



Nostoapuvälineen suunnittelu Nordberg GP7 -karamurskaimen ulomman murskauskartion osille

Roni Alatalo

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2019

Ajoneuvotekniikka
Älykkäät koneet

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Älykkäät Koneet

ALATALO, RONI:

Nostoapuvälineen suunnittelu Nordberg GP7 -karamurskaimen ulomman murskauskartion osille

Opinnäytetyö 45 sivua
Huhtikuu 2019

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella nostoapuväline Nordberg GP7 -karamurskaimen ulomman murskauskartion osille. Rajoittavat tekijät suunnittelulle määräsi Metson vaatimukset, lainsäädäntö ja nostoapuvälineen muotoilu. Murskauskartion osia ei voida nostaa yhdellä nostoapuvälineellä. Tämä ilmenee aiemmin tehdystä työkalututkimuksesta, jonka pohjalta asiakas oli valinnut kaksi nostoapuväline-mallia suunnittelun pohjaksi. Malleja muokattiin vastaamaan lain asettamia vaatimuksia lujuuslaskentaa ja FEM-analyysiä hyödyntäen.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin suunnitelmat kahdelle nostoapuvälineelle, joilla voidaan nostaa kaikki ulomman murskauskartion neljä osaa ja jotka täyttävät asiakkaan ja lain asettamat vaatimukset. Suunnittelussa käytettiin Siemens NX -mallinnusohjelmaa sekä ohjelmassa olevaa Advanced Simulation -apuohjelmaa. Lujuuslaskennat tehtiin käsin ja FEM-analyysillä. Mallien mekaaninen kestävyys todennettiin Metson lujuuslaskentaosaston toimesta lujuuslaskentaan tarkoitettulla ANSYS-ohjelmalla. Työn lopussa pohditaan käsinlaskennan, oman FEM-analyysin ja lujuuslaskentaosaston FEM-analyysin eroavaisuuksia.

Opinnäytetyön jälkeen suunnittelu jatkuu nostoapuvälineiden valmistuksella, joiden testaamisen ja dokumenttien laatimisen jälkeen tuote voidaan saattaa markkinoille.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Vehicle Engineering
Intelligent Machines

ALATALO, RONI:

Designing of a Load Lifting Attachment for Nordberg GP7 -Cone Crusher Outer Bowl Liner Parts

Bachelor's thesis 45 pages
April 2019

The purpose of thesis was to design a load lifting attachment for Nordberg GP7 - cone crusher outer bowl liner parts. Limiting factors for designing were set by Metso requirements, legislation and model of the lifting attachment. Metso made a lifting tool study earlier, which states that bowl liner parts can't be lifted by one lifting attachment. Based on that study Metso had picked two different attachment-models for lifting.

Result was design of two load lifting attachments, which can be used to lift outer bowl liners all four parts, and which fill the requirements. Stresses were calculated by analytical formulas and FEM-analysis. Mechanical strength was verified with ANSYS-program by Strength Calculation Department of Metso. At the end of the thesis will be a comparison of results by different methods.

Design continues after thesis by building a prototype. After documentation and testing, lifting attachments can be placed on the market.

Key words: load lifting attachment, stress calculation, designing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TAUSTATIEDOT.....	6
2.1	Metso Oyj.....	6
2.1.1	Metso Minerals Oy.....	7
2.2	Kivenmurskaus.....	8
2.2.1	GP7-karamurskain.....	9
2.2.2	Ulomman murskauskartion osien nostaminen.....	11
3	NOSTOAPUVÄLINEIDEN SUUNNITTELUN TEORIA.....	13
3.1	Nostoapuvälineitä ja suunnittelua koskevat säädökset	13
3.1.1	Työturvallisuuslaki	13
3.1.2	Konedirektiivi (2006/42/EY)	14
3.1.3	Koneasetus (400/2008)	14
3.1.4	Nostoapuvälineitä koskevat standardit	15
3.2	Vaatimusten mukaistaminen	16
3.2.1	Olellaiset turvallisuusvaatimukset	16
3.2.2	Tekninen tiedosto	17
3.2.3	Vaatimuksenmukaisuusvakuutus	18
3.2.4	Koneen merkinnät	18
3.3	Mekaaninen lujuus	19
4	SUUNNITTELU.....	23
4.1	Lähtötason tarkastelu.....	23
4.2	Muutokset.....	26
4.2.1	Alaosien nostoapuvälineen suunnittelu	26
4.2.2	Ylä- ja välisosien nostoapuvälineen suunnittelu	29
4.3	Lujuustarkastelu	30
4.3.1	Esimerkkilaskut.....	30
4.3.2	Elementtimenetelmä	34
4.4	Todentaminen	37
4.4.1	Alaosan nosto.....	37
4.4.2	Väliosan nosto	39
4.4.3	Yläosan nosto.....	40
5	TULOKSET	42
6	POHDINTA	43
	LÄHTEET.....	44

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaaja on Metso Minerals Oy. Opinnäytetyö esittää nostoapuvälineen suunnittelutyön. Työn tavoitteena on suunnitella nostoapuväline Metso Nordberg GP7-karamurskaimen ulomman murskauskartion osille. Opinnäytetyön tarkoitus on suunnitella helposti valmistettava ja markkinoille saatettava nostoapuväline. Opinnäytetyö rajataan suunnittelun osalta lujuuden todentamiseen, eikä prosessin laajuuden vuoksi valmista tuotetta esitellä tässä työssä.

Suunnittelu perustuu Sami Kuusisen kirjoittamaan opinnäytetyöhön ”Nostotyökalututkimus Metso Nordberg GP -sarjan ulommille murskauskartioille” vuodelta 2018. Tutkimuksessa Kuusinen selvitti nostoapuväline-malleja, joilla GP-sarjan karamurskainten ulomman murskauskartioin osia voitaisiin nostaa. Kuusinen päätyi kahteen eri työkaluun. Tutkimus ei sisällä lujuuslaskentaa tai materiaalivalintoja, joten sen pohjalta saatuja malleja ei sellaisenaan voida valmistaa nostoapuvälineiksi.

Metson valmistaman Nordberg GP7 -karamurskaimen kulutusosien vaihdossa täytyy nostaa jopa useita tuhansia kiloja painavia osia. Tänä päivänä murskaimen mukana ei toimiteta ulompien murskauskartioiden nostoon tarkoitettuja työkaluja, vaan vaihdettavaan osaan täytyy esimerkiksi hitsata nostokorva, josta osa voidaan nostaa. Nostoapuväline nopeuttaa huoltotoimenpiteitä ja tuo nostoihin turvallisuutta.

2 TAUSTATIEDOT

2.1 Metso Oyj

Metso-konserni kuuluu alallaan maailman johtaviin teollisuus- ja teknologiayrityksiin. Metso tarjoaa palveluita ja laitteita luonnonvarojen käsittelyyn ja virtausten säätöön kivenmurskaus-, kaivos-, kierrätys- ja prosessiteollisuudessa. Metson tuotevalikoimaan kuuluu kivenmurskaus-, kaivos- ja kierrätyslaitteita sekä pumppuja ja venttiileitä. Suurin osa liikevaihdosta koostuu kuitenkin palveluista. Metso-konsernin pääkonttori sijaitsee Helsingissä. Metson toimitusjohtajaksi valittiin marraskuussa 2018 Pekka Vauramo, joka tunnetaan muun muassa lentoyhtiö Finnairin entisenä toimitusjohtajana. Vuonna 2018 Metsolla oli yli 13000 työntekijää yli 50:ssä maassa. Samana vuonna Metson liikevaihto oli 3173 miljoonaa euroa. Tästä liikevoittoa jäi 11,1% eli 351 miljoonaa euroa. Metso jaetaan kahteen raportointisegmenttiin: Metso Minerals ja Metso Flow Control. Nimensä mukaisesti Flow Control myy prosessiteollisuuden virtauksensäätöratkaisuja ja -palveluita ja Minerals prosessiratkaisuja, laitteita ja palveluja kivenmurskaukseen, mineraalien käsittelyyn, kaivostoimintaan ja kierrätykseen. Minerals muodostaa noin 77% prosenttia Metso Oyj:n liikevaihdosta ja noin 72% liikevoitoista. (Taloudellinen katsaus 2018.)

Metson strategia koostuu viidestä toimintaa ohjaavasta perustekijästä, jotka ovat: asiakaskeskeisyys, palvelujohtajuus, innovaatiot, toimintojen erinomaisuus sekä henkilöstö ja johtaminen. Asiakaskeskeisyys tarkoittaa asiakastuntemusta ja palvelualttiutta. Palvelujohtajuus kertoo työntekijöiden ammattitaidosta tuen tuomisessa ja ratkaisujen tuottamisessa tuotteen koko elinkaarelle. Palvelujohtajuus perustuu globaaliin liiketoimintaan, sillä näin asiakasta voi palvella paikallisesti maailmanlaajuisesti. Innovaation ansiosta uusia tuotteita ja ratkaisuja syntyy samalla kun olemassa olevaa tuotevalikoimaa kehitetään. Toimintojen erinomaisuus on jatkuvaa kehitystä prosesseissa ja toimintatavoissa koko toimintaketjussa, sekä prosessien, laadun ja turvallisuuden erinomaisuutta. Henkilöstö ja johtaminen sisältää työntekijöiden luoman tuloksellisen ja arvostavan kulttuurin. Globaalilla työpaikalla tiimit työskentelevät tiiviisti ja

yhteistyön avulla asiakkaalle tuotetaan tuloksia ja asiakas menestyy. Metson visio on olla paras valinta luonnonvarojen vastuulliseen käsittelyyn ja virtauksensäätöön. (Strategia ja visio 2018.)

2.1.1 Metso Minerals Oy

Tampereella Metso toimii näyttävällä paikalla Hatanpäällä, Lokomon tehdasalueella. Historiallisella paikalla sijaitsevassa tehtaassa rakennetaan muun muassa kivenmurskaimia, liikuteltavia murskainlaitoksia, seulontalaitteita ja syöttimiä. Tehdasalue on yksi tärkeimmistä yrityksen lokaatioista, sillä siellä sijaitsee myös muun muassa suunnittelukonttori, tutkimuslaitos ja varaosakeskus. Tehdasalueella on pitkä historia kivenmurskainten parissa, sillä ensimmäinen leukamurskain valmistui Lokomon konepajalla jo vuonna 1921. Tela-alustaisten murskainlaitosten rakentaminen alkoi ensimmäisenä maailmassa vuonna 1985. Nykyään tehtaassa nopeimmalla kokoonpanolinjalla tehdään tela-alustainen Lokotrack-murskauslaitoksen loppukokoonpano kahdessa työpäivässä (kuva 1). Kivenmurskaimista Hatanpäällä valmistetaan pääosin leuka- ja karamurskaimia. (Lehdistötiedote 2018.)

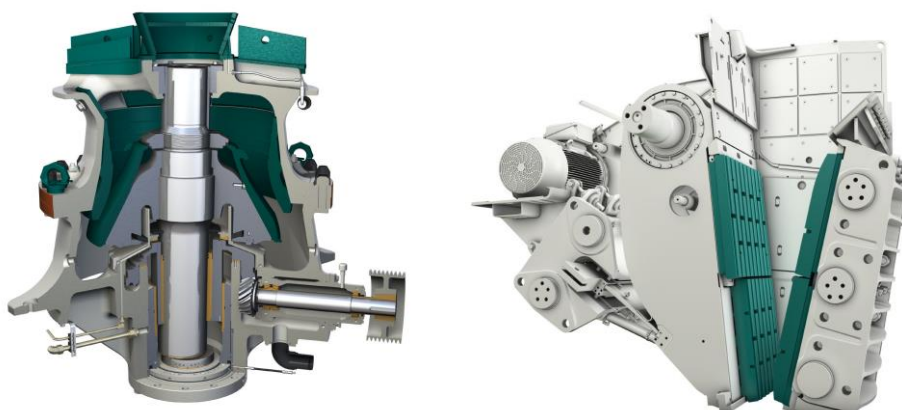


KUVA 1. Lokotrack-murskainlaitos (Open media bank 2019)

2.2 Kivenmurskaus

Kiviaineteollisuudessa louhe murskataan, jotta sen kappalekoko olisi sopiva jatkokäsittelyyn. Murskaustapoja on puristus tai isku. Puristuksessa kivi murskataan puristamalla sitä metallipintojen välissä, kunnes kivi murtuu. Iskussa kivi hajoaa kovasta iskusta tai toisen kiven osumasta. Lopputuotteen muoto ja koko määrää murskaustavan, mutta yleisesti kovaa kiveä murskataan puristamalla ja pehmeää kiveä iskulla. Kovaakin kiveä voidaan kuitenkin murskata iskulla, jos lopputuotokselle halutaan kuutiomallinen muoto. Puristumurskaimia ovat leuka-, kara- ja valssimurskaimet. Iskumurskaimia ovat iskupalkkimurskaimet ja keskipakomurskaimet. (Hakapää, Lappalainen & Paalumäki 2015, 218.)

Murskaus voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, jotka ovat esimurskaus, välimurskaus ja hienomurskaus. Tyypillisesti esimurskaimena käytetään leuka- tai karamurskainta (kuva 2). Esimurskauksessa kiviaineksen kokoa pyritään pienentämään sen verran, että sitä pystytään kuljettamaan kuljettimissa, seulomaan ja murskaamaan edelleen. (Hakapää ym. 2015, 219.)



KUVA 2. Nordberg GP Series -karamurskain ja Nordberg C Series -leukamurskain (Open media bank 2019)

Välimurskauksessa tavoitellaan karkeaa lopputuotetta esimerkiksi tienpohjan rakennukseen, tai pienennetään kiviaineksen kokoa jatkojalostukseen. Hienomurskauksessa kiviaineksestä pyritään tehdä lopputuote, joka on sopivan kokoinen ja muotoinen. Hienomurskaukseen käytetään yleensä isku- ja

kartiomurskaimia. Paras kuutiomaisuus saadaan keskipakomurskaimilla. (Hakapää ym. 2015, 219.)

2.2.1 GP7-karamurskain

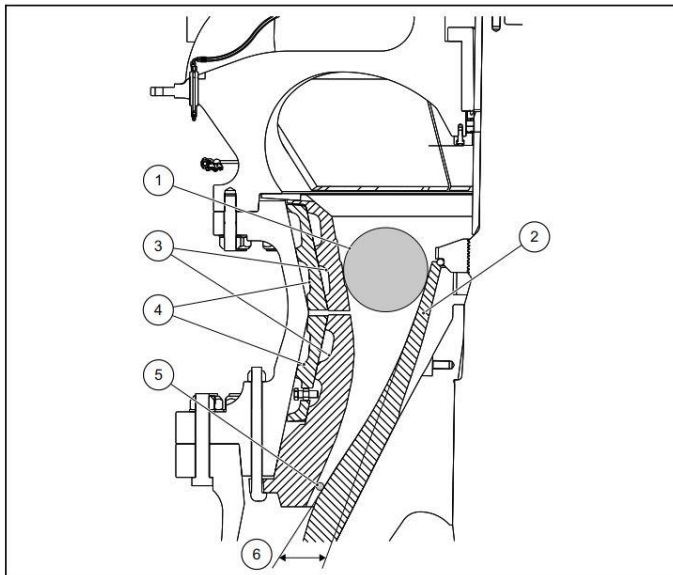
Nordberg GP Series -murskaimet ovat karamurskaimia. Karamurskaimessa kiviaines syötetään murskaimen yläpuolelta murskauskammioon, jossa kivet murskataan kulutusosien välissä puristamalla. Murskauskammion kulutusosia ovat ulkoinen kiinteä murskauskartio ja sisempi liikkuva murskauskartio. Liike saadaan välitettyä moottorilta hammaspyörien ja –vaihteen avulla epäkeskoakselille, joka pyörittää kara-akselia, johon tukikartio on kiinnitetty. Näin saadaan aikaan oskilloiva liike, ja kartio pyörii murskatun kiviainesta murskauskammioista. Kivimurska poistuu alakautta. (Hakapää ym. 2015, 223.)

GP-sarjan murskaimia käytetään väli- ja hienomurskaukseen. Väli- ja hienomurskaimen erottaa ulkoisesti siitä, että välimurskain on korkeampi erillisen välirungon takia, kun taas hienomurskaimessa runko muodostuu ylä- ja alaosa. Tuoteperheen suurin karamurskain GP7 on välimurskain ja sitä käytetään usein suuren leukamurskaimen tai esikaran jälkeen (kuva 3). GP7-murskain painaa n. 62000 kg. (Nordberg GP7 cone crusher 2017.)



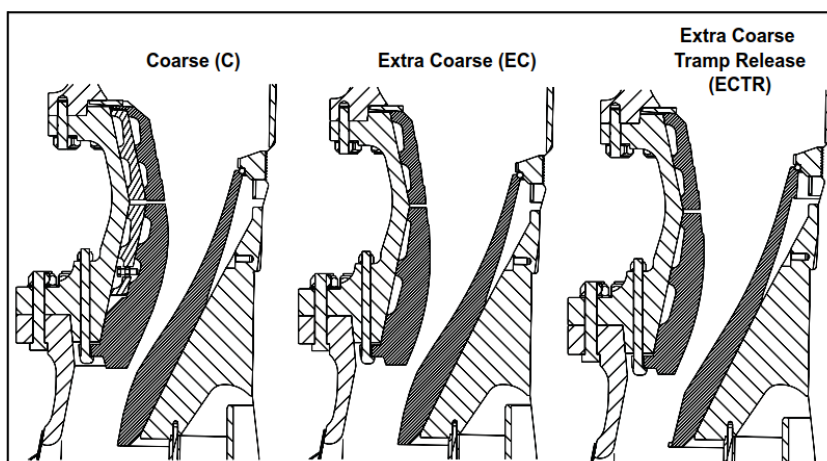
KUVA 3. Nordberg GP7 -karamurskain (Open media bank 2019)

Kuva 4 esittää GP7:n kammionmuodon. Kuvassa numero 1 osoittaa syöttöaukon koon, numero 2 sisemmän murskauskartion ja numero 3 ulomman murskauskartion ylä- ja alaosan. Ulomman murskauskartion välisosia osoittaa numero 4. Numero 5 määrittää poistuvan kiviaineksen koon suljetun puolen asetuksen mukaan. Numero 6 esittää iskuä. (Nordberg GP cone crusher instruction manual 2018.)



KUVA 4. GP7-murskaimen kammionmuoto (Nordberg GP cone crusher instruction manual)

Ulomman murskauskartion osat riippuvat siitä, kuinka karkeaa murskauskammiota käytetään. Välisosia käytetään vain karkealla kammionmuodolla, kun taas erittäin karkealla ulompi murskauskammio muodostuu vain ylä- ja alaosista (kuva 5).



KUVA 5. Kammiovaihtoehdot (Nordberg GP cone crusher instruction manual)

2.2.2 Ulomman murskauskartion osien nostaminen

Kun kiviainesta murskataan murskaimella, sen kulutusosat kuluvat ja ne joudutaan vaihtamaan tietyin väliajoin. Kulutusosista painavimmat ovat yli kolmentonnin painoisia ja muodoltaan hankalia nostaa. Näiden seikkojen takia nostotyö täytyy suorittaa turvallisesti ja siinä täytyy käyttää oikeita työkaluja.

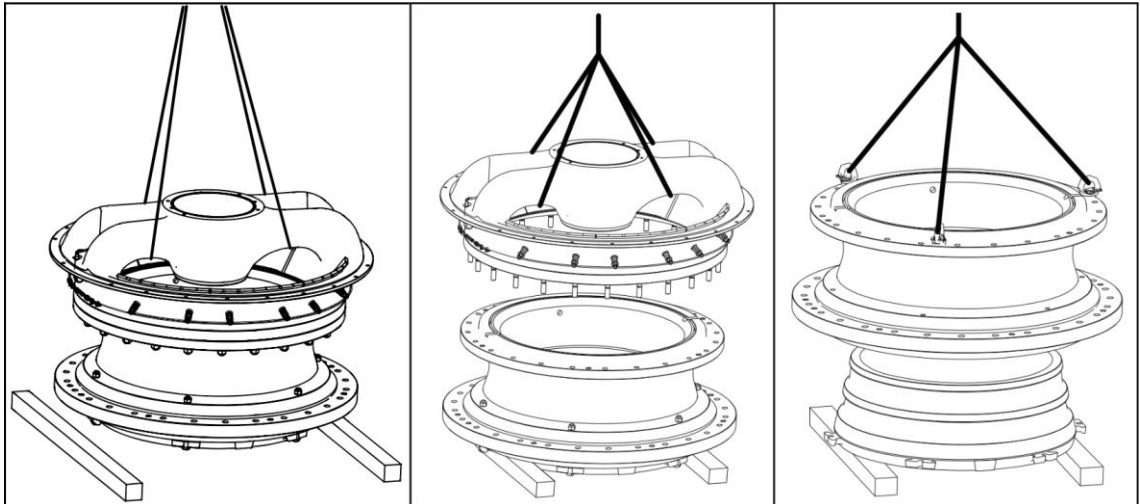
GP7-karamurskaimen ulommalle murskauskartiolle ei ole tällä hetkellä myynnissä nostoapuvälinettä. Tampereen tehtaan kokoonpanossa kartion osat nostetaan tehtaan omalla nostoapuvälineellä, mutta asiakkaan huoltotoimenpiteet toteutetaan esimerkiksi hitsattavilla korvakkeilla (kuva 6). Nykyinen nostomenetelmä voi olla vaarallinen, sillä hitsin lujuudesta ei välttämättä varmistuta ennen nostamista. Lisäksi uudesta osasta täytyy poistaa hitsisaumat ja hitsauskohta tasoittaa erikseen, jolloin huollossa menee aikaa hukkaan.



KUVA 6. Asiakkaan hitsaamat nostokorvakkeet (Metson tietokanta 2017)

Kulutusosien vaihtoa varten ylä- ja välirunko nostetaan irti murskaimesta ja lasketaan tukien päälle, jonka jälkeen ylärunko irrotetaan välirungosta. Tämän jälkeen voidaan irrottaa välirungon ja ulomman murskauskartion kiinnityspultit ja nostaa välirunko pois. Välirunko lasketaan tukien päälle ja kulutusosat voidaan

vaihtaa uusiin (kuva 7). Karkealla kammiovaihtoehdolla vaihdettaisiin yläosa välirunkoon ja kokoaminen tapahtuisi käänteisessä järjestyksessä uuden alaosan päälle. Erittäin karkealla kammiovaihtoehdolla välisosat asetettaisiin runkoon ja alaosan päälle ennen kokoamista. (Nordberg GP cone crusher instruction manual 2018.)



KUVA 7. Kulutusosien vaihtoa edellyttävät toimenpiteet (Nordberg GP cone crusher instruction manual)

3 NOSTOAPUVÄLINEIDEN SUUNNITTELUN TEORIA

3.1 Nostoapuvälineitä ja suunnittelua koskevat säädökset

Tärkein suunnittelun lähtökohdista on saada nostoapuvälineestä turvallinen käyttöä. Hyvä lähestymistapa on ottaa huomioon yleisesti hyväksi todetut ohjeet kuten standardit ja direktiivit. Nostoapuvälineen täytyy olla direktiivien mukainen, jotta sitä voidaan myydä globaalisti.

3.1.1 Työturvallisuuslaki

Työturvallisuuslaki on vuonna 2002 säädetty työturvallisuutta koskeva laki, jonka tarkoituksena on parantaa työolosuhteita ja työympäristöä sekä ennaltaehkäistä ja torjua työtapaturmia. Laki kertoo, että työnantajan on hankittava ja annettava työntekijän käyttöön työkalu tai apuväline, silloin kun työnluonne, työolosuhteet tai työn suorittaminen tarkoituksen mukaisesti sitä vaatii. Koneiden, työvälineiden ja muiden laitteiden käyttöä koskien kerrotaan, että näiden käytöstä ei saa aiheutua vaaraa tai haittaa käyttäjälle tai työpaikan muille henkilöille. Koneille, työvälineille ja muille laitteille, joiden asennus, asennus- tai käyttöolosuhteet vaikuttavat turvallisuuteen, täytyy suorittaa ennen ensimmäistä käyttöä tai merkittävien muutoksien jälkeen käyttöönottotarkastus. Ensimmäisen tarkastuksen jälkeen laitteille on tehtävä säännöllisesti määräaikaistarkastuksia toimintakunnon ja turvallisuuden varmistamiseksi. Laissa otetaan myös kantaa suunnittelijan velvollisuuksiin. Sen henkilön, joka toimeksiannosta luovuttaa konetta, työvälinettä tai muuta laitetta koskevan suunnitelman, on varmistuttava siitä, että suunnitelmassa on sen kohteen ilmoitetun käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla otettu huomioon tämän lain säännökset. (Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.)

3.1.2 Konedirektiivi (2006/42/EY)

Konedirektiivi on Euroopan Unionin laatima direktiivi, jossa määritellään muun muassa koneen valmistajan velvollisuudet, koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvät oleelliset turvallisuus- ja terveysvaatimukset sekä menettelyt koneen vaatimustenmukaisuuden osoittamiseen ja markkinoille saattamiseen. Konedirektiivi koskee kaikkia EU:n jäsenvaltioita. Direktiivi on pantu Suomessa käytäntöön valtioneuvoksen asetuksella (400/2008) koneiden turvallisuudesta. (Tukes 2018.)

3.1.3 Koneasetus (400/2008)

Koneasetus, eli Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta panee täytäntöön EU:n laatiman Konedirektiivin (2006/42/EY). Asetusta sovelletaan kaikkiin uusiin koneisiin. Asetuksessa käydään läpi koneiden ja laitteiden valmistajan velvollisuuksia. Asetuksen tarkoitus on saada valmistaja varmistumaan, että koneet täyttävät olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Asetuksessa kerrotaan alat ja laitteet, johon sitä sovelletaan, markkinoille saattamista ja käyttöönottamista varten tehtävät toimenpiteet ja yksityiskohtaisempia vaatimuksia erinäisille koneille ja laitteille. Nostoapuvälineen vaatimuksista asetuksessa kerrotaan laajasti, muttei yksityiskohtaisesti. Vaatimuksia asetetaan muun muassa ohjeisiin, kestävyYTEEN, suunnitteluun, merkintöihin ja käyttörajoituksiin liittyen. Asetuksessa määritellään nostoapuvälineen olevan komponentti tai laite, jota ei ole kiinnitetty nostolaitteeseen, ja jonka avulla kuormaan tartutaan. Nostoapuväline sijoitetaan kuorman ja koneen väliin, kiinnitetään kuormaan tai on kuorman kiinteä osa erillisesti markkinoille saatettuna. Myös raksit ja komponentit ovat nostoapuvälineitä. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400.)

3.1.4 Nostoapuvälineitä koskevat standardit

Jotta konedirektiiviä olisi helpompi noudattaa, on laadittu yhdenmukaistettuja standardeja. Kyseiset standardit on laadittu siten, että noudattaen sitä suunnittelussa, tulee kone täyttämään lain vaatimat turvallisuus- ja terveysvaatimukset. Standardien soveltaminen on siis vapaaehtoista, mutta turvallisuuden takaamiseksi Metso noudattaa kaikkia konedirektiivin edellyttämiä turvallisuusvaatimuksia, jolloin standardien käyttö helpottaa suunnittelua.

Konestandardit luokitellaan kolmeen tyyppiin: A-, B- ja C-standardeihin. A-tyyppiin kuuluvat kaikkiin koneisiin sovellettavat yleiset turvallisuuden perusstandardit. B-tyyppiset standardit koskevat jotain tiettyä turvallisuusnäkökohtaa tai turvalaitetta. C-tyyppiset ovat konekohtaisia standardeja. (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015, 3.)

Standardi SFS-EN ISO 12100 on A-tyypin standardi ja siinä on esitetty hyväksyttävä tapa ja annettu edellytykset suorittaa konedirektiivissä edellytetty riskin arviointi. Standardissa esitetään yleiset suunnitteluperiaatteet koneiden turvallisuuden varmistamiseksi ja sen kehittämiseksi. (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015, 6.)

Standardi SFS-EN ISO 13155 + A2 on yhdenmukaistettu C-luokan standardi. Standardissa esitellään useamman nostoapuvälineen yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset. Mekaaninen lujuus voidaan todentaa tyyppikohtaisella tai yksittäisen apuvälineen staattisella kokeella. Staattisessa kokeessa apuväline ja kuorma ripustetaan siten, että vaikuttavat voimat ja voimien suunnat ovat samat kuin oikeassa käytössä. Koevoiman on vaikutettava yhden minuutin ajan, jonka jälkeen apuväline tarkastetaan muodonmuutosten, säröjen ja muiden vikojen varalta. Tyyppikohtaisen kokeen läpäisee, jos apuväline kestää koevoimana kolminkertaisen nostokyvyn suuruisen voiman ilman, että apuväline irrottaa otteen kuormasta, vaikka välineessä tapahtuisikin pysyviä muodonmuutoksia. Testatessa yksittäistä apuvälinettä, sen täytyy kestää kaksinkertainen nostokyvyn suuruisen voiman ilman, että siinä tapahtuu pysyvää muodonmuutosta. Jos apuvälineessä käytetään kiinteänä osana kettinkirakseja,

on niiden täytettävä kettinkirakseja koskevat C-luokan standardit. Standardin mukaan väsymystarkastelua ei tarvitse suorittaa, jos suunniteltaessa käytetään aiemmin mainittuja staattisen testin kertoimia ja käyttökertojen lukumäärä on alle 20000 kappaletta. (SFS-EN 13155 + A2 2009, 8, 32, 34.)

3.2 Vaatimusten mukaistaminen

Soveltaen työturvallisuuslakia, konedirektiiviä- ja asetusta sekä SFS-EN ISO 12100- ja SFS-EN ISO 13155 + A2 -standardeja noudattaen voidaan luoda luettelo oleellisista vaatimuksista, jotka huomioon ottaen suunnittelussa nostoapuvälineestä saadaan turvallinen ja se voidaan saattaa markkinoille:

- Olennaiset turvallisuusvaatimukset
- Tekninen tiedosto
- Vaatimuksenmukaisuusvakuutus
- Koneen merkinnät

3.2.1 Olennaiset turvallisuusvaatimukset

Nostoapuvälinettä suunniteltaessa olennaisia turvallisuusvaatimuksia kannattaa lähteä miettimään riskin arvioinnin kautta. Riskin arviointi on standardoitu tapa tunnistaa koneen tai laitteen tai niiden käytössä ilmeneviä vaaratilanteita, tunnistaa ne riskeinä ja arvioida niiden suuruutta ja lopulta poistaa tai pienentää riskit riittävän pienelle tasolle. Standardissa SFS-EN ISO 12100 kerrotaan riskin arvioinnin strategia. Tehdäkseen riskin arvioinnin ja pienentämisen suunnittelijan tulee tehdä seuraavat toimenpiteet seuraavassa järjestyksessä:

- määritettävä koneen raja-arvot, joihin sisältyy koneen tarkoitettu käyttö ja kohtuudessa oleva väärinkäyttö
- tunnistettava vaarat ja niihin liittyvät tilanteet
- arvioitava kuhunkin vaaraan ja vaaratilanteeseen liittyvät riskien suuruudet
- arvioitava riskien merkitykset ja tehtävä päätös tarvitseeko riskiä pienentää
- poistettava vaara tai pienennettävä vaaran riskiä suojaustoimenpiteiden avulla.

Listan ensimmäiset neljä kohtaa liittyvät riskin arviointiin ja viimeinen kohta riskin pienentämiseen. (SFS-EN 12100 2010, 28.)

Suunnittelemalla ja rakentamalla kone riskin arvioinnin tulokset huomioon ottaen valmistaja voi varmistua siitä, että kone täyttää olennaiset turvallisuus- ja terveysvaatimukset.

3.2.2 Tekninen tiedosto

Teknisessä tiedostossa kuvataan koneeseen tai laitteeseen soveltuvia olennaisia turvallisuus- ja terveysvaatimuksia, ja sitä, miten ne on täytetty. Tekniseen tiedostoon sisältyy

- koneen yleiskuvaus
- koneen yleispiirustus
- yksityiskohtaiset piirustukset laskelmineen, todistuksineen ja muine tietoineen, josta ilmenee olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisuus
- riskien arviointia koskevat asiakirjat
- luettelo käytetyistä standardeista
- kopio koneen ohjeista
- kopio EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta

Valmistajan on tehtävä tarpeelliset testit ja tutkimukset koneelle ja sen komponenteille, määrittääkseen koneen soveltuvuuden sen käyttötarkoitukseen. Kyseisten testien ja tutkimusten tulos sisällytetään tekniseen tiedostoon. Teknistä tiedostoa ei tarvitse säilyttää aineellisessa muodossa, mutta valvontaviranomaisen on saatava se tarvittaessa kohtuullisessa ajassa. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400.)

3.2.3 Vaatimuksenmukaisuusvakuutus

EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus käsittelee konetta sellaisenaan kuin se saatettiin markkinoille, eikä kata loppukäyttäjän muokkauksia tai lisäyksiä siihen. Vakuutus on oltava selkeä ja koneella tai suuraakkosin kirjoitettu. Vakuutuksessa on oltava seuraavat tiedot:

- valmistajan toiminimi, osoite ja tarvittaessa valtuutettu edustaja
- teknisen tiedoston kokoamiseen valtuutetun yhteisöön sijoittuneen henkilön nimi ja osoite
- koneen kuvaus, tunniste, yleisnimike, toiminta, malli, tyyppi, sarjanumero ja kaupallinen nimike
- vakuutus siitä, että kone täyttää konedirektiivin (2006/42/EY) asiaankuuluvat säännökset
- tarvittaessa tyyppitarkastuksen tehneen laitoksen tiedot
- tarvittaessa viittaus käytettyihin yhdenmukaistettuihin standardeihin
- vakuutuksen antamispaikka ja -aika
- vakuutuksen laatimiseen valtuutetun henkilön nimi ja allekirjoitus

Vakuutusta on säilytettävä viimeisen koneen rakentamisesta 10 vuotta. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400.)

3.2.4 Koneen merkinnät

Koneessa pitää lukea selvästi ja pysyvästi näkyvällä paikalla

- valmistajan toiminimi ja osoite
- koneen nimi
- sarja- tai tyyppimerkintä
- mahdollinen sarjanumero
- rakennusvuosi
- nostoapuvälineen suurin sallittu kuorma
- nostoapuvälineen oma paino
- CE-merkintä

CE-merkintä vaaditaan tuotteelle, jota halutaan myydä EU:n alueella. Merkintä on vakuutus siitä, että kone täyttää sitä koskevien direktiivien olennaiset vaatimukset. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400.)

3.3 Mekaaninen lujuus

Kaikille kiinteille aineille on olemassa tietty lujuus, jonka ne kestävät rikkoutumatta tai muuttamatta muotoaan rajusti. Lujuuslaskennoissa tarkastellaan rakenteen ja sen materiaalin kestävyyttä staattisessa kuormitustilanteessa. Kohdetta tarkastellaan niin sanotun mekaniikan mallien avulla, eli todellista kuormitustilannetta yksinkertaistetaan siten, että laskenta on mahdollista, mutta tulos vastaa riittävästi todellisuutta. Malli muodostetaan kolmen pääkohdan mukaan: kappaleen tai rakenteen geometrian yksinkertaistaminen, kuormitusten idealisointi ja materiaaliominaisuuksien yksinkertaistaminen. (Outinen, Salmi & Vulli 2007, 16.) Tarkastelussa selvitetään kriittiset kohdat, jotka voivat rikkoutua, ja niille suoritetaan lujuuslaskenta.

Nostoapuvälineen lujuustarkastelussa lasketaan aluksi rakenneteräksen normaali- ja leikkausjännitys. Jännitykset saadaan esimerkiksi nosturien yleissuunnittelun standardista SFS-EN 13001-1-3-1:2012 + A2:2018. Standardin mukaan suunnittelujännityksille lasketaan kestävyyskerroin γ_{Rm} , joka on yleisen kestävyyskerroimen γ_m ja materiaalin kestävyyskerroimen γ_{sm} tulo

$$\gamma_{Rm} = \gamma_m \cdot \gamma_{sm} \quad (1)$$

Suunnittelujännityksen raja $f_{Rd\sigma}$ lasketaan materiaalin myötörajan f_y (MPa) ja kestävyyskerroimen suhteesta

$$f_{Rd\sigma} = \frac{f_y}{\gamma_{Rm}}, \quad (2)$$

kuten myös leikkausjännitys, mutta kestävyyskerroin kerrotaan 3:n neliöjuurella

$$f_{Rd\tau} = \frac{f_y}{\gamma_{Rm} \cdot \sqrt{3}} \quad (3)$$

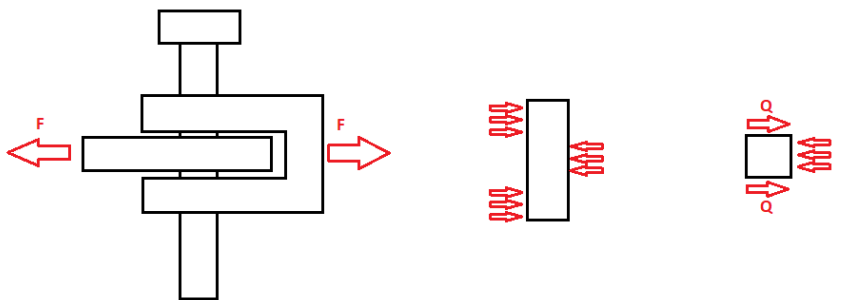
(SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018 2018, 19.)

Nostoapuvälineiden rakenteissa kuorman aiheuttama voima F (N) lasketaan painovoima ja varmuuskerroin kertoen kaavalla

$$F = m \cdot g \cdot \gamma, \quad (4)$$

jossa m on kuorman massa (kg), g maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys (m/s^2) ja γ varmuuskerroin (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2015, 91).

Puhdas leikkausjännitys on kappaleen poikkipinta-alaan kohtisuoraan kohdistuva keskimääräinen jännitys (kuva 8).



KUVA 8. Leikkausjännitys puhtaassa leikkauksessa

Kappaleeseen vaikuttava leikkausjännitys τ (N/mm^2) lasketaan kaavalla

$$\tau = \frac{Q}{A}, \quad (5)$$

jossa Q on kappaleeseen vaikuttava leikkausvoima (N) ja A jännityspinta-ala (mm^2) (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2015, 140).

Hitsien mitoituksessa käytetään yksinkertaista laskentatapaa, eli jännityksiä ei jaeta komponentteihin vaan niiden oletetaan olevan mahdollisimman epäedullista jännitystä, eli leikkausjännitystä. Jännitys hitsissä lasketaan kaavalla

$$\sigma = \frac{F}{a \cdot l}, \quad (6)$$

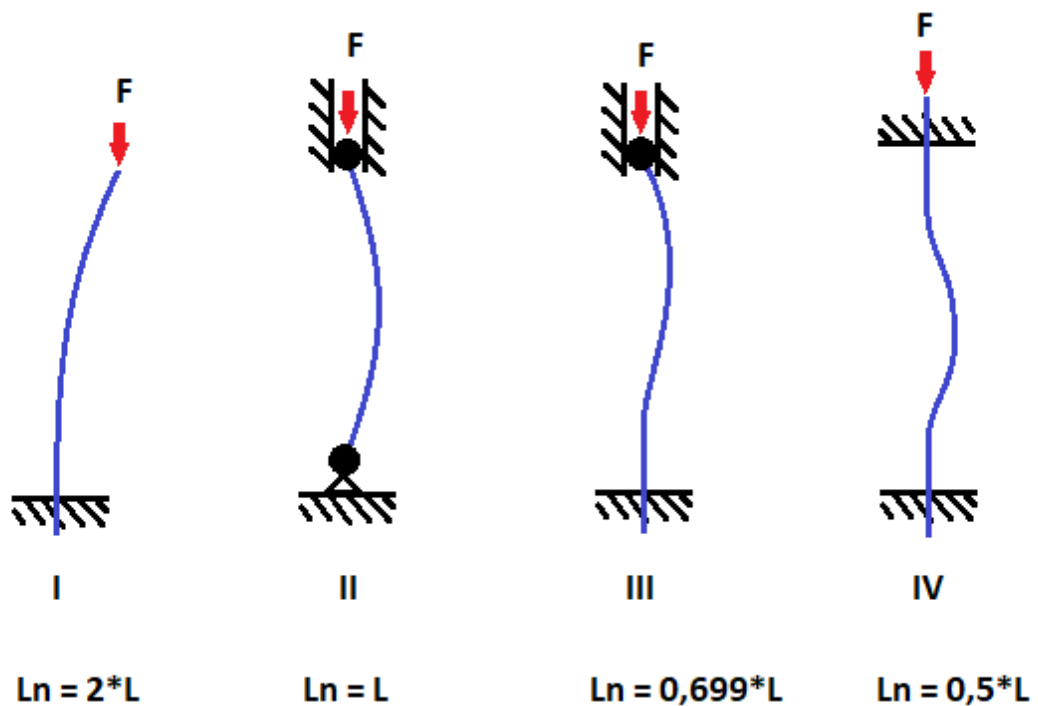
jossa F (N) on hitsiin vaikuttava voima, a hitsin a-mitta ja l hitsin pituus millimetreinä. (Airila, Ekman, Hautala, Kivioja, Kleimola, Martikka, Miettinen, Niemi, Ranta, Rinkinen, Salonen, Verho, Vilenius, Välimaa 2009, 261.) Hitsien

leikkausjännityksen mitoitusarvo voidaan laskea teräsrakenteiden lujuuksia käsittelevän standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaan kaavalla

$$f_{vw.d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}, \quad (7)$$

jossa f_u on nimellisarvo heikoimman liitettävän osan vetomurtolujuudelle, β_w korrelaatiokerroin ja γ_{M2} osavarmuusluku (SFS-EN 1993-1-8 2005, 47).

Laskuissa tarkistetaan nurjahtaako putkiprofiili. Laskuihin on ensin selvitettävä tarkasteltavan kohteen pituus ja kiinnitystapa, joista voidaan laskea sen nurjahduspituus L_n (Outinen ym. 2007, 287). Kuvassa 9 esitellään yleisimmät nurjahdustapaukset.



KUVA 9. Nurjahdustapauksia

Olellaista nurjahduksissa on siis nurjahtavan kappaleen kiinnitystapa. Nurjahdusvoima voidaan laskea esimerkiksi nurjahdustapaukselle 2 kaavalla

$$F_n = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_n^2} \quad (8)$$

jossa I on profiilin neliömomentti (mm^4), E kimmokerroin (GPa) ja L_n yhtä kuin profiilin todellinen pituus. (Mäkelä ym. 2015, 142).

Levyn taipumaan tarvitaan neliömomentin arvoa. Neliömomentin arvo suorakulmion muotoiselle levyille saadaan kaavalla

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (9)$$

jossa b (mm) on pidempi sivu ja h (mm) lyhyempi sivu (Mäkelä ym. 2015, 144). Levyn maksimitaipuma x_{\max} (mm) lasketaan momenttikuormitteen ulokekannattimen kaavalla

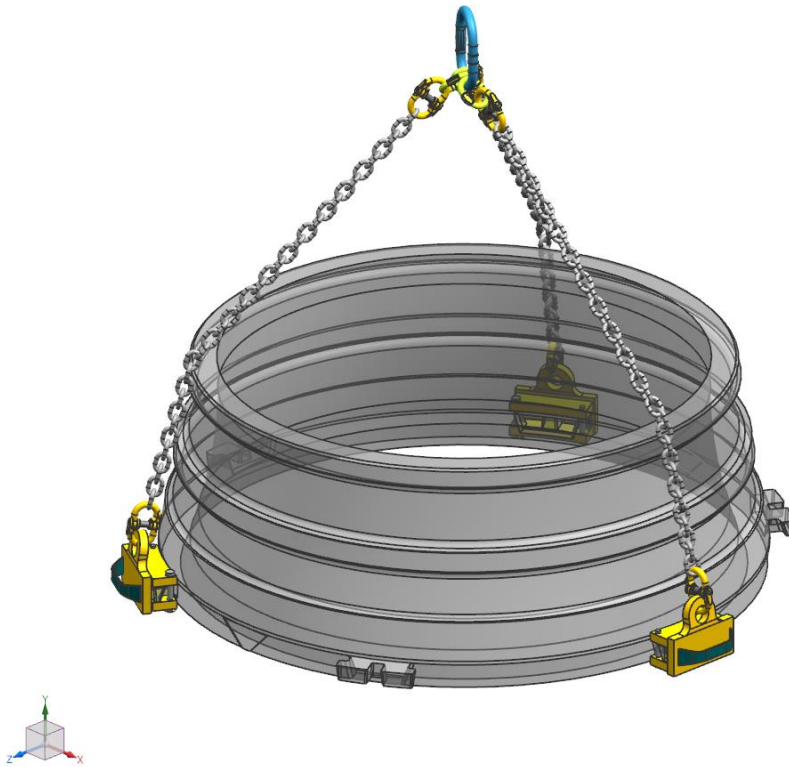
$$x_{\max} = \frac{M \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I}, \quad (10)$$

jossa M (Nm) on levyyn kohdistuva momentti, L (m) levyn pituus, E (GPa) kimmokerroin ja I (mm^4) levyn neliömomentti taivutussuunnassa (Mäkelä ym. 2015, 147).

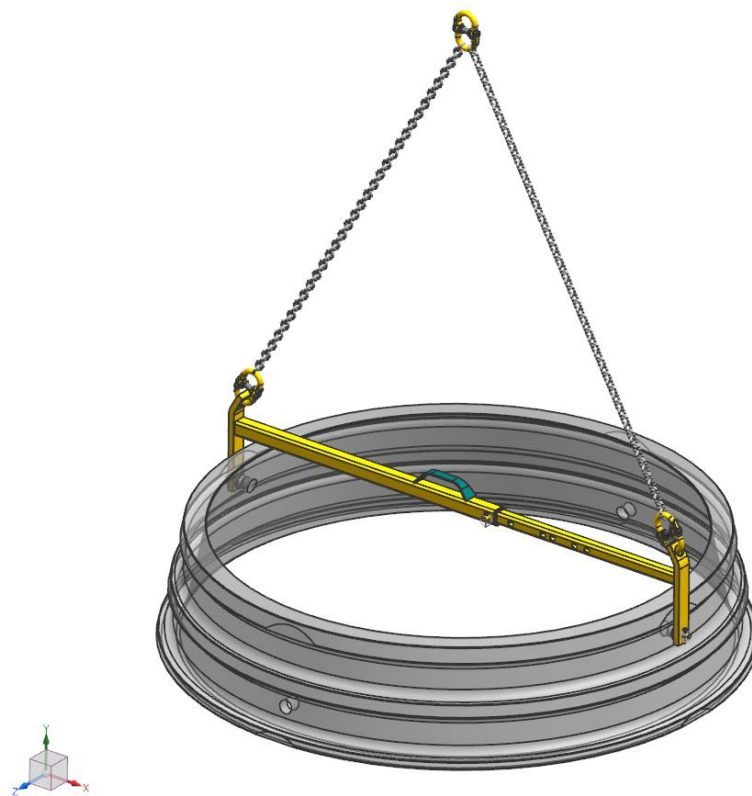
4 SUUNNITTELU

4.1 Lähtötason tarkastelu

Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla nostotyökalututkimukseen ja tarkastelemalla olemassa olevia nostoapuväline-konsepteja, sekä sitä, että täyttävätkö ne asiakkaan ja lain asettamat vaatimukset. Suunniteltavien nostoapuvälineiden mallien pohjana toimi asiakkaan teettämässä työkalututkimuksessa ehdotetut mallit. Työkalututkimus oli opinnäytetyö ”Nostotyökalututkimus Metso Nordberg GP -sarjan ulommille murskauskartiolle” vuodelta 2018. Tutkimuksen kirjoitti Sami Kuusinen. Tutkimuksessa vertailtiin monia eri nostoapuväline-malleja sekä niiden hyviä ja huonoja puolia. Reunaehtoja Kuusisella oli direktiivien ja standardien oleelliset turvallisuus- ja terveysvaatimukset, modulaarisuus pienemmille murskainmalleille, kustannustehokkuus, valmistettavuus ja käytettävyys. Tutkimuksen lopputuloksena syntyi kaksi mallia, joilla voidaan nostaa murskaimen kaikki ulommat murskauskartiot: kolmihaarainen apuväline, jolla voisi nostaa GP-sarjan isompien murskainten murskauskartioiden alaosia (kuva 10), sekä levennettävä apuväline, jolla voisi nostaa isompien murskainten murskauskartioiden ylä- ja väliosia (kuva 11). Yläosa voidaan nostaa vaihtamalla irrotettavat holkit levyn sisäpuolelta ulkopuolelle. Nostoapuvälineiden design toimii myös pienempien murskainmallien kulutusosien nostoihin, mutta lähes kaikki osat välineissä ovat tällöin pienempiä.



KUVA 10. Alaosan nostoapuväline



KUVA 11. Väli- ja yläosan nostoapuväline

Asiakkaan vaatimuksena nostoapuvälineellä täytyi pystyä nostamaan myös muiden Nordberg GP series -murskainten ulompia murskauskartioita. Vaikka tässä työssä keskitytään vain suurimpaan murskainmalliin GP7, täytyi suunnittelussa pitää mielessä modulaarisuus. Se, että samalla työkalulla voitaisiin nostaa toisten isompien murskaimien GP500S ja GP550 kulutusosia, auttaisi pienentämään työkalujen kokonaiskustannuksia ja vähentäisi tarvittavien työkalujen määrää. Lisäksi täytyi ottaa huomioon kustannustehokkuus, valmistettavuus ja käytettävyys. Asiakkaan tarpeet ja lainsäädännölliset vaatimukset antoivat reunaehdot suunnittelulle.

Kuusinen kertoo huomanneensa seuraavia ongelmatilanteita

- Alemman murskauskartion ketjukulmasta johtuen nostoapuväline pyrkii kääntymään korvakkeen ympärillä, joka aiheuttaa ylimääräistä rasitusta välineeseen
- Alemman murskauskartion ketju osuu kartioon, joka aiheuttaa ketjuun rasitusta
- Kaikkien apuvälineiden kettinkien ketjukulma täytyisi valita lujuustarkastelun perusteella
- Kaikkien apuvälineiden osien materiaalivalinnat ja materiaalien paksuusvalinnat täytyisi suorittaa lujuustarkastelun perusteella

Kuusinen painottaa tutkimuksessaan, että nostoapuvälineisiin saattaa joutua tekemään muutoksia lujuuslaskennan perusteella. Mallit ovat Kuusisen mukaan suunnitteluvaiheessa helposti muutettavissa (Kuusinen 2018, 57.)

Riskin arviointi suoritettiin uudestaan, jotta voitaisiin varmistua siitä, että kaikki vaaratilanteet on tunnistettu ja niihin liittyvät riskit on poistettu tai pienennetty tarpeeksi. Kuusinen teki riskin arvioinnin standardin mukaan. Suurimmaksi riskiksi Kuusinen määritteli nostoapuvälineen huoltoon ja kunnossapitoon liittyvän riskin siitä, että kunnossapito laiminlyödään ja loppuasiakas muuttaa tai korjaa apuvälinettä suunnitellun vastaiseksi. Tämä riski saadaan kuitenkin pienennettyä siedettäväksi kielloilla ja varoituksilla sekä ohjeilla oikeaoppiseen kunnossapitoon. Suurimpien riskien lisäksi hyvin vakavia tai kuolemaan johtavia riskejä olivat apuvälineiden osien rikkoutuminen, kiinnitysosien kuten holkkien ja tappien puuttuminen tai nostoapuvälineen muodonmuutos ylikuormituksesta

johtuen. Kaikki nämä riskit voisivat johtaa kuorman putoamiseen kesken noston. Osien rikkoutumista voidaan pienentää käyttämällä vain alkuperäisosa ja tarkastamalla ne säännöllisesti, tappien puuttumisen riski voidaan pienentää kiinnittämällä ne nostoapuvälineeseen kiinni ja muodonmuutos voidaan pienentää tarkastamalla väline säännöllisesti ja noudattamalla nosto-ohjeita. (Kuusinen 2018, 52-54).

Riskin arvioon täsmennettiin vaara-alue, joka on nostoapuvälineen ja nostettavan kappaleen alapuolella ja välttämättömässä läheisyydessä. Vaara-alueen osoittaminen ohjeissa ennaltaehkäisee äkillisten vaarojen todennäköisyyttä aiheuttaa vakavia vammoja.

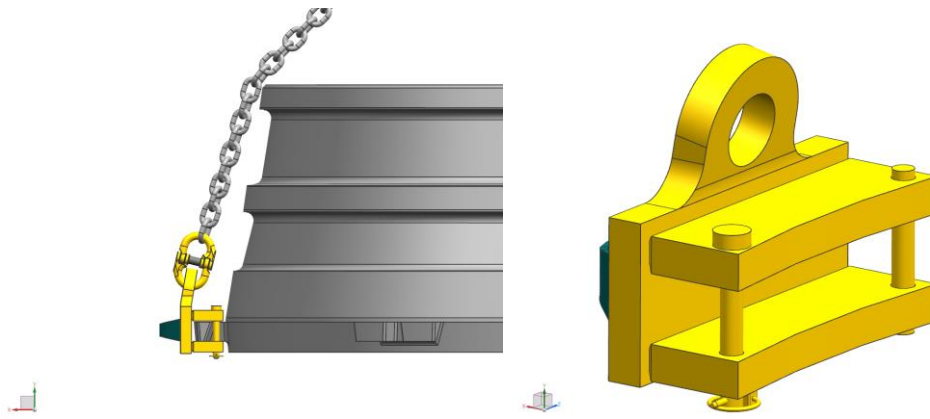
4.2 Muutokset

Asiakkaan ehdotuksen pohjalta käytettiin työkalututkimuksessa ehdotettuja rakenteita. Nostoapuvälineisiin täytyi kuitenkin tehdä pieniä muutoksia rakenteen suhteen sekä mitoittaa nostoketjut ja -komponentit. Tässä kappaleessa käsitellään muutokset, joilla pyrittiin ratkaisemaan esille nousseita ongelmia.

4.2.1 Alaosien nostoapuvälineen suunnittelu

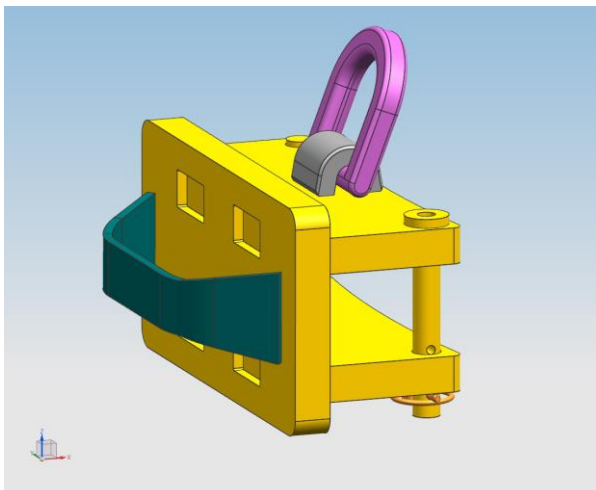
Asiakkaan vaatimukset olivat samat kuin Kuusisen reunaehdot työkalututkimuksessa. Alustavasti työkalujen materiaaleiksi valittiin rakenneteräs S355J2, koska nostoapuvälinettä käytettäisiin ulkona ja tarvittaessa alhaisissa lämpötiloissa. Ennen lujuuslaskentoja Kuusisen kuvailemia ongelmia pyrittiin ratkaisemaan mallien rakennemuutoksilla.

Alemman murskauskartion nostoapuväline pyrki kiertymään nostokorvakkeen ympäri aiheuttaen ylimääräistä rasitusta liitoksiin (kuva 12).



KUVA 12. Alaosan nostoapuväline kiinni ja irrallaan

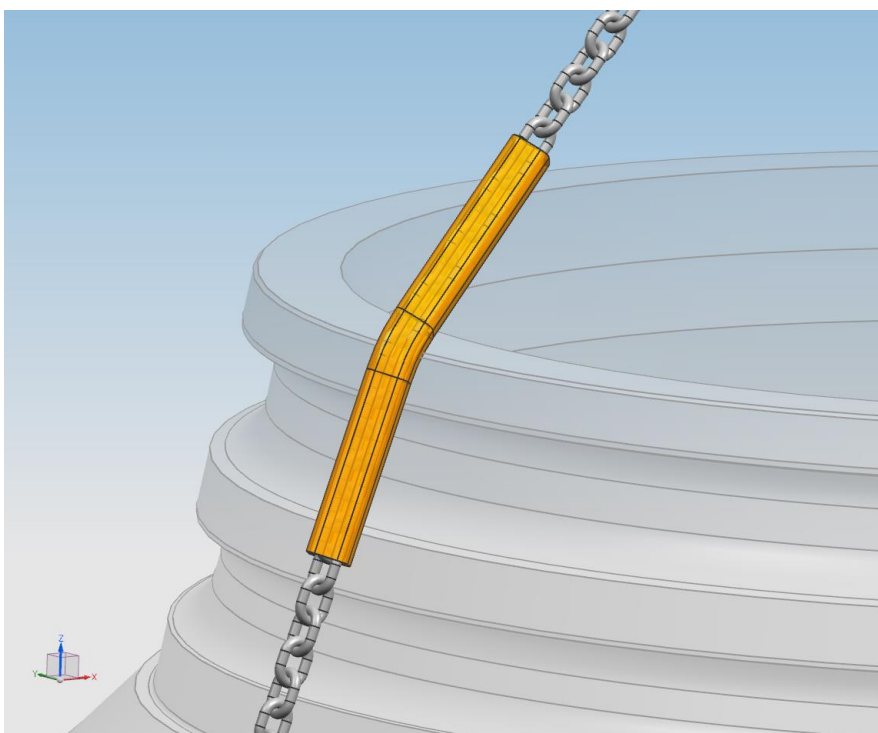
Nostokorvakkeiden mitoituksessa täytyy ottaa huomioon niihin kohdistuvat kuormitukset. Raksin haaraan kohdistuva voima vaikuttaa nostokorvakkeeseen sellaisenaan haaran suunnassa. Suunnitteluvaiheessa täytyy huomioida korvakkeeseen kohdistuva voima ja sen suunta. Markkinoilla on nykyään hitsattavia, joka suuntaan kuormitettavia nostokorvakkeita. (Työsuojeluhallinto 2010, 40). Alaosan nostoapuvälinettä muokattiin siten, että vanha korvake poistettiin ja se korvattiin ylälevyyn hitsattavalla 180 astetta kääntyvällä korvakkeella. Tällä saavutettiin huomattavasti parempi ketjukulma, eikä nostoapuväline pyri enää kääntymään liikaa. Ratkaisu on hieman kalliimpi kuin levyn taivutus, mutta koska korvakea käytetään muissakin Metson tuotteissa, hinta on edullisempi kuin suunnitella ja rakentaa vastaava osa itse. Alaosan nostoapuvälineen rakennetta muokattiin lisäämällä ylä- ja alalevyn ulokkeet, jotka menevät sivulevyn läpi. Jos huonosti hitsattu levyn sauma pettäisi, jäisi ulokkeet kantamaan, eikä osa väline hajoaisi hallitsemattomasti (kuva 13).



KUVA 13. Muokattu alaosan nostoapuväline

Suurilla valetuilla osilla on usein määritetty valutoleranssi, jonka sisään kappaleen mitat on mahduttava valamisen jälkeen. Jos valutoleranssia ei ole määritetty, on käytössä yleistoleranssi. Nostoapuväline mitoitettiin siten, että siinä on riittävästi tilaa myös silloin, kun toleranssit ovat ala- tai ylärajalla. Myös nostoapuvälineen suurinta kuormaa laskiessa täytyy muistaa, että suurten valukappaleiden paino voi vaihtua paljonkin toleranssialueella.

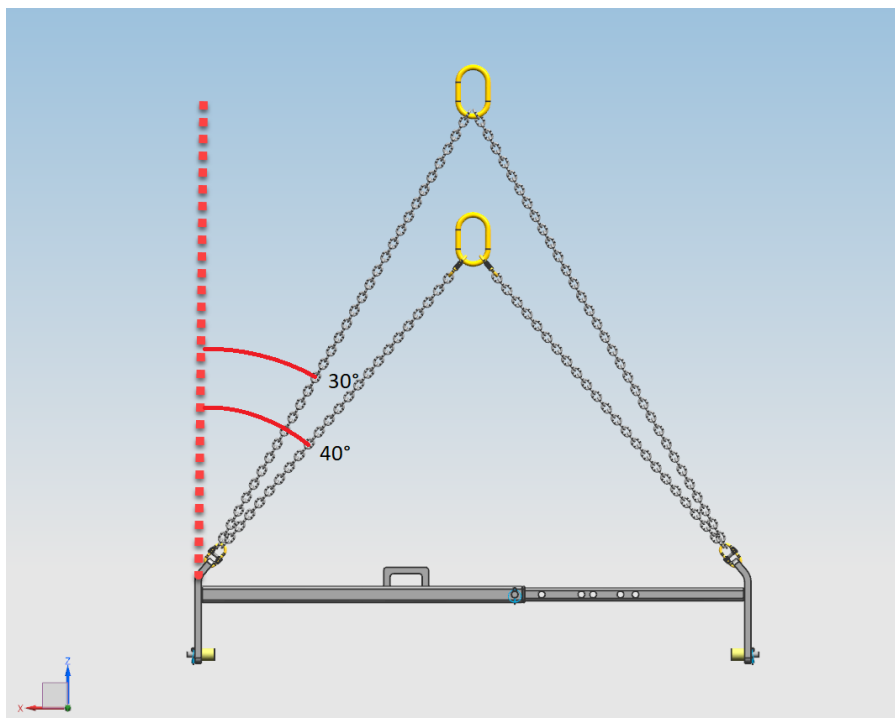
Nostoraksit ovat arkoja taakkojen teräville kulmille. Terävät kulmat olisi hyvä poistaa jo valmistusvaiheessa, mutta jos tämä ei ole mahdollista, täytyy raksi suojata (Työsuojeluhallinto 2010, 20). Työkalututkimuksessa käsiteltiin raksin levittäjät, jolloin ketjut eivät osuisi nostettavaan kappaleeseen. Idea kuitenkin hylättiin sen monimutkaisuuden takia. Yksinkertaisempuna ratkaisuna raksille päätettiin lisätä ketjuun vedettävä kettinkisuoja (kuva 14). Suoja on edullista polyuretaania ja sitä saa ostettua toimittajalta, jolta tilataan muitakin ketjukomponentteja. Raksiin valittiin työkuormaltaan sopivat liitoslenkit ja nostoketjut mitoitettiin sopiviksi. Raksin yläosaan valittiin sopiva nostorengas.



KUVA 14. Kettinkisuojaus

4.2.2 Ylä- ja välisosien nostoapuvälineen suunnittelu

Väli- ja yläosien nostoapuvälineen ongelmat liittyivät ketjukulmiin ja osien kestävyyskysymyksiin. Jos ketjukulmaa suurennettaisiin, profiilien lukitustapille kohdistuvat voiman vaakakomponentit suurenisivat (kuva 15). Ongelma ratkaistiin muuttamalla tappi kestämään voiman vaakakomponentti. Ketjukulman ja tappin mitoitus lujuuslaskennan avulla esitetään seuraavassa kappaleessa.



KUVA 15. Ketjukulman suurentuessa keskitappiin kohdistuu suurempi voima

Kuusinen ei ottanut kantaa välisosien nostoapuvälineen tyyppiin. Nostoapuväline määriteltiin nostopuomiksi, jotta nostoapuväline-standardin esimerkkejä voitaisiin suoraan soveltaa. Jos nostopuomi on tarkoitettu vaakasuoraan käyttöön, se on suunniteltava kestämään 6 asteen kallistuma (SFS-EN 13155 + A2 2009, 34). Kyseinen kallistuma otettiin huomioon lujuuslaskelmissa. Raksiin valittiin työkuormaltaan sopivat liitoslenkit ja nostoketjut mitoitettiin sopiviksi. Raksin yläosaan valittiin sopiva nostorengas.

4.3 Lujuustarkastelu

Nostotyökalujen mekaaninen lujuus laskettiin pääosin käsin. Käsinlaskuissa käytettiin kolminkertaista suurinta sallittua kuormaa. Kriittisiä kohtia selvitettiin NX-suunnitteluohjelman lujuusanalyysi-ohjelmalla. Koska nostoapuvälineiden malleista oli työkalutukimuksen pohjalta mallinnettu malli, aloitettiin lujuustarkastelu laskemalla nykyisen rakenteen kestävyys. Apuvälineessä esiintyi pääosin leikkausjännityksiä, mutta myös yhdistettyjä leikkaus- ja taipumajännityksiä, joita on hankala ratkaista käsinlaskien. Näin ollen käsinlaskuissa malleja ja kuormia idealisoitiin ja yksinkertaistettiin. FEM-laskuissa kuormituksen arvona käytettiin nostoapuvälineiden turvallisuus - standardin mukaan kaksin kerroin sallittua kuormaa ja saatuja jännityksiä verrattiin materiaalin myötörajaan. Kolmikertaista kuormaa käyttäen tarkistettiin, ettei kuorma pääse irtoamaan, vaikka muodonmuutos tapahtuisi.

Metson suunnitteluinsinöörin Kari Peltomäen (2019) mukaan kulutusosien kuluminen on monien tekijöiden summa ja niiden vaihtotiheyttä on hankala arvioida. Peltomäki kertoo kuitenkin vaihtokertoja kertyvän enintään joitain tuhansia, eikä nostoapuvälineelle ole tarpeellista suorittaa väsymistarkastelua.

4.3.1 Esimerkkilaskut

Lujuustarkastelussa laskettiin suunnittelujännitykset ja vaikuttavien voimien suuruudet apuvälinestandardin testausosiossa määritetty varmuuskerroin huomioon ottaen. Mitoituksessa käytettiin murskaintuoteperheen painavimpia kartiomalleja, jotta modulaarisuuden kanssa ei tulisi myöhemmin ongelmia.

Aluksi laskettiin suunnittelujännityksen raja ja siihen tarvittavat kestävyyskerroimet kaavalla 1. Nosturien yleissuunnittelu-standardin mukaan yleinen kestävyyskerroin γ_m on arvoltaan 1,1 ja materiaalin kestävyyskerroin γ_{sm} 0,95. Näin ollen kestävyyskerroin on

$$\gamma_{Rm} = 1,1 \cdot 0,95 = 1,045 .$$

Nosturien yleissuunnittelustandardin mukaan levypaksuuksilla 16...40mm S355-teräksen myötöraja on 345 MPa (SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018 2018, 13). Suunnittelujännityksen raja laskettiin kaavalla 2

$$f_{Rd\sigma} = \frac{345 \text{ MPa}}{1,045} = 330 \text{ MPa} .$$

Leikkausjännityksen raja laskettiin samaa materiaalia käyttäen kaavalla 3

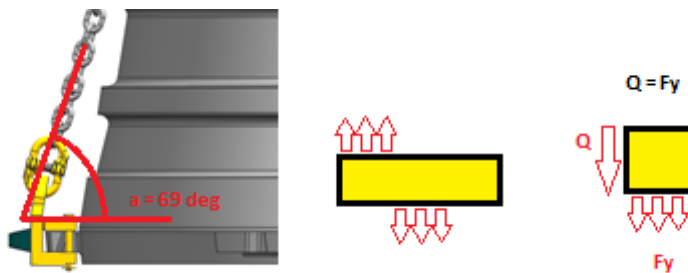
$$f_{Rd\tau} = \frac{345 \text{ MPa}}{1,045 \cdot \sqrt{3}} = 191 \text{ MPa} .$$

Nostoapuvälineiden rakenteissa kuorman aiheuttama voima laskettiin kaavalla 4. Alaosan nostoapuvälineeseen vaikuttavaksi voimaksi laskettiin

$$F = 3400 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 3 = 103000 \text{ N} .$$

Väliosan nostoapuvälineen voimat laskettiin vastaavalla tavalla.

Alaosan nostoapuvälineen teräslevyyn kohdistuu leikkausjännitystä (kuva 16).



KUVA 16. Alaosan levyyn kohdistuva leikkausjännitys

Edellisessä kohdassa laskettu normaalivoima jakaantuu alaosan nostossa kolmelle nostoapuvälineelle. Voiman pystykomponentti laskettiin trigonometrian avulla, kun ketjukulma ja kokonaisvoima tiedetään. Jännitys laskettiin kaavalla 5

$$\tau = \frac{\sin(69^\circ) \cdot \frac{103000 \text{ N}}{3}}{55 \text{ mm} \cdot 25 \text{ mm}} = 23 \text{ MPa}.$$

Tätä leikkausjännitystä verrattiin suunnitteluleikkausjännitykseen. Leikkausjännitys oli paljon alhaisempi kuin suunnitteluleikkausjännitys, joten levyä ohennettiin 20 millimetriseksi.

Nostokorvakkeen hitsin jännitykset laskettiin kaavalla 6

$$\sigma = \frac{\frac{103000 \text{ N}}{3}}{3 \text{ mm} \cdot 72 \text{ mm}} = 159 \text{ MPa}.$$

Hitsin mitoitusarvo laskettiin kaavalla 7. Kaavassa käytettiin S355 teräkselle murtolujuuden f_u arvoa 490 MPa (SFS-EN 13001-3-1 + A2:2018 2018, 13). Korrelaatiokertoimen β_w arvona S355 teräkselle käytettiin 0,9 (SFS-EN 1993-1-8 2005, 47). Osavarmuusluvun γ_{M2} käytettiin suositeltua arvoa 1,25 hitsien mitoituksessa (SFS-EN 1993-1-8 2005, 19). Leikkausjännityksen mitoitus arvoksi laskettiin

$$f_{vw.d} = \frac{490 \text{ MPa} / \sqrt{3}}{0.9 \cdot 1.25} \approx 251 \text{ MPa}.$$

Väliosan nostoapuvälineen kriittisimmät osat ovat profiilien lukitustappi ja kuormaa kannattelevat tapit. Ketjukulman ollessa 30°, etäisyys nostettavan kappaleen pohjasta ketjuraksin yläosaan olisi n. 2100 mm. Korkeutta haluttiin pudottaa, joten jännitykset laskettiin kallistuskulmalla 40° ja tapin halkaisijalla 15 mm. Tapin leikkausjännitys laskettiin kaavalla 5. Voimana käytetään voiman vaakakomponenttia. Leikkausjännityksen arvoksi laskettiin

$$\tau = \frac{41200 \text{ N} \cdot \tan(40^\circ)}{\left(\frac{15 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot \pi} \approx 195 \text{ MPa}.$$

Ketjukulman muuttaminen nostaa leikkausjännityksen suuremmaksi kuin kaavalla 3 laskettu leikkausjännityksen raja. Tappia suurennettiin seuraavaan vakiokokoon 20 mm, jolloin jännitykseksi jäi 161 MPa. Alatappien leikkausjännitykset laskettiin vastaavasti.

Nurjahdusvoiman laskemiseen tarvittiin profiilin neliömomentti, joka saatiin selville toimittajan katalogista. Profiiliksi valittiin Metson tuotteissa käytettyä neliöputkiprofiilia, jonka tekniset tiedot nähdään taulukosta 1.

TAULUKKO 1. Profiilin tietoja

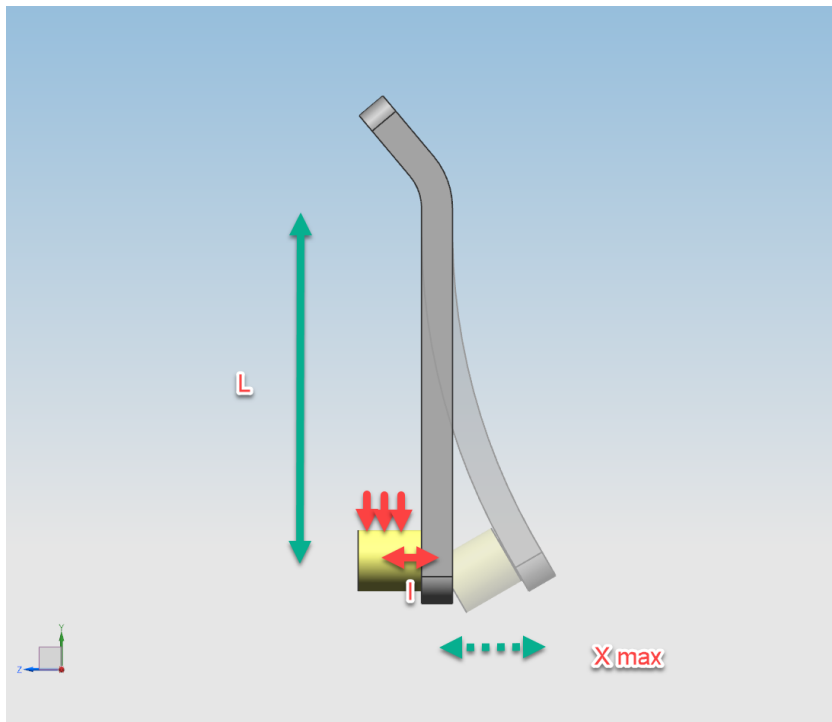
Profiili	Pinta-ala A (mm ²)	Massa M (kg)	Jäyhyysmomentti I (mm ⁴)	Jäyhyyssäde i (mm)
40 x 40 x 4	5.35	4.20	110700	1.44
50 x 50 x 4	6.95	5.45	141500	1.85

Nurjahdusta tarkastellessa huomataan, että profiilin molemmat päät pääsevät liikkumaan, jolloin sovelletaan toista nurjahdustapausta, jossa nurjahduspituus on sama kuin profiilin todellinen pituus. Nurjahdusvoima laskettiin ohuemmalle profiilille kaavalla 8

$$F_n = \frac{\pi^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 110700 \text{ mm}^4}{(800 \text{ mm})^2} \approx 360 \text{ kN}$$

Nurjahdusvoima on yli kymmenen kertaa pienempi kuin voiman vaakakomponentti, joten nurjahdusta ei tapahdu.

Taipumista välisien nostossa tapahtuu, kun alaosa nostetaan ja tappiin kohdistava voima synnyttää momentin, joka pyrkii vääntämään levyä (kuva 17).



KUVA 17. Momentin aiheuttama vääntö sivulevyssä

Tällöin tapin kantopinta-ala pienenee ja kuormalla on vaara pudota. Momenttivarren pituus syntyy tapin kantopinta-alan keskeltä mitattuna levyn keskikohtaan. Neliömomentti lasketaan kaavalla 9

$$I_z = \frac{56 \text{ mm} \cdot (16 \text{ mm})^3}{12} \approx 19115 \text{ mm}^4$$

ja levyn maksimitaipuma kaavalla 10

$$x_{\max} = \frac{\left(\frac{41200 \text{ N}}{2} \cdot 22 \text{ mm}\right) \cdot (175.25 \text{ mm})^2}{2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 19115 \text{ mm}^4} = 1.734 \text{ mm}.$$

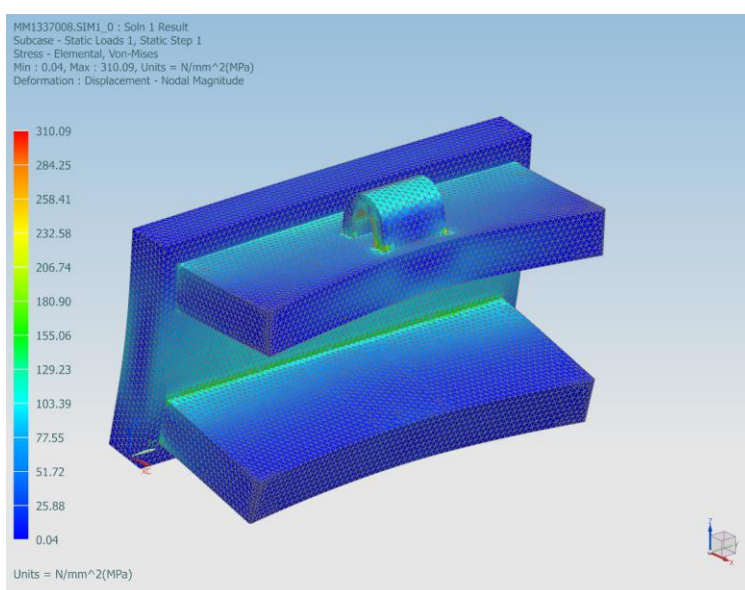
Lujuustarkastelun perusteella levy ei taivu niin, että kuorma irtoaisi.

4.3.2 Elementtimenetelmä

Nostoapuvälineiden monimutkaisten rakenteiden vuoksi elementtimenetelmää sovellettiin jännityshuippujen etsintään ja tuloksia käytettiin käsinlaskennan tukena. Laskentaohjelmaksi käytettiin Siemens NX-mallinnusohjelmassa olevaa Advanced Simulation-ohjelmaa. FEM-analyysi on hyvä tapa iteroida suunnittelua

ennen virallista lujuuslaskentaa, sillä siitä nähdään jännitysten suuruusluokkien lisäksi etäisyydet ja taipumasuunnat.

Alaosan nostoapuvälinettä yksinkertaistettiin poistamalla ylimääräisiä pintoja ja osat yhdistettiin yhdeksi kappaleeksi. Kappaleeseen luotiin elementtiverkko, jota tihennettiin liitoskohdissa. Voiman suuruutena käytettiin suurinta nostovoimaa ensin kaksinkertaisena, jonka jälkeen kolminkertaisena. Suunnaksi osoitettiin ketjun suunta. Kriittisimmäksi kohdaksi osoittautui ylälevyn hitsisauma, jossa Von Misesin jännityshuiput olivat 310 MPa. Toiseksi suurimmat jännitykset sijaitsivat vaakalevyjen ja pätylevyn saumakohdassa (kuva 18).

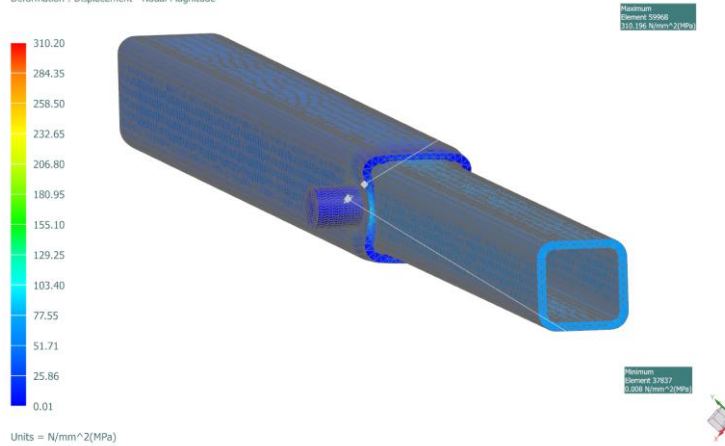


KUVA 18. Alaosan nostotyökalun jännitykset.

Alaosan nostoapuväline taipui ketjun suuntaan 0.4 mm. Levyn materiaalin paksuus optimoitiin jännitystarkastelun ja lujuuslaskennan perusteella.

Väliosan ja yläosan analyysi on hyvin samankaltainen, joten tulokset esitellään vain väliosan osalta. Väliosan nostoapuväline pilkottiin pienempiin tarkasteltaviin osiin. Suurimmat jännitykset syntyivät keskitappiin sekä alatappeihin ja levyn reikään, jossa alatapit ovat kiinni. Keskitapissa jännitykset nousivat paikallisesti 310 MPa (kuva 19). Jännitykset ovat profiilien välissä. Profiilit antavat periksi yhteensä 0.5 mm, mutta plastista muodonmuutosta ei tapahdu.

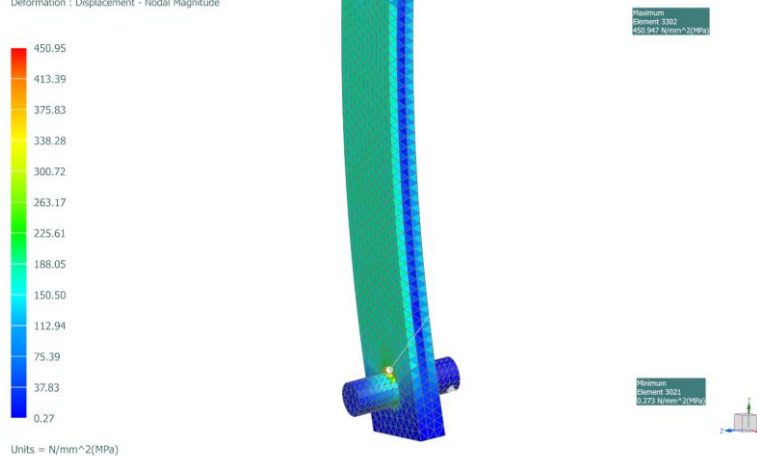
MM1355540.SIM1_0 : Soln 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Von-Mises
Min : 0.01, Max : 310.20, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



KUVA 19. Profiilien ja keskitapin jännitykset

Alatapeissa jännityshuippu oli 451 MPa ja sijaitsee levyn ja tapin reunassa (kuva 20). Elementtimenetelmässä kappale yksinkertaistettiin yhdeksi kappaleeksi. Näin analyysiä tehdessä tappi repeää levystä irti, vaikka todellisuudessa jännityshuippu tulisi tapin alapuolelle.

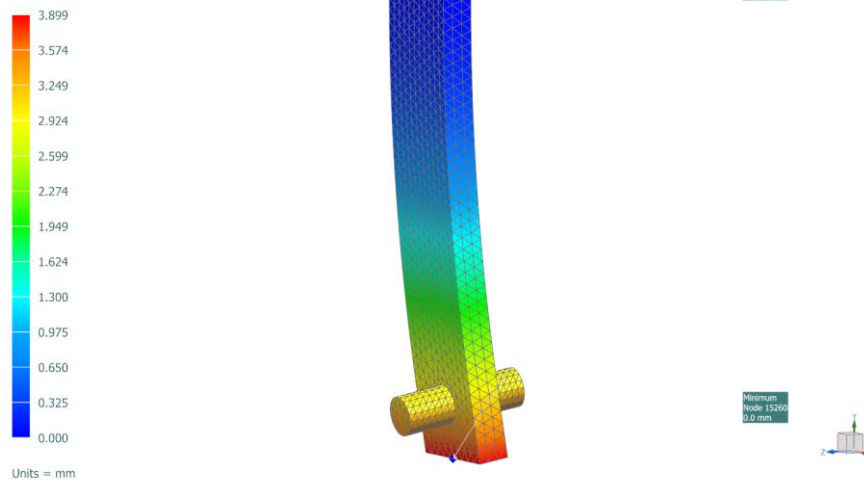
MM1355561.SIM1_0 : Soln 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Von-Mises
Min : 0.27, Max : 450.95, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



KUVA 20. Tapin ja levyn jännitykset

Tapin aiheuttaman momentin vuoksi levy taipuu ulospäin reijästä. 3.8 mm taipuma on yli kaksinkertainen käsinlaskuissa saatuun tulokseen 1.734 mm. Materiaaliksi valittiin 25% paksumpaa levyä, jolloin taipuma puolittui. Analyysi toistettiin 6 asteen kulmalla (kuva 21).

MM1355561.SIM1_0 : Soln 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 3.899, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



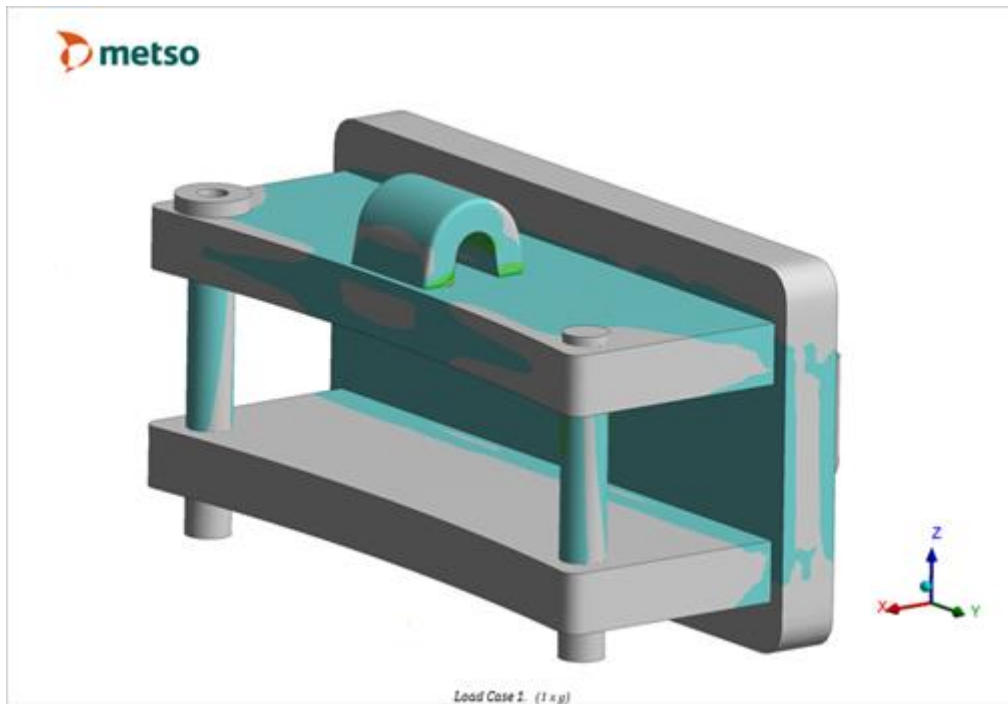
KUVA 21. Levyn siirtymä taivutustilanteessa

4.4 Todentaminen

Metso Minerals Oy:n Tampereen suunnittelukonttorin lujuuslaskentaosasto todensi osan mekaanisen lujuuden omalla lujuuslaskentaan tarkoitettulla ANSYS-ohjelmalla. Nostoapuvälineiden lujuus testattiin nimelliskuormalla sekä kolminkertaisella kuormalla.

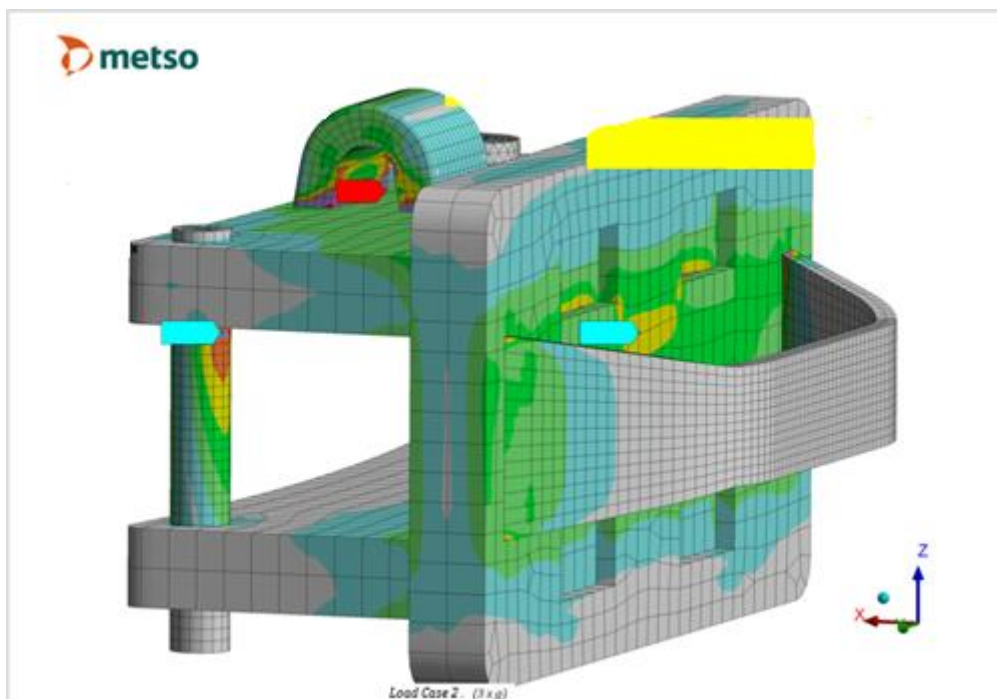
4.4.1 Alaosan nosto

Nimelliskuormalla koko apuvälineen jännitykset jäivät reilusti alle myötörajan (kuva 22). Suurimmat jännitykset sijaitsivat nostokorvakkeen juuressa.



KUVA 22. Nostoapuvälineen jännitykset nimelliskuormalla

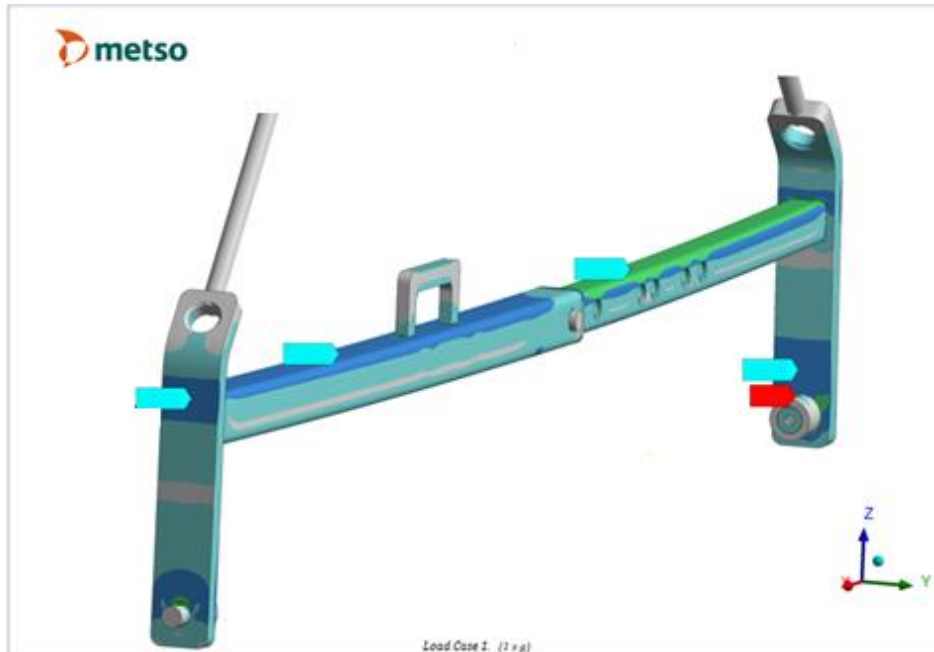
Kolmikertaisella kuormalla nostessa jännityshuiput sijaitsevat saman nostokorvakkeen juuressa, mutta ovat suuruudeltaan kolminkertaisia. Jännityshuiput ovat kuitenkin paikallisia korvakkeen terävissä nurkissa, eivätkä ne vaikuta kokonaisuuteen. Muualla välineessä ei tapahdu muodonmuutoksia (kuva 23).



KUVA 23. Nostoapuvälineen jännitykset kolminkertaisella kuormalla

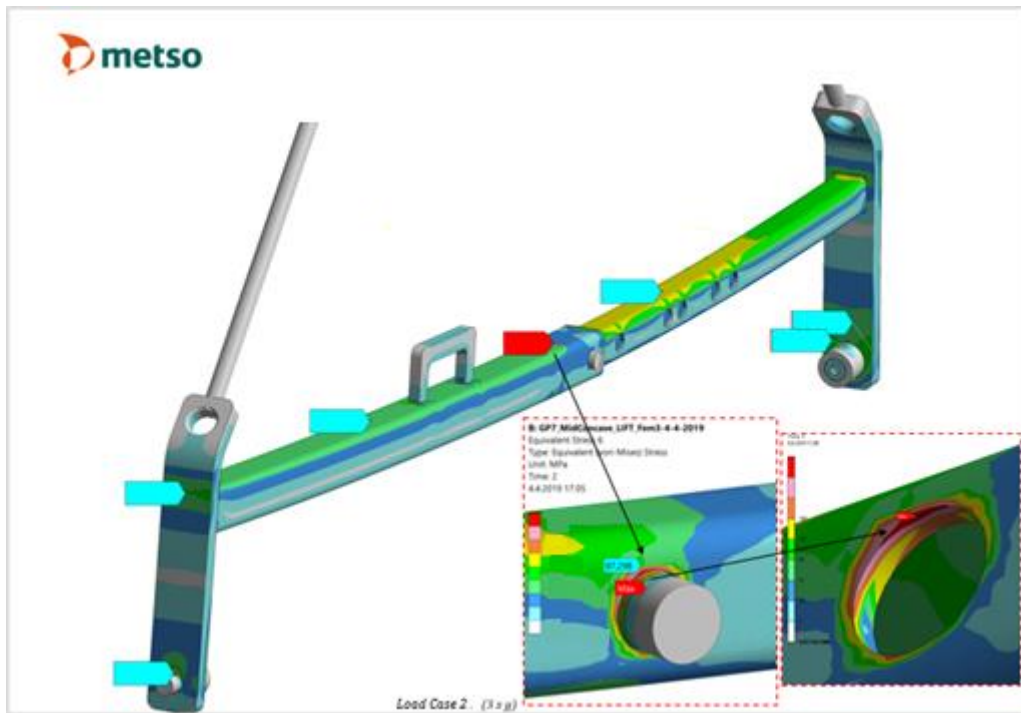
4.4.2 Väliosan nosto

Väliosan nostoapuvälineelle tehtiin vastaavat laskelmat. Nimelliskuorman nostossa jännitykset jäävät alle myötörajan (kuva 24). Suurimmat jännitykset sijaitsevat alatapin holkin pinnassa.



KUVA 24. Nostoapuvälineen jännitykset nimelliskuormalla

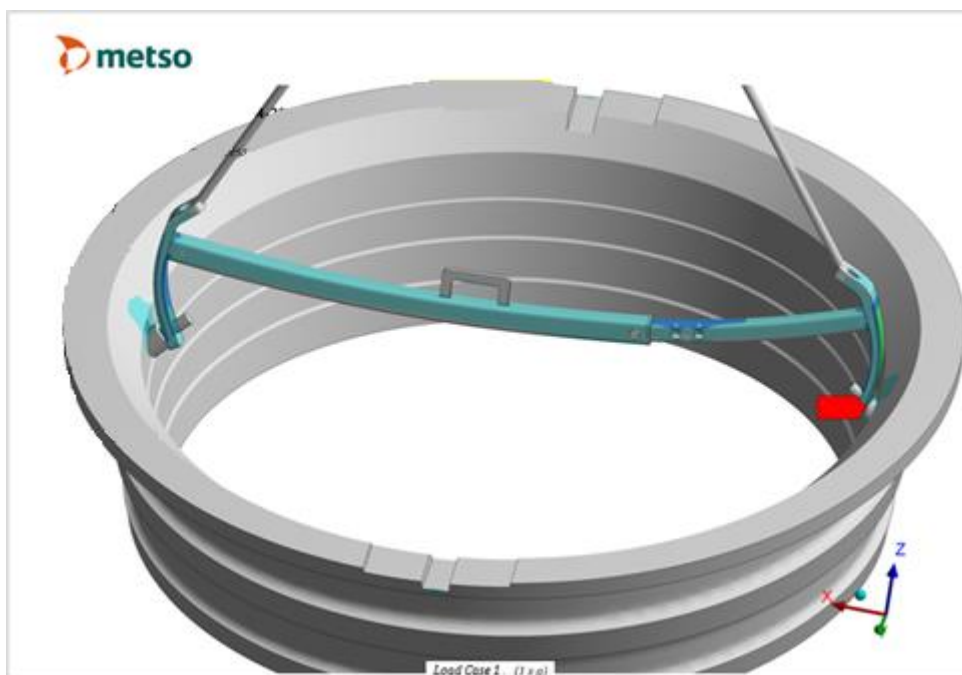
Väliosan nostossa kolminkertaisella kuormalla tapahtuu murtorajan ylitys keskitapin reiän yläreunassa. Ylitys tapahtuu kuitenkin hyvin pienellä alueella profiilin terävässä kulmassa, eikä riko rakenteita siten, että riskinä olisi kuorman irtoaminen (kuva 25). Holkin pinnassa oleva jännitys on alle myötörajan.



KUVA 25. Nostoapuvälineen jännitykset kolminkertaisella kuormalla

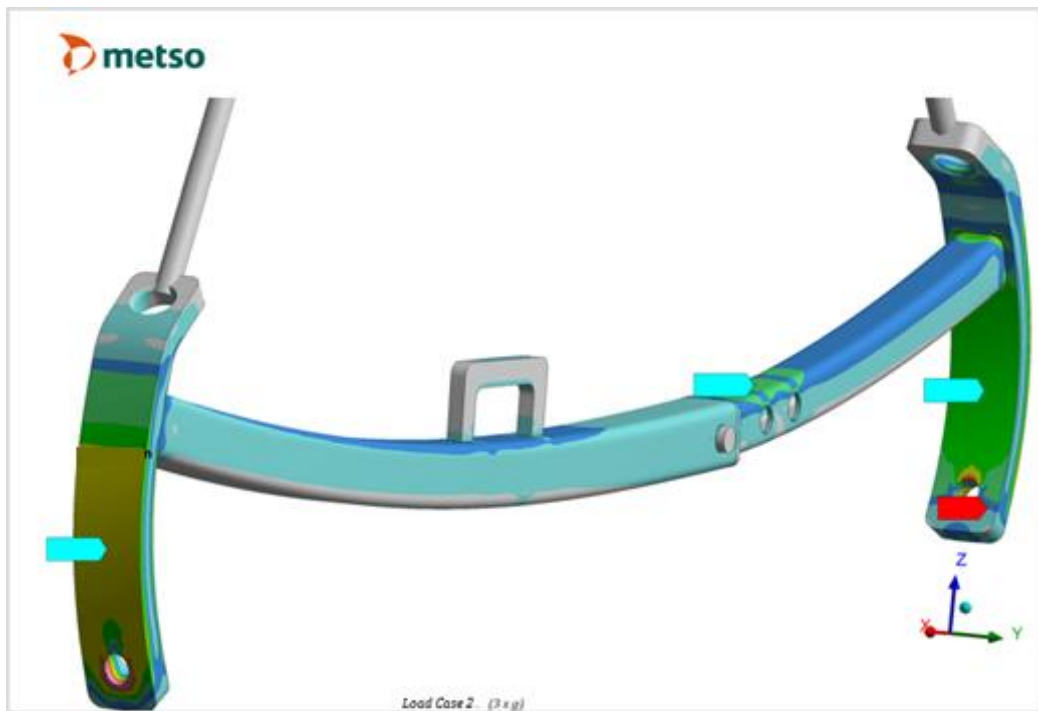
4.4.3 Yläosan nosto

Yläosan nostossa jännitykset ovat maltilliset normaalilla kuormalla nostaesa (kuva 26). Suurimmat jännityshuiput sijaitsevat alatapin reiän alaosassa.



KUVA 26. Nostoapuvälineen jännitykset nimelliskuormalla

Nostotilanne kolminkertaisella kuormalla luo jännityshuiput tapin ja levyn reunaan, kuten väliosan nostossakin. Nostoapuväline-standardin mukaan kolminkertaisella kuormituksella nostoapuvälineen jännitykset saavat ylittää myötörajan, mutta rakenne ei saa rikkoutua siten, että nostettava kuorma voisi tippua. Analyysin mukaan jännitykset ovat yli myötörajan hyvin pienellä alueella, mutta selvästi alle murtorajan, eivätkä aiheuta kuormalle putoamisvaaraa (kuva 27).



KUVA 27. Nostoapuvälineen jännitykset kolminkertaisella kuormalla

5 TULOKSET

Tässä kappaleessa esitellään tulokset eri laskumenetelmillä ja vertaillaan kriittisten kohtien maksimijännityksiä kolminkertaisen kuorman nostotilanteessa. Taulukossa 2 esitellään alaosan nostoapuvälineen tulokset.

TAULUKKO 2. Alaosan nostoapuvälineen jännityksiä

Menetelmä	Ylälevyn jännitys	Korvakkeen jännitys
Käsinlaskenta	29 MPa	159 MPa
FEM-analyysi (NX)	180 MPa	310 MPa
FEM-analyysi (ANSYS)	160 MPa	553 MPa

Alaosan nostossa käsinlaskennalla saadaan tuloksena alhaisimmat jännitykset. Metson lujuuslaskentaosasto laskennassa korvakkeen jännitykset ovat reilusti suuremmat omaan laskentaan verraten, mutta kyseessä on vain pienellä alueella oleva jännityshuippu. Korvakkeen jännityshuipun vieressä jännitykset ovat noin 300 MPa. Väliosian nostoapuvälineen jännityshuippuja ja tuloksia esitellään taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Väliosian nostoapuvälineiden laskutuloksia

Menetelmä	Alatappi	Keskitappi	Levy
Käsinlaskenta	66 MPa	161 MPa	0.88 mm
FEM-analyysi (NX)	451 MPa	310 MPa	1.90 mm
FEM-analyysi (ANSYS)	320 MPa	525 MPa	3.23 mm

Metson laskentaosaston tuloksissa ilmenee suurempi x-suuntainen siirtymä. Tuloksien perusteella nostoapuvälineeseen ei muodostu sellaista plastista muodonmuutosta tai siirtymää, että kuorma pääsisi irtoamaan. Myös väliosian nostoapuvälineen laskuissa käsinlaskennan tulokset ovat huomattavasti pienemmät kuin FEM-analyysien. Keskitapin jännitys on paikallisesti todella pienellä alueella yli myötörajan keskitapin reiän reunalla, eikä aiheuta haittaa nostoapuvälineen kestävyydelle. Yläosan nostoapuvälineen tuloksia ei eritellä, sillä nostotilanne on samankaltainen kuin väliosian, eikä tuloksissa ilmennyt poikkeavuuksia.

6 POHDINTA

Opinnäytetyössä suunniteltiin kaksi nostoapuvälinettä, jotka täyttävät asiakkaan ja lain asettamat vaatimukset. Nostoapuvälineet suunniteltiin työkalututkimuksen pohjalta, eikä niiden rakennetta muutettu niin, että modulaarisuus opinnäytetyön ulkopuolella oleviin murskamalleihin vähentyisi. Nostoapuvälineiden rakennetta muutettiin hiekoimmissa kohdissa vahvemiksi lujuuslaskennan perusteella. Joitain osia, kuten kantokahvaa, muutettiin toiminnan ja käytettävyyden parantamiseksi. Rakenteissa käytettiin helposti valmistettavia tai alihankintana käytettyjä osia sekä standardimateriaaleja. Suunnittelu suoritettiin direktiivit ja standardit huomioiden. Todentaminen osoittaa, että nostoapuväline on turvallinen ja täyttää lain vaatimukset. Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet täyttyivät.

Omat tavoitteet olivat oppia nostoapuvälineiden suunnitteluprosessi sekä tutustua FEM-analyysiin. Lujuustarkastelussa käsinlaskennan tuloksista saatavat jännitykset ovat suurimmilta osin paljon pienempiä kuin FEM-analyysillä saadut. Tämä selittyy mallien rakenteilla, joissa on paljon hankalasti käsin laskettavia yhdistelmäjäännityksiä. Näin ollen esimerkiksi tapissa oleellista voi olla laskea vain leikkausjännitys, mutta tietokone laskee momentista aiheutuvan jännityksen ja leikkausjännityksen yhteen. Yhteenvetona voitaisiin siis todeta, että yksinkertaisissa tapauksissa käsinlasketut jännitykset ovat lähellä FEM-laskennalla laskettuja arvoja, mutta monimutkaisia rakenteita suunnitellessa erot voivat olla suuria ja tuloksia täytyy osata lukea oikein.

Opinnäytetyön lähteinä käytettiin lujuus- ja koneensuunnitteluopin kirjallisia teoksia, direktiivejä ja standardeja. Standardit ovat usein tulkinnan varaisia, mutta opinnäytetyön kohteeseen löytyi pääosin yksiselitteisiä ohjeita. Lähteinä pyrittiin käyttämään ajankohtaisia ja ensisijaisia lähteitä. Opinnäytetyössä suunnitellun nostoapuvälineen markkinoille saattaminen jatkuu teknisen tiedoston teolla, käyttöohjekirjan kirjoittamisella, staattisen testin suorittamisella ja lopuksi CE-merkinnän kiinnittämisellä.

LÄHTEET

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2010. Koneenosien suunnittelu. 4.-5. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.

Hakapää, A., Lappalainen, P. & Paalumäki, T. 2015. Kaivos- ja louhostekniikka. 3. painos. Helsinki: Kaivosteollisuus ry ja Opetushallitus.

Kuusinen, S. 2018. Nostotyökalututkimus Metso Nordberg GP -sarjan ulommille murskauskartioille. Konetekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Metso. Lehdistötiedote. 2018. Luettu 16.3.2019.

<https://www.metso.com/fi/uutiset/2018/1/uusi-nopea-tela-alustaisten-murskauslaitosten-kokoonpanolinja-kaynnistyy-metson-tampereen-tehtaalla/>

Metso. Nordberg GP7 cone crusher. 2017. Luettu 23.3.2019.

<https://www.metso.com/products/crushers/cone-crushers/nordberg-gp-series/gp7/>

Metso. Nordberg GP cone crusher instruction manual. 2018.

Metso. Open Media Bank. 2019. Luettu 5.4.2019.

<https://metso.mediafiles.fi/openmediabank/#/>

Metso. Strategia ja Visio. 2018. Luettu 9.3.2019.

<https://www.metso.com/fi/yritys/strategia/>

Metso. Taloudellinen katsaus. 2018. Luettu 9.3.2019.

https://www.metso.com/siteassets/annual-report/2018/metso_taloudellinen_katsaus_2018.pdf

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2015. Tekniikan kaavasto. 14. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy, Tammertekniikka.

Outinen, H., Salmi, T. & Vulli, P. 2007. Lujusopin perusteet. 5. painos. Tampere: Pressus Oy.

Peltomäki, K. Suunnitteluinsinööri. 2019. Haastattelu 18.3.2019. Haastattelijä Alatalo, R. Tampere.

Suomen standardoimisliitto SFS ry. 2015. Koneturvallisuuden standardit. Luettu 24.3.2019. <https://www.sfs.fi/files/63/Koneturvallisuusesite2015web.pdf>

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 21.4.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 24.3.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 13001-3-1:2012 + A2:2018. 2018. Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 3-1: Teräsrakenteiden rajatilat ja kelpoisuuden osoittaminen. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 29.3.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 13155 + A2. 2009. Nosturit. Turvallisuus. Irroitettavat nostoapuvälineet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 23.3.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Tukes. 2018. Koneita koskevat vaatimukset. Luettu 23.3.2019. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet>

Työsuojeluhallinto. 2010. Nostoapuvälineet. Turvallisuus. Luettu 11.4.2019. http://nostokonepalvelu.fi/sites/nostokonepalvelu.fi/files/Nostoapuvalineet_turvallisuus.pdf

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400.