

KULJETINHISSIN SUUNNITTELU

Joni Jokilehto

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



Tekijä(t) JOKILEHTO, Joni	Julkaisun laji	Päivämäärä
	Opinnäytetyö	19.05.2014
	Sivumäärä	Julkaisun kieli
	43	Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty(X)
Työn nimi Kuljetinhissin suunnittelu		
Koulutusohjelma Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) MATILAINEN Jorma HENELL, Antti		
Toimeksiantaja(t) Finn Spring Oy ALI-HAAPALA, Hannu		
Tiivistelmä <p>Toimeksiantajayritys Finn Spring Oy laajentaa toimintaansa ja tuotannon tehokkuuden kehittyessä on myös varastokapasiteetin kasvettava. Toimeksiantaja kehittää tiloihinsa uutta automaattista korkeavarastoa ja kuormien pystysuuntaisen siirron automaattisessa korkeavarastossa suorittaa opinnäytetyössä suunniteltu kuljetinhissi.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella konepajalla valmistettavissa oleva kuljetinhissi. Lähtökohtana suunniteltavalle hissille oli nostaa ja laskea kuormaa seitsemältä tasolta, joista korkein on 13 metriä ja alin taso 0.36 m. Nostettava kuorma on 650 kg ja maksimikuorma 1000kg.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin käyttäen apuna systemaattisen tuotesuunnittelun työkaluja. Työssä käydään läpi neljä vaihetta, käynnistäminen esiselvityksineen, luonnostelu, kehittäminen sekä viimeistely.</p> <p>Kuljetinhissin lopullinen versio toimii vastapainohissin tavoin. Laitteeseen suunnitellun vastapainon tehtävänä on vähentää vaihdemoottorilta tarvittavaa vääntömomenttia. Lopullisena tuloksena yritykselle toimitettiin työkuvat, joiden perusteella kuljetinhissi on valmistettavissa.</p> <p>Jatkokehittämisen kannalta tulisi kuljetinhissiin tehdä joitakin muutoksia. Vaihdemoottorit tulisi sijoittaa samalle puolelle hissiä huollon helpottamiseksi. Kytintyyppi tulisi harkita uudelleen liiallisen joustamisen välttämiseksi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Koneensuunnittelu, Mekaniikkasuunnittelu, Tuotesuunnittelu, Koneenosat, Kuljetinhissi		
Muut tiedot		





Author(s) JOKILEHTO, Joni	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 19.05.2014
	Pages 43	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title Conveyor lift development		
Degree Programme Wellness Technology		
Tutor(s) MATILAINEN, Jorma HENELL, Antti		
Assigned by Finn Spring Oy ALI-HAAPALA, Hannu		
<p>Abstract</p> <p>The customer company of this thesis was Finn Spring Oy. The company is expanding its production and as the efficiency of production is increasing, the storage capacity must increase as well. As a part of the expansion, the company is developing a new automatic ASRS (Automatic Storage and Retrieval System) into their production area. In order for the ASRS to function, a conveyor lift is also needed. A conveyor lift is used for lifting and lowering loads.</p> <p>Thus, the goal of the thesis was to design a conveyor lift that could be manufactured in a workshop. The starting point for the design of the lift was the capacity to lower and lift loads between 7 floors, the highest floor being 13 m high and lowest 0.36 m. The nominal load was 650 kg and the maximal load 1000 kg.</p> <p>The thesis consists of four chapters; introduction and start up, sketching, development and finishing. The principles of systematic product engineering were followed in each chapter and step of the process.</p> <p>The final version of the conveyor lift functions the same way as a counterweight lift. The purpose of the counterweight used in the machine was to decrease the amount of torque needed from the gear motor. As a final result, the customer company was handed blueprint drawings, based on which the conveyor lift could be manufactured.</p> <p>In terms of future development, a couple of modifications should be made for the conveyor lift. First, the gear motors should be placed at the same side of the lift to facilitate maintenance. Second, the type of the coupling should be reconsidered to avoid excessive flexibility.</p>		
Keywords Mechanical design, Design engineering, Conveyor lift		
Miscellaneous		



Sisältö

1	Johdanto.....	3
2	Opinnäytetyön lähtökohdat ja tavoitteet.....	3
3	Systemaattinen tuotesuunnittelu.....	4
3.1	Luonnostelu	5
3.2	Kehittäminen	7
3.3	Viimeistely.....	8
4	Kuljetinhissin kehittäminen	8
4.1	Tehtävän asettelun selvittely.....	8
4.2	Toimintokuvaus.....	10
4.3	Kuljetinhissin luonnostelu.....	10
4.3.1	Vaatimuslista.....	10
4.3.2	Ideointi	10
4.3.3	Luonnokset ja niiden arviointi.....	11
4.4	Kuljetinhissin kehittäminen	12
4.5	Nostohaarukka ja vastapaino	21
4.6	Automatiikka.....	25
4.7	Kuljetinhissin viimeistely.....	25
5	Tulokset ja pohdinta	26
6	Lähteet	30
7	Liitteet	32
	Liite 1. Vaatimuslista.....	32
	Liite 2. Runkojen laippaliitos	33
	Liite 3. Runkopalkin nurjahdustarkastelu	36
	Liite 4. Akselin väsymismitoitus	37
	Liite 5. Laakerien kestoikä tarkastelu.....	41

Kuvio 1 Tuotesuunnitteluprosessi (Pahl & Beitz, 1990 51)	5
Kuvio 2 Ketjikäytön ratkaisumallit	12
Kuvio 3 Rungon kokoonpanokuva	14
Kuvio 4 Akselisto	15
Kuvio 5 Akselin työkuva.....	17
Kuvio 6 Nostohaarukan kokoonpanokuva	22
Kuvio 7 Pystyjohteiden mitoitus (U-Rail tuote-esite, Rollco Oy, 6)	24
Kuvio 8 Nostolaitteen pääkokoonpanokuva	26

1 Johdanto

Finn Spring Oy laajentaa toimintaansa ja heidän suunnitelmissaan on ottaa käyttöön uusi varastotila. Varasto tulee logistiselta toiminnaltaan olemaan automaattinen korkeavarasto, joka toimii ensimmäisessä vaiheessa neljässä kerroksessa, mutta on mahdollista että myöhemmässä vaiheessa otetaan käyttöön loput kolme kerrosta.

Opinnäytetyönäni suunnittelen Finn Spring Oy:lle kuljetinhissin automaattivarastoon, jonka tehtävä on liikuttaa kuljetinta ja kuljettimen päällä olevaa kuormaa vertikaalisuunnassa.

Kuljetinhissi suunnitellaan käyttäen apuna systemaattisen tuotesuunnittelun työkaluja. Tuotekehitysprojektissa käydään läpi neljä vaihetta. Käynnistämisvaihe on suoritettu toimeksiantajan puolesta, joten sitä en tässä opinnäytetyössä avaa enempää. Muut vaiheet ovat luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely.

2 Opinnäytetyön lähtökohdat ja tavoitteet

Opinnäytetyön lähtökohtana on suunnitella kuljetinhissi systemaattisen tuotesuunnittelun periaatteiden mukaan. Koska suunniteltava laite ei kuulu minkään standardin soveltamisalaan, on suunnittelussa käytetty apuna otteita eri standardeista, kuten hissistandardista, sekä suunnittelussa pyritään noudattamaan konedirektiivin 2006/42/EY asettamia sääntöjä ja ohjeita nostosovelluksiin.

Automaattivarasto rakentuu Best Hall Oy:n valmistamaan varastohalliin. Tiloissa lämpötila pidetään nollan yläpuolella, koska varastoitavat nesteet eivät kestä jäätymistä. Varastoitavat tavarat tulevat tuotantolaitoksesta kuljetinta pitkin varastoon, josta ne liikutetaan trukilla automaattivaraston ensimmäiselle siirtokuljettimelle. Tästä kuorma siirtyy kuljetinhissin päällä olevalle kuljettimelle. Kuljetinhissi nostaa kuorman haluttuun tasoon ja siirtää kuljettimen avulla sen sivuttaissiirtoon tarkoitetulle siirtimelle. Kuorma viedään halutun solan kohdalle sivuttaissiirtimellä. Kuorma

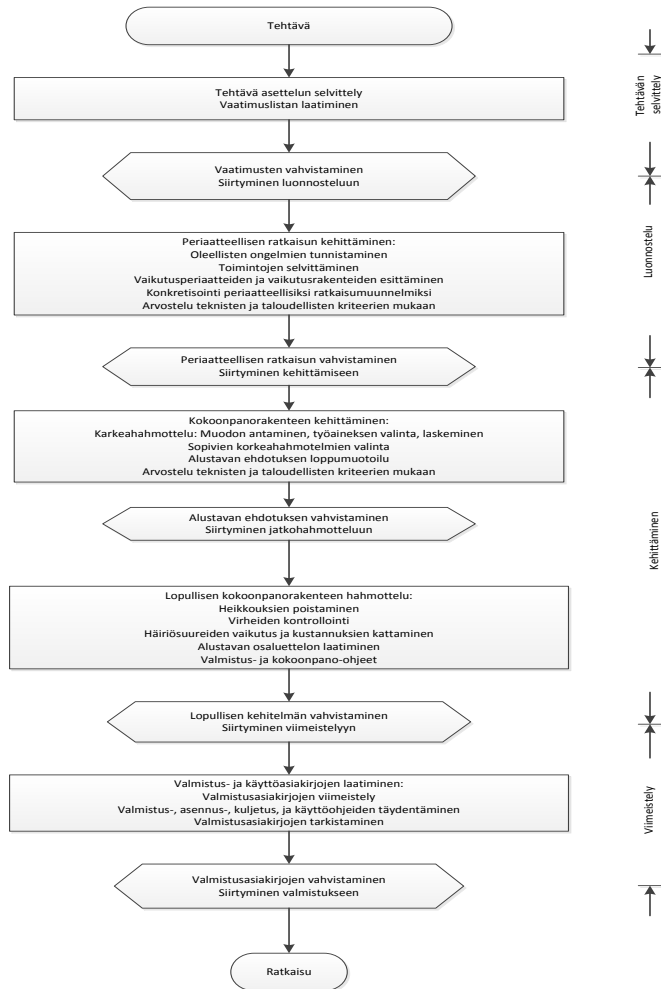
siirtyy solaan solavaunulla ja siitä tarkoitettulle hyllypaikalleen. Toinen hisseistä on kuorman laskemista varten.

Tavoitteena opinnäytetyössä on suunnitella kuljetinhissi ja toimittaa työpiirustukset, joiden avulla hissi voidaan valmistaa konepajalla. Riskianalyysia en tule tekemään, vaan riskianalyysin toteuttaa ulkopuolinen taho, kun automaattivarastolle haetaan CE-merkintää. Tuotedokumentaation laatii tilaaja tehtyjen työkuvien perusteella.

3 Systemaattinen tuotesuunnittelu

Tuotesuunnittelua voidaan kuvata systemaattiseksi, älykkääksi prosessiksi missä suunnittelijat luovat, arvioivat ja spesifioivat suunnitelmat laitteelle, systeemille tai prosessille, jonka rakenne ja toiminnollisuus saavuttavat asiakkaan tarpeet kuitenkin samalla pysyen asetetuissa rajoissa. (Dym, Little, Orwin & Spjut 2009, 6.)

Jokinen kuvaa tuotesuunnittelua seuraavalla tavalla: tuotesuunnittelua ei voi jäykästi asettaa tiettyyn kaavaan, vaan se on luovaa työtä. Tuotekehityshanke voidaan kuitenkin jakaa neljään eri vaiheeseen, käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. (Jokinen 2001, 14.) Tuotesuunnitteluprosessia ja sen vaiheita on pyritty kuvaamaan kuvion 1 mukaisella kaaviolla.



Kuvio 1 Tuotesuunnitteluprosessi (Pahl & Beitz, 1990, 51)

3.1 Luonnostelu

Normaalisti tuotesuunnitteluprojekti alkaa kun asiakas esittää ongelmansa. Asiakkaalla on toivomuksia ja tavoitteita liittyen suunniteltavan tuotteen rakenteeseen, toimintaan ja turvallisuuteen. Suunnittelijan ensimmäinen tehtävä on kääntää toiveet konkreettisiksi ja tarkoituksenmukaisiksi tavoitteiksi ja rajoituksiksi. (Dym ym. 2009, 18-19)

Tuotekehitysprojektin luonnosteluvaiheen tärkeimpänä päämääränä on löytää ratkaisuluonnoksia kehitettävälle tuotteelle. Luonnosteluvaiheessa ei ole tarpeen tehdä mittakaavaan sovitettuja tarkkoja piirustuksia, vaan on tärkeämpää tuoda ilmi ratkaisuluonnosta aukaisevia esimerkiksi käsivaraisesti piirrettyjä kuvia. Työmenetelminä voidaan käyttää erilaisia ideointimenetelmiä. (Jokinen 2001, 21.)

Ongelman ratkaiseminen on vaiheittainen prosessi, joka sisältää seuraavat vaiheet: ongelman havaitseminen, asiatietojen hankinta ja ongelman analysointi, vaatimusten ja tavoitteiden laatiminen, ratkaisuideoiden etsiminen, ideoiden karsiminen ja arvos- telu, valittujen ratkaisujen testaus sekä lopullisen päätöksen tekeminen. (Jokinen 2001, 21-22.)

Ongelman havaitseminen ja asiakkaan tavoitteiden selventäminen ovat tärkeä osa tuotesuunnitteluprojektia. Suunnittelijan on ymmärrettävä täydellisesti mitä asiakas haluaa. (Dym ym. 2009, 21.)

Vaatimusten ja tavoitteiden asettaminen tapahtuu laatimalla vaatimuslista. Vaati- muslistassa esitetään vaatimukset kolmessa eri luokassa. Kiinteät- ja vähimmäisvaa- timukset sekä toiveet. Kiinteät vaatimukset ratkaisun on poikkeuksetta täytettävä. Vähimmäisvaatimuksilla on raja-arvo, joka on saavutettava. Toivomukset otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan. (Jokinen 2001, 30.)

Konseptisuunnittelussa luodaan erilaisia ratkaisumalleja asiakkaan ongelman ratkai- suksi. Ratkaisujen ei tarvitse olla vielä erityisen tarkkoja, mutta niistä on oltava arvioi- tavissa kustannukset, paino- ja kokoluokka. Esiteltäviä konsepteja tulisi olla vähin- tään kaksi. On myös tärkeää että suunnittelija pystyy arvioimaan objektiivisesti omia suunnitelmiaan. (Dym ym. 2009, 22-23.)

Ongelmien ratkaisemiseksi hyvä keino on yleistäminen. Yleistämisellä tarkoitetaan ajattelutapaa jossa otetaan etäisyyttä kehitettävään kohteeseen. Tehtävänannon yksityiskohdat unohdetaan ja keskitytään laitteella suoritettavaan toimenpiteeseen. Esimerkiksi jos tavoitteena on suunnitella kuljetinhissi, yleistetään ongelma seuraa- vasti: Suunnittele korkeussuunnassa siirtyvä siirtokuljetin. Näin ei rajata suunnittelua mihinkään kaavoihin vaan keskiössä on suoritettava toiminto. (Jokinen 2001, 30.)

Yleistämisessä toimitaan seuraavien ohjeiden mukaan:

- Vaatimuslistan toivomukset ja vaatimukset, jotka eivät ole välttämättömiä unohdetaan
- Määrällisistä vaatimuksista siirrytään laadullisiin ja rajoitutaan vain tärkeim- piin kohtiin
- Määritellään ongelman ydin uudelleen

Tuotteella on aina jokin tehtävä mikä sen tulee täyttää. Tällaista tehtävää voidaan kuvata toimintokuvauksella. Toimintokuvaus on kahdesta kolmeen sanaa pitkä ja se sisältää substantiivin ja verbin. Tässä tapauksessa toimintokuvaus hissille olisi: nosta tai laske kuorma. Toimintokuvauksen ollessa monimutkainen tulee se jakaa osatoiminnoiksi. Tässä tapauksessa toimintokuvaus on kuitenkin hyvin yksinkertainen, joten tämä ei ole tarpeen. (Jokinen 2001, 30-31.)

Ideointitapoja ja työkaluja on esitelty paljon. Tärkeintä kuitenkin uuden tuotteen ideoinnissa on että ideointi esimerkiksi aivoriihessä on avointa ja ideoita ei tässä vaiheessa tuomita. (Mt.)

Ratkaisuluonnosten arviointi voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla. Kun ratkaisuluonnoksia on vielä paljon, pyritään karsimaan vaihtoehdot kahteen tai kolmeen. Tämä karsinta on hyvä suorittaa esimerkiksi karkean arvostelun avulla. Karkeassa arvostelussa poistetaan järkeistämällä ilmiselvät huonot ratkaisut. (Mt.)

Luonnostelun loppuvaiheessa ratkaisuluonnoksia on vain muutama jäljellä. Näistä vaihtoehdoista valinta voidaan tehdä painoarvotaulukkoa hyväksikäyttäen. Tässä arvostelussa selvitetään mikä ratkaisu vastaa parhaiten aikaisemmin asetettuja vaatimuksia ja tavoitteita. (Mt.)

3.2 Kehittäminen

Luonnosteluvaiheen päätyttyä siirrytään kehittelyvaiheeseen, jossa tekniset ja taloudelliset näkökohdat mukaan suunnitellaan tuote. Kehittelyvaiheessa suunnitellaan yksityiskohdat siihen pisteeseen, että viimeistelyvaiheessa työkuvat ja osaluettelot ovat yksikäsitteisesti valmistettavissa. (Jokinen 2001, 89).

Kehittelyvaihe alkaa mittakaavaan tehdyn konstruktion tekemisellä. Pohjana toimii luonnosteluvaiheen lopputuotteeksi valmistunut ratkaisuluonnos. On kuitenkin hyvä kerrata läpi tuotteelle asetetut vaatimukset ja tavoitteet. Tavoitteista ja vaatimuksista selviää konstruktion kehittämisen kannalta tärkeitä ominaisuuksia ja rajoituksia kuten, mitta-, toiminnalliset, ja raaka-ainevaatimukset (Mts. 90).

Kehittelyvaiheessa konstruktion suunnitteleminen alkaa heikkojen kohtien poistamisella. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi arvoanalyysia. On mahdollista että joudutaan perehtymään teoriaan syvällisemmin sekä käynnistämään tutkimushankkeita, jotta riittävä tieto heikkojen kohtien poistamiseksi saadaan. Lopputuloksena tästä vaiheesta on kuitenkin paranneltu konstruktio. Heikkojen kohtien poistamiskierroksia voidaan joutua tekemään useampia. Heikkoja kohtia poistetaan kuitenkin vain siihen asti, että tuotteen tarkka teknis-taloudellinen arviointi mahdollistuu (Mts. 90).

3.3 Viimeistely

Viimeistely työvaiheessa kehitelystä konstruktiosta tehdään työpiirustukset, työselitykset, asennus- ja käyttöohjeet, jotka tarvitaan tuotteen valmistamiseen ja käyttämiseen. Viimeistelyvaiheessa tehdään lopulliset päätökset koskien tuotteen raaka-aineita, valmistustapoja, toleransseja, pintakäsittelyä sekä muita viimeisteltäviä asioita (Jokinen 2001, 96).

4 Kuljetinhissin kehittäminen

4.1 Tehtävän asettelun selvittely

Ennen luonnosteluvaiheeseen siirtymistä on hyvä tehdä kattava esiselvitys tulevasta tuotteesta. Tähän esiselvitykseen kuuluvat esimerkiksi jo olemassa olevien ratkaisujen tutkiminen ja perehtyminen aiheeseen.

Tässä opinnäytetyössä noudatetaan konedirektiivin 2006/42/Ey mukaisia ohjeita ja rajoituksia. Vaikka työn aihe on kuljetinhissi, ei laite kuulu konedirektiivin mukaan hissejä koskevien rajoitusten ja ohjeiden piiriin. Konedirektiivissä kerrotaan hissi nimityksen alle kuuluvista laitteista seuraavasti:

Tässä direktiivissä 'hissillä' tarkoitetaan nostolaitetta, joka liikkuu määrittäytyjen tasojen välillä ja jolla on kuormankantava yksikkö, joka liikkuu yli 15 asteen kulmassa vaakatasoon nähden olevia jäykkiä johteita pitkin ja joka on suunniteltu kuljettamaan

— henkilöitä,

— henkilöitä ja tavaroita,

— yksinomaan tavaroita, jos kuorman kantavaan yksikköön pääsee helposti, eli henkilö voi mennä kuorman kantoyksikköön sisälle vaikeuksitta, ja sisäpuolella on ohjauslaitteet tai sisäpuolella oleva henkilö ulottuu ohjauslaitteisiin

(2006/42/Ey, 2006, 34)

Kuljetinhississä henkilön pääseminen kuorman kantavaan yksikköön on estetty.

Esiselvityksen aloitin etsimällä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Kirjallisuutta juuri kyseenalaiseen koneeseen ei löytynyt, mutta hisseihin, tavaralavahisseihin ja nostureihin liittyvää kirjallisuutta löytyi runsaasti. Yritin myös etsiä standardeja, jotka ohjaisivat tuotteen suunnittelemista ja antaisivat jonkinlaisia raja-arvoja tai suosituksia, mutta jälleen tällaisia standardeja löytyi vain edellä mainittuihin laitteisiin, eikä automaattisesti kuormattaviin nostosovelluksiin, joilla ei kuljeteta henkilöitä. Pehdyin kuitenkin löytyneisiin standardeihin ja pyrin soveltamaan niitä aina kun se oli mahdollista. En kuitenkaan seurannut standardeja pikku tarkasti, koska suunnittelemani nostosovelluksessa henkilövaaran mahdollisuus on hyvin pieni, johtuen suuresta varoalueesta hissien ympärillä.

Jo olemassa olevia vastaavanlaisia nostolaitteita löytyi muutamia. Huomion että näissä jo markkinoilla olevissa nostolaitteissa nostokorkeudet jäivät alle vaaditun. Näistä markkinoilla olemista laitteista pystyin ottamaan joitakin pieniä osa-alueita harkintaan oman työni toteuttamiseksi. Tällaisia osa-alueita oli esimerkiksi yläpään akseliston rakenne.

4.2 Toimintokuvaus

Hissin perusrakenne koostuu kahdesta nostolaitteesta, joista toinen on tarkoitettu nostamaan kuormaa, ja toinen laskemaan. Nostolaitteet on tuettu toisiinsa välipalkilla. Molemmat nostolaitteet tuetaan runkopalkistaan hyllyrakenteisiin.

Toimintaperiaate yksittäisellä nostolaitteella on seuraava: kuorma saapuu pohjatasolla nostolaitteen nostohaarukan päällä olevalla ketjukuljettimelle. Logiikka antaa hissille käskyn viedä kuorma halutulle tasolle. Logiikka tunnistaa hissien sijainnin korkeustasossa pulssianturilla, joka on kiinnitetty nostohaarukkaan. Hissin moottorille kytkeytyy virta ja taajuusmuuntajan avulla kuorman nostaminen käynnistetään pehmeästi. Kuorman saapuminen halutulle tasolle tunnistetaan pulssianturin sijaintitiedolla, sekä erillisellä raja-anturilla. Kuorma saapuu haluttuun tasoon ja hissien sähkökäytön jarru kytkeytyy päälle. Kuorma siirretään ketjukuljettimella seuraavalle kuljettimelle. Hissi palaa pohjatasoon. Kuormaa laskevalla nostolaitteella toiminta on päinvastainen.

Yksittäinen nostolaite koostuu runkopalkista, pystyjohteista, nostohaarukasta, vastapainosta, yläpään runkorakenteesta, akselistosta, nostoketjuista, sähkökäytöstä, pulssiantureista, sekä turvajarruista jarrutankoineen.

4.3 Kuljetinhissien luonnostelu

4.3.1 Vaatimuslista

Ensimmäinen vaihe luonnosteluvaiheessa oli vaatimuslistan määrittäminen. Vaatimuslista laadittiin yrityksen antamien toiveiden ja vaatimusten mukaan. Vaatimuslista löytyy liitteenä (Liite 1).

4.3.2 Ideointi

Luonnosteluvaiheessa pyrin ajattelemaan mahdollisimman vapaasti, ja ideoita tulikin runsaasti. Ideointi keskittyi lähinnä runkorakenteen ympärille, sillä tilaaja oli jo esit-

tänyt haluavansa hissien toimivan rullaketjuilla. Omalla kohdalla ideointi tapahtui parhaiten mallintamalla Autodesk Inventorilla karkeita malleja, ja tämän jälkeen arvioimalla niitä silmämääräisesti kokoonpantavuuden ja yksinkertaisuuden perusteella.

Ketjukäyttöön liittyen luonnoksia oli alun perinkin vain kaksi, mutta näistä kahdesta mallista valinta osoittautui vaikeaksi. Valintaan en käyttänyt mitään annettua systeemiä, vaan arvion ratkaisuluonnokset yksinkertaisuuden, turvallisuuden, huollon helppouden ja kestävyuden perusteella.

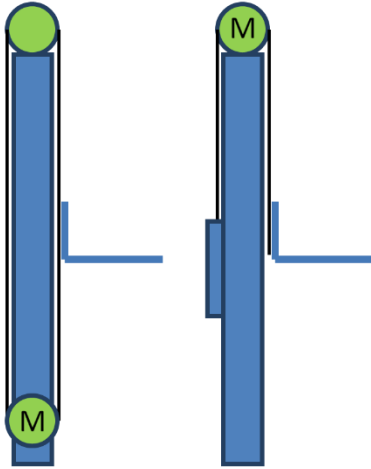
4.3.3 Luonnokset ja niiden arviointi

Tarkempaan arviointiin päätyi rungon osalta kaksi mallia. Ensimmäinen malli oli kahdella suurella I-palkilla toteutettu rakenne, jonka etuina oli yksinkertaisuus, asennusvirheen vähäinen mahdollisuus, ja pieni tilantarve. Haittoina puolestaan oli vaikea liikuteltavuus suuren painon ja koon vuoksi. Toinen vaihtoehto oli neljällä suorakulmaprofiiliputkella toteutettu rakenne. Rakenteen hyödyt olivat yksittäisten osien helppo liikuteltavuus. Haittoina oli puolestaan asennusvirheen mahdollisuuden kasvaminen, suuri määrä liitettäviä osia ja hinta.

Päädyin ensimmäiseen vaihtoehtoon, ja tästä tulikin kiitosta konepajalta, joka valmisti hissien ja asensi sen paikalleen. Kokoonpano oli ollut yksinkertainen, ja asennus paikalleen oli onnistunut hyvin. Tällä tavoin rakenne saatiin mahdollisimman yksinkertaiseksi. Pystyjohteet voitiin kiinnittää suoraan hitsaamalla I-palkin laippojen sisäpuolelle. Palkit voidaan kiinnittää niiden päähän hitsatuilla pohjalevyillä, ja ne on helppo saada linjaan. Ainoana pelkona oli toimitettavien palkkien suoruuus.

Ketjukäyttöön liittyen ratkaisumalleja oli myös kaksi, joiden periaatteellinen toiminta on esitetty kuviossa 2. Ensimmäisessä mallissa ketjukäyttö toteutettaisiin yläpuolisella akselilla sekä vastapainolla. Etuina ratkaisussa oli pieni moottoritehon tarve, yksinkertaisuus, ketjujen venyminen ei vaikuta toimintaan. Haittoina oli vastapainon tarve jarrulle, vaikea huolto moottorin ollessa korkealla. Toinen ratkaisu oli kiinteä ketju, joka kiertää kaksi akselia ja käyttö sijaitsisi rakennelman alaosassa. Hyötyinä oli

moottorin helppo huolto ja asennus, haittoina ketjun kiristäminen, yläpään akselin huollon vaikeus, sekä suuri moottorivoiman tarve.



Kuvio 2 Ketjukäytön ratkaisumallit

Päädyin vastapainolliseen ratkaisuun. Ja tästä johtuen selvittiin hyvin pienellä sähkökäytöllä, ja huoltoa varten korkeavarastoon hyllystörakenteisiin tulee huoltotaso, jolta myös sähkökäytöt voidaan huoltaa. Tässä ratkaisumallissa ei tarvitse myöskään huolehtia ketjujen kiristämisestä. Akselille tehtävät huoltotoimenpiteet esimerkiksi laakerin vaihtaminen onnistuisi lukitsemalla nostohaarukan ja vastapainon kelkat paikoilleen hätäjarrulla, jolloin ketjut voisi nostaa ketjupyörien päältä pois ja akselin irrottaminen olisi mahdollista.

4.4 Kuljetinhissin kehittäminen

Kehittämävaiheessa aloin ratkaisemaan ongelmia luonnosteluvaiheesta jatkoon päässeeseen ratkaisuidean pohjalta. Mallinsin Inventorilla karkean työkuvan, johon aloin lisäilemään yksityiskohtia niiden selvityksessä. Aloitin rungosta ja sen pystyjohteista. Kehittämävaiheessa muutoksia tuli toimeksiantajalta ja tämän vuoksi lopullinen kokoonpano muuttui useasti. Kaikki ongelmat saatiin kuitenkin ratkaistua.

Runko rakentuu 12 m pitkstä HEB 450 teräsprofiilista, johon on kiinnitetty hitsaamalla pystyjohteet joita pitkin nostohaarukka ja vastapaino kulkevat. Runkoon on kiinnitetty myös jarrutangot hätäjarruja varten. Runko on kiinnitetty varastotilan be-

tonilattiaan pohjalevyillä. Pohjalevyt kiinnittyvät lattiaan M20 betoniankkureilla. Lisäksi runko on tuettu hyllyrakenteisiin.

Nostohaarukka on tehty särmämällä muotoonsa laserleikatut teräslevyt. Nostohaarukka on kiinnitetty rungon pystyjohteisiin lineaarilaakereilla. Lineaarilaakerit on kiinnitetty nostohaarukan kelkkaan, johon haarukkaosat on hitsattu kiinni. Haarukkaosat on hitsattu myös tukipalkeilla yhteen nostotason kohdalta. Nostoketjut on kiinnitetty nostohaarukan kelkkaan nostokorvakkeista. Lisäksi nostohaarukkaan on kiinnitetty pulssianturi, sekä paineilmalla toimiva hätäjarru.

Vastapaino kiinnittyy rungon pystyjohteisiin lineaarilaakerilla, jotka on kiinnitetty vastapainon kelkkaan, johon on myös kiinnitetty nostokorvakkeet nostoketjuja varten. Myös vastapainossa on hätäjarru. Vastapainoon on lisättävissä 50 kg painosia painoja.

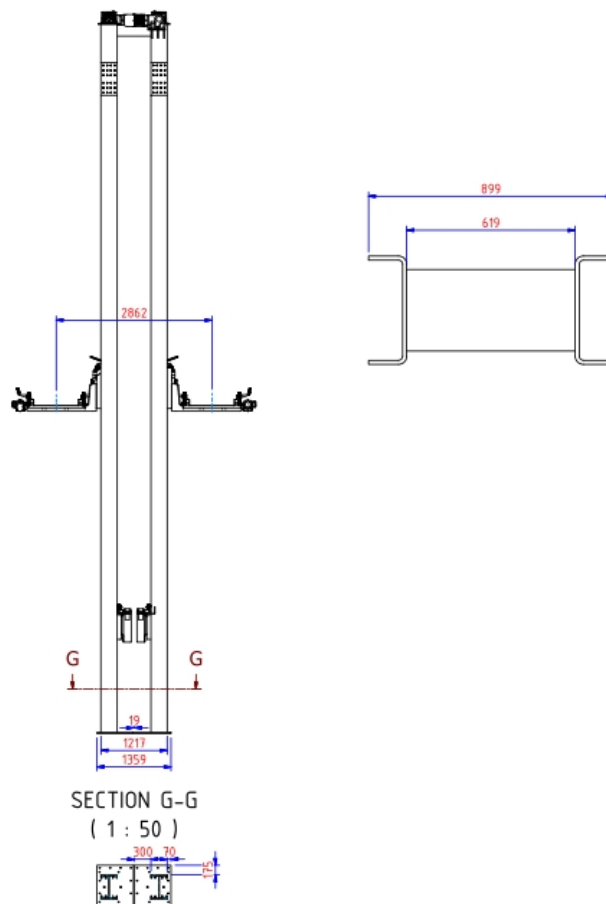
Yläpään runkorakenne liitetään runkoon laippaliitoksella. Runkorakenteeseen kuuluu kaksi metrin pituista HEB 450 palkkia, jotka on kiinnitetty yhteen välipalkilla. Runkorakenne sisältää moottorin pohjalevyn, johon kiinnitetään sähkökäyttö, sekä akseliston pohjalevyn, johon pääakseli osineen kiinnittyy laakeriyksiköillä. Runko rakenne liittää yksittäiset runkopalkit yhteen välipalkilla.

Sähkökäyttö pyörittää akselia, johon on kiinnitetty ketjupyörät. Ketjupyörät välittävät voimat rullaketjujen välityksellä nostohaarukalle. Rullaketjujen toinen pää on kiinnitetty vastapainoon, joka vähentää tarvittavaa momenttia sähkökäytöltä, sekä takaa ketjujen pysymisen ketjupyörillä. Ketjujen paikallaan pysymisen varmistavat myös ketjuohjaimet.

Runko

Kuljetinhissin runkorakenne koostuu pohjalevyillä lattiatasoon kiinnitettävistä kahdesta 12 metriä pitkästä HEB 450 palkista, joka on materiaaliltaan S355J2G3, sekä yläpään erillisestä runkorakenteesta, joka on liitetty runkopalkkeihin laippaliitoksella. Yläpään runkorakenteen tarkoituksena on helpottaa asennusta varastotilaan. Yläpään runkorakenne koostuu kahdesta metrin mittaisesta HEB 450 runkopalkista, jotka ovat kiinnitetty toisiinsa kuvion 3 mukaisella välipalkilla. Välipalkki koostuu kahdesta 15 mm paksuisesta levystä särmätystä korvakkeesta, sekä 300 x 200 x 10 suo-

rakaide teräsprofiilista. Yläpään rakenteeseen on kiinnitetty myös akselisto, moottorin pohjalevyt, sekä akseliston pohjalevy. Yläpään runkorakenne kokoonpannaan konepajalla. Runkopalkkeihin hitsataan pohjalevyt konepajalla, sekä liitetään laippaliitokseen tarvittavat sivulaipat. Palkit nostetaan pystyyn yksitellen varastotilassa. Palkkien ollessa pystyssä, nostetaan yläpään runkorakenne palkkien päälle ja kiinnitetään laippaliitoksella. Rungon kokoonpanokuvan näkee kuviosta 4. Yläosan runko kiinnitettiin 12 metriä pitkiin runkopalkkeihin laippaliitoksella, jossa käytettiin M12 kuumisokantaruuveja. Laippaliitoksen mitoituslaskut löytyvät liitteenä (Liite 2). Rungolle tein myös nurjahdustarkastelun Eurokoodi 3 ohjeistuksesta löytyvien menetelmien mukaan. Laskut löytyvät liitteenä (Liite 3) Tämän lisäksi analysoin rungon kestävyyttä simuloimalla kuormitustilanne Autodesk Inventorin Frame Analysis-lisäohjelmalla.



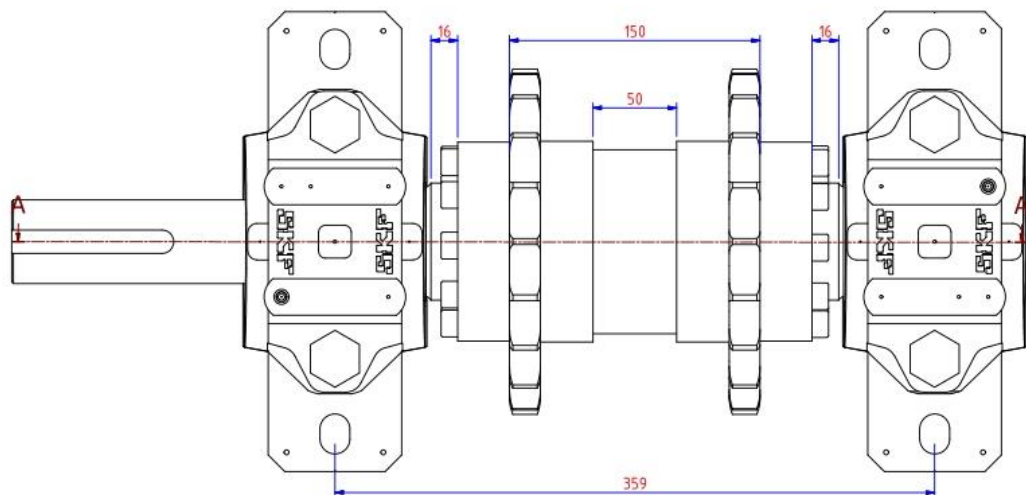
Kuvio 3 Rungon kokoonpanokuva

Rullaketjut

Rullaketjujen murtokuormaa käsitellään standardissa SFS 2392 (SFS 2392 Rullaketjut, 1969). Standardin murtokuormat ovat kuitenkin pienempiä kuin valmistajien ketjuille ilmoittavat murtokuormat. Yksittäinen nostolaite päätettiin toteuttaa kahdella rullaketjulla. Valinnassa vaadittiin että yksittäisen ketjun tulee kestää kuorman paino, jolloin toisen ketjun katketessa yksittäinen ketju pystyy kantamaan koko kuorman. Tällöin ollaan turvallisella alueella ja molempien ketjujen katkeaminen on hyvin epätodennäköistä. Ketjuksi valikoitui rullaketju 20B-1. Ketjun murtokuorma on standardin SFS 2392 mukaan 10000 kg (Mt.). Maksimikuorman ollessa 744,4 kg, saadaan varmuuskertoimeksi 13,43, jota voidaan pitää riittävänä.

Akselisto

Akselisto koostuu kahdesta laakerista, kahdesta ketjupyörästä, sekä ketjupyörät akselille liittävästä kiinnitysholkeista. Akseliston kokoonpano on esitelty kuviossa 4. Akselisto liitetään sähkökäyttöön joustavalla sakarakytkimellä.



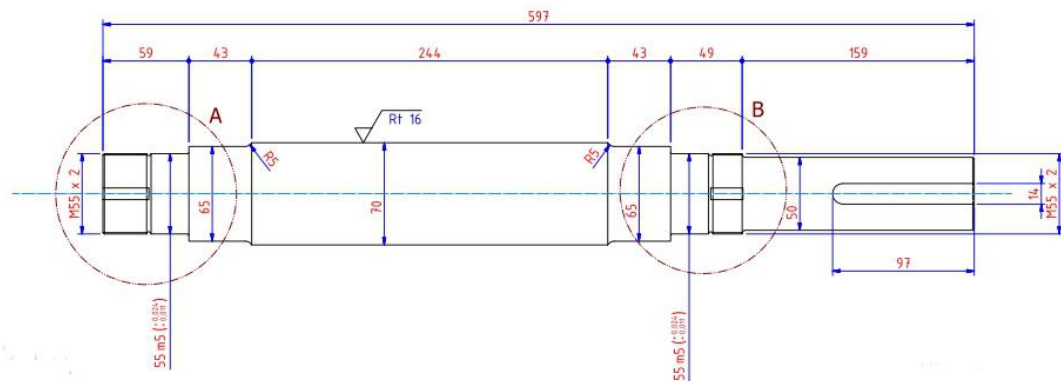
Kuvio 4 Akselisto

Akseli

Tässä tapauksessa akselilla tarkoitetaan pyörivää akselirakennetta, jota kuormittaa taivutus- ja vääntömomentti. Vääntömomentti johtuu akselille kiinnitetyistä ketjupyöristä, jotka rullaketjun välityksellä siirtävät kuormaa pystysuunnassa. Taivutusmomentin akseliin aiheuttaa ketjujen, vastapainon, nostohaarukan, siirtokuljettimen sekä kuorman paino. Vastavoimana toimii laakereiden kautta välittyvät radiaalivoimat. Akseli on enimmäkseen väsyttävän kuormituksen rasittama. Akseli on materiaaliltaan yleistä rakenneterästä S355J2G3.

Akselin mitoittamisen alkuvaiheessa on tärkeää päästä kiinni akselilla kiinni olevien rakenneosien suuruusluokkaan, sillä usein tarkkoja lähtöarvoja ei ole tiedossa akselin mitoittamista aloitettaessa (Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautainen, H., Sampo, A., Seppänen, P. & Suosara, 1999, 281).

Valittaessa akselin halkaisijoita, määrittää valintaa usein hammaspyörien, laakereiden ja kytkimien sovitehalkaisijat. Halkaisijoitten ollessa niin suuret, että vaihtokuormituksessa taivutuksen tai väännön aiheuttama heilahdusjännitys on enintään 18 MPa, ei ole tarpeen tehdä tarkkoja lujuuslaskelmia. Jos heilahdusjännitys tämän jälkeen on enemmän kuin 18 MPa, asetetaan rajoituksia varmuusluvulle myötämisen tai väsymismurtuman suhteen. Viimeisenä valintaan vaikuttavana tekijänä on akselin muodonmuutokset ja siirtymät (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. 2003, 320 - 321).



Kuvio 5 Akselin työkuva

Akselin suunnittelu lähti käyntiin kiinnitysholkin ja laakerien vaatiman geometrian mallintamisella. Keskiosion halkaisija on 70 mm johtuen kiinnitysholkin sisähalkaisijasta. SKS Oy:n Esite nro 731562 mukaan, kiinnitysholkki vaati sovitteeksi h8 ja pinnanlaadun $R_t = 16 \mu\text{m}$ (SKS Oy, 2, 2002). Keskiosion pituus on 244 mm, joka on kokoonpantavuuden kannalta minimimitta tarvittavilla asennusväleillä. Keskiosion molemmilla puolilla on 65 mm halkaisijalla olevat 43 mm pitkät osiot, jotka menevät laakeripesien tiivisteistä läpi. Vapaalaakerin puolella on vielä laakerin tarvitseva 26 mm pituinen 55 mm halkaisijaltaan oleva osio johon laakeri kiinnittyy. Sovitteen valitsin 55 mm osiolle valittiin SKF Laakerikirjan taulukon 9 mukaan m5 (SKF Laakerikirja, 104, 1991). Kulmapyöristys tässä osiossa on 1 mm, joka on määritetty laakerin vaatimuksissa. Viimeinen osio vapaalaakerin puolella on kierre osa, johon kierretään akselimutteri KM 11, jolla laakeri lukitaan paikoilleen. Keskiosiota ohjaavan laakerin suuntaan tulee ohjaavalle laakerille vastaavanlainen olake kuin vapaalaakerillekin. Tämän jälkeen tulee 159 mm pitkä, 50 mm halkaisijaltaan oleva osio johon kytkin kiinnittyy kiila- ja kartioholkki-liitoksella.

Akselille on tehty lujuustarkastelu, johon liittyvät laskut ja kaavat löytyvät liitteenä (Liite 4). Akselin suunnittelussa oli otettava huomioon myös laakereiden vaatimuksiin liittyvät suunnitteluohjeet.

Ketjupyörät

Ketjupyörien valintaan vaikutti ketjupyörän kiinnitystapa akselille, valittu rullaketju sekä haluttu jakohalkaisija. Jakohalkaisijan tuli olla mahdollisimman lähellä nostohaa-

rukan pystyjohteiden keskikohdan ja vastapainon pystyjohteiden keskikohdan välistä mitta. Tällöin voimat siirtyvät mahdollisimman suoraa linjaa pitkin ketjupyörille, ja ketjujen kiinnitykset kelkkoihin voidaan tehdä pystyjohteiden kohdalle. Rullaketjuksi valittiin 20B-1, joten tätä vastaava ketjupyörä hammasluvulla $z = 19$, oli jakohalkaisijaltaan 192,91 mm. Pystyjohteiden keskikohtien välinen mitta oli 205,15 mm. Ketjupyörästä valitsin navallisen version, koska kiinnittäminen tapahtuisi kiinnitysholkilla. Näin kiinnitysholkille saadaan maksimaalinen kosketuksissa oleva pinta-ala ketjupyörälle.

Kiinnitysholkki

Alun perin ketjupyörät oli tarkoitus liittää akselille kiilaliitoksella. Mitoittaessani kiilaliitosta huomasin, ettei yksi kiila olisi riittävä tarvittavan momentin siirtämiseen. En halunnut lisätä kiilojen määrää. Blom ja muut ovat todenneet, että vaihtuvasuuntaisen kuormituksen vuoksi kiilaliitos ei välttämättä olisi muutenkaan paras valinta ketjupyörän liittämiseen (Blom ym. 1999, 98).

Kiinnitysholkin valitsin SKS Group Oy:n valikoimasta ja kiinnitysholkin mitoitus tapahtui Sks Oy:n verkkosivuilta löytyvän ohjeen mukaan (Esite nro 731562, 2002, 2). Kiinnitysholkin etuja olivat mm. helppo asennus ja purkaminen, suuri momentinsiirtokyky, sekä helppo paikoittaminen akselilla. Kiinnitysholkiksi valitsin Bonfix B1000 sisähalkaisijalla 70 mm ja ulkohalkaisijalla 90 mm. Kiinnitysholkki vaati akselilta h8 toleranssin ja pinnanlaadun $R_t = 16 \mu\text{m}$ ja ketjupyörältä toleranssiksi H8 ja pinnanlaaduksi $R_t = 16 \mu\text{m}$. Kiinnitysholkin suurin mahdollinen siirtomomentti on 5800 Nm, jota voidaan pitää riittävänä. Kiinnitysholkki on jopa hiukan ylimitoitettu, mutta halusin pysyä varmallalla puolella, koska kiinnitysholkin luistaessa ei hissien turvallinen toiminta ole mahdollista.

Laakerointi

Erilaisia laakerimalleja löytyy runsaasti ja jokaisella niistä on omat hyvät ja huonot puolensa. Laakerien valintaan vaikuttavat kuormitus, asennustila, lämpötila, voitelu, värähtelyt, ympäristöolosuhteet, tarkkuusvaatimukset, huolto sekä kustannukset (SKF Laakerikirja 1991, 14; Airila ym., 2003, 417).

Laakerityyppiä valittaessa tulee kiinnittää huomiota laakeria kuormittaviin voimiin. Jos akseliin vaikuttaa radiaalivoiman lisäksi merkittävä aksiaalivoima, valitaan viistokuula- tai kartiorullalaakeri. Aksiaalivoiman ollessa pieni, ottavat myös urakuulalaakerit sekä pallomaiset rulla ja kuulalaakerit aksiaalista voimaa vastaan. Mikäli akselissa tapahtuu kulmapoikkeamaa esimerkiksi taivutuksen johdosta, on syytä valita itseasettuva laakerityyppi, kuten pallomainen kuulalaakeri. (Mts. 448).

Laakerointi toteutetaan tavallisesti niin että toinen laakereista toimii ohjaavana laakerina ja näin ollen ottaa vastaan aksiaalivoimia. Toinen laakereista on ns. vapaalaakeri, joka sallii liikettä aksiaalisuunnassa (Mts. 449).

Laakerien valinnan aloitin etsimällä SKF Oy Ab:n verkkosivuilta sopivia laakeriyksiköitä, jotka täyttäisivät halutut vaatimukset. Laakerin sisähalkaisija tulisi olla 55 mm, laakereiden rasvausväli tulisi olla vaikean huoltopaikan takia pitkä. Kuten Blom ja muut ovat todenneet, 24 tunnin jatkuvan käytön koneen laakerien laskennallinen kestoikä tulisi olla 40000 – 50000 tuntia (Blom ym. 1998, 129). Toisen laakerin tuli olla ohjaava ja toisen vapaa. Laakeripukin olisi kestettävä vaikuttavat voimat. Laakerien mitoitukseen liittyvät laskut löytyvät liitteenä (Liite 5).

Laakeriyksiköksi valikoitui SKF:n valikoimasta SNL 513-610 pystylaakeripesä standarditiivisteillä ja FRB 11/120 paikoitinrenkailla. Itse laakeri on tyypiltään pallomainen rullalaakeri 21311 E. Laakerin kiinnittämiseen akselilla käytetään varmistuslaattaa MB 11 ja lukitusmutteria KM 11. Lisäksi toiseen pesään tuli päätykansi ASNH-513-610. Molemmat laakerit ovat lukittu aksiaalisuunnassa akselilla, mutta vapaa laakeri pääsee liikkumaan ulkorenkaastaan laakeripesässä. Ohjaavassa laakeripesässä paikoitinrenkaat pitävät laakerin lukittuna myös ulkorenkaasta.

Kytkin

Kytkimen valinnassa on otettava huomioon akselien välinen liike, tehonsiirtokyky, kuormituksen luonne, käyttökohteen rakenteelliset vaatimukset, asennus, ympäristöolosuhteet sekä kokonaiskustannukset (Airila ym. 2003, 229).

Akselien välisen liikkeen suunta ja suuruus vaikuttavat kytkimen valintaan. Kytkevien akselien välillä olevat asentopoikkeamat voivat johtua asennusvirheestä, lämpötilavaihteluista tai elastisista muodonmuutoksista. Käytettäessä joustavaa kytkintä,

sallii se pienet asennusvirheet. Joustava kytkin myös parantaa järjestelmän dynaamisia ominaisuuksia (Mts. 345).

Tehonsiirtokyky koostuu vääntömomentista ja pyörimisnopeudesta. Vääntömomentin siirtokyvyn kasvaessa myös kytkimen koko kasvaa. Tämä voi aiheuttaa suurissa pyörimisnopeuksissa ongelmia (Mts. 345).

Kuormituksen luonne on tärkeä huomioida kytkimen valinnassa. Kun kytkimessä esiintyy kuormitushuippuja, joustavat kytkimet vaimentavat näitä. Vaihtokuormituksessa kytkimen välitys voi aiheuttaa ongelmia. Tällaisessa tapauksessa on myös kiinnitettävä huomiota navan ja akselin väliseen liitokseen (Mts. 345).

Käyttökohteen rakenteelliset vaatimukset vaikuttavat kytkimen kokoon ja rakenteeseen. Yleensä pyritään valitsemaan pieni ja kevyt kytkin, jolla saavutetaan massahaarausmomentin jääminen pieneksi. Kytkimen reiät ovat yleensä esiporattuja, mutta ne voidaan koneistaa oikeaan kokoonsa. Kytkimen ja akselinpään välisessä liitoksessa on otettava huomioon kytkimen asettamat vaatimuksen toleransseihin ja mittoihin (Mts. 345).

Kytkimen oikeassa valinnassa on otettu myös huomioon kytkimen elinikä ja kokonaiskustannukset. Kuluvan ja rikkoutuvan osan tulee olla saatavissa ja vaihdettavissa. On myös tapauksia kun kytkimen tulee pystyä siirtämään vääntömomentti joustavan osan rikkoutuessa (Mts. 345).

Kytkimen valinta

Nostosovelluksessa kyseessä on vaihtokuormitus, joskin hyvin vähäisellä taajuudella. Kytkin on kuitenkin syytä mitoittaa vaihtokuormituksen mukaan. Koska kuormitus sisältää sysäyksiä ja suunnan vaihtoja, on kytkintyyppiä perusteltua valita joustava kytkin. Joustava kytkin tasoittaa kuormitushuippuja ja on turvallisuuden takia pystytävä siirtämään vääntömomentti joustavan osan hajotessa. Suurta välystä ei kytkimeltä voida sallia.

Sopivaa kytkintä lähdin kyselemään Sks Oylta. Annoin tarvittavat lähtöarvot ja Sks Oy teki tarjouksen. Yritys tarjosi useita eri kytkinvaihtoehtoja, mutta lopullinen valinta oli SKS Sakarakytkin kartioholkki kiinnityksellä. Sakarakytkimen etuina oli mm. joustoelementti joka tasaa jännityshuippuja, helppo kiinnitys kartioholkillä.

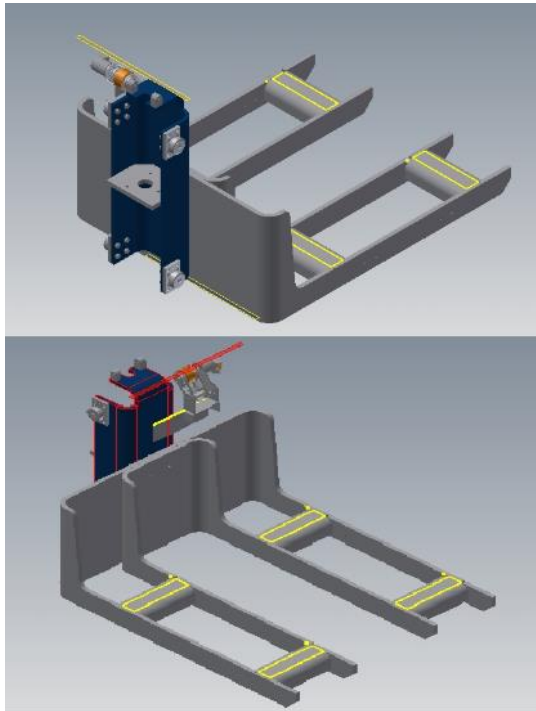
Kytkimen kooksi valittiin koko 90, johon oli mahdollista saada joustoelementti 98 Shore A punainen, jonka nimellinen momentinsiirtokyky on 3600 Nm. Tämä oli riittävä momentin siirtokyky. Kiinnitys akseleille tapahtuu kartioholkkikiinnityksen avulla. Kartioholkkien malli on 3535, ja Etra oy lupaa kartioholkille 50 mm sisähalkaisijalla ja kiilaliitoksella 5062 Nm momentin siirtokyky (Etra Oy:n tuoteluettelo).

Vaihdemoottori

Sähkökäyttönä toimii vaihdemoottori, jota logiikka ohjaa taajuusmuuntajan kautta. Vaihdemoottorin toimittajaksi asiakas ehdotti Nord Gear Oy:ta. Annoinkin yritykselle lähtötiedot, joiden mukaan he mitoittivat käytön. Vaihdemoottorin tarjous löytyy liitteenä (Liite 6).

4.5 Nostohaarukka ja vastapaino

Nostohaarukan mallintaminen alkoi sen päälle sijoittuvan ketjukuljettimen mittojen selvittämisellä. Ketjukuljettimen mitat määrittivät nostohaarukan leveyden ja pituuden. Nostohaarukan materiaalin vahvuuden selvitin kuormittamalla mallinnettua haarukkaa Autodesk Inventorin Analysis lisäohjelmalla. Ketjukuljetin kiinnitettiin nostohaarukkaan kulmaraudoilla. Nostohaarukan nostopiikit valmistettiin 20 mm paksusta teräslevystä särmäämällä muotoonsa leikatut teräs levyt. Nostohaarukan kelkka valmistettiin 16 mm paksusta teräslevystä. Kelkkaan leikattiin myös reiät lineaari-laakereille, joiden avulla nostohaarukka kiinnitettiin pystyjohteisiin. Kelkan sisäosaan hitsattiin kiinni kiinnityslevy jarrua varten. Piikit tuettiin hitsattavilla tukipalkeilla. Kelkan yläosaan on hitsattu kiinni nostokorvakkeet nostoketjua varten. Lisäksi nostohaarukan kokoonpanoon kuuluu pulssianturi, joka kulkee runkopalkkia myöden. Pulssianturin tehtävä on tuottaa tarvittava paikkatieto logiikalle, sekä hätätilanteessa tunnistaa nostohaarukan liian suuri nopeus jolloin turvajarru kytkeytyy päälle. Nostohaarukan rakenne selviää kuviosta 6.



Kuvio 6 Nostohaarukan kokoonpanokuva

Vastapainon rakenteen määrittä sen korkeus. Vastapaino ei saanut olla liian korkea, jotta se ei yläpäässä osu runkojen väliseen tukipalkkiin, ja taas alhaalla lattiaan. Vastapainon painoon vaikutti mm. akselin mitoitus sekä ohjeistus hissien vastapainon massan määrittämiseksi. Vastapaino koostuu 50 kg painoisista painoista, jotka on sijoitettu kahden U-profiilipalkin väliin. U-profiilipalkit on kiinnitetty toisiinsa vastapainon taustalevyllä. Vastapaino kiinnittyy pystyjohteisiin lineaarilaakereilla, jotka ovat kiinnitetty ruuviliitoksella vastapainon kelkkaan. Kelkka on kiinnitetty vastapainon taustalevyyn hitsaamalla. Painojen paikallaan pysyminen on varmistettu lukitusraudoilla. Vastapainon kelkkaan on hitsattu kiinnityslevy hätäjarrulle. Ketjut kiinnitetään kelkkaan ketjukorvakkeilla, jotka on hitsattu kelkan yläosaan. Vastapainossa on lisäksi pulssianturi, joka vikatilanteessa kertoo logiikalle vastapainon liiallisesta nopeudesta, jolloin hätäjarru lukkiutuu. Vastapainon rakenne on esitetty kuviossa 7.

Vastapainon massa on laskettu useassa eri lähteessä mainitun laskukaavan mukaan joka on $m_{\text{vastapaino}} = (0,5 * m_{\text{nimelliskuorma}}) + m_{\text{nostokori}} = (0,5 * 600 \text{ kg}) + 150 + 200 = 650 \text{ kg}$. Vastapainon omapaino on 150 kg, joten sen lisäksi oli painoja lisättävä 10 kpl.

Vastapainon lujuustarkastelu on tehty Autodesk Inventorin Analysis lisäohjelmalla.

Jarru

Normaalisti kuorman liikettä jarruttaa sähkökäytön jarru, mutta joissakin vikatilanteissa esimerkiksi kytkimen hajotessa, tai ketjujen katketessa ei sähkökäytön jarrutusvoima enää välity nostohaarukalle ja vastapainolle. Tämän vuoksi oli suunniteltava hätäjarru, joka pystyy pysäyttämään kuorman turvallisesti.

Erilaisia jarru vaihtoehtoja oli paljon. Harkitsin mm. vaijerijarrua, paineilmakäyttöistä levyjarrua, sähkötoimista levyjarrua, sekä paineilmatoimista holkkijarrua. Vertaillessani näitä vaihtoehtoja, nousi paineilmatoiminen holkkijarru kaikilta osin parhaaksi vaihtoehdoksi. Kyseinen jarru ei tarvitse suurta asennustilaa, se on varmatoiminen ja edellä mainituista vaihtoehdoista edullisin.

Mainittu jarru löytyikin Oy Elftec Ab:n valikoimasta. Soitin kyseiseen yritykseen ja kerroin millaista jarrua tarvitsisin. Annoin sähköpostitse lähtötiedot ja he tarjosivat ROBA Linear Stop pneumaattista varmistusjarrua. Jarru on ns. Fail Safe jarru, joka toimii kun se on paineistettu, ja paineen hävitessä jarru kytkeytyy päälle. He tarjosivat jarrua 381.120.0 koko 80 nostohaarukalle ja jarrua 381.120.0 koko 70 vastapainolle. Heidän nostohaarukalle tarjoamalla jarrulla nimellinen pitovoima on 6 bar paineella 40000 N, ja maksimaalinen jarrutettava voima 20000 N. Vastapainolle jarruksi riittää kokoluokkaa pienemmän jarrun vastaavat voimat ovat 6 bar paineella 22500 N ja 11250 N (Mayr, ROBA linear stop tuote-esite, 9).

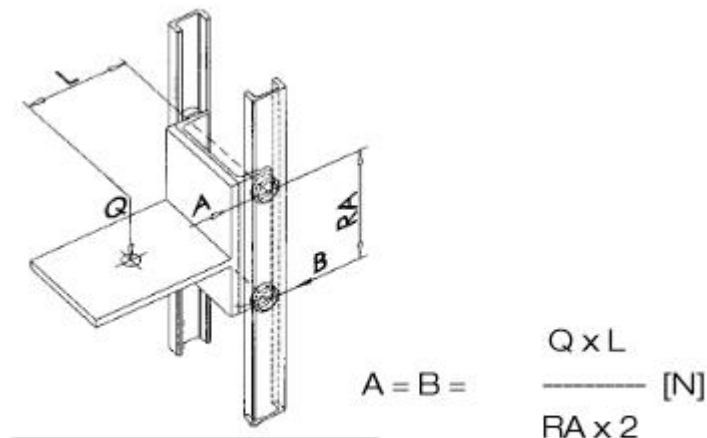
Nostohaarukan jarru kiinnitetään kelkan sisäpuolelle hitsattuun levyyn kolmella M12 ruuvilla. Tämän lisäksi runkorakenteeseen on kiinnitetty kovakromatusta sylinterinvarsiteräksestä valmistettu tanko, johon jarruttaminen tapahtuu. Paineilma tuodaan varastorakennuksen paineilmalinjoista. Vastapainon jarru kiinnitetään kolmella M10 ruuvilla (Mt.).

Pystyjohteet

Pystyjohteiden tehtävänä on mahdollistaa nostohaarukan ja vastapainon vaivaton pystysuuntainen liike, ja ottaa vastaan vaakasuuntaisia voimia. Pystyjohteista pyydettiin tarjous kahdelta yritykseltä. Tarjouskilpailun voittajana oli Winkel-merkkisiä pystyjohteita myyvä EIE-Maskin Oy. Rollco Oy yrityksen verkkosivuilta löytyi mitoitusmallit pystyjohteiden ja lineaarilaakereiden voimien mitoittamiseen ks. kuvio 7. Jossa

$A = B =$ yksittäisen lineaarilaakerin radiaalivoima, $Q =$ nostettava massa (kg), $L =$ massan keskipisteen etäisyys pystyjohteista (m) ja $RA =$ lineaarilaakereiden välinen etäisyys (m) (Rollco Oy, U-rail, 6).

Annetulla kaavalla nostohaarukan lineaarilaakerille määräytyi voimaksi 10.9 kN. Joten Winkel Oy:n valikoimasta valittiin nostohaarukan lineaarilaakeriksi tyyppin 4.055 laakeri, joka sallii 12,4 kN radiaalivoiman. Pystyjohteeksi määräytyi Nbv1 U-kisko. Lineaarilaakerit kiinnitetään kelkkaan AP-0 laipalla.



Kuvio 7 Pystyjohteiden mitoitus (U-Rail tuote-esite, Rollco Oy, 6)

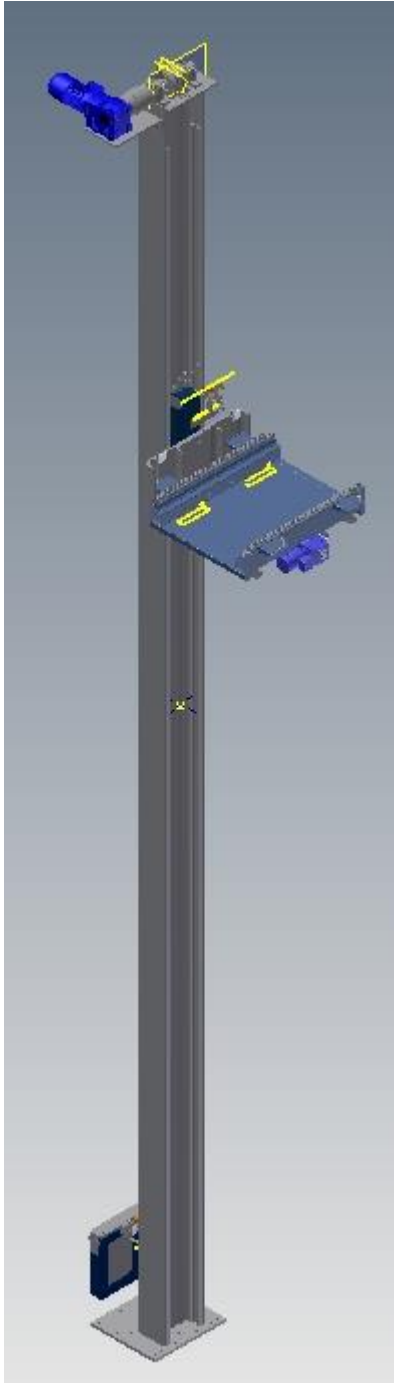
Vastapainon pystyjohteissa radiaalivoima jäi hyvin pieneksi, joten siihen valittiin kokoluokkaa pienempi ja edullisempi pystyjohte Nbv0 U-kisko, ja lineaarilaakeri tyyppi 4.054. Laakerit kiinnitettiin kelkkaan laipalla AP 0. Pystyjohteet kiinnitettiin runkopalkkiin hitsaamalla.

4.6 Automatiikka

Hissin automatiikan suunnitteli insinööritoimisto APEX Automation. APEX Automation antoi pulssianturin mallin, jota minun tulisi käyttää laitteessa. Pulssianturin kiinnityksen on suunnittelut JA-Suunnittelu Oy. Minun tehtäväkseni tuli suunnitella teline pulssianturille ja sen kiinnikkeelle. Vaihtoehtoina oli sijoittaa pulssianturi pääakselin päähän, tai kelkkaan ja vastapainoon. Valitsin sijoitukseksi jälkimmäisen vaihtoehdon. Tähän päätökseen johti pelko vikatilanteesta, jossa esimerkiksi ketjupyörien kiinnitysholkit pettävät. Tällöin akselin päässä oleva anturi ei välttämättä huomaisi mitään vikatilannetta, mutta anturien ollessa sijoitettuna nostohaarukan ja vastapainon kelkkoihin, tulisi logiikalle viesti raja-arvot ylittävästä nopeudesta ja se osaisi kytkeä hätäjarrun päälle. Myös paikkatieto olisi varmempi tällä tavalla.

4.7 Kuljetinhissin viimeistely

Kuljetinhissin osien mallintaminen tapahtui Autodesk Inventor 2014 – ohjelmalla. Lisäksi kaikille osille on tehty myös lujuustarkastelu ohjelman analysis tai frame analysis – lisäohjelmilla. Inventorilla myös tehtiin kaikki työkuvat ja ne toimitettiin toimeksiantajayritykselle ja valmistuksen toteuttavalle konepajalle pdf ja dxf muodoissa. Työkuvia ei kuitenkaan liitetä tähän opinnäytetyön kirjalliseen osioon. Myös valmisosien tuotedokumentaatio välitettiin sitä tarvitseville osapuolille. Kuljetinhissin mallinnetun pääkokoosanon näkee kuviosta 8.



Kuvio 8 Nostolaitteen pääkokoonpanokuva

5 Tulokset ja pohdinta

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli suunnitella annettujen lähtöarvojen perusteella turvallinen, toimiva ja toimitettavien työpiirustusten mukaan konepajalla valmistettavissa oleva kuljetinhissi. Yrityksen antamia lähtöarvoja olivat vaatimuslistassa mainitut fyysiset mitat, ja halutut rakenteet. Toimeksiantajayritys ei halunnut ostaa

valmista automaattista varastoa vaan rakentaa omiin tiloihinsa toiminnaltaan ja rakenteeltaan sopivan varastotilan. Tämän vuoksi oli suunniteltava myös kuljetinhissi osaksi kokonaisuutta. Omana tavoitteenani oli vahvistaa koneensuunnitteluun liittyviä taitoja. Tavoitteiden täyttymien on helppoa arvioida, sillä kyseinen tuote on tällä hetkellä käytössä ja toimeksiantaja, sekä valmistuksen ja pystytyksen suorittanut Esmig-Hitsaus Ky ovat antaneet palautetta työn eri osa-alueilta.

Kuljetinhissi on tällä hetkellä pystyssä ja sillä on nostettu kuormia. Valmiin laitteen kuvia on esitetty kuviossa 9. Automaattinen varasto ei ole valmis, mutta sitä on päästy jo koeajamaan. Kuljetinhissi sai kehuja konepajalta. Kokoonpano oli onnistunut ilman mitään suurempia ongelmia. Pystytyksessä ei ollut ilmennyt mitään vaikeuksia. Osana tähän on tietysti Esmig-hitsaus Ky:n ammattitaitoiset asentajat, jotka olivat osanneet ratkaista ongelmia itsenäisesti. Pieniä virheitä oli kuitenkin huomattu. Nostohaarukan kelkka oli ottanut runkopalkin liitoksen ruuvinkantoihin kiinni. Tästäkin oli selvitty ottamalla nostohaarukan kelkan ylälaipasta kulmahiomakoneella pieni pala pois. Toinen kohdattu ongelma koeajossa on sakarakytkimen joustoelementin pehmeys, joka aiheuttaa nostohaarukan pystysuuntaista liikettä kuormattaessa. Lisäksi konepaja oli tehnyt muutoksen haarukan piikkeihin ja tehnyt kierteitettyt kiinnitysreiät piikkien yläpintaan, jolloin ei tarvita erillistä kulmarautaa kuljettimen kiinnittämiseen nostohaarukan päälle. Toimeksiantajalta tuli palautetta, että sähkökäytöt olisivat voineet olla molemmat samalla puolella hissiä, ja mielellään hyllystöjen puolella, jolloin niiden huoltaminen olisi helpompaa.



Kuvio 9 Kuvia valmiista hissistä

Kuljetinhissin kustannukset pyrittiin pitämään mahdollisimman pieninä. Hinta ei kuitenkaan määräytynyt tärkeimmäksi arviointikriteeriksi, sillä kyseessä oli yksittäinen hissi eikä sarjatuote. Ratkaisujen arvioinnissa kuitenkin valittiin aina edullisempi ratkaisu, mikäli se ei ollut ratkaisevasti heikompi muilta arvioinnin osa-alueilta.

Opinnäytetyön läpiviemistä vaikeuttivat jatkuvasti muuttuvat vaatimukset. Kuljetin-hissiin tuli muutoksia muutama päivää ennen valmiiden työkuvien lähtemistä. Tällaisia muutoksia olivat esimerkiksi kuljetinhissin leveyden muuttuminen kapeammaksi kuin alun perin oli tarkoitus, ja väärinkäsitys lopullisesta nostokorkeudesta. Mutta kaikki muutokset saatiin toteutettua tyydyttävällä tavalla.

Jatkokehittämisen kannalta tulisi ottaa annetut palautteet huomioon. Riskianalyysi on suoritettava hissille ja riskianalyysin tuleekin tekemään ulkopuolinen yritys CE-merkintää varastolle haettaessa. Riskianalyysiä ei ole vielä suoritettu.

Sakarakytkimen elementti tulisi olla vieläkin jäykempi, olisi jopa harkittava erilaista kytkintyyppiä. Kytkimeltä olisi kuitenkin tärkeää, että se rikkoutuessaankin pystyisi siirtämään momenttia. Myös asianmukaisesti suojaukset turvallisuuden kannalta olisi tehtävä hissiin. Hissin jäädessä todella kapeaksi rakenteeltaan, jää vastapainojen väliin pieni tila. Vastapainojen välissä on suuri puristumisvaara, joten sille alueelle pääsy tulee olla estetty. Sähkökäytöt tulisi sijoittaa samalle puolelle, ja mahdollisesti suunnitella huoltoreitti osaksi hissien rakennetta. Tällöin hissien rakennetta tulisi leven-tää nykyisestään.

Oma ammattitaitoni kasvoi huomattavasti tämän työn ohella. Tähän asti olin vain tehnyt työpiirustuksia vain harjoituksissa, ja työpiirustusten tekemiseen liittyviä asioita selvisikin paljon. Esimerkiksi laserleikattavien levyosien työpiirustuksiin ei tarvitse kuin ulkomitat, valmistettavan kappalemäärän ja levyvahvuuden. Särnäyttäviin kappaleisiin löytyy hyvin ohjeistusta esimerkiksi Ruukki Oy:n verkkosivuilta, mutta on hyvä kuitenkin varmistaa vielä särnäävältä yritykseltä osien valmistettavuus. On myös ensisijaisen tärkeää organisoida, arkistoida ja nimetä tiedostot ja dokumentit loogisesti. Näin suuremmatkin kokonaisuudet pysyvät hallinnassa. Tärkeänä oppina koin myös, että sähköpostitse eivät asiat ratkea nykypäivänäkään. Yhteydenotossa soittaminen on ensisijainen menetelmä, ja tämän jälkeen tarkempaa tietoa tai tiedostoja voi jakaa sähköpostin kautta.

6 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. 2003., Koneen-
osien suunnittelu, 4.p., Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö
- Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P.
& Suosara, E. 1999., Koneen elimet ja mekanismit, 4. uud.p., Helsinki: Oy Edita Ab
- Dym, C., Little, P., Orwin, E. & Spjut, R. 2009., Engineering Design, 3.p., Yhdysvallat: John
Wiley & Sons
- Etra Oy., Tuoteluettelo., Verkkokauppa., <http://tuotteet.etra.fi/fi/g7996420/kartioholkki-3535>
- Finn Spring Oy. Yritysesittely. Viitattu 4.3.2013. [Http://www.finnspring.fi/](http://www.finnspring.fi/)
- Jokinen, T., 2001, Tuotekehitys, 6. korj. p., Espoo: Otatieto
- Mayr., ROBA Linear Stop, Tuote-esite.,
http://www.mayr.com/fileadmin/user_upload/Dokumentationen/englisch/ROBA-linearstop/ROBA-linearstop_general_catalogue.pdf
- Pahl, G., & Beitz, W., 1990, 2 korj.p., Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus
- Rollco Oy., U-rail., Tuote-esite., <http://rollco.fi/wp-content/uploads/2012/07/U-Rail-2013-04.pdf>
- SFS-EN 1993-1-4 Eurokoodi 3., 1993., Teräsrakenteiden suunnittelu., Helsinki: Suomen stan-
dardoimisliitto
- SFS 2392., 1969., Rullaketjut., Helsinki: Suomen standardoimisliitto
- SKF Oy.,1991., Laakerikirja., Torino:Stamperia Artistica Nazionale.
- SKS Oy. 2002. Esite nro 731562. Tuote-esite. Sks Oy. Viitattu 29.4.2014
[http://www.sks.fi/www/sivut/25D198BB55F42254C2257AFC002202EC/\\$FILE/Bonfixkiinnitys_holkit731562.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/25D198BB55F42254C2257AFC002202EC/$FILE/Bonfixkiinnitys_holkit731562.pdf)
- Valtanen, E., 2009., Tekniikan taulukkokirja, 17. p., Hyvinkää: Genesis-Kirjat Oy

2006/42/Ey., 2006., Konedirektiivi, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:157:0024:0086:fi:PDF>

7 Liitteet

Liite 1. Vaatimuslista

Vaatimuslista Kuljetinhissi Finn Spring Oy		
Laitteen fyysiset mitat		
Korkeus		max 13.0 m
Leveys		max 3.0 m
Laitteen toiminnalliset mitat		
Toiminnallinen korkeus min.		0.36 m
Toiminnallinen korkeus max.		13.0 m
Nostokyky max.		1000 kg + siirtokuljetin
Nosto/lasku nopeus		0,4 m/s
Nimellinen kuorma		650 kg
Rakenteet		
Sähkökäytön toimittaja		Nordgear Oy
Ketjut		CE-hyväksytyt
Valmistettavuus		Valmistettavissa konepajalla
Turvallisuus		
Konedirektiivi		2006/42/EY
Jarrut		toimittava sähkönsyötön katketessa, tai kuorman kiihtyvyyden ylittäessä annetun raja-arvon
Ketjut		Tilaaaja haluaa hissien toimivan rullaketjulla
- määrä		max 3 kpl
- kestävyys		yhden ketjun pystyttävä tarvittaessa kannattamaan koko kuorma
Materiaalit		
Pystypalkit		teräs
Levyosat		RAEX 400

Liite 2. Runkojen laippaliitos

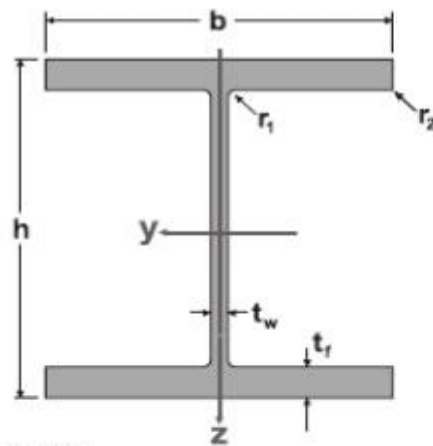
Pilariliitoksen mitoitus

Liitokseen kohdistuvat voimat

Normaalivoima	10065 N	
Akselista välittyvä pystysuuntainen voima	22453 N	
Momentti	9687375 Nmm	
Haarukan laakerin tukivoima A	15377 N	$F_A = F_B$

Massat

Ketju	88,8 kg
Haarukka	250 kg
Kuljetin	250 kg
Vastapaino	700 kg
Maksimikuorma	1000 kg



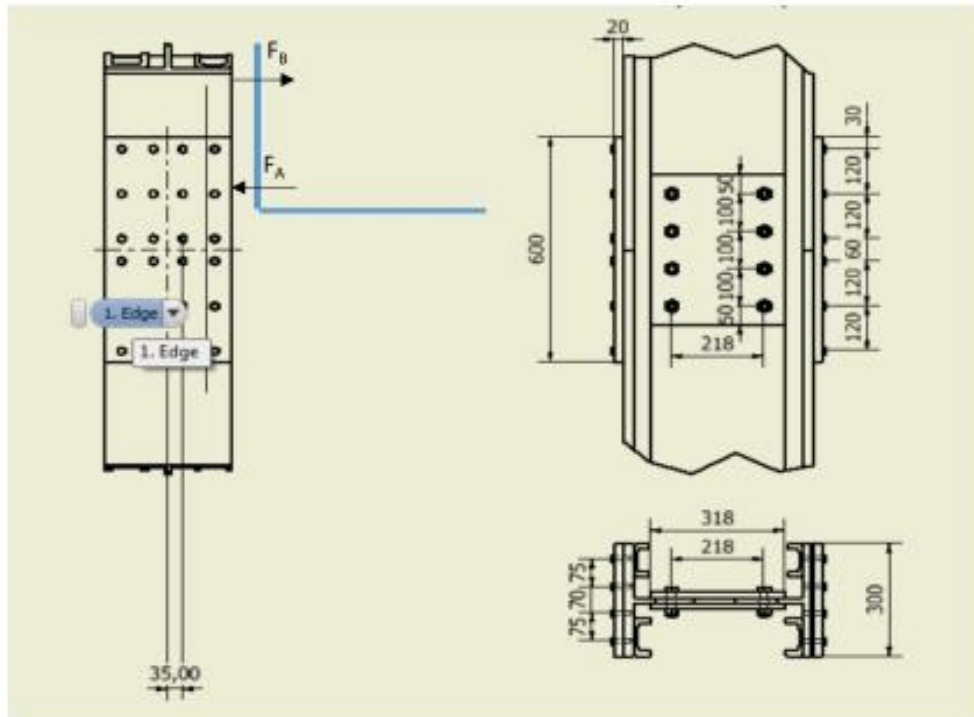
Laippojen mitat

Sivulaipat

h	600 mm
b	300 mm
t	20 mm

Uumalaipat

h	400 mm
b	318 mm
t	15 mm



Ruuvien koordinaatit

	x_i	y_i
aa	-110	270
ab	-35	270
ac	35	270
ad	110	270
ba	-110	150
bb	-35	150
bc	35	150
bd	110	150
ca	-110	30
cb	-35	30
cc	35	30
cd	110	30
da	-110	-30
db	-35	-30
dc	35	-30
dd	110	-30
ea	-110	-150
eb	-35	-150
ec	35	-150
ed	110	-150
fa	-110	-270
fb	-35	-270
fc	35	-270
fd	110	-270

Polaarinen neliömomentti	I_p	78424290 mm ⁴
Ruuvín ala (Tekniikan taulukkirja, 694, 2009)	A	84,3 mm ²
Ruuviryhmän vääntövastus	W_p	268993,0955 mm ³
Ruuviin kohdistuva leikkausvoima	Q_k	3035,935591 N
kitkakerroin teräs-teräs (Koneenosien suunnittelu, 220, 2003)	μ	0,336
Esikiristysvoima (Tekniikan taulukkirja, 700, 2009)	F_e	40000 N
varmuus	n	4,426971388
Vääntömomentti	T	9687375 Nmm

$$I_p = \sum_{i=1}^z A[(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2], \text{ (Koneenosien suunnittelu, 220, 2003)}$$

$$W_p = \frac{I_p}{\sqrt{(x_k - x_s)^2 + (y_k - y_s)^2}}, \text{ (Koneenosien suunnittelu, 221, 2003)}$$

$$Q_k = \frac{T}{W_p} A, \text{ (Koneenosien suunnittelu, 221, 2003)}$$

$$n = \frac{F_e \cdot \mu}{Q_k}$$

Liite 3. Runkopalkin nurjahdustarkastelu

Nurjahdus eurokoodin mukaan

Taivutusmomentin mitoitusarvo	M_{ed}	956470 Nmm	
taivutuskestävyyden mit.arvo	$M_{N,Rd}$		
akksiaalisen normaalivoiman mit.taso	N_{ed}	19129 N	< 2097340
uuman korkeus	h_w	422 mm	
uuman leveys	t_w	14 mm	
myörötaja	f_y	355 N/mm ²	
osavarmuuskerroin	γ_{M0}	1	
taivutuskestävyyden mit.arvo	$M_{c,Rd}$	277255000 Nmm	
	$M_{pl,Rd}$	277255000 Nmm	
taivutusvastus	W_{pl}	781 cm ³	781000 mm ³
	$M_{ed}/M_{c,Rd}$	0,0034498 OK	

Nurjahduksen mukaan ok

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ (Eurokoodi 3)}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ (Eurokoodi 3)}$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0, \text{ (Eurokoodi 3)}$$

(2)P Poikkileikkausluokissa 1 ja 2 noudatetaan seuraavaa ehtoa:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (6.31)$$

missä $M_{N,Rd}$ on plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun aksiaalisen voiman N_{Ed} pienentävä vaikutus otetaan huomioon.

Kahden akselin suhteen symmetrisille I- ja H-poikkileikkauksille aksiaalisen voiman vaikutus plastisuusteorian mukaiseen taivutusmomenttikkestävyyteen z-z-akselin suhteen voidaan jättää huomioon ottamatta, kun:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.35)$$

(1)P Taivutusmomentin mitoitusarvon M_{Ed} tulee kaikissa poikkileikkauksissa täyttää ehto:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.12)$$

missä $M_{c,Rd}$ lasketaan ottaen huomioon kiinnittimien reiät, ks. (4) - (6).

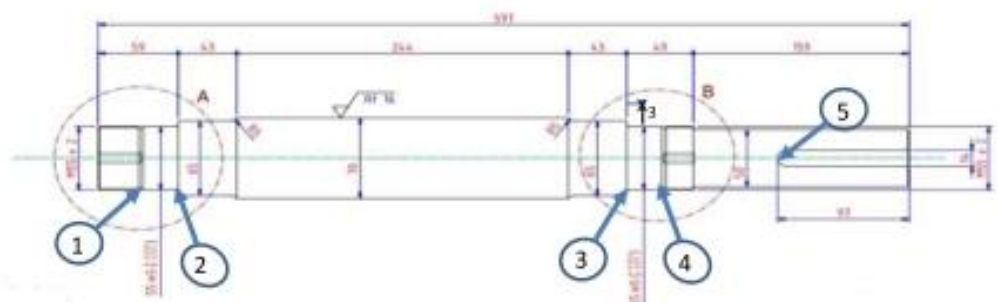
(2) Poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo poikkileikkauksen yhden pääjähyyksakselin suhteen tapahtuvassa taivutuksessa lasketaan seuraavasti:

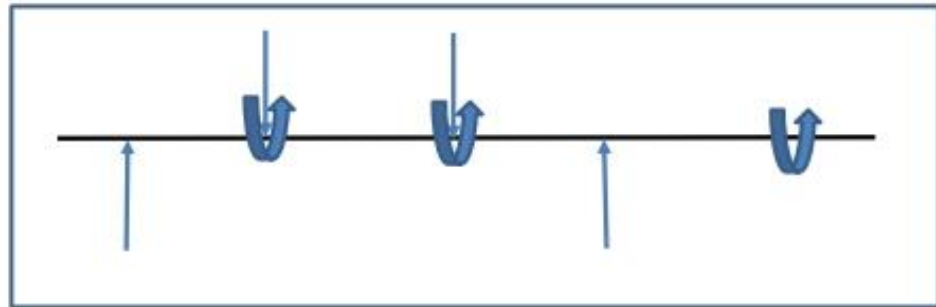
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{poikkileikkausluokat 1 ja 2} \quad (6.13)$$

Liite 4. Akselin väsymismitoitus

AKSELIN VÄSYMISMITOITUS

- Kaava 1 $F = m \cdot a$, (Tekniikan taulukkokirja, 193, 2009)
- Kaava 2 $M = F \cdot r$, (Tekniikan taulukkokirja, 207, 2009)
- Kaava 3 $F_b = \frac{F_k}{2}$
- Kaava 4 $\tau_{nim} = \frac{16 \cdot Mv}{\pi \cdot d^3}$,
(http://me.oulu.fi/files/tx_opetus/26/1223542991_Akselit.pdf, 184,
- Kaava 5 $\tau_{max} = K_t \cdot \tau_{nim}$,
(http://me.oulu.fi/files/tx_opetus/26/1223542991_Akselit.pdf, 184)
- Kaava 6 $\sigma_{nim} = \frac{M_t}{\pi \cdot d^3}$,
(http://me.oulu.fi/files/tx_opetus/26/1223542991_Akselit.pdf), 184
- Kaava 7 $\sigma_{max} = K_{ft} \cdot \sigma_{nim}$,
(http://me.oulu.fi/files/tx_opetus/26/1223542991_Akselit.pdf, 184)
- Kaava 8 $K_{ft} = 1 + q(K_t - 1)$, (Koneen elimet ja mekanismit, 285, 1999)
- Kaava 9 $K_t = 0,8991\left(\frac{r}{d}\right)^{-0,2617}$,
(Koneen elimet ja mekanismit, 286, 1999)
- Kaava 10 $K_{fv} = 1 + q(K_v - 1)$,
(Koneen elimet ja mekanismit, 285, 1999)
- Kaava 11 $K_{tv} = 0,7908\left(\frac{r}{d}\right)^{-0,2316}$,
(Koneen elimet ja mekanismit, 286, 1999)
- Kaava 12 $\sigma_{vert} = \sqrt{(K_{ft} \cdot \sigma_{max})^2 + 3(K_{fv} \cdot \tau_{max})^2}$,
(Koneen elimet ja mekanismit, 286, 1999)
- Kaava 13 $n = \frac{mK\sigma_{TW}}{\sigma_{vert}}$, (Koneenosien suunnittelu, 329, 2003)





Kuljetinhissin nostoakselin väsymislujuus

Vaikuttavat voimat

	Paino/kg	Voima/N	
Kuorma	1000	9810	
Haarukka	300	2943	
Kuljetin	200	1962	
Ketju	81,4	798,534	Rullaketju 20B-1,
Vastapaino	700	9810	paino 3,7 kg/m (SFS 2392)
Kuormavoima	F_k	25323,534 N	

Momentit

Sysäyskerroin	s_z	2
Vääntömomentti	M_v	1100268,744 Nmm
ketjupyörän jakosäde	r_{dp}	96,455 mm

Akseli

Materiaali	S355J0	
Vetomurtolujuus	R_m	490 MPa
Myötöraja	R_o	380 MPa
Taivutusvaihtolujuus	σ_{tw}	260 MPa

(Koneen elimet ja mekanismit, 283)

Kohta 1

Ei kuormia

Kohta 2

Vapaa laakerin olakkeen kohtaan ei vaikuta vääntömomenttiä, pelkästään taivutusmomentti.
Ei määräydy kriittiseksi

Kohta 3

Taivutusmomentti	M_t	132948,5535 Nmm	Kaava 2.
Laakerin tukivoima	F_b	12661,767 N	Kaava 1.
Etäisyys voimasta F_b	x_3	10,5 mm	
Vääntömomentti	M_v	1100268,744 Nmm	Kaava 2.
halkasija	d	55 mm	
halkasija	D	65 mm	
pinnanlaatu	R_a	3,2 μm	
pyöröstys	r	1 mm	
leikkausjännitys nim	τ_{nim}	33,68067738 MPa	Kaava 4.
Leikkausjännitys max	τ_{max}	64,0078993 MPa	Kaava 5.
Taivutusjännitys nim	σ_{nim}	8,139461132 MPa	Kaava 6.
Taivutusjännitys max	σ_{max}	19,6114021	Kaava 7.
Loven vaikutusluku (taiv)	K_{ft}	2,409422661	Kaava 8.
loven muotoluku	K_t	2,566025179	Kaava 9.
loviherkkyys	q	0,9	
Loviherkkyyslukuna voidaan käyttää arvoa $q = 0,9$ (Blom ym., 285, 1999).			
	D/d	1,181818182	
	r/d	0,018181818	
Loven vaikutusluku (vääntö)	K_{fv}	1,900433848	Kaava 10.
	K_v	2,000482053	Kaava 11.
vertailujännitys	σ_{avert}	112,5861475 MPa	Kaava 12.
mittakerroin	m	0,8	
Tavallisesti käytetään minimiarvona 0,8, (http://me.oulu.fi/files/tx_opetus/26/1223542991_Akselit.pdf , 189)			
pinnanlaadun kerroin	K	0,9	
Akselin kriittiset kohdat hiotaan, joten $K = 0,9$ (Koneenosien suunnittelu, 329, 2003)			
varmuuskerroin	n	1,662726758	Kaava 13.
Suositellaan nitrausta/siloittamista			

Kohta 4

Tähän kohtaan vaikuttaa pelkkää vääntömomentti

τ_{min}	44,82898159 MPa	Kaava 4.
τ_{max}	80,69216686 MPa	Kaava 5.
Kfv	1,8	Kaava 10.
D/d	1,1	
d	50 mm	
D	55 mm	
m	0,8	
K	0,9	
n	2,319927786	Kaava 13.

Kohta 5

τ_{min}	56,82545989 Mpa	Kaava 4.
τ_{max}	90,92073582 MPa	Kaava 5.
Kfv	1,6	Kaava 10
Kt	4,300963211	Kaava 9.
D/d	1,082251082	
d	46,2	
D	50	
m	0,8	
K	0,9	
n	2,058936263	Kaava 13.
r	0,5	
h	3,8	

Liite 5. Laakerien kestoikä tarkastelu

Laakerin mitoitus staattisen kuormituksen kantokyvyn mukaan

		Ohjaava laakeri	
staattinen ekvivalenttikuormitus	P_0	10050,35 N	$P_0 = \frac{F_r}{F_a}$
laakerin säteiskerroin	X_0	0	, koska $\frac{F_a}{F_r} < e$
säteittäiskuormitus	F_r	10050,35 N	(SKF Laakerikirja, 467, 1991)
laakerin aksiaalikerroin	Y_0	0	
Aksiaalikuormitus	F_a	1000 N	
Laskenta-arvo	e	0,24	
Tarvittava staattinen kantavuusluku	C_0	127000 N	$C_0 = P_0 \cdot s_0$
Staattinen kantavuusvarmuus	s_0	12,63638	> 1,5 OK

Verrataan SKF Laakerikirjan taulukon 9 (s.53) antamaan

arvoon voimakkaille sysäyskuormituksille ja normaalille käyntiäänen vaatimukselle

	Vapaa laakeri
P_0	N
X_0	0
F_r	10050,35 N
Y_0	0
F_a	0
e	0,24
C_0	127000 N
s_0	12,63638 OK

Tarkistus eliniän mukaan

$$L_{10h} = \left[\frac{1000000}{(60 \cdot n)} \right] \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

Nimellinen kestoikä käyttötunteina	L_{10h}	2061299 h	Laakeri on kestoikänsä puolesta jopa ylimitoitettu
pyörimisnopeus	n	38 r/min	
Dynaaminen kantavuusluku	C	127 kN	
Dynaaminen equivalenttikuormitus	P	10,05035 kN	
ekspotentti	p	3,333333	

Tarkistus vaaditun vähimmäiskuormituksen mukaan

SKF Laakerikirja ohjeistaa tarkistamaan vaadittavan vähimmäiskuormituksen olevan vähintään 0,02 C rullalaakerille (SKF Laakerikirja ,467, 1991).

F_{kr}	2,54 kN
C	127 kN

Laakeri vaatii sovituksen m5 (SKF Laakerikirja, 104, 1991)

Liite 6. Vaihdemoottori

NORD AAP 2.4.15 Getriebebau NORD Nostokäyttö



Sivu 1

Perustiedot

Projekti			
Nimi	Jokilehto	Kuvaus	Opinnäytetyö
Tehty	21.10.2013	Tekijä	T. Kovero
Muutettu	21.10.2013	Muokkaaja	T. Kovero
Asiakas		Yht.henkilö	
Perusasetukset			
Moottorin tyyppi / ohjaus	1-nopeus	Syöttö [V]/[Hz]	400/50
		Vaihteen tyyppi	Kartio

Jarrumoottori

Kuormitus

Omapaino	[kg]	1 300,00	Mekaaninen hyötys.	[%]	85,00
Kuorman paino	[kg]	0,00	Lisävälitys	[-]	1,00
Vastapaino	[kg]	650,00	Taljaköysistön välitys	[-]	1,00
Max. kiihtyvyys	[m/s ²]	0,20	Jatkuva voima	[N]	0,00
Max. hidastuvuus	[m/s ²]	0,20	Korkeus merenpinnasta	[m]	0
v max	[m/s]	0,40	Ympäristön lämpötila	[°C]	20
			Käyttöjä (kpl)	[-]	1
Rummun halkaisija	[mm]	200,00			
Matka	[m]	10,00			
Käyttöaika / vrk	[h/d]	8	Kuormitustapa	[-]	Normaali
Syklin kestoaika	[s]	0,00	Kuormitusaikasuhde	[%]	0
Käynn./tunti	[-]	100	Käyttökerroin	[-]	1,30
P lask (sis. hyötys.)	[kW]	3,00			

Moottori/vaihde

Käyttö: SK9032.1-112M/4 Bre60		Moottori: 112M/4 Bre60			
Nimellisteho	[kW]	4	Nimellisteho	[kW]	4,00
n2	[1/min]	38	Nimelliskäyntinopeus	[1/min]	1 445
M2	[Nm]	1005	Nimellismomentti	[Nm]	26,40
Käyttökerroin	[-]	1,5	M kiihd.	[Nm]	54,60
Välityssuhde	[-]	38,05	Hitausmomentti	[kgm ²]	0,01100
			Un	[V]	400 / 690
			Nimellisvirta	[A]	8,30
			MAF(J kuor/J moot)	[-]	1,22

Jarru

Nimellismomentti	[Nm]	60
Säädetty momentti	[Nm]	60,00
Reagointiaika	[s]	0,210
Kytkenä	[-]	AC
Ulkoinen ohjaus?		Ei



Tulokset

ylös

Valittu käyttö	ML [Nm]	M2 [Nm]	a [m/s ²]	t [s]	s [m]	v [m/s]	n2 [1/min]	n1 [1/min]
Kiihdytys	750	2 078	3,31	0,121	0,024	0,40	38,3	1 459
Vakionopeus	750	750	0,00	24,737	9,933	0,40	38,3	1 459
Jarrun reagointi	750	0	-3,93	0,210	0,043	0,01	0,8	32
Mek.jarrutus	750	-2 283	-7,56	0,001	0,000	0,00	0,0	0

Momentti vaihteen toisioakselilla

Paikoitustarkkuus ±[mm] 8,6
Sallittu käynn.tiheys / h [c/h] 393

Min. kiiht. [m/s²] 0,10

Hätä-seis nopeudella v = 24,09 m/min
s = 0,054 m
t = 0,263 s

Ohjelman ehdotukset ovat ohjeellisia, ne on tarkistettava ja hyväksyttävä ennen käyttöä.
NORD ei ole vastuussa ohjelman käytöstä mahdollisesti aiheutuvista vahingoista.

