidaan osoittaa.

FEA-analyysin toteutustavat ja tulokset esitellään kohdassa kuusi. FEA-analyysillä tutkitaan siirtimen kohdistuvia von Mises -jännityksiä ja rakenteen siirtymiä käytön aikana. Osiossa esitellään, kuinka kontaktit ja rajaehdot määritetään malliin siten, että siirrin käyttäytyisi mahdollisimman todennukaisesti.

Viimeisessä luvussa on pohdintaa työn lopputuloksesta sekä ehdotuksia, miten siirrintä voitaisiin jatkokehittää. Opinnäytetyön lopussa on liitteinä lujuuslaskelmia henkilösiirtimen rakenteista ja liitoksista.

## 2 TOIMEKSIANTAJA

### 2.1 WelhoLift Oy

WelhoLift Oy on kuopiolainen yritys, joka tarjoaa erilaisia esteettömyysratkaisuja asiakaskohtaisesti erilaisiin päivittäisiin käyttökohteisiin. WelhoLift Oy on osa TCK Invest Oy:tä. WelhoLift Oy:n perustaja sai idean henkilösiirtimeen kaupatessaan matkailuautoja omassa yrityksessään. Matkailuautoon nousun ja auton sisällä liikkumisen lisäksi voidaan henkilösiirrintä käyttää myös muualla. Erilaisia ratkaisukokonaisuuksia voidaan hyödyntää esimerkiksi henkilösiirtotarpeisiin kotona, esteettömään siirtymiseen erilaisissa rakennuksissa, ajoneuvoihin ja matkailuauton sisällä sekä asiakaskohtaisesti räätälöityihin kohteisiin. (WelhoLift, 2020.)

### 2.2 WelhoLift Oy:n henkilösiirrin

WelhoLift Oy:n henkilösiirrin on helposti mukana kuljetettava nostolaite, joka painaa noin 12 kg (Kuva 1). WelhoLiftin nostimesta löytyy irrotettava ja ladattava akku, joka voidaan ladata joko 12, 110 tai 240 voltin jännitteellä. Laitetta voidaan käyttää myös ilman akkua samoilla jännitteillä kuin millä latauskin onnistuu. Nostolaite voidaan myös ajaa ala-asentoon kahdella 9V-paristolla. Tämä on laitteeseen kuuluva hätätoiminto. (WelhoLift, 2020.)

Henkilönostimen avulla voidaan nostaa ja siirtää henkilö pyörätuolista haluttuun paikkaan helposti ja turvallisesti. Henkilö voidaan siirtää esimerkiksi portaiden yli tai nostaa ajoneuvoon. Kun liikuntakyky heikkenee, voi apua tarvitseva jatkaa harrastustoimintaa ja muita toimintoja niin, ettei avustajalta-kaan vaadita voimaa. Kotona siirtotarpeita voivat olla esimerkiksi sängystä pyörätuoliin nouseminen tai pyörätuolista siirtyminen pesutiloihin. (WelhoLift, 2020.)

Henkilösiirrintä voidaan liikutella nostopisteiden välillä. Kiinteät nostopisteet voivat olla asennettuina esimerkiksi seinässä, lattiassa tai laiturissa. Henkilösiirrintä voidaan käyttää myös pika-asennettavissa nostopisteissä, jotka eivät vaadi kiinteää asennusta. Pika-asennettavia nostopisteitä voidaan käyttää esimerkiksi henkilö- ja matkailuautoissa. Lisää ulottuvuutta siirtolaitteeseen saadaan radan osilla. Siirtolaitteella ja siihen liitettävillä radan osilla saadaan ulottuvuutta yhteensä jopa 200 senttimetriä. Radan osat voivat olla eri pituisia ja korkuisia käyttötilanteen mukaan. (WelhoLift, 2020.)



Kuva 1. Henkilösiirrin



### 3 POTILASNOSTIMIEN TEORIAA

#### 3.1 Yleistä tietoa

Hoitotyössä fyysisesti raskaimpia työtehtäviä ovat käsin tehtävät potilassiirrot. Potilasnostimien avulla saadaan vähennettyä työntekijöiden fyysistä kuormitusta. Nostolaitetta käytettäessä myös nostettavan kokemus turvallisuudesta ja yksityisyydestä kasvaa. Käsin tehtävät potilassiirrot tarkoittavat pelkästään lihasvoimalla tehtyjä nostoja, työntöjä, vetoja, kantamisia ja rullaamisia. Potilassiirroissa tulisi välttää potilaan siirtelyä ja nostelua pelkästään lihasvoimalla. Potilasnostimilla ja ergonomiakoulutuksella voidaan kehittää hoitotyötä ja vähentää hoitotyötä tekevien henkilöiden fyysistä kuormitusta. (Korpinen, 2023; Työterveyslaitos, 2023.)

Potilasnostimet luokitellaan niiden ominaisuuksien mukaan. Erilaisia potilasnostimia ovat esimerkiksi seisomanojanostimet, kattonostimet ja liinanostimet. Seisomanojanostimilla tuetaan kuntouttavaa hoitotyötä ja niitä suositellaan käytettäväksi potilailla, joiden alaraajojen lihasvoima ei riitä seisomaan nousuun tai askeltamiseen. Seisomanojanostinten kanssa potilaan oma osallistuminen on yleensä vähäistä ja siirtotilanteessa tarvitaan kahden henkilön avustusta. (Työterveyslaitos, 2023.)

Lattialla liikuteltavia liinanostimia suositellaan käytettäväksi vuodepotilaiden lisäksi myös henkilöillä, joiden oma aktiviteetti on vähäistä siirron aikana, ja jotka eivät pysty käyttämään esimerkiksi seisomanojanostinta. Liikuteltavia nostimia käytetään myös lattialta ylös nousemiseen, mikäli potilas ei pysty omalla lihasvoimalla nousemaan seisomaan. Nostoliinoista on saatavilla erilaisia versioita riippuen potilaan kunnosta ja vartalon hallinnasta. (Työterveyslaitos, 2023.)

Kattonostimia käytetään samankaltaisissa tilanteissa kuin lattialla liikuteltavia henkilönostimia. Kattonostimien etuja on niiden vähäinen tilan tarve säilyttäessä ja potilaiden siirtely kattonostimien avulla on kevyttä. Kattonostimien rajoituksia on niiden kiinteästi asennettavat kiskot, joita pitkin nostin kulkee. Kattokiskoja asennettaessa on tarkastettava katto- ja seinärakenteiden riittävä kantavuus nostimelle. (Työterveyslaitos, 2023.)

#### 3.2 Henkilönostinta koskevat säädökset

##### 3.2.1 Lääkinnällisten laitteiden direktiivi

Lääkinnällisiä laitteita säädellään EU-tasolla kahdella eri direktiivillä. Alun perin direktiivit on julkaistu vuonna 1993 ja niitä on päivitetty vuonna 2017 (Fimea, 2023). Ne ovat nimeltään Lääkinnällisten laitteiden turvallisuuden ja suorituskyvyn varmistaminen (Direktiivi 2017/745/EU) ja In vitro -diagnostiikkaan tarkoitettujen lääkitäiden turvallisuuden ja suorituskyvyn varmistaminen (Direktiivi 2017/746/EU).

Direktiivi 2017/745/EU eli lääkitäiden laitteiden asetus (Medical Devices Regulation) säätelee lääkitäiden laitteiden valmistajien velvollisuuksista. Sen mukaan esimerkiksi laitteiden valmistajalla on sitovammat velvollisuudet valvoa valmistamiensa laitteiden laatua ja turvallisuutta sekä niiden täytyy kyetä tarjoamaan riittävä rahallinen korvaus silloin, kun laitteissa ilmenee vikoja, jotka aiheuttavat vahinkoja. Valmistajilla on lisäksi velvollisuus esimerkiksi ottaa käyttöön laadunhallintajärjestelmä. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä henkilösiirrin kuuluu tämän lääkitäiden laitteiden

asetuksen luokkaan I. (Direktiivi 2017/745/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi lääkinällisten laitteiden turvallisuuden ja suorituskyvyn varmistaminen, 2.)

Direktiivin 2017/745 5 artiklassa käsitellään laitteiden markkinoille saattamista ja käyttöönottoa. Laite voidaan saattaa markkinoille vain silloin, kun se on asianmukaisesti ja käyttötarkoituksensa mukaisesti toimitettu, asennettu ja otettu käyttöön. Valmistajien velvollisuus on varmistaa, että laite on suunniteltu ja rakennettu asetuksen vaatimusten mukaisesti. (Direktiivi 2017/745/EU, 14.) Turvallisuuden osoittamiseksi on tehtävä tämän asetuksen 61 artiklan mukainen kliininen arviointi. Kliiniseen arviointiin sisältyy mm. laitteen käyttötarkoituksen määrittäminen ja asianmukaiset kuvaukset suunnitellusta kliinisistä hyödyistä potilaille sekä yksilöidyt kliiniset tulospaarametrit. Markkinoille saattamisen jälkeen on laitteelle tehtävä kliinistä seuranta. (Direktiivi 2017/745/EU, 67.)

### 3.2.2 Koneasetus

Koneiden on täytettävä EU:n konedirektiivin 2006/42/EY vaatimukset. Koneeksi määritellään osien yhdistelmää, joka on varustettu muulla kuin ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä. Koneessa täytyy olla myös ainakin yksi tai useampi liikkuva osa. Direktiivi on laitettu käyttöön Suomessa valtioneuvoksen asetuksella 400/2008, joka on niin sanottu koneasetus. Asetuksen vaatimukset koskevat EU:n alueella markkinoille saatettavia tai valmistettavia koneita sekä EU:n ulkopuolelta tuotavia koneita. Koneasetuksessa säädetään esimerkiksi, että koneen tulee olla suunniteltu ja rakennettu asetuksen terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti. Koneesta täytyy löytyä CE-merkintä, koneen nimi, valmistajan nimi, osoite ja koneen yksilöintimerkintä. Suomessa koneen mukana tulee toimittaa EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus ruotsin- ja suomenkielisenä sekä koneen käyttö- ja huolto-ohjeet. (Tukes, 2023.)

### 3.2.3 Koneasetuksen mukainen koneen suunnittelu ja rakentaminen

Koneasetuksen yleisenä periaatteena on, että koneen valmistajan tulee varmistaa, että koneesta on tehty riskiarviointi, jotta terveys- ja turvallisuusvaatimukset voidaan määrittää. Riskiarvioinnissa valmistajan on määritettävä koneen raja-arvot, joihin sisältyy kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö ja koneen mahdollisesti aiheuttamat vaaratilanteet. Lisäksi on arvioitava riskin suuruus ja siinä tulee ottaa huomioon terveyshaitan vakavuus ja todennäköisyys. Koneetta suunniteltaessa ja rakentaessa on otettava huomioon riskiarvioinnin tulokset. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, Liite I.)

Standardi SFS-EN ISO 12100 määrittelee koneiden suunnittelun menetelmiä turvallisuuden varmistamiseksi. Standardi on suunnittelijoiden apuna riskien arvioinnissa ja niiden pienentämisessä. Riskien arviointi perustuu kokemuksiin, tapaturmista ja epätavallisista tapahtumista koottuun tietoon. (SFS-EN ISO 12100, 2010, 6.)

Kuvan 2 taulukko on tehty METSTA:n riskinarviointityökalulla, joka soveltuu koneasetuksen (400/2008) tarkoittamille koneille. Tämä työkalu pohjautuu standardiin SFS-EN ISO 12100 ja tekniseen raporttiin SFS-ISO/TR 14121-2:2013. Riskin arviointi voidaan tehdä useilla eri menetelmillä ja tämä on yksi vaihtoehto. (Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry, 2023.)

Nr No.	Työvaihe Working phase	Vaara Hazard	Vaarallinen tapahtuma Hazardous event	S	F	O	A	Riskiluokka; Risk Index	Riskin suuruus; Estimated risk	Suosittelvat toimenpiteet; Recommended actions
1	Henkilön siirto	Puristuminen	Jokin kehonosa jää puristuksiin siirtimen ollessa ylä- tai alatasennossa.	2	1	3	1	3	Kohtalainen	Rajakytkin, joka pysäyttää laitteen
2	Henkilön siirto	Puristuminen	Sormi jää puristuksiin nivelosan ja valjaiden kiinnitysraudan väliin	2	2	3	1	5	Suuri	Osien välinen etäisyys suunnitellaan suuremmaksi
3	Henkilön siirto	Isku	Nostin käyttäytyy hallitsemattomasti, jolloin vaarana iskeytyä esim. seinään	2	1	1	1	2	Vähäinen	Liikettä rajoittavia lukituksia
4	Henkilön siirto	Putoaminen	Nostimen rakenteen rikkoutuminen	2	1	3	1	3	Kohtalainen	Riittävät varmuuskertoimet lujuustarkastelussa
5	Henkilön siirto	Loukkuun jääminen	Siirtotilanteessa laitteen jumituminen	1	1	1	1	1	Vähäinen	Laitteen laskeminen varavirtalähteen avulla

Kuva 2. Riskiarviointitaulukko

### 3.2.4 Tekninen tiedosto

Teknisellä tiedostolla osoitetaan, että kone on koneasetuksen tai vastaavan konedirektiivin vaatimusten mukainen. Se tulee laatia yhdellä tai useammalla yhteisön virallisella kielellä. Tekniseen tiedostoon kuuluu mm. rakennetiedosto, jossa ovat koneen yleiskuvaus ja yleispiirustus sekä täydelliset yksityiskohtaiset piirustukset laskelmineen, testaustuloksineen, todistuksineen sekä muine tietoineen, joita tarvitaan todistamaan koneen olevan terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukainen. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, Liite VII.)

### 3.2.5 EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus

EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus koskee konetta sellaisena, kun se saatetaan markkinoille. Vaatimustenmukaisuusvakuutus ei kata loppukäyttäjän jälkeenpäin lisäämiä osia tai muita toimenpiteitä. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa tulee olla mm. valmistajan toiminimi ja täydellinen osoite sekä koneen kuvaus, tunniste, toiminta, malli ja sarjanumero. Tarvittaessa vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa tulee olla viittaus yhdenmukaistettujen standardeihin sekä muihin teknisiin standardeihin ja erittelyihin, joita on käytetty. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, Liite II.)

### 3.2.6 CE-merkintä

CE-merkinnän avulla tuotteen valmistaja tai valtuutettu edustaja vakuuttaa, että tuote täyttää EU:n direktiivit ja asetusten vaatimukset. CE-merkinnän kiinnittää tuotteeseen valmistaja tai valmistajan valtuutettu edustaja. Se pitää olla esimerkiksi leluissa, koneissa, hisseissä, sähkölaitteissa ja tietyissä rakennustuotteissa. CE-merkinnän saa kiinnittää ainoastaan sellaisiin tuotteisiin, joihin tuotelainsäädäntö edellyttää merkinnän lisäämisen. Jos CE-merkintää käytetään väärin, voivat valvovat viranomaiset puuttua asiaan ja määrätä tuotteen poistettavaksi markkinoilta. CE-merkintä ei ole turvallisuusmerkki, eikä se takaa, että tuote on laadukas tai helppokäyttöinen. Yleensä CE-merkinnän kiinnittäminen ei vaadi erillistä testautta tai tarkastuslaitoksen käyttämistä. Joissain tuoteryhmissä edellytetään, että tuotteen on arvioinut ilmoitettu laitos ennen kuin CE-merkinnän voi kiinnittää. (Tukes, 2023.)

## 4 3D-MALLINNUS JA KONEENPIIRUSTUKSET
















### 4.1 CAD-mallinnus

CAD on lyhenne sanoista Computer-Aided Design, joka tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua. CAD-ohjelmistoilla voidaan tehdä kaksi- ja kolmiulotteista mallinnusta sekä simulointia. Lähes kaikissa nykyisissä 3D-ohjelmistoissa on myös 2D-sovellus, jonka avulla tehdään 3D-malleista piirustuksia. Tietokoneavusteinen piirtäminen on syrjäyttänyt käsin piirtämisen melkein kokonaan sen etujen takia. CAD-mallinnuksen etuja ovat helppo muokattavuus ja asioiden havainnollistaminen käsin piirtämiseen verrattuna (Pere 2021, 2–4.) CAD-mallilla voidaan testata kätevästi koneiden erilaisia prototyyppisiä ja simuloida niiden toimintaa. Prototyyppien suunnittelu CAD-mallin avulla voi säästää paljon rahaa ja aikaa, kun mahdolliset virheet huomataan jo ennen varsinaisen prototyypin valmistamista.

### 4.2 Koneenpiirustusten vaatimukset

Koneenpiirustuksia säätelevät eri standardit, joita on käytetty myös tässä työssä. Standardeissa on määritetty esimerkiksi, millaiset pohjat valmistuspiirustuksilla kuuluu olla, mitä tietoja otsikkoalueessa tulee olla, kuinka paksuja viivojen kuuluu olla ja kuinka pitkiä viivojen välisten etäisyyksien tulee olla. (Pere 2021, 16–2.)

Koneenpiirustuksissa käytettävät viivat on esitetty standardissa SFS-EN ISO 128-2:2022. Standardissa esitetään kaikki yleisimmin käytössä olevat standardoidut viivatyyppit ja niiden yhdistelmät. Standardissa käydään läpi, minkä tyyppisiä viivoja käytetään esimerkiksi perusmitoissa, ruuveissa ja poikkileikkauksissa. (Pere 2021, 3–1.) Kuvassa 3 esitetty eri viivatyyppit, joita piirustuksia tehdessä voidaan käyttää.

No.	Representation	Description
01		Continuous line
02		Dashed line
03		Dashed spaced line
04		Long-dashed dotted line
05		Long-dashed double-dotted line
06		Long-dashed triplicate-dotted line
07		Dotted line
08		Long-dashed short-dashed line
09		Long-dashed double-short-dashed line
10		Dashed dotted line
11		Double-dashed dotted line
12		Dashed double-dotted line
13		Double-dashed double-dotted line
14		Dashed triplicate-dotted line
15		Double-dashed triplicate-dotted line

Kuva 3. Eri mitoituksissa käytettyjä viivatyyppisiä (SFS-EN ISO 128-2:2022, 8)

Standardissa SFS-EN ISO 5457 määritellään otsikkoalueen piirustuspuhjen koot ja rakenteet. Tätä kansainvälistä standardia voidaan soveltaa sekä tietokoneella tehtyihin että muihin teknisiin

dokumentteihin. (SFS-EN ISO 5457, 1999, 8.) Kuvassa 4 on esitetty standardin SFS-EN 5457 mukaiset piirustuspohjien koot ja piirustustilat.

Mitat mm

Merkintä	Kuva	Leikatun piirustuspohjan mitat (T)		Piirustuskenttä		Leikkaamattoman piirustuspohjan mitat (U)	
		$a_1$ 1)	$b_1$ 1)	$a_2$ $\pm 0,5$	$b_2$ $\pm 0,5$	$a_3$ $\pm 2$	$b_3$ $\pm 2$
<b>A0</b>	1	841	1 189	821	1 159	880	1 230
<b>A1</b>	1	594	841	574	811	625	880
<b>A2</b>	1	420	594	400	564	450	625
<b>A3</b>	1	297	420	277	390	330	450
<b>A4</b>	2	210	297	180	277	240	330

HUOM. Koot > A0, ks. ISO 216.  
<sup>1)</sup> Toleranssit, ks. ISO 216.

Kuva 4. Piirustuspohjien koot ja piirustustilat (SFS-EN ISO 5457, 1999, 8)

Otsikkoalueen määrittelyyn käytetään apuna kansainvälistä standardia SFS-EN ISO 7200, jossa esitetään otsikkoalueen tietokentät teknisissä piirustuksissa. (Pere 2021, 16–4.) Pakollisia otsikoita ovat omistaja, otsikko, asiakaskirjatyyppi, tekijä, hyväksyjä, piirustusnumero, julkaisupäivämäärä ja arkin numero. Otsikkoalueelle voidaan täyttää myös muita tietoja, kuten kappaleen massa, osan materiaali, kuvasuhde ja arkin koko. (SFS-EN ISO 7200, 2004, 10.) WelhoLiftin valmistuspiirustuksille tehtiin oma pohja standardien mukaisesti (Kuva 5).

8 7 6 5 4 3 2 1

F F

E E


D D

C C

B B

A A

8 7 6 5 4 3 2 1

Massa (kg)	Scale	Document type	Designed by	V. Herranen
Material	1,4307	Valmistuspiirustus	Approved by	V. Herranen
Legal owner	Legal owner	Description	Part number	730104
		Runko	Date of issue	23.2.2023
			Sheet number	1/1

GENERAL TOLERANCES, DIMENSIONS WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATIONS.  
MACHINING: ISO 2768-mk  
WELDING: [EN] ISO 13920; WELDING QUALITY: [EN] ISO 5817 LEVEL C  
THERMAL CUTTING: [EN] ISO 9013-132

Kuva 5. Valmistuspiirustuksen pohja

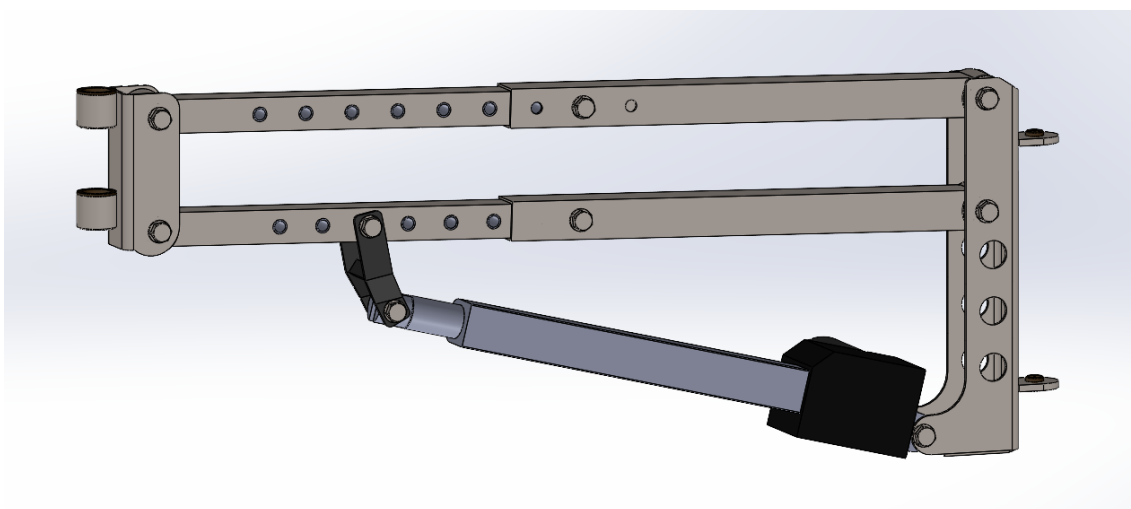
#### 4.2.1 SolidWorks

SolidWorks CAD -ohjelmisto on mekaaniseen suunnitteluun optimoitu sovellus, joka mahdollistaa sen, että suunnittelija voi luonnostella nopeasti ideoita ja kokeilla eri kappaleiden ominaisuuksia sekä mittoja. SolidWorksilla luodaan pääsääntöisesti 3D-malleja, joiden pohjalta voidaan tehdä 2D-piirustuksia. 2D-piirustuksia käytetään apuna tuotteiden valmistuksessa tehtaissa ja konepajoissa. SolidWorks -ohjelmalla tiedonsiirto on tehty mahdollisimman helpoksi muiden eri CAD-ohjelmien välillä. SolidWorks -ohjelmalla on mahdollista lukea 28 eri tiedonsiirtoformaattia ja luoda 27 eri formaattia. (CadWorks, 2023.)

SolidWorks -ohjelmasta löytyy esimerkiksi ohutlevytyökalu, jota hyödynnettiin tässä työssä runkojen mallintamisessa. Levyjä saadaan taivutettua ohutlevytyökalulla, jonka avulla koneenpiirustuksien tekeminen on helpompaa. Ohutlevytyökalulla saadaan yhdestä 3D-mallista tehtyä valmistuspiirustus taivuttamattomasta ja taivutetusta levyosasta. SolidWorks Simulation -analyysiohjelmalla voidaan tarkastella mallinnetun kappaleen lujuutta. Tässä työssä käytetään kuitenkin Ansys Workbench -ohjelmaa henkilösiirtimen lujuustarkasteluun. (CadWorks, 2023.)

#### 4.3 Prototyypin 3D-mallinnus

Henkilösiirtimen prototyypistä tehdään 3D-malli, jota hyödynnetään valmistuspiirustusten ja FEM-analyysin teossa. Henkilösiirtimen 3D-mallinnus tehdään SolidWorks 2021 CAD -ohjelmalla. Henkilösiirtimen prototyypistä otetaan mitat rullamitan ja työntömitan avulla, joiden avulla 3D-malli piirretään tietokoneella. Nostolaitteen 3D-mallintaminen aloitetaan rungosta ja sen osista, minkä jälkeen malliin lisätään runkoon liitettävät apulaitteet. Mallintamisen aikana pohditaan erilaisia ratkaisuja ja helpoimpia mahdollisia valmistusmenetelmiä. Nostolaitteen mallintamisessa keskitytään rungon ja siihen liitettävien apuosien piirtämiseen, eikä niinkään sähkölaitteiden, kuten moottorin tai akun piirtämiseen. Kuvassa 6 on rungon osista tehty 3D-kokoonpanomalli ja kuvassa 7 näkyy runkoon liitettävät lisäosat kokoonpanossa.

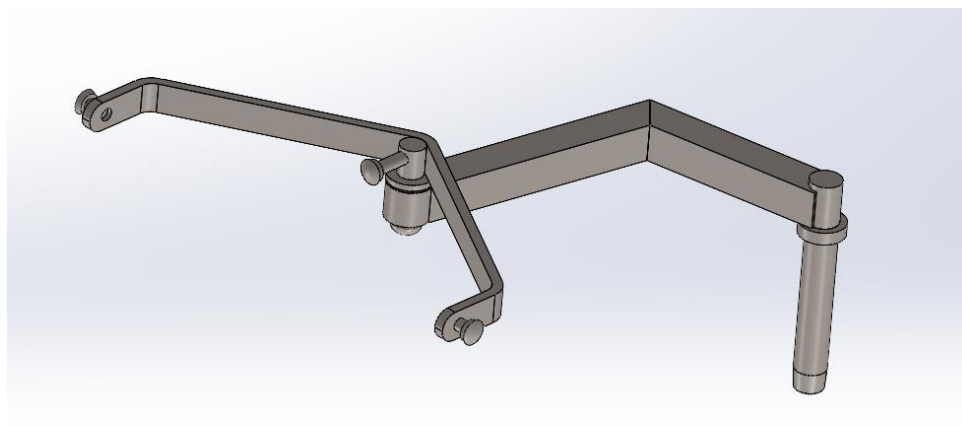


Kuva 6. 3D-malli rungon kokoonpanosta

Nostolaitteen 3D-mallintaminen aloitetaan rungon osista, jotka on valmistettu kahden tai kolmen millimetrin paksuisesta ruostumattomasta teräksestä. Kaksi poikittaista palkkia on valmistettu

neliöputkesta, jotka liukuvat toistensa sisään ja ne voidaan lukita pultilla tiettyyn kohtaan käyttötärpeen mukaan. Sisempien neliöputkien reikiin asennetaan holkit kitkaliitoksella, jotta ruuvien aiheuttamat voimat jakautuvat isommalle alueelle, eikä pelkästään neliöputkien seinämiin. Palkkien päihin hitsataan holkit, joihin saadaan asennettua kuulalaakerit. Laakereina käytetään 6002RS-kuulalaakereita, jotka asennetaan kitkaliitoksilla laakeripesän sisään. Laakerit kestävät 2,85 kN:n voiman, joka on reilusti enemmän kuin niihin kohdistuva voima nostolaitetta käytettäessä. Laakereiden keski-reikiin väliin asennetaan ahdistussoviteella holkit, joiden läpi voidaan viedä kiinnityspultit.

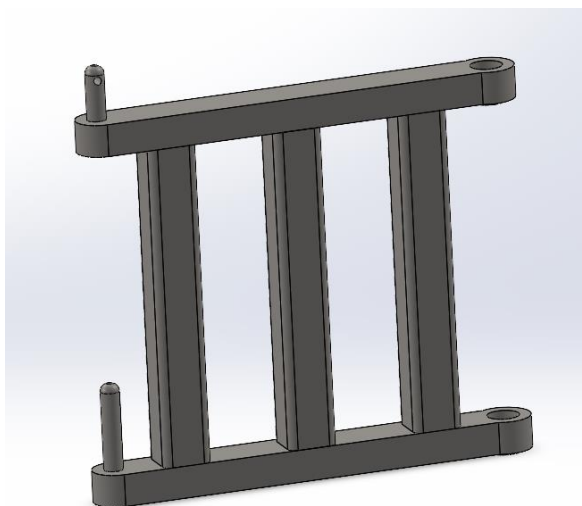
Nostolaitteen etuosassa oleviin holkkeihin ja takarungon korvakkeisiin asennetaan muoviset liukulaakerit, joissa liitettävät osat pääsevät pyörimään lähes kitkattomasti. Muovisten liukulaakereiden etuna on niiden soveltuvuus käytettäväksi ilman voitelua. Muoviset liukulaakerit ovat edullisia ja ne on helppo asentaa paikalleen. Muoviset liukulaakerit ovat myös kevyitä, eivätkä lisää laitteen painoa ja tarvittaessa ne voidaan vaihtaa helposti.



Kuva 7. Nivelkappale ja valjaiden kiinnitysosa

Henkilösiirtimen etuosaan voidaan kiinnittää erilaisia nivelinä toimivia osia, jotka helpottavat henkilön siirtämistä ja kääntelyä ahtaisiin paikkoihin. Kuvassa 7 on mallinnettuna nivel, joka toimii apuna henkilön siirtämisessä henkilöautoon matkustajan paikalle. Kun henkilö nostetaan henkilöautoon kuljettajan paikalle, käytetään samantyyppistä niveltä, jossa taivutettu palkki on peilikuvana toiseen niveleen verrattuna.

Henkilösiirrin kiinnitetään seinään, laituriiin tai tolppaan radan osien avulla. Niitä voidaan liittää monta peräkkäin, minkä ansiosta nostolaitteen ulottuvuus pitenee ja henkilö saadaan siirrettyä ahtaisiin paikkoihin helposti. Kuvassa 8 on 3D-mallinnettuna yksi radan osa. WelhoLiftillä on erimuotoisia ja -kokoisia radan osia eri käyttökohteisiin. Nostolaitteen pysyminen radan osassa voidaan varmistaa sokalla, jolle on porattu reikä tappiin.



Kuva 8. Radan osa



## 5 LUJUUSTEKNINEN TARKASTELU

### 5.1 Lujuuslaskentaa koskevat standardit

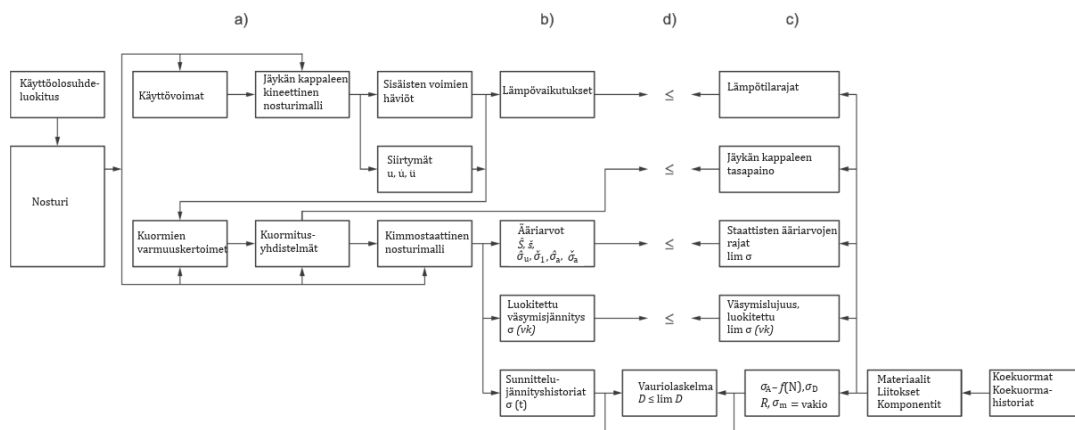
Tässä opinnäytetyössä sovelletaan useita tuotestandardeja, joita voidaan käyttää nostolaitteen lujjuustarkastelussa. SFS-EN 13001-1 -standardia sovelletaan nostureiden yleissuunnittelussa sekä yleisissä periaatteissa ja vaatimuksissa. Tämä standardi tarjoaa yhden vaihtoehdon nostureiden mekaaniseen suunnitteluun ja teoreettiseen todentamiseen konedirektiivin sekä terveys- ja turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi. SFS-EN 13001-1 -standardia käytetään yhdessä standardien SFS-EN 13001-2 ja SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018 kanssa. Edellä mainituissa standardeissa määritellään suunnittelua koskevat ehdot ja vaatimukset mekaanisten vaarojen välttämiseksi. Standardia SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018 sovelletaan tässä työssä teräsrakenteiden rajatilojen ja kelpoisuuden osoittamiseksi. Nosturien kelpoisuuslaskelmien yleinen kaavio esitetään kuvassa 9. (SFS-EN 13001-1, 2015, 5, 9; SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 6–7.)

Standardi SFS-EN ISO 12100 luokittelee standardit eri ryhmiin hierarkian mukaan. Standardiryhmiä ovat A, B, B1, B2 ja C. A-tyyppin standardeja kutustaan turvallisuuden perusstandardeiksi ja ne käsittelevät yleisesti koneissa sovellettavia perusteita, näkökohtia ja suunnitteluperiaatteita. B-tyyppin standardit ovat turvallisuuden ryhmästandardeja ja niitä voidaan käyttää useissa koneryhmissä. Ne käsittelevät yhtä turvallisuusnäkökohtaa tai suojausteknistä laitetta. Standardit, jotka käsittelevät yksittäisiä turvallisuusnäkökohtia, esimerkiksi melua ja turvaetäisyyksiä, luokitellaan B1-luokan standardeiksi. Suojausteknisiä laitteita säätelevät ryhmän B2 standardit. Suojausteknisiä laitteita ovat esimerkiksi suojukset, kytkentälaitteet ja kosketuksen tunnistavat laitteet. C-tyyppin standardit ovat konekohtaisia turvallisuusstandardeja ja ne käsittelevät tiettyjen koneiden tai koneryhmien yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia. Esimerkiksi SFS-EN ISO 12100 on A-tyyppin standardi ja SFS-EN 13001-1 on C-tyyppin standardi. (SFS-EN ISO 12100, 2010, 5.)

Standardin SFS-EN 13001-1 (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 5) mukaan

[s]euraava lista kattaa olennaiset vaaratilanteet, jotka saattavat johtaa henkilövahinkoon tavallisessa käytössä ja ennakoitavissa väärinkäyttötilanteissa. --

- a) nosturin tai sen osien epätasapaino (kaatuminen)
- b) lujjuuden rajojen ylittäminen (myötääminen, murtuminen, väsyminen)
- c) nosturin tai sen osien elastinen epätasapaino (nurjahdus, lommahdus)
- d) materiaalin tai komponenttien lämpötilarajojen ylittäminen
- e) muodonmuutoksen rajojen ylittäminen



Kuva 9. Nostureiden kelpoisuuslaskelmissa käytetty yleinen kaavio (SFS-EN 13001-1, 2015, 9)

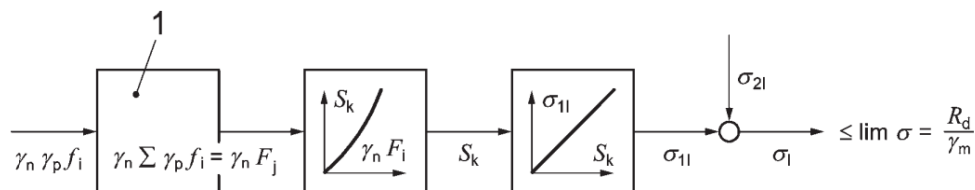
## 5.2 Rajatilat

Rajatilat ovat nosturin komponenttien tai materiaalien tiloja, jotka ylittessä johtaa nosturin käyttöominaisuuksien menettämiseen. Rajatiloja on kahta eri tyyppiä, murtumisrajatyyppi ja käytettävyysrajatila. Murtumisrajatiloja ovat koneen rakenteissa tapahtuvat pysyvät muodonmuutokset, komponenttien tai liitosten pettäminen, elastisen tasapainon menetys ja koneen tai sen osien epätasapaino. Näitä ovat esimerkiksi kriittisten säröjen muodostuminen, nurjahdus, lommahdus ja kaatuminen. Käytettävyysrajatiloja ovat käyttöä haittaavat muodonmuutokset, värinä ja lämpötilarajojen ylittyminen. Muodonmuutokset voivat vaikuttaa liikkuvien osien toimintaan, värinä voivat vahingoittaa nosturin rakenteita tai kuljettajaa ja esimerkiksi moottori voi ylikuumentua. (SFS-EN 13001-1, 2015, 11.)

Jotta laitteen kelpoisuus voidaan osoittaa siltä osin, ettei murtumisrajatiloja ole ylitetty, on laadittava selvitykset rakenneosien, liitosten ja komponenttien lujuuden osoittamiseksi staattisen ja kvasistaattisen kuormituksen sekä jaksottaisen kuormituksen alaisena. Lisäksi on laadittava selvitykset nosturin ja sen osien tasapainon sekä nosturin vakavuuden osoittamiseksi. Käytettävyysrajatiloista on todennettava, ettei niitä ole ylitetty eli on tarkasteltava ja tarvittaessa osoitettava muodonmuutokset, värähtelyt ja lämpövaikutukset. (SFS-EN 13001-1, 2015, 11.)

Kelpoisuuden osoittamiseksi käytetään rajatilamenetelmää, jota voidaan soveltaa kaikkiin nosturijärjestelmiin. Kuvassa 10 on esitetty havainnollistava kaavio rajatilamenetelmästä. Ominaiskuormat  $F_i$ , jotka sisältävät dynaamiset kertoimet  $\phi_i$  on laskettava ja kuvattava. Tarvittaessa on käytettävä osavarmuuskerrointa  $\gamma_p$  tai reduoitua osavarmuuskerrointa  $\gamma_p$  yhdistettynä voimiin  $F_j$ . Voimat  $F_j$  voidaan kertoa myös sopivalla riskikertoimella  $\gamma_n$ . Lopullista kuormitusvaikutusta  $S_k$  määrittäessä tulee käyttää tuloa  $\gamma_n \cdot F_j$  esimerkiksi rakenteellisten tai mekaanisten osien sisäisissä voimissa tai niveliin ja kannattimiin kohdistuvissa voimissa. Sen osoittamiseksi, ettei myötäämistä tai elastista epätasapainoa esiinny, suunnittelujännitykset  $\sigma_1$  lasketaan ja yhdistetään jännityksiin  $\sigma_2$ , jotka lasketaan käyttäen sopivaa osavarmuuskerrointa ja tarvittaessa riskikerrointa.

Edellä mainitulla tavalla laskettua suunnittelujännitystä  $\sigma_1$  on verrattava suunnittelujännityksen rajaan  $\sigma$ . Raja saadaan selville materiaalien, liitosten tai komponenttien ominaislujuuksista tai ominaisuuskestävyydestä  $R_d$ . (SFS-EN 13001-1, 2015, 12.)



Kuva 10. Havainnollistava kaavio rajatilamenetelmästä (SFS-EN 13001-1, 2015, 12)

### 5.3 Kuormien varmuuskertoimet

Standardissa SFS-EN 14502-2+A1 käsitellään henkilönostolaitetta koskevia lisävaatimuksia. Standardissa annetaan yleiset periaatteet kelpoisuuden osoittamiseksi. Liitteessä A on kerrottu eri osien ja kuormavaikutusten varmuuskertoimet. Kantavatile rakenteille ja kannattimille dynaamisen kertoimen tulee olla vähintään 1,35 ja varmuuskertoimen standardien ja suunnittelusääntöjen mukaisesti vähintään 1,5. Nostokyvyn mukaiselle kuormalle on myös annettu samat varmuuskertoimet kuin edellä mainituille kantaville rakenteille ja kannattimille. Rajatiloiksi on määritetty myötöraja ja/tai muut standardien ja niiden suunnittelusääntöjen mukaiset raja-arvot. (SFS-EN 14502-2+A1, 19.)

### 5.4 Kuormitusyhdistelmät

Kuormitusyhdistelmäksi kutsutaan sellaista tilannetta, jossa samanaikaisesti esiintyvät kuormat on asetettu siten, että kuormavaikutukset saavuttavat niiden ääriarvonsa tarkastelunalaisessa tilanteessa. Kaikki kuormien suuruudet, asemat ja suunnat on valittava siten, että äärimmäiset kuormavaikutukset esiintyvät tarkastelun kohteena olevan laitteen rakenneosissa. Jotta kriittisten rakenteiden äärimmäiset kuormavaikutukset saadaan selville, on tutkittava useita eri kuormitustapauksia. (SFS-EN 13001-1, 2015, 10.)

### 5.5 Rakenneosien kelpoisuuden osoittaminen

Suunniteltavien rakenneosien kelpoisuus osoitetaan ehdoilla

$$\sigma_{sd} \leq f_{Rd\sigma} \text{ ja } \tau_{sd} \leq f_{Rd\tau} \quad (1)$$

joissa  $\sigma_{sd}$  ja  $\tau_{sd}$  ovat suunnittelujännityksiä. Niiden tilalla voidaan käyttää Von Mises -vertailujännityksiä.  $f_{Rd\sigma}$  ja  $f_{Rd\tau}$  ovat suunnittelujännityksen rajoja, joiden tulee olla suuremmat kuin edellä mainitut suunnittelujännitykset. Jos todentamisessa käytetään von Misesin jännitystä, rajana käytetään arvoa  $f_{Rd\sigma}$ . (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 19.)

$\sigma_{sd}$ -suunnittelujännityksenä käytetään von Misesin jännityksiä, jotka saadaan Ansys Workbench -sovelluksella tehdyllä FEA-analyysillä. Suurimmat von Mises -jännitykset, jotka kohdistuvat runkoon, ovat noin 430 MPa. Standardi SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018 antaa materiaalivalinnoille suositukset, joiden mukaan rakenneosien materiaalit pitäisi valita (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 12). Nostolaite valmistetaan suurimmaksi osaksi austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä, joka

tulisi valita standardin SFS-EN 10088-2 mukaisesti. Alemman varren tukireaktiot on laskettu liitteessä 3. Alavarren ja työntösylinterin välisen kannakkeen von Mises -jännitykset ovat niin suuret, että sen valmistaminen on kannattavampaa nuorrutetusta rakenneteräksestä kuin ruostumattomasta teräksestä. Nuorrutetut lujat rakenneteräkset valitaan standardista SFS-EN 10025-6. Suurin kannakkeeseen kohdistuva von Mises -jännitys on 512 MPa, jonka materiaalin tulisi vähintään kestää.

Rakenneosien mitoitukseen käytettävä suunnittelujännityksen raja  $f_{Rd}$  lasketaan erikseen normaali-jännityksille ja leikkausjännityksille seuraavilla kaavoilla

$$f_{Rd\sigma} = \frac{f_y}{\gamma_{Rm}} \text{ normaali-jännityksille} \quad (2)$$

$$f_{Rdt} = \frac{f_y}{\gamma_{Rm}\sqrt{3}} \text{ leikkausjännityksille} \quad (3)$$

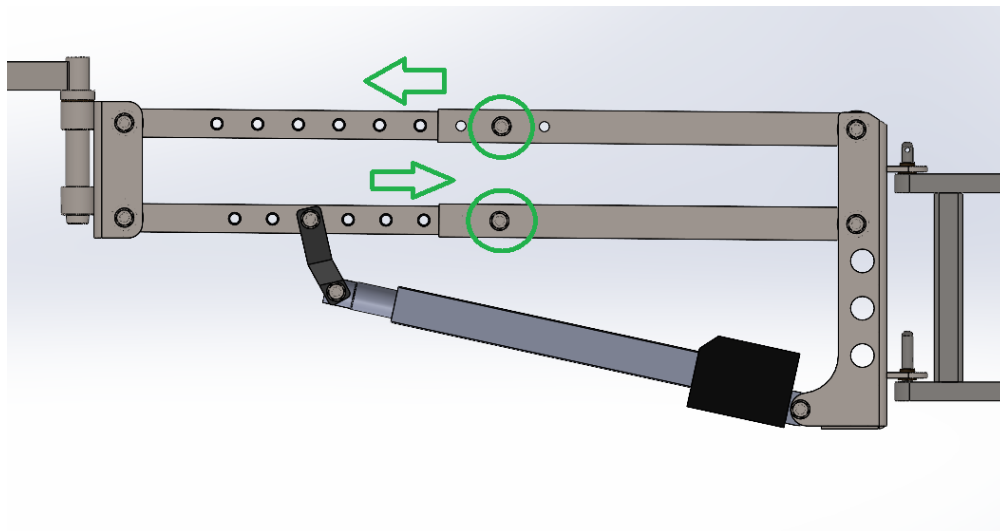
kun  $\gamma_{Rm} = \gamma_m \cdot \gamma_{sm}$ .

Kaavoissa  $f_y$  on materiaalin myötöraja ja  $\gamma_{sm}$  on materiaalin kestävyyskerroin, joka on valssaamattomille materiaaleille  $\gamma_{sm}=0,95$ . Valssatuille materiaaleille, esimerkiksi levyille ja profiileille  $\gamma_{sm}=0,95$  jännityksille valssaussuunnassa. Puristus- ja leikkausjännityksille  $\gamma_{sm}=0,95$ .

Kun kaavaan 2  $f_{Rd\sigma} = \frac{450 \text{ N/mm}^2}{1,1 \cdot 0,95} = 430 \text{ N/mm}^2$  sijoitetaan luvut, saadaan tiedoksi, että ruostumattoman teräksen myötörajan tulee vähintään olla  $450 \text{ N/mm}^2$ , mutta lujuusvarmuuden lisäämiseksi mielellään suurempi. Nuorrutetun rakenneteräksen tulee kaavan 2  $f_{Rd\sigma} = \frac{540 \text{ N/mm}^2}{1,1 \cdot 0,95} = 516 \text{ N/mm}^2$  mukaan olla vähintään  $540 \text{ N/mm}^2$ , jotta se kestää rakenteeseen kohdistuvat jännitykset. Standardin SFS-EN 10025-6 listaamista materiaaleista rakenneteräs S550Q on kestävyydeltään lähimpänä lujuusarvoa  $540 \text{ N/mm}^2$ .

### 5.5.1 Ruuviliitosten kelpoisuuden osoittaminen

Henkilösiirtimessä on kaksi ruuviliitosta. M10-pulteilla estetään neliöputkien liukuminen toisiinsa nähden. Ruuviliitokset lasketaan leikkautumisvoiman perusteella, koska liitospintoja ei kiristetä tiukasti toisiaan vasten. Liitoksissa, joissa kitkavoima on suurempi kuin ruuvin leikkautumisvoima, lasketaan ruuviliitoksen raja kitkaliitoksen perusteella. Kuvassa 11 esitetään henkilösiirtimen ruuviliitokset. (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 16–17.)



Kuva 11. Ruuviliitokset nostolaitteessa

Kuormitetuimman osan ja jokaisen liitoksen vauriomuodon tulee täyttää ehto

$$F_{sd} \leq F_{Rd} \quad (4)$$

missä  $F_{sd}$  on liitoksen osan suunnitteluvoima riippuen liitostyypistä ja  $F_{Rd}$  on suunnitteluvoiman raja riippuen liitostyypistä. (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 33).

Ruuvien suunnitteluleikkausvoiman raja lasketaan kaavalla

$$F_{v,Rd} = \frac{f_{yb} \cdot A}{\gamma_{Rb} \cdot \sqrt{3}} \quad (5)$$

missä  $f_{yb}$  on ruuvin myötörajan nimellinen arvo,  $A$  on ruuvin varren poikkipinta-ala leikkautumistason kohdalla ja  $\gamma_{Rb}$  ruuvin kokonaisuuskestävyyskerroin, kun  $\gamma_{Rb} = \gamma_m \cdot \gamma_{sbs}$ . (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 21). Koska ruuvin leikkautumistaso on kierteen kohdalla, käytetään nimellistä jännitys-salaa (kuva 12).

Kierre	Nimellinen jännitysala mm <sup>2</sup>
M3	5,03
M3,5	6,78
M4	8,78
M5	14,2
M6	20,1
M7	28,9
M8	36,6
M10	58
M12	84,3

Kuva 12. Ruuvien jännityspinta-alat (Nordic Fastening Group, 2023)

Ruuvien kokonaiskestävyyskerroin lasketaan kaavalla

$$\gamma_{Rb} = \gamma_m * \gamma_{sbs} \quad (6)$$

missä  $\gamma_m$  on yleinen kestävyyskerroin 1,1, joka on ilmoitettu standardissa SFS-EN 13001-2 ja  $\gamma_{sbs}$  on 1,3 liitoksille, joissa on yksi leikkautumistaso (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 19, 21). Kuvassa 13 esitetään erilaisten ruuvien lujuusluokkien myötö- ja murtolujuudet. Liitteessä 2 laskettu henkilösiirtimen ruuviliitokset.

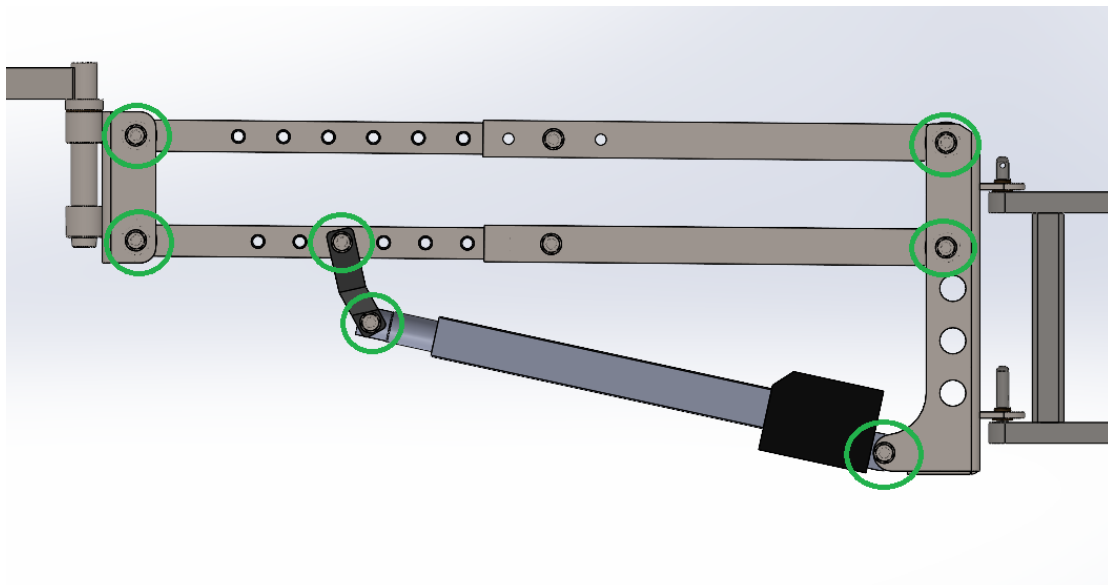
Ruuvien lujuusluokka	4.6	5.6	8.8	10.9	12.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	300	640	900	1 080
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	500	800	1 000	1 200

Kuva 13. Ruuvien lujuusluokat (SFS-EN 13001-1, 2015, 16)

### 5.5.2 Nivel tappiliitosten kelpoisuuden osoittaminen

Standardissa SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018 määritetään nivel tappiliitoksiksi sellaiset liitokset, jotka eivät rajoita osien välistä kiertymistä. Tarkastelun kohteena olevat nivel tappit voivat olla muodoiltaan vain pyöreitä. Standardin vaatimukset soveltuvat nivel tappiliitoksiin, jotka ovat kuormaa kannattelevia. Vaatimuksia ei sovelleta nivel tappiliitoksiin, jotka eivät ole kuormaa kannattelevia, vaan muutoin sopivia kiinnitystapoja. Nivel tappin ja reiän välisen välyksen tulee noudattaa standardin SFS-EN ISO 286-2:2010 h13- ja H13-toleransseja. Jos liitoksiin kohdistuu vaihtokuormitusta, täytyy käyttää pienempiä toleransseja. Kaikkien nivel tappien tulee olla varustettuja pidättimillä, jotka estävät nivel tappin irtoamisen. (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 17.)

Henkilösiirtimessä on seitsemän kappaletta nivel tappiliitoksia, jotka näkyvät kuvassa 14. Poikittaisten varsien päissä on asennettuina laakerit, jotka kiinnitetään joko etu- tai takarunkoon M10-pulteilla. Myös sähkömoottori ja sen työntösynteri kiinnitetään M10-pulteilla takarunkoon ja alempaan poikittaiseen varteeseen. Henkilösiirtimen nivel tappiliitoksien kelpoisuuslaskut ovat liitteessä 1.



Kuva 14. Nivelteppiliitokset henkilösiirtimessä

Standardi SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018 antaa ohjeet nivelteppien mitoitukselle. Niveltepeille ja niihin liitettäville osille on osoitettava kestävyys alla olevilla ehoilla

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (7)$$

$$F_{vp,sd} \leq F_{vp,Rd}$$

$$F_{bi,sd} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{vd,sd} \leq F_{vs,Rd}$$

$$F_{vd,sd} \leq F_{vt,Rd}$$

missä  $M_{Sd}$  on nivelteppin taivutusmomentin suunnitteluarvo,  $M_{Rd}$  on suunnittelutaivutusmomentin raja,  $F_{vp,sd}$  on nivelteppin leikkausvoiman suunnitteluarvo,  $F_{vp,Rd}$  on suunnitteluleikkausvoiman raja,  $F_{bi,sd}$  on epäsuotuisin reunapuristusvoiman suunnitteluarvo nivelteppiliitoksen liittyvässä levyssä  $i$ ,  $F_{b,Rd}$  on suunnittelu reunapuristusvoiman raja,  $F_{vd,sd}$  on liittyvän osan suunnitteluvoima,  $F_{vs,Rd}$  on liittyvän osan suunnitteluleikkausvoiman raja ja  $F_{vt,Rd}$  on liittyvän osan suunnitteluvetovoiman raja. (SFS EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 34.)

Tarkemman tutkimuksen puutteessa voidaan nivelteppintaivutusmomentin suunnitteluarvona  $M_{Sd}$  käyttää seuraavaa olettamusta

$$m_{Sd} = \frac{F_b}{8} \cdot (2 \cdot t_1 \cdot t_2 + 4 \cdot s) \quad (8)$$

missä  $F_b$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  ja  $s$  ovat kuvassa 15 esitettynä (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 34).

Nivelteppien suunnittelutaivutusmomentin raja lasketaan kaavalla

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot F_{yp}}{\gamma_{Rp}} \quad (9)$$

missä  $W_{el}$  on niveltapin elastinen taivutusvastus,  $F_{yp}$  on niveltapin materiaalin myötölujuus ja  $\gamma_{Rp}$  on ruuvin kokonaiskestävyyskerroin.

Niveltappien suunnitteluleikkausvoiman raja lasketaan kaavalla

$$F_{vp,Rd} = \frac{1}{u} \cdot \frac{A \cdot f_{yp}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{Rp}} \quad (10)$$

missä  $u$  on muotokerroin umpinaisille niveltapeille,  $A$  on niveltapin poikkipinta-ala,  $F_{yp}$  on niveltapin materiaalin myötölujuus (minimiarvo) ja  $\gamma_{Rp}$  on ruuvin kokonaiskestävyyskerroin. (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 28.)

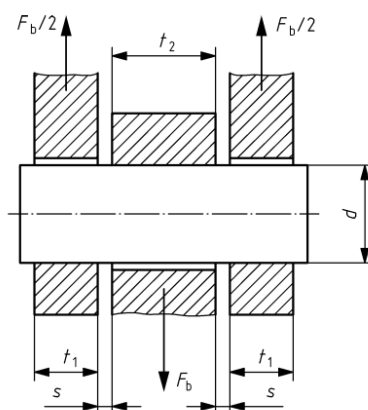
Suunnittelu reunapuristusvoiman raja lasketaan kaavalla

$$F_{b,Rd} = \frac{a_b \cdot d \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{Rp}} \quad (11)$$

kun  $\gamma_{Rb} = \gamma_m \cdot \gamma_{spb}$

missä  $a_b = \begin{cases} f_{yp} \\ f_y \\ 1,0 \end{cases}$

$f_y$  on liitettyjen osien materiaalin myötölujuus,  $f_{yp}$  on niveltapin materiaalin myötölujuus,  $d$  on niveltapin halkaisija ja  $t$  liittyvien osien paksuus. Valitaan joko  $t_1$  tai  $t_2$  riippuen, kumpi liitettävistä osista on ohuempi. Toisin sanoen  $2 \cdot t_1$  tai  $t_2$ . Kuvassa 15 havainnollistetaan liitettävät osat  $t_1$  ja  $t_2$ .  $\gamma_{spb}$  on määritelty kestävyyskerroin reunapuristusvoimalle niveltappiliitoksissa.  $\gamma_{spb} = 0,6$  silloin, kun liittyvät osat monileikkeisissä liitoksissa pidetään tiukasti yhdessä kiinni esimerkiksi muttereilla niveltapin päissä.  $\gamma_{spb} = 0,9$  yksileikkeisille liitoksille tai kun liittyviä osia ei pidetä tiukasti kiinni monileikkeisessä liitoksessa. (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 29.)



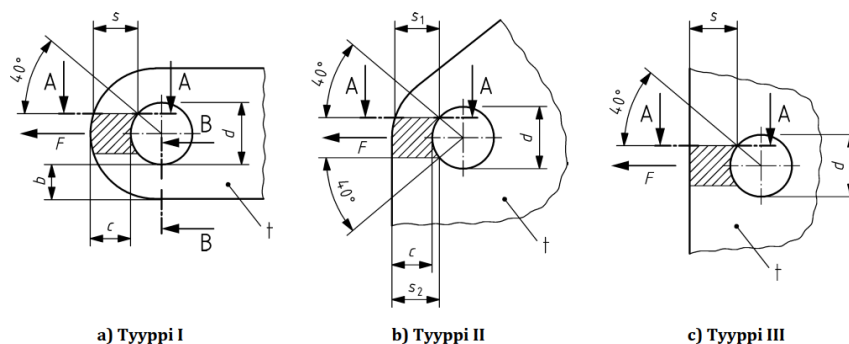
Kuva 15. Niveltappiliitos (SFS EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 29)

Liittyvien osien suunnitteluleikkausvoiman raja lasketaan kaavalla

$$F_{vs,Rd} = \frac{A_s \cdot f_y}{\gamma_m \cdot \sqrt{3}} \quad (12)$$



missä  $A_s = 2 \cdot s \cdot t$ . Valitaan kuvan 16 symmetrisistä vaihtoehdoista joko a tai c riippuen liittyvän osan reunan muodosta ja siitä katsotaan arvot  $s$  ja  $t$ . Jos liittyvän osan reunan muoto on pyöreä, valitaan kuvan 16 tyyppi I tai jos liittyvän osan reunan muoto on tasainen, valitaan tyyppi III. Kuvan 16 tyyppin II reunan muoto on epäsymmetrinen ja silloin käytetään kaavaa  $A_s = (s_1 + s_2) \cdot t$ . Kuvan 16 tyyppin II rakenteessa molempien pituuksien  $s_1$  ja  $s_2$  on oltava suurempia kuin  $c$ .  $f_y$  on tarkastelun kohteena olevan rakenneosan myötölujuus ja  $A_s$  on perusaineen palamurtuman leikkauksen rasittama leikkauspinta-ala.  $s$ ,  $s_1$  ja  $s_2$  ovat perusaineen palamurtuman leikkauksen rasittamat leikkauspituudet. Kuvan 16 mukaisille rakenteille palamurtuman poikkileikkaus on A-A ja leikkauspituudet määritetään 40 asteen säännöllä kuten kuvissa on havainnollistettu. Liitosten mittasuhteiden on oltava sellaiset, että  $c$  ja  $s$  ovat yhtä suuria tai suurempia kuin  $0,8 \cdot d$ .  $t$  on tarkastelun kohteena olevan osan paksuus. (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 30.)



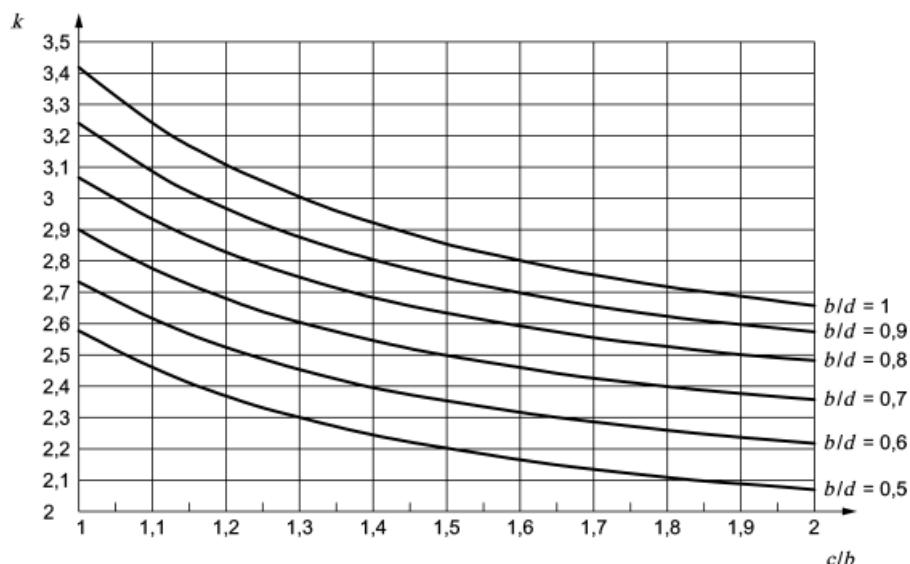
Kuva 16. Liittyvien osien eri tyypit (SFS EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 30)

Suunnittelujännityksen raja kuvan 16 a) mukaiselle tapaukselle lasketaan kaavalla

$$F_{vt,Rd} = \frac{2 \cdot b \cdot t \cdot f_y}{k \cdot \gamma_m \cdot \gamma_{spt}} \quad (13)$$

$$\text{kun } \gamma_{spt} = \frac{0,95}{\sqrt{k}} \cdot \frac{1,38 \cdot f_y}{f_u} \quad (14)$$

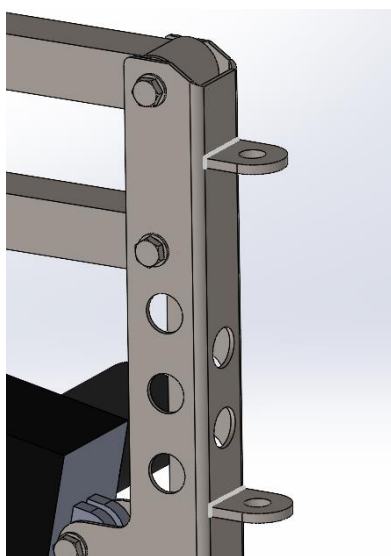
missä  $f_y$  on tarkastelun kohteena olevan rakenneosan myötölujuus ja  $f_u$  on tarkastelun kohteena olevan rakenneosan murtolujuus.  $\gamma_{spt}$  on määritelty kestävyyskerroin vedolle niveltappiliitoksissa ja  $k$  on jännityskonsentraatiokerroin. Maksimi- ja keskijännityksen suhde on tarkasteltavissa poikkileikkauksessa kuvan 16 I tyyppin rakenteelle, jonka mittasuhteet ovat  $1 \leq c/b \leq 2$  ja  $0,5 \leq b/d \leq 1$ . Jännityskonsentraatiokerroin voidaan ottaa kuvasta 17. Reiän ja niveltapin välisen välyksen tulee olla standardin SFS-EN ISO 286-2:2010 toleranssin H11 tai h11 mukainen. Tapauksissa, joissa välyys on suurempi, käytetään kertoimen  $k$  suurempia arvoja. (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 31.)



Kuva 17. Jännityskonsentraatiokertoimet niveltappiliitoksille (SFS EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 31)

### 5.5.3 Hitsausliitosten kelpoisuuden osoittaminen

Standardissa SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018 hitsausliitoksilla tarkoitetaan rakenneosien tai komponenttien välisiä liitoksia, jotka on tehty sulahitsausmenetelmällä. Hitsausliitosten kelpoisuus laskelmat löytyvät liitteestä 4. Hitsausliitoksiin sovelletaan standardin SFS-EN ISO 5817 mukaisia hitsiluokkia. Kuormaa kantavien hitsausliitosten tulee olla vähintään hitsiluokan C mukaisia, kun taas hitsiluokkaa D voidaan soveltaa hitsausliitoksiin, joissa hitsin vaurioituminen ei johda rakenteen merkittävään vaurioon tai kuormien putoamiseen. Staattisesti kuormitettujen hitsien suunnittelussa ei tarvitse huomioida jäännösjännityksiä tai muita jännityksiä, jotka eivät siirrä voimia hitsin yli. (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 17.)

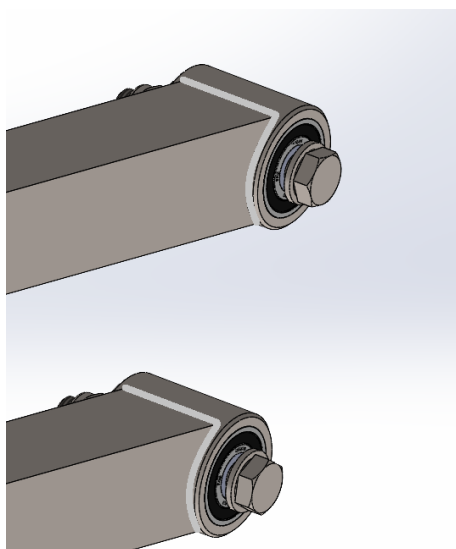


Kuva 18. Korvakkeiden hitsausliitokset runkoon havainnollistettuna

Nostolaitteen runkoon hitsataan korvakkeet 8 mm paksuisesta ruostumattomasta teräksestä. Kuvassa 18 esitetään korvakkeiden ja rungon väliset hitsausliitokset. Niiden avulla laite kiinnittyy radan osaan (kuva 8). Nostolaitteen varsien päihin hitsataan laakeripesät, kuten kuvassa 19 on esitetty. Nostolaitteen etuosassa olevien liukulaakereiden holkit hitsataan myös kiinni eturunkoon. Holkin ja eturungon väliin hitsataan täytehitsiä, jotta holkkiin kohdistuva voima jakautuu suuremmalle alueelle eturunkoon. Hitsattavien materiaalipaksuuksien takia hitsien a-mitat voivat olla käytännössä vain 3 mm, mutta hitsiliitoksille lasketaan varmuuden vuoksi raja-arvot työn myöhemmässä vaiheessa.

Laakeripesät joudutaan jälkikoneistamaan hitsauksen jälkeen, koska hitsauksen aikana kappaleeseen syntyy muodonmuutoksia, eikä kuulalaakeri välttämättä enää asetu paikoilleen pesään. Henkilösiirtimen päätyrungot valmistetaan 3 mm paksuisesta ruostumattomasta teräslevystä, jotka särmäävät muotoonsa. Ennen levyn särmäämistä voidaan suora levy leikata muotoonsa joko laser- tai plasmaleikkurilla. Samalla levyyn saadaan leikattua kevennykset ja muut tarvittavat kiinnitysreiät. Laserleikkuri on parempi vaihtoehto kuin plasmaleikkuri, koska se on tarkempi ja se jättää leikattuun kappaleeseen paremman pinnanlaadun.

Ruostumattoman teräksen tulee olla raerajakorroosion kestävä. Ilmiötä, jossa teräs tulee taipuvaiseksi raerajakorroosiolle, kutsutaan herkistymiseksi. Raerajakorroosio aiheutuu suurista lämmöntonnin vaiheista esimerkiksi teräksen kuumamuokkauksessa tai hitsauksessa, jossa 550–850 °C lämpötilassa erkaantuvista kromikarbideista muodostuu kromista köyhtynyt vyöhyke. Teräksen hiilipitoisuus vaikuttaa herkistymisnopeuteen. Nykyaikaiset teräkset, joiden hiilipitoisuus on alle 0,05 %, eivät altistu niin helposti raerajakorroosiolle. Erittäin hankalissa käyttöolosuhteissa tai korkean hitsausenergian kanssa voidaan käyttää matalahiilisiä teräslaatuja, joiden hiilipitoisuus on maksimissaan 0,04 %. Ti-, Nb- tai Ti+Nb-stabiloinnin avulla saadaan estettyä hiilen vaikutus raerajoilla tapahtuvaan kromikarbidien erkaantumiseen. (Kyröläinen & Lukkari 2002, 44.)



Kuva 19. Varsien päihin hitsattavat laakeripesät

Suunniteltaville hitsiliitoksille on osoitettava niiden kestävyys kaavalla

$$\sigma_{w,sd} \text{ ja } \tau_{w,sd} \leq f_{w,Rd} \quad (15)$$

missä  $\tau_{w,sd}$  ja  $\sigma_{w,sd}$  ovat hitsien suunnittelujännityksiä ja  $f_{w,Rd}$  on hitsien suunnittelujännitysten raja. Hitsausliitosten suunnittelujännitysten raja  $F_{w,Rd}$  riippuu perusaineen ja lisäaineen materiaalista, hitsilajista, jännityslajista sekä hitsin laadusta. Taulukossa 1 olevista yhtälöistä riippuen suunnittelujännityksen raja lasketaan joko kaavalla

$$F_{w,Rd} = \frac{a_w \cdot F_y}{\gamma_m} \quad (16)$$

tai

$$F_{w,Rd} = \frac{a_w \cdot F_{uw}}{\gamma_m} \quad (17)$$

missä  $a_w$  on taulukossa 1 annettava kerroin, joka riippuu hitsi- ja jännityslajista sekä materiaalista.  $F_y$  on liitettävien osien materiaalien myötölujuuden minimiarvo,  $F_{uw}$  on lisäaineen murtolujuus ja  $\gamma_m$  on yleinen kestävyyskerroin. (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 32.)

Taulukko 1. Kerroin hitsien suunnittelujännitysten rajan määrittämiseksi

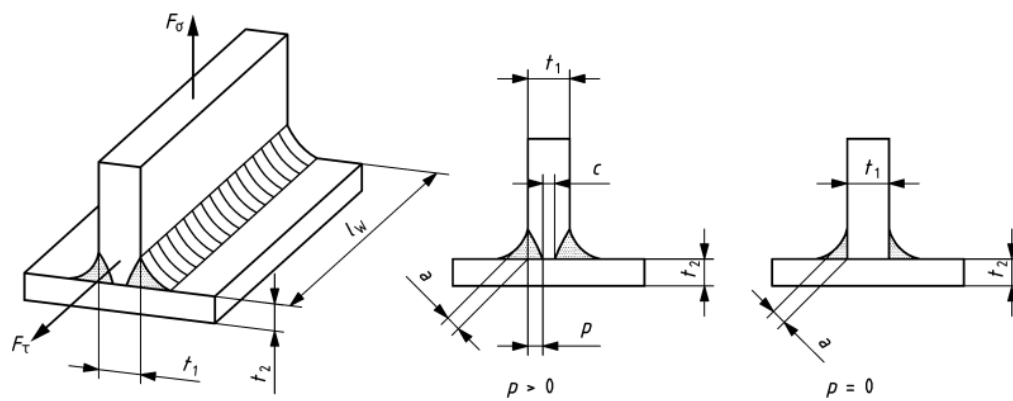
Lisäainelaji	Jännityksen suunta	Hitsilaji	Jännityslaji	Yhtälön numero	$\alpha_w$		
					$f_y \leq 420$ N/mm <sup>2</sup>	$f_y > 420$ $f_y < 930$ N/mm <sup>2</sup>	$f_y \geq 930$ N/mm <sup>2</sup>
Tasaluja ( $f_y$ viittaa hitsattuihin osiin)	Hitsiä kohtisuoraan oleva normaalijännitys	Täysin läpihitsattu	Veto tai puristus	21	1,0		- <sup>b)</sup>
		Osittain läpihitsattu <sup>a)</sup>	Veto tai puristus	21	0,90		- <sup>b)</sup>
	Hitsin pituusakselin suuntainen jännitys	Kaikki hitsilajit	Leikkaus	21	0,60		- <sup>b)</sup>
Aliluja ( $f_y$ viittaa lisäaineeseen)	Hitsiä kohtisuoraan oleva normaalijännitys	Täysin läpihitsattu	Veto tai puristus	22	0,80	0,85	0,90
		Osittain läpihitsattu <sup>a)</sup>	Veto tai puristus	22	0,70	0,75	0,80
	Hitsin pituusakselin suuntainen jännitys	Kaikki hitsilajit	Leikkaus	22	0,45	0,50	0,50

T-hitsin liitos voi olla joko vajaa- tai täystunkeuma. Molemmissa tapauksissa suunnittelunormaalijännitys  $\sigma_{w,sd}$  ja suunnitteluleikkausjännitys  $\tau_{w,sd}$  lasketaan seuraavilla kaavoilla:

$$\text{Normaalijännityksille: } \sigma_{w,sd} = \frac{F_\sigma}{2 \cdot w \cdot l_r} \quad (18)$$

$$\text{Leikkausjännityksille: } \tau_{w,sd} = \frac{F_\tau}{2 \cdot w \cdot l_r} \quad (19)$$

missä  $F_\sigma$  on hitsin siirtämä normaalivoima ja  $F_\tau$  on hitsin siirtämä leikkausvoima.  $w$  on hitsin tehollinen paksuus, kun  $w = a + p$  ja hitsien oletetaan olevan symmetrisiä.  $l_r$  on hitsin tehollinen pituus ja se lasketaan kaavalla  $l_r = l_w - 2 \cdot w$ . Edellä mainitut termit on esitetty kuvassa 20. (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 59.)



Kuva 20. Hitsiliitoksen mitat (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018, 60.)

## 6 FEA-ANALYYSI

### 6.1 FEA-analyysiteoria

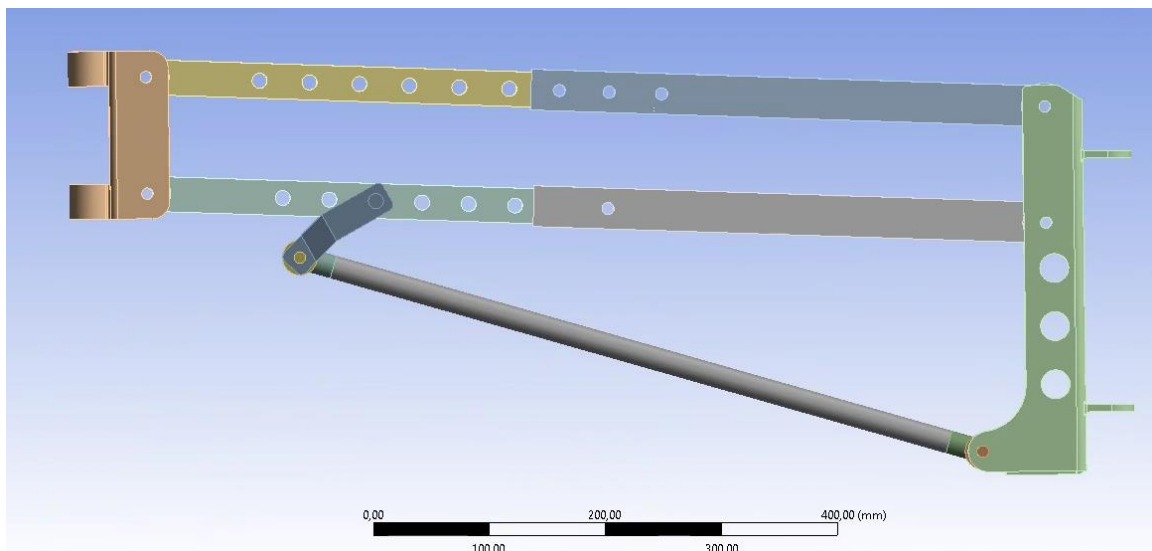
FEA on lyhenne sanoista Finite Element Analysis. Se tarkoittaa elementtimenetelmällä suoritettua laskentaa. FEA-analyysistä käytetään usein puhekielessä lyhennettä FEM, joka koostuu sanoista Finite Element Method. FEA-analyysissä tutkittavat kappaleet esitetään elementtiverkkoina, jotka muodostuvat kolmiulotteisista, tasomaisista tai janatyypisistä elementeistä. FEA-laskentaa hyödynnetään rakenteiden muodon ja materiaalikäytön optimoimisessa sekä rakenteen kestävyuden tarkastelussa. Lujuuslaskenta tarkastelee kappaleiden käyttäytymistä voimien vaikutuksen alaisena. Tutkimusten perusteella on muodostettu lujuushypoteeseja, joiden avulla voidaan suorittaa rakenteille lujuusopillisia analyysejä. Analyysien avulla voidaan päätellä, kestävätkö kappaleet vaurioitumatta niihin kohdistuvien voimien alaisena. (Vertex, 2023.)

FEA-analyysit voivat olla epälineaarisia tai lineaarisia. Lineaarinen menetelmä on epälineaarista nopeampi ja helpompi. Epälineaarista laskentaa hyödyntämällä saadaan kuitenkin todenmukaisempia tuloksia kuin lineaarisella menetelmällä. Rakenteen yleisen rasitustilan ja rakenteen käyttörajan jähkkyuden määrittämisessä voidaan käyttää lineaarisia laskentaa. Lineaarista menetelmää ei voida käyttää murtorajan analysoinnissa, koska murtorajalähtö on aina epälineaarista. Lineaarissa FEA-analyysissä käytetään yksinkertaistuksia, minkä vuoksi tulokset eivät ole aina täysin todenmukaisia ja niitä tulee tulkita varauksella. Rakenteen muodonmuutosten ja siirtymien oletaminen liian pieniksi rakenteen todelliseen kokoon verrattuna on esimerkki yksinkertaistuksesta. Lisäksi rakenteen kiertymiä saatetaan olettaa pienemmiksi kuin ne todellisuudessa ovat. (Vertex, 2023.)

### 6.2 Karsittu 3D-malli henkilösiirtimestä FEA-analyysia varten

Aluksi henkilösiirtimen 3D-mallista poistetaan osia, jotka eivät ole olennaisia analyysin kannalta. Kuvassa 21 on karsittu 3D-malli analyysiä varten. Kun mallista karsitaan osia, analyysistä saadaan laskennallisesti kevyempi tietokoneelle, joten laskenta-aika pienenee huomattavasti. Karsitut osat korvataan FEA-mallissa kontakteilla ja rajaehdoilla vastaamaan todenmukaista siirtimen käyttäytymistä kaikkien osien ollessa asennettuna laitteeseen.

Liukulaakerit voidaan poistaa kokonaan tästä analyysistä, koska ne eivät vaikuta tarkasteltaviin tuloksiin. Varsien päissä olevat kuulalaakerit voidaan korvata kontakteilla, joten nekin voidaan poistaa mallista. Mallista poistettiin melkein kaikki pultit lukuun ottamatta työntösynterin kiinnitykseen tarvittavia. Poikittaisten varsien rei'issä olevat holkit poistettiin myös karsitusta mallista, koska niillä ei ole suurta merkitystä tuloksien kannalta. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pelkästään henkilösiirtimen rungon lujuustarkasteluun, sen takia FEA-analyysiin ei lisätä radan osia eikä valjaiden kiinnitykseen tarvittavia osia.



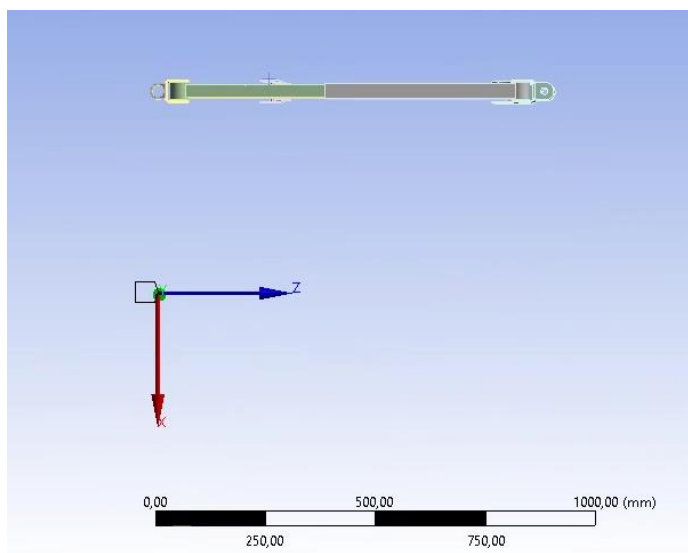
Kuva 21. Karsittu FEA-malli

### 6.3 Henkilösiirtimen FEA-analyysi

FEA-mallissa kuulalaakereiden tilalla käytetään "revolute"-kontakteja ja silloin osat pääsevät kiertymään kitkattomasti toisiinsa nähden laakerin tavoin, mutta eivät pysty irtaantumaan toisistaan. Takarungon ja alavarren välissä on sähkömoottorilla toimiva työntösyylinteri, jolla nostolaitetta liikutellaan ylös ja alas. Tämän henkilösiirtimen tapauksessa työntösyylinterin tilalle FEA-malliin laitetaan "beam"-kontakti. Poikittaisten varsien liukuminen toisiinsa nähden estetään pulttien avulla. FEA-mallissa pulttien toimintaa vastaa "no separate"-käsky, joka estää varsien liukumisen toisiinsa nähden. Henkilösiirtimen rungossa oleviin korvakkeisiin laitetaan "fixed support"-kontaktit, joilla siirrin pysyy paikoillaan. Todellisuudessa korvakkeilla kiinnitettäisiin henkilösiirrin radan osaan.

### 6.4 Kuormitukset

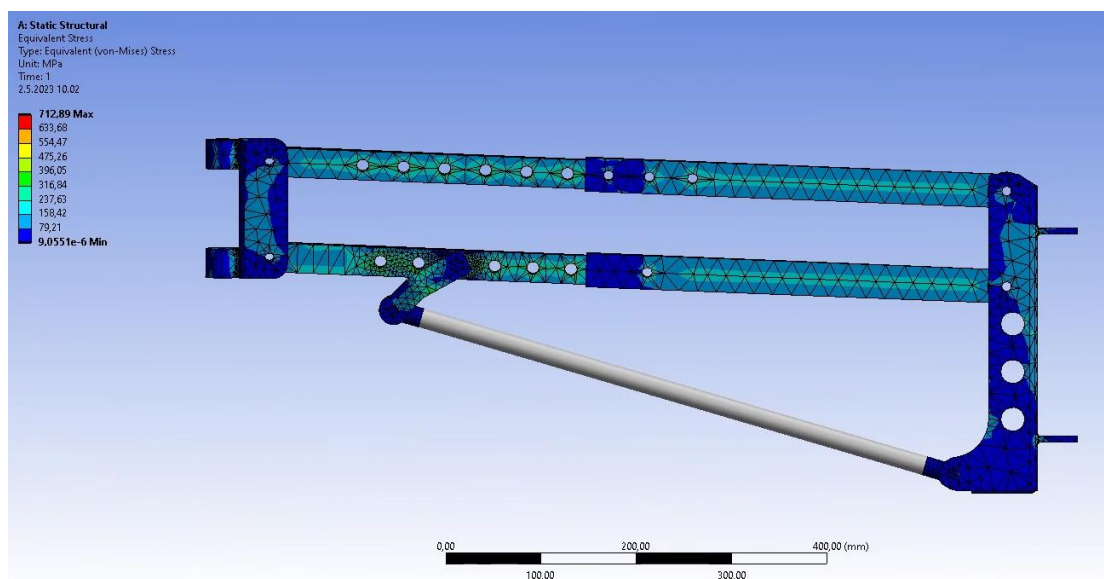
Henkilösiirtimen tulee olla turvallinen 125 kg painavalle ihmiselle. FEA-analyysin avulla tutkitaan, kuinka suuria jännityksiä siirtimeen kohdistuu ja millaisia siirtymiä siirtimen rungossa ilmenee. Standardin SFS-EN 14502-2 + A1 mukaan nostettaville kuormille käytetään vähintään 1,35 dynaamista varmuuskerrointa nostokyvyn mukaisille kuormille. (SFS-EN 14502-2 + A1, 19.) Kun 125 kilogramman aiheuttama voima kerrotaan varmuuskertoimella 1,35, saadaan voiman suuruudeksi 1643 N. Voima asetetaan 460 mm päähän henkilösiirtimestä (kuva 22). Tällöin nostettava henkilö on siirtimen rakenteen kannalta kuormittavimmassa kohdassa. FEA-analyysissä siirrettävän henkilön massan aiheuttama kuorma laitetaan "remote force"-käskyllä siirtimen etuosaan muovisten liukulaakereiden kohdalle.



Kuva 22. Voiman kohta "remote force" -käskyllä

## 6.5 FEA-analyysin tulokset

FEA-analyysissä tutkitaan rakenteiden von Mises -jännityksiä sekä osien siirtymiä. "Equivalent stress"-analyysin avulla nähdään, kuinka suuria von Mises -jännityksiä rakenteeseen kohdistuu ja saadaan suuntaa antava arvio siitä, kuinka suuria kestävyksiä materiaaleilta vaaditaan. Tuloksesta saadaan aina tarkempi mitä tiheämpää elementtiverkkoa analyysissä käytetään, mutta tiheämpi verkotos nostaa aina laskenta-aikaa. Tässä analyysissä elementtiverkkoa tihennettiin alavarressa sylinterin kohdalta, jossa jännitykset olivat suurimpia. Suurin jännitys, joka kohdistuu henkilösiirtimeen, on 712 MPa. Se ilmenee kontaktin kohdalla pultin ja alavarren välissä pistemäisenä jännityksenä, joten voidaan olettaa sen olevan epätodellinen, eikä sitä tarvitse ottaa huomioon tuloksissa.

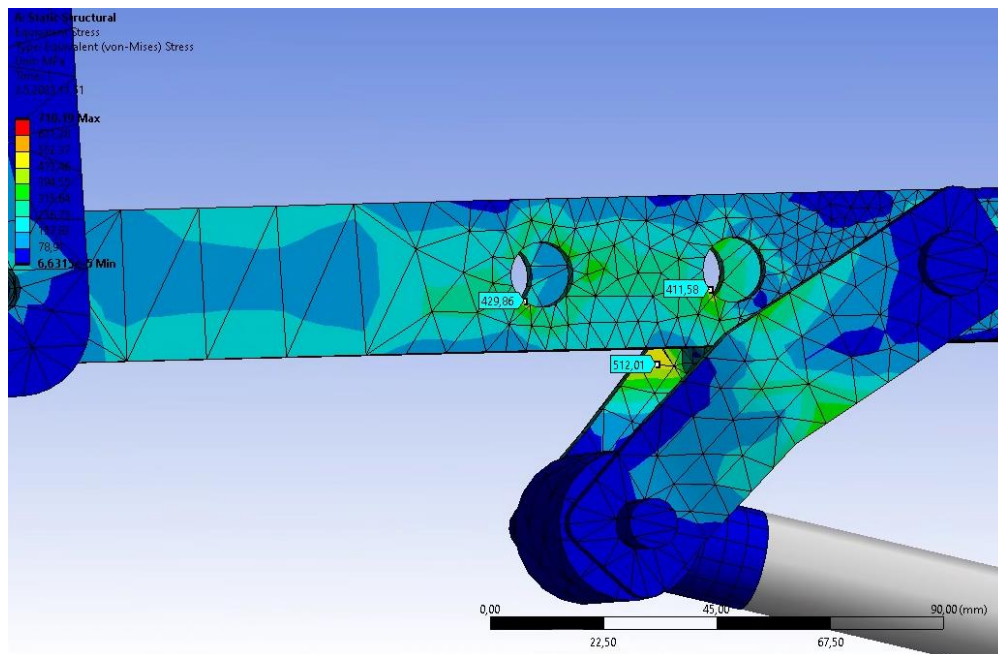


Kuva 23. Jännitysten jakautuminen siirtimessä

Jännitysten jakautuminen henkilösiirtimessä näkyy kuvassa 23. Suurimmat von Mises -jännitykset kohdistuvat henkilösiirtimessä alempaan poikittaiseen varteen ja työntösylinterin kannakkeeseen.



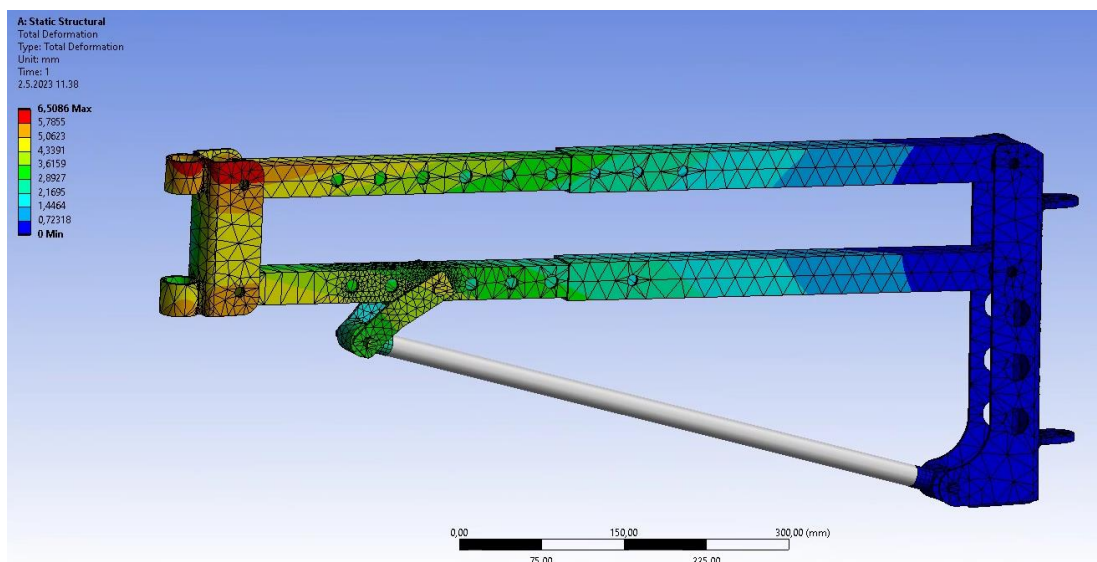
Alemmassa varressa suurin jännitys on noin 430 MPa, joka kohdistuu pultin kiinnitysreikien ympärille. Työntösynterinin kiinnikkeeseen kohdistuu koko henkilösiirtimen suurin jännitys, joka on noin 512 MPa.



Kuva 24. Suurimmat von Mises -jännitykset alavarressa ja työntösynterinin kannattimessa

Työntösynterinin ja alavarren välinen osa (kuva 24) joudutaan valmistamaan jostakin muusta teräksestä kuin ruostumattomasta, koska siihen kohdistuvat von Mises -jännitykset ovat niin suuria. Osa voidaan valmistaa esimerkiksi rakenneteräksestä, jonka myötölujuus on vähintään 512 MPa.

Suurimmat muodonmuutokset (kuva 25) tapahtuvat henkilösiirtimen etuosassa, johon kohdistuu suurin voima siirrettävän henkilön massasta. Etuosassa ylemmän liukulaakerin holkin kohdalla muodonmuutos on noin 6,5 millimetriä. Muodonmuutos tulee suurimmaksi osaksi poikittaisista varsista, jotka hieman joustavat voiman ollessa ääriäisyydellä. Materiaaleilla, joiden myötölujuus on suurempi kuin von Mises -jännitykset, muodonmuutos on elastista eli siirrin palautuu alkuperäiseen muotoonsa kuormituksen vapauduttua.



Kuva 25. Muodonmuutokset henkilösiirtimessä

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön aikana tehtiin henkilösiirtimestä 3D-malli, FEA-analyysi, koneenpiirustukset ja lujuuslaskelmat standardien mukaisesti. Henkilösiirtimen prototyypistä tehtiin Solidworks-ohjelmalla 3D-malli, minkä avulla pystyttiin tekemään koneenpiirustukset valmistusta varten. 3D-mallia tarvittiin myös Ansys Workbench -sovelluksessa, jolla tehtiin henkilösiirtimestä FEA-analyysi. 3D-mallista tehtiin FEA-analyysiä varten yksinkertaistettu malli. Yksinkertaistetun mallin analysointi on tietokoneelle laskennallisesti kevyempi, joten laskenta-aika vähenee huomattavasti. Henkilösiirtimen tulee olla turvallinen 125 kg painavalle henkilölle, joten FEA-analyysissä ja käytettiin 1,35 dynaamista varmuuskerrointa kuormassa standardin SFS-EN 14502-2 + A1 mukaisesti. FEA-analyysissä henkilön painoa vastaava voima (1643 N) asetettiin mahdollisimman epäedulliseen kohtaan henkilösiirtimen rakenteiden kestävyuden kannalta. Näin saatiin varmistettua, etteivät rakenteisiin kohdistuvat jännitykset ylitä materiaalien myötölujuuksia.

Koneenpiirustukset pyrittiin tekemään hyvien koneenpiirustussääntöjen mukaisesti, jotta kuvat olisivat mahdollisimman helppolukuisia ja ymmärrettäviä. Kun koneenpiirustuksia tehtiin, mietittiin henkilösiirtimen valmistusta, jotta osista saataisiin mahdollisimman helposti valmistettavia. Joihinkin prototyypin osiin tehtiin pieniä muutoksia FEA-analyysin perusteella. Muutoksilla osien muotoilua parannettiin sellaiseksi, että niiden von Mises -jännitykset pienentyivät. FEA-analyysillä saatiin käsitys siitä, kuinka suuria jännityksiä henkilösiirtimeen kohdistuu ja mitkä kohdat rakenteesta ovat suurimpien jännityksien alaisina.

Työssä selvitettiin myös, mitä EU:n markkinoille saatettavaan koneeseen vaaditaan eri direktiivien ja asetusten mukaan. Vaatimuksia ovat esimerkiksi CE-merkintä, tekninen tiedosto, EY-vaatimusten mukaisuusvakuutus sekä käyttö- ja huolto-ohjeet (Tukes, 2023). Lujuuslaskennat tehtiin henkilösiirtimestä standardisarjan SFS-EN 13001 mukaisesti. Standardisarjasta ei kuitenkaan löydy kaikkia sellaisia laskentaohjeita, joita olisi WelhoLifin henkilösiirtimen prototyypin laskelmissa tarvittu. Niiden kelpoisuuksien todentaminen jäi tämän työn ulkopuolelle, koska olisi ollut hyvin työlästä selvittää, mitä eri standardeja ja todentamistapoja olisi voinut käyttää.

Henkilösiirtimeen ei valittu yhtä tiettyä valmistusmateriaalia, koska materiaalien valintaan vaikuttaa muun muassa niiden saatavuus ja hinta. Henkilösiirtimiä tullaan aluksi valmistamaan ruostumattomasta teräksestä, samoin kuin prototyyppi. Jatkokehityskohteenä tulee olemaan alumiinisen version suunnittelu, jotta henkilösiirtimen painoa saataisiin vähennettyä ja laitteen siirrettävyys sekä käsittely helpottuisi. FEA-analyysi ja lujuuslaskennat asettavat materiaalille kestävyysvaatimuksia, jotka sen täytyy täyttää.

Tämä opinnäytetyö toimii pohjatyönä, kun henkilösiirtintä ryhdytään jatkosuunnittelemaan ja saattamaan markkinoille. Vaikka tässä opinnäytetyössä tutustuttiin henkilösiirtimiin liittyviin lakeihin ja direktiiveihin, on niihin syytä perehtyä vielä tarkemmin, jotta tuote varmasti täyttää kaikki niiden esittämät vaatimukset. Opinnäytetyötä tehtäessä yllätyksenä tuli, kuinka paljon eri standardeja, direktiivejä ja lainsäädäntöä henkilösiirtimiin kohdistuu, kun niitä aletaan tuotteistamaan markkinoille.

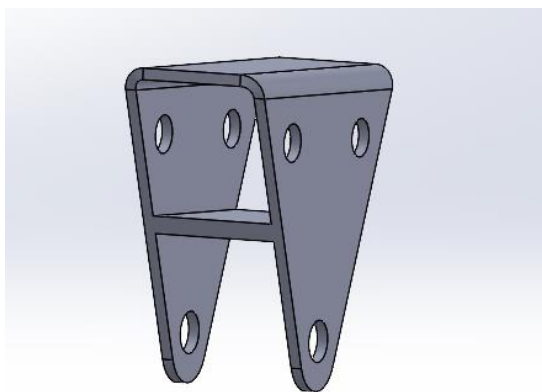
Tehdessäni opinnäytetyötä henkilösiirtimestä huomasin, että varsien päihin hitsattavia laakeripesiä sekä työntösynterinin ja alavarren välistä osaa voisi kehittää edelleen. Varsien päissä olevat

laakeripesät ovat hankalia valmistuksen kannalta. Jos holkit koneistetaan ennen hitsaamista, saattaa niihin tulla niin paljon muodonmuutoksia, etteivät laakerit asetu kunnolla paikoilleen. Nykyisellä valmistusmenetelmällä laakeriholkit esikoneistetaan ja sen jälkeen ne hitsataan kiinni varsiin. Hitsaamisen jälkeen laakeripesät joudutaan jälkikoneistamaan ja se on hankala ja kallis prosessi. Parempi ratkaisu voisi olla, että käytetään nykyistä pienempiä laakereita ja porataan niille reiät varsiin. Tällä toteutustavalla saadaan vähennettyä hitsaamista sekä koneistamista.

Kuvassa 26 on nykyinen osa, jolla työntösylinteri kiinnitetään varteen. Nykyinen osa kiinnitetään yhdellä pultilla alavarteen, joten kaikki voimat työntösylinteristä kohdistuvat pienelle alalle pultin kiinnitysreiän alueelle. Kuvassa 27 on tekemäni ehdotus osasta, jolla sylinteri voidaan kiinnittää varteen paremmin. Uusi osa on kestävämpi ja se jakaa alavarteen kohdistuvaa voimaa suuremmalle alalle. Tekemässäni vaihtoehtoisessa osassa kiinnitys tapahtuu kahdella pultilla. Paranneltua osaa pystytään siirtämään liu'uttamalla putkea pitkin käyttötarpeen mukaan.



Kuva 26. Nykyinen osa



Kuva 27. Paranneltu malli osasta

## LÄHTEET

CadWorks. Verkkopalvelu. <https://www.cadworks.fi/fi/products/solidworks-3d-cad>. Viitattu 26.4.2023.

Direktiivi 2017/745/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi lääkinnällisten laitteiden turvallisuuden ja suorituskyvyn varmistaminen. Euroopan unionin virallinen lehti 24.04.2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02017R0745-20200424&from=EN>. Viitattu 13.2.2023.

Fimea. Verkkopalvelu. [https://www.fimea.fi/laakinnalliset\\_laitteet/laakinnallisiin-laitteisiin-liittyvalainsaadanto](https://www.fimea.fi/laakinnalliset_laitteet/laakinnallisiin-laitteisiin-liittyvalainsaadanto). Viitattu 27.1.2023.

Työterveyslaitos. Verkkopalvelu. <https://www.ttl.fi/oppimateriaalit/ergonomian-tietopankki/hoito-ja-hoivatyo/potilassiirrot>. Viitattu 31.1.2023.

Kyröläinen Antero & Lukkari Juha, 2002. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy

Korpinen. Verkkopalvelu. <https://www.korpinen.com/tuotteet/perussivu/tillgangligt-utom-for-mikrober-no>. Viitattu 27.1.2023.

Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Verkkopalvelu. <https://metsta.fi/koneturvallisuuden-standardit-metsta/riskinarviointityokalu/>. Viitattu 27.4.2023.

Nordic Fastening Group. Verkkopalvelu. <https://www.nfgab.fi/tekniikka-ja-laatu/tekniset-tiedot/vahvuus/metrinen-karkeakierre>. Viitattu 7.3.2023.

Pere, Aimo 2021. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Hannun Tasapaino Oy.

SFS-EN ISO 128-2:2022 Technical product documentation (TPD). General principles of representation. Part 2: Basic conventions for lines (ISO 128-2:2022) 2022. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/1155795.html.stx>. Viitattu 12.3.2023

SFS-EN ISO 12100 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen 2010. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/164706.html.stx>. Viitattu 26.4.2023.

SFS-EN 13001-1 Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 1: Yleiset periaatteet ja vaatimukset 2015. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/399990.html.stx>. Viitattu 25.4.2023.

SFS-EN 14502-2 + A1. Nosturit. Henkilönostolaitteet. Osa 2: Nousevat ohjauspaikat 2008. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/175924.html.stx>. Viitattu 28.4.2023.

SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018: Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 3–1: Teräsrakenteiden rajatilat ja kelpoisuuden osoittaminen 2018. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/751515.html.stx>. Viitattu 27.1.2023.

SFS-EN ISO 5457 Tekninen tuotedokumentointi. Piirustuspohjien koot ja rakenne 1999. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/5/130688.html.stx>. Viitattu 29.3.2023.

SFS-EN ISO 7200 Tekninen tuotedokumentointi. Otsikkoalueen ja asiakirjan ylätunnisteen tietokentät 2004. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/7/138896.html.stx> Viitattu 29.3.2023.

Tukes. Verkkopalvelu. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta#8308eb49>. Viitattu 27.1.2023.

Tukes. Verkkopalvelu. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet#a408e13d>. Viitattu 27.3.2023

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080400#Lidp455303488>. Viitattu 28.3.2023.

Vertex. Verkkopalvelu. <https://kb.vertex.fi/fea2017fi/tutustu-tarkemmin-ominaisuuksiin/yleiset-aiheet/fea-laskennan-teoriaa>. Viitattu 2.2.2023.

WelhoLift 2020. Esteettömyyttä - Caravan Business Forum 2020. <https://liikkuvakoti.fi/wp-content/uploads/2020/11/welholift.pdf>. Viitattu 27.1.2023