

NOSTOAPUVÄLINEEN ESISUUNNITTELU YDINVOIMALAAN



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikka, insinööri (AMK)

Syksy, 2023

Esa Palomäki

Insinööri, konetekniikka

Tekijä Esa Palomäki

Työn nimi Nostoapuvälineen esisuunnittelu ydinvoimalaan

Ohjaaja Esa Murtola

Tiivistelmä

Vuosi 2023

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä esisuunnitelma nostoapuvälineestä ydinvoimalaan. Nostoapuvälineellä on tarkoitus nostaa käytettyjen ydinpolttoaineiden väliaikaiseen säilömiseen tarkoitettu teline säilytysaltaan pohjasta. Suunnittelu koostui suurimmalta osalta mallintamisesta, lujuustarkastelusta ja valmistusmateriaalin optimoinnista.

Nostoapuväline mallinnettiin käyttämällä PTC-yrityksen Creo-ohjelmaa. Osien liitoskohdat suunniteltiin ja lujuutta tarkasteltiin laskemalla niihin liittyvien standardien avulla. Nostoapuvälineen osien lujuutta tarkasteltiin Ansys-ohjelmalla ja tulosten perusteella muutettiin tarvittaessa osien geometriaa, kunnes tarkastelujen tulokset olivat vaatimuksien mukaisia.

Työn tulokseksi syntyi esisuunnitelma nostoapuvälineestä, eli konsepti, jota käytettäisiin apuna nostoapuvälineen lopullisessa ja tarkemmassa suunnittelussa. Lopulliseen esisuunnitelmaan kuului optimoitu ja lujuustarkastettu 3D-malli nostoapuvälineestä, valitut palkkirakenteet, nostoapuvälineeseen liitettävät ulkoiset tuotteet sekä selostus nostoapuvälineen mekaniikan toiminnasta. Esisuunniteltua aineistoa tullaan käyttämään tulevaisuudessa apuna nostoapuvälineen detaljisuunnitteluun.

Avainsanat Esisuunnitelma, nostoapuväline, tiheä ydinpolttoaineteline

Sivut 34 sivua ja liitteitä 2 sivua

The subject of this thesis was to make a preliminary design of a lifting accessory to be used in a nuclear power plant. The purpose of the lifting accessory is to lift the nuclear fuel rack from the bottom of the storage pool. The design consisted for the most part of modelling, strength analysis, and optimization of the manufacturing material.

The lifting accessory was modeled using PTC's Creo program. The designs and the strength calculations of the connections of the parts were made with the help of the related standards. The strength of the parts of the lifting accessory was analyzed with the Ansys program and the geometry of the parts were changed based on the results until they fulfilled all the demands.

The result of the work was a preliminary design of the lifting accessory, that is a concept that would be used as an guide in the final and more precise design of the lifting aid. The final design included an optimized and strength-checked 3D model of the lifting accessory, the selected beam structures, external products to be connected to the lifting accessory and a description of the mechanics of the lifting accessory. The preliminary design material will be used in the future as a guide for the detailed design of the lifting accessory.

Keywords Compact nuclear fuel rack, lifting accessory, preliminary design

Pages 34 pages and appendices 2 pages

Sisälllys

1	Johdanto	1
1.1	Fortum Oyj	1
1.2	Nostoapuvälineen tarve.....	2
2	Työn vaatimukset ja rajoitteet	3
2.1	Tilaaajan vaatimukset ja rajoitteet työlle	3
2.2	Direktiivit, lainsäädäntö ja YVL-ohjeet.....	4
2.2.1	Koneasetus	5
2.2.2	Konedirektiivi	5
2.2.3	STUK ja YVL-ohjeet	5
2.2.4	Merkinnät.....	6
2.3	Standardit.....	7
2.3.1	Yleisesti koneturvallisuuden standardeista	7
2.3.2	Irrotettavia nostoapuvälineitä koskeva standardi	7
3	Tuotekehitys	8
3.1	Tuotekehitysprojektin aloitus	8
3.2	Käytetyt ohjelmistot.....	8
3.3	Mallinnus.....	9
3.3.1	Yleistä	9
3.3.2	Nostokohdat ja päägeometria	10
4	Lujuustarkastelu	14
4.1	Lujuustarkastelun johdanto	15
4.2	Materiaali	15
4.3	Voimat.....	16
4.4	Nostokehikko	18
4.4.1	Nostokehikon rakenne	18
4.4.2	Nostokorvake	21
4.4.3	Nostokehikon taipuma ja jännitykset	22
4.5	Nivelet	24
4.6	Tarraimet.....	26

5	Päätelmät	30
5.1	Lopputulos.....	30
5.2	Jatkokehitys.....	31
6	Yhteenveto	32
	Lähteet.....	34

Liitteet

Liite 1. Nivel tappiliitos laskut

Liite 2. Tarraimien niveltappiliitoksen rakenneosien pinta-ala

1 Johdanto

Työn tavoitteena on luoda esisuunnitelma nostoapuvälineestä Loviisan ydinvoimalaitokselle. Nostoapuvälineellä on tarkoitus nopeuttaa tiheiden polttoainetelineiden nostamista säilytysaltaasta. Nykyisessä käytännössä polttoainetelineet joudutaan purkaa altaan pohjassa ennen sen nostoa, nostoapuvälineellä on tarkoitus pystyä nostamaan nämä polttoainetelineet kokonaisina. Valmiiseen esisuunnitelmaan tulee kuulua 3D-malli nostoapuvälineen konseptista, lujuustarkasteluosio sekä selostus nostoapuvälineen mekaanisesta toiminnasta. Osa työssä esitetyistä asioista perustuu palaverissa käytyihin asioihin ja yrityksen sisäisen tietokannan asioihin, eikä niissä sen vuoksi ole lähdeviitettä.

1.1 Fortum Oyj

Fortum Oyj on vuonna 1998 perustettu suomalainen energiakonserni, jonka pääkonttori sijaitsee Espoon Keilaniemessä. Fortumin tämänhetkinen toimitusjohtaja on Markus Rauramo. Fortumin pääliiketoiminta on suurimmaksi osaksi Pohjoismaissa ja se koostuu vesivoiman, ydinvoiman, kaukolämmön, hiilivoiman, tuulivoiman ja aurinkoenergian tuotannosta ja myymisestä, sekä kierrätys- ja jäteliiketoiminnasta. (Fortum, 2023a)

Vuonna 2022 Fortumin myynti oli 7774 miljoonaa euroa, yhtiö työllisti noin 5000 työntekijää ja ydinliiketoimintaa oli kymmenessä eri maassa. Fortumin vertailukelpoinen käyttökate oli 2436 miljoonaa euroa ja vertailukelpoinen liikevoitto oli 1871 miljoonaa euroa. Fortum tuotti sähköä 44,2 TWh, lämpöä 5,3 TWh ja sen Euroopan sähköntuotannosta 97 % oli CO₂-vapaata sähköä. (Fortum, 2023b)

Fortumin uusimman strategian pääprioriteetit ovat puhtaan energian tuottaminen luotettavasti tarvittavalla mittakaavalla asiakkailleen ja pohjoismaiselle energiajärjestelmälle, teollisuuden dekarbonisaation edistäminen sekä toimintamallin ja työskentelytapojen uudistaminen ja kehittäminen. (Fortum, 2023c)

1.2 Nostoapuvälineen tarve

Loviisan voimalaitoksella välivarastoidaan käytettyä ydinpolttoainetta KPA1- ja KPA2-varastoissa. KPA-lyhenne tulee sanoista käytetty polttoaine. Loviisan voimalaitoksen KPA2-varastolle on asennettu vanhojen polttoainetelineiden tilalle uusia tiheitä polttoainetelineitä, joissa säilytetään käytettyä ydinpolttoainetta. Käytettyä polttoainetta varastoidaan Loviisan voimalaitoksella siihen saakka, kunnes se loppusijoitetaan Olkiluotoon. Voimalaitoksella varastoitavan polttoaineen määrä kasvaa vuosittain ja tämän vuoksi varastokapasiteettia on lisättävä määräjain. Varastointikapasiteetissa tulee myös ottaa huomioon mahdollisuus tyhjentää polttoainealtaat puhdistusta, tarkastusta tai mahdollisia korjaustöitä varten.

Vuonna 2018 viimeisimmän muutosprojektin yhteydessä FS Dynamics on tehnyt lujustarkastelun polttoainetelineelle, mutta FS Dynamicsin raportissa on tarkasteltu vain polttoainetelineiden nostotapausta, jossa teline nostetaan ilman polttoainekanavia. Tällainen nostotapaus edellyttää, että polttoaineallas tyhjennetään polttoaineen lisäksi vedestä sekä sen, että jokainen polttoainekanaava irrotetaan erikseen pohjalevystä. Polttoainealtaan tyhjennys sekä polttoainekanavien irrottaminen erikseen vievät paljon aikaa ja työtä. Tämän takia Loviisan ydinvoimalaitos on tilannut Fortumilta esisuunnitelman nostoapulaitteesta, jolla mahdollistettaisiin uusien tiheiden polttoainetelineiden nosto kaikkine rakenteineen, ilman polttoaineita. Tällainen nostotarve voisi ilmetä esimerkiksi huoltotöiden tai tarkastustöiden vaatiessa. Altaan nopea tyhjentäminen mahdollistaisi vian nopeamman korjauksen, kuin tämänhetkisen suunnitelman mukainen nosto, jossa purkutöiden lisäksi polttoainekanaavat nostetaan yksitellen, jonka jälkeen vasta voitaisiin nostaa telineen pohjarakenne. On myös tutkittu mahdollisuutta nostaa polttoainetelineet ilman veden poistamista altaasta, mutta tämä nostotapahtuma olisi liian haastava. Haastavuuden syitä ovat erittäin pienet toleranssit nostossa, viereinen polttoaineteline on vain muutaman senttimetrin päässä toisesta ja nostotapahtumassa ei saa tapahtua pientäkään heilahdusta. Jos nostettaessa altaassa olisi yhä vesi jäljellä, nosturin koukun on oltava vedenpinnan yläpuolella, joka on 10,8 metriä pohjan yläpuolella. Korkeus ja tarkkuus tekevät nostotapahtumasta liian haastavan veden kanssa.

Tiheiden polttoainetelineiden pohjarakenteiden kulmissa on alkuperäiset nostokorvakkeet, joilla teline on laskettu altaaseen ja suunniteltu nostettavan ilman polttoainekanavia. Tiheiden polttoainetelineiden nostoa alkuperäisistä nostokorvakkeista on analysoitu erilaisissa kuormitustapauksissa, joista selviää, että alkuperäisten nostokorvakkeiden käyttöä kokonaisen telineen nostoon ei voida pitää lujuusteknisesti hyväksyttävänä. Nostettaessa telinettä kokonaisena nostokorvakkeista, nostokorvakkeisiin kohdistuu huomattavan suuria jännityksiä kaikissa analysoiduissa kuormitustapahtumissa. Korvakkeiden epäsymmetrisestä rakenteesta aiheutuva taivutus nostaa jännitykset moninkertaisiksi sallittuun jännitykseen nähden. Tästä syystä nostoapulaite on suunniteltava menevän pohjarakenteen läpimenokanavien kierrereikien läpi jolloin se kannattelisi nostettaessa telinettä pohjalevyn alapinnasta.

2 Työn vaatimukset ja rajoitteet

Koska nostoapuväline suunnitellaan ydinvoimalaan, tulee suunnitteluvaiheeseen nostoapuvälineitä koskevien standardien lisäksi paljon muitakin tarkkoja vaatimuksia ja rajoitteita, joita on noudatettava suunnitellussa. Tässä luvussa käsitellään työntilaajan antamia vaatimuksia, sekä tärkeitä standardeja nostoapuvälineille.

2.1 Tilaajan vaatimukset ja rajoitteet työlle

Työn tilaaja on antanut nostoapuvälineelle teknisiä rajoitteita, sekä toiminnallisia vaatimuksia. Teknisiä rajoitteita tuovat esimerkiksi nostimen liikkeen ja kuorman rajoitukset. Tiheät polttoainetelineet kaikkine rakanteineen painavat 27 000 kg ja KPA2-varaston nostimen maksimi nostokuorma on 30 000 kg. Tästä syystä nostoapuvälineen oma paino ei saa ylittää 3000 kilogrammaa ja lisäksi nostoapuvälineen tarvitsee kestää standardien mukaisesti polttoainetelineen kolminkertainen kuorma. KPA2-varaston nostimen nostokoukun yläraja on 23,30 m altaan pohjasta ja 11,50 m lattiasta, alaraja nostokoukulla on altaan pohjassa. Tiheät polttoainetelineet ovat altaassa seinissä kiinni, joten nostoapuvälineen geometria pitää suunnitella niin, ettei siitä tule mitään polttoainetelineiden ulkopuolelle. Koska KPA2-varastossa pidetään ydinpolttoaineet vedessä, on varaston sisäilman suhteellinen kosteus normaalia korkeampi, jolloin

nostoapuvälineen materiaalina täytyy käyttää ruostumatonta ainetta. Suunniteltu käyttöikä nostoapuvälineelle on 50 vuotta sekä suunniteltu käyttö on keskimäärin 4 kertaa vuodessa, nostoja nostoapuvälineellä tehtäisiin yhteensä 200 kappaletta.

Tilaja on antanut monia toiminnallisia vaatimuksia nostoapuvälineelle. Näitä vaatimuksia ovat, että kuorman kiinnitys ja irrotus on tapahduttava mekaanisesti ylhäältä käsin, kun teline on altaan pohjalla. On oltava varmistus, että tartunta on jokaisesta kohdasta onnistunut. Tämä tarkoittaa sitä, että havaintotieto onnistuneesta kiinnittymisestä täytyy saada ylhäälle nostinta operoiville henkilöille, muuten nostotapahtumaa ei saa suorittaa. Tankojen kiinnitys nostokehikkoon on oltava nivelletty, jotta kuormat ovat tasaiset jokaiselle nostokohdalle. Nostossa ei saa tapahtua suuria heilahduksia, koska nostoapuvälineen on kyettävä telineen tarkkaan nostoon erittäin pienten toleranssien takia. Nostoapuväline tulee olla purettavissa pienempiin osiin varastointia sekä puhdistusta varten. Nostoapuvälineen on myös oltava helposti puhdistettava, jotta se voidaan dekontaminoida radioaktiivisista epäpuhtauksista, jotka ovat tarttuneet rakenteisiin allasvedestä. Nostoapulaitteen kaikkien toimilaitteiden on oltava mekaanisia. Nostoapulaitteeseen on myös suunniteltava mekanismi, jolla nostoapulaitetta pystytään manuaalisesti pyörittämään ilman kuormaa, koska KPA2-varaston nostimen nostokoukku ei ole pyörivä, ja tiheät polttoainetelineet ovat altaassa eri asennoissa.

2.2 Direktiivit, lainsäädäntö ja YVL-ohjeet

Tilajan asettamien vaatimusten sekä rajoitteiden lisäksi suunnitellessa on otettava huomioon myös lainsäädännöt ja direktiivit. Ydinvoimalaan tehtävissä suunnitelmissa on otettava huomioon myös säteilyturvakeskuksen YVL-ohjeet. Direktiivit ovat Euroopan unionin laatimat määräykset, jotka ohjaavat jäsenmaiden sisäistä lainsäädäntöä. Valtiot valitsevat kuinka toteuttavat direktiivien määräykset sekä tavoitteet. Tässä luvussa käydään läpi nostoapuvälineen suunnitteluun vaikuttavat lainsäädännöt, direktiivit, säteilyturvakeskuksen laatimat YVL-ohjeet sekä nostoapuvälineen merkinnät. (Laki24, n.d.)

2.2.1 Koneasetus

Koneasetus on Suomen valtioneuvoston laatima asetus. Asetuksella pannaan täytäntöön Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY eli konedirektiivi. Koneasetuksessa on määritelty koneen valmistajan velvollisuudet, olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset liittyen koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen sekä menettelyt vaatimustenmukaisuuden osoittamiselle ja markkinoille saattamiselle. (Tukes, n.d.-b)

2.2.2 Konedirektiivi

Koska Suomi kuuluu Euroopan unioniin, sitä koskee myös Euroopan parlamentissa säädetty konedirektiivi 2006/42/EY. Konedirektiivissä on säädetty koneille yhdenmukaiset vaatimukset, jotka huolehtivat siitä, että kone on suunniteltu ja rakennettu määriteltyjen terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti. Vaatimusten yhdenmukaisuus helpottaa tavaran liikkuvuutta Euroopan talousalueella. Konedirektiivin keskeisiä osia ovat myös teknisistä tiedostoista huolehtiminen, riskien arviointi, vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely, merkinnät, EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus sekä käyttö- ja huolto-ohjeet. (Euroopan Parlamentin ja Neuvoston direktiivi 2006/42/EY/2006)

2.2.3 STUK ja YVL-ohjeet

Suomessa säteily- ja ydinturvallisuutta valvoo STUK eli säteilyturvakeskus.

Säteilyturvakeskuksen tarkoituksena on suojella ihmisiä, yhteiskuntaa, ympäristöä ja tulevia sukupolvia säteilyn haitallisilta vaikutuksilta. Ydinenergian turvallisen käytön vastuu on luvanhaltijalla, mutta STUK asettaa turvallisuusvaatimukset sekä valvoo niiden noudattamista. Ydinturvallisuusvalvonnassa noudatetaan ydinenergialakia (990/1987), jossa on asetettu velvollisuudet ja vastuut. Ajan tasalla oleva säännöstö, monipuoliset tarkastusohjelmat ja säännöllinen turvallisuuden uudelleenarviointi luovat perustan valvonnalle. (STUK, n.d.-a; STUK, n.d.-b)

Säteilyturvakeskuksen laatimat YVL-ohjeet eli ydinvoima-alaa koskevat ydinturvallisuusohjeet määrittävät vaatimukset koko ydinlaitoksen elinkaaren ajaksi.

Ydinlaitoksen nosto- ja siirtolaitteiden suunnittelua, valmistamista, käyttöönottoa ja käyttöä ohjaa YVL E.11 -ohje. Ohjeessa esitetyt vaatimuksen koskevat luvanhaltijaa, luvanhakijaa, laitostoimittajaa sekä nostolaitteyksiköiden ja nostoapuvälineiden valmistajaa. Ohjeessa käsitellään ydinlaitoksen turvallisuusluokiteltuja nostolaitteyksiköitä ja nostoapuvälineitä koskevat ydinturvallisuusvaatimukset.

2.2.4 Merkinnät

CE-merkinnällä vakuutetaan, että kone on EU:n direktiivien ja asetusten vaatimuksien mukainen. CE-merkinnän ohjeistukset löytyvät konedirektiivistä. CE-merkin lisäksi konedirektiivin, liite I, kohdan 1.7.3 mukaan koneessa on merkittävä näkyvästi, selkeästi ja pysyvästi myös valmistajan tai soveltuvin osin tämän valtuutetun edustajan toiminimi ja täydellinen osoite, kuvaus koneesta, sarja- ja tyyppimerkintä, mahdollinen sarjanumero sekä rakennusvuosi eli vuosi, jona valmistusprosessi on saatu päätökseen. Kuvassa 1 näkyy miltä koneeseen kiinnitettävä CE-merkintä näyttää.

Kuva 1 CE-merkintä (STK, n.d.).



Koneeseen pitää myös merkitä kaikki sen tyyppiä ja turvallista käyttöä koskevat olennaiset tiedot, kuten jäännösriskeistä varoittaminen ja käyttöön tarvittavat ohjeet, tiedot ja varoitukset helposti ymmärrettävinä symboleina tai kuvatunnuksina sekä kirjalliset tai

suulliset tiedot ja varoitukset EU:n virallisella kielellä, joka on käytössä maassa, johon kone toimitetaan. (Tukes, n.d.-a)

2.3 Standardit

Tässä luvussa käydään läpi yleisesti koneturvallisuuden standardeista ja niiden luokittelusta sekä perehdytään tarkemmin irrotettavia nostoapuvälineitä koskevaan standardiin.

2.3.1 Yleisesti koneturvallisuuden standardeista

Standardit tarjoavat suunnittelutyölle tehokkaan tavan täyttää konedirektiivin olennaiset turvallisuusvaatimukset. Koneturvallisuuden standardit Suomessa ovat SFS-EN-, ISO- ja IEC-standardeja. Nämä standardit luokitellaan ICS-luokituksen mukaisiin ryhmiin standardeille tehdyn luokituksen mukaisesti. Koneturvallisuuden täsmennetyt kolme eri luokkaa ovat A-tyyppin standardit, joissa käsitellään turvallisuuden perusstandardit kaikille koneille, B-tyyppin standardit, joissa käsitellään tiettyjä turvallisuusnäkökulmia ja turvalaitteita sekä C-tyyppin standardit, joissa käsitellään tarkemmin konetyyppikohtaisia standardeja. (SFS, 2021, s. 3)

2.3.2 Irrotettavia nostoapuvälineitä koskeva standardi

Irrotettavia nostoapuvälinettä suunniteltaessa käytettävä standardi on SFS-EN 13155. Kyseinen standardi on C-tyyppin standardi. Päivitetty standardi rajaa mekaanisen lujuuden tarkastelun 16 000 nostojaksolle. Standardi määrittelee turvallisuusvaatimukset irrotettaville nostoapuvälineille, joita käytetään nostureissa, nostimissa ja käsikäyttöisissä kuormakäsittelylaitteissa. Oleellisia staattisen lujuuden vaatimuksia standardissa on, että kaksinkertainen kuorma ei aiheuta pysyviä muodonmuutoksia, kolminkertainen kuorma ei irrota taakkaa, vaikka pysyviä muodonmuutoksia syntyisi; sisältävät maassa makaavan kuorman nostamisesta aiheutuvan dynaamisen vaikutuksen sekä epävarmuuden todellisessa kuormassa, ja on otettava huomioon 6° ylimääräinen kallistuma. Nostoapuväline varastoituna täytyy olla tarpeeksi vakaa; se ei saa kaatua, kun sitä kallistetaan 10°. (SFS-EN 13155:2020)

3 Tuotekehitys

Tässä luvussa käydään läpi projektin toteutusta yksityiskohtaisesti. Luvussa käydään läpi projektin aloitus ja tuotekehityksen eri vaiheita. Pohditaan myös syitä, miksi päädyttiin tiettyihin ratkaisuihin sekä käydään läpi nostoapuvälineelle tehtyjä lujuustarkasteluja.

3.1 Tuotekehitysprojektin aloitus

Tuotekehitysprojektin alussa käytiin läpi nostoapuvälineen tarvetta ja kaikista olennaisimpia nostotapahtumaan liittyviä asioita. Tämän jälkeen ensimmäisien viikkojen aikana hoidettiin lisenssit verkkolevyihin ja ohjelmistoihin, joita nostoapuvälineen suunnitteluun tarvittaisiin sekä kerättiin tietotaustaa tiheiden polttoainetelineiden geometriasta ja massasta. Projektin alussa pidettiin projektin aloituspalaveri, jossa käytiin läpi nostoapuvälineen vaatimuksia ja sen rajoituksia. Aloituspalaverissa läpi käytiin myös KPA2-varaston rakennetta, kuten katon korkeutta ja ilmastoja varastossa. Lopuksi vielä sovimme projektin välikatsauksista, joita pidettiin noin kuukauden välein, jotta pystyttiin tarkastamaan, että nostoapulaitteen suunnittelu on menossa oikeaan suuntaan ja projektin johtaja pystyi välikatsauksien avulla myös kertomaan eteenpäin projektin kulusta ja missä vaiheissa mennään.

3.2 Käytetyt ohjelmistot

Nostoapuvälineen mallintamiseen on käytetty PTC yrityksen kehittämää Creo 3D CAD-ohjelmistoa. Creo-ohjelmisto on tarkoitettu 3D-mallien hahmotteluun ja suunnitteluun sekä malleista pystytään Creo-ohjelmistolla luoda piirustukset. Creo-ohjelmistolla voidaan myös simuloida voimien vaikutuksia malliin, mutta tässä työssä käytin voimien vaikutuksen simulointiin ja laskemiseen eri ohjelmistoa.

Kevyt lujuustarkastelu ja rakenteen optimointi nostoapuvälineen nostokehikolle tehtiin Ansys-ohjelmistolla. Ansys-ohjelmiston simuloinnin avulla tuotekehitys toimii nopeammin. Simulointityökaluilla fyysisten testien ja prototyyppien teko vähentyy huomattavasti ja itse tuote saadaan nopeammin markkinoille ja käyttöön. Nostoapuvälineen lujuustarkasteluun ja optimointiin käytettiin Ansys workbench -ohjelmiston, Static Analysis työkalua. Creo-

ohjelmistolla mallinnettu valmis nostokehikko tuotiin geometriana Ansys-ohjelmistoon, jossa siihen lisättiin tuet ja voimat, joiden avulla saatiin palkin taipuma ja jännitykset selville. Taipuman ja jännityksien avulla pystyttiin tekemään muokkauksia 3D-malliin ja näin optimoimaan nostokehikon kestävyys ja myös se, ettei nostokehikkoon tule ylimääräistä materiaalia sen ollessa turhankin kestävä.

Nostoapuvälineen nivelten, liitostankojen sekä niiden kiinnityskohtien geometrioiden ja lujuuksien laskuun on käytetty Mathcad Prime -ohjelmistoa. Mathcad-ohjelmisto on numeerisen sekä symbolisen laskennan ohjelmisto, joka soveltuu teknisen laskennan dokumentointiin.

3.3 Mallinnus

Tässä luvussa käydään läpi, kuinka nostoapuvälineen 3D-malli suunniteltiin sekä suurimmat vaikuttajat 3D-mallin päägeometriaan.

3.3.1 Yleistä

Suunnittelun pohjana käytettiin nostokohtien ja tiheiden polttoainetelineiden geometriaa. 3D-mallin geometriaan vaikuttivat suuresti myös ydinpolttoainealtaiden geometria kuten se, että tiheet polttoainetelineet ovat altaan seinää vasten. Tämän takia nostoapuvälinettä suunnitellessa piti ottaa huomioon, ettei nostoapuvälineessä saa olla osia, jotka tulisivat tiheiden polttoainetelineiden reunojen yli. Nostoapuvälineen nostokehikon rakenteen suunnittelu toteutui iteroimalla. Tämä tarkoittaa sitä, että aluksi nostoapuvälineen nostokehikosta tehtiin yksinkertainen 3D-malli, jota analysoitiin Ansys-ohjelmistolla. Ansys-ohjelmiston antamien tulosten perusteella nostoapuvälineen nostokehikkoon tehtiin optimointia, kunnes Ansys-ohjelmiston antamat tulokset vastasivat nostoapuvälineille asetetun standardin vaatimuksia.

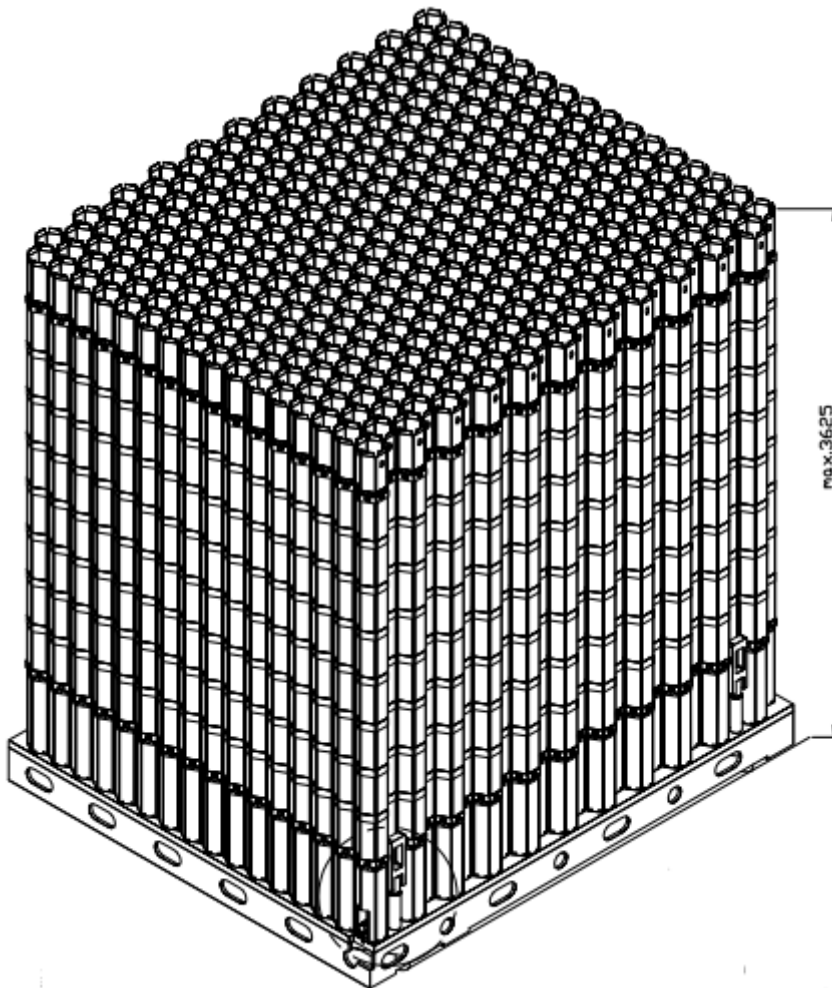
Nostoapuvälineen nivelten, tankoliitosten ja tarttujien suunnitteluun käytettiin teräsrakenteiden suunnittelun, ruostumattomia teräksiä koskevien lisäsääntöjen standardia SFS-EN 1993-1-4 sekä teräsrakenteiden suunnittelun, liitosten suunnittelun standardia SFS-

EN 1993-1-8. Kyseisistä standardeista löytyvät ohjeet liitoskohtien geometrian ja lujuuden laskemiseen.

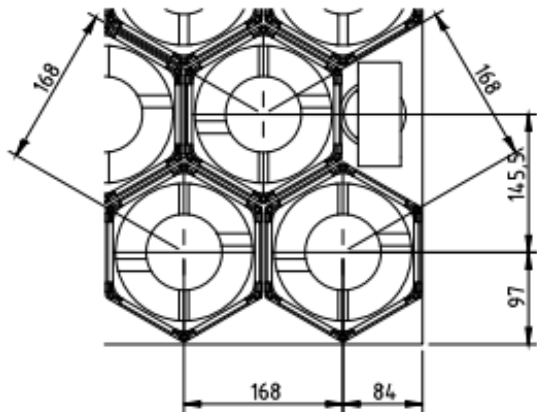
3.3.2 Nostokohdat ja päägeometria

Nostoapuvälineen päägeometriaan suuresti vaikuttavat seikat ovat tiheiden polttoainetelineiden geometria sekä nostokohdat. Nostokehikon ja tarraimien väliin tulevien tankojen geometriaan vaikuttavat polttoainekanavien korkeus, joka näkyy kuvassa 2 sekä polttoainekanavien välinen tila, joka vaikuttaa tankojen sekä tarraimien leveyteen. Tankojen sekä tarraimien on mahdollista menevään yhden polttoainekanavan reiästä. Polttoainekanavien geometria näkyy kuvassa 3.

Kuva 2 Tiheä polttoaineteline.

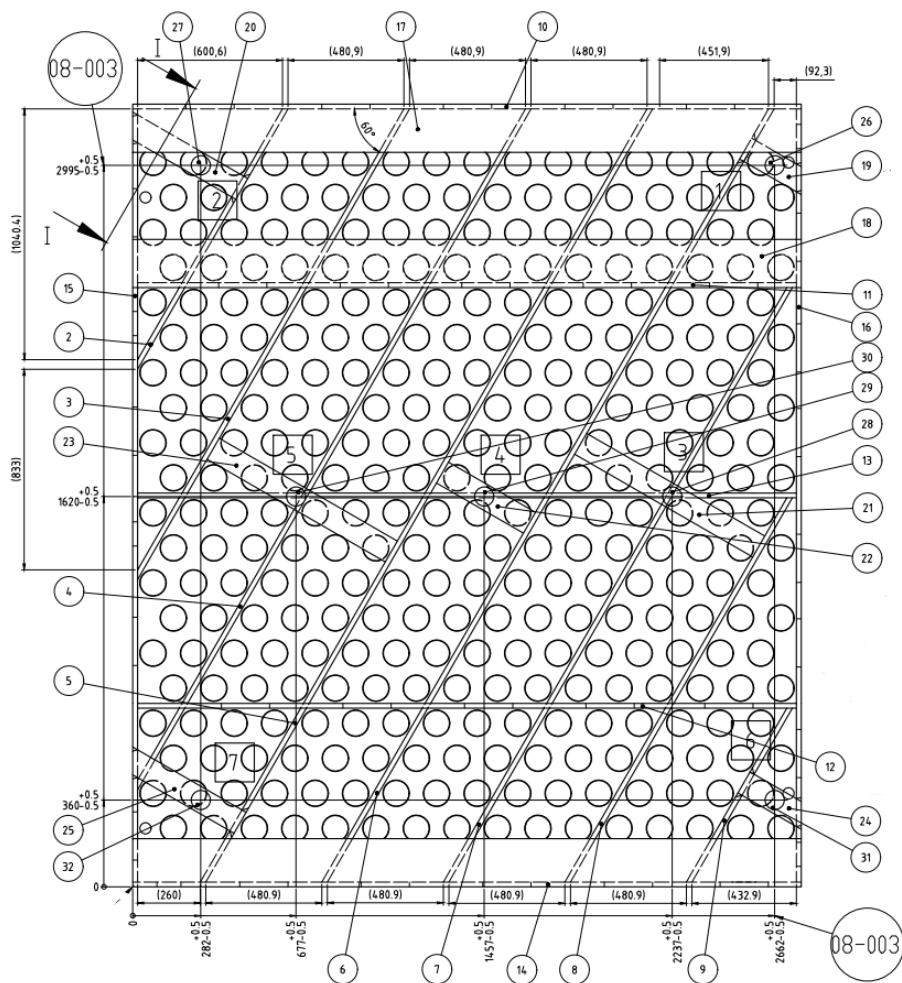


Kuva 3 Polttoainekanavien mitat.



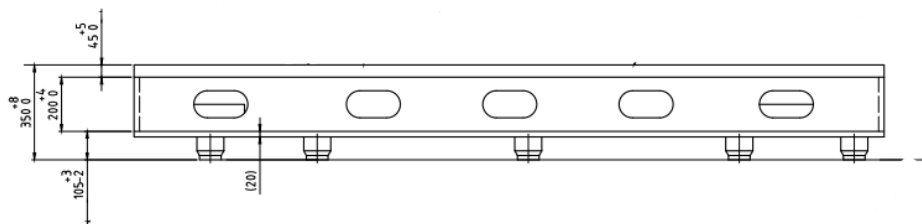
Tarraimien geometriaan, kuten niiden päähalkaisijan mittaan vaikuttavat kanavien liitoskohtien M110-kierreireikä, jonka läpi tarrain on mentävä telineitä nostaessa, ennen kuin se tarttuu rakenteen pohjasta kiinni. Tarraimien avautuvien kynsien mittaan vaikuttaa pohjalevyn tukirakenteiden väli toisistaan, jotka näkyvät kuvassa 4.

Kuva 4 Pohjalevyn rakenne.



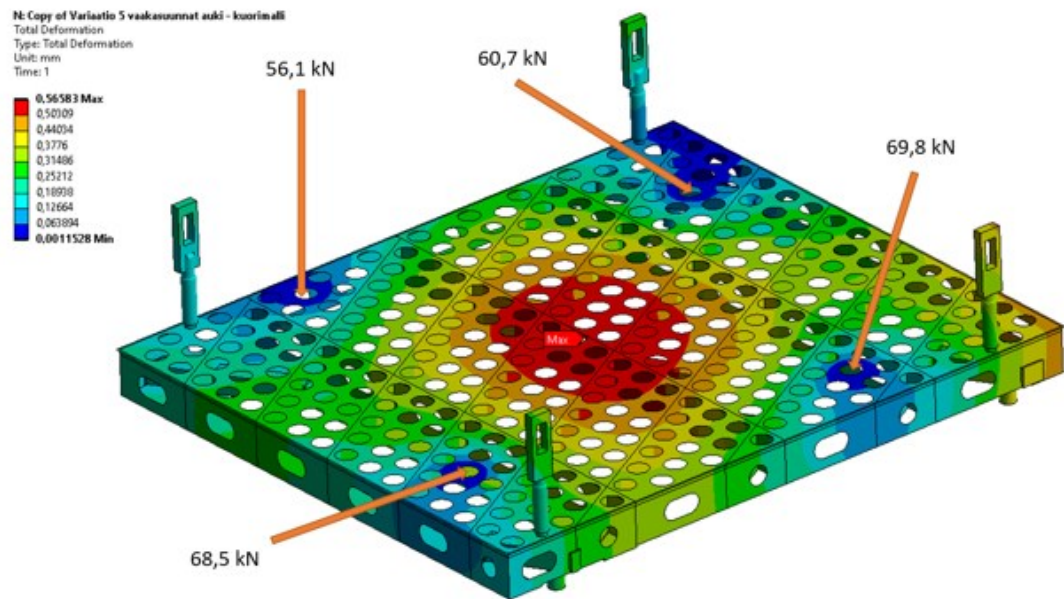
Pohjalevyn tukirakenteiden lisäksi avautuvien kynsien geometriaan myös vaikuttaa pohjalevyn korkeus altaan pohjasta, joka näkyy kuvassa 5. Tarraimen on mahdolltava aukenemaan pohjalevyn sekä altaan pohjan välissä.

Kuva 5 Pohjalevyn korkeus.



Nostokehikon geometriaan vaikuttavat valitut nostokohdat, joista nostoapuvälineen tarraimet menevät läpi ja ottavat pohjasta kiinni. Valitut nostokohdat ja niiden vaikutus pohjalevyn taipumaan nähdään kuvassa 6.

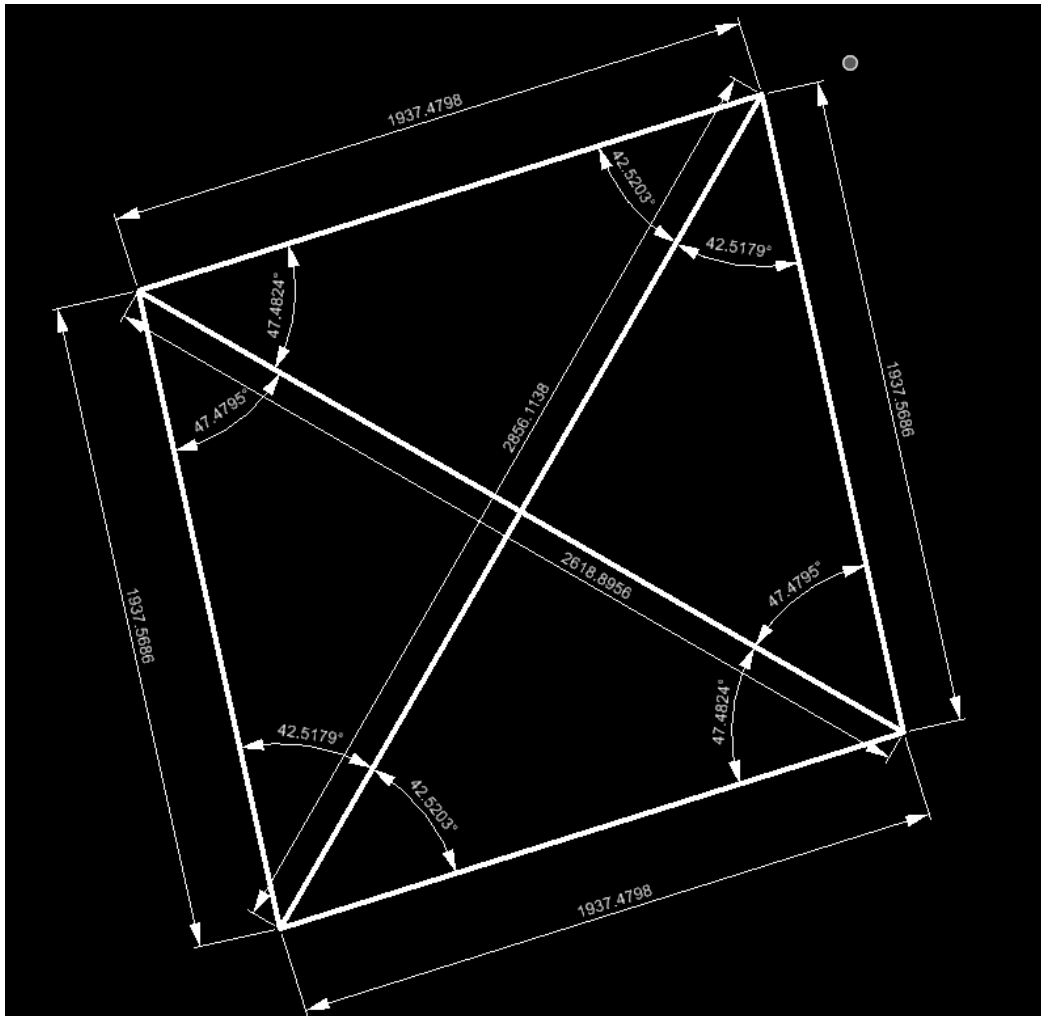
Kuva 6 Valitut nostokohdat.



Koska tiheiden polttoainetelineiden pohjarakenteen tukirakenteet, eli kuvista 4 ja 6 näkyvät viistosti menevät levyt, eivät ole symmetriset kierrereikien kanssa, ei nostokohtia voitu valita symmetrisesti niin, että nostokohdat olisivat muodostaneet neliön muotoisen alueen. Tästä syystä nostokehikon on oltava suunnikkaan muotoinen. Kuvassa 6 näkyvät nostokohdat valittiin perustein, että voimat jakautuvat melkein tasan sekä suurin siirtymä telineen keskellä helpottaa polttoainekanavien stabiiliuden ylläpitämisessä kanavien tukeutuessa yläpäistään toisiinsa. Voimien tasaamista varten nostokehikon ja tangon sekä tarttujan ja tangon väliin suunniteltiin nivelrakenteet. Nivelien avulla nostossa voimat tasaantuvat tasaisemmin jokaiselle nostokohdalle.

Valittujen nostokohtien avulla käyttämällä kuvan 3 mittoja tehtiin sketsi nostokehikon geometriasta, joka nähdään kuvassa 7.

Kuva 7 Sketsi nostokehikon geometriasta.



Kuvan 7 sketsin avulla nostokehikon palkkirakenteet pursotettiin Creo-ohjelmiston framework-toiminnon avulla.

4 Lujuustarkastelu

Tässä luvussa käydään läpi nostoapuvälineen materiaali, nostoapuvälineeseen vaikuttavat voimat sekä nostoapuvälineen eri osien lujuustarkastelut ja laskut. Eri osia tarkastellessa kerrotaan kriittisimmistä kohdista ja miten kyseisiä kohtia tuettiin ja varmistettiin

nostoapuvälineen kestävyys kaksinkertaisella kuormalla. Lujuustarkasteluissa on otettu myös huomioon standardin mukainen 6° kallistuma nostotapahtumassa, vaikka tämän työn nostotapahtumassa 6° kallistuma ei olisi edes mahdollinen.

4.1 Lujuustarkastelun johdanto

Lujuustarkastelussa kriittisimmiksi kohdiksi osoittautui nostoapuvälineen keuhikon liitoskohdat lähellä nostimeen kiinnitettävää kohtaa. Nostoapuväline roikkuu nostimen kauhasta vain yhdestä kohtaa, joka on nostoapuvälineen keskellä ja vetävät voimat, joista tiheää polttoainetelinettä nostetaan, ovat nostokeuhikon nurkissa. Tämän takia nostokeuhikon palkit taipuvat helposti alaspäin ja näin synnyttävät suuria jännityksiä liitoskohtiin, varsinkin välipalkkien liitoskohtiin lähellä nostokohtaa.

Toinen kriittinen kohta lujuustarkastelun näkökulmista on nivelten, tankojen ja tarraimen tappiliitokset, koska kyseisiin liitoskohtiin voima vaikutti suurimmillaan. Nämä kyseiset tappiliitokset ja niiden kiinnityskohtien rakenne on lujuustarkastelussa laskettu käyttäen aiemmin mainittuja SFS-EN 1993-1-4 ja SFS-EN 1993-1-8 standardeja.

4.2 Materiaali

Valmistettavan nostoapuvälineen jokainen osa tullaan valmistamaan AISI 304 ruostumattomasta teräksestä. Nostoapuvälineen materiaalin tuli olla ruostumatonta terästä KPA2-varaston kosteuden takia. AISI 304 ruostumaton teräs on eniten käytetty materiaali ruostumattomille teräksille. Sen materiaali sisältää noin 18% kromia ja noin 8% nikkeliä. Korkea kromi- ja nikkelpitoisuus varmistaa teräksen hyvän korroosio- ja kulutuskestävyyden, lisääntyneen vetolujuuden ja myötörajan, hyvän lämmön- ja skaalauskestävyyden sekä hyvän hitsattavuuden. (Evek GmbH, 2021)

AISI 304 ruostumattoman teräksen fyysiset ominaisuudet. (Evek GmbH, 2020)

- Tiheys 8,00 g / cm³
- Sulamispiste 1450 °C

- Lämpölaajeneminen $17,2 \times 10^{-6} / K$
- Youngin moduuli 193 GPa
- Lämmönjohtavuus $16,2 W / mK$
- Sähköinen vastus $0,072 \times 10^{-6} \Omega m$

AISI 304 ruostumattoman teräksen mekaaniset ominaisuudet.

- Puristuslujuus 210 MPa
- Myötöraja 210 MPa
- Vetolujuus 520-720 MPa
- Vetojännitys 45% min

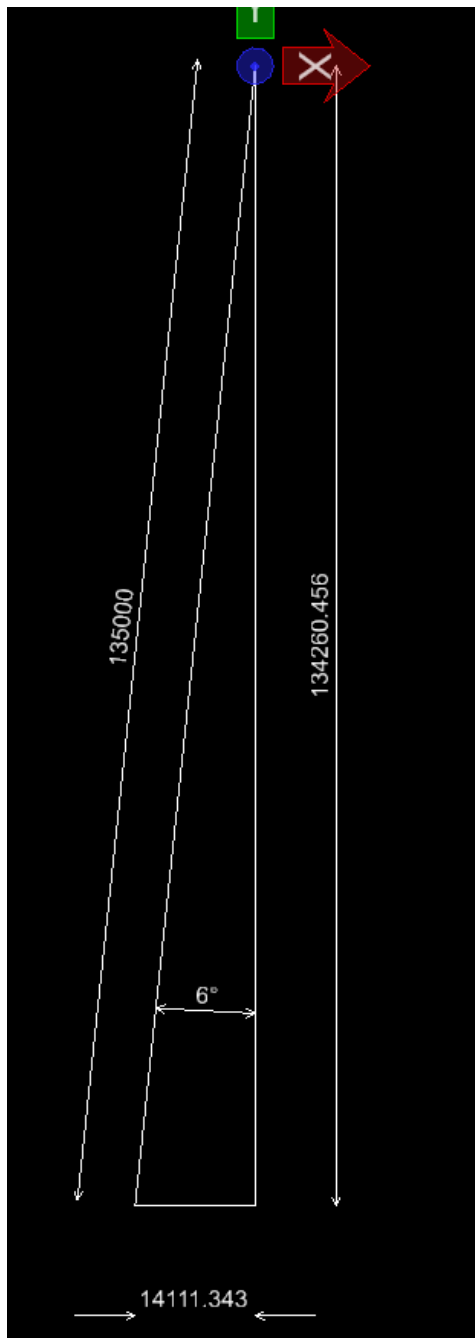
Materiaali määritettiin Ansys-ohjelmistossa nostoapuvälineelle, jolloin lujuuslaskentaohjelma noudattaa laskuissaan kyseisen materiaalin ominaisuuksia. Materiaalien ominaisuudet piti ottaa huomioon myös tappiliitoksien lujuuslaskuissa.

4.3 Voimat

Nostoapuvälineeseen vaikuttavat voimat saatiin laskemalla yhteen tiheän polttoainetelineen massa ja maanvetovoima, kaavalla $\bar{F} = m\bar{a}$, tiheiden polttoainetelineiden massa on 27000 kilogrammaa ja maan vetovoima on $9,81 \frac{m}{s^2}$, joten voimaksi saadaan $\bar{F} = 27000 kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 264870 N$. Jokaiseen neljään nostokohtaan vaikuttava voima saatiin jakamalla koko voima neljään osaan olettaen, että nivelten avulla voimat jakaantuvat tasan nostokohtien välillä. Näin tekemällä yhteen nostokohtaan vaikuttavaksi voimaksi saatiin $\frac{264870N}{4} = 66217,5 N$. Jokainen nostoapuvälineen osa tarkasteltiin ja laskettiin nostoapuvälineille laaditun standardin SFS-EN 13155 mukaisesti kahdenkertaisella kuormalla $66217,5 N * 2 = 132435 N$, joka pyöristettiin ylöspäin $\bar{F} = 135000 N$ varmuuden lisäämiseksi. Standardin mukaan nostoapuvälineeseen ei saa tulla pysyviä muodonmuutoksia lasketulla kaksinkertaisella voimalla, eli nostaessa jännitykset eivät saa ylittää valitun AISI 304 ruostumattoman teräksen myötörajaa, joka on 210 MPa.

Nostoapuvälineeseen kaksinkertaisesti vaikuttavat voimat jaettiin Y ja X komponentteihin nostoapuvälineiden standardin SFS-EN 13155 mukaisesti 6° kulmassa. Komponentteihin jakaminen laskettiin trigonometrian avulla siten, että X akselin suuntaisesti sivullepäin vaikuttava voima laskettiin yhtälöllä $G_x = 135000 \text{ N} * \sin(6^\circ) = 14111,343 \text{ N}$ ja Y akselin suuntaisesti vaikuttava voima yhtälöllä $G_y = \frac{G_x}{\tan(6^\circ)} = 134260,456 \text{ N}$. Tällöin voimakomponenteiksi saadaan kuvan 8 kaltainen voimakuvio.

Kuva 8 Voimakomponentit.



4.4 Nostokehikko

Nostokehikkoa lähdettiin mallintamaan nostokohtien geometrian avulla tehdyn sketsin avulla siitä pursottamalla palkkirakennetta Creo-ohjelmiston framework-toiminnon avulla, kuten aiemmin 3.3.2 nostokohdat ja päägeometria alaotsikon alla mainittiin. Yksinkertainen 3D-malli nostokehikosta vietiin Ansys-ohjelmistoon, jossa nostokehikolle selvitettiin sen taipuma ja jännitykset kaksinkertaisella voimalla. Tuloksia tarkastellessa huomattiin taipuman aiheuttavan materiaalin sallitun myötörajan ylittäviä jännityksiä palkkien kiinnityskohdissa keskellä lähellä nostokohtaa sekä nostokehikon kulmissa.

4.4.1 Nostokehikon rakenne

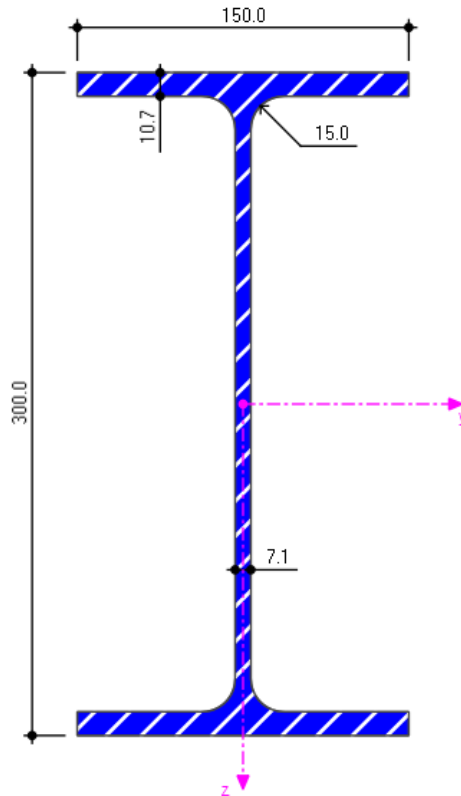
Alkuperäinen 3D-malli nostokehikosta oli luotu neliöputkesta, mutta palkkirakenne päädyttiin vaihtamaan IPE-palkkiin. IPE-palkki valittiin, koska sillä on hyvä kantavuus verrattuna sen ominaispainoon ja, koska nostokehikkoon vaikuttava voima on suoraan alaspäin ei palkin täydy kestää sivullepäin vaikuttavaa voimaa. Lujuustarkastelun perusteella tehdyllä optimoinnilla päädyttiin DIN 1025 standardin mukaiseen IPE 300 palkkiin, jonka geometriat näkyvät kuvassa 9.

Kuva 9 DIN 1025 IPE 300 Palkki (Dlubal, n.d.).

IPE 300



- DIN 1025-5:1994-03
- Feron



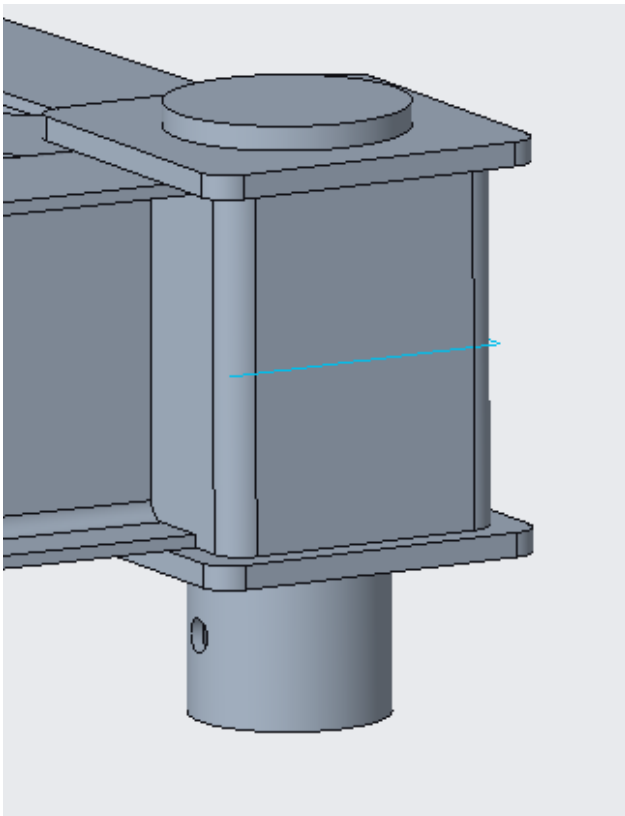
Nostokehikon keskelle ja kulmiin mallinnettiin neliöputkesta rakenneosat. Neliöputkien tarkoituksena on vähentää liitoskohtiin kohdistuvia jännityksiä sekä helpottaa nostotankojen sekä nostosilmukan hitsaamista rakenteeseen kiinni. Neliöputket ovat EN 10219 standardin mukaisia putkia. Keskellä oleva neliöputki on 350x350x10.0 neliöputkea ja kulmissa olevat neliöputket ovat 250x250x10.0 neliöputkea. Neliöputkien päälle ja alle mallinnettiin kiinni hitsattavat 20 mm paksut tukilaatat vähentämään taipumaa ja jännityksiä sekä estämään hitsiliitosten päällekkäin menemistä. Kulmien tukilaattojen keskellä on $\varnothing 164$ mm reiät, joiden läpi kiinnitetään tangot hitsaamalla päältä ja alta. Näin saadaan tuettua nostotankoliitosten kohdat; pelkästään tangon hitsaaminen nostokehikon pohjaan ei olisi ollut tarpeeksi kestävä liitos. Kuvassa 10 näkyy nostokehikon kulmissa olevat neliöputket, tukilaatat sekä nostotankojen liitoskohdat. Kuvasta nähdään kuinka tukilaatat vahvistavat liitoskohtia IPE-palkin päältä ja alta sekä kuinka nostotangon liitos, eli tanko, joka menee neliöputken läpi,

on tuettu ylhäältä hitsien lisäksi. Nostotangon liitos, johon nivelet tullaan liittämään, on 10 mm paksua tankoa. Liitoksen reiän geometrian laskemiseen on käytetty SFS-EN 1993-1-8 standardista löytyvää kaavaa $a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3}$ (SFS-EN 1993-1-8/2005, s. 39) jossa,

- f_{Ed} on liitokseen vaikuttava voima
- γ_{M0} on osavarmuusluku
- t on materiaalin paksuus
- f_y on pienempi arvoista: niveltapin myötöraja ja liitetyn levyn myötöraja
- d_0 on niveltapin halkaisija

Kyseisellä kaavalla saadaan selville, kuinka paljon liitostangon kiinnitysreiän molemmille puolille tarvitaan materiaalia. Tässä tapauksessa, kun putkien paksuus on aiemmin mainittu 10 mm, täytyy reiän yllä ja alla olla materiaalia 56 mm. Liitteessä 1 näkyy tarkemmin, kuinka materiaalin määrä on laskettu reiän ympärille.

Kuva 10 Nostokehikon kulmaliitos.



4.4.2 Nostokorvake

Aiemmin luvussa 2.1 tilaajan vaatimukset ja rajoitteet työlle mainittiin, että nostoapuvälinettä on pystyttävä pyörittämään oikeaan asentoon tiheiden polttoainetelineiden ollessa eri asennoissa altaassa. KPA2 varaston nosturin koukku ei ole pyöritettävä, joten nostoapuvälineen nostokorvakkeen täytyisi mahdollistaa nostoapuvälineen kääntäminen tarvittavaan asentoon. Eri valmistajilta etsittiin mahdollisia valmiita ratkaisuja ongelmaan. Nostokorvakkeen kriteerit olivat, että sen täytyy kestää vähintään 30 000 kg massaa, sen on oltava pyöritettävä sekä sen materiaalin täytyy olla ruostumatonta terästä, koska eri materiaalien yhdistäminen nopeuttaisi korroosiota.

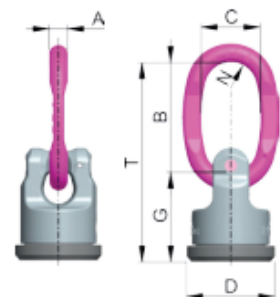
Nostokorvakkeen valinnassa päädyttiin Erlatek yrityksen myymään hitsattavaan PowerPoint kuulalaakeroitu WPP nostokorvakkeeseen. Kyseisellä nostokorvakkeella on kaikki vaadittavat ominaisuudet, mitä aiemmin mainittiin. Kuvassa 11 nähdään valitun nostokorvakkeen geometriat, kuorma, jota nostokorvake voi kantaa, hitsaussauma ja sen paino.

Kuva 11 Nostokorvake (Erlatek, n.d.).

WPP-B – rengaskiinnitys koukuille

Nimike	Kuorma (t)	A	B	C	D	G	N	T	Hitsaussauma	Paino (kg)
WPP-B-0,63t	0,63	9	65	35	40	40	15	105	4	0,35
WPP-B-1,5t	1,5	11	65	35	46	50	15	115	5	0,6
WPP-B-2,5t	2,5	13	74	40	61	61	18	135	HV3+5	1
WPP-B-4t	4	16	95	45	78	77	20	172	HV3+5	2,3
WPP-B-5t	5,0 (6,7)	19	130	60	95	93	25	223	HV3+8	4,7
WPP-B-8t	8,0 (10)	24	140	65	100	102	28	242	HV3+10	5,3
VWBS 40 (50)t	40 (50)	46	170	110	170	161	55	380	HV22+19	27,9

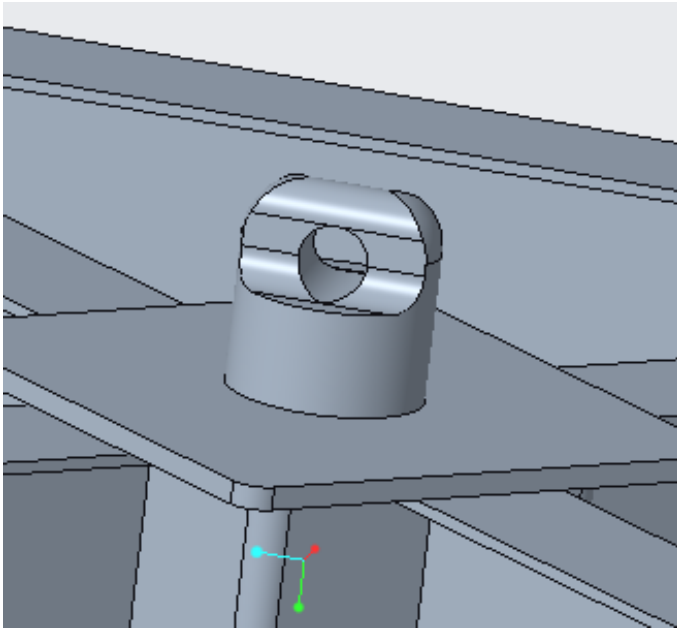
() Suorassa nostossa suurempi sallittu kuorma



Valittu nostokorvake on kuvan 11 listan alin VWBS 40 (50)t nostokorvake. Nostokorvakkeen varmuus on testattu nelinkertaisella kuormalla.

Nostokorvakkeesta mallinnettiin yksinkertaistettu versio nostokehikkoon, niin sanotusti varaamaan sille paikka, kuten kuvassa 12 näkyy ja myös, että lujuustarkastelussa Ansys-ohjelmistolla nostosilmukan reunoille saadaan asetettua kiinteä tuki.

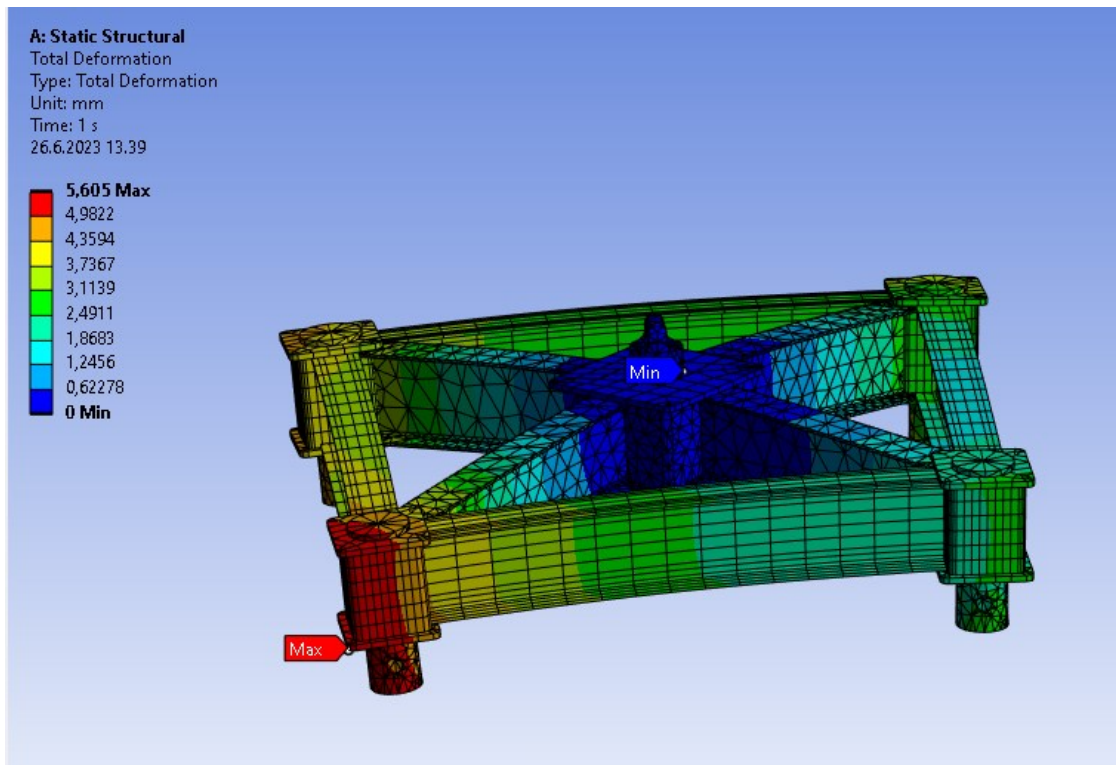
Kuva 12 Yksinkertainen 3D-malli nostokorvakkeesta.



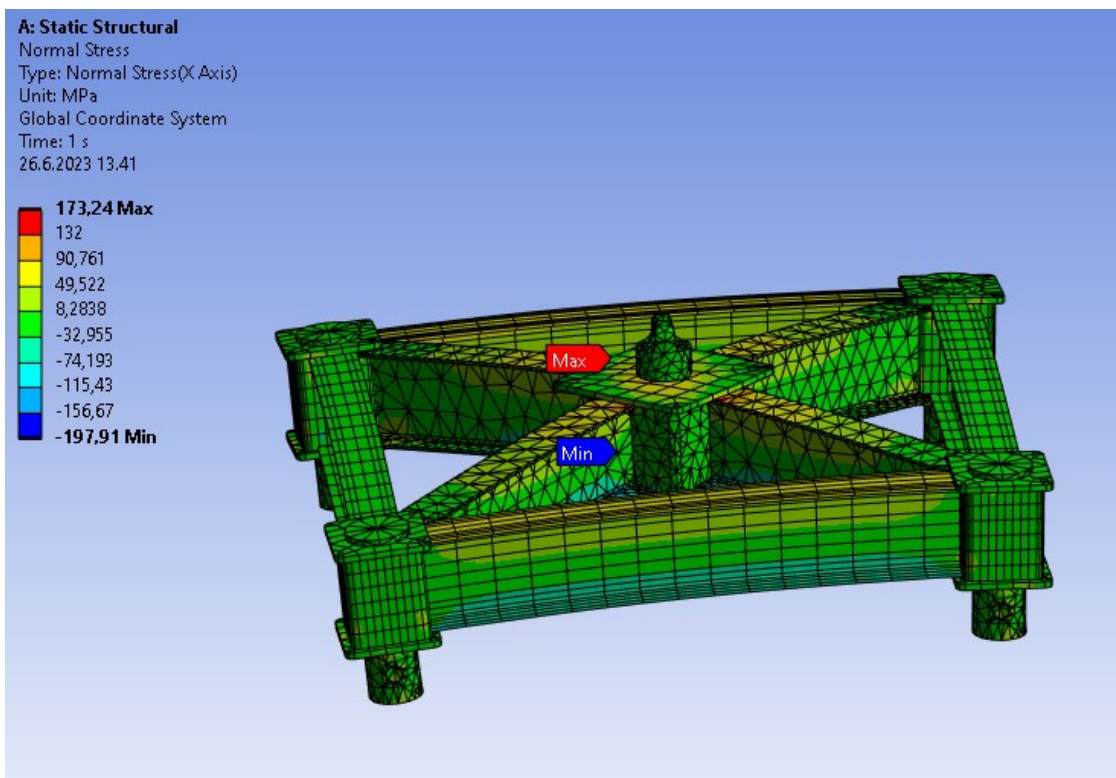
4.4.3 Nostokehikon taipuma ja jännitykset

Nostokehikolle laskettiin sen taipuma ja jännitykset käyttämällä Ansys-ohjelmistoa. Tulosten avulla suoritettiin rakenteelle optimointia, kunnes nostokehikko oli standardien vaatimuksien mukainen, eikä jännitykset alittaisivat materiaalin myötörajaa suuresti. Näin varmistettiin, että nostokehikkoon ei myöskään tule ylimääräistä materiaalia sen ollessa turhankin kestävä. Lujuustarkasteluohjelmassa käytettiin aiemmin, luvussa 4.3 voimat, laskettuja nostoapuvälineeseen vaikuttavia voimia. Voimat asetettiin nostokehikon kulmissa olevien tankojen alapintaan. Kuvassa 13 nähdään valmiin, optimoidun nostokehikon taipuma ja kuvassa 14 nostokehikkoon syntyvät jännitykset.

Kuva 13 Nostokehikon taipuma kaksinkertaisella kuormalla.

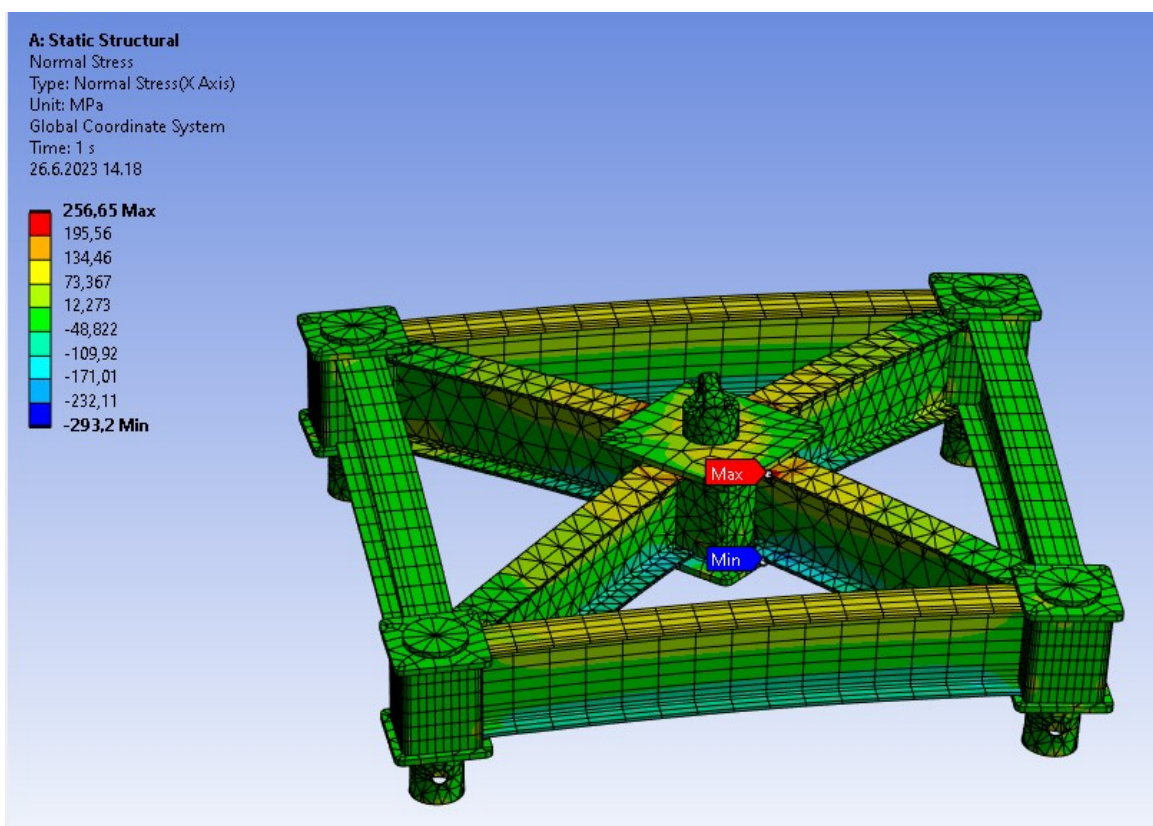


Kuva 14 Nostokehikkoon syntyvät jännitykset kaksinkertaisella kuormalla.



Nostokehikolle tehtiin myös tarkastelu kolminkertaisella kuormalla. Kolminkertainen kuorma ei saa irrottaa taakkaa, vaikka pysyviä muodonmuutoksia syntyisi, kuten aiemmin mainittiin luvussa 2.3.2 irrotettavia nostoapuvälineitä koskeva standardi. Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, ettei kolminkertaisella kuormalla saa syntyä jännityksiä, jotka ylittäisivät materiaalin murtolujuuden. AISI 304 teräksen murtolujuus on 520-720 MPa. Kuvassa 15 nähdään, ettei kolminkertainen kuorma aiheuta lähellekään näin suuria jännityksiä, joten voidaan todeta nostokehikon olevan standardien mukaisesti tarpeeksi kestävä.

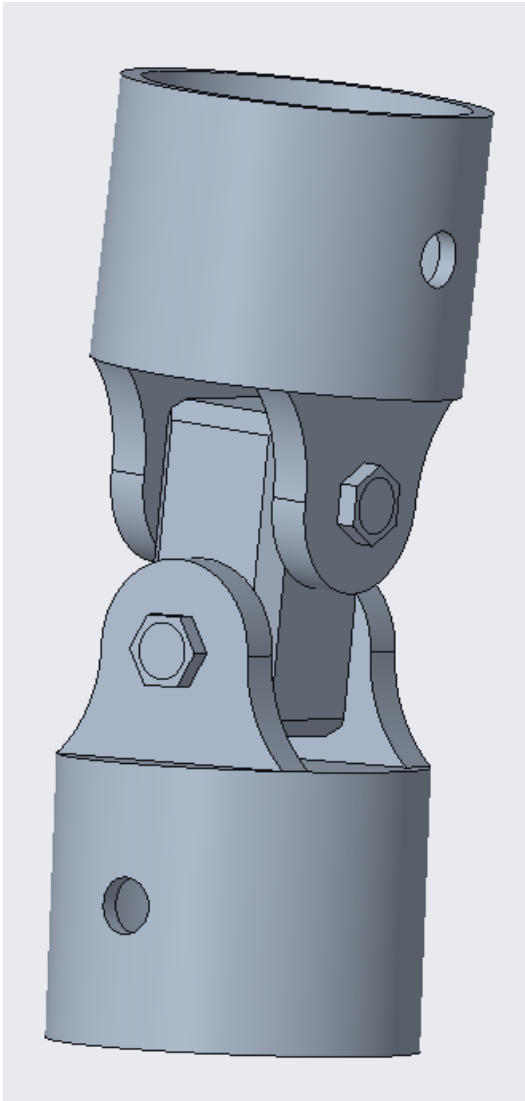
Kuva 15 Jännitykset kolminkertaisella kuormalla.



4.5 Nivelet

Nivelten geometria sekä lujuustarkastelu on suoritettu ruostumattomia teräksiä koskevien lisäsääntöjen standardin SFS-EN 1993-1-4 sekä teräsrakenteiden suunnittelun, liitosten suunnittelun standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaisesti. Laskut tehtiin Mathcad-ohjelmistolla, joiden perusteella nivelistä tehtiin kuvassa 16 nähtävät 3D-mallit.

Kuva 16 3D-malli nivelestä.



Nivelen kiinnityskohtien läpimenevän niveltapin minimi halkaisija saatiin käyttämällä SFS-EN 1993-1-8 standardista löytyvää niveltapin leikkauskestävyys kaavaa $F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M0}}$ (SFS-EN 1993-1-8/2005, s. 39) jossa,

- f_{up} on niveltapin vetomurtolujuus
- A on niveltapin pinta-ala
- γ_{M0} on osavarmuusluku

Vetomurtolujuus sekä osavarmuus luku löytyvät SFS-EN 1993-1-4 standardista (SFS-EN 1993-1-4/2006, s. 9-14). Niveltapin minimi halkaisijaksi saatiin 28 mm kokeilemalla kaavaan

erikokoisia halkaisijoita. Kun niveltapin halkaisija on 28 mm sen leikkauskestävyys on 147,781 kN, joka ylittää kaksinkertaisesta kuormasta syntyvään voiman yhdelle liitoskohdalle. Laskettua niveltapin minimihalkaisija kokoa käytetään kaikissa nivelen kiinnityskohdissa.

Niveltappiliitoksen rakenteen suunnittelemiseen käytettiin myös SFS-EN 1993-1-8

standardia. Standardista löytyvän kaavan $t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}}$ (SFS-EN 1993-1-8/2005, s. 39)

avulla saatiin laskettua nivelen niveltappiliitoksen rakenneosan materiaalin paksuus, kun käytetään geometriana sääntöä, että reiän keskiöstä rakenneosan reunoihin on matkaa 1,6 kertaa reiän halkaisija. Kaavan avulla rakenneosan paksuudeksi saatiin vähintään 19,074 mm jonka avulla päädyttiin rakenneosan materiaalin paksuudeksi 20 mm.

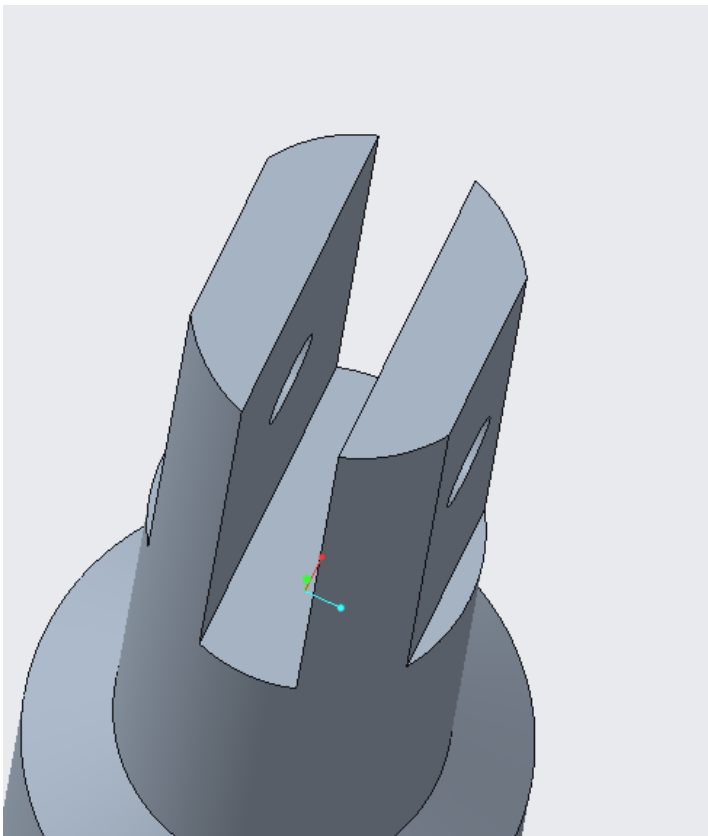
Nivelet kiinnitetään tankoihin 28 mm tappiliitoksella ja kiinnityskohtien geometria eli materiaalin paksuus ja määrä reiän ympärillä on suunniteltu samalla tavalla, kuin aiemmin luvussa 4.4.1 nostokehikon rakenne on suunniteltu tankojen liitoskohtien geometria. Kaikki tämän luvun laskut löytyvät liitteestä 1.

4.6 Tarraimet

Nostoapuvälineen tarraimien suunnittelu alkoi harkitsemalla, kuinka mekaaniset tarraimet toimisivat käytännössä. Tarraimien mekaniikan suhteen päädyttiin vaijereilla avattavaan ja suljettavaan yhden niveltappiakselin ympäri pyörivään tarttujaan, joka tarttuu tiheiden polttoainetelineiden pohjarakenteen pohjasta niitä nostaessa. Vaijerimekanismi toimisi käytännössä niin, että nostoapuvälinettä ohjaava työntekijä pystyisi avaamaan ja sulkemaan tarraimet nostokehikon päältä kiertämällä vaijereita auki tai kiinni. Vaijerimekanismiin päädyttiin sen yksinkertaisuuden ja varman toiminnan takia, sekä vaijerit toimivat myös veden alla, jos jostain syystä tulevaisuudessa nostoapuvälinettä joudutaan kehittämään niin, että se toimii, vaikka altaasta ei poistettaisi vettä. Tarraimien suunnittelua rajoitti myös polttoainetelineiden geometria. Koska tarraimien on mahdollista M110 kierrereikien läpi, ei niissä ole paljoa tilaa monimutkaisille mekanismeille; tämän takia vaijerimekanismi sekä yhden niveltappiakselin ympäri pyörivä mekanismi soveltuivat parhaiten tarraajiin.

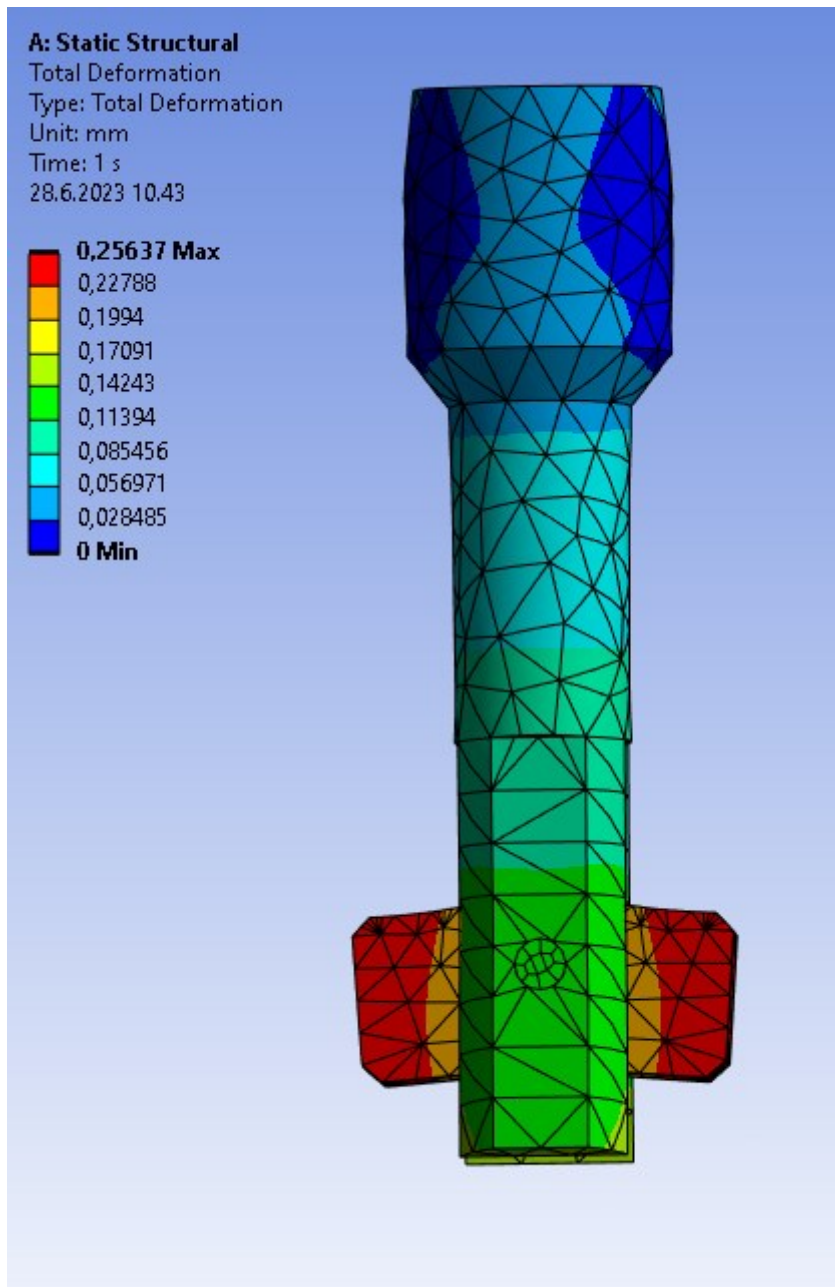
Tarraimen rakenne muodostuu 95 mm paksuisesta tangosta, jossa toisessa päässä on lovi kääntyvälle osalle, joka tarraa polttoainetelineen pohjasta kiinni. Tanko suurenee toisessa päässä 144 mm paksuiseksi, josta se kiinnittyy nostotankoihin niveltappiliitoksella, joka on geometrialtaan samankokoinen, kuin muutkin nostoapuvälineen niveltappiliitokset. Koska tarrain on halkaisijaltaan vain 95 mm, ei siihen mahdu samankokoisia ja muotoisia niveltappiliitoksen rakenneosia niveltapin ympärille. Tämän takia rakenneosien suunnittelussa piti hieman soveltaa sen geometrian suhteen, jotta rakenneosat olisivat silti tarpeeksi kestävä. Tästä johtuen tarraimien tapin rakenneosat eivät ole tasapintaiset sivuilta, kuten kuvassa 17 näkyy.

Kuva 17 Tarraimien tapin rakenneosan muoto.



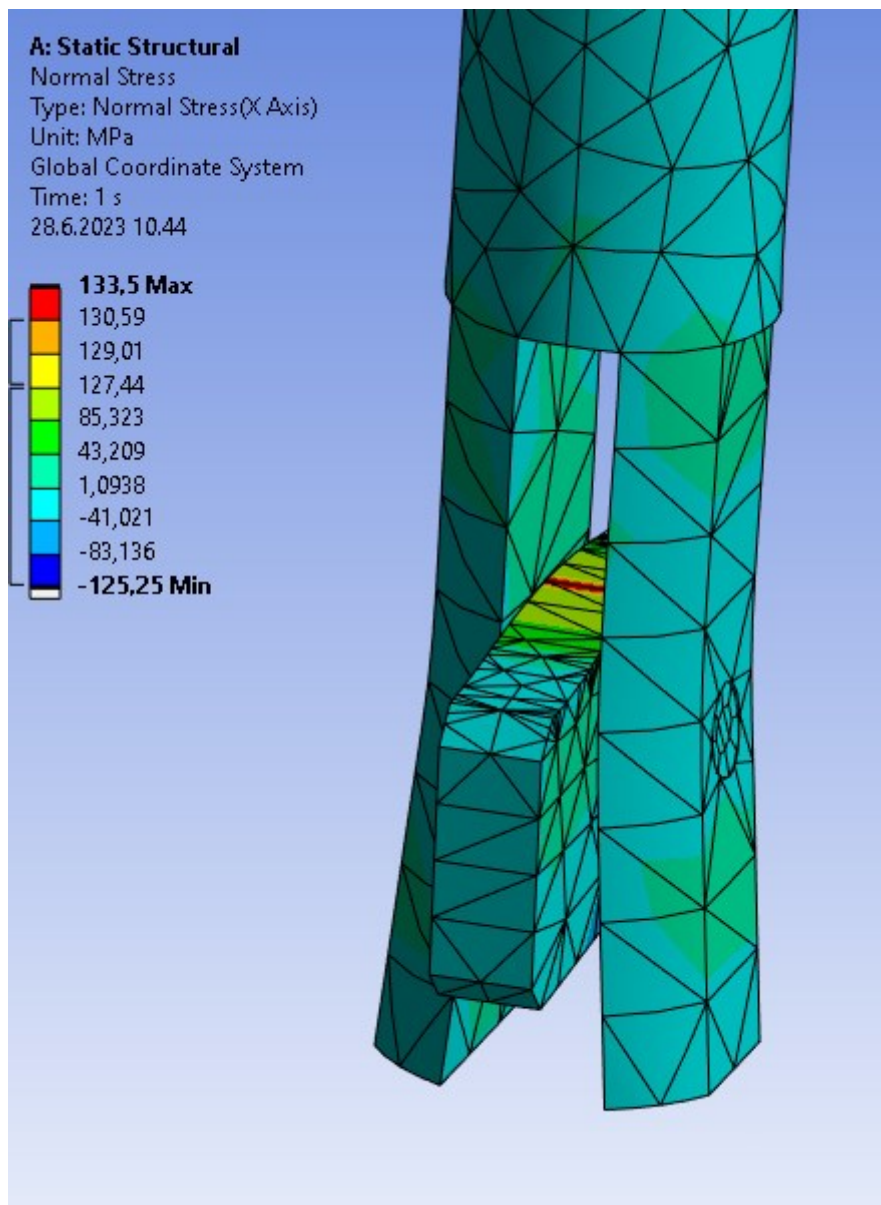
Tarraimen niveltappiliitoksen rakenneosien kestävyys suunniteltiin niin, että ne ovat pinta-alaltaan vähintään yhtä suuria kuin nivelissä olevien niveltappiliitoksen rakenneosien pinta-ala. Niveltappiliitoksen rakenneosien pinta-ala laskut löytyvät liitteestä 2. Tarraimien kestävyden varmistamiseksi niille vielä tehtiin Ansys-ohjelmassa lujuustarkastelu, jonka taipuman tulokset näkyvät kuvassa 18 ja jännitykset kuvassa 19.

Kuva 18 Tarraimen taipuma.



Tarttujaan syntyvä taipuma kaksinkertaisella voimalla on erittäin pieni, kuten kuvasta 18 nähdään.

Kuva 19 Tarraimen jännitykset.



Kuten kuvasta 19 nähdään, tarttujaan syntyvät jännitykset alittavat materiaalin myötörajan kaksinkertaisella voimalla. Voidaan siis olettaa tarraimien kestävän nostotapahtuman. Suurin jännitys tarttujaan syntyy nostavan palkin keskiosaan, josta se on rakenneosiin kiinnitettyinä niveltapilla.

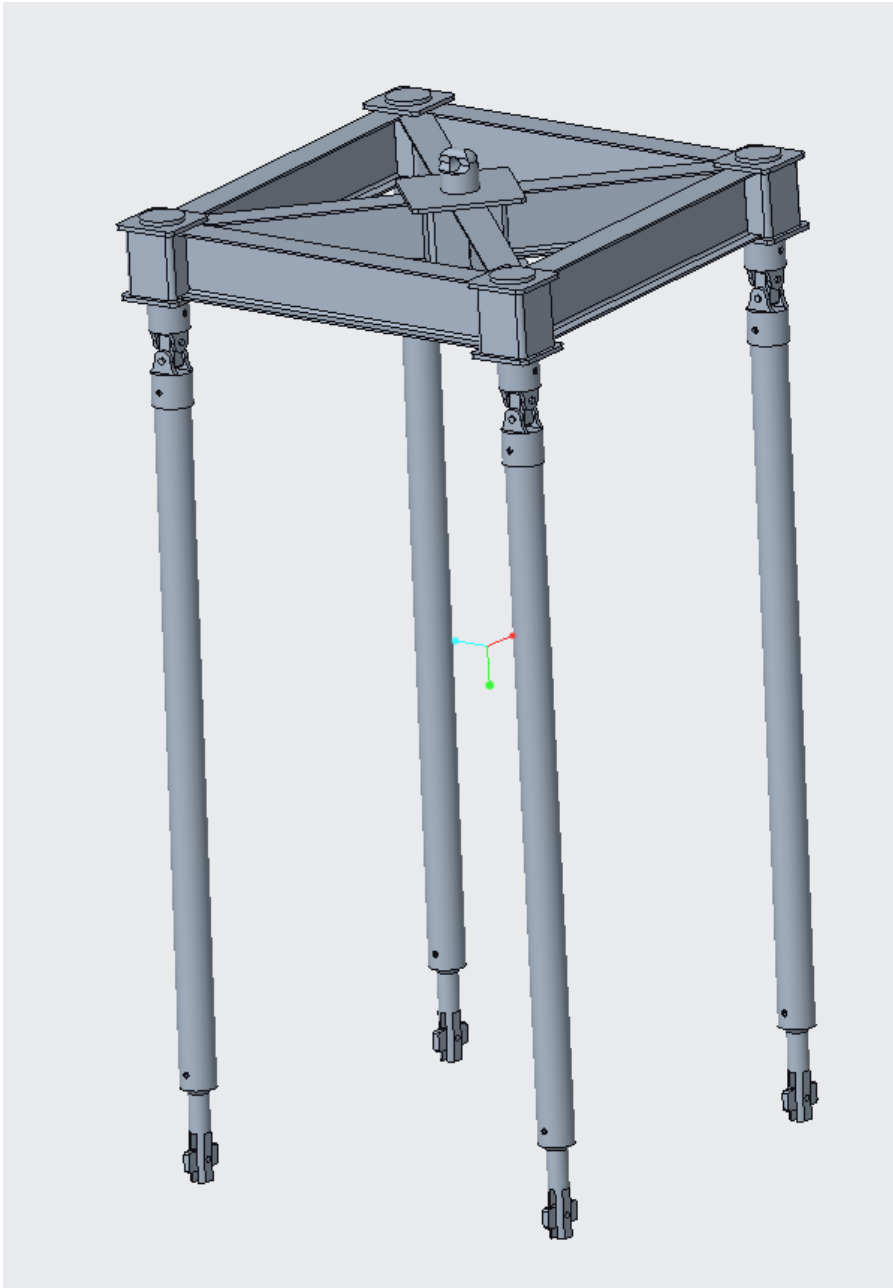
5 Päätelmät

Tässä luvussa käydään läpi nostoapuvälineen esisuunnitelman lopputulosta sekä käydään läpi sen jatkokehitystä, kuten asioita, joita vielä pitää detaljisuunnitteluvaiheessa ottaa huomioon.

5.1 Lopputulos

Nostoapuvälineen esisuunnitelman lopputulokseksi syntyi 3D-malli esisuunnitellusta nostoapuvälineen rakenteesta. Nostoapuvälineen rakenteelle suoritettiin asianmukainen kevyt lujuustarkastelu, jossa tarkasteltiin nostoapuvälineen kriittisimmät kohdat sen kestävyuden kannalta. Nostoapuvälineen nostokehikko on suurimmalta osalta IPE 300 palkkia ja toimii koko laitteen kantavana rakenteena. Nostokehikkoa on vahvistettu tukilevyillä ja neliöputkirakenteilla sen keskikohdasta ja kulmista. Nostokehikon kulmista lähtevät nivelet tasaavat voimat nostokohtien välillä. Niveliin on liitetty pitkät nostotangot, joiden päässä on tarraimet, jotka tarttuvat tiheän polttoainetelineen rakenteen pohjasta. Nostoapuvälineen nivelet, nostotangot ja tarraimet ovat kaikki niveltappiliitoksin kiinnitettyjä ja irrotettavia osia helpottaen nostoapuvälineen varastointia ja dekontaminointia. Nostoapuvälineen mekaaninen toiminta vaijerimekanismilla on selostettu ja todettu toimivaksi ratkaisuksi. Kuvassa 20 nähdään nostoapuvälineen eri osista yhdistetty 3D-malli. Nostoapuvälineen lopullinen paino on 1594 kg.

Kuva 20 Nostoapuväline.



5.2 Jatkokehitys

Nostoapuvälineen esisuunnitteluvaiheessa ei vielä lähdetty suunnittelemaan lopullista laitetta, vaan alustava rakennesuunnitelma laitteesta. Valmiiseen nostoapuvälineeseen pitää vielä huomioida ja suunnitella seuraavat asiat:

- tarkempi suunnitelma tarraimien toiminnasta ja vaijerimekanismin käytöstä
- laajempi ja tarkempi lujoustarkastelu koko nostoapuvälineelle
- hitsien mitoitus
- havaintotieto tarttumisen onnistumisesta
- valmistuspiirustukset
- valmistajan etsiminen
- käyttöohjeet
- varastointi
- kunnossapito
- käyttöönottotarkastukset sekä kuormituskokeet.

Alustavasti on mietitty eri ideoita havaintotiedon saamiseen tarttumisesta. Yksi idea havaintotiedon saamiseen oli kosketussensorien suunnitteleminen tarraimien osiin, jotka nostotapahtumassa ovat kosketuksessa tiheän polttoainetelineen pohjaan.

Jatkokehityksessä on myös tarkasteltava paremmin pohjalevyyn syntyvää jännitystä sekä taipumaa, mitä tarraimet aiheuttavat nostaessa telineitä.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda toimeksiantajalle esisuunnitelma nostoapuvälineestä, jolla voidaan nostaa 27000 kg painavia tiheitä polttoainetelineitä varastointialtaista. Työssä perehdyttiin syvällisemmin nostoapuvälineiden suunnittelua ja valmistusta ohjaaviin standardeihin ja lakisäännöksiin sekä säteilyturvakeskuksen laatimiin YVL-ohjeisiin. Työ oli erittäin monipuolinen, siihen kuului paljon lähtötietojen kaivamista, esisuunnittelua, 3D-mallintamista ja rakenteiden optimointia riittävän kestäväksi. Haasteita toi monet nostoapuvälineelle asetetut vaatimukset ja rajoitteet. Erittäin haastavaa oli saada eri osien rakenteesta tarpeeksi kestävä, kun tiheän polttoainetelineen geometria esti rakenteiden suurentamista.

Nostoapuvälineen esisuunnitelmaa laadittaessa täytyi ottaa huomioon sen valmistettavuus, materiaali ja sen ominaisuudet sekä standardien vaatimukset. Tässä onnistuttiin hyvin. Oli myös tärkeää, että suunnittelu pysyy tarpeeksi yksinkertaisena eikä toteuteta niin sanotusti

ylisuunnittelua esisuunnitelmavaiheessa. Esisuunnitelman aineisto sekä rakennesuunnitelma valmistuivat siihen sovitussa ajassa. Työtä tehdessä huomattava osa ajasta kului tiedon etsintään ja sen käsittelyyn sekä rakennesuunnitelmaan, tästä syystä aineiston kirjoittamiseen ei jäänyt kovin paljoa aikaa. Työssä onnistuttiin hyvin ja päästiin toimeksiantajan laatimiin tavoitteisiin.

Lähteet

Dlubal. (n.d.). DIN 1025 IPE 300 Palkki [kuva].

<https://www.dlubal.com/en/cross-section-properties/series-ipe-din-1025-5-1994-03-ferona>

Euroopan Parlamentin ja Neuvoston direktiivi 2006/42/EY/2006. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0042:FI:PDF>

Erlatek. (n.d.). Hitsattavat nostokorvat – Erlatek Oy.

https://www.erlatek.fi/nostokorvat/tuote-16-133-hitsattava_powerpoint_-_kuulalaakeroitu_wpp

Erlatek. (n.d.). Nostokorvake [kuva].

https://www.erlatek.fi/nostokorvat/tuote-16-133-hitsattava_powerpoint_-_kuulalaakeroitu_wpp

Evek GmbH. (2021). AISI 304 & AISI 316. Yleisimmät ruostumattomat teräkset (evек.xyz).

Haettu 20.6.2023 osoitteesta: <https://evек.xyz/module/blockblog/blog?p=p-aisi-304-aisi-316-yleisimm-t-ruostumattomat-ter-kset>

Evek GmbH. (2020). AISI 304. Haettu 20.6.2023 osoitteesta:

<https://evек.xyz/module/blockblog/blog?p=p-aisi-304>

Fortum. (2023a). Fortum maailmalla | fortum.fi. Haettu 22.2.2023 osoitteesta:

<https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/fortum-maailmalla>

Fortum. (2023b). Energiantuotantomme | fortum.fi. Haettu 22.2.2023 osoitteesta:

<https://www.fortum.fi/tietoa-meista/energiantuotantomme>

Fortum. (2023c). Toimintamme perusta ja strategia | fortum.fi. Haettu 22.2.2023

osoitteesta: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/strategia>

Laki24. (n.d.). EU lainsäädäntö: Asetukset, direktiivit ja muut säädökset - Laki24. Haettu 28.8.2023 osoitteesta: <https://laki24.fi/eu-lainsaadanto-asetukset-direktiivit-ja-muut-saadokset/>

SFS. (2021). Koneturvallisuuden_standardit_luettelo_2021.pdf (sfs.fi). Haettu 29.5.2023 osoitteesta: https://sfs.fi/wp-content/uploads/2021/05/Koneturvallisuuden_standardit_luettelo_2021.pdf

SFS-EN 13155:2020. (2020). Nosturit. Turvallisuus. Irrotettavat nostoapuvälineet. SFS Online.

SFS-EN 1993-1-4. (2006). Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-4: Yleiset säännöt. Ruostumattomia teräksiä koskevat lisäsäännöt. SFS Online.

SFS-EN 1993-1-8. (2005). Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu. SFS Online.

STK. (n.d.). CE-merkintä [kuva].

<https://www.stkliitto.fi/ajankohtaista/ce-merkinta%C3%A4-mik%C3%A4-kuka-mihin-...-ja-miksi>

STUK. (n.d.-a). STUKin tehtävät | Säteilyturvakeskus STUK. Haettu 7.6.2023 osoitteesta: <https://stuk.fi/stukin-tehtavat>

STUK. (n.d.-b). Valvonnan osa-alueet | Säteilyturvakeskus STUK. Haettu 7.6.2023 osoitteesta: <https://stuk.fi/valvonnan-osa-alueet>

STUK. (2019). Ydinlaitoksen nosto- ja siirtolaitteet. Haettu 30.6.2023 osoitteesta: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-11>

Tukes. (n.d.-a). CE-merkintä | Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Haettu 10.5.2023 osoitteesta: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta#0ddc1fa1>

Tukes. (n.d.-b). Koneita koskevat vaatimukset | Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Haettu 10.5.2023 osoitteesta: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet#0ddc1fa1>

Liite 1. Niveltappiliitos laskut

Niveltapin minimi säde:

Lähtöarvot funktiota varten: $f_{up} := 500 \frac{N}{mm^2}$ $\gamma_{M2} := 1.25$

Kokeillaan eri halkaisijoita laskukaavalle, kunnes saatu tulos on sallittua voimaa (135 kN) hieman suurempi:

$$r := 14 \text{ mm}$$

Niveltapin pinta-ala:

$$A := \pi \cdot r^2 = 615.752 \text{ mm}^2$$

Leikkausjännitys:

$$\frac{0.6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 147.781 \text{ kN}$$

Kun niveltapin säde on 14 mm, sen leikkausjännite on ideaali.

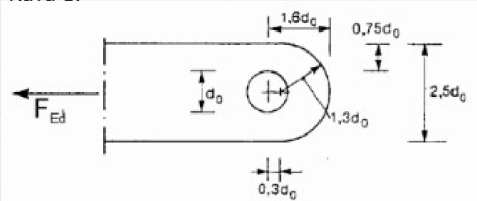
Nivelen liitoksen rakenneosan materiaalin paksuus:

Lähtöarvot funktiota varten: $F_{Ed} := 135 \text{ kN}$ $d_0 := 28 \text{ mm}$ $\gamma_{M0} := 1.1$ $f_y := 200 \frac{N}{mm^2}$

$$t := 0.7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 19.074 \text{ mm}$$

Kun rakenneosan geometria on suunniteltu kuvan 1 arvoilla

Kuva 1.

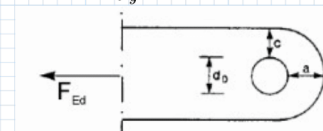


Tankojen liitosrakenteen geometria:

Lähtöarvot funktiota varten:

$$F_{Ed} := 135 \text{ kN} \quad d_0 := 28 \text{ mm} \quad f_y := 200 \frac{N}{mm^2} \quad t := 10 \text{ mm} \quad \gamma_{M0} := 1.1$$

$$a := \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = 55.792 \text{ mm}$$



Liite 2. Tarraimien niveltappiliitoksen rakenneosien pinta-ala

Nivelten tappiliitos rakenneosan pinta-ala: $A_1 := 94.6 \text{ mm} \cdot 19.074 \text{ mm} = (1.804 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$

Seuraavaksi tarkastetaan, että tarraimien tappiliitos rakenneosan pinta-ala on suurempi kuin nivelten liitososan

Tarraimien tappiliitos rakenneosan pinta-ala saadaan laskettua käyttämällä ympyrän segmentin laskukaavoja

$$r := 47.5 \text{ mm} \quad a := 143.18 \quad h := 15 \text{ mm} \quad k := 90.14 \text{ mm}$$

$$A_{\text{sektori}} := \frac{a}{360} \cdot \pi \cdot r^2 = (2.819 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{kolmio}} := \frac{k \cdot h}{2} = 676.05 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{segmentti}} := A_{\text{sektori}} - A_{\text{kolmio}} = (2.143 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$a_1 := 65.27 \quad h_1 := 40 \text{ mm} \quad k_1 := 51.23 \text{ mm}$$

$$A_{\text{sektori1}} := \frac{a_1}{360} \cdot \pi \cdot r^2 = (1.285 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{kolmio1}} := \frac{k_1 \cdot h_1}{2} = (1.025 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{segmentti1}} := A_{\text{sektori1}} - A_{\text{kolmio1}} = 260.533 \text{ mm}^2$$

Tarraimen tappiliitos rakenneosan pinta-ala: $A_2 := A_{\text{segmentti}} - A_{\text{segmentti1}} = (1.883 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$

Kuten laskuista huomataan, tarraimen tappiliitos rakenneosan pinta-ala on hieman suurempi kuin standardien avulla lasketun nivelten tappiliitos rakenneosan pinta-ala