

Konecranesin R-köysinostimen koukkujen lukitusoption suunnittelu



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäki, Konetekniikka

Syyslukukausi, 2019

Eero Sipponen

Konetekniikka
Riihimäki

Tekijä	Eero Sipponen	Vuosi 2019
Työn nimi	Konecranesin R-köysinostimen koukkujen lukitusoption-suunnittelu	
Työn ohjaaja/t	Jaakko Vasko	

TIIVISTELMÄ

Työn tavoitteena oli tuottaa Konecranes Oyj:lle koukkujen lukitusratkaisu, joka oli helposti skaalattavissa useampiin koukkuihin. Lukitusta tullaan käyttämään Konecranesin syksyllä 2019 julkaistavassa R-köysinostinmallistossa. Konecranes suunnittelee uuden sukupolven köysinostinta, johon vanhempien nostinten koukun lukitukset eivät suoraan sovellu.

Opinnäytetyössä käsiteltiin köysinostimia sekä niiden käyttötarkoituksia yleisesti. Työssä ideoitiin ja kehitettiin rakenteita, sekä valittiin ideaali rakenne, joka otettiin kehityksen kohteeksi. Rakenteen valinta toteutettiin Design For Six Sigma -menetelmän avulla. Lukitusrakenteille tehtiin ennen valintaa suuntaa antava lujuuslaskenta, ja lopulliselle rakenteelle tehtiin kattavampi lujuuslaskenta.

Työssä voidaan huomata miten helposti valinta sekä suunnittelu vaikeutuu, kun kriteerien määrä on suuri. Työn tuloksena saatiin uudenlainen lukitusrakenne, jota Konecranes tulee käyttämään uusien köysinostinten koukun lukitsemiseen.

Avainsanat Konetekniikka, suunnitteluprosessi, tekninen suunnittelu

Sivut 40 sivua, joista liitteitä 1 sivua

Mechanical engineering
Riihimäki

Author	Eero Sipponen	Year 2019
Subject	Designing a hook locking mechanism for Konecranes R-series wire rope hoists	
Supervisors	Jaakko Vasko	

ABSTRACT

The goal of this thesis project was to produce a new locking mechanism for Konecranes Oyj. The lockable hook block design will be used on Konecranes new R-wire rope hoists, which will be launched in autumn 2019. The main idea of the mechanism was that it should be easily scaled to hook blocks of different sizes. Konecranes is designing a new generation of wire rope hoists, and the current locking solutions are not suitable for the new hook blocks. In this thesis I will introduce the reader to wire rope hoists in general and their applications in the industrial use. I also present the ideas for the locking mechanisms and go through the selection process. The selection process will be done using the Design For Six Sigma -method. Rough strength calculations will be conducted before the selection, and the more precise calculations will be made for the final structure. In this work it was easy to notice how the design criteria affected the work load. As a result of this work, Konecranes has a new hook block locking design that will be used on the latest Konecranes wire rope hoists.

Keywords Design process, mechanical engineering, technical design

Pages 40 pages including appendices 1 pages

SISÄLLYS

SANASTO.....	
1 JOHDANTO.....	1
2 KONECRANES OYJ	2
3 KÖYSINOSTIMET	3
3.1 Köysinostimista yleisesti	3
3.2 Köysinostinten rakenne.....	3
3.3 Koukkublokkien rakenne.....	4
3.4 Konecranesilla käytössä olevat koukkujen lukitukset.....	5
3.4.1 Kitkalevy lukitukset.....	5
3.4.2 Lukitushaarukkalukitukset.....	6
4 IDEOINTI.....	7
4.1 Lähtökohdat	7
4.2 Esittely.....	8
4.2.1 Liukuholkillinen rakenne	8
4.2.2 Liukuholkillinen rakenne erillisellä kannattimella	10
4.2.3 Kitkarengas rakenne	11
4.2.4 Liukuhaarukkarakenne	12
4.2.5 Jarrumekanismi	14
4.2.6 Tappilukko	15
4.2.7 Rullalukitus	16
5 IDEOIDEN JATKOJALOSTUS JA POHDINTA VALINTAA VARTEN	17
5.1 Liukuholkillinen rakenne	18
5.1.1 Idean arviointi.....	18
5.1.2 Valmistusmenetelmät	18
5.2 Liukuholkillinen rakenne erillisellä kannattimella.....	18
5.2.1 Idean arviointi.....	18
5.2.2 Valmistusmenetelmät	19
5.3 Kitkarengasrakenne.....	19
5.3.1 Idean arviointi.....	19
5.3.2 Valmistusmenetelmät	19
5.4 Liukuhaarukka rakenne	20
5.4.1 Idean arviointi.....	20
5.4.2 Valmistusmenetelmät	20
5.5 Jarrumekanismi	21
5.5.1 Idean arviointi.....	21
5.5.2 Valmistusmenetelmät	21
5.6 Tappilukko	21
5.7 Rullalukitus	22
5.7.1 Idean arviointi.....	22
5.7.2 Valmistusmenetelmät	22
5.8 Rakenteiden kustannusarvioinnit	22

6	IDEOIDEN ARVOSTELU	23
6.1	Design for Six Sigma	23
6.1.1	Päätöksentekokriteerien valinta	23
6.1.2	Painotus	24
6.1.3	Vertailu	24
6.2	Ideoiden arvostelu Design for Six Sigma -menetelmän avulla.....	25
6.2.1	Toteutus.....	25
6.2.2	Päätelmä arvioinnista	26
7	TOTEUTUS.....	26
7.1	Mallinnus.....	27
7.2	Lujuuslaskenta.....	30
7.2.1	Lujuuslaskenta lukitukselle.....	30
7.2.2	Lujuuslaskenta piitalle	32
7.3	Piirustusten valmistus.	34
8	LOPULLISEN RAKENTEEN ARVIOINTI	35
8.1	Käyttöliittymän arviointi	35
8.2	Valmistusystävällisyyden arviointi	36
8.3	Kustannustekninen arviointi	37
8.4	Skaalattavuus	37
8.5	Jatkosuunnitelmat.....	37
	LÄHTEET	39

Liitteet

Liite 1 Lukitusten kustannusarviointi

SANASTO

B-mitta

Esimerkiksi kannatinpalkin leveys, jolle nostin asennetaan.

C-mitta

Etäisyys kannatinpalkin alalaidasta koukun kuormaa kantavaan osaan.

Tae

Yleinen nimitys taotulle osalle. Käytetään myös nimityksenä koukun taotusta osasta.

Koukkublokki

Kokoonpano, johon kuuluu koukkutae, piitta, köyden kiinnikkeet/kannakkeet ja koukkujen suojukset.

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on suunnitella Konecranes Oyj:lle lukitusoptio uuden R-köysinostinmalliston koukuille. Suunnitellusta rakenteesta tulee tuottaa piirustukset, sekä muut tarvittavat dokumentit lukitusoptio valmistukseen.

Koukkujen suunnittelun tärkeimpänä lähtökohtana on saada toimiva ratkaisu, minimaalisella määrällä uusia nimikkeitä. Tärkeitä ohjenuoria suunnittelulle on myös käytettävyys, rakenteen kustannukset sekä valmistettavuus.

Suunnittelun apuna tullaan käyttämään Siemens Nx-suunnitteluohjelmaa, joka on räätälöity Konecranes Oy:n käyttöön.

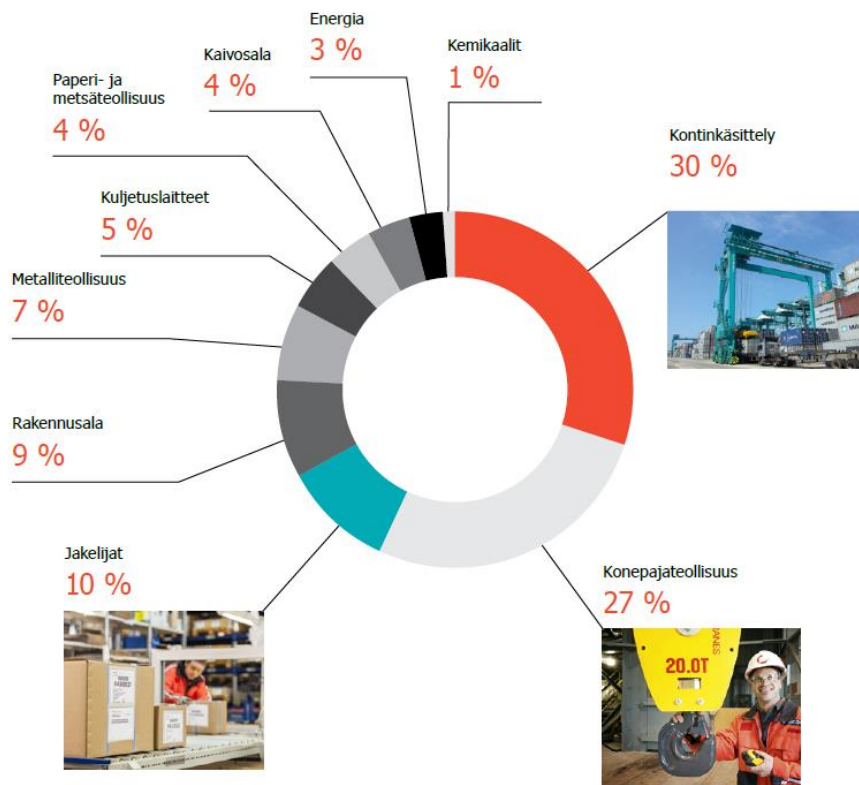
2 KONECRANES OYJ

Konecranes Oyj on maailman johtava nostolaitteita valmistava yritys. Konecranes valmistaa nostimia ja muita nostamisen ratkaisuja eri teollisuusaloille. Konecranesin tuotteiden suurimpia asiakasryhmiä ovat muun muassa prosessi- ja konepajateollisuus, terminaalit, telakat ja satamat. (Konecranes, 2019)

Konecranes on laajasti maailmalla tunnettu suomalainen brändi. Konecranesista puhuttaessa usealla tulee mieleen katonrajassa toimivat köysi- tai ketjunostimet, mutta se on vai osa Konecranesin tuotetarjonnasta. Konecranes toimittaa useiden eri nostintyyppien lisäksi myös varastointi- ja satamaratkaisuja. Tuotteiden lisäksi Konecranes tarjoaa myös huolto- ja kunnossapitopalveluita sekä omille, että muiden valmistajien tuotteille (Konecranes, 2019).

Konecranesin liikevaihto vuonna 2018 oli 3156 miljoonaa euroa. Yrityksellä on 16100 työntekijää ja 600 toimipistettä 50 eri maassa. Vuonna 2018 yritys sai tilauksia 3090 miljoonan euron edestä, ja haki 2300 patenttia tuotteilleen. Kuvasta 1 on nähtävissä asiakastilaukset segmentoituina eri ryhmille. (Konecranes, 2018)

Tilaukset asiakassegmenteittäin, 2018

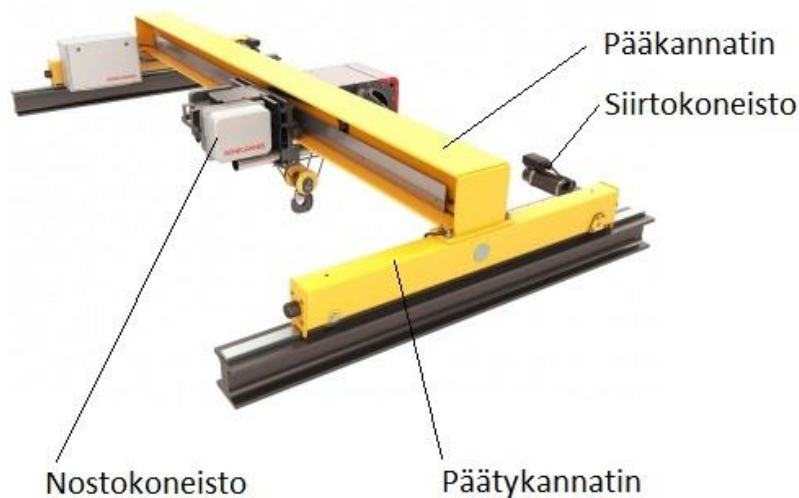


Kuva 1. Tilaukset asiakassegmenteittäin (Konecranes 2018, 5)

3 KÖYSINOSTIMET

3.1 Köysinostimista yleisesti

Köysinostimet ovat tyypillisesti siltanostimissa sijaitsevia nostokoneistoja, mutta köysinostinten koneistoja käytetään myös muissa nostintyypeissä. Siltanostimet voidaan jakaa karkeasti kahteen eri ryhmään, yksipalkkiset nostimet ja kaksipalkkiset nostimet. Yksipalkkisessa nostimessa on yksi pääkannattaja, kun taas kaksipalkkisessa nostimessa on kaksi pääkannattajaa. Kuvassa 2 näkyvän esimerkin mukaisille yksipalkkisille nostimille on tyypillistä pieni nostokuorma, kun taas kaksipalkkisilla nostimilla voidaan nostaa suurempia kuormia. Etuna yksipalkkisessa nostimessa on sen työalueen rajat. Yksipalkkisella nostimella voidaan päästä kuorman kanssa lähemmäksi esimerkiksi rakennuksen seinää. Siltanostimilla saavutetaan x-, y- ja z- akselin suuntaisia liikkeitä, sekä niiden yhdistelmävektoreiden suuntaisia liikkeitä. Nosturin liikkeet mahdollistavat helpon kuorman sijoittamisen sekä kuorman hallinnan.

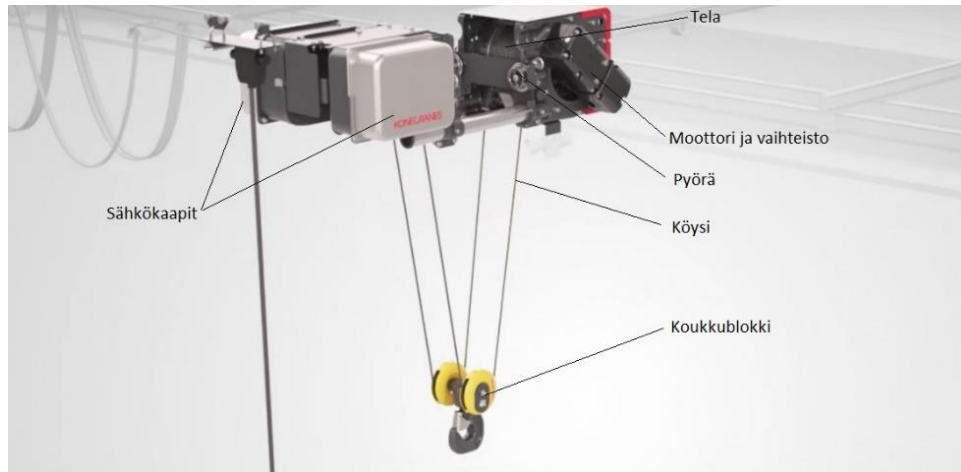


Kuva 2. Yksipalkkinen nostin (Konecranes, n.d.)

3.2 Köysinostinten rakenne

Köysinostin on sähkökäyttöinen kone, jonka tarkoituksena on liikuttaa kapaleita x-, y-, ja z- koordinaatiston mukaisesti. Nostin käyttää sähkömoottoria, joka pyörittää vaihteiston välityksen kautta telaa. Telaan on kiinnitetty nostoköysi, joka telan liikkeiden mukaisesti liikkuu pystysuuntaisesti.

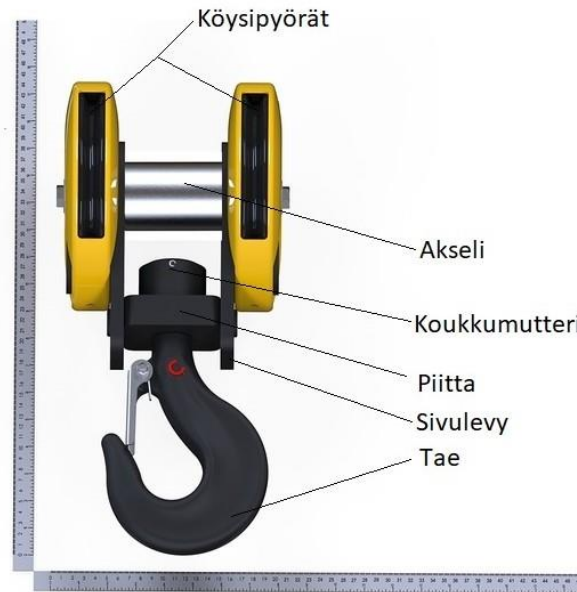
Nostoköysi kulkee köysityksestä riippuen yhden tai useamman köysipyörän kautta kiinteeseen kiinnikkeeseen. Köysipyörien tarkoituksena on lisätä nostovoimaa, jonka nostin pystyy tuottamaan. Pystysuuntaisen liikkeen lisäksi nostin kulkee pääkannattajaa pitkin käyttäen sähkömoottoria ja teräksisiä pyöriä. Kuvassa 3 nähdään Konecranesin CXT nostinmallin rakenne.



Kuva 3. CXT nostimen rakenne (Konecranes, n.d.a)

3.3 Koukkublokkien rakenne

Koukkublokit ovat linkki nostokoneiston ja nostettavan kappaleen välillä sillä ne mahdollistavat kuorman helpon kiinnittämisen köyteen. Koukkublokki koostuu useimmiten piitasta, takeesta ja köysipyörästä. Kuvassa 4 nähdään Q-nostimen neliköytisen köysinostimen koukkublokki. Piitta sekä köysipyörät ovat Konecranesin suunnittelemia. Konecranesin köysinostimissa käytetään vakio-osina kahdentyyppisiä takeita, RSN vakiotakeita ja Konecranesin suunnittelemia HBC takeita. RSN tae on DIN 15401 mukainen valuosa joka koneistetaan lopullisiin mittoihin. Kuvassa 5 nähtävä tae on RSN tae, kun taas kuvassa 3 nähtävä tae on HBC tae.



Kuva 4. Koukkublokin rakenne (Konecranes n.d.b)

3.4 Konecranesilla käytössä olevat koukkujen lukitukset

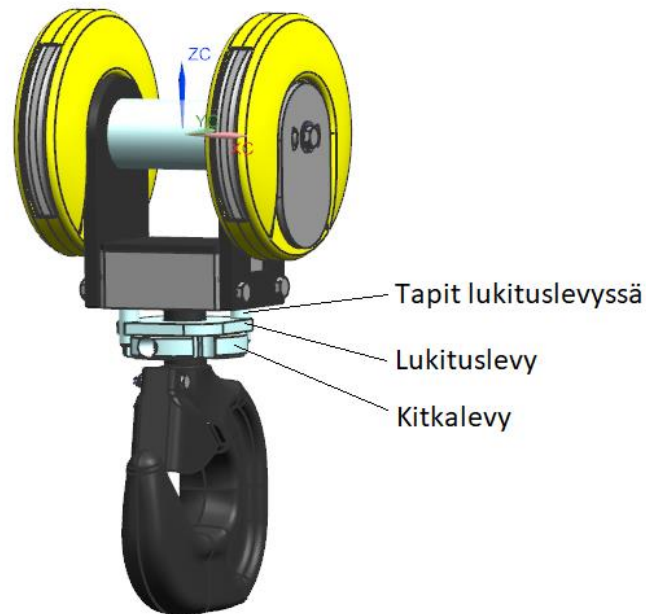
Lukitusoptio on lisävaruste, joka on tarjolla tiettyihin köysinostimiin. Konecranesin köysinostimissa käytetään kahdentyylisiä lukitusmekanismeja, kitkalevylukituksia sekä lukitushaarukkalukituksia. Kitkalevy lukitusta käytetään tyypillisesti HBC-takeellisissa koukuissa, mutta lukitusta on myös saatavilla RSN-takeellisille koukuille. Kitkalevylukitusta käytetään tyypillisesti pienemmän kokoluokan koukuille, kun taas lukitushaarukatyyppistä lukitusta käytetään pelkästään suuremman kokoluokan koukuissa. Lukitushaarukkalukitusta käytetään ainoastaan RSN-takeellisissa koukuissa.

3.4.1 Kitkalevy lukitukset

Lukitukset koukuissa on toteutettu käyttäen kahta eri osaa, lukkolevyä sekä halkaistua kitkalevyä (kuva5). Lukkolevy on pyöreä levy jonka keskellä on reikä. Levyn on hitsattu kaksi sylinterimäistä tappia jotka ulottuvat lukkolevyn puolelta toiselle. Halkaistu kitkalevy on rakenteeltaan hyvin vastaavanlainen kuin lukkolevy, mutta paksumpi. Kitkalevy on nimensä mukaan halkaistu x-y tason suuntaisesti keskeltä kahteen osaan, jotka voidaan liittää toisiinsa pulttiliitoksella. Levyssä on myös neljä reikää kehällä, joihin lukituslevyn tapit voi laskea.

Lukituksen toiminta perustuu lukkolevyn liikkeisiin. Lukkolevyn ollessa yläasennossa, sen tapit liukuvat piitan sisälle ja lukitus ei ole päällä. Kun lukkolevy lasketaan alas, kitkalevyn kiinni, liukuvat tapit hieman alaspäin taakessa olevissa rei'issä. Lukkolevyn laskeutuessa, sen tapit liukuvat

kitkalevyssä oleviin reikiin. Tappien ollessa sekä lukkolevyn, että piitan sisällä, on lukitus kiinni. Tappit vastaanottavat takeen vääntömomentin, ja jakavat sen keskenään, lukkolevyä apuna käyttäen.



Kuva 5. Kitkalevy tyyppinen koukun lukitus

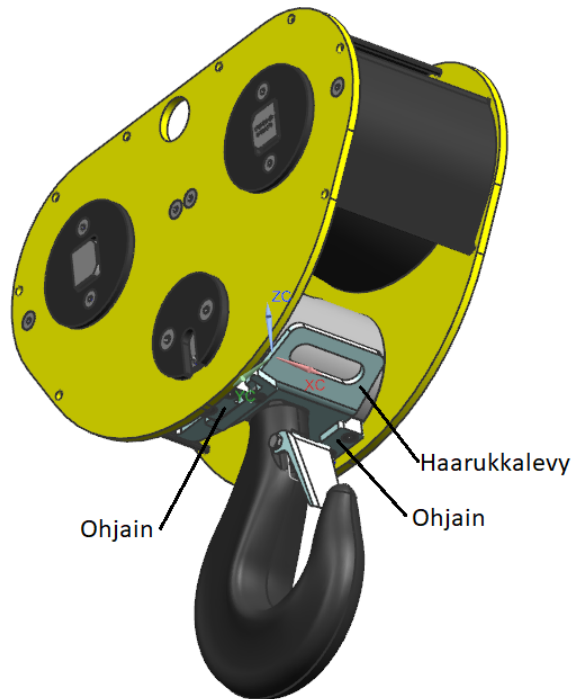
Lukitus on toiminnaltaan yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Lukituksen suurin ongelmakohta on se, että lukitusta ei saa pysyvästi pois päältä. Lukituksen saa pois päältä vain sen säätämisen ajaksi. Lukituksen hyvänä puolena on portaaton koukun linjaus, jonka kitkarengas mahdollistaa. Toinen hyvä puoli koukun lukituksessa on se, että sitä voidaan käyttää miltä tahansa puolelta koukkuja.

3.4.2 Lukitushaarukkalukitukset

Lukitushaarukkatyyppisissä lukituksissa käytetään kuvassa 6 nähtävää lukitusmenetelmää. Lukituksessa takeen kaulaan on koneistettu neljä tasaista osuutta, 90 asteen kulmaan toisistaan. Piitan pohjaan on pultattu ohjaimet jotka ohjaavat haarukkalevyä. Haarukkalevy on nimensä mukaisesti haarukkamainenlevy, johon on tehty pitkä, koukun koneistettuja muotoja vastaava ura.

Lukitus toimii haarukkaa työnnettäessä taetta kohti, jolloin haarukka liukuu takeeseen tehtyihin uriin. Tae pyrkii pyöriessään levittämään

haarukan muotoa, jolloin voima välittyy ohjainten kautta piittaan. Lukitus on toiminnaltaan yksinkertainen ja helppokäyttöinen.



Kuva 6. Lukitushaarukkamekanismi.

Lukituksen ongelmana on haarukalevyn kulumisen. Kulumisen aiheuttaa lukitukseen väljyyttä, josta seuraa lisää kulumista, kunnes lukitus ei enää ole toimintakuntoinen. Lukituksen toisena haittapuolena on sen kiinteä kohdistus. Takeeseen koneistetut urat eivät mahdollista koukun tarkkaa linjausta, vaan koukku on ainoastaan mahdollista suunnata 90 asteen välein.

4 IDEOINTI

4.1 Lähtökohdat

Lukituksen tuli olla helposti käytettävissä, eikä sen kytkemiseen tulisi käyttää suuria voimia. Mekanismi tulisi olla säädettävä vähintään 90 asteen välein, tarkempi säätö olisi myös toivottavaa. Lukitusmekanismin tulisi kiinnittyä samaan piittaan ja samaan takeeseen. Mekanismin tulee olla kytkettävissä päälle sekä pois kaikissa mahdollisissa kuormitustilanteissa, jotta koukku voitaisiin käyttää myös tavallisen koukun tavoin. On toivottavaa, ettei lukitus kasvata takeen pituutta, ja näin ollen lisää C-mittaa.

Piitta sekä tae tulisi olla mahdollista valmistaa alkuperäisistä osista lisäämättä materiaalia. Materiaalia sai poistaa paikoista, joilla ei ollut suurta lujuusteknistä vaikutusta. Uusia osia voidaan valmistaa, sekä osto-osia voidaan hyödyntää. Myös muissa nostimissa käytettäviä osia voidaan hyödyntää.

Lukituksen sijainti takeen puolella tuli olla ohenevan kaulan alapuolella, jottei siihen kohdistu suuria rasituksia. Sijainti piitan puolella tuli olla vakioidussa osassa, eli se ei saa kiinnittyä köysipyörien kannattimiin, sillä niitä on eri määrä riippuen köysityksestä. Piittaan sai porata reikiä ja poistaa materiaalia, mutta materiaalia ei saanut poistaa jännityskeskittymien kohdilta, eli rakennetta ei saanut heikentää merkittävästi.

Ennen mallinnusta pyrin keksimään mahdollisimman monta pääsuuntaa, joita olisi mahdollista kehittää. Pääsuuntien ideana oli, että jokainen pääsuunta edustaisi omanlaistaan mekanismia. Ideoiden jatkokehityksen kannalta on mahdollista, että seuraavia rakenteita yhdistetään, jotta saavutetaan optimaalinen rakenne. Alustavassa ideoinnissa ei ollut tarkoitus kehitellä jokaista ideaa loppuun asti, vaan saada hyvä peruskäsitys idean toimivuudesta, kustannuksista ja voimien kestosta. Tästä syystä lukituksiin ei ole mallinnettu kaikkia pultteja, eikä kaikkia lukitusmekanismien pieniä osia.

Kaikkien rakenteiden momentin kesto laskettiin alustavasti EN 13001-3-1-standardin mukaan, jotta lukitusten kestot olisivat vertailtavissa. Toinen syy lukitusmuotojen vahvuuslaskennalle tässä vaiheessa oli se, että saisimme selville toimiiko lukitusmuodot teorian tasolla. Lukitusten kestossa käytettiin apuna leikkauskohdan sädettä takeen neutraaliakselilta, sekä materiaalien ominaisuuksia. Laskemisen apuna käytettiin kaavaa 1 ja kaavaa 2.

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

(EN 13001-3-1/2012, s.29)

$$M = F * R \quad (2)$$

(Valtonen, 2007, s.446)

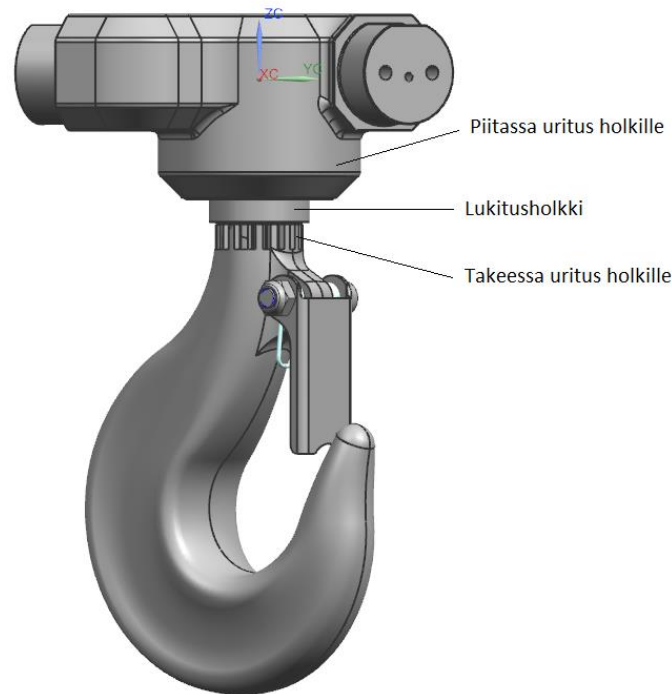
4.2 Esittely

4.2.1 Liukuholkillinen rakenne

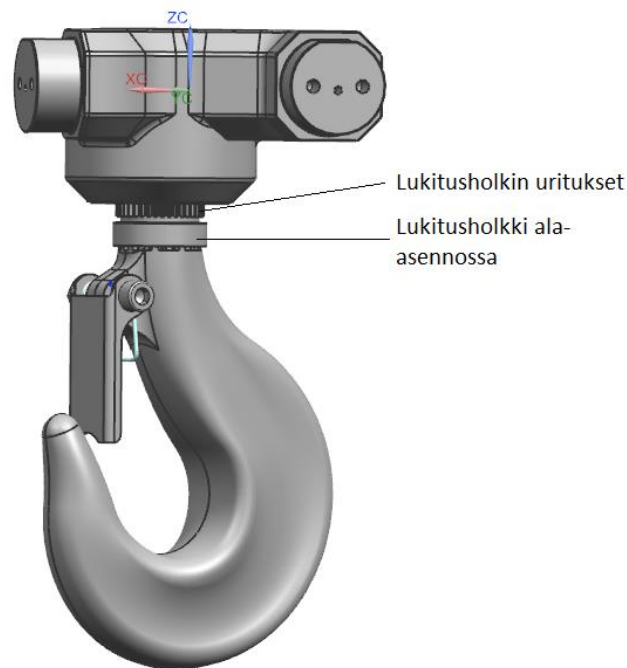
Liukuholkillinen rakenne perustuu piitan keskireiän sisäpuolella liukuvaan holkkiin. Liukuholkin piitanpuoleisessa päädyssä on ulkopuolinen hammas-tus, ja takeenpuoleisessa päädyssä on sisäpuolinen uritus. Piitasta ja takeesta löytyy lukitusholkin muotoja vastaavat koneistukset. Liukuholkin ollessa yläasennossa (kuva 7), pääsee tae pyörimään vapaasti. Kun

liukuholkki painetaan alas (Kuva 8), sen piitanpuoleiset hammastukset liu-
tavat piitan sisällä. Samanaikaisesti holkki liikuu takeen päälle. Holkin liu-
kuessa takeen päälle sen hammastukset osuvat kohdilleen, ja koukku lu-
kittuu.

Lukituksen momentin kestoa laskiessa laskimme alustavasti, että heikoin
osa on lukitusholkki, sillä se on valmistettu S355 teräksestä. Lukitusholkin
myötölujuus oli siis selvästi pienempi kuin piitan tai takeen. Lukitusholkista
laskimme kummankin urituksen yhden lukitusmuodon momentin keston,
sekä lukitusmuotojen kokonaiskeston. Kahdesta lukitusmuodosta hei-
koimmaksi osoittautui ylempi lukitusmuoto, joka kesti 59.37Nm momen-
tin. Kuitenkin olettaen, että kaikki 36 lukitusmuotoa ottavat yhtä suuren
osuuden kuormasta, on lukituksen momentin kesto 2137.4Nm.



Kuva 7. Liukuholkillinen rakenne auki asennossa



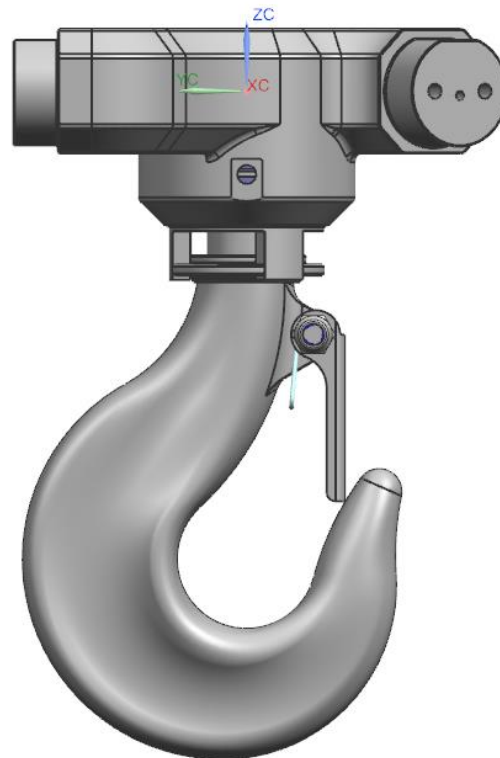
Kuva 8. Liukuholkillinen rakenne lukitussa asennossa

4.2.2 Liukuholkillinen rakenne erillisellä kannattimella

Liukuholkillista rakennetta ideoidessa tuli esiin kaksi tapaa käyttää kyseistä menetelmää, liukuholkillinen rakenne, ja liukuholkillinen rakenne erillisellä kannattimella. Erillistä kannatinta käytettäessä vältetään monimutkaisilta koneistuksilta, ja piitan reiän koneistukselta. Kuitenkin liukuholkillisessä rakenteessa kokoonpanoon tulee lisää osia. Päätimme pitää nämä kaksi ideointisuuntaa erillään, sillä molemmissa on omat hyvät ja huonot puolensa.

Erillisellä kannattimella toimiva liukuholkkirakenne toimii kannattimen ja liukuholkin avustuksella (kuva 9). Rakenteen lukitus toimii siten, että liukuholkki liikkuu takeen kaulalla pystysuunnassa. Holkin ollessa ala-asennossa, holkin hammastukset menevät lomittain takeeseen koneistettujen hammastusten kanssa. Tällöin liukuholkki ja tae yhdistyvät, ja voima välittyy kannattimen kolmea tankoa pitkin piittaan. Kun lukitusholkki nostetaan yläasentoon ja hammastukset eivät enää kohta, ja lukitus on auki-asennossa.

Lukituksen alustava kesto laskettiin holkin hammastuksen keston mukaan. Holkin yksi hammas kestää 137.83Nm. Kun kehällä on 18 hammasta, kestoksi muodostuu 2480.9Nm.

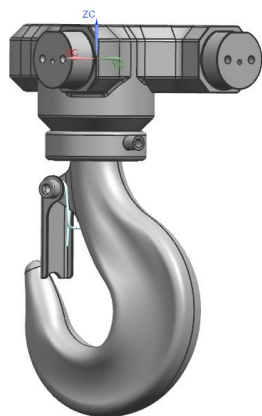


Kuva 9. Liukuholkkirakenne erillisellä kannattimella

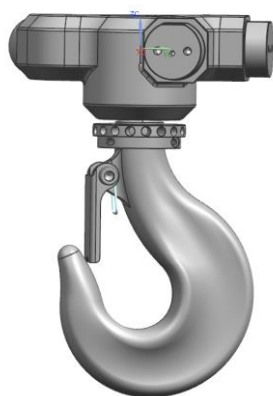
4.2.3 Kitkarengas rakenne

Kitkarengasrakenne perustuu olemassa olevaan kitkarengaslukitukseen. Lukituksen perusideana on kitkarengas, joka puristetaan pulteilla takeen kaulan ympärille. Kyseinen rakenne mahdollistaa materiaalin lisäämisen takeen kaulalle muuttamatta aihion kokoa. Liukuholkillinen rakenne vähentää takeen ylimääräisten koneistusten tarvetta, ja näin ollen vähentää kustannuksia.

Kitkarengasrakenteen ensimmäisessä versiossa kuvassa 10 nähtävä kitkarengas kiinnitetään takeen kaulalle kahden M8 pultin puristusliitoksella. Ennen takeen asennusta piittaaan, lukitusholkki kiinnitetään neljällä senkkikantaisella ruuvilla piitan pohjaan. Lukitusholkissa on 16 reikää, mikä tarkoittaa, että koukku on mahdollista lukita 16 eri asentoon käyttäen apuna CroMo:sta valmistettua tappia. Lukituksen alustava kestävyys laskettiin tappin kestävyuden mukaan. Tulokseksi saatiin, että tappi kestää puhtaan leikkauksen mukaan 683.06Nm voiman, varmuusluvun ollessa 0.



Kuva 10. Kitkarengasrakenteen kokoonpanokuva



Kuva 11. Kitkarengkaan kiinnitys takeen kaulaan



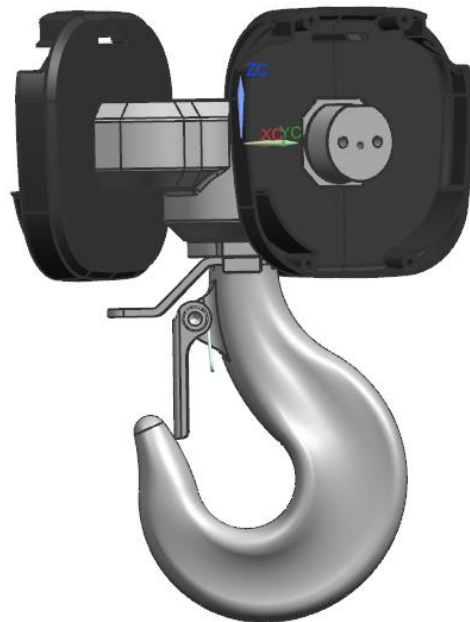
Kuva 12. Lukitusholkki

4.2.4 Liukuhaarukkarakenne

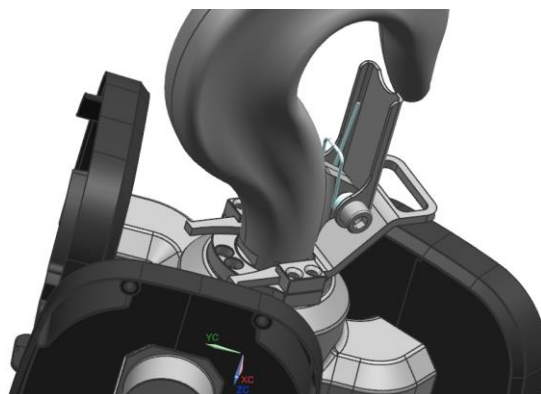
Liukuhaarukkarakenne pohjautuu olemassa olevaan lukitushaarukkarakenteeseen. Ainoana erona olemassa olevaan rakenteeseen on mahdollisuus säätää lukituksen peruskulmaa. Peruskulman säädöllä tarkoitetaan koukun kärjen osoittamaa suuntaa, joka voitaisiin säätää portaattomasti.

Säätö toimii piitan ja liukuhaarukan välissä olevalla kiinnikkeellä, jossa on neljä pitkänomaista reikää. Pitkien reikien avulla haarukan kiinnityskohtaa voidaan muuttaa.

Suunniteltu rakenne on hyvin samankaltainen kuin olemassa oleva lukitushaarukkalukitus. Uuden lukituksen etuna on piitan ympärille kiertyvä holkki, jonka pitkät reiät mahdollistavat lukituksen portaattoman asetuksen. Kuvissa 13 ja 14 näkyvän liukuhaarukan muotoja tuli muokata olemassa olevaan lukitukseen verrattuna, jotta liukuhaarukka olisi helppokäyttöinen eikä osuisi köysipyörien suojuksiin. Lukituksen kesto laskettiin haarukan kiinnikkeiden pulttien vahvuuden mukaan, sillä ne ovat kohdat, joihin kohdistuu leikkausta. Rakenteessa on myös osia, joihin kohdistuu suuria puristusvoimia, mutta tässä vaiheessa laskentaa leikkausvoimat ovat määräävämpiä. Alustavien laskelmien mukaan yksi kiinnityspultti kestää 390.32Nm väännön, kun vääntöä rajoittavia pultteja on kaksi, tulee momentin kestoksi 780.64Nm.



Kuva 13. Liukuhaarukka rakenne



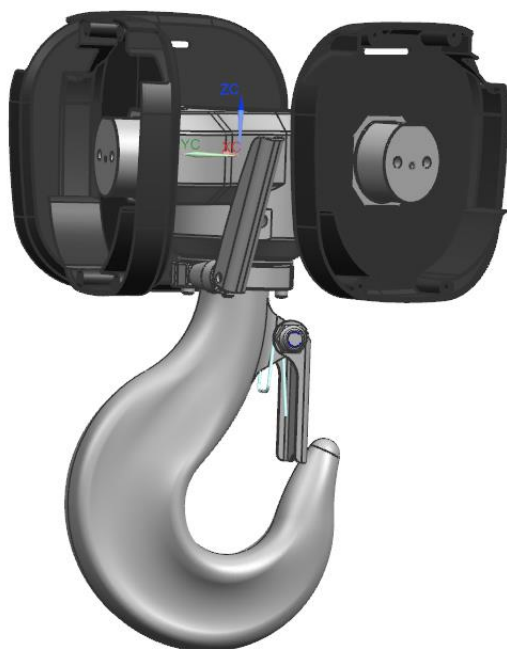
Kuva 14. Liukuhaarukka rakenne alhaaltapäin

4.2.5 Jarrumekanismi

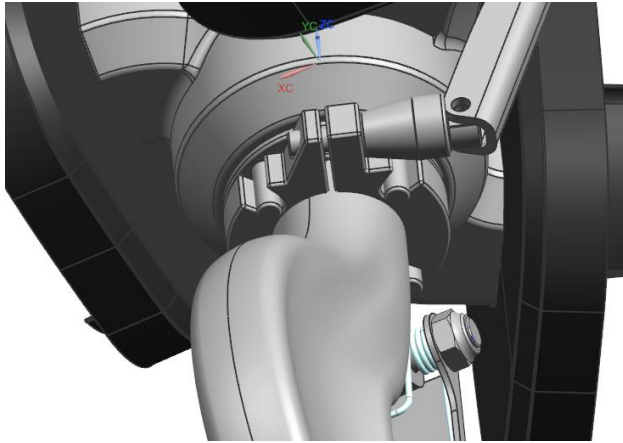
Jarrumekanismissa tarkoituksena on hyödyntää jarrukenkien tapaista rakennetta, jossa jarrukengät ovat kiinnitettynä piitan rakenteeseen. Jarrukenkiä puristamalla yhteen (Kuva 15), ne kasvattavat kitkaa jarrukenkien ja takeen kaulan välillä.

Idean ensimmäinen versio toteutettiin käyttäen jarrukenkien puristamiseen kierteitettyä tappia, jonka päässä on nivellettynä kääntyvä kahva. Kahvan tarkoitus on mahdollistaa jarrukenkien kiristämisen toisiinsa nähden, kun ne kuluvat. Kahvaa (kuva 16) käännettäessä kohti piittaa, sen muuttuväiteinen reuna ottaa painaa pultin ympärillä olevaa holkkia, kiristäen kenkiä yhteen suuremmalla voimalla.

Jarrumekanismin vahvuuslaskennassa pohdittiin piittaaan kiinnittyvien tappien kestoja, sillä ne ovat valmistettu S355 teräksestä, kun muut kiinnityspultit ovat lujuusluokaltaan 8.8 vahvuisia. Puhtaan leikkauksen mukaan laskettuna yksi tappi kestää 433.01Nm väännön, joka tarkoittaa, että tappeja ollessa neljä, on niiden alustava kesto 1732Nm. Jarrumekanismin kitkaominaisuuksia ei lasketa ennen mekanismien valintaa.



Kuva 15. Jarrumekanismi kokoonpantuna

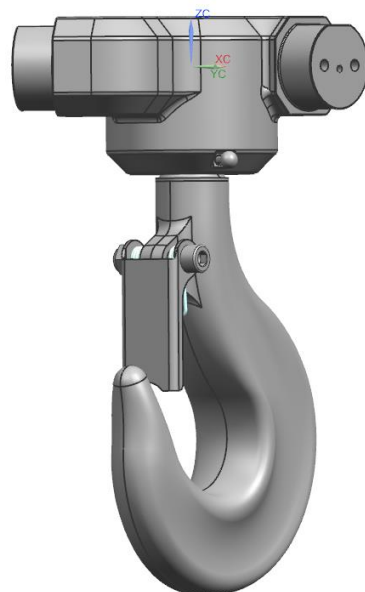


Kuva 16. Jarrumekanismin tarkastelu takeen suunnasta

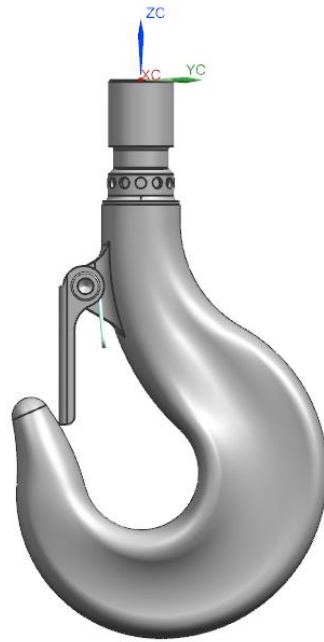
4.2.6 Tappilukko

Tappilukon ideana on porata piittaan reikä, piitan keskireiän säteen suuntaisesti. Reiän tulee olla yhdensuuntainen piitan pohjan kanssa. Takeeseen porataan myös reikiä sen kaulan säteen suuntaisesti, samalle korkeudelle piitassa olevan reiän kanssa. Lukitus kytketään päälle työntämällä piitan reiässä olevaa tappia taetta kohti. Kun tappi osuu takeeseen porattuun reikää, se estää koukun pyörimisen ja koukku on lukittu.

Mekanismin momentin kesto laskettiin tapin kestävyden mukaa, sillä se osoittautui alustavassa tarkastelussa heikoimmaksi osaksi. Tapin halkaisija on 8mm ja materiaali karkaistua kromi molybdeeni seosta, eli CroMoa. Tappin ollessa ainoa lukitusmekanismin osa, sen kestoksi laskettiin alustavasti 356,17Nm. Kuitenkin tappin halkaisijaa voidaan pienentää, tai suurentaa mikäli lopulliset vahvuuslaskennat sitä vaatii.



Kuva 17. Tappilukitus kokoonpantuna

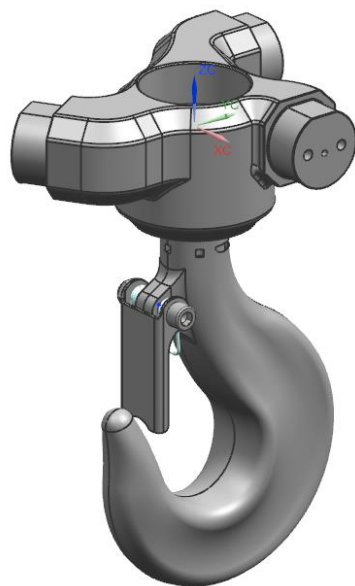


Kuva 18. Reiät takeessa

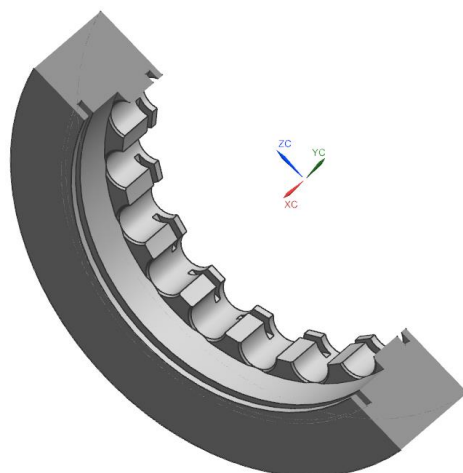
4.2.7 Rullalukitus

Rullalukituksen perusajatuksena on käyttää laakereiden irtorullia, tai irto-kuulia mekanismin toiminnassa. Rullien hyvänä puolena on niiden materiaali. Rullat valmistetaan erikoisteräksestä, jonka takia ne kestävät rakenerästä suurempia pintapaineita. Rullia voidaan hyödyntää esimerkiksi kuvan 19 mukaisessa rakenteessa, jossa rullille on koneistettu 6 kpl puolipyörän mallisia muotoja. Rullat voidaan asettaa muotoihin siten, että ne ovat puoliksi takeen sisällä. Takeen päälle asetetaan kuvan 20 mukainen holkki, joka mahdollistaa rullien käytön lukituksessa. Holkissa on kaksi asentoa, ylä- ja ala-asento. Yläasennossaan ollessaan holkki ei ole kytkettynä takeeseen, vaan pyörii vapaasti normaalin laakerin tavoin. Kun holkki painetaan ala-asentoon, rullat asettuvat holkissa oleviin puolipyörän mallisiin muotoihin, jolloin holkki on kytkettynä takeeseen. Lopullisessa lukitusmekanismissa holkki kiinnitetään piitan pohjaan osalla, joka mahdollistaa holkin pystysuuntaiset liikkeet, mutta kestää koukun kääntymisestä aiheutuvat voimat.

Rullalukituksen kesto laskettiin, ja laakerirulla kestää puhdasta leikkausta 778.01Nm. Lukituksessa on kuitenkin kuusi rullaa, joka nostaa lukituksen momentin keston arvoon 4668.1Nm.



Kuva 19. Rullalukituksen muodot takeessa



Kuva 20. Lukitusholkin leikkauskuva

5 IDEOIDEN JATKOJALOSTUS JA POHDINTA VALINTAA VARTEN

Seuraavassa kappaleessa käydään läpi ideoiden jatkojalostusta. Jatkojalostuksen ideana on esitellä rakenteiden kustannuksia, pohtia mahdollisia valmistustapoja, kehittää rakenteet idean tasolla toimiviksi ja mahdollisesti kehittää rakenteita vielä parempaan suuntaan ennen valintaa. Kappaleessa pohditaan myös rakenteiden skaalaamisen soveltuvuutta mahdollisesti tulevaisuudessa tuleville isommille koukuille. Kustannuslaskennat on toteutettu alustavasti käyttäen apuna Konecranesin osto-osaston asiantuntemusta, sekä yritysten valmiiksi hinnoittelemaa tuotteita. Laskennan perustana on pidetty 100kpl menekkiä vuositasolla.

5.1 Liukuholkillinen rakenne

5.1.1 Idean arviointi

Liukuholkillinen rakenne on toteutettu kokoonpanoa ja käyttöä ajatellen. Lukituksen hyviä puolia ovat sen helppo kasaus ja käyttö. Hyvänä puolena rakenteessa on sen suuri momentin kesto, ja mahdollisuus käyttää rakennetta miltä tahansa puolelta koukkublokkia. Koukun hyvän momentin keston ansiosta se on helposti sovellettavissa suurempien kokoluokkien koukkuihin.

Lukitusmekanismin hyvillä puolilla on kuitenkin varjopuolensa. Koukun suuri momentin kesto johtaa siihen, että takeeseen ja piittaan tulee tehdä suuri määrä tarkkoja koneistuksia, jotka nostavat rakenteen kustannuksia.

5.1.2 Valmistusmenetelmät

Liukuholkillinen rakenne koostuu takeen ja piitan lisäksi kahdesta osasta; liukuholkista ja kahdesta 4mm:n lieriömagneetista. Liukuholkin valmistus on mahdollista tarkkuusvalulla tai vaihtoehtoisesti koneistamalla. Uritukset piittaan voidaan tehdä koneistamalla reikä suuremmaksi ja käyttämällä avenninta. Takeen kaulalle tehtävät uritukset voidaan tehdä käyttäen tavallista tai vierintäjyrsintä.

5.2 Liukuholkillinen rakenne erillisellä kannattimella

5.2.1 Idean arviointi

Aiempana listattuun liukuholkilliseen rakenteeseen nähden, erillisen kannattimen lisääminen on kustannusteknisestä näkökulmasta katsoen järkevää. Erillinen kannatin kasvattaa hieman osakustannuksia, mutta poistaa tarpeen tehdä tarkkoja hammastuksia piittaan. Erillisellä kannattimella toimiva lukitus myös helpottaa lukitusholkin valmistusta, sillä tässä mallissa holkin sisäpuoliset muodot ovat helpompia koneistaa, joka näkyy osien valmistus kustannuksissa. Liukuholkillisen rakenteen tavoin erillisellä kannattimella toimiva rakenne on käytettävissä jokaiselta puolelta koukkuu, joka on suuri etu käytettävyyden näkökulmasta. Koukku on erillisen kannattimensa ja suuren momentin kestopensa ansiosta helposti muokattavissa jatkossa suuremman kokoluokan koukkublokkeihin.

Vaikka takeeseen ei tässä mallissa tarvitse koneistaa tarkkoja hammastuksia, kostautuu osien kasvanut määrä asennusajassa. Asennusajan lisäksi takeeseen tehtävät hammastukset ovat kalliita ja ottavat aikaa.

5.2.2 Valmistusmenetelmät

Liukuholkkillinen rakenne koostuu piitan ja takeen lisäksi kolmesta eri osasta: liukukannattimesta, liukuholkista ja kahdesta 4mm:n lieriömagneetista. Liukukannatin voidaan valmistaa kolmella eri valmistustavalla, hitsaamalla, koneistamalla tai valamalla. Liukuholkki on mahdollista valmistaa kahdella eri prosessilla: sorvaamalla aihio ja aventamalla hammas-tus, tai vaihtoehtoisesti tarkkuusvalamalla lopullinen muoto. Lukitusosien lisäksi takeeseen ja piittaan tulee koneistaa kiinnityspinnat lukitusta varten. Piitan pohjaan koneistetaan 4kpl M6-reikiä ja takeeseen tulee koneistaa uritus, johon liukuholkki kytkeytyy. Takeen koneistus voidaan tehdä tavallisella jyrsimellä tai vierintäjyrsimellä.

5.3 Kitkarengasrakenne

5.3.1 Idean arviointi

Kitkarengasrakenteessa on pyritty minimoimaan olemassa olevien osien koneistustarpeet. Piittaan ja takeeseen ei tässä lukitusmallissa tarvitse tehdä muita muutoksia kuin porata 4 kappaletta M6-reikää piitan pohjaan. Lukituksen toisena hyvänä puolena on sen rikkoontuminen. Jos lukittu koukku hajoaa esimerkiksi väärällä tavalla nostettaessa, se rikkoontuu koukkuun lisätyistä osista, eikä näin ollen vaaranna koukun kantokykyä. Kitkarengasrakenteen hyviin puoliin lukeutuu myös portaaton asetus, eli koukun lähtökulmaa voidaan säätää portaattomasti haluttuun kulmaan. Kitkarengasta on käytetty suuremmissa nostimissa, joten tiedetään että rakenne on mahdollista skaalata suuremman nosto kapasiteetin nostimille.

Kitkarengasrakenne koostuu useista osista, joka on nähtävissä valmistuskustannuksissa, sekä kokoonpanokustannuksissa. Lukitusta ei ole rakenteen vuoksi mahdollista käyttää kuin yhdeltä puolelta koukkuja. Lukitusosien valmistus vaatii tarkkaa hitsausta, joka luultavasti johtaa virheellisiin osiin.

5.3.2 Valmistusmenetelmät

Kitkarengasrakenne muodostuu nimensä mukaisesti kahdesta kitkarengaan puolikkaasta, tapista, kannattimesta, putkisokasta ja jousesta. Kitkarengaan puolikkaiden aihiot valmistetaan jyrsimällä, jonka jälkeen niiden

kehälle porataan lukitusreikiä. Lukitusreikien lisäksi kitkarenkaan puolikaisiin täytyy porata kiinnitysreiät, joilla kitkarenkaat kiinnittyvät toisiinsa ja puristuvat takeen kaulalle. Kannatin valmistetaan hitsaamalla kolmesta eri osasta, laserleikkeestä, putken pätkästä ja holkista. Laserleike leikataan oikeaan muotoon 5mm paksuisesta teräslevystä. Holkki sorvataan aines-tangosta sopivan muotoiseksi, ja sen päähän jyrjitään urat. Kun osat ovat valmiit, ne hitsataan yhteen. Tappi valmistetaan sorvaamalla aihiotan-gosta. Uusien osien lisäksi piittaaan tulee koneistaa neljä M6-reikää, joihin kannatin kiinnitetään kokoonpano vaiheessa.

5.4 Liukuhaarukka rakenne

5.4.1 Idean arviointi

Liukuhaarukkarakenne on parannettu versio olemassa olevasta lukitusratkaisusta. Lukituksen rakenne on yksinkertainen, eikä vaadi monimutkaisia koneistuksia olemassa oleviin osiin. Lukituksen etuna voidaan myös pitää sitä, että sitä on testattu ja se on todettu toimivaksi. Rakenteen etuna on myös se, että sen asetus on mahdollista säätää 30° välein. Liukuhaarukka-rakenne on käytössä suuremman kokoluokan koukuissa, jonka ansiosta tiedämme että kyseistä rakennetta on mahdollista skaalata suuremman nostokuorman nostokoukkuihin.

Liukuhaarukkarakenteen ongelmana voidaan pitää sen osien suurta määrää. Osien suuri määrä kasvattaa kustannuksia kokoonpanossa, sekä valmistuksessa. Rakenteen toisena kompastuskivenä voidaan pitää sitä, että tae on mahdollista lukita vain 90° välein, joka tarkoittaa että koukulla on vain neljä lukitusasentoa.

5.4.2 Valmistusmenetelmät

Liukuhaarukkarakenne koostuu neljästä osasta; liukuhaarukasta, kannattimesta ja kahdesta ohjaimesta. Liukuhaarukan aihio on valmistettu laserleikkaamalla 5mm:n teräslevystä, teräslevyyn tehdään kaksi taivutusta särmärillä. Myös kannatin valmistetaan laserleikkaamalla 10mm:n teräslevystä, leikkauksen jälkeen neljä reikää kierteytetään ja toisiin neljään reikään tehdään upotukset pultin kantoja varten. Ohjaimet valmistetaan koneistamalla. Koneistamisen lisäksi ohjaimen porataan kaksi reikää, joihin tehdään senkkaukset. Uusien osien lisäksi takeeseen täytyy jyrsiä neljä ta-saista aluetta, ja piittaaan tulee koneistaa 8kpl M6-reikiä.

5.5 Jarrumekanismi

5.5.1 Idean arviointi

Jarrumekanismi on luetelluista mekanismeista ainoa, joka mahdollistaa portaattoman lukituksen. Lukituksen skaalaus suurempiin kokoluokkiin riippuu jarrukenkien pintamateriaalista ja vivulla tuotetusta paineesta. Kuitenkin on todennäköistä, että lukitus on skaalattavissa suurempiin rakenteisiin ilman merkittäviä muutoksia.

Portaaton lukitus kuitenkin tarvitsee toimiakseen useita osia jotka lisäävät kustannuksia niin valmistuksessa, kuin kokoonpanossa. Lukituksen pitävyys perustuu vivulla tuotettavaan paineeseen joka painaa jarrukenkiä taetta vasten. Mikäli tarvittava voima on suuri, ei lukitusta ole helppo käyttää, varsinkaan jos kuorma ei ole koukussa kiinni.

5.5.2 Valmistusmenetelmät

Jarrumekanismirakenteen hyvänä puolena voidaan pitää vähäistä tarvetta koneistaa piittaa ja taetta. Taetta ei tässä lukitusmallissa tarvitse muokata, ja piitan pohjaan tarvitsee koneistaa vain neljä M6 reikää. Takeen ja piitan koneistamisen puute, tarkoittaa tässä vaihtoehdossa sitä, että osien lukumäärää on jouduttu lisäämään. Koukun lukitukseen tarvitaankin piitan ja takeen lisäksi kannatin, kaksi jarrukenkää, ohutlevystä tehty vipu, kierteitetty tappi ja holkki. Kannatin valmistetaan hitsaamalla laserleikattu levyosa ja neljä terästappia yhteen. Jarrukengät on mahdollista valmistaa koneistamalla tai valamalla. Kierteitetty tappi tulee valmistaa kahdella eri valmistusmenetelmällä, sorvaamalla ja jyrsimisellä. Ohutlevystä valmistettu vipu voidaan laserleikata oikeaan muotoonsa ja särmätä lopulliseen muotoonsa.

5.6 Tappilukko

Tappilukon tarkastelussa selvisi, että sitä ei voi skaalata suuremman kokoluokan koukkuihin, sillä koukun kaulan koko ei kasva samaa tahtia takeen sallitun nostokuorman kanssa. Tämä tarkoittaa, että koukkuja sovellettaessa suuremman kokoluokan nostimiin, lukituksen kesto heikkenee suhteessa nostokuormaan. Toinen ongelma tappilukossa on koukun piittaan koneistettu tarkka reikä. Piittaan koneistettava reikä heikentää piitan kuorman kestoa, kun reiän kokoa muutetaan suuremmaksi.

Edellä mainituista syistä rakennetta ei ole järkeä siirtää kustannustarkasteluun, vaan se hylätään tässä vaiheessa toimimattomana.

5.7 Rullalukitus

5.7.1 Idean arviointi

Lukituksessa hyödynnetään laakerirullia, jotka ovat yksittäin halpoja ja mitatarkkoja komponentteja jotka kestävät suuria määriä pintapainetta. Laakerirullien käyttö tekee lukituksesta vahvan ja mahdollistaa sen soveltamisen suuremman kapasiteetin koukkuihin. Lukitusta on mahdollista käyttää kaikilta puolilta koukkuja, joka helpottaa kuormitetun koukun lukitsemista. Rakenteen valmistamista helpottaa se, että osto-osien lisäksi kappaleessa on vain kaksi mittatilauksena tehtävää osaa.

Rullalukitusrakenteessa joudutaan kuitenkin koneistamaan tarkkoja ja kalliita puolikkaan lieriön mallisia urituksia takeeseen. Myös piittaan tarvitsee koneistaa neljä kappaletta M6-reikiä johon kannatin kiinnittyy. Lukituksen kasaaminen on haastavaa ja aikaavievää. Kasaamiseen käytetty aika nostaa kokoonpanokustannuksia huomattavasti.

5.7.2 Valmistusmenetelmät

Rullalukitus koostuu kolmesta osasta: liukukannattimesta, lukitusholkista ja kuudesta lieriömäisestä laakerin rullasta. Liukukannatin on samanlainen kuin erillisellä kannattimella olevassa liukuholkillisessä rakenteessa. Liukukannatin voidaan valmistaa kolmella eri tavalla: koneistamalla, hitsaamalla tai valamalla. Lukitusholkki voidaan valmistaa kahdella eri tavalla, sorvaamalla aihio ja koneistamalla lukitusmuodot tai valamalla tarkkuusvalulla koko holkin. Lukitusosien lisäksi rullalukituksessa takeeseen tulee koneistaa kuusi puolikkaan lieriön mallista muotoa, joihin laakerirullat asettuvat. Myös piittaan tulee koneistaa neljä kappaletta M6-reikiä.

5.8 Rakenteiden kustannusarviointit

Rakenteiden kustannusarviointi tehtiin kaikille lukitusrakenteille, jotka etenivät ideoiden arvosteluun. Kustannusarviointi tehtiin liitteen 1 mukaisesti käyttäen Excel-laskentaohjelmistoa. Arvioinnin tarkoituksena oli saada jokaiselle rakenteelle oma hinta, jotta hintoja voidaan jatkossa verrata.

Hintalaskenta aloitettiin jakamalla kustannukset kolmeen eri osa-alueeseen: teetettyihin osiin, ostettuihin osiin sekä tehtyyn työhön. Teetettyihin osiin kuului kaikki osat jotka teetetään tai tehdään itse mittatilauksena. Ostettuihin osiin listattiin kaikki standardoidut osat ja standardinomaiset osat. Tehtyyn työhön listattiin tuntien mukaan sekä valmistukseen että kokoonpanoon kuluva aika.

Teetettyjen osien kustannukset laskettiin käyttäen apuna Konecranesin suunnittelun karkeita arvioita hinnoista. Karkeat arviot suoritettiin laske-malla tuotteen paino (kg), ja kertomalla se työstötavan mukaisilla tyypilli-sillä kustannuksilla (€/kg). Näin saatiin vertailukelpoinen karkea arvio tee-tettyjen osien hinnoista.

Ostettujen osien hinta määriteltiin yhden eräkoon hinnan mukaan. Tässä tapauksessa kustannukset laskettiin 100 kappaleen vuosikulutuksen mu-kaan, joten oli loogista laskea kuinka paljon 100 kappaleen erä osaa mak-saa. Sadan kappaleen erästä laskettiin kappaleen yksittäishinta joka sijoit-tettiin taulukkoon. Yksittäishinta kerrottiin kyseisten osien lukumäärällä yhdessä kokoonpanossa.

Tehty työ laskettiin tuntiveloituksen mukaan. Kustakin työvaiheesta arvi-ointiin sen kesto tunteina, jonka jälkeen se kerrottiin kokemuspohjaisesti saatujen tuntihinnoittelujen mukaan.

Lopuksi kaikkien osien ja työtuntien kustannukset laskettiin yhteen ja saa-tiin liitteen 1 mukainen taulukko, jossa oli kunkin rakenteen kustannukset listattuna. Kustannusten arviot ovat kuitenkin vielä arvioita, sillä kustan-nusten laskentatapa ei ole tarkka. Kuitenkin kustannukset ovat keskenään vertailukelpoisia, joka edesauttaa valintaprosessia.

6 IDEOIDEN ARVOSTELU

6.1 Design for Six Sigma

Ideoinnin pisteytyksessä ja karsinnassa käytettiin Design for Six Sigma -aja-tusmallin mukaista päätöksentekoprosessia, eli Pugh-prosessia. Prosessin ideana on pohtia ideoiden hyviä ja huonoja puolia. Hyviä ja huonoja puolia pisteytetään sen perusteella, miten ne vastaavat haluttuja ominaisuuksia. Prosessi perustuu Stuart Pughin kehittelemään metodiin (Koivisto, Pu-hakka, 2019).

6.1.1 Päätöksentekokriteerien valinta

Aluksi prosessissa päätetään kriteerit, joiden mukaan ideoita pisteytetään. Kriteerit jaotellaan kolmeen eri kokonaisuuteen. Kokonaisuuksia ovat: Laatu, kustannukset sekä aikataulu. (Koivisto, Puhakka, 2019)

Laadullisiin kriteereihin sisältyy myös suorituskyky. Laadulliset kriteerit voivat koostua esimerkiksi seuraavista nimikkeistä: turvallisuus, paino, ääni ja soveltuvuus haluttuun kohteeseen. Kustannuskriteereissä tarkas-tellaan ideoidun rakenteen kustannuksia. Kustannuksia voivat olla esimer-kiksi valmistuskustannukset tai huoltokustannukset. Aikataulukriteereissä

pohditaan tuotteen aikataulua. Idean aikataulutusta verrataan esimerkiksi tavoitteelliseen markkinoilletulopäivämäärään. Aikatauluosioon voidaan sisällyttää esimerkiksi suunnittelun vaatima aika sekä osien saatavuus ja toimitusajat. (Koivisto, Puhakka, 2019)

6.1.2 Painotus

Jokaiselle listatulle kriteerille tulee määrittää painotus. Painotus määrää kriteerin arvon, esimerkiksi painotuksella 4 oleva ominaisuus on tuplasti tärkeämpi kuin arvolla 2 oleva ominaisuus (Koivisto, Puhakka, 2019). Kun kriteerin painotus on päätetty, se lisätään kriteerin kohdalle painotussarakkeeseen (Kuva 21).

Pugh-matriisi

		Painotus	Design 1	Design 2	Design 3	Design 4	Design 5	Design 6
Laatu	käyttöturvallisuus	5						
	Toiminnallisuus	4						
Kustannukset	Valmistuskustannukset	1						
	Huoltokustannukset	3						
Aikataulutus	Suunnitteluun kuluva aika	4						
	Osien saatavuus	2						
Lopputulos								

Kuva 21. Esimerkki Pugh-matriisista.

6.1.3 Vertailu

Vertailussa vertaillaan kuinka hyviä uudet ideat ovat neutraaliarvoon verrattuna. Vertailussa käytetään arvosteluasteikkoa +3:sta aina -3:n asti. Arvosteluasteikossa 0 on neutraali. Neutraaliksi arvoksi valitaan esimerkiksi tämän hetkisen tuotteen ominaisuudet, jos uusi tuote on jollain osa-alueella hieman parempi kuin vanha, saa se arvon +1. Mikäli idea on ylivoimaisesti parempi kuin vanha, saa se arvon +3.

Esimerkkinä voidaan ajatella, että Design 1 nimellä olevaa tuotetta verrataan Design 2 -tuotteeseen, jolloin Design 1 on vertailuarvo. Lopputulos lasketaan kertomalla kunkin kriteerin painotus laskettavan idean plus- tai miinusmerkkisellä arvolla. Sijoittamalla arvot taulukkoon, saadaan lopputuloksena + tai -merkkinen arvo. Lopputuloksen etumerkin arvo kertoo, onko uusi versio vanhaa parempi vai huonompi. (Kuva 22)

Pugh-matriisi

		Painotus	Design 1	Design 2	Design 3	Design 4	Design 5	Design 6
Laatu	käyttöturvallisuus	5	0	1				
	Toiminnallisuus	4	0	3				
Kustannukset	Valmistuskustannukset	1	0	-1				
	Huoltokustannukset	3	0	-3				
Aikataulutus	Suunnitteluun kuluva aika	4	0	0				
	Osien saatavuus	2	0	3				
	Lopputulos		0	13				

Kuva 22. Design 1 ja Design 2 vertailu Pugh-matriisissa.

6.2 Ideoiden arvostelu Design for Six Sigma -menetelmän avulla

6.2.1 Toteutus

Ideoiden arvostelu toteutettiin neljän hengen tiimin voimin. Tiimiin kuuluu kokeneita Konecranesin työntekijöitä, joilla on vankka kokemus teollisuudesta, suunnittelusta ja laadunhallinnallisista asioista sekä erinäisistä mekanismeista. Ideoiden arvostelu aloitettiin pohtimalla millaisia arvostelukriteerejä koukuilla tulisi olla. Jokaiselle arvostelukriteerille päätettiin painotus siten että tärkeimpänä pidettävä ominaisuus saisi arvon 5 ja vähintään tärkeä saisi arvon 1. Kun painotus oli päätetty, oli aika arvostella lukitusratkaisut. Arvostelussa liukuholkillinen rakenne asetettiin vertailuarvoksi, eli kaikkiin sarakkeisiin asetettiin arvo nolla. Mikäli joku ratkaisusta oli parempi kuin liukuholkkirakenne sai se positiivisen arvon. Jos taas ratkaisu oli kyseisellä mittarilla huonompi, se sai negatiivisen arvon. Lukitusta vertailtiin keskenään ja verrattiin vertailuarvorakenteeseen. Lopputuloksena yksikään lukitusmekanismi ei saanut parempaa arvoa kuin liukuholkillinen rakenne. Kuitenkin liukuhaarukkarakenne ylsi samaan arvoon, joten saimme vertailun tuloksena kaksi lukitusmenetelmää joiden kehittämismahdollisuuksia arvioidaan.

Pugh-matriisi

		Painotus	Liukuholkkirakenne	Liukuholkki kannattimella	Kiskarengas rakenne	Liukuhaarukka rakenne	Jarru mekanismi	Rullalukitus
Laatu	Turvallisuus	5,0	0	1	2	2	2	1
	Toiminnallisuus	5,0	0	0	-1	-2	-2	0
	Korroosionkesto	3,0	0	0	-1	-1	1	-2
Kustannukset	Käytettävyys	4,0	0	0	2	1	-1	0
	Valmistuskustannukset	3,0	0	-1	-2	-3	-3	-1
	Huoltokustannukset	2,0	0	0	-1	0	-1	-1
	Kokoonpantavuus	3,0	0	-1	-2	-2	-2	-2
Aikataulutus			0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0
	Suunnitteluun/tuotantoon viemiseen kuluva aika	4,0	0	0	1	2	-1	0
	Osien lukumäärä	2,0	0	-1	-1	-1	-1	-1
	Skaalattavuus	4,0	0	0	-2	2	-3	-1
			0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	
	Lopputulos +/-		0	-3	-10	0	-36	-18

Kuva 23. Lukitus ideoiden vertailu Pugh-matriisilla.

6.2.2 Päätelmä arvioinnista

Arvioinnin tasatuloksen seurauksena meidän tuli pohtia kumpaa lukitusmenetelmää olisi mahdollista kehittää eteenpäin pitemmälle, jotta se saisi paremman tuloksen vertailussa. Liukuholkkimekanismin turvallisuutta ja kustannuksia olisi helppoa kehittää siten että se saisi paremman arvostelutuloksen. Liukuhaarukkamekanismia on vaikeampi kehittää, sillä sen osamääriä ei voi vähentää, eikä materiaaleja muokata.

Pohdittuamme molempien rakenteiden kehittämismahdollisuuksia päädyimme siihen tulokseen, että liukuholkkirakennetta tulisi kehittää ensimmäisenä eteenpäin. Kuitenkin pitäen mielessä, että jos kyseisessä rakenteessa ilmenee ongelmia joita ei voi ratkaista, on liukuhaarukkarakenne varavaihtoehtona.

7 TOTEUTUS

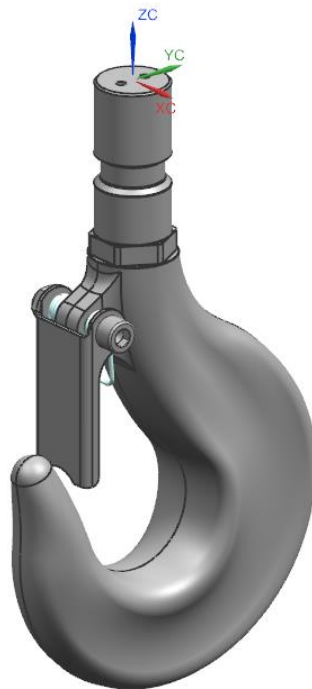
Lukitusrakenteista oli tehty alustavat 3D-mallit Siemens Nx -suunnitteluohjelmalla. Mallien apuna käytettiin olemassa olevien koukkublokkikokoonpanojen 3D-malleja. Lukitusmalleista kehitettiin liukuholkki-rakennetta. Mallia parannettiin siten, että siitä tulisi turvallisempi, kustannustehokkaampi, helppokäyttöisempi ja korroosionkestävämpi.

Lukituksen turvallisuutta ja helppokäyttöisyyttä kehitettiin tuomalla lukituksen rakennetta kauemmaksi takeesta. Tämä mahdollistaa lukituksen käytön kauempana köysipyöristä ja mahdollisesti liikkuvasta takeesta, parantaen käytettävyyttä ja turvallisuutta.

Koukun lukituksesta tuli tehdä kustannustehokkaampi, sillä se oli arvioiden mukaan kallis valmistaa. Valmistuksen hintaa kohotti huomattavasti liukuholkissa olleet hammastukset. Hammastukset jouduttaisiin koneistamaan tarkasti mittoihinsa, joka vaatisi tarkkaa jysintää. Oli siis selvää että hammastuksien tilalle tuli keksiä yksinkertaisemmat lukitusmuodot. Lukitusmuotojen muutos epätarkempaan suuntaan mahdollistaa lukituksen osien maalauksen. Osien maalaus taas parantaa koko lukituksen korroosion kestoa. Piittaen ei ollut mahdollista tehdä suurempaa keskireikää, joten piitanpuolinen lukitus tuli suunnitella piitan ulkopuoliseksi.

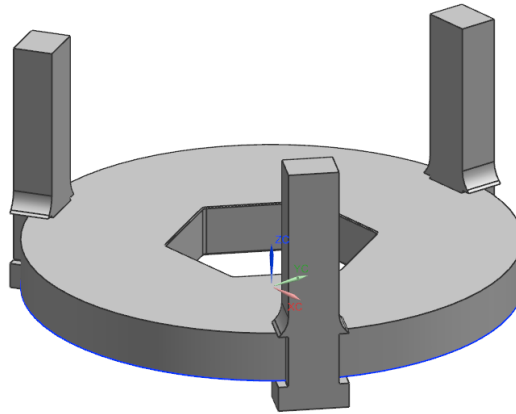
7.1 Mallinnus

Mallinnus aloitettiin valmiista koukkukokoonpanosta. Takeesta alettiin poistaa materiaalia siten, että takeen kapeimman osuuden vetoa vastustava pinta-ala ei pienenesi ja näin ollen vaikuttaisi koukun nostokykyyn. Mallinnuksessa toteutettiin edellä mainittuja parannuksia. Koska lukituksen säädön ei tarvinnut olla niin tarkka, eikä hammastus ollut tarpeeksi kustannustehokasta valmistaa, tuli lukitus tehdä erilaisilla muodoilla. Takeen kaulan koneistuksessa helpoimmat ja halvimmat muodot ovat suoria koneistuksia, joten kaulaan koneistettiin pultin kannan mallinen kuusikulmio (Kuva 24).

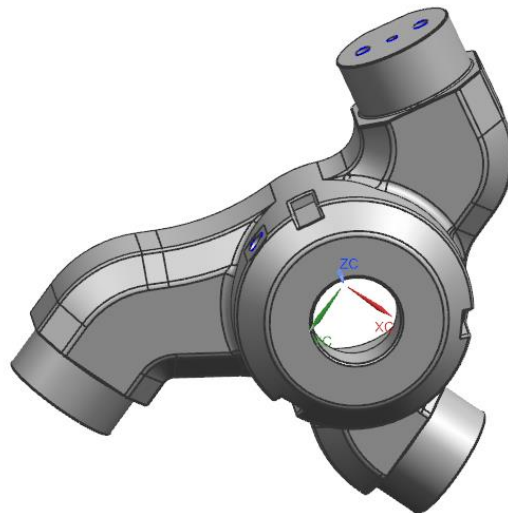


Kuva 24. Kuusikulmainen lukitusmuoto takeen kaulalla.

Kun takeen lukitusmuoto oli valmistusystävällisempi, täytyi lukitusholkkia muuttaa vastaamaan kyseistä muotoa. Lukitusholkin kiinnitys piittaan tuli myös muuttaa piitan ulkopuoliseen muotoon tukeutuvaksi. Ensimmäisenä ratkaisuideana oli tehdä levyosa (Kuva 25), jossa on takeen muotoa vastaava reikä, sekä lovet, joihin voidaan paikoittaa kolme pystysuuntaista levy osaa. Pystysuuntaisten levyosien tarkoituksena on siirtää vääntömomentti piittaan koneistettuihin uriin (Kuva 26).



Kuva 25. Ensimmäinen versio lukituksen levyosasta.



Kuva 26. Piittaan koneistetut urat.

Kuitenkin pian ensimmäisen levyosan suunnittelun jälkeen ilmeni ongelma. Lukituslevyyn kiinnittyvät pystysuuntaiset levyt tulisi kiinnittää osaan joko hitsaamalla tai pulteilla. Pulttikiinnitys vaatisi verrattain kalliita säteittäisiä porauksia ja kierteytyksiä. Hitsaus olisi halvempi vaihtoehto, mutta hitsatessa levyosia yhteen niihin jää jännityksiä ja ne voivat muuttaa asemaansa radikaalisti. Levyosa tulisi siis valmistaa eri tavalla.

Kustannustehokkain tapa valmistaa levyosa olisi taivuttaa se yhdestä laserleikatusta aihioista, jolloin lukitusmuodollisesta osasta lähtisi 3kpl ylöspäin taivutettuja osia. Kyseiset osat siirtäisivät taakan tuottaman momentin piittaan. Kuitenkin yhdestä levystä taivuttamalla ongelmaksi muodostuu taivutusten tarkkuus. Vaikka nykyaikaisilla menetelmillä päästäisiin lähelle

nimellisiä mittoja, voi heitot olla kuitenkin melko suuria. Suuret heitot lukituslevy valmistuksessa johtaisivat lukituksen toimimattomuuteen tai käyttämiseen tarvittavan voiman kasvamiseen.

Lopulta toimivin tapa oli käyttää olemassa olevissa lukituksissa käytettyä ratkaisua, jossa lukituksen tapit liukuvat piittaen tehtyjen reikien sisällä. Levyn tehdään ahtaat reiät laser leikkurissa jonka jälkeen reikiin asetetaan tapit. Tapit painetaan reiän pohjaan asti prässillä tai lyödään vasaralla, sillä karkaistuja tappeja ei voi luotettavasti hitsata ilman että niiden lujuustekniset ominaisuudet muuttuu. Alla olevassa kuvassa 27 nähdään kyseinen rakenne kiinni asennossa, kun taas kuvassa 28 nähdään samainen rakenne auki-asennossa.



Kuva 27. Lukituslevy liukutapeilla kiinni asennossa



Kuva 28. Lukituslevy liukutapeilla auki-asennossa

Lukitustapit voidaan kokemuksen perusteella alustavasti määrätä olevan 8 mm:n paksuisia karkaistusta teräksestä valmistettuja tappeja. HBC-takeellisten koukkujen lukituksissa on käytetty 7 mm paksuja tappeja 2 kappaletta. Tässä lukitusratkaisussa käytetään kolmea 8 mm:n halkaisijaltaan olevaa tappia joiden tulisi kestää paremmin kuin olemassa oleva kitkarengaslukitus. Lukituksen käyttämisen ergonomiiaa ja turvallisuutta on parannettu tuomalla kolme pitempää kahvaa koukun keskilinjalta ulospäin, joten lukituksen käyttäjän ei tarvitse mennä liian lähelle kuormaa, pyörivää koukkuja tai nostoköysiä.

7.2 Lujuuslaskenta

7.2.1 Lujuuslaskenta lukitukselle

Alustavaa lujuuslaskentaa tarkempi laskenta suoritettiin EN 12001-3-1 standardin mukaisilla menetelmillä käsin laskien. Käsin laskemisen apuna oli myös Excel-ohjelmisto. Laskennan kohteena oli suunnittelussakin käytetty viisiköytinen koukku, joka on tällä hetkellä malliston kovinta kuormaa kantava koukku. Laskenta tehtiin kolmen lukitustapin mukaan, sillä ne ovat alustavan tarkastelun osalta lukituksen heikoimpia osia. Karkaistut tapit ovat DIN 6325 St mukaan valmistettuja karkaistuja tappeja, jotka ovat karkaistu HRC 60 kovuuteen. Tappien myötölujuus on 860MPa.

Analysointi aloitettiin laskemalla sallitun leikkausvoiman raja-arvo. Raja-arvo laskettiin kaavan 3 mukaisesti. Leikkausvoiman maksimi-arvoksi muodostui 17039.2 N. Seuraavaksi laskentaa jatkettiin laskemalla momentin suurin raja-arvo. Raja-arvo laskettiin kaavan 4 mukaisesti ja tulokseksi saatiin 39.4 Nm. Nämä arvot ovat siis maksimikuormia mitä tarkasteltava osuus kestää.

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

(EN 13001-3-1/2012, s.29)

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} * f_{yp}}{\gamma_{Rp}} \quad (4)$$

(EN 13001-3-1/2012, s.28)

Seuraavaksi laskettiin lukituksen yhdistelmäjännityksen raja-arvoa kaavan 5 mukaisesti. Kaavaan sijoitettiin aiemmin kaavojen 6 ja 7 arvot, joiden laskemiseen käytettiin aiemmin laskettuja kaavojen 3 ja 4 tuloksia. Kun kaavan 5 mukainen lasku oli tehty, saatiin tulokseksi 1035 MPa.

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma^2 + 4 * \tau^2} \quad (5)$$

(Valtanen, 2007, s.455)

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (6)$$

(Valtanen, 2009, s.447)

$$\sigma_T = \frac{M}{W} \quad (7)$$

(Valtanen, 2009, s.443)

Kun sallittu yhdistelmäjännityksen arvo oli saatu selville, alkoi kaavojen muokkaus. Kaavat 3 ja 4 muokattiin siten, että niistä saatiin tulokseksi f_{yp} arvo. Kaavoihin sijoitettiin voiman kohdalle voima, joka laskettiin koukun maksimi vääntömomentista, joka on suurin mahdollinen minkä köysitys mahdollistaa. Momentti rajautuu siihen pisteeseen, missä köydet alkavat kiertymään toistensa ympäri. Eli maksimimomentti on pisteessä jossa köysitys vielä vastustaa koukkublokkia kiertävää momenttia. Laskennallinen maksimimomentti viisiköytiselle koukulle oli 0.8 kNm, eli 800 Nm. Kun momentti jaettiin lukitustappien etäisyydellä takeen keskiakselista, saatiin lukitustappeihin vaikuttava voima 26666.7 N. Lukitustapin voimasta saatiin tappia rasittava momentti kertomalla se tapin vapaana olevalla pituudella, eli lukituslevyn etäisyydellä piitan pohjasta. Momentiksi muodostui 240000 Nmm. Seuraavaksi arvot sijoitettiin muokattuihin kaavoihin 3 ja 4. Kaavoista saatiin tulokseksi materiaalin myötölujuus, jonka tuli olla maksimissaan 860 MPa. Laskennassa kuitenkin huomasimme heti, että leikkauksen mukaan kestävyys olisi ollut riittävä, mutta momentin keston mukaan lukitus ei kestäisi.

Paras tapa lisätä lukituksen momentin kestoja olisi kasvattaa tappien halkaisijaa. Kuitenkin tappien tulisi olla halkaisijaltaan 12 mm jotta lukitus

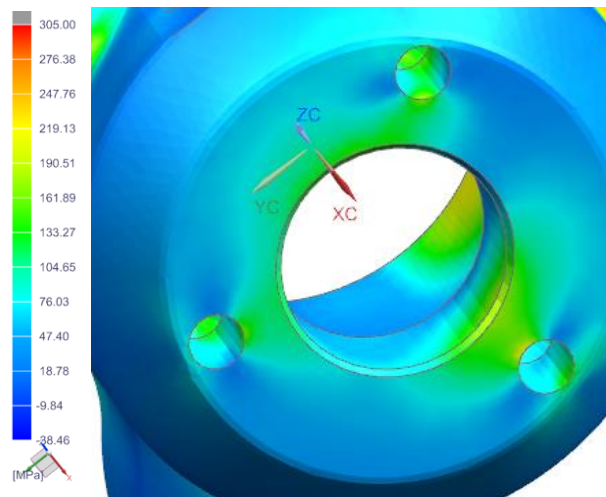
kestäisi. Valitettavasti piitta ei kestäisi näin suuria reikiä, joten täytyi keksiä toisenlainen ratkaisu. Ratkaisuna ongelmaan oli tappien halkaisijoiden kasvattaminen kymmeneen millimetriin ja yhden lukitustapin lisääminen. Näin ollen tappeja olisi siis neljä, entisen kolmen sijaan.

Jatkettuani laskentaa neljällä 10 mm tapilla muokatun kaavan 3 mukaisesti sain tulokseksi, että lukitusten myötölujuus tulisi olla 215 MPa. Tein samat laskennat myös muokatulle kaavalle 4 ja sain selville, että materiaalin myötölujuus tulisi olla taivutuksen mukaan 672 MPa. Materiaalin myötölujuuteen ollessa 860 Mpa, tulee lukitus kestäämään kummankin tyyppiset kuormitukset erillään.

Seuraavaksi oli aika tarkastella yhdistelmäjännityksen arvoja. Yhdistelmäjännitykset laskettiin käyttäen kaavoja 5, 6 ja 7. Voiman kohdalle sijoitettiin todellinen voima, joka jaettiin tappien lukumäärällä. Voimaksi asetettiin siis arvo 6666.7 N. Momentin arvoksi asetettiin lukituksen momentti, jaetuna jälleen lukitustappien lukumäärällä, eli neljällä. Näin ollen momentin arvoksi saatiin 60000 Nmm. Kun kaavojen 6 ja 7 mukaiset jännitykset oli laskettu tappikohtaisesti, sijoitettiin ne kaavaan 5. Kaavasta 5 saatiin yhdistelmäjännityksen tulokseksi 634.3 MPa. Yhdistelmäjännityksen arvoa verrataan materiaalin myötölujuuteen, eli todetaan että materiaalin myötölujuus on suurempi kuin rasisus. Voidaan siis päätellä, että rakenne kestää.

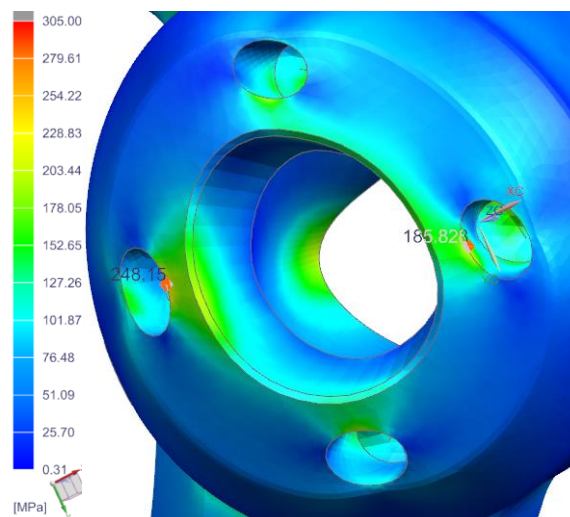
7.2.2 Lujuuslaskenta piitalle

Piitan vahvuuden alustava tarkastelu tehtiin kolmerekikäisen piitan 3D-mallille. Lujuuslaskenta toteutettiin Konecranesin vahvuuslaskijan kanssa yhteistyössä. Pohdimme piittaan porattujen reikien vaikutusta piitan kuormankantokykyyn. Tämä tarkastelu tehtiin Siemens NX -suunnitteluohjelman FEM-analyysityökalua käyttäen. Analyysissä käytettiin samanlaista simulointitilannetta kuin piitan normaalissa analyysissä. Ainoa poikkeus alkuperäiseen analyysiin oli piitan pohjaan lisätyt reiät, joihin lukitus kiinnittyy. Piittaa kuormittaessa huomasimme kuvassa 29 muodostuneen jännityshuipun, joka on nähtävissä kuvan oikeassa alareunassa olevan reiän reunalla keltaisella. Jännityshuippu johtuu reikien sijoittelusta. Vaikka jännityshuippu oli vielä kaukana materiaalin myötörajalta, ja näin ollen hyväksyttävä, päätimme kuitenkin että olisi viisainta siirtää reikien sijaintia piitan "oksien" alapuolelle. Piitan "oksien" alapuolella oleville rei'ille muodostui pienemmät jännitykset, joten oli loogista päätellä että kyseisissä paikoissa olisi vähemmän rasisusta.



Kuva 29. Piitan lujuuslaskenta (Abass, 2019a)

Alustavasta laskennasta saatujen tulosten avulla siirsin lukituksen reiät mahdollisimman lähelle köysipyörien oksia, ja lisäsin neljännen lukitusreiän. Konecranesin lujuuslaskentaosasto teki uudelle mallille FEM-analyysin. FEM-analyysin tulokset yllättivät positiivisesti, sillä vaikka reiät olivat suurempia ja niitä oli useampia, eivät ne vaikuttaneet merkittävästi piitan vahvuuteen. Kuvassa 30 on nähtävissä liioteltu rasituskuvio, jossa pääosa reikien rasituksista on vihreällä. Vihreä väri kuvastaa vasemmalla olevan taulukon mukaisia jännityksiä. Kuvan vaakatasossa olevien reikien reunaan on merkitty punaisella pisteellä mittari, joka kertoo kyseisen kohdan jännityksen arvon. Vasemmanpuoleisen pisteen kohdassa arvo on 248 MPa, kun taas oikeanpuoleisen pisteen kohdassa arvo on 186 MPa. Nämä arvot ovat hyväksyttäviä koska piitan myötölujuus on minimissään 430 MPa.



Kuva 30. Neljäreikäisen piitan FEM-laskenta. (Abass, 2019b)

7.3 Piirustusten valmistus.

Kun vahvuuslaskennat oli saatu tehtyä, alkoi piirustusten teko. Rakenteen yksinkertaisuuden ansiosta piirustuksia ei tarvinnut tehdä kuin kolmesta osasta. Tapeista ei ollut tarvetta tehdä piirustuksia, sillä ne ovat ostettavissa olevia standardin määrittelemiä osia. Takeesta ja piitasta tuli tehdä koneistuskuvat, jossa koneistetaan tavanomaisten koneistusten lisäksi lukituksen vaatimat muodot. Lukituslevystä tuli tehdä täysin uusi piirustus, sillä se oli ainoa täysin uusi osa. Osasta tuli tehdä piirustuksen lisäksi DXF-tiedosto, jonka avulla valmistaja voi leikata laserleikkurilla levystä sopivan kokoisen aihion.

Piirustuksia valmistaessa tuli huomioida se, että kappaleet sopivat toisiinsa ja toimivat halutulla tavalla pintakäsittelyn jälkeenkin. Takeeseen koneistettuja reikiä ei tulla pintakäsittelmään, sillä maalin kertymää reikiin on vaikea hallita. Reiät päätettiin suojata ohuella kerroksella voiteluainetta, joka myös parantaa lukituksen toimivuutta. Lukituksen karkaistut tapit on valmistettu ISO 286-2 standardin mukaan m6-toleranssilla, joka tarkoittaa että akselin toleranssialue on 8mm +0.006/+0.015. Vaikka tappi on tarkasti valmistettu on kuitenkin huomioitava että piittaaan ja lukituslevyyn tehtävät reiät kasvattavat paikoitustoleranssia. Koska pienestä ylimääräisestä vällyksestä lukituksessa ei ole haittaa ja lukituksen halutaan toimivan kevyesti, tulee piitan reiät tehdä tapin nimellishalkaisijaa suuremmalla halkaisijalla. Piittaaan tulevat reiät toleroidaan 8.5mm nimellishalkaisijaan, ja niille annetaan suunnittelijan omaksi toleranssiksi +/-0.1mm.

Seuraavaksi vuorossa on takeen kaulalle tehtävät koneistukset. Takeeseen koneistetaan kuusi tasaista aluetta, jotka ovat 60° välein. Tasaisten alueiden etäisyys takeen keskiakselista on 18 mm. Koneistettujen tasojen yhdistymiskohdat pyöristetään 3 mm säteellä. Muut koneistuksen jälkeiset terävät reunat pyöristetään 0.25 mm säteellä. Pyöristysten tarkoituksena on estää jännityshuippujen muodostumista takeen epäjatkuvuusalueille. Pyöristykset tekevät myös lukituksesta turvallisemman käyttöä, sillä terävät reunat ovat turvallisuusriski. Takeen koneistetut osat maalataan jauhemaalilla, joka lisää materiaalia laskennallisesti noin 0.15 mm kaikille pinoille. Tämä tarkoittaa, että maali kalvon paksuus tulee huomioida lukituslevyn tolerointia suunnitellessa. Takeen koneistettujen tasojen etäisyys tulisi toleranssiketjun takia mitoittaa siten, että 18 mm etäisyys keskiakselilta olisi maksimietäisyys. Eli tolerointi voitaisiin tehdä joko käyttäen 18mm:n nimellismittana 18mm +0/-0.2 tai nimellismitta voidaan muokata toleranssialueen keskelle, jolloin mitta olisi 17.9 +/-0.1. Molemmilla tavoilla päästään samaan lopputulokseen.

Lukituslevy toleroidessa tuli ottaa huomioon reikien sijainti levyn lukitusmuotoihin nähden. Tämä mitta on tärkeä lukituksen toiminnan kannalta, joten se oli tärkeää toleroida. Kuitenkin piittaaan tehtyjen reikien halkaisijan väljä tolerointi antaa mahdollisuuden noin 0.2 mm poikkeamalle nimellismittasta. Päädyin toleroimaan reikien sijainnin +/- 0.1 toleranssilla, sillä

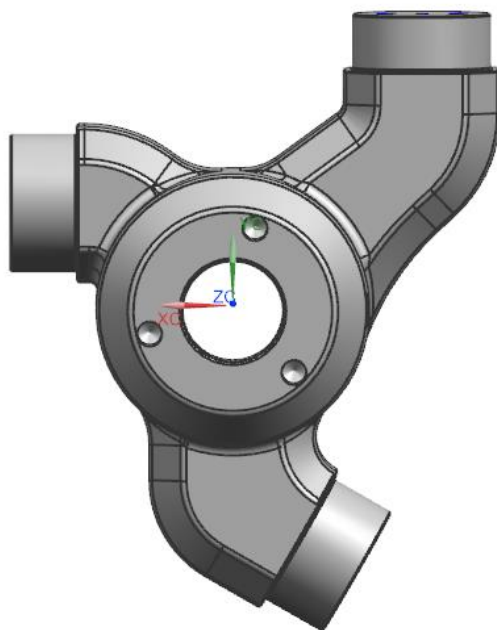
reikien toleroinnin keskipisteenä tulisi olla nimellismitta. Lukituslevy maalataan kokonaisuudessaan jauhemaalilla pois lukien tappien reiät, joihin maalia ei saa mennä. Lukitusmuotojen tulisi olla noin 0.3 mm suurempia jokaiseen suuntaan, kuin takeen vastaavat muodot. 0.3 mm:n toleroinnilla saavutetaan hieman ahdas liukumissovite. Kuitenkin, koska lukitusta tulisi olla helppo käyttää, tulisi toleranssin arvo nostaa 0.4 millimetriin.

8 LOPULLISEN RAKENTEEEN ARVIOINTI

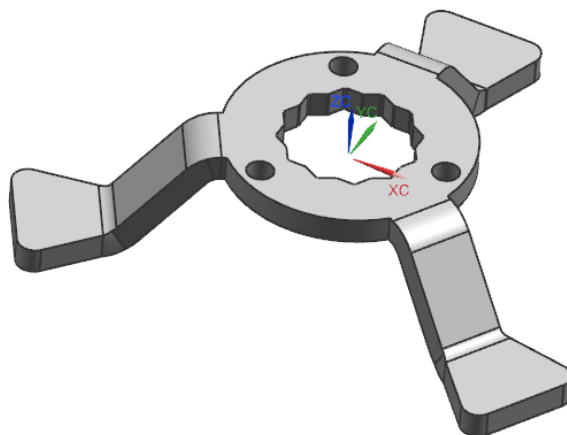
8.1 Käyttöliittymän arviointi

Lukituksen käyttöliittymä on viimeisessä versiossa omaa luokkaansa. Lukitusta voidaan käyttää jokaiselta puolelta koukkua, ilman että käsi menee liian lähelle mahdollisesti pyörivää koukkua. Lukitus on helppo lukita yläasentoonsa, sillä lukitus pysyy automaattisesti yläasennossa magneeteilla avustuksella. Lukitus voidaan kytkeä päälle, tai pois päältä kaikissa kuormitustilanteissa kun tae on oikeassa kulmassa.

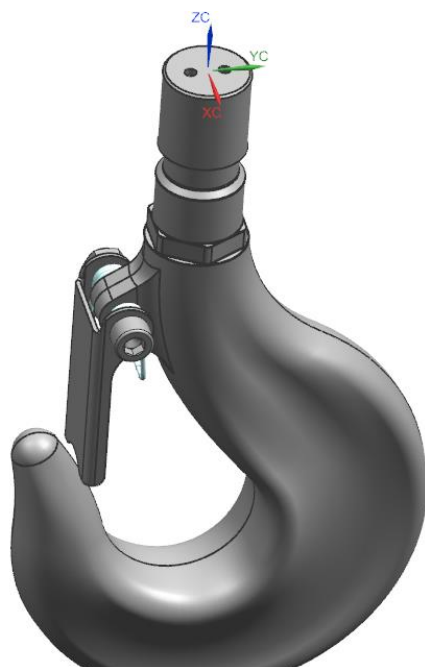
Koukun huollettavuus on helppoa, sillä sitä ei tarvitse rasvata ollenkaan. Huollossa tarkastetaan silmämääräisesti lukituksen tappien suoruus, piitan reikien kuluneisuus sekä lukituslevyn kuluma. Lukituslevy on kuluva osa, joten sen kulumaa tulee tarkkailla samoin kuin muiden osien kulumaa. Osat ovat helposti tarkasteltavissa purkamatta koukkua, joka helpottaa huoltotoimia.



Kuva 31. Piittaan tehdyt reiät



Kuva 32. Lukituslevyn viimeisin rakenne ennen lujuuslaskentaa



Kuva 33. Takeeseen tehdyt koneistukset

8.2 Valmistusystävällisyyden arviointi

Valmistusystävällisyyden näkökulmasta koukun levyosa on helppo valmistaa. Myös kokoonpano on helppoa, sillä osien määrä on minimaalinen. Valmistusta helpottaa se, ettei tappeja ole hitsattu kiinni lukituslevyyn, vaan ne pysyvät paikoillaan ahdistussovitteella. Takeen kaulalle tehtävä koneistus lisää lukituksen valmistamisen työmäärää, mutta on kuitenkin huomattavasti helpommin valmistettavissa kuin esimerkiksi hammastus. Piittaan porattavat kolme reikää voidaan valmistaa samalla kiinnityksellä, kun piittan pohjaan koneistetaan reikää. Tämä tarkoittaa, että reikien

poraamisesta ei koidu ylimääräisiä asetuskustannuksia. Kaiken kaikkiaan lukituksen valmistaminen ja kokoonpano on helppoa, vaikka olemassa olevia osia joudutaan koneistamaan verrattain paljon.

8.3 Kustannustekninen arviointi

Kustannusteknisesti ajateltuna lukitus on halpa valmistaa. Kolme tappia ja kaksi magneettia ovat halpoja osto-osia. Lukituslevy ja käyttökahvat valmistetaan yhdestä laserleikkeestä taivuttamalla, joka vähentää nimikkeiden lukumäärää ja näin ollen kustannuksia. Suurin osa lukituksen kustannuksista koostuu takeen ja piitan koneistuksista, sekä kokoonpanotyöstä. Kokoonpanotyön määrä on kuitenkin optimoitu minimoimalla osien lukumäärän. Kokoonpanossa ei tarvitse kuin kiinnittää magneetit valmiiksi maalattuun lukituslevyyn, johon on asennettu tapit. Tämän jälkeen voidaan lukituslevy asentaa paikoilleen ja jatkaa koukkublokin kasausta.

8.4 Skaalattavuus

Yksi tärkeimmistä lähtökohdista suunnittelulle oli, että lukituksen tulisi olla skaalattavissa myös muun kokoisille koukuille, ja muille köysityksille. Lukituksen kiinnittyessä piitan pohjaan tehtäviin reikiin, on koukun sovittaminen muun kokoisiin ja köysityksellisiin piittoihin helppoa. Lukituksen liukutappien kokoa, ja sijaintia voidaan muuttaa tarpeen vaatiessa lähemmäksi tai kauemmaksi keskilinjasta. Näin ollen piitan puoleisen lukituksen kestossa ei tulisi mitään ongelmia skaalattaessa koukkua isompiin tai pienempiin kuormankantoratkaisuihin.

Lukituslevyä voidaan puolestaan muokata sopimaan suuremmalle tai pienemmälle takeen kaulalle. Takeen kauloilla on myös mahdollista tehdä korkeammat lukitusmuodot, joka mahdollistaa paksumman lukituslevyn ja näin ollen kestävämmän lukitusratkaisun.

8.5 Jatkosuunnitelmat

Opinnäytetyön valmistumisen jälkeen on tarkoituksena viedä piirustukset Teamcenter-, Sap- sekä Aton-järjestelmiin. Kun piirustukset ovat valmiita ja ne löytyvät järjestelmästä, alkaa design freeze -aika. Ajalla tarkoitetaan tiettyä aikaväliä, kun kyseisen lukituksen designiin ei tehdä muutoksia. Kun design freeze on aktiivisena, alkaa osto-osasto ostamaan osia alihankkijoilta testausta varten. Samanaikaisesti lukituksen 3D-malli lähetetään lujuuslaskentaosastolle, joka tekee lukitukselle FEM-analyysin. Lujuuslaskenta-osaston varmistettua designin toimivuus, alkaa lukituksen testaus käytännössä. Lukitusta testataan Konecranesin toimesta useissa eri kuormitustilanteissa. Lukitus kuormitetaan lopulta rikkoontumispisteeseensä, ja lukituksen rikkoontumistapahtuman turvallisuutta analysoidaan.

Testien jälkeen tarkistetaan design vielä kertaalleen ja tehdään tarvittavat muutokset piirustuksiin.

Kun lopullinen design on valmis, aloitetaan osien sarjatuotantoon ajaminen. Aluksi osia tilataan noin viiteenkymmeneen kokoonpanoon. Osien ollessa tilauksessa, tehdään lukitusosille kokoonpano-ohjeet. Kokoonpano ohjeiden avustuksella tuotannon koukunkasaussolussa voidaan alkaa kasaamaan koukkuja.

LÄHTEET

- Abass, A. (2019a). 1x5 HookBlock-Crossbar lockable hook feature FEM calculation. Sähköpostiviesti tekijälle 3.9.2019.
- Abass, A. (2019b). 1x5 HookBlock-Crossbar lockable hook feature FEM calculation. Sähköpostiviesti tekijälle 30.8.2019.
- EN 13001-3-1 (2012). Limit States and proof. Haettu 8.8.2019 Konecranesin verkkolevyltä.
- Koivisto, M. Puhakka, T. (2019). Design for Six Sigma. Luentomateriaali 6-9.5.2019.
- Konecranes. (2019). Business areas. Haettu 17.7.2019 osoitteesta <https://www.konecranes.com/investors/konecranes-as-investment/business-areas>
- Konecranes. (n.d.a). CXT nostimen rakenne. Haettu 19.7.2019 osoitteesta <https://www.konecranes.com/resources/cxt-crane-technical>
- Konecranes. (n.d.b). Koukkublokin rakenne. Haettu 17.7.2019 osoitteesta <https://store.konecranes.com/en/cpc/53247568-hook-block-17241508>
- Konecranes. (2018). Tilaukset asiakassegmenteittäin. Haettu 18.7.2019 osoitteesta <https://www.konecranes.com/sites/default/files/2019-03/Konecranes-Vuosikatsaus-2018.pdf>
- Konecranes. (2019). Tietoa. Haettu 17.7.2019 osoitteesta <https://www.konecranes.com/fi/tietoa>
- Konecranes. (n.d). Yksipalkkinen nostin. Haettu 18.7.2019 osoitteesta <https://www.konecranes.com/equipment/overhead-cranes/cxt-wire-rope-hoist-cranes/cxt-uno-wire-rope-hoist-crane>
- Konecranes. (2018). Vuosiraportti. Haettu 18.7.2019 osoitteesta <https://www.konecranes.com/sites/default/files/2019-03/Konecranes-Vuosikatsaus-2018.pdf>
- Valtonen, E. (2007). *Tekniikan Taulukkokirja*. 14. Painos. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy
- Valtonen, E. (2009). *Tekniikan taulukkokirja*. 17. Painos. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy

