

Työpistenostureiden suunnittelu

Ka-mu oy

Janne Humppi

Opinnäytetyö

Toukokuu 2020

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä(t) Humppi, Janne	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu2020
	Sivumäärä 68	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Työpistenostureiden suunnittelu Opinnäytetyö		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Luosma Petri, Nieminen Tomi		
Toimeksiantaja(t) Ka-mu oy, Ilkka Salo		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin Ka-mu oy:n toimeksiannosta. Yritykseen oli valmistumassa opinnäytetyön tekemisen aikana koneistus- ja kokoonpanotilojen laajennus. Uudet tilat ja työpisteet tarvitsivat työpistenosturit, jotka oli päätetty suunnitella ja valmistaa yrityksessä itse. Toimeksiantona oli työpistenostureiden mekaaninen suunnittelu ja selvitys nostureiden valmistamiseen liittyvästä lainsäädännöstä.</p> <p>Tavoitteena oli suunnitella tiloihin sopivat ja toimivat nosturit, jotka ovat hyvin käytettävät ja täyttävät konedirektiivin vaatimukset. Tehtävä jaettiin pienempiin kehittämistehtäviin, joiden avulla tavoite saavutettiin. Kehittämistehtäviä olivat: sopivien nosturityyppien valinta, markkinoilla olevien nostureiden- ja niiden rakenneratkaisujen vertailu, lainsäädännön ja standardien selvitys, nostureiden mekaaninen suunnittelu ja tarvittavien dokumenttien tuottaminen.</p> <p>Suunnittelutyö tehtiin systemaattisen suunnittelun menetelmää mukailien. Menetelmässä työ eteni vaiheittain ja jokaiselle vaiheelle asetettiin tavoite, jonka seurauksena syntyi työn tuotos. Vaiheiden välillä seurasi tehdyn työn arviointi ja päätöksenteko, jossa arvioitiin, oliko tuote valmis siirtymään seuraavaan vaiheeseen.</p> <p>Työn tuloksena syntyivät perustellut suunnitelmat nosturin valmistusta varten. Perustelujen pohjana käytettiin lainsäädännön ja konekohtaisten standardien selvitystä, lujuuslaskentaa, 3D-simulointia ja vertailua markkinoilla oleviin tuotteisiin. Suunnitelmat sisältävät rakenteen 3D-mallin, kokoonpanopiirustukset ja riskien arvioinnin dokumentit, sekä selvityksen CE-merkinnän vaatimista toimenpiteistä. Työ rajattiin viimeistelyvaiheeseen, jossa työn jatkotoimenpiteistä päätetään yrityksessä.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Koneturvallisuus, systemaattinen suunnittelu, tuotekehitys, työpistenosturi		
<p>Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)</p> <p>Liitteet 3 ja 4 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 17: yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta. Salassapito päättyy 28.5.2025.</p>		

Author(s) Humppi, Janne	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 68	Permission for web publication: x
	Title of publication Design of workstation lifting systems	
Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Luosma Petri, Nieminen Tomi		
Assigned by Ka-mu oy, Ilkka Salo		
Abstract <p>The thesis was assigned by Ka-mu Oy. During the thesis process, the company was expanding its machining assembly premises. The new premises required cranes which the company had decided design and manufacture itself. The assignment included the mechanical designing of the workstation cranes and a clarification regarding the legislation on crane manufacturing.</p> <p>The aim was to design functional cranes, that are suitable for the premises, accessible, and meet the machinery directive requirements. The assignment was divided into smaller design tasks, which helped to achieve the goal. The design tasks consisted of selecting the suitable crane types, comparing existing cranes and their structures, studying the legislation and standards, creating the mechanical design of the cranes and preparing the required documents.</p> <p>The design task followed the method of systematic design. Using the method, the task proceeded step by step. Each step was given an objective, which resulted in the output of the work. Between each step, the work was evaluated, and a decision on whether the product was ready to move on the next step was made.</p> <p>As a result, reasoned plans for crane manufacturing were formed. The reasoning was based on studying the legislation and machine-specific standards, strength calculation, a 3D simulation, and a comparison of the products on the market. The plans include a 3D model of the structure, the risk assessment documents, and a clarification of the measures required for CE marking. The work ended at the finishing phase, and further measures regarding the work will be decided by the company.</p>		
Keywords/tags (subjects) Machine safety, systematic engineering, product development, workstation lifting systems		
Miscellaneous (Confidential information) Appendixes 3 and 4 are confidential and they have been removed from the public thesis. Grounds for secrecy: Act on the Openness of Government Activities 621/1999, Section 24, 17: business or professional secret. Period of secrecy is five years and it ends 28.5.2025		

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Kehittämistutkimus	5
2.1	Aiheen rajaus ja tavoite.....	6
2.2	Kehittämistehtävät.....	6
2.3	Toimeksiantaja	6
3	Lainsäädäntö	7
3.1	Lainsäädäntö yleisesti	7
3.2	Konelaki	9
3.3	Koneasetus (Konedirektiivi).....	9
3.3.1	Koneen määritelmä	10
3.4	Koneturvallisuuden standardit.....	11
3.5	Riskien arviointi ja hallinta	12
3.5.1	Riskien arvioinnin dokumentointi	17
3.6	Tekninen dokumentti	18
3.6.1	CE-merkintä ja EY-vaatimustenmukaisuustodistus.....	19
4	Systemaattinen suunnittelu	19
5	Suunnittelutyö.....	22
5.1	Tehtävän selvitys	22
5.2	Luonnostelu.....	24
5.2.1	Katsaus markkinoilla oleviin ratkaisuihin	24
5.2.2	3D-mallinnuksen aloitus ja konstruktion valinta.....	27
5.3	Kehittely.....	29
5.3.1	Staattinen tarkastelu.....	30
5.3.2	Laakerikuormien laskenta ja laakerin valinta	31
5.3.3	Ruuviliitoksen laskenta	34
5.3.4	Käyttöakselin säädön suunnittelu	44
5.3.5	Rakenteen FEA - laskenta	45
5.3.6	Riskien arviointi	50
5.4	Viimeistely	51

	2
5.4.1 Dokumentointi ja merkinnät	51
6 Työn tulosten esittely	53
7 Pohdinta ja luotettavuuden arviointi	55
Lähteet	58
Liitteet	61
Liite 1. Vaatimuslista	61
Liite 2. Ote SKF:n laakerinvalinta laskurin tuloksista	62
Liite 3. (salattu)	63
Liite 4. (salattu)	64
Liite 5. Painotettu pistearviointi_Luonnostelu	65

Kuviot

Kuvio 1. Riskin arviointi ja hallinta kolmen askeleen menetelmällä. (SFS-EN ISO 12100:2010, 30.)	14
Kuvio 2 Tuotekehitysprosessin rakenne. (Perustuen: Pahl & Beitz, 47-50.)	20
Kuvio 3 Laajennusosan layout	23
Kuvio 4 Kito Erikkilä seinäkääntöpuominosturi (https://www.erikkila.com/fi) ...	25
Kuvio 5 Tuotetekno ylätuettu seinäkääntönosturi (http://tuotetekno.fi)	25
Kuvio 6 Konecranes säätömekanismi havainnekuva (https://www.erlatek.fi)....	26
Kuvio 7 Ote Erikkilä kääntönosturit asennus - ja huolto-ohjeista (https://www.erlatek.fi)	26
Kuvio 8 Ote Tuotekno oy:n nosturiesitteestä (http://tuotetekno.fi)	27
Kuvio 9 Nosturin nimikkeet	28
Kuvio 10 Jatkokehittelyyn valittu rakenne	29
Kuvio 11 Tukirakenne kuormat.....	31
Kuvio 12 Laakerikuormat	32
Kuvio 13 Valittu laakeri, 22208 E (SKF 2020.)	33
Kuvio 14 Ruuviliitoksen kuormat	36
Kuvio 15 Ruuviliitokset kitkahäviöt (https://laippaliitos.blogspot.com/)	42

	3
Kuvio 16 Kitkaliitoksen varmistus sivutuilla.....	43
Kuvio 17 Käyttöakselin säätö.....	44
Kuvio 18 Nosturipuomin Von mises	46
Kuvio 19, Nosturipuomin taipuma.....	46
Kuvio 20 Sarana osan FEM-analyysi	47
Kuvio 21 Kiinnityslevyyn kohdistuvat voimat suurimmillaan	49
Kuvio 22 Kiinnityslevyyn kohdistuvat voimat minimissään.....	49
Kuvio 23 Kiinnityslevyn taipuma minimissään	50
Kuvio 24 Tyyppikilpi	52
Kuvio 25 Yleiskuva valmiista nosturista.....	54
Kuvio 26 Räjätyskuva nosturista	54

Taulukot

Taulukko 1 Suomessa koneisiin liittyvät säädökset koskevat toisaalta koneiden valmistajia sekä toisaalta käyttäjiä (työnantajia). (Perustuen: Siirilä 2019, 29).....	8
Taulukko 2 Koneturvallisuuden standardien hierarkia (Perustuen: Siirilä 2016, 91.).....	12
Taulukko 3. Riskiluokituksen määrittely todennäköisyyden ja vakavuuden suhteen (Siirilä 2016, 225.)	16
Taulukko 4. Toimenpiteet suunnitteluvaiheessa (Perustuen: Siirilä 2016, 225, 228).....	16

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on *Työpistenostureiden suunnittelu*. Opinnäytetyö toteutettiin Karstulassa sijaitsevan konepajan Ka-mu oy:n toimeksiannosta.

Toimeksiantaja yritykseen on valmistumassa tuotantotilojen laajennus opinnäytetyöni tekemisen aikana. Uusiin tiloihin on määrä sijoittaa työstökoneita ja pienimuotoiset kokoonpanotilat, uudet työpisteet tarvitsevat nosturit työntekijöiden käyttöön.

Ensimmäisissä toimeksiantajan kanssa käydyissä keskusteluissa oli ajatuksena, että toimeksiantona olisi vain suunnitella uusiin tiloihin sopivat nosturit. Tehtävä kuitenkin laajentui ajatellusta, kun päätimme ottaa osaksi toimeksiantoa nostureiden CE-hyväksynnän huomioimisen suunnittelutyössä. Tehtävä vaikutti kuitenkin yhä mielenkiintoiselta, ja arvelimme työn soveltuvan hyvin opinnäytetyöksi. Työn päätavoitteet olivat edelleen mekaanisen suunnittelun saralla.

Opinnäytetyön tekijä on työskennellyt toimeksiantajalla cnc-koneistajana ennen insinööriopintojaan, joten omaa kokemusta nostureiden käyttämisestä ja yrityksen valmistustekniikoista sekä työympäristöstä on entuudestaan. Työn aihealue koettiin sopivan haastavaksi ja monipuoliseksi. Työ sisältää koneenrakennukseen liittyvän lainsäädännön ja standardien selvitystä, systemaattisesti etenevää suunnittelua, lujuuslaskentaa, yksityiskohtien ideointia sekä simuloimista ja pohdintaa menetelmien toteutuksesta.

2 Kehittämistutkimus

Opinnäytetyössä sovellettiin kehittämistutkimuksen menetelmää, jonka todettiin soveltuvan valittuun aihealueeseen. Työssä pyrittiin parantamaan tuotetta, jossa kehittämistyö perustuu teoriapohjaan ja tutkimustuloksiin. Kehittämistutkimuksessa yhdistyvät kaksi prosessia: kehittämistyö ja tutkimustyö, jotka etenevät rinnan tai sykleittäin prosessin aikana. Kehittämistyön kohteena voi olla esimerkiksi prosessi, tuote tai toiminta ja sen toteutustapa noudattaa ilmiölle tyypillistä prosessia. Kehittämistutkimus ei ole oma erillinen tutkimusmenetelmä, vaan joukko erilaisia menetelmiä, joita sovelletaan kehittämiskohteen mukaan. Tutkimusotteessa yhdistyvät kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset menetelmät. Tutkimustyö noudattaa kohteelle soveltuvaa tutkimusprosessia ja tutkimusmenetelmiä, tutkimus sijoittuu pääasiassa kehittämistutkimuksen alkuun ja loppuun, ja sen tuotoksena syntyy tässä tapauksessa opinnäytetyö. (Kananen 2012, 19-21, 45)

Työelämässä organisaatiot tekevät jatkuvaa kehittämistyötä parantaakseen omia palveluitaan, tuotteitaan, toimintoja ja prosesseja. Kehittämistyön syventäminen tutkimukselliseen muotoon, jossa tehty työ dokumentoidaan ja käytetään tieteellisiä menetelmiä, on tarkoitus tuottaa uutta ja luotettavaa tietoa. (Mts. 20-21.)

Kehittämistutkimus pyrkii parantamaan kohteena ollutta ilmiötä. Tutkimustuloksen on tarkoitus saada muutos entiseen, sen ei ole tarkoitus yleistää, koska tulos edellyttää muutosprosessia ja tulokset koskettavat yksittäistapauksia. Kehittämisestä syntyneet tulokset voivat olla esimerkiksi prosessin ja toiminnan osalta seuraavanlaisia: *On onnistuttu parantamaan työpaikan työviihtyvyyttä, On parannettu tuotteen/prosessin läpimenoaikaa* ja vastaavasti tarkasteltaessa tuotetta: *On kehitetty uusi tuotekonsepti*, tai kuten tämän työn tavoitteiden mukaisesti, *on onnistuttu suunnittelemaan käytettävyydeltään erinomaiset nosturit, jotka parantavat työn mielekkyyttä ja työturvallisuutta*. (Mts. 43.)

2.1 Aiheen rajaus ja tavoite

Kehittämistyön tavoitteena oli suunnitella toimeksiantajan koneistustiloihin sopivat työpistenosturit. Työn konkreettiset odotukset olivat uusiin tiloihin sopivien nosturimallien valinnassa, nostureiden mekaanisessa suunnittelussa ja nostureiden 3D-malleissa. Työpiirustukset rajattiin tästä työstä pois, koska suunnitelmaa tullaan vielä arvioimaan 3D-mallien perusteella.

Osatavoitteeksi määriteltiin lisäksi lainsäädännön ja standardien selvitys nostureiden valmistukseen liittyen, sekä nostureiden suunnittelu CE-hyväksynnän edellyttämällä tavalla. Työhön kuului osa CE-hyväksynnän vaatimien dokumenttien tuottamisesta, siltä osin kuin suunnitteluprosessi työn rajattuun pisteeseen sitä vaati. Osa dokumenteista, kuten tekninen dokumentti, lopullinen riskien arviointi ja käyttöohjeet on tehtävissä prototyypin valmistuksen yhteydessä.

2.2 Kehittämistehtävät

Kehittämistehtävien avulla pyrittiin saavuttamaan ratkaisuja, joiden avulla päätavoite saavutaan. Päätavoitteen ollessa pienemmissä osissa voidaan projektissa edetä järjestelmällisemmin kohti työn valmistumista. Kehittämistehtävät olivat:

1. Tuotantotiloihin sopivien nosturityyppien valinta
2. Käytössä- ja markkinoilla olevien nosturityyppien vertailu
3. Lainsäädännön ja standardien selvitys
4. Nosturien mekaaninen suunnittelu
5. Tarvittavien dokumenttien tuottaminen

2.3 Toimeksiantaja

Ka-mu oy vuonna 1982 perustettu alihankinta konepaja, joka on keskittynyt tarkkuutta vaativaan pieneen- ja keskiraskaaseen koneistamiseen. Ka-mu oy sijaitsee

Keski-Suomessa, Karstulan kunnassa ja työllistää liki 30 metallialan työntekijää. Yrityksen merkittävimpiä asiakkaita ovat mm. Valmet, Maillefer, TMR, ja Rosendahl Nextröm. Lisäksi yrityksellä on verkkokauppa, Blinfactory.fi, heidän itse suunnitelmille ja valmistamilleen, auton- ja moottorikelkan billet-osille.

Yrityksen toiminta koostuu pääasiassa koneistuspalveluista, lisäksi suunnittelu-, kokoonpano- ja hitsauspalvelut ovat osa toimintaa. Opinnäytetyöni tekemisen aikana yritykseen valmistuu n. 350 m² koneistustilojen laajennus, uusiin tiloihin sijoitetaan koneistuskeskuksia sekä kokoonpanotilat.

3 Lainsäädäntö

3.1 Lainsäädäntö yleisesti

Euroopan unionin alueella koneen suunnitteluun ja valmistukseen liittyen on olemassa lainsäädäntöä ja standardeja. Säästösten tarkoituksena on muun muassa taata koneiden turvallisuus ja vaatimustenmukaisuus Euroopan talousalueella. Säädökset ovat sidoksissa EU-direktiiveihin, jotka ovat otettu käyttöön jäsenvaltioiden omissa laissa. Suomessa direktiivit saatetaan voimaan useimmiten valtioneuvoston asetuksina. (Koneturvallisuuden standardien suhde lainsäädäntöön, n.d.)

Säännösten kirjo on melko laaja ja kutakin konetta koskevan standardin tulkitseminen vaatii suunnittelijalta perehtyneisyyttä asiaan. Lainsäädäntö ja standardit on hyvä ottaa huomioon ohjaavina vaatimuksina ja periaatteina, jo suunnittelun alkuvaiheilla riskienhallinnan ja vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi. (Mts.)

Koneisiin liittyvät direktiivit ovat pääasiassa joko valmistajia koskevia tuotedirektiivejä, johon luetaan myös luvussa myöhemmin mainittu, konedirektiivi 2006/42/EY tai työnantaja ja käyttöä koskevia työolosuhdedirektiivejä. Laki velvoittaa tuotteen olevan direktiivien vaatimusten mukainen, jotta se voidaan valmistaa, saattaa markkinoille ja ottaa käyttöön sekä halutessa myydä tai siirtää toiseen jäsen maahan. (Siirilä 2019, 29-31.)

Tässä työssä keskitytään pääasiassa koneen valmistusta ja suunnittelua koskeviin säädöksiin. Lainsäädännön yhteyttä direktiiveihin ja standardeihin on kuvailtu yleisesti alla olevassa taulukossa. (Taulukko 1.)

Taulukko 1 Suomessa koneisiin liittyvät säädökset koskevat toisaalta koneiden valmistajia sekä toisaalta käyttäjiä (työnantajia). (Perustuen: Siirilä 2019, 29)

<p>Tuotedirektiivit -Koskevat valmistajia (ja välillisesti työnantajia)</p> <p>Suomessa - Konelaki (1016/2004) - Koneasetus (400/2008)</p>	<p>Olosuhdedirektiivit -koskevat työnantajia</p> <p>Suomessa -Työturvallisuuslaki (738/2002) -Käyttöasetus (403/2008)</p>
<p>Yhdenmukaistetut EN-standardit</p>	

3.2 Konelaki

Suomessa on käytössä *Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta*, ns. Konelaki (1016/2004). Laki koskettaa koneiden myyjiä, valmistajia sekä muita henkilöitä, joka saattaa koneen käyttöön tai markkinoille. (L 2004/2016, 1-2 §.)

Koneisiin ja työturvallisuuteen liittyvät lait puuttuvat koneiden vaatimuksiin yleisellä tasolla, ja esittävät yleisiä periaatteita ja tavoitteina. Lain perusteella on määritelty asetuksia, jotka täsmentävät vaatimuksia yksityiskohtaisesti. Konelain kohdalla tämä tarkoittaa Valtioneuvoston tekemää asetusta koneiden turvallisuudesta (koneasetus 400/2008), käytännössä tämä asetusta tarkoittaa konedirektiivin (2006/42/EY) täytäntöönpanemista. (Siirilä 2016, 31.).

3.3 Koneasetus (Konedirektiivi)

Konedirektiivi (2006/42/EY) on säädetty Euroopan parlamentissa sitä koskevien koneiden ja laitteiden suunnitteluun ja valmistukseen toimivana ohjeistuksena ja suuntaviivana koneturvallisuuden varmistamiseksi. Direktiivin tarkoituksena on yhdenmukaistaa koneiden turvallisuusvaatimukset ja taata EU:n sisämarkkinoiden toimivuus. Direktiiviä sovelletaan jokaiseen uuteen koneeseen, tätä sovelletaan myös omaan käyttöön valmistettujen koneiden osalta. Konedirektiivin ehtojen täytyminen on valmistajan tai markkinoille saattajan vastuulla. CE-merkintä ja koneelle laadittu EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus, osoittavat koneen olevan vaatimusten mukainen. (2006/42/EY)

Suomessa nykyinen konedirektiivi (2006/42/EY) saatettiin voimaan valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta (400/2008), ns. koneasetus. Käytännössä koneasetus ja konedirektiivi yhteneväiset, ja ovat olleet noudatettavissa 29.12.2009 al-

kaen. Konedirektiivi ja koneasetus sisältävät yleiset koneiden suunnittelussa käytettävät terveys- ja turvallisuusvaatimukset, tarkemmat tekniset vaatimukset on kuvattu koneturvallisuuden standardeissa. (Siirilä 2016, 34.)

Koneasetuksen soveltamisalaan kuuluvat asetuksessa määritellyt seuraavat tekniset laitteet varsinaisten koneiden lisäksi: (400/2008.) muokattu.

- **koneisiin**
- vaihdettaviin laitteisiin
- turvakomponentteihin
- nostoapuvälineisiin
- nostoketjuihin, -köysiin ja -vöihin
- nivelakseleihin
- osittain valmiisiin koneisiin

3.3.1 Koneen määritelmä

Koneasetuksen mukaan koneella tarkoitetaan tiivistetysti ilmaistuna; toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmää, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä. Koneessa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva. Kone on kokoonpantu erityistä toimintoa varten. Tarkemmat määritelmät löytyvät koneasetuksesta. (ks. A 400/2008, 4 §)

3.4 Koneturvallisuuden standardit

Koneturvallisuuden standardit ovat konedirektiiviä tarkentavia säännöksiä, Euroopassa yhteneväiset EN-standardit ovat sisällöltään vastaavanlaisia jokaisessa eurooppalaisten standardoimisjärjestöjen jäsenmaissa. Suomessa yhteneväisten standardien tunnus on SFS-EN. (Siirilä 2016, 87-88.)

Standardit esittävät koneasetuksen vaatimuksia koskevia tarkempia vaatimuksia ja menettelytapoja, standardeja tarkistetaan ja tarvittaessa uusitaan viiden vuoden välein vastaamaan tekniikan nykytasoa. Standardien voidaan ajatella toimivan suunnittelun apuna, että näitä noudattamalla varmistutaan koneasetuksen vaatimuksista. Standardien käyttö on vapaaehtoista, jos voidaan osoittaa muilla tavoilla koneen täyttävän konedirektiivin (Suomessa koneasetuksen) vaatimukset. Useimmiten on kuitenkin helpompi toimia standardien mukaan, jolloin varmistutaan edellä mainituista seikoista. Yleensä koneen täyttäessä sitä koskevat yhdenmukaistetut standardit, täyttyvät myös koneasetuksen vaatimukset. (Mts. 87-88.)

Koneturvallisuuden standardit on jaoteltu hierarkkisesti kolmeen eri tyyppiin: A-, B- ja C-tyyppin standardeihin (Taulukko2). A-tyyppin standardeja on vain yksi, SFS-EN ISO 12 100, joka sisältää turvallisuuden ja riskien arvioinnin ja hallinnan perusteet. (Siirilä 2016, 91.)

Taulukko 2 Koneturvallisuuden standardien hierarkia (Perustuen: Siirilä 2016, 91.)



Konetta suunniteltaessa olisi hyvä ensimmäisenä selvittää onko konetta koskevaa C-tyyppin standardia olemassa, koska C-tyyppin standardi on kohdistettu tiettyyn koneeseen tai koneryhmään ja yleensä ohjaa tarvittaviin A- ja B-tyyppin standardeissa oleviin vaatimuksiin. (Standardien hierarkia. n.d.)

A- ja B-tyyppin standardit käsittelevät säännöksiä laaja-alaisemmin ja sallivat mahdollisesti eri toteutusvaihtoehtoja koneen suunnittelussa ja rakenteessa. C-tyyppin standardien tarkoituksena on esittää konedirektiivin turvallisuusvaatimukset mahdollisimman tarkasti tuotekohtaisesti sekä ohjata käyttämään A- ja B-tyyppin standardeja tarkoitettulla tavalla. C-tyyppin standardi on näistä aina ensisijaisesti käytettävä. (Mts.)

3.5 Riskien arviointi ja hallinta

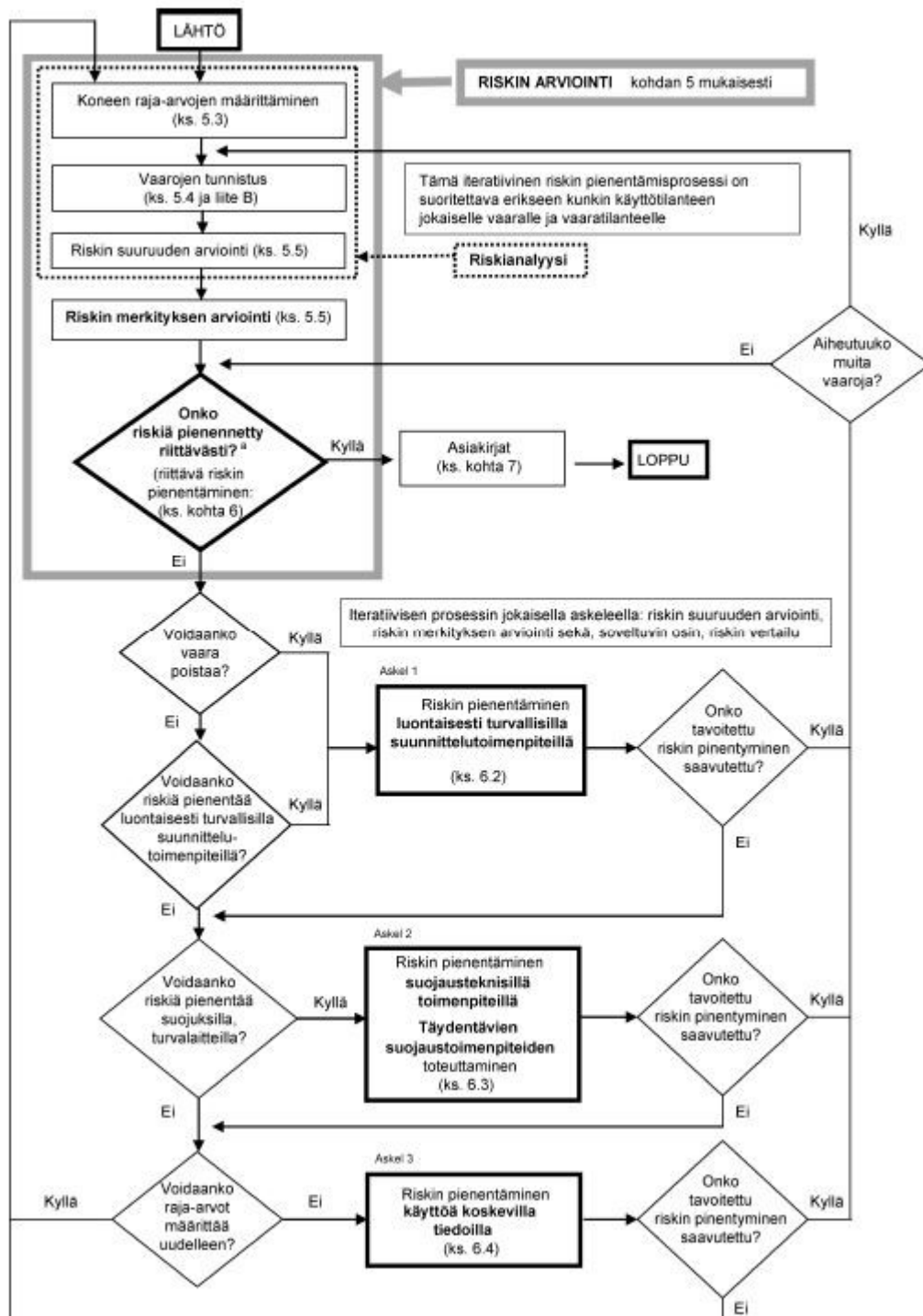
Riskien arviointi on olennainen osa koneturvallisuuteen liittyvää lainsäätöä. Riskien arvioinnin velvoite mainitaan niin työnantaja koskevassa työturvallisuuslaissa ja

käyttöasetuksessa kuin koneiden suunnittelijoita ja valmistajia koskevassa koneasetuksessaakin. Jos koneelle ei ole tehty asianmukaista riskien arviointia, ei kone ole sitä koskevien säädösten mukainen ja ei ole täten laillisesti markkinoilla tai käytössä. (Siirilä 2016, 161.)

Riskien arvioinnilla pyritään tunnistamaan koneen käyttöön liittyvät riskit jo suunnittelu vaiheessa ja pienentämään ne mahdollisimman pieniksi, sekä varautumaan jäljelle jääneisiin riskeihin. Riskien arviointi on iteratiivinen prosessi, jossa riskien tunnistamisen ja mahdollisten muutosten jälkeen prosessi käydään uudestaan läpi, kunnes jäännösriskit ovat hyväksyttävällä tasolla. Hyväksyttävä riskitaso määritellään konetta koskevissa standardeissa ja koneasetuksessa. (Tms. 162-164; SFS-EN ISO 12100:2010, 28.)

Riskien arvioinnissa voidaan käyttää erilaisia menetelmätapoja. Käytettävä menetelmä on valittava siten, että se sopii koneita suunnittelevan yrityksen tai koneita käyttävän työpaikan käytäntöihin ja on tarkoitukseen sopiva. Yhteistä kaikille menetelmille on riskien yleisen menetelmätavan käyttäminen. (Siirilä 2016, 222.)

Standardissa SFS-EN ISO 12100 on kuvailtu riskien arvioinnin iteratiivinen kolmen askeleen menettelytapa. (ks. kuvio 1.)



Kuvio 1. Riskin arviointi ja hallinta kolmen askeleen menetelmällä. (SFS-EN ISO 12100:2010, 30.)

Riskien arvioinnin ensimmäisen vaihe on **koneen raja-arvojen määrittely**. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi: tarkoitettu käyttö ja käyttäjä, koneen tarvitsema tila, käyttöikä, puhtaanapito, käyttöympäristö ja muut koneen tekniset ominaisuudet. Koneen käyttöön huomioidaan myös kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö (Siirilä, 166.)

Vaarojen tunnistaminen on toinen vaihe riskien arviointia. Vaaroja tunnistaminen on tärkeä osa riskien arviointia, jotta vaaroihin osataan varautua. Vaarat pyritään tunnistamaan koneen koko elinkaaren ajalta, aina kuljetuksesta ja kokoonpanosta, käyttöön ja käytöstä poistamiseen asti. Vaarojen järjestelmälliseen tunnistamiseen on olemassa valmiita menetelmiä, joita voidaan hyödyntää. (SFS-EN ISO 12100:2010, 38-40.)

Riskin merkitys määritellään vaaratekijän toteutumisen todennäköisyydellä suhteessa mahdollisten seurausten vakavuuteen, jonka perusteella saadaan selville riskitaso, ja tarvitseeko riskin pienentäminen toimenpiteitä. Yksi yleinen tapa riski tason

määrittämiseen on matriisi, jossa seurausten vakavuus jaetaan 11 tasoon ja todennäköisyys 10 tasoon. (Siirilä 2016, 225.)

Taulukko 3. Riskiluokituksen määrittely todennäköisyyden ja vakavuuden suhteen (Siirilä 2016, 225.)

Todennäköisyys	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,9	0,9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
0,8	0,8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
0,7	0,7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
0,6	0,6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
0,5	0,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,4	0,4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
0,3	0,3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
0,2	0,2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0,1	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Seurausten vakavuus

BS 8800 standardiin perustuva luokittelu määrittää tehtävät toimenpiteet riskitason mukaan. Siirilä (2016, 228) on lisännyt suunnitteluvaiheessa tarvittavat toimenpiteet riskitason mukaan seuraavalla tavalla:

Taulukko 4. Toimenpiteet suunnitteluvaiheessa (Perustuen: Siirilä 2016, 225, 228)

Riski	Lukuarvo	Tarvittavat toimenpiteet suunnitteluvaiheessa oleville koneille
Sietämätön	49 ... 100	Riskiä pienennettävä. Suunnittelua jatkettava ja koneen ominaisuuksia on muutettava tai koneeseen lisättävä suojuksia tai turvalaitteita tai muita turvallisuus ominaisuuksia.
Merkittävä	29 ... 48	
Kohtalainen	16 ... 28	
Siedettävä	6 ... 15	Kone voidaan valmistaa ja ottaa käyttöön. Aktiivinen turvallisuuden seuranta ja kokemusten seuranta on tarpeen.
Vähäinen	0,1 ... 5	Kone voidaan valmistaa ja ottaa käyttöön.

Riskien pienentämisen peruseriaatteet on jaoteltu kolmeen eri vaiheeseen, joita tulisi noudattaa seuraavassa järjestyksessä:

1. Ensisijaisesti kone on suunniteltava ja rakennettava, siten että jäljelle jääviä riskejä (jäännösriskejä) voidaan pitää riittävän pieninä.
2. Riskejä pienennetään suoja- ja turvalaitteilla, tai muilla turvallisuus toimenpiteillä.
3. Jäljelle jäävistä riskeistä on tiedotettava koneen käyttäjälle käyttöohjeissa ja konekilvissä. Tarvittaessa määritettävä henkilösuojainten käyttötarve tai onko jokin erikoiskoulutus tarpeen koneen käyttöä ajatellen.

3.5.1 Riskien arvioinnin dokumentointi

Riskin arvioinnin ja riskin pienentämisen asiakirjat, on koneturvallisuuden kattostandardin (EN-SFS-ISO 12 100) mukaan koottava ainakin seuraavin osin:

- a) Koneen tiedot, kuten käyttötarkoitus ja raja-arvot.
- b) Tunnistetut vaarat ja vaaratilanteet.
- c) Tiedot, joihin arviointi pohjautuu ja tietoihin liittyvä epävarmuus.
- d) Tavoite, johon riskinarvioinnilla pyritään.
- e) Turvallisuustoimenpiteet, joilla riskejä vähennetään tai poistetaan.
- f) Jäännösriskit
- g) Kaikki riskinarvioinnin aikana täytetyt lomakkeet.
- h) Tulos lopullisesta riskinmerkityksen arvioinnista.

3.6 Tekninen dokumentti

Konedirektiivin (2006, § 5.) mukaan koneelle on laadittava tekninen tiedosto ennen käyttöönottoa tai markkinoille saattamista. Teknisen tiedoston on tarkoitus osoittaa, kone on sitä koskevien direktiivien mukainen ja siitä tulee ilmetä, koneen rakenne, valmistus ja toiminta, siltä osin kuin vaatimusten todentaminen on mahdollista tämän dokumentin avulla. Konedirektiivissä on lueteltu vaatimukset seuraavin osin: (2006/42/EY, liite 7)

- a. Koneen yleiskuvaus
- b. Koneen yleispiirustus tarvittavine kuvauksineen ja selityksineen
- c. Yksityiskohtaiset piirustukset, laskelmat, testaustulokset ynnä muut
- d. Riskien arviointia koskevat asiakirjat, joista selviää käytetty menetelmä
- e. Konetta koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset
- f. Kuvaus suojaustoimenpiteistä, jotka toteutettu tunnistettujen vaarojen poistamiseksi tai riskien pienentämiseksi
- g. Tarvittaessa maininta jäännösriskeistä
- h. Käytetyt standardit ja muut tekniset eritelmät sisältäen tiedon miltä osin sovellettu
- i. Tarvittaessa tekniset selosteet, joista ilmenevät valmistajan tai tämän valitseman laitoksen tekemien testien tulokset
- j. Kopio koneen ohjeista
- k. Kopio EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta

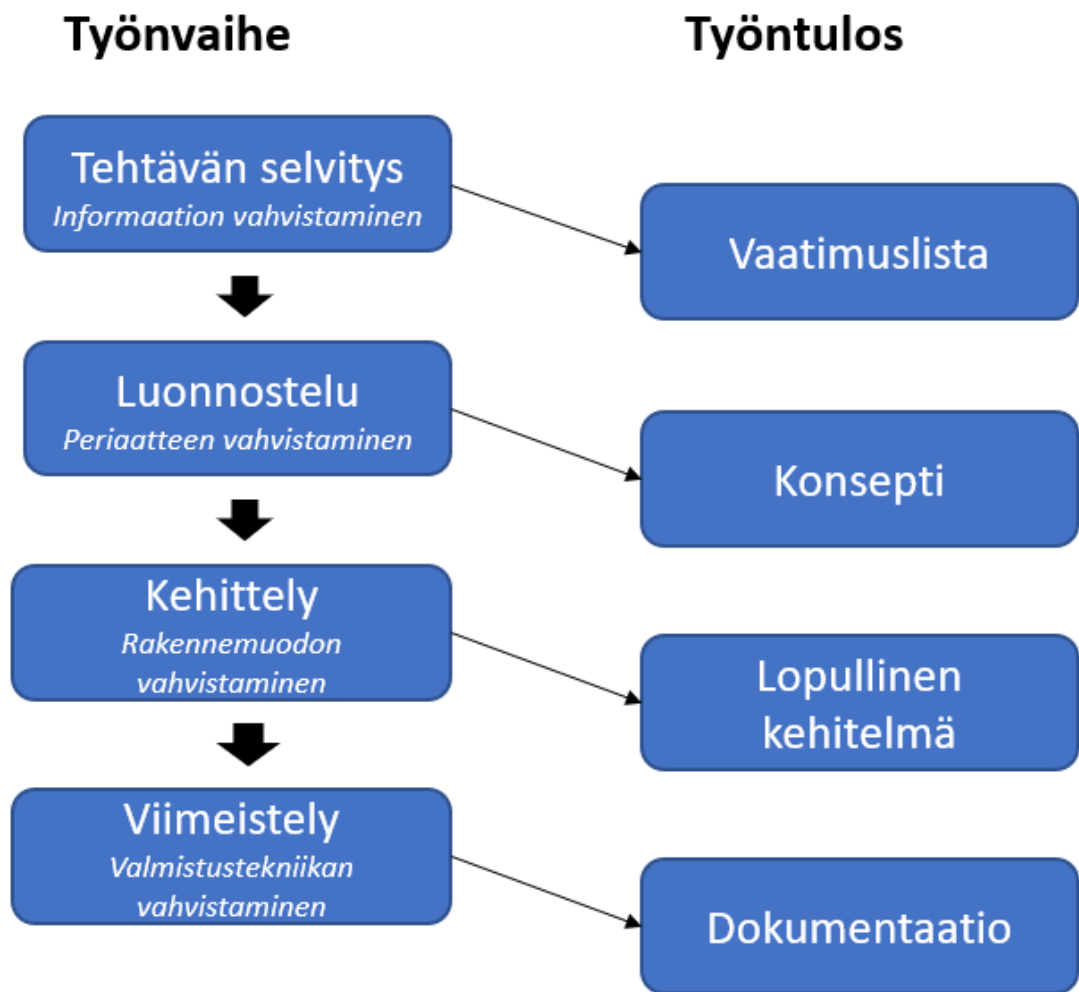
3.6.1 CE-merkintä ja EY-vaatimustenmukaisuustodistus

Koneeseen kiinnitetty CE-merkintä on vakuutus siitä kone täyttää konedirektiivin (2006/42/EY) vaatimukset. CE-merkintä on pakollinen tuotteelle, kun sitä koskeva direktiivi niin vaatii. CE-merkinnän voi tehdä valmistaja itse konedirektiivin (2006/42/EY, liite 3) ohjeistetulla tavalla.

CE-merkityn koneen edellytyksenä on, että koneelle on laadittu ja allekirjoitettu EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus, jossa valmistaja tai sen edustaja vakuuttaa, että kone täyttää sitä koskevat konedirektiivin vaatimukset. (2006/42/EY, liite 2)

4 Systemaattinen suunnittelu

Työpistenostureiden suunnittelu ja valmistus omaan käyttöön on prosessina hyvin samankaltainen, kuin mikä tahansa tuotekehitysprojekti. Teknisen osaamisen lisäksi projektinhallinta on tärkeä osa projektin onnistumista. Tässä työssä on käytetty saksalaisen standardin VDI 2221 mukailevaa tuotekehitysmenetelmää, jossa prosessin vaiheet on jaoteltu neljään eri päävaiheeseen. (kuvio 4.)



Kuvio 2 Tuotekehitysprosessin rakenne. (Perustuen: Pahl & Beitz, 47-50.)

Tehtävän selvityksessä pyritään määrittämään suunniteltavalle tuotteelle reunaehdot ja funktiot, jotka tuotteen pitää täyttää. Tapauksen mukaan huomioon otetaan markkinataloudelliset asiat kannattavuuden määrittämiseksi tai asiakkaan toimeksi-antona tehtäessä kustannusten selvittämistä varten. Tämä on syytä tehdä niin tarkasti ja laajasti kuin mahdollista, jotta myöhemmissä vaiheissa välttyttäisiin uudelleensuunnittelulta ja kustannusten karkaamiselta. Selvityksen tuloksena syntyy vaatimuslista, joka seuraa koko tuotekehitysprojektin aikana mukana ja jota päivitetään vain tilanteen niin vaatiessa. Vaatimuslista laaditaan toivomusten ja vaatimusten muodossa: (Pahl & Beitz 1990, s 59-64.)

- **Vaatimukset (V)** on täyttyvä kaikissa olosuhteissa. Täyttämättä jättäminen aiheuttaa suunnitellun ratkaisun hylkäämisen. Vähimmäisvaatimukset ilmoitetaan tarkoitukseen sopivalla tavalla muotoiltuna (esim. $P > 5\text{kw}$).
- **Toivomukset (T)** otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan. Toivomuksissa huomioitava, ovatko ylimääräiset kustannukset saavutettavan hyödyn arvoisia.

Luonnosteluvaiheessa muodostetaan vaatimuslistaa hyväksikäyttäen periaatteellinen ratkaisu, eli konsepti. Luonnosteluvaiheeseen kuuluu abstrahointi, toimintarakenteen laadinta ja sopivien vaikutus periaatteiden etsiminen. (Pahl & Beitz 1990, 71.)

Luonnosteluvaiheessa ratkaisuehdotukset laaditaan konkreettisempaan muotoon, jossa käyvät ilmi tarvittavat materiaalit, tekniset ratkaisut ja peruspiirustukset. Luonnosteluvaihe tulisi tehdä huolella, sillä myöhemmissä vaiheissa perustavanlaatuisia ongelmia ei välttämättä pystytä korjaamaan ja joudutaan palaamaan, takaisin tähän vaiheeseen. (Mts. 49.)

Kehittelyvaiheessa suunnitellaan koneen tai laitteen kokoonpanorakenne täydellisesti, ottaen vahvasti huomioon tekniset ja taloudelliset näkökohdat. Usein joudutaan tekemään useita eri luonnoksia joko rinnakkain tai peräkkäin, eri rakenteiden etujen ja haittojen arvioimiseksi. Lopullinen ratkaisu saattaa löytyä eri luonnosten yhdistelmästä, vaikka jokin ratkaisu kokonaisuudessaan olisikaan sopiva. Lopullinen kokoonpanorakenne tarkistetaan kustannusvaatimusten ja rakenteellisten vaatimusten osalta ennen kuin se voidaan siirtää viimeistelyvaiheeseen. (Mts. 49.)

Viimeistelyvaiheessa tuotteelle tapahtuu valmistustekninen määrittäminen. Rakenteen lopulliset muodot ja yksittäisosien mitoitus täsmennetään. Rakennetta tarkastellaan ensisijaisesti valmistuksen ja kustannusten kannalta. Usein huomataankin yk-

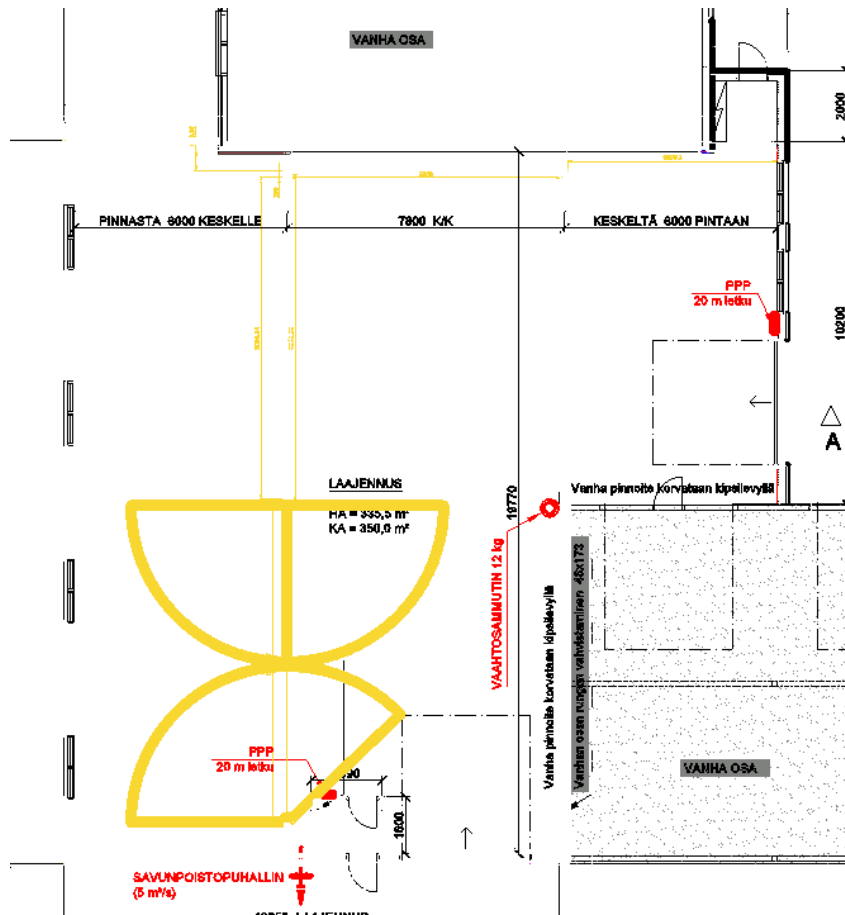
sityiskohtien aiheuttavan ongelmia, ja rakenne saatetaan joutua palauttamaan uudelleen kehiteltäväksi. Rakenteen saatua lopullisen muotonsa ja kaikki yksityiskohdat ja valmistustekniset asiat on saatu optimoitua, tehdään tarvittavat dokumentit valmistusta ja kokoonpanoa varten. Lopuksi tuotetaan kaikki tuotteeseen liittyvät dokumentit, kuten CE-merkinnän vaatimat liitteet. (Mts. 50.)

5 Suunnittelutyö

Suunnittelutyö alkoi toimeksiannosta, joka oli tällä kertaa yrityksen sisäinen tarve kyseiselle tuotteelle. Tehtävänä oli suunnitella yrityksen laajentuneisiin koneistustiloihin soveltuvat nosturit tuleville koneistuskeskuksille sekä kokoonpanotilaan. Alustavina kriteereinä olivat nostureiden ulottuvuus, nostokyky, käytettävyys, huoltovapaus sekä tavanomainen kustannustaso huomioiden. Yrityksen yleinen halu toimia työturvallisuus ja laatustandardien mukaisesti, velvoittaa osaltaan suunnittelijaa huomioimaan lainsäädännölliset asiat tuotteita suunniteltaessa. Suunnitteluprosessi suoritettiin edellä kuvailulla *systemaattisen suunnittelun* menetelmää mukailten.

5.1 Tehtävän selvitys

Suunnittelutyö aloitettiin tutustumalla tilojen pohjapiirustuksiin ja koneiden alustavaan layoutiin, toimeksiantajan edustajan Ilkka Salon avustuksella. Kyseisessä tilaisuudessa määriteltiin nostureiden alustava kappalemääräinen tarve ja sijoittelu. Nosturit oli määrä asentaa tiloissa valmiina oleviin rakennepylväisiin, jotka oli rakennusvaiheessa suunniteltu käytettäväksi myös tätä tarkoitusta varten. Rakennepylväisiin ei saa kuitenkaan hitsata kantavia rakenteita, joten nostureiden kiinnitys olisi suunniteltava tämä huomioiden. Valmistuksen sarjakoon kasvattaminen pienentää yksittäisen tuotteen hintaa, tämän vuoksi saman nosturi mallin olisi sovelluttava jokaiseen suunniteltuun asemaansa. Suunniteltujen nostureiden ulottuvuutta hahmoteltiin Autocad-ohjelmistolla tilojen pohjapiirustukseen (kuvio 3).



Kuvio 3 Laajennusosan layout

Ohella suoritettiin alustavaa ideointia tiloihin sopivista nostureista, ideoita ja koke-musta haettiin vanhoissa tiloissa olevissa nostureista sekä kilpailijaselvityksellä, markkinoilla olevista nostureista. Tilojen korkeuden ja kattorakenteen vuoksi sopi-vaksi nosturyypiksi oli ehdotettu toimeksiantajan toimesta ylätuettua kääntöpuomi-nosturia. Alustava vaatimuslista (ks. liite 1.) luotiin näiden tutkimusten, nostureita käyttävien työntekijöiden ja toimeksiantajan kanssa käytyjen keskustelun pohjalta. Vaatimuksissa otettiin huomioon myös tuotteen mahdollinen tuleva käyttö esimer-iksi kaupallisessa mielessä.

Yrityksessä ei ollut aiempaa kokemusta CE-hyväksytyjen nostureiden suunnittelusta, joten lainsäädännön vaikutus suunnitteluprosessiin oli aloitettava jo tehtävän selvi-tyksessä. Alla lueteltu työtä ohjaavia standardeja.

Työssä huomioitavat standardit

- SFS-EN ISO 12100:2010 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen.
- SFS-ISO/TR 14121-2:2013 Koneturvallisuus. Osa2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä.
- SFS-EN 13001-1 Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 1: Yleiset periaatteet ja vaatimukset.
- SFS-EN 13001-2 Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 2: Kuormitukset.
- SFS-EN 13001-3-1 + A1 Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 3-1: Teräsrakenteiden rajatilat ja kelpoisuuden osoittaminen.
- SFS-EN 13135 Nosturit. Turvallisuus. Suunnittelu. Laitteita koskevat vaatimukset.
- SFS-EN 1991-3 + AC Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat osa: Nostureista ja muista koneista aiheutuvat kuormat
- **SFS-EN 16851:2017 Cranes. Light crane systems. (konekohtainen C-tyyppin standardi)**

Kyseiselle nosturityypille soveltuvan c-tyyppin standardin löytyminen aiheutti alkuun hieman hankaluuksia, koska kyseistä standardia ei ollut vielä sisällytetty muihin nosturi standardeihin. Varmistaakseni oikean standardin käytön, lähestyin asiaa koskien Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys (METSTA) ry:n asiantuntija Frans Nilsen:ia sähköpostitse. Nilseniltä sain vastauksen ja ohjeistuksen oikean standardin käyttöön nopeasti. (Nilsen 2020.)

5.2 Luonnostelu

5.2.1 Katsaus markkinoilla oleviin ratkaisuihin

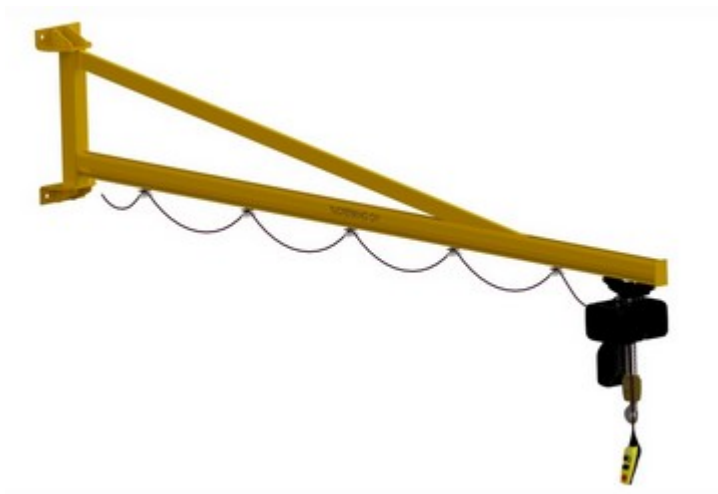
Luonnosteluvaihe aloitettiin katsauksella markkinoilla oleviin ratkaisuihin. Katsauksessa saatua tietoa käytettiin myöhemmissä vaiheissa suunnittelun apuna sekä luotettavuuden arvioimisessa. Eri nosturimalleista keskityttiin ylätuettuihin kääntöpuominostureihin, joiden kiinnitys on tarkoitettu seinään tai tolppaan. Katsauksen etuna tässä vaiheessa oli, että ideoita eri rakenteista oli nopeasti saatavilla visuaalisessa muodossa.

Kuviossa 4 on esitetty Kito Erikkilän valmistama seinäkääntöpuominosturi.



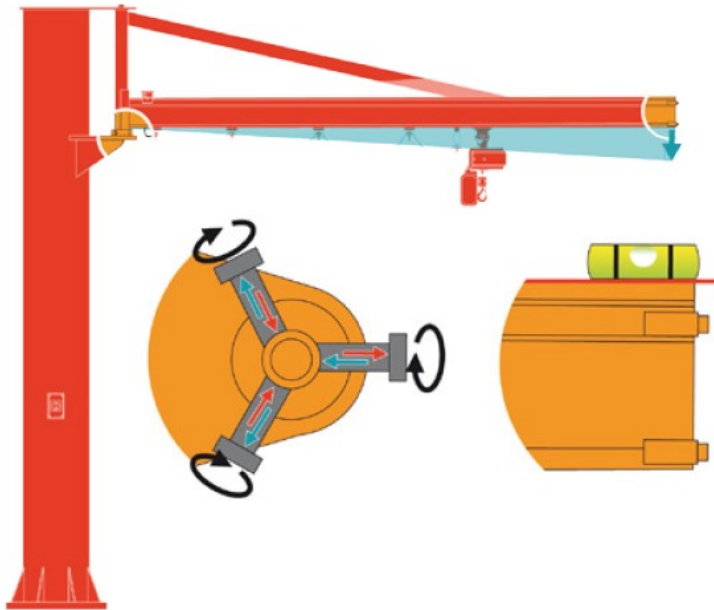
Kuvio 4 Kito Erikkilä seinäkääntöpuominosturi (<https://www.erikkila.com/fi>)

Tuoteteknon valmistama ylätuettu seinäkääntöpuominosturi IPE-puomilla (ks. kuvio 5)



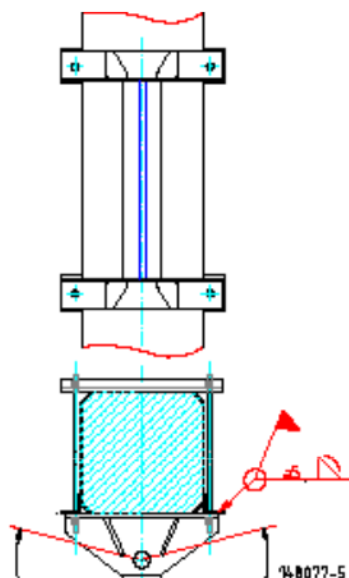
Kuvio 5 Tuotetekno ylätuettu seinäkääntöpuominosturi (<http://tuotetekno.fi>)

Tutkimusta vietyä hieman syvemmälle, löytyy valmistajien esitteistä hyödynnettäviä ideoita sekä tietoa mekaanisista ja rakenteellisista ratkaisuista, joita hyödynnettiin myöhemmissä suunnittelun vaiheissa. Kuviossa 6 on esitetty havainnekuva Erlatek Oy:n markkinoimasta Konecranesin käyttämästä käyttöakselin säätömekanismista.



Kuvio 6 Konecranes säätömekanismi havainnekuva (<https://www.erlatek.fi>)

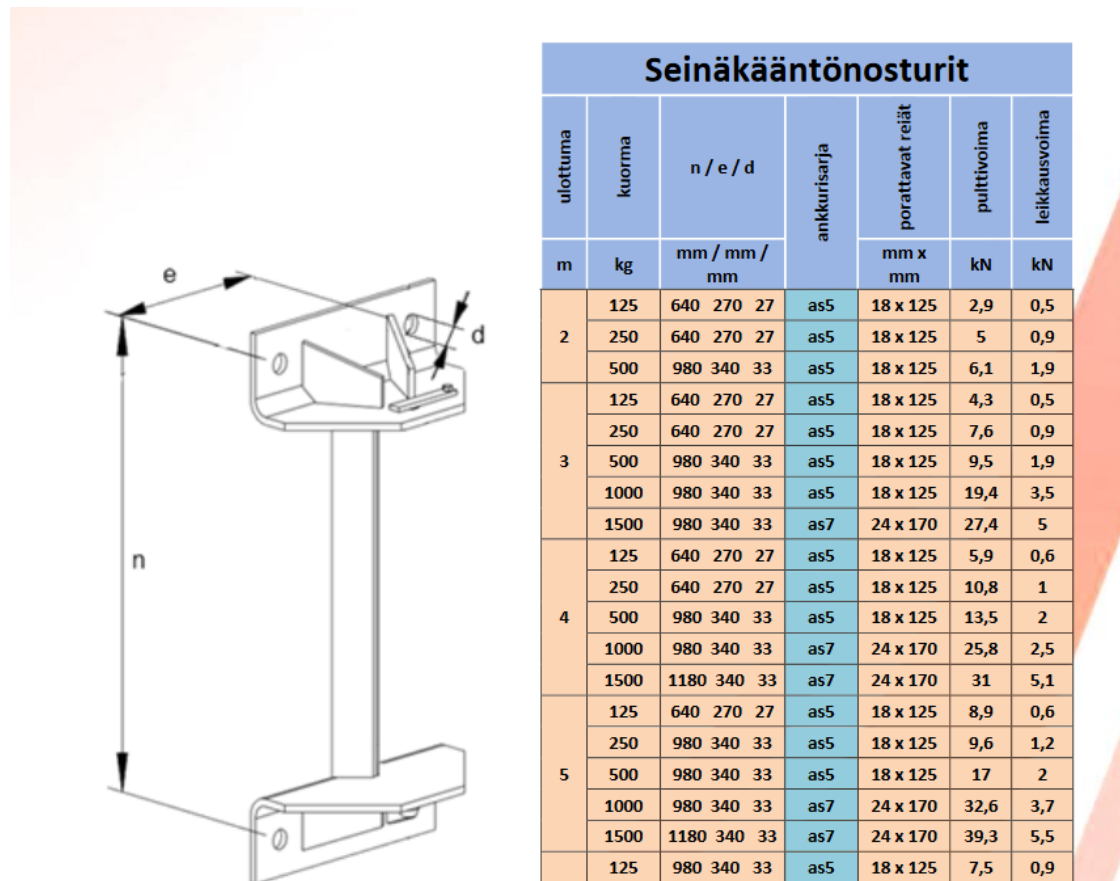
Erikkilä:n seinäkääntönostureiden asennus- ja huolto-ohjeissa on asennuksen tapahtuessa pylvääseen ohjeistettu hitsaamaan sivutuet kiinnityslevyn sivuille, estämään nosturin kallistuminen. (kuvio 7.)



Konsoli asennettuna pilarin ympärille, konsolin sivuilla kulmaraudat.

Kuvio 7 Ote Erikkilä kääntönosturit asennus - ja huolto-ohjeista (<https://www.erlatek.fi>)

Nostolaite valmistajan Tuotekno oy:n verkkosivuilta oli ladattavissa nosturiesite, jossa oli ilmoitettu rakenteiden päämittoja eri nostureille. Vastaava toisen nosturivalmistajan nosturiesite löytyi Oy Machine Tool co:n sivuilta. (Machinetool 2020.) Näistä saatuja mittoja ja arvoja käytettiin vertailussa projektin aikana. (kuvio 8.)

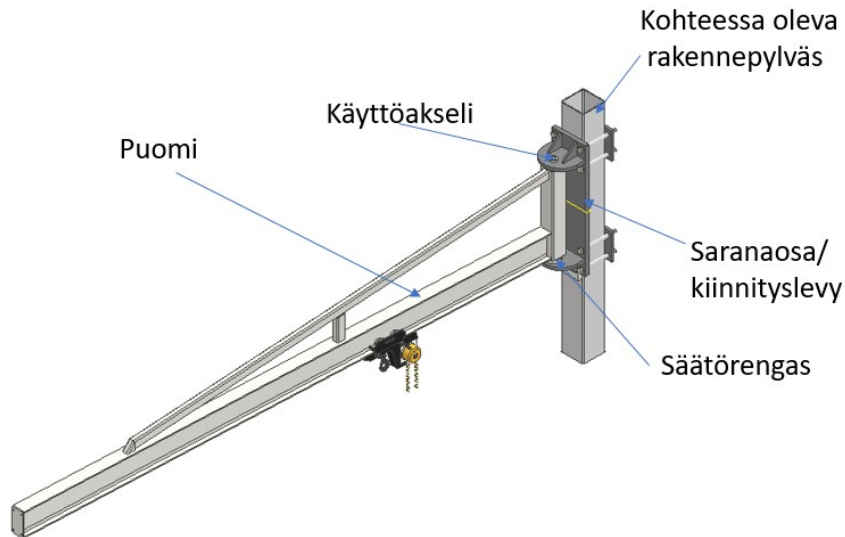


Kuvio 8 Ote Tuotekno oy:n nosturiesitteestä (<http://tuotetekno.fi>)

5.2.2 3D-mallinnuksen aloitus ja konstruktion valinta

Edellä kuvailtu huolellinen vertailu ja tutkiminen helpotti mallinnuksen aloittamista. Mallinnus ja suunnittelutyö tehtiin Autodesk Inventor pro 2020- ohjelmistolla. Eri valmistajien esitteistä saadut päämitat ja käytetyt rakenne-elementit helpottivat mittasuhteiden luonnostelua. Tässä vaiheessa tehtiin karkea malli, josta oli otettu päämi-

tat ja massat laskentaa varten. 3D-suunnittelussa oli otettu huomioon alustava tuoterakenne ja mallin muokattavuus jatkokehittelyä varten. Alustava malli antoi havainnollistavaa tukea painotetun pistearvioinnin suorittamiseen.

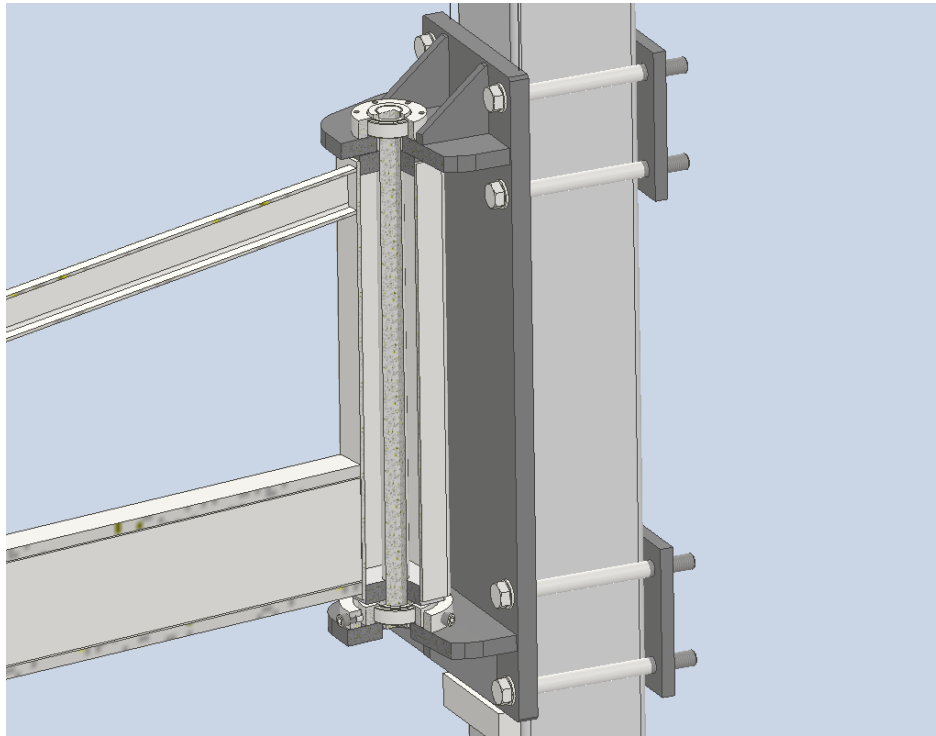


Kuvio 9 Nosturin nimikkeet

Jatkokehittelyyn vietävän peruskonstruktion valinta tehtiin painotetulla pistearvioinnilla. Arviointiin valittiin neljä erilaista toteutustapaa, joiden ominaisuudet pisteytettiin. Painotetun pistearvioinnin etuna on, että kunkin ominaisuuden arvolle on mahdollista määrittää painoarvo tehtävänannon mukaisesti. Arviointiin valitut ratkaisuehdotukset määräytyivät lähinnä: kiinnityksen, laakerointitavan, ja säätötavan sallimien vaihtoehtojen mukaan. Pisteytettävät ominaisuudet ja niiden painoarvo määriteltiin tehtävänselvityksessä tehdyn vaatimuslistan ja toimeksiantajan edustajan kanssa käytyjen keskustelujen perusteella. (ks. Liite 5.)

Jatkokehittelyyn vietäväksi ratkaisuksi valikoitui rakenne, jossa nosturin saranaosa liitetään ruuviliitoksella kiinteästi pylvääseen ja säätäminen tapahtuu käyttöakselin alemmaa laakeripesää hallitusti liikuttamalla. Säätäminen tapahtuu pidätinruuvein varustetulla säätörengalla, joka on osa hitsattua saranaosaa. Sillä, että onko säätö ylä- vai alapäässä ei todettu olevan suurta mekaanista merkitystä, joten säätöä aloitettiin

suunnittelemaan alapäähän, helpomman käytettävyyden kannalta. Ratkaisun tekninen toteutus oli mahdollista toteuttaa käyttämällä pallomaisia rullalaakereita akselin laakeroinnissa, jotka sallivat säädöstä syntyvän kulmavirheen ja kantavat itsessään tarvittavan aksiaalikuorman. (kuvio 10)



Kuvio 10 Jatkokehittelyyn valittu rakenne

5.3 Kehittely

Kehittelyvaiheessa tehtiin lopulliset materiaali- ja komponenttivalinnat, sekä paneuduttiin yksityiskohtiin rakenteen toimivuuden varmistamiseksi. Kehittelyvaihe alkoi alustavan rakenteen staattisella tarkastetulla ja määrittämällä laskennassa käytettävät kuormitukset. Arvoja päivitettiin rakenteen tarkentuessa. Statiikalla laskettuja kuormituksia rakenteen eri kohtiin tarvittiin komponenttien valintaa koskevissa ratkaisuisissa sekä FEM-analyseissa. Rakenteen eri funktioiden toimivuutta ja liikkeitä simuloitiin 3D-mallien avulla. Rakenteen teräsprofiilien alustavana valinta perusteena,

käytettiin vertailua markkinoilla- ja yrityksessä jo käytössä oleviin ratkaisuihin. Puomin rakennetta alettiin mallintamaan IPE 200-palkin ympärille.

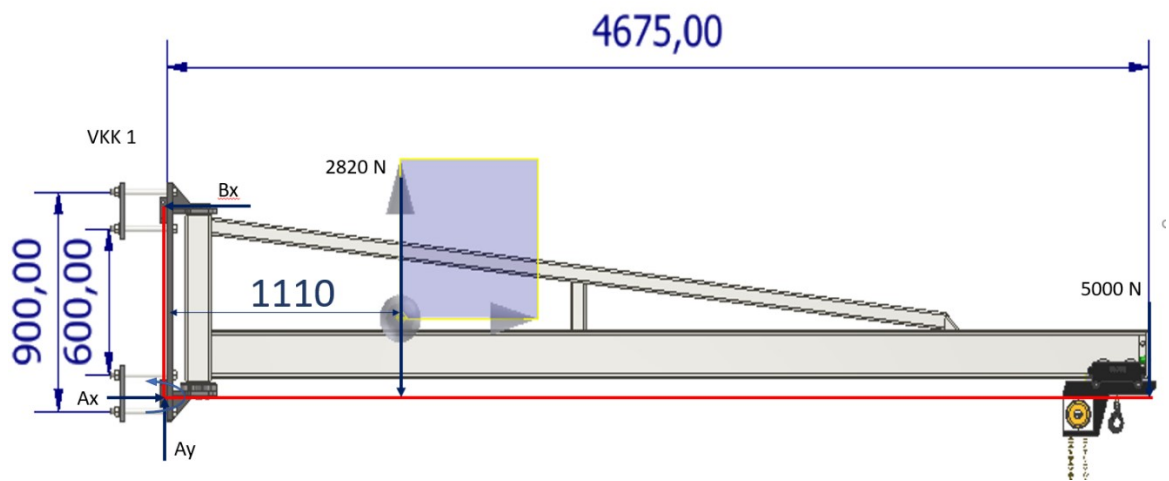
5.3.1 Staattinen tarkaskelu

Laskentaa suoritettiin heti luonnosteluvaiheen jälkeen ja käytettyjä arvoja päivitettiin mallin tarkentuessa. Oli tärkeää kuitenkin suorittaa laskentaa jo hyvissä ajoin, koska näin hahmotimme rakenteiden ja komponenttien valinnalle olennaisen lujuusluokan. Laskenta tehtiin käyttämällä statiikan tasapainoyhtälöitä.

Tukirakenne kuormat

Standardissa SFS-EN 16851: 2017 on määritelty velvoite nosturivalmistajaa ilmoittamaan tukirakenteisiin kohdistuvat kuormat. Eri kuormitustapauksille on standardissa määritelty dynaamiset kuormituskertoimet, jotka ovat laskettavissa SFS-EN 13001-sarjan nosturi standardeista, joiden mukaan kyseisen standardin SFS-EN 16851: 2017 liitteessä B annettu taulukko tulisi täyttää. Laskenta perusteina käytetään kuvion 6 mukaisessa tilanteessa olevaa nosturia ja statiikalla laskettuja arvoja. Näiden kertoimien laskentaa ei kuitenkaan kokonaisuudessaan sisällytetty tähän työhön laajuutensa vuoksi. Yleisesti työssä on käytetty lujuuslaskennan sallittujen jännitysten periaatteena, mitoitusta keskimääräiseen väsymislujuuteen (Airila 2013.) ja varmuuskerrointa 3 suhteessa myötörajaan, kuormittaessa nosturia 500 kg x 1,25.

Tukirakenteisiin kohdistuvat staattiset voimat on laskettu käsittelemällä koko rakennetta jäykkänä kappaleena, jossa laskentapisteet olivat uloimpien kiinnitysruuvien etäisyys toisiinsa ja etäisyys kiinnityspinnasta puomin päähän. Rakenteen massa ja painopisteen sijainti otettu Inventor 3D-mallista. Rakenteen omamassa on 282 kg. Ulkoiseksi voimaksi määriteltiin nosturin maksimi nostokapasiteetti 500 kg ja nostimen massa 30 kg = 530 kg, jonka katsotaan vaikuttavan uloimmassa nostimen sijainnissa. (kuvio 11.)



Kuvio 11 Tukirakenne kuormat

$$\uparrow \sum F_{Ay} = 0; A_y - 2820 \text{ N} - 5300 \text{ N} = 0 \Rightarrow A_y = 8120 \text{ N}$$

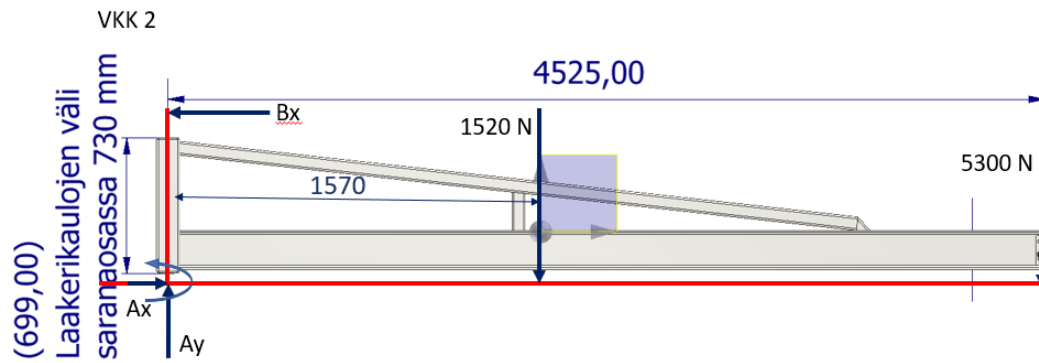
$$\sum M_A = 0; B_x \cdot 0,9 \text{ m} - 1110 \text{ m} \cdot 2820 \text{ N} - 4,75 \text{ m} \cdot 5300 \text{ N} = 0 \Rightarrow B_x = 31450 \text{ N}$$

$$\rightarrow \sum F_{Ax} = 0; A_x - B_x = 0 \Rightarrow A_x = 31450 \text{ N}$$

5.3.2 Laakerikuormien laskenta ja laakerin valinta

Laakerikuormat

Laakereihin kohdistuvat voimat on laskettu tarkastelemalla puomin rakennetta erikseen, laskentapisteet olivat laakerikauloissa ja puomin päässä. Rakenteen massa ja painopisteen sijainti otettu Inventor 3D-mallista. Rakenteen omamassa on 152 kg. Ulkoiseksi voimaksi määriteltiin nosturin maksimi nostokapasiteetti 500 kg x 1,25, joka on standardin -EN 16851: 2017 mukainen staattisen testauksen kerroin, sekä nostimen massaksi määriteltä 30 kg. Saatuja kuormitus arvoja käytettiin niveltapin lujuuslaskennassa sekä laakerivalinnoissa. (kuvio 12.)



Kuvio 12 Laakerikuormat

$$\uparrow \sum F_{Ay} = 0; A_y - 1520 \text{ N} - 300 \text{ N} - (5000 \cdot 1.25) \text{ N} = 0 \Rightarrow A_y = 8070 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0; B_x \cdot 0.730 \text{ m} - 1.570 \text{ m} \cdot 1520 \text{ N} - 4.53 \text{ m} \cdot 300 \text{ N} - 4.53 \cdot (5000 \text{ N} \cdot 1.25) = 0 \Rightarrow B_x = 43910 \text{ N}$$

$$\rightarrow \sum F_{Ax} = 0; A_x - B_x = 0 \Rightarrow A_x = 43910 \text{ N}$$


Laakerivalinnat

Laakerien valinnassa kriteereinä olivat laakerin suhteellisen pienet ulkomitat sekä riittävä aksiaali- ja radiaalikuorman kantokyky. Lisäksi laakereiden oli sallittava laakeripesän ja akselin välistä kulmavirhettä, mahdollistaen puomin säätäminen. Laakerien kestävyyttä tarkasteltiin lähinnä staattisen kantokyvyn kannalta, koska puomin liike ei ole jatkuvaa eikä kuorman suuruus tyypillisesti ole kuin murto-osa testitilanteen kuormituksesta. (ks. liite 3., koneen raja-arvot). Laakerin kokoa ei haluttu tarpeettomasti kasvattaa.

Sopivan laakerityypin selvitys tapahtui tutkimalla saatavissa olevia laakerimalleja ja näiden ominaisuuksia SKF:n verkkosivuilta sekä haastattelemalla yrityksessä työsken-

televiä asentajia laakereiden ominaisuuksista. Kohteeseen sopivaksi laakeriksi valikoitui edellä mainittujen kriteereiden vuoksi pallomainen rullalaakeri, joka omaa koonsa nähden suuren kuormankantokyvyn. Akselin molempiin päihin valittiin samanlaiset laakerit, koska haluttiin pitää tuotteen nimikkeiden lukumäärä mahdollisimman pienenä, sekä akselin valmistus yksinkertaisena. (SKF 2020.)

Laakerien kantokyvyn laskennassa hyödynnettiin SKF:n verkkosivuilla olevaa laakerin valintaan tarkoitettua laskuria, jolla voi tarkistaa annetuilla parametreilla laakerin sopevuuden. Käytetyt parametrit saatiin edellä olevilla statiikan laskuilla, suunnitellussa rakenteessa alin laakeri kantaa yksin aksiaalisen kuorman, joka on suurimmillaan 9 kN. Molempia laakereita kuormittaa ääritilanteessa radiaalinen kuorma 44 kN. Liitteessä 2. ovat SKF:n laskimella saadut tulokset kokonaisuudessaan. (Liite 2.)



22208 E

Popular Item
SKF Explorer
Spherical roller bearings

BEARING DATA

- Tolerances: Normal, P6, P5, tapered bore 1.12, tapered bore 1.30
- Radial internal clearance: cylindrical bore, tapered bore

BEARING INTERFACES

- Seat tolerances for standard conditions
- Tolerances and resultant fit

CAD DOWNLOAD

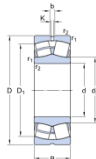
WHERE TO BUY

TECHNICAL SPECIFICATION PDF

VIEW DATA TABLE

TECHNICAL SPECIFICATION
MORE INFORMATION
MORE FROM SKF

Technical specification



Metric Imperial

DIMENSIONS

d	40 mm
D	80 mm
B	23 mm
d ₂	= 49.6 mm
D ₁	= 69.4 mm
b	6 mm
K	3 mm
r _{1,2}	min. 1.1 mm

Kuvio 13 Valittu laakeri, 22208 E (SKF 2020.)

Akselin kestävyuden tarkistaminen

Valittu laakeri mahdollistaa halkaisijaltaan 40 mm käyttöakselin käyttämisen. Akseli on suunniteltu valmistettavaksi 40 mm vedetystä S355 teräksestä, jolloin esikoneistusta ei tarvita lieriöpintoihin. Suunnitellussa rakenteessa akseli pyörii laakeroinnistaan puomin mukana ja kuorman suuntaisesti.

Akseliin kohdistuu nostotilanteessa kuormasta aiheutuvaa leikkausjännitystä. Voiman suuruuden määriteltiin olevan sama kuin laakereille tulevan voiman. Jännityksen tyyppi tulee huomioida laskuissa, koska sallitun leikkausjännityksen tiedetään olevan normaali- ja leikkausjännityksen suhteen mukaan: (Valtanen 277.)

$$\tau_{sall} = 0,58 * \sigma = 0,58 * 355 \text{ N/mm}^2 \text{ (S355 teräksen myötölujuus)} = 205,9 \text{ N/mm}^2$$

Laakeroinnin ja akselin tukipisteen välisen etäisyyden ollessa vähäinen suhteessa akselin halkaisijaan ja varmuuskertoimen ollessa suuri oheisella tavalla laskettuna, päätettiin tämä jättää etäisyys huomioimatta laskuissa. Akseliin kohdistuva leikkausjännitys lasketaan kaavalla: (Mts. 272.)

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{44000 \text{ N}}{\pi * (20\text{mm})^2} = 35,01 \text{ N/mm}^2$$

Varmuuskertoimeksi saadaan: $205,9 \text{ Mpa} / 35,01 \text{ Mpa} = 5,881 = 5$

5.3.3 Ruuviliitoksen laskenta

Ruuviliitoksen suunnittelussa käytettiin yleisiä ruuviliitoksen suunnitteluperiaatteita. Laskentaa on yksinkertaistettu laskujen läpiviennin nopeuttamiseksi. Ruuviliitoksen

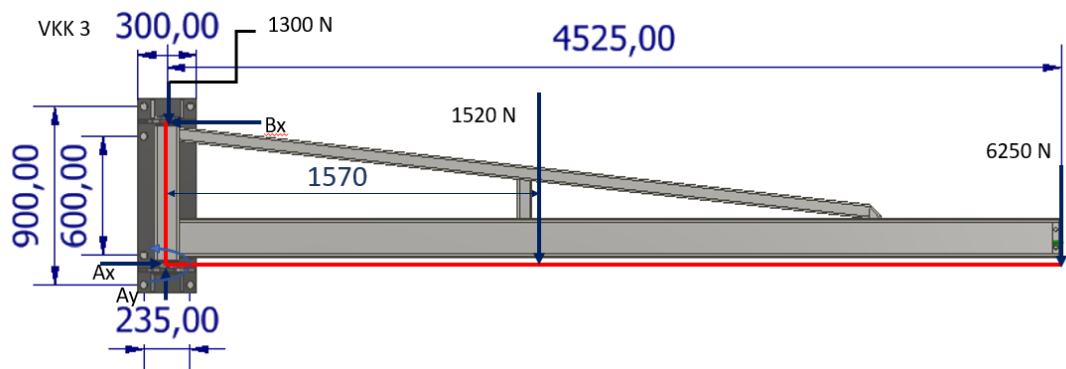
luotettavuuteen vaikuttavia asioita ovat nyt laskettujen asioiden lisäksi, ruuvien joustavuus ja liitettyjen osien joustavuus, joiden laskeminen osoittautui tämän työn aikarajojen puitteissa ja kokemattomuuden takia liian haastavaksi. Nämä seikat on kuitenkin otettu huomioon rakenteen suunnittelussa. Työssä käytetyt ruuviliitokset on mitoitettu siten, että ruuveihin ei tule vetojännityksen lisäksi liitettävien osien liukumisesta johtuvaa leikkausjännitystä. Laskennassa käytetyt ruuvien mekaaniset ominaisuudet ovat standardin SFS-ISO 898-1 mukaisia. (Verho 2003, 165, 181, 196, 199-200, 218-19, 228-236)

Voimat kiinnityslevyn ja tolpan väliselle ruuviliitokselle

Ruuviliitoksen laskennassa on tarkasteltu ruuviliitoksen tilannetta kahdessa eri tapauksessa, joiden arvioitiin olevan kriittisimmät. Ensimmäisessä tapauksessa tilannetta tarkasteltiin puomin ollessa suorassa, jolloin ruuviliitokseen kohdistuu suurin vetojännitys. Toisessa tapauksessa puomi on käännettynä 90° sivulle, jolloin kiinnityspintojen väliseen kitkaliitoksen syntyy leikkausjännitystä.

Laskujen perusteella havaittiin, että ruuviliitoksen kannalta kriittisin tilanne on puomin ollessa käännettynä sivulle. Tilanteessa ruuviliitoksen täytyy pitää kiinnityspintojen välinen kitkaliitos stabiilina.

Statiikassa kuormat on määritelty siten, että saranaosan massa on eroteltu puomin massasta, ja ulkoisena kuormana käytetään nosturin suurinta sallittua kuormaa x staattisen testikuorman kerroin 1,25 sekä nostimen massa 30 kg. Puomin kiinnitys tapahtuu yhteensä 8 kpl ruuvilla, jotka on laskennassa eroteltu kahdeksi eri ruuviryhmäksi. Laskentapisteet olivat tässä tilanteessa ruuviryhmien keskiössä. (kuvio 14.)



Kuvio 14 Ruuviliitoksen kuormat

$$\uparrow \sum F_{Ay} = 0; A_y - 1300 \text{ N} - 1520 \text{ N} - 300 \text{ N} - (5000 * 1.25) \text{ N} = 0 \Rightarrow \mathbf{A_y = 9370 \text{ N}}$$

$$\sum M_A = 0; B_x * 0.75 \text{ m} - 1.57 \text{ m} * 1520 \text{ N} - 4.53 \text{ m} * 300 \text{ N} - 4.53 \text{ m} * 6250 \text{ N} = 0 \Rightarrow \mathbf{B_x = 42740 \text{ N}}$$

$$\rightarrow \sum F_{Ax} = 0; A_x - B_x = 0 \Rightarrow \mathbf{A_x = 42740 \text{ N}}$$

Ruuvien jännitykset kiristämisen aikana

Ruuviliitoksen suunnittelu aloitettiin laskemalla yksittäiselle ruuville suurin sallittu kiristysten aikainen vetojännitys. Kierteen kitkakertoimet on valittu suuremman mukaan, täten saadaan tuloksista pienemmät arvot, jolloin laskennan varmuuskerroin

kasvaa. Saatujen arvojen perusteella laskettiin ruuville suurin sallittu aksiaalikuorma, josta voitiin laskea suurin sallittu kiristysmomentti. Laskettua ruuvin kiristysmomenttia verrattiin ruuvivalmistajien ja standardien antamiin ruuvin kiristysmomentteihin ja huomattiin lasketun arvon olevan suuruusluokaltaan samaa tasoa tai hieman pienempi. Jatko laskennassa päädyttiin käyttämään standardin EN ISO 898-1:2013 kiristysmomentteja, koska nämä ovat asentajille yleensä tutumpia ja sitä kautta asentamisen virheet kiristykseen osalta minimoidaan.

Tarkastelussa M24 ISO-vakiokierteinen ruuvi, jonka lujuusluokka 8.8

- σ_M = Suurin sallittu vetojännitys kiristysvaiheessa
- d_2 = kylkihalkaisija = 22,051 mm
- d_3 = sydänhalkaisija = 20,319 mm
- $d_0 = (d_2 + d_3) / 2$ = pienimmän poikkileikkauksen halkaisija = 21,19 mm
- A_S = jännityspoikkipinnan ala = 353 mm²
- P = nousu = 3 mm
- $R_{p0.2}$ = myötölujuus = 640 N/mm²
- V_p = myötörajan hyödyntämissuhde, tavanomaisissa ruuviliitoksissa = 0,9
- μ_g = kierteen kitkakerroin 0,10...0,18

$$\sigma_M = \frac{v_p R_{p0.2}}{\sqrt{1 + 3 \left[2 \frac{d_2}{d_0} \left(1,155 \mu_g + \frac{P}{\pi d_2} \right) \right]^2}}$$

$$\sigma_M = \frac{0.9 * 640 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{1 + 3 \left[2 \frac{22,051 \text{ mm}}{21,19 \text{ mm}} \left(1,155 * 0.18 + \frac{3}{\pi * 22,051 \text{ mm}} \right) \right]^2}}$$

$$\sigma_M = 427 \text{ N/mm}^2$$

-Suurin saavuttava aksiaalivoima saadaan edellä saatua tulosta käyttäen kaavasta F_M

$$F_M = \sigma_M * A_s = 427 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 353 \text{ mm}^2 = 150731 \text{ N}$$

-Ruuvin kiristysmomentin määrittäminen M_A

- D_{km} = keskimääräinen kitkan vaikutusympyrän halkaisija
- M_A = kiristysmomentti
- μ_k = ruuvin kannan ja sen alustan välien kitkakerroin 0,12...0,18
- μ_g = kierteen kitkakerroin 0,10...0,18

$$D_{km} = \frac{D_k * D_b}{2} = \frac{44 \text{ mm} * 26 \text{ mm}}{2} = 35 \text{ mm}$$

$$M_A = \frac{1}{2} F_M * \left(1,155 * \mu_g * d_2 + \mu_k * D_{km} + \frac{P}{\pi} \right)$$

$$M_A = \frac{1}{2} 150731 \text{ N} * \left(1,155 * 0,18 * 22,051 \text{ mm} + 0,18 * 35 \text{ mm} + \frac{3}{\pi} \right)$$

$$M_A = 892300 \text{ Nmm} = 892 \text{ Nm}$$

Laskentaa jatkettiin standardin EN ISO 898-1:2013, M24 ruuville antamalla kiristysmomentilla. Sähkösinkitylle ruuville, ilman voitelua tapahtuvalle asennukselle ko. kiristysmomentti on 665 Nm. Tässä tapauksessa kierteen- sekä mutterin ja kannan väliseksi kitkakertoimiksi valittiin suurimmat sekä pienimmät arvot varmuuden lisäämiseksi. Laskenta ruuvin vetojännitykselle ja aksiaalivoimille lasketaan näiden arvojen mukaan, tällä saadulla voimalla siis yksittäinen ruuvi puristaa kiinnityspintoja toisiinsa sekä toisaalta tämä vetojännitys vallitsee ruuvissa.

$$F_M = \frac{2 M_A}{1,155 * \mu_g * d_2 + \mu_k * D_{km} + \frac{P}{\pi}}$$

$$F_{Mmin} = \frac{2 * 665000 \text{ Nmm}}{1,155 * 0,18 * 22,051 \text{ mm} + 0,18 * 35\text{mm} + \frac{3}{\pi}}$$

$$F_{Mmin} = 112300 \text{ N} = 112,3 \text{ kN}$$

$$F_{Mmax} = \frac{2 * 665000 \text{ Nmm}}{1,155 * 0,10 * 22,051 \text{ mm} + 0,12 * 35\text{mm} + \frac{3}{\pi}}$$

$$F_{Mmax} = 172700 \text{ N} = 172,7 \text{ kN}$$

Tapauksessa yksi, nosturin puomin ollessa suorassa

Tapauksessa, jossa puomi on suorassa, kohdistuu ruuveihin suurin aksiaalivoima F_A . Laskenta suoritettiin ensin tarkastelemalla kuinka paljon yksittäinen M24 ruuvi kestää vetokuormitusta ja vertaamalla tätä arvoa ruuviin kohdistuviin jännityksiin. Las-

kennassa on käytetty edellisen kohdan pienemmillä kitkoilla laskettua arvoa, laskennan varmuuden lisäämiseksi. Tuloksista voitiin päätellä, että jo yksi M24 ruuvi kantaisi vaaditun kuorman, joten laskentaa ei nähty tarpeelliseksi jatkaa pitemmälle. Asettumisen hallinta lasketaan seuraavalla kaavalla, jossa ulkoisia voimia verrataan ruuvien myötörajaan:

- F_A = Nosturista aiheutuva ulkoinen kuorma
- F_M = Ruuvien esikiristyksen aiheuttama voima

$$F_M + F_A \leq \frac{\pi d_0^2}{4} R_e$$

$$172700 \text{ N} + 42740 \text{ N} \leq \frac{\pi (21,19 \text{ mm})^2}{4} 640 \text{ N/mm}^2$$

$$215400 \text{ N} \leq 225700 \text{ N}$$

Tapauksessa kaksi, puomin ollessa käännettynä sivulle 90°

Tässä tapauksessa kohdistuu kiinnityspintaan leikkausvoimaa, jonka pulttiliitoksen on kyettävä pitämään kitkan avulla. Ruuviryhmän keskipisteeseen tulee statiikan mukaan 42740 N suuruinen vaakasuuntainen voima, joka pyrkii kallistamaan nosturia. Laskenta suoritettiin käyttämällä voimatasapainon kaavaa, jossa vastakkain ovat ruu-

viryhmän aikaan saama puristusvoima ja statiikalla laskettu kitkavoima, jota verrattiin metallien väliseen kitkakertoimeen. Liitospinnan kitkakerroin Verhon 2013, 220. mukaan.

- Neljän ruuvin aikaan saama puristusvoima $N = 112300 \text{ N} * 4 = 449200 \text{ N}$
- Kitkavoima $F_{\mu} = 42740 \text{ N}$
- Kitkakerroin on oltava: $\mu \leq 0,336$ (puhdas valssihilse, standardi hajonta 0,070)

Voimatasapaino liitospinnalla:

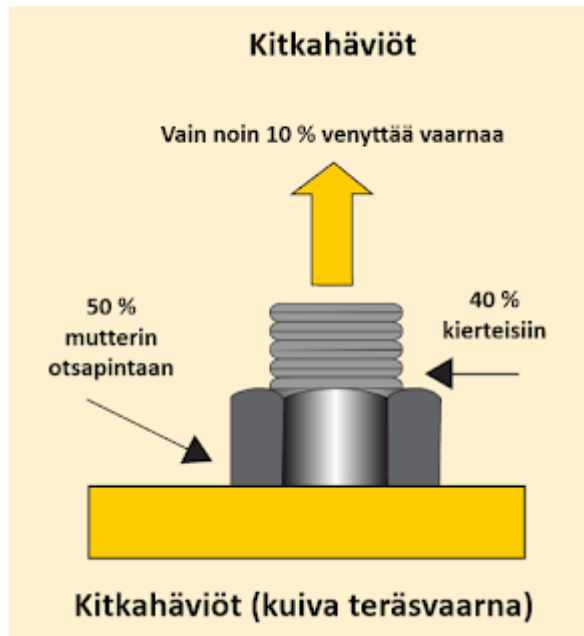
$$F_{\mu} = \mu * N \rightarrow \mu = \frac{F_{\mu}}{N} = \frac{42740 \text{ N}}{449200 \text{ N}} = 0,0951$$

Kitkaliitoksen varmuuskertoimeksi tulee: $0,336 / 0,0951 = \mathbf{3,533}$

Ruuviliitoksen pohdinta ja varmistaminen

Näissä tapauksissa ruuviliitosten laskentaa on yksinkertaistettu melko paljon, tuloksista on kuitenkin mielestäni havaittavissa ruuviliitosten kriittiset pisteet ja laskentojen hyväksyttävä varmuus. Tarkempia tuloksia saavuteltaessa olisi syytä ottaa huomioon ruuvin ja liitettävien osien jousivakiot, sekä laippojen taipumasta aiheutuva lisäkuorma ruuveille. Tuloksia arvioitaessa on huomioitava, että ruuviliitokseen luotettavuuteen vaikuttaa oleellisesti laskuissa käytetyt kitkakertoimet ja kiristysmomentit. Lisäksi varmuuteen oleellisesti vaikuttava asia on asennuksen aikainen todellinen ki-

ristysmomentti ja käytön aikainen höllentyminen. Ruuviliitoksessa suurin osa vääntömomentin aiheuttamasta kiristysvoimasta häviää liitoksessa oleviin kitkoihin, kierteiden voitelu vaikuttaa kitkaan ja saavutettavaan kiristysvoimaan. (Kuvio 15)

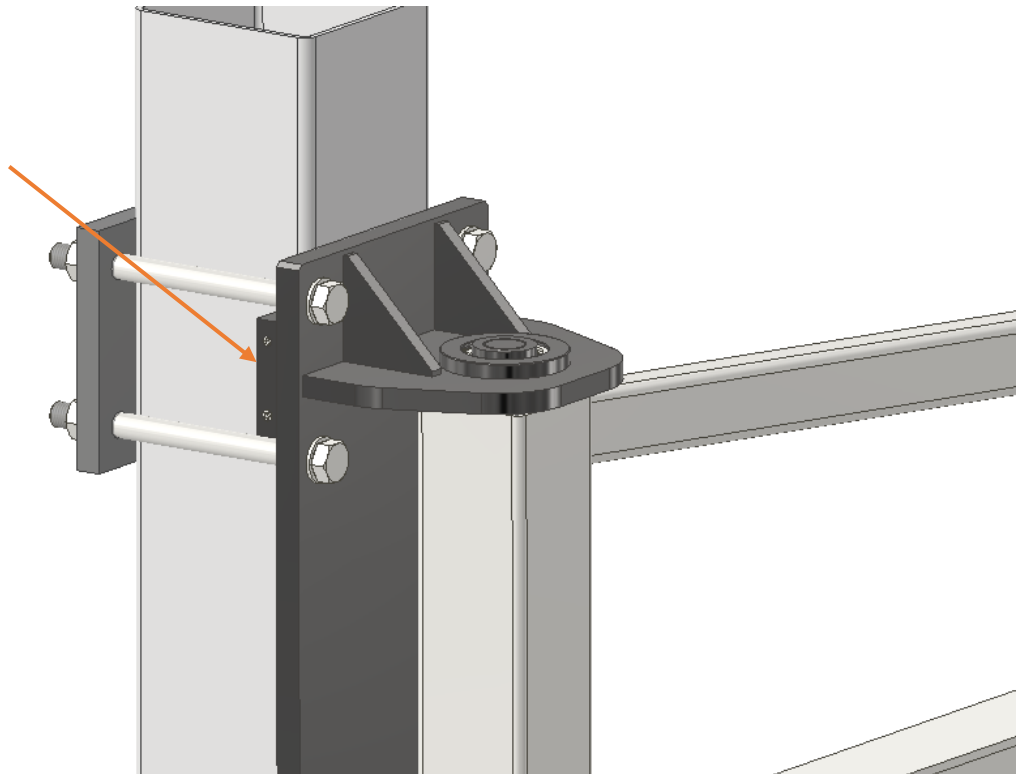


Kuvio 15 Ruuviliitokset kitkahäviöt (<https://laippaliitos.blogspot.com/>)

Lisäksi tuloksista on pääteltävissä, että kitkaliitokseen liittyy joka tapauksessa epävarmuutta, koska ei varmasti voida tietää liitospintojen todellista kitkakerrointa. Varmuutta voitaisiin lisätä suurentamalla ruuvien kokoa -> M30 tai lisäämällä ruuvien lukumäärää tai tukemalla liitosta muulla tavoin. Ruuvien koon kasvattaminen kasvattaisi vaadittua esikiristysmomenttia sekä kasvattaisi kiinnityslaippoihin kohdistuvaa kuormitusta ja aiheuttaa taipumaa näihin, mikä edelleen lisää epävarmuutta. Rakenteen

mittasuhteet haluttiin säilyttää järkevinä verraten markkinoilla oleviin tämän kokoluokan nostureihin, joten laippojen paksuutta ja ruuvien lukumäärää ei haluttu kasvattaa suunnitellusta.

Varmuutta päätettiin lisätä suunnittelemalla kiinnityslaippaan hitsattavat sivukorvakkeet, jotka on kiristettävissä pidätinruuveilla kiinnitettävään tolppaan. Tämä mahdollistaa myös saraosan helpomman esisäätämisen asennusvaiheessa. Kuviossa 16 on nosturiin yläpäähän rakenne ja suunniteltu sivutuki.

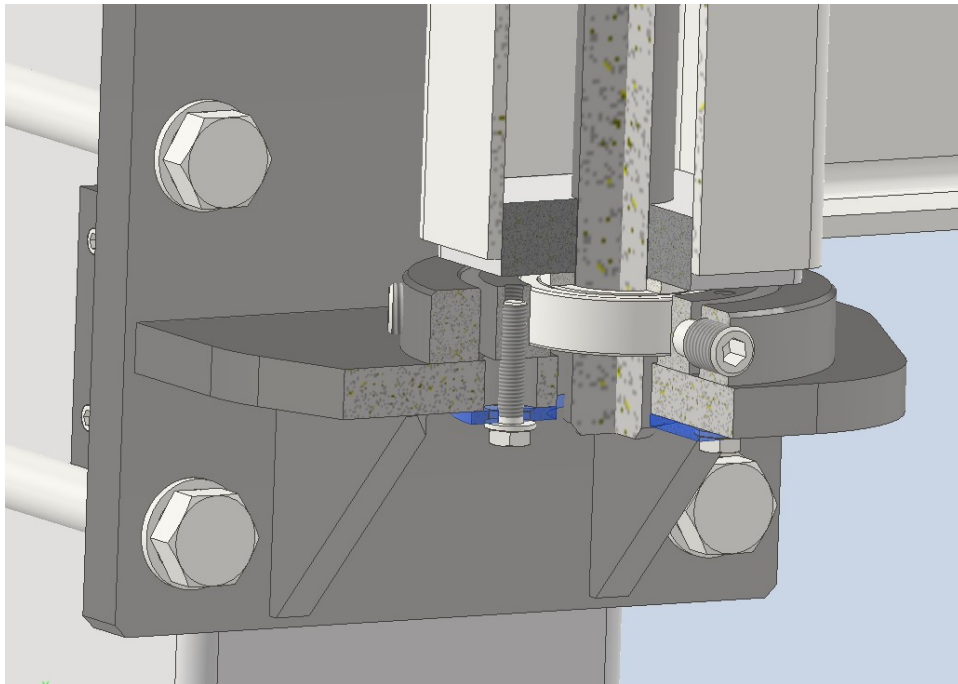


Kuvio 16 Kitkaliitoksen varmistus sivutuilla

5.3.4 Käyttöakselin säädön suunnittelu

Käyttöakselin säätö eli nosturipuomin vaaitsemiselle oli korkeat kriteerit säädön käytettävyydelle. Säätö päätettiin sijoittaa nosturin saranaosan alaosaan, helpomman saavutettavuuden vuoksi.

Rakenteessa yläpään laakeri on kiinteästi saranaosaan hitsatussa laakeripesässä. Alapään laakeripesää säädetään pidätinruuvein ja lukitaan kuudella M10 ruuvilla, kitkaan perustuvalla liitoksella. Pidätinruuvit toimivat tässäkin tapauksessa varmistuksena. Laskenta periaatteet olivat vastaavat, kuin edellä kuvailussa kiinnityslevyn liitoksessa. Kuviossa 17 on esitetty ratkaisu. Mallissa samanväriset osat ovat aina yhtä hitsattua rakennetta ja läpikuultava sininen rengas toimii laakeripesän kiinnitysruuvien aluslevynä, kyseinen aluslevy tarvitaan, koska saranaosassa olevien reikien täytyy sallia ruuvien liikkuminen puomia säädettäessä. Ratkaisu sallii laakeripesälle n. 5 millin säätövaran suuntaansa, joka tarkoittaa puomin päästä mitattuna n. 30 mm puomin vertikaali liikkeen molempiin suuntiin.



Kuvio 17 Käyttöakselin säätö

5.3.5 Rakenteen FEA - laskenta

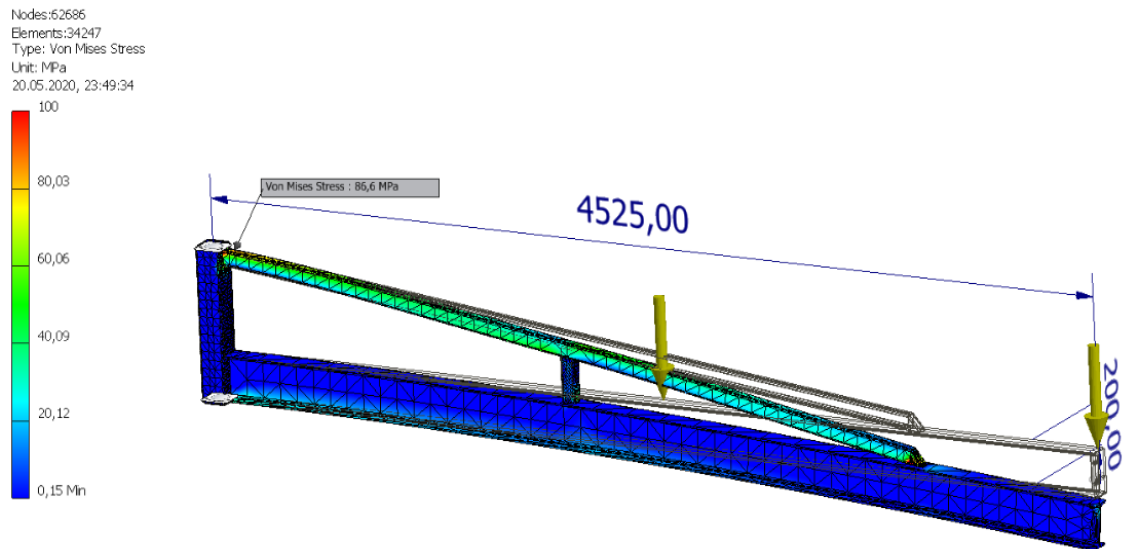
FEA muodostuu englanninkielisistä sanoista Finite Element analysis, joka tarkoittaa elementtimenetelmällä suoritettua tietokoneistettua laskentaa. Käyttäessä nimityksiä FEA ja FEM (Finite Element Method) – analyysit, puhutaan tyypillisesti samasta asiasta eri nimityksellä. FEA-laskenta numeerinen ratkaisumenetelmä, joka perustuu lujuusopin kaavoihin. Elementtimenetelmässä tutkittava kappale kuvataan elementtiverkolla, joka muodostuu joukosta kolmiulotteisia, tasomaisia tai janatyypisiä elementtejä. Elementit liittyvät toisiinsa kulmistaan, näitä liitoskohtia kutsutaan solmuiksi, laskenta perustuu näiden solmukohtien jännitysten interpolointiin. Elementtien määrän kasvattaminen pienentää laskennassa syntyvää virhettä, mutta kasvattaa laskentatehon tarvetta. FEA-laskenta voi olla joko lineaarista tai epälineaarista. Lineaarinen laskenta ei ota huomioon tutkittavan kappaleen muodonmuutoksia tai materiaalin lujuuden muutoksia myötörajaa lähestyessä. Lineaarinen FEA-laskenta sopii yksinkertaisuuden ja nopeutensa vuoksi tietyin varauksin kohteisiin, joissa rakenteen muodonmuutokset, kiertymät ja siirtymät oletetaan pieniksi suhteessa rakenteen kokoon, ja materiaali käyttäytyy lineaarisesti sekä elastisesti. Työssä käytetyllä ohjelmistolla, Autodesk Inventor Pro 2020 on mahdollista tehdä ainoastaan lineaarista FEA-laskentaa. (Autodesk 2020; Vertex 2020.)

FEM-analyysit tehtiin Inventor pro 2020 ohjelmistolla. Rakenteet jaettiin osakokonaisuuksiin, jolloin tarkastelussa olivat vain hitsaamalla toisiinsa liitetyt rakenteet. Rakenteiden mallinnuksessa käytetty Inventor:in frame editoria, jossa on valittu standardien mukaiset profiilit rakenneteräksille, materiaalina kaikissa osissa käytetty S355 terästä ja tämän materiaalin mukaisia mekaanisia arvoja.

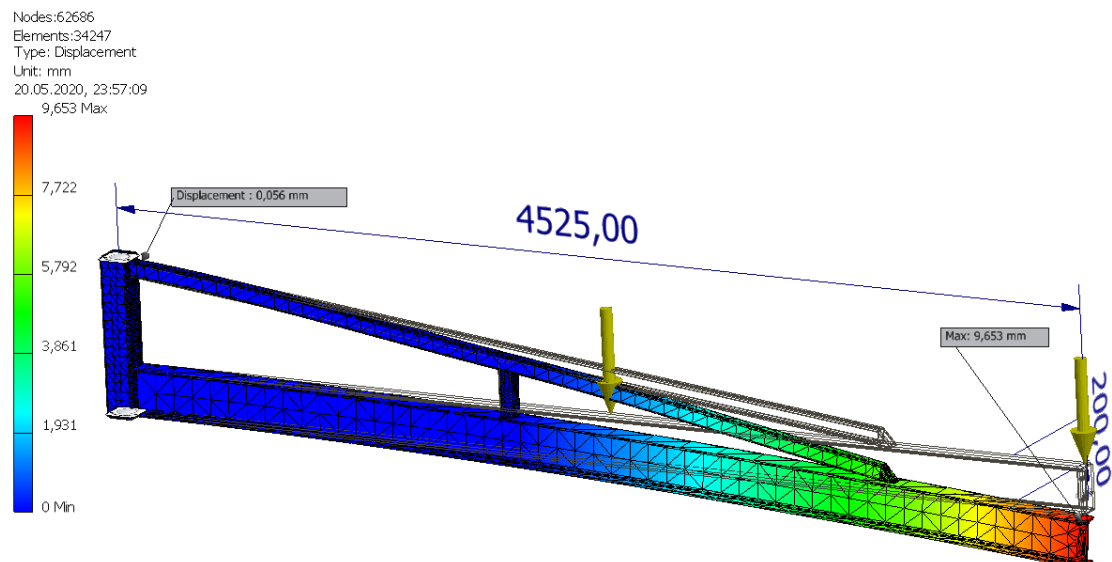
Nosturipuomin FEM-analyysi

Puomirakenteen FEM-analyysissä kontaktipintoina olivat akselinkaulat, joiden rajoitukset oli määritelty siten, että akselikaulojen pyörimisaste sekä alimmaisen akselinkaulan pystysuuntainen liike oli rajattu. Ulkoisina voimina käytettiin painovoimaa ja

puomin päässä 6550 N vaikuttavaa voimaa. Kun tuloksista jätetään huomioimatta kohdat, joissa esiintyy singulariteettivirhettä, saadaan Von mises jännitysten olevan luokkaa 87 Mpa. Suurimmaksi taipuman arvoksi saatiin 9,65 mm. Tämä on hyväksyttävällä tasolla, varmuuskertoimeksi tulee näin: $355 \text{ Mpa} / 87 \text{ Mpa} = 4.08 = 4$. Tilanteet kuvioissa 18 -19.



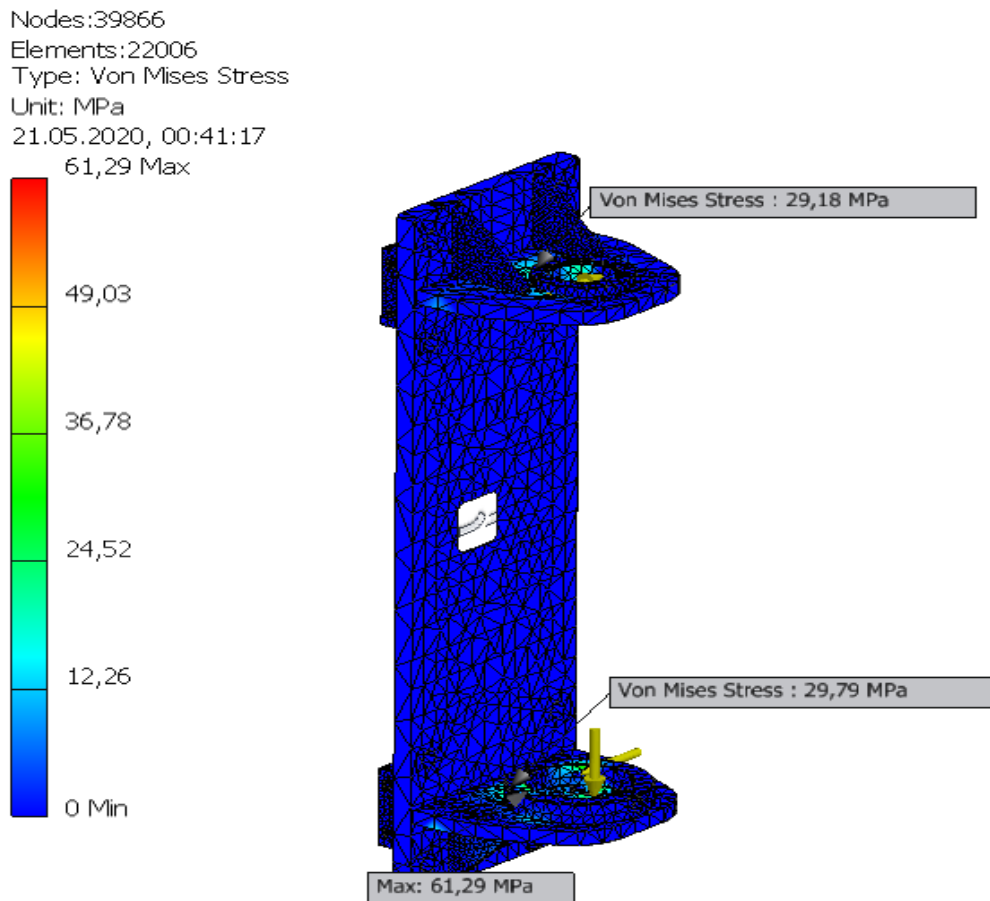
Kuvio 18 Nosturipuomin Von mises



Kuvio 19, Nosturipuomin taipuma

Saranaosan FEM-analyysi

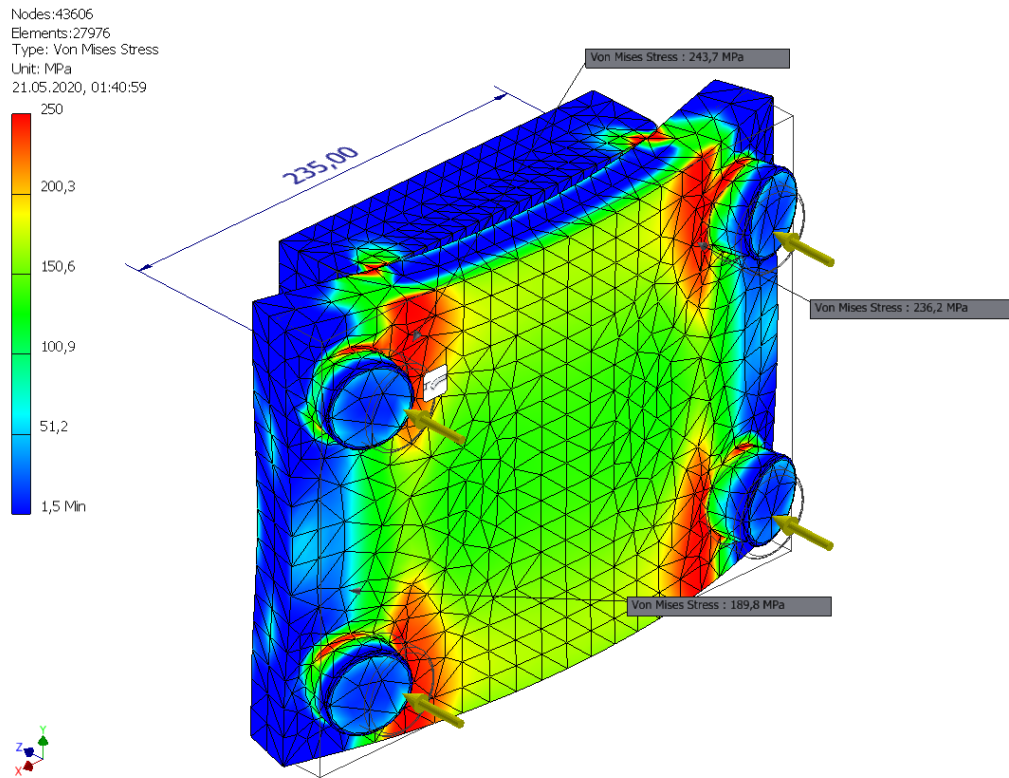
Saranaosan FEM-analyysissä rakenteelle kriittisimmäksi tilanteeksi havaittiin tilanne, jossa puomi on käännettynä sivulle ja kuormat tulevat sivuilta. Käytetyt kuormat saatiin aiemmin statiikalla *laakerikuormat*-laskuissa. Lisäksi puomin massa huomioitiin yhdeksi kuormaksi. Kontakti pintana oli kiinnityslevy. Tämä ei kuitenkaan vastaa aivan todellista tilannetta, koska nyt alemman laakerin kuormat eivät kulje suunnitellun kitkaliitoksen läpi. FEM-analyysia varten olisi ollut hyvä mallintaa laakeria simuloiva rengas, johon voimat olisi määrittää. Tätä ei kuitenkaan nähty tarpeelliseksi, koska saadut jännitykset olivat, tässäkin tapauksessa selvästi hyväksyttävällä tasolla. (kuvio 20)



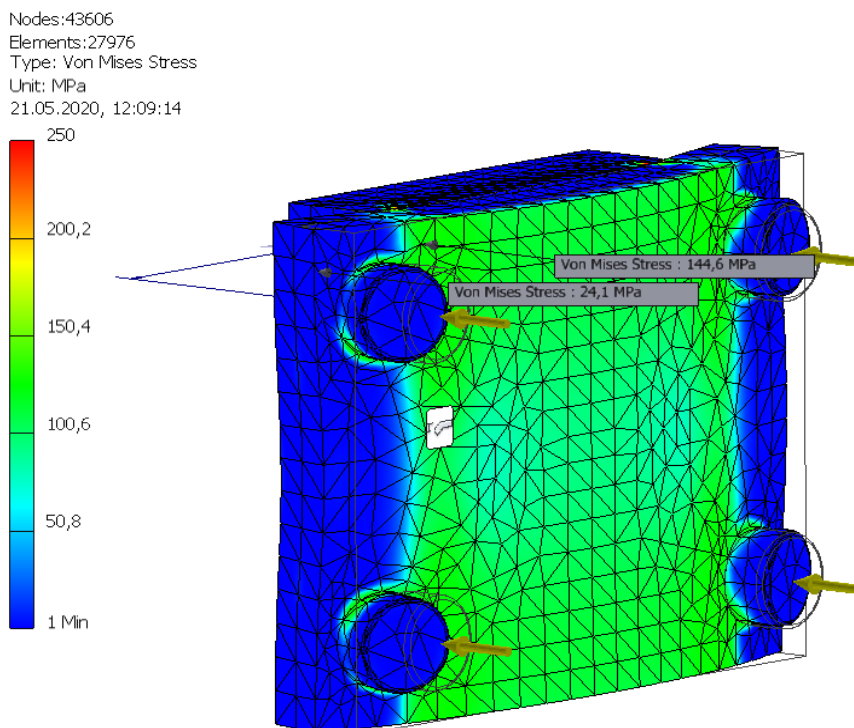
Kuvio 20 Sarana osan FEM-analyysi

Taaimmaisen kiinnityslevyn FEM-analyysi

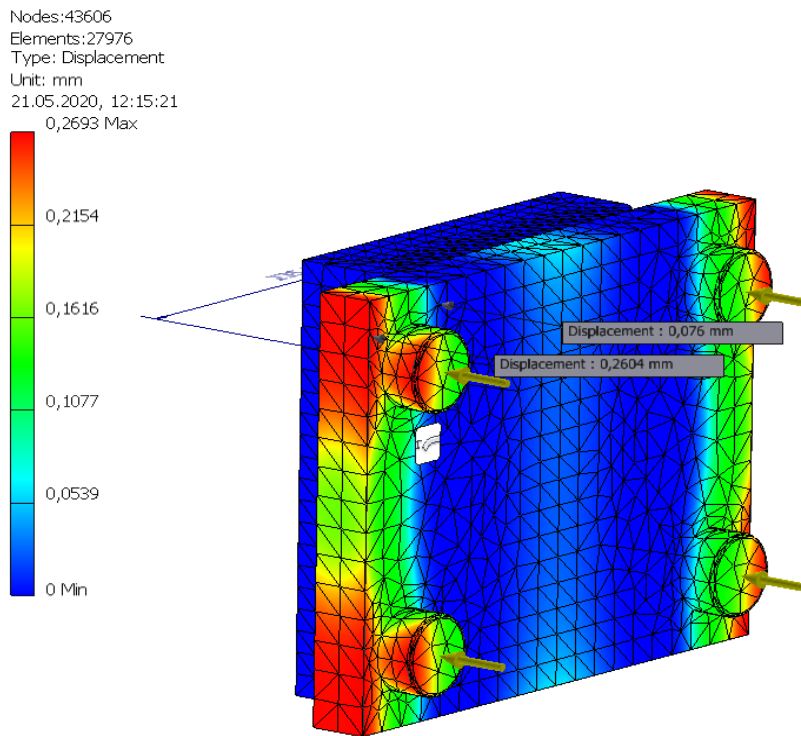
Kiinnityslevyn analysointia tarkasteltiin M24 kiinnitysruuvien levyä taivuttavan voiman kannalta. Aiemmin oli laskettu, että yksittäinen ruuvi saa aikaan 650 Nm kiristysmomentilla ja minimikitkoilla, 172,7 kN:n ja maksimikitkoilla 112,3 kN:n suuruisen esikiristysvoiman. Lisäksi ulkoinen 43 kN voima lisää ruuviryhmälle kohdistuvaa vetojännitystä. Tätä tilannetta simuloitiin FEM-analyysiin lisätyillä elementeillä. Kuvioissa 19-21 esitetty takimmaisen kiinnityslevyn tilanne. Rakenteeseen lisätty elementit, jotka kuvaavat kiinnitystolppaa ja ruuvien kantoja, joita kuormitetaan ruuvien esikiristysvoimilla sekä ulkoisella kuormalla. Tuloksiin täytyy suhtautua tietyin varauksin, koska ei tiedetä miten ruuviliitos ja siinä siirtyvät voimat todellisuudessa jakaantuu. Tuloksista on kuitenkin pääteltävissä, että kuormitus saattaa näissä osissa kasvaa kriittiseksi liiallisen esikiristyksen takia. Ehdotankin nosturiosan prototyypin asennusvaiheessa ja ruuveja kiristettäessä momenttiin, kiinnittämään huomiota levyjen taipumaan ja tarkistamaan sen hetkellisen kiristysmomentin, ylikiristämisen välttämiseksi. (Kuvio 21-23)



Kuvio 21 Kiinnityslevyyn kohdistuvat voimat suurimmillaan



Kuvio 22 Kiinnityslevyyn kohdistuvat voimat minimissään



Kuvio 23 Kiinnityslevyn taipuma minimissään

5.3.6 Riskien arviointi

Riskien arvioinnin menettelytapaan perehdyttiin jo luonnosteluvaiheessa, näin merkittävät riskit olivat jo tiedossa konetta suunniteltaessa ja näihin pystyttiin puuttumaan suunnittelu pöydällä. Varsinainen riskien arviointi tehtiin ennen viimeistelyvaihetta, vaarojen tunnistamiseen käytettiin standardissa SFS-EN 16851:2017 tunnistettuja vaaroja, kyseinen c-tyyppin standardi on suunnattu tämän tyyppiselle nosturille. Riskien arviointia varten tehtiin Excel-taulukkolaskenta ohjelmalla esitetyt lomakkeet, joita voidaan hyödyntää tämän tuotteen lopullisessa riskien arvioinnissa sekä yrityksen myöhemmissä projekteissa. Riskien arviointi tehtiin teoriaosiossa kuvailtua menetelmää mukailten. Liitteessä 3 on riskien arvioinnissa syntyneet dokumentit.

5.4 Viimeistely

Tuotteen viimeistelyvaihetta osin aloitettiin tämän opinnäytetyön aikana. Suunnitelmalle on vielä suoritettava huolellinen arviointi ennen täydellistä siirtymistä seuraaviin työvaiheisiin. Viimeistelyvaiheessa keskitytään valmistusteknillisiin asioihin, laaditaan työpiirustukset, tarkistetaan suunnitelma, viimeistellään lopulliset muodot ja laaditaan selvitys jatkotoimenpiteistä. On vielä mahdollista, että joudutaan palaamaan edellisiin vaiheisiin ja muuttamaan jotakin rakennetta, jos havaitaan jotain puutetta tai selviä virheitä. Tämän takia arviointi on syytä tehdä huolella, ennen kuin tuotteesta tehdään kaikki työpiirustukset ja dokumentit tai pahimmassa tapauksessa tuote ehtii jo tuotantoon. Työstä tehdään arviointia avustavat kokoonpanopiirustukset, joista käy ilmi käytetyt materiaalit, tuoterakenne ja päämitat, nosturin liikkeitä ja toimintaa on helpoin käydä läpi 3D-mallia arvioimalla. Tämän työn rajaaminen tähän kohtaan, jättää lukijalle vastuun olla ajattelematta suunnitelmassa olevia ratkaisuja toimivina sellaisenaan.

5.4.1 Dokumentointi ja merkinnät

Koneen merkinnät

Konedirektiivin (2006, liitteen 3) vaatimusten mukaisesti tehty tyyppikilpi sisältää ainakin seuraavat tiedot:

- valmistajan tai soveltuvin osin tämän valtuutetun edustajan toiminimi ja täydellinen osoite
- kuvaus koneesta
- CE-merkintä
- sarja- tai tyyppimerkintä
- mahdollinen sarjanumero
- rakennusvuosi eli vuosi, jona valmistusprosessi on saatu päätökseen

Nämä tiedot on suunniteltu toteuttavaksi ruostumattomasta teräksestä valmistettuun tyyppikilpeen, johon kyseiset tiedot laser-merkataan. Kuviossa 24 on suunniteltu tyyppikilpi, kiinnitettynä nosturiin niiteillä.



Kuvio 24 Tyyppikilpi

Standardin SFS-EN 16851: 2017, 27 mukaan nosturin puomiin on lisäksi merkittävä jokaisessa tilanteessa selvästi näkyvä, nosturin suurin sallittu nostokapasiteetti. Tämä merkintä on suunniteltu tehtäväksi maalamalla, nosturipuomin kummallekin puolelle teksti ”max 500 kg”. Lisäksi nosturi on maalattava huomio värillä.

Tekninen dokumentti

Nosturille on laadittava konedirektiivin mukainen tekninen dokumentti ennen nosturien ottamista käyttöön, dokumentin sisältö on kuvailtu tämän raportin *Lainsäädäntö* osiossa. Tätä työtä voidaan osin hyödyntää teknisen dokumentin vaatimusten täyttämässä.

Käyttöohjeet

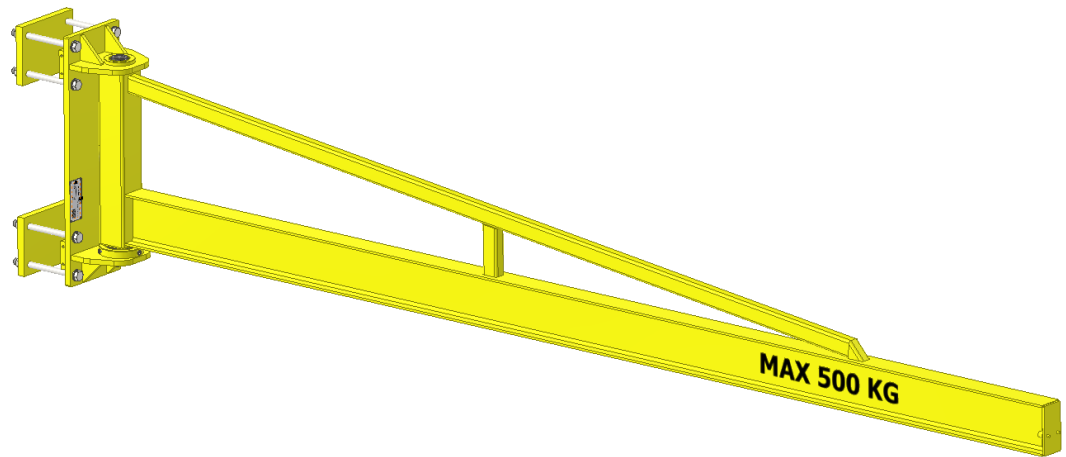
Käyttöohjeiden tulisi sisältää asennus-, huolto-, ja käyttämiseen liittyvät ohjeet. Käyttöohjeiden pääasialliseen sisällön havainnointiin voi tutustua lukemalla markkinoilla olevien nostureiden käyttöohjeita.

Käyttöohjeiden laadintaan on annettu ohjeita c-tyyppin standardissa SFS-EN 16851:2017, ko. standardissa viitataan käyttämään lisäksi standardeja ISO 9926-1, ISO 12480-1 ja ISO 15513.

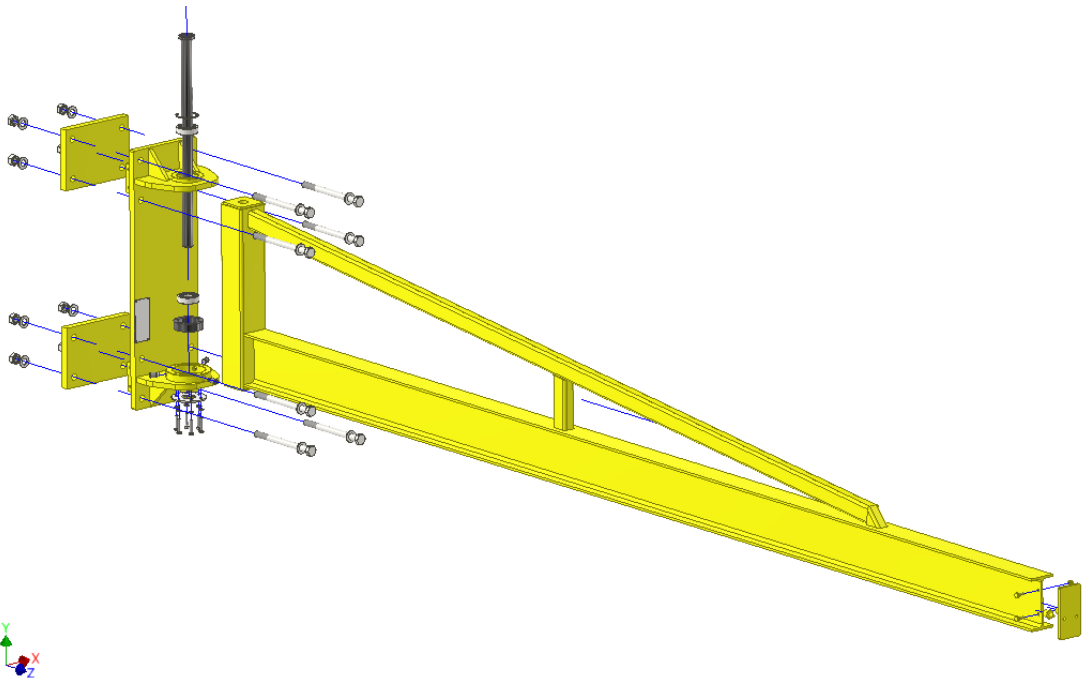
6 Työn tulosten esittely

Nosturi on suunniteltu valmistetavaksi yleisesti saatavista materiaaleista, huomioiden Ka-mu oy:n valmistustekninen rajoittuneisuus suurten osien koneistuksen suhteen sekä kustannusten rajoittaminen tavanomaiseen tasoon nähden. Työssä pyrittiin suosimaan valmiita leikeosia, jotka voidaan kokoonpano hitsata ilman esikoneistusta. Tuotteessa käytetyt pallomaiset rullalaakerit sallivat pienen kulmavirheen, joten välttämättä jälkikoneistusta ei vaadita ennen kokoonpanoa. Nosturin liikerata on noin 220°. Puomille ei ole jarrua vielä tässä suunnitelmassa, ja sen tarve arvioidaan vielä uudestaan. Sen tuleva mahdollinen rakenne ei tule kuitenkaan vaikuttamaan tämänhetkiseen rakenteeseen.

Liitteessä 4 on kokoonpanokuvat, joista selviää käytetyt materiaalit ja tuoterakenne. Kuvioissa 25 ja 26 on nosturin yleiskuva maalattuna sekä informatiivinen räjäytyskuva.



Kuvio 25 Yleiskuva valmiista nosturista



Kuvio 26 Räjätyskuva nosturista

7 Pohdinta ja luotettavuuden arviointi

Työn tavoitteena oli suunnitella toimeksiantajan vaatimuksia vastaavat työpistenosturit, joiden olisi valmistuttuaan täytettävä konedirektiivin vaatimukset. Osatavoitteena oli tehdä selvitys CE-merkinnän edellyttämistä toimista nostureiden valmistuttua. Suunnittelutyö tehtiin 3D-mallinnuksen ja kokoonpanopiirustusten osalta siten valmiiksi, että suunnitelman arvioiminen, niiden ja tämän opinnäytetyön avulla on mahdollista. Työn rajaaminen tähän pisteeseen vaikutti olevan perusteltua työnlaajuuden vuoksi. Lisäksi, koska CE-merkinnän vaatimat dokumentit tulisi laatia valmiille ja testatulle koneelle, on näiden tekeminen siltäkin osin perusteltua myöhemmin.

Tässä työssä itse mekaaninen suunnittelu oli vain yksi osa-alue. Toinen ajallisesti mittava osa-alue oli lainsäädännön ja standardien selvitys, ja kolmas osa-alue oli tämän opinnäytetyön kirjoittaminen.

Mekaanisen suunnittelun työkulusta on selvästi huomattavissa vaiheittainen eteneminen kohti valmista tuotetta, kuten systemaattisessa suunnittelussa on tarkoituskin. Tässä mielestäni onnistuttiin hyvin. Palatakseni vielä koko projektin työnkulkuun, tehtiin mekaanisen suunnittelun tehtävän selvitys ja luonnostelun aloitus hyvissä ajoin projektin alussa, jotta ideoilla olisi aikaa hautua. Luonnosteluvaiheessa tehty markkina katsauksen huolellinen tekeminen ja vertailu, osoittautui erittäin tärkeäksi vaiheeksi, koska tämä vaihe määritteli pitkälle työn lopputuloksen ja välttyttiin projektin myöhemmissä vaiheissa parempien ideoiden esiin tulemiselta. Välttyttiin ”noinhan se olisi pitänyt tehdä”- tilanteilta.

Mekaanisessa suunnittelussa työläin vaihe oli kehittäminen, tämä vaihe sisälsi paljon mallintamista, laskentaa ja yksityiskohtien miettimistä. Myös tietoperustaa jouduttiin laajentamaan ratkaisuja etsiessä ja perusteltaessa. Tuotteen perusrakenne mukailee markkinoilla olevia ratkaisuja, joten tämän suhteen työ sujui helposti. Haasteellisuus oli työn yksityiskohtien suunnittelussa, yksi mietintää aiheuttanut kohta oli puomin säädön toteuttaminen. Työtä helpotti huolellisesti tehdyt edelliset vaiheet, nämä osaltaan rajasivat ideoita ja antoivat jonkinlaisen mielikuvan millainen kokonaisratkaisun tulisi olla. Avainasemassa tämän ratkaisun toteuttamiseen oli käyttöakselin

laakerointitavan keksiminen kyseisellä tavalla. Tämä laakerointitapa poikkesi täysin yrityksen vanhoista nostureista, jotka osaltaan johtivat mieltä toisen tyyppiseen ratkaisuun, joka ei kuitenkaan olisi soveltunut tolppiin kiinnitetyksi tarkoitetuille nostureille. Lisäksi kehittäelyvaiheeseen sisältyi suhteellisen paljon iteratiivista laskentaa mallien tarkentuessa. Ruuviliitoksen laskennassa yksinkertaistettiin tilanteita melko paljon ja käytettiin suuria varmuuskertoimia, kuten kitkakertoimet valittiin aina taulukon epäedullisemmasta laidasta. Lopullisen varmuuden kuitenkin voidaan olettaa olevan suhteellisen luotettava. Suunnittelussa on jokaiseen liitoskohtaan, tehty jokin varmistus, joka varmistaa liitoksen, lisäksi vertailu markkinoilla oleviin ratkaisuihin puoltaa saatuja tuloksia.

Lainsäädännön ja standardien selvitys aloitettiin tehtävän selvityksen loppupuolella. Selvitys eteni siten, että ensin tutkittiin lainsäädäntöä ja konedirektiiviä. Edeten standardien hierarkiaan ja konekohtaisiin c-tyyppin standardiin. Standardien selvitykseen käytettiin erittäin paljon aikaa, siihen nähden miten puutteelliseksi tieto tai ainakin tämä tunne tästä vieläkin jäi. On huomattava, että koneisiin ja nostureihin liittyvät standardit ovat erittäin laaja-ala ja ovat ns. lakitekstiä, jonka ymmärtäminen ei ollut aina kovin yksinkertaista toistuvien viittausten takia, nyt annetussa aikataulussa. Eri-tyyppisen haastavaksi koin nosturistandardeihin liittyvät laskentakertoimet ja niiden sisäistämisen. Vaikka työssä käytetty konekohtainen c-tyyppin standardi rajasikin tarvittavia laskentakertoimia, vaatii näiden ymmärtäminen muihin viitattuihin nosturistandardeihin perehtymistä. Lisäksi työtä ohjaava c-tyyppin standardi oli julkaistu ainoastaan englanninkielisenä, joka osaltaan toi epävarmuutta käännösten ymmärtämisessä. Työ sisälsi useisiin eri standardeihin perehtymistä, joiden sisällöstä suurin osa oli jo entuudestaan tiedossa tai itsestään selvyiksi ”hyvien konepaja tapojen” mukaisesti toimiessa. Tässä mielessä selvityksen toteutusta ei voida pitää onnistuneena, toisaalta lainsäädäntö, konedirektiivi, ja standardien huomioiminen suunnitellessa tuli täten tutuksi. Kokemattomuus näkyi selvästi tässä. Tulevaisuudessa vastaavan projektin tullessa vastaan, olisi suositeltavampaa käyttää enemmän standardisointiin perehtyneiden asiantuntijoiden apua epäoleellisen tiedon suodattamisessa.

Tehtyä työtä kokonaisuutena arvioidessa, on mietittävä työn laadun ja luotettavuuden suhteen omia luotettavuus mittareita, koska työtä ei tehty minkään yksittäisen

tutkimusmenetelmän mukaisesti. Työn tuloksia tulisi verrata projektin toimeksiantossa määriteltyihin tavoitteisiin, työn alussa määriteltyyn vaatimuslistaan, käytetyn tutkimusmateriaalin laajuuteen ja luotettavuuteen sekä suunnittelussa käytetyn menetelmän sopivuutta lähtökohtiin ja tavoitteisiin nähden. Silti on huomattava, että käytetyt menetelmät eivät takaa aina samanlaista lopputulosta, vaan ovat riippuvaisia lähtökohdista. Uskoisin, että lopputulema olisi ollut tässäkin tapauksessa optiimoidumpi, jos nostureiden suunnittelusta olisi ollut tekijällä aiempaa kokemusta. Toisaalta työn laajuus ja monialaisuus johtivat siihen, että jouduttiin monia asioita yksinkertaistamaan ja tutkimaan ilmiöitä verrattain pintapuolisesti, saavuttaakseen työn päätavoitteet työhön suunnitellussa aikataulussa.

Jatkotoimenpiteitä nostureiden saattamiseksi tuotantoon voisivat olla; suunnitelman arviointi ja hyväksyntää seuraava viimeistelyvaiheen loppuun saattaminen, tukirakenteisiin kohdistuvien dynaamistenkuormien laskenta, rakenteen stabiliteetin varmistuslaskenta kiepahduksen kannalta sekä asennus-, huolto-, ja käyttöohjeiden laadinta ja teknisen dokumentin tuottaminen.

Työn tekemistä helpotti aiempi työkokemus toimeksiantajalla, niin koneistajana kuin suunnitteluinsinöörin virkaa tekevänä harjoittelijana. Työtä tein pääasiassa omatoimisesti, osin etätyönä kotoa käsin ja osin Ka-mu oy:n tiloissa.

Lähteet

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M., Välimaa, V. & Söderström, W. 2003. Koneenosien suunnittelu. 4-5.p. Porvoo: WS Bookwell oy

FEA-laskennan teoriaa. Vertex. 2020. N.d Viitattu 18.5.2020. <https://kb.vertex.fi/fea2017fi/tutustu-tarkemmin-ominaisuuksiin/yleiset-aiheet/fea-laskennan-teoriaa>

FEA software. Autodesk. 2020. N.d. Viitattu. 18.5.2020. <https://www.autodesk.com/solutions/finite-element-analysis>

Havainnekuva Koneeranesin käyttämästä säätömekanismista. PDF-esite ladattavissa Erlatek Oy:n www-sivuilta. N.d. Viitattu 18.5.2020. https://www.erlatek.fi/muut_tuotteet/kevytnosturituotteet

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 134.

Kierteen kitkahäviöt. Laippaliitosten laadunhallinta. 7.11.2019. Viitattu 21.05.2020. <https://laippaliitos.blogspot.com/>

Kito Erikkilä seinäkääntönosturi. Nd. Viitattu. 18.5.2020. (<https://www.erikkila.com/fi/prosystem-jib-cranes/wall-mounted-jib-cranes/>)

Koneasetus. 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Viitattu 06.02.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>

Konedirektiivi. 2006/42/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. annettu 17.5.2006. Viitattu 16.5.2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=EN>

Konelaki. 2004/2016. Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta. Viitattu 06.02.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041016>

Koneturvallisuuden standardien suhde lainsäädäntöön. N.d. Artikkel Metsta:n sivustolla. Viitattu 06.02.2020. http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden_teemasivut/standardisointi/01-02-00.php

Machinetool. Prosystem-seinäkääntönosturit. Lisätietoja. N. d. Viitattu 19.05.2020. <https://www.machinetool.fi/nostolaitteet/nostimet/prosystem-seinakaantonosturi>

Nilsen, F. 2020. Ohjeistus oikean c-tyyppin standardin valintaan. Sähköpostiviesti 6.3.2020. Vastaanottaja J.Humppi. Metsta:n asiantuntijan ohjeet opinnäytetyötä tekeväälle opiskelijalle.

Ote Erikkilä kääntönosturit asennus - ja huolto-ohjeista. N.d. Viitattu 18.5.2020. <https://www.machinetool.fi/hs-fs/hub/410575/file-1657290269-pdf/Kayttoohje-pankki/ns/30-sarja/kaantonosturi-prosystem-l-palkki.pdf?t=1526472542278>

Ote Tuotekno Oy:n nosturi esitteestä. N.d. Viitattu 18.5.2020 <http://tuotetekno.fi/wp-content/uploads/2019/03/sein%C3%A4k%C3%A4%C3%A4nt%C3%B6site-2019.pdf>

SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen.

SFS-EN 16851:2017 Cranes. Light crane systems.

Siirilä, T., 2002. Koneturvallisuus – EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. 1. painos. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Siirilä, T., & Tytykoski, K. 2016. Koneturvallisuuden käsikirja. 2.painos. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

SKF Tuotteet Vierintälaakerit. N.d. Viitattu 17.5.2020. <https://www.skf.com/fi/products/rolling-bearings>

Standardien hierarkia. N.d. Artikkel Metsta:n sivustolla. Viitattu 06.02.2020. http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden_teemasivut/standardisointi/01-03-00.php

Tuotetekno ylätuettu seinäkääntönosturi. N.d. Viitattu. 18.5.2020 <http://tuotetekno.fi/tuotteet/nosturit/ylatuetut-seinakaantonosturit/>

Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Porvoo: WSOY.

Valtanen, E. 2016. Tekniikan taulukkokirja. 21. painos. Genesis-Kirjat Oy.

Yli-marttila, M., Järvenpää, J., Kivinen, P., Hämäläinen, V., & Marjamäki, H. 2004. Tu-
vallisuu den huomiointi nostoapuvälineiden suunnittelussa ja käytössä. Viitattu.
02.02.2020. [https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2004/tutkimusraportti_nos-
toapu_1.pdf](https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2004/tutkimusraportti_nostoapu_1.pdf)

Liitteet

Liite 1. Vaatimuslista

Vaatuslista			1. painos Helmikuu 2020
Konepaja kääntöpuominosturi			Sivu: 1
Muutos	Luokka (Vaatimus vai Toive)	Vaatimukset	Huomiot
		Geometria	
	V	Kokonaispituus kiinnityspinnasta puomin päähän = 4700 mm	
	T	Malliltaan ylätuettu	
	V	Puomin kääntösäde yli 180 astetta	
		Voimat ja kinematiikka	
	V	Maksimi nostokyky 500 kg	
		Energia	
	V	Käytetään xxxx-mallin sähköistä nostolaitetta, huomioi kaapelointi rakenteissa	
		Turvallisuus ja ergonomia	
	V	Noudatettava konedirektiivin vaatimuksia	
	T	Kevyt liikkeinen	
		Valmistus	
	V	Valmistettavissa xxxx-yrityksessä	
	V	Käytetään yleisesti saatavilla olevia materiaaleja, S355	
		Asennus	
	V	Asennettavissa perinteisin työkaluin	
		Käyttö	
	V	20 vuotta	
	V	Nostokertoja yli 20000 kpl	
		Huolto, kunnossapito	
	T	Huoltovapaa	
	T	Säädettävyyys(vaaitus) tehtävissä kohtuullisen helposti	
		Kustannukset	
	T	Hintatason vastattava markkinoilla olevien tuotteiden tasoa	
		Aikataulu	
		Suunnittelu oltava valmis 30.4.2020	
		Korvaa painoksen : xxxxx	Laatinut: Janne Humpppi

Liite 2. Ote SKF:n laakerinvalinta laskurin tuloksista


Calculation results

Operating conditions

Lubrication & Contamination
Grease
LGMT2

Select calculation(s)

- Minimum load
- Equivalent dynamic load
- Bearing frequency
- Friction and power loss
- Adjusted reference speed
- Static safety factor
- Fits and tolerances



Forces: Radial (kN) 44, Axial (kN) 9, Speed (rpm) 100, Temperature (°C) Inner ring 20, Outer ring 20

Add load case

Unfold all

BEARING PROPERTIES 22208 E

MINIMUM LOAD $P_m: 0.9 \text{ kN}$

BEARING LOADS $Q/P: 1.5$

STATIC SAFETY FACTOR $S_0: 1.35$

FRICITION $M: 4.630 \text{ Nm}$, $P_{\text{loss}}: 47 \text{ W}$

VISCOSITY $\nu: 3.62$

ADJUSTED REFERENCE SPEED $n_a: 1050 \text{ rpm}$

FREQUENCIES Please unfold to see results

Liite 3. (salattu)

Liite 4. (salattu)

Liite 5. Painotettu pistearviointi_Luonnostelu

Painotettu pistearviointi, Luonnostelu-jatkokehitys								
Perus konstruktio	Lisä tiedot, toteuksen selitys	Suunniteltu laakerointitapa	Huomioit	Luotettava s, painoarvo 0,5	Säädön yksinkertaisuus, painoarvo 0,3	Valmistettav uus, painoarvo 0,2	Koneen tekninen vaikutelma, painoarvo 0,1	Yht.
Säätö tolpan ja kiinnityslevyn välissä	Säätö kiinnityslevyä shimmaamalla tolppaan, jäykkälaakerointi puomille	Rulla-, tai urakuulalaakerit, paine-laakeri aksiaalil kuormille	Kiinnityslevyn ja tolpan välinen liitos hankalasti varmistettava, Laakerointi tarkka yhdensuuntaisuudelle ja kohtisuuruuksille, vaatii koneistamista tai pallomaisen paine-laakerin käytön (kuten edellinen)	20	10	100	50	38
Säätö erillisellä kiinnityslevyllä	Tehdään erillinen kiinnityslevy, säätö shimmaamalla sekä pidätinruuveilla saranaosan ja kiinnityslevyn väli	ks. edellinen	Itse akselin säätö helppo toteuttaa, vaatii kuitenkin akselin elämisen mahdollistavan rakenteen molemmista päistä sekä sen lukituksen. Huomioitava akksiaalikuorman kantava piste, joka ei saa väännättää laakeria	70	20	50	40	55
Säätö akselissa, laakerointi puomissa	Kiinteä laakerointi puomissa, säätö akseli toista päätä liikuttamalla saranaosassa	Pallomaiset rullalaakerit	Säädön toteutus osamäärällisesti monimutkaisempi, on kuitenkin toteutettavissa erillisillä laakeripesillä, joiden valmistus edullista.	80	100	30	60	82
Säätö laakeripesässä, laakerointi sarana- osassa	Akseli sovitteella puomissa, säätö toista laakereita liikuttamalla saranaosassa	Pallomaiset rullalaakerit		80	100	60	60	94