

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikka

Karelia-amk
Mikko Hytönen

Tuotantolaitteen suunnittelu

Opinnäytetyö
Helmikuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2018

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
013 260 600

Tekijä
Mikko Hytönen

Nimeke
Tuotantolaitteen suunnittelu

Toimeksiantaja
Poimukate Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi tuotteen suunnitelmien intuitiivisesta suunnittelusta systemaattiseen suunnitteluun. Opinnäytetyössä käytetään standardin VDI 2222 määrittämiä menetelmiä tuotesuunnittelussa.

Opinnäytetyössä käytetään intuitiivisen suunnittelun menetelmiä, sekä esitetään miten intuitiota on mahdollista käyttää tuotekehityksessä ja osana suunnittelua.

Toinen opinnäytetyössä esiin tuleva aihe on VDI 2222, joka on hyvin insinöörimäinen tapa lähestyä tuotetta ja aloittaa suunnittelu, sen systemaattisen ja kaavamaisen lähestymistavan vuoksi. Suunnittelutyönä on haspeli ja siihen nostolaite. Työssä käydään läpi haspelin ja nostolaitteen eri suunnitteluvaiheet.

Opinnäytetyössä on kerrottu työn eri vaiheista ja lisäksi lisätty pohdintaa siitä kuinka työ eteni omasta mielestäni, mitä opin ja mitä olisin tehnyt toisin.

Kieli
suomi

Sivuja 39
Liitteet -

Asiasanat

koneensuunnittelu, lujuuslaskenta, FEM-analyysi



THESIS
February 2018

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
013 260 600

Author
Mikko Hytönen

Title
Production Equipment Design

Commissioned by
Poimukate Ltd.

Abstract

The focus of this thesis is in designing production equipment by using intuitive and systematic methods. The VDI 2222 standard is used as a tool to guide the product design process.

In this thesis intuitive planning methods are used and also intuitive methods are introduced as a part of a design process.

The VDI 2222 standard appears in this thesis as a guideline. The VDI 2222 is a very commonly used standard among mechanical designers because of its straightforward and step-by-step style. The practical part of the thesis is a coil decoiler and a lift for it. The steps regarding the design process are presented.

In the thesis different phases of planning and also thoughts about the process are described. Also some deliberation of the process and what I have learned during the thesis are shown as well as what would I do differently knowing what I know now.

Language

Finnish

Pages 39

Appendices -

Keywords

mechanical engineering, strength of materials, FEM-analysis

Sisältö

1	Johdanto.....	6
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	6
1.2	Yritysesittely	6
2	Tietoperusta ja tutkielma	6
2.1	Haspeli	6
2.2	Koneensuunnittelun teoriaa.....	8
2.2.1	Sähkömoottorin historiaa	8
2.2.2	Sähkömoottori	9
2.3	Systemaattinen suunnittelumetodi	10
2.3.1	Tehtävän selvittäminen	10
2.3.2	Luonnostelu.....	11
2.3.3	Kehittely	11
2.3.4	Viimeistely	11
2.4	Intuitiivinen metodi.....	12
2.4.1	Rikkianalyysi	12
2.5	Systemaattisen ja intuitiivisen suunnittelun erot.....	12
3	Suunnittelu.....	13
3.1	Tehtävän rajausta	13
3.1.1	VDI 2222.....	14
3.1.2	Tuotteen suunnittelun selvitys ja tarkennus	14
3.1.3	Ratkaisuperiaate ja luonnostelu	15
3.1.4	Ratkaisuperiaatteen kehittäminen	16
3.1.5	Haspelin viimeistely.....	20
3.1.6	Vaununostimen ratkaisuperiaate ja luonnostelu.....	20
3.1.7	Ratkaisujen kehittäminen	21
3.1.8	Nostimen lopullinen suunnitelma	21
3.2	Tehtävien tarkempi kuvaus	22
3.2.1	Vaatimusten määrittäminen	22
3.2.2	Akseli	22
3.2.3	Laakerointi	23
3.2.4	Runko	27
3.2.5	Tuurna	28
3.2.6	Tuurnan kiristinlevyt.....	28
3.2.7	Vaununostin	28
3.2.8	Sähkömoottori	29
4	Analyysit	29
4.1	Tuurnan levyt	30
4.2	Akselin kuormitus	31
4.3	Nostimen kansi.....	32
4.4	Lopullinen työ	33

5	Turvalaite-esitykset	34
5.1	Turvamatto	34
5.2	Valoverho	35
5.3	Häkki	36
5.4	Siirtoavainjärjestelmä.....	36
6	Pohdinta.....	38

Liitteet

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta

Opinnäytetyötoimeksiannon antoi Poimukate Oy. Poimukate Oy otti yhteyttä ja ilmoitti tarpeestaan uudelle haspelille, jonka on määrä tulla korvaamaan jo käytöstä poistettua haspelia. Haspeli on määritetty kohdassa 2.1. Työssä käytetään suunnittelunohjaukseen VDI 2222 menetelmää sen suoraviivaisuuden ja selkeyden vuoksi. VDI 2222 jaottelee työvaiheet selkeästi eri osiin. Työssä on mukana myös intuitiivisia tuotesuunnittelun osia, jotka on hyväksi havaittu suunnittelun edetessä. Suunnitteluun kuuluu myös valmistuspiirrosten tekeminen. Opinnäytetyössä on lueteltu laitteen käyttöturvallisuuteen käytettäviä vaihtoehtoja, jotka ovat vain esityksiä mahdollisuuksista. Taustatietoa ja käytäntöjä sai yrityksestä jo olemassa olevista tuotantolaitteista.

1.2 Yritysesittely

Poimukate Oy kuuluu vanhimpiin teräskatto- ja seinäprofiilien valmistajiin. Yritys on toiminut jo vuodesta 1958, jolloin perustajana toimi Arvo Veikko Juhani Mononen. Poimukate Oy on kattopeltejä, seinäprofiileja ja muita ohutlevytuotteita valmistava yritys. Poimukate Oy tekee myös katot peltien valssauksesta kattojen asentamiseen asti. (Poimukate Oy 2017)

2 Tietoperusta ja tutkielma

2.1 Haspeli

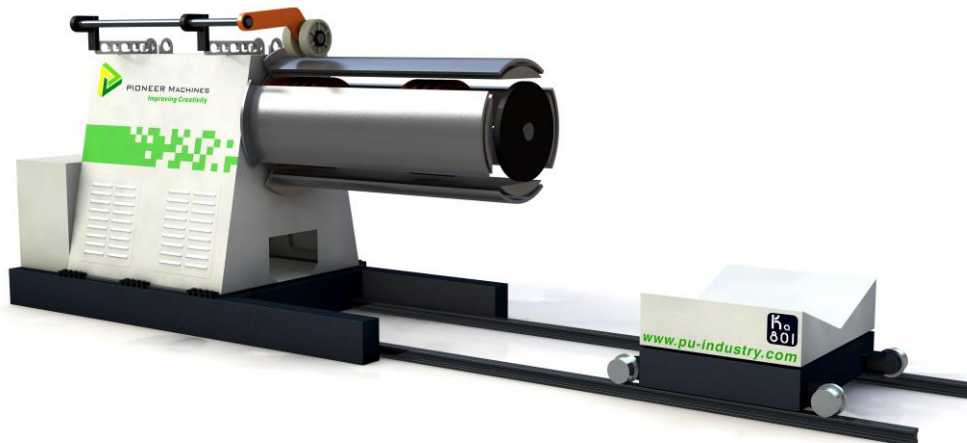
Haspeli on kelan purkamiseen käytetty laite. Laitteesta on tehty monta erilaista variaatiota monelle eri käyttökohteelle. Haspeleita on suunniteltu vertikaaliseen ja

horisontaaliseen pyörittämiseen. Haspeleita on vapaasti pyöriviä sekä moottoriavusteisia.

Haspeli kuvassa 1 on yleisesti osana isompaa tuotantoketjua, jossa tarvitaan materiaalin syöttöä kelalta linjalle. Haspeleissa on akseli, johon kela asetetaan. Tätä akselia kutsutaan tuurnaksi. Tuurna kiristää kela sisältä, jolloin kela pysyy pyöriessään paikallaan. Tuurnassa on suojaavat levyt, jotka estävät painaumien synnyn levyyn. Tämä on tärkeää varsinkin metalleilla. Metalliteollisuudessa haspeli on erittäin merkityksellinen laite automaation kannalta, sillä sen avulla mahdollistetaan jatkuva materiaalinsyöttö linjalle.

Poimukate Oy:ltä tuli selville käytettävä budjetti, jonka rajoissa materiaalikustannusten on pysyttävä. Työ on suunniteltava alusta loppuun ja on vältettävä ylimääräistä osien koneistusta. Koneen on kestävä 7500 kg kuorma tuurnalla. Tuurnaa pyörittämään haluttiin sähkömoottori, jota ohjataan ohjaintangolla. Ohjaintanko makaa ajettavan pellin päällä. Tuurnan levitystä ja supistusta ohjataan hydraulikalla, johon valitaan valmis koneikko. Haspelissa on oltava mahdollisuus käyttää vasen- tai oikeapuoleisesti. Varmuusluvuksi asiakas haluksi määritettävän luvun 2.

Haspelin lisälaitteeksi asiakas halusi vaununostimen, jolla nostetaan teräskela tuurnalle. Nostimen vaatimuksena sen on oltava liikutettavissa sähkömoottorin avulla ja jaksettava nostaa 7500 kg kuorma.



Kuva 1. Haspeli ja vaununostin (Shanghai Pioneer Precision Mechanical Equipment Co.,Ltd. 2018)

2.2 Koneensuunnittelun teoriaa

Fritz Kesselring kehitti ensimmäisiä teorioita tuotesuunnittelusta vuonna 1954. Teoriat pohjautuivat hänen käytännön kokemukseen. VDI eli Verein Deucher Ingenieure – Saksan Insinööri Yhdistys julkaisi Standardin VDI 2222 vuonna 1973, joka pohjautui hyvin pitkälle Fritz Kesselringin ja Friedrich Hansenin teorioihin. (Dutch Fluid Power Conference 2018)

Uudet mallit ja ratkaisut pohjautuvat suunnittelijan aikaisempaan tietämykseen kuten jo tunnettuihin ratkaisuihin, materiaalien ominaisuuksiin, olemassa oleviin komponentteihin sekä omakohtaisiin kokemuksiin.

Tässä opinnäytetyössä sovellettiin kahta yleisesti käytössä olevaa koneensuunnittelumetodia: systemaattista, eli valitsemaani VDI 2222 metodia ja intuitiivista suunnittelumetodia.

2.2.1 Sähkömoottorin historiaa

Maailman ensimmäisen alkeellisen sähkömoottorin keksi tiedemies nimeltä Michael Faraday vuonna 1821. Hän upotti vapaasti roikkuvan johtimen elohopea-astiaan, jonka keskellä oli kestopagneetti. Kun johtimeen kytkettiin sähkövirtajohdin kääntyi magneetin ympäri, josta voi päätellä magneetin muodostaneen magneettikentän johtimen ympärille.

Varsinaisen ensimmäisen sähkömoottorin keksi Anyos Jedlik vuonna 1828, josta seurasi William Sturgeonin keksimä tasavirtamoottori, sekä kommutaattoria hyödyntävä sähkömoottori vuonna 1832. Thomas Davenport lähti tutkimaan Sturgeonin työtä ja kehitti kaupalliseen tarpeeseen tehdyn sähkömoottori. Thomas sai patentin moottorilleen vuonna 1837. Thomas Davenportin yritys kuitenkin kaatui kalliin sähkönvuoksi, koska 1800-luvun alkupuolella sähkövirtaa saatiin vain kemiallisista paristoista.

Zènope Gramme vuonna 1873 huomasi sattumalta rengasankkurilla varustetuista dynamoista, että kahden rinnankytketystä dynamosta toinen alkoi pyöriä, kun toista pyöritettiin ulkoisella voimalla.

Nikola Teslaa pidetään vaihtovirtatekniikan ja vaihtovirtamoottoreiden kehittäjänä. Tesla keksi vaihtovirtamoottorin 1880-luvulla. (Wikipedia 2017)

2.2.2 Sähkömoottori

Sähkömoottoreista yleisin teollisuuskäyttöön käytettävä moottori on Nikola Teslan keksimä oikosulkumoottori. Oikosulkumoottori toimii vaihtovirralla ja nimitys oikosulkumoottori tulee oikosulkuun kytketyistä roottorin navoista. Vaihtovirta kytketään staattoriin siten, että roottorin ympärillä muodostuu pyörivä magneettikenttä. Staattorin kenttä vääntää roottoria liikkeelle. Magnetoitunut roottori pyrkii seuraamaan staattorin pyörivää magneettivuota ja tästä seuraa vääntömomentti. Oikosulkumoottori koostuu kotelosta, jossa ovat staattorinkäämit ja käämien sisäpuolella pyörivästä roottorista.

Parhaat hyötysuhteet saadaan suurista sähkömoottoreista, jopa 97%. Pienitehoisista moottoreista saadaan noin 60-70%. Hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat tuuletin, laakerikitka sekä käämien lämpeäminen.

Euroopassa sähkömoottorit on luokiteltu vuodesta 1997 EFF-standardin mukaan kolmeen eri EFF-luokkaan tehoalueella 1.1-90kW, joissa EFF3 on huonoin teholuokka, joka poistui Euroopan markkinoilta.

Suurin hyötysuhde saavutetaan suprajohdetuilla moottoreilla, mutta korkea hinta on osoittautunut esteeksi kysynnälle.

Sähkömoottori verrattuna polttomoottoriin on hyötysuhteeltaan parempi. Esimerkiksi ottomoottorilla hyötysuhde on noin 25% ja voimalaitosdieselillä noin 40%. (Wikipedia, 2017)

2.3 Systemaattinen suunnittelumetodi

Opinnäytetyössä enimmäkseen käytetty metodi on Saksasta peräisin oleva, useista suunnittelumetodeista koostuva systemaattinen koneensuunnittelu, jossa tehtävä jaetaan useisiin pienempiin kokonaisuuksiin. Tämä helpottaa suunnitteluprosessia ja tekee siitä helposti tarkasteltavan. Jaoteltuja tehtäviä on näin helpompi muunnella, analysoida ja yhdistellä. (Pahl & Beitz, 1990, s. 17, 35.)

Suunnittelu jaotellaan neljään eri päävaiheeseen (Pahl & Beitz, 1990, s. 48):

- tehtävän selvittäminen
- luonnostelu
- kehittäminen
- viimeistely.

Tehtävän loppuun saattaminen vaatii päävaiheiden tutkiskelun erilaisilla analyyseillä. Kun haluttu taso on saavutettu, voidaan siirtyä seuraavaan päävaiheeseen. Päävaiheissa edetessä voidaan palata vaiheesta toiseen, mikäli prosessin edetessä huomataan työvaiheita, jotka vaativat toimenpiteitä. Suunnittelun viimeistelyssä käydään vielä läpi koko työ lopputarkistuksena, kunnes haluttu lopputulos on saavutettu. (Pahl & Beitz, 1990, s. 46–48.)

2.3.1 Tehtävän selvittäminen

Suunnitteluprosessi aloitetaan kartoittamalla asiakkaan tarve ja vaatimukset työlle. Laitteelle määrätään ominaisuudet, jonka rajoissa laitteen tulee olla. Tuote painoarvotetaan vaadittavien ominaisuuksien mukaan, sekä käytettävä budjetti otetaan huomioon. Tästä saa rungon, josta aloitetaan jalostamaan suunnitelmaa eteenpäin. (Dutch Fluid Power Conference. 2018)

2.3.2 Luonnostelu

Luonnostelussa, toisin sanoen konseptoinnissa, tarkennetaan tuotteen ominaisuuksia, kuten materiaali, funktio, staattiset ja dynaamiset ominaisuudet. Näillä asioilla luodaan ajatuksellinen kuva tuotteesta, joka aiotaan toteuttaa. Luonnostelussa jaetaan työ osiin ja muokataan näitä kokonaisuuksia yhteensopivaksi. Luonnosteluvaiheessa pyritään suunnittelemaan usea vaihtoehto kullekin kokonaisuudelle. Mikäli myöhemmässä suunnitteluvaiheessa ilmenee ongelmia, voidaan valita toinen jo suunniteltu komponentti tilalle. (Dutch Fluid Power Conference. 2018)

2.3.3 Kehittely

Kehittelyssä valitaan luonnostelusta tulleet kokonaisuudet ja valitaan niistä toimivimmat. Valinnan jälkeen valitut komponentit otetaan osaksi kokonaisuutta ja aletaan muokkaamaan tuotetta vastaamaan asiakkaan tarpeita. Tässä vaiheessa on mahdollista ottaa suunniteltu luonnos pois projektista jo korvata se uudella luonnostellulla osalla ja aloittaa komponentin suunnittelu uudelleen, mikäli on havaittu jotain epäkohtia edellisessä tuotteessa. (Dutch Fluid Power Conference. 2018)

2.3.4 Viimeistely

Viimeistelyssä keskitytään dokumentoinnin laatimiseen, missä määrätään kappaleiden materiaali, yksittäisten osien mitoitus, pinnanlaatu ja valmistusta koskevat määritykset. Mitä lähemmäksi lopputuotetta mennään, sitä tärkeämmäksi valmistustekninen ja rakenteen optimoiminen valmistustehokkaaksi korostuu. (Pahl & Beitz, 1990, s. 50.)

2.4 Intuitiivinen metodi

Opinnäytetyössä hyödynsin intuitiivisia suunnittelumetodeja, eli tietoista tajunnan ja alitajuntaa. Intuitiivinen metodi on yhdistelmä intuitiivista jännitettä, heuristisia pisteitä, lyhyttä logiikkaa ja määrättyjä aikatauluja. Intuitiiviselle suunnittelulle on tehty kaava, jota menetelmä noudattaa useimmissa tapauksissa. Metodi muodostuu alkutehtävästä, prototyypistä tai vanhentuneesta omasta tuotteesta ja uudesta tuotteesta. Tähän kuuluu myös alakäsitteet kuten rikkianalysointi tai kilpailevien tuotteiden ratkaisuja, oman tuotteen rikkianalysointi ja lisäideointi. (Jorma Tuomaala, 1995, s. 33.) Paras lopputulos saadaan, kun valmistetulle prototyypille tehdään rikkianalyysi, jossa paljastuu tuotteen ominaisuudet ja antaa mahdollisuuden tarkastella tuotetta. Tästä tulee tapa, jossa tuotetta kehitellään uudestaan ja uudestaan, kunnes haluttu malli on saatu valmiiksi.

2.4.1 Rikkianalyysi

Rikkianalyysillä analysoidaan olemassa olevan tuotteen ominaisuuksia, joihin voidaan lisätä uusia ratkaisuja, jotka syntyvät intuitiivisella suunnittelulla. Rikkianalyysin jälkeen tehdään luonnosteluja mahdollisista ratkaisuista annettuun tehtävään. Kun luonnoksia tarkennetaan ja kiinnitetään huomiota yksityiskohtiin, intuitiivinen jännite kasvaa. Jännitteen kasvettua riittävästi, ratkaisu löytyy tarkennetuista luonnoksista. (Tuomaala, 1995, s. 32–74.)

2.5 Systemaattisen ja intuitiivisen suunnittelun erot

Hyvänä esimerkkinä metodien kuvailemisessa toimii palapelin kokoaminen. Palapeli koostuu sadoista erimuotoisista paloista, jotka koottuna muodostavat kuvan, sama kuva löytyy myös palapelilaatikon kannesta. Systemaattisessa menettelyssä palapelin ratkaiseminen aloitettaisiin kulmapaloista, koska näissä on suuntia johon palapeli voi jatkua kaksi vähemmän. Kulmapalojen värit kertovat mihin nurkkaan palat kuuluvat, kun verrataan paloja kansikuvaan. Tämän jälkeen jatkettaisiin täyttämistä alarivistä,

koska paloista löytyy yksi suora sivu ja on helpompi seurata kansikuvaa. Toinen rivi onkin jo hankalampi, koska ei ole suoraa sivua apuna, vaan on seurattava värejä ja muotoja, jotta oikeat palat löytyvät. Mikäli työ tehtäisiin tietokoneella, pystyttäisiin se tekemään helposti logiikalla. Tämä kuitenkin vaatii paljon työtä ja valmisteluja. Intuitiivisella suunnittelumenetelmällä palapeli ratkeaa huomattavasti helpommalla. Ensin levitellään ja järjestellään palat oikeinpäin. Katsotaan kansikuvaa ja painetaan kuva mieleen, tämä jättää jäljen mieleen minkälainen kuva työstä on muodostumassa. Etsitään jokin yksityiskohta, jonka ympärille on helppo lähteä rakentamaan kokonaiskuvaa, tätä kutsutaan heuristiseksi pisteeksi. Lyhyttä logiikkaa taas käytetään yksityiskohdan ympärille etsittäessä paloissa. Kun yhden alueen heuristinen piste ei pääse enää laajenemaan vaikeiden kohtien vuoksi, etsitään seuraava heuristinen piste ja aletaan laajentamaan sitä. Heuristisista pisteistä muodostuu verkko, kun pisteet laajenevat niin paljon, että alueet liittyvät toisiinsa. (Luova koneensuunnittelu, 1995, s.23-24).

3 Suunnittelu

3.1 Tehtävän rajaus

Tehtävä aloitettiin yritysvierailulla. Vierailun tarkoituksena on kartoittaa yrityksen toiveet ja vaatimukset tuotteille. Opinnäytetyön aikataulusta ja toimituspäivät sovittiin yhdessä. Kokonaisuudessaan haspeli, sekä vaununostimen ja näiden voimansiirto on suuri kokonaisuus, joten työstä jätettiin pois turvalaitesuunnittelu, sekä automaatio ja ohjaus. Turvallisuuteen liittyvät seikat rajattiin pois niiden laajuuden ja monimutkaisuuden vuoksi. Haspelin on pystyttävä liikkumaan valssauslinjalta toiselle kun myös työntekijöiden on pystyttävä kulkemaan linjojen luona, sekä haspelilla tarvittaessa. Koneen ympäröivän tilan turvalaitteiden suunnittelu jätettiin näin ollen pois. Haspelien ja vaununostinta koskevia turvalaitteita ei otettu mukaan tähän opinnäytetyöhön, koska ne kuuluvat ohjauksen suunnitteluun.

Rajaukseen vaikuttivat käytettävän teräsrullan mitat ja paino, 1250 mm pitkä, 1500 mm leveä, sekä 7500 kg paino. Myös valssauslinjan vetonopeus 30 m/s on huomioitava, jotta haspeli pystyy syöttämään vaadittavalla nopeudella peltiä linjastolle.

Vaununostimen rajoitteina on teräskelan paino ja mitat. Toimitettu työ sisältää siis haspelin ja vaununostimen suunnittelun, näiden valmistuspiirrokset ja analyysit. Tästä opinnäytetyöstä on kuitenkin poistettu piirustukset yrityksen toiveena.

3.1.1 VDI 2222

Tehtäessä standardin VDI 2222 mukaan työ alkaa ongelmasta, joka on tässä tapauksessa haspeli ja tähän vaununostin jolla nostetaan kela tuurnalle. Tästä päästään vaiheeseen yksi, joka on tarkentaa mitä tarvitaan ja miten ongelma ratkaistaan, eli haspelille on annettu lähtötiedot, jotka haspelin toivotaan täyttävän. Vaiheessa yksi laaditaan vaatimuslista, josta käy ilmi vaatimukset ja niiden vaatimusluokat. Vaiheessa kaksi määritetään toiminnot ja sitä varten tarvittavat osat. Vaiheessa kolme etsitään ratkaisuja rakenteille ja muille tarvittaville osille. Vaiheessa neljä jaetaan työ toteutettaviin kokonaisuuksiin. Vaiheessa viisi tehdään tärkeimmistä osista suunnittelu. Vaiheessa kuusi luodaan suunnittelu kokonaisuudesta ja vaiheessa seitsemän luodaan kooste tehdystä työstä ja materiaaleista.

3.1.2 Tuotteen suunnittelun selvitys ja tarkennus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella haspeli ja vaununostin, joka toimii osana kattopeltien ja seinäprofiilien valssauslinjaa. Laitteiden on oltava yksinkertaisia ja helposti käytettävissä. Kun suunnittelutyö on tehty voi yritys päättää toteuttavatko he suunnitelman vai muokkaavatko työtä omanlaisekseen. Tehtävän tarkennuttua luotiin vaatimuslista Poimukate Oy:n edustajan kanssa, (Taulukko 1, s.15). Vaatimuslistassa listattiin haspelin ja vaununostimen käytön kannalta oleellisia asioita kolmeen luokkaan, kiinteä vaatimus KV, vähimmäisvaatimus VV ja toivomus T sekä näiden tärkeys arvioitiin numerolla 1-5. Vaatimuslistassa tärkeimpinä olivat kustannukset, huollettavuus sekä kestävyys. Tämän perusteella aloin pohtimaan järkeviä ratkaisuja

haspelin toteuttamiseksi, sekä tekemään selvitystyötä internetistä ja jo yrityksessä olevista haspeleista. Selvityksessä haastattelin työntekijöitä ja otin heidän toiveet huomioon. Huollettavuus ja käytettävyys nousivat näissä keskusteluissa esiin.

Muutos pvm.	KV, VV, T	VAATIMUS	Tärkeys
		GEOMETRIA	
	KV	Ulkomitat	1
		KINEMATIikka	
	T	Pienet vierintävastukset	2
		VOIMAT	
	VV	Kokoonpanon on kestävä kiihdytys ja jarrutus kelan kanssa	4
		ENERGIA	
	KV	Sähkö- ja hydraulimoottori	1
		AINE	
	KV	Lujat materiaalit	3
		TURVALLISUUS	
	VV	Turvallisesti ajettava	4
		VALMISTUS	
	T	Komponentit valmistettavissa ilman tarpeettoman paljoa koneistusta	3
		TARKASTUS	
	T	Haspelin toimivuus	4
		KULJETUS	
	VV	Nosturilla nostettavissa	1
		KÄYTTÖ	
	VV	Päivittäinen tuotanto	4
		KUNNOSSAPITO	
	VV	Komponenttien vaihto ja huolto	4
		KUSTANNUKSET	
	KV	Alle 20 000€	5
		TOIMITUSAIKA	
	KV	Vk52 2017	2

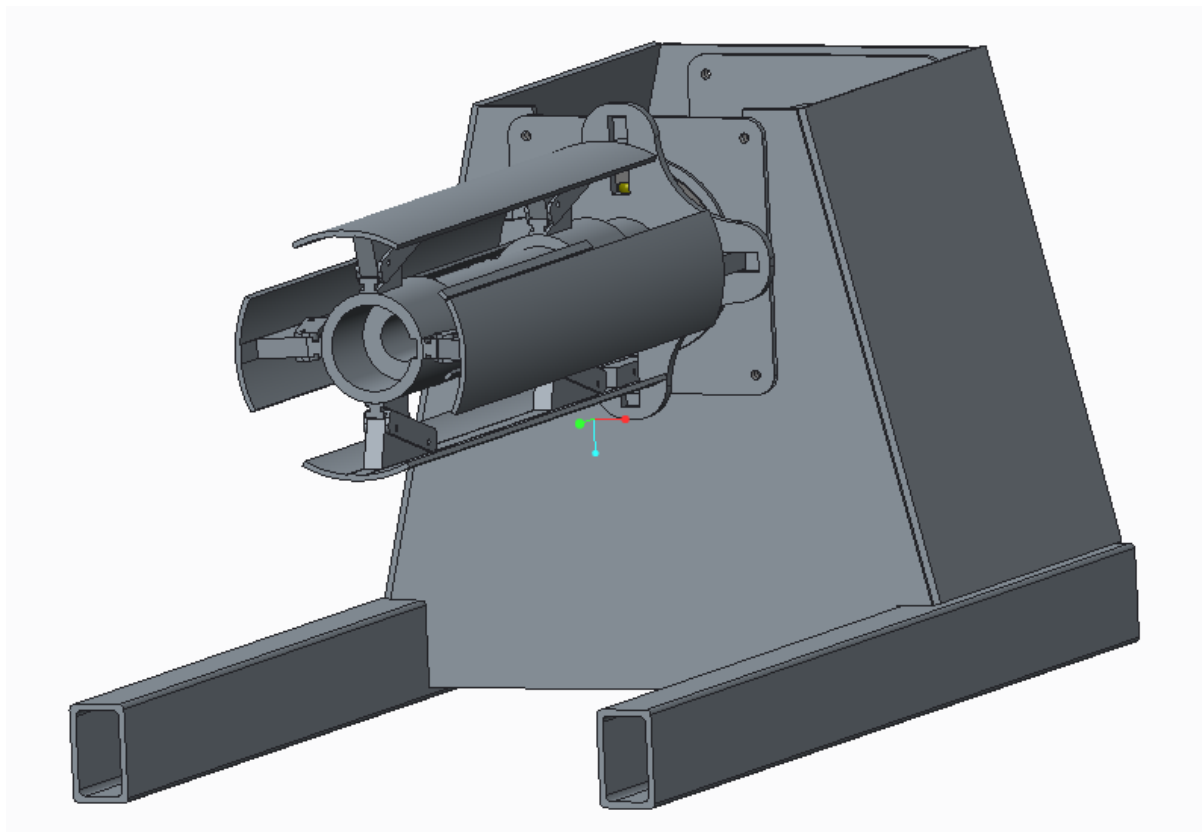
KV = kiinteä vaatimus, VV = vähimmäisvaatimus, T = toivomus

Taulukko 1. Vaatimuslista

3.1.3 Ratkaisuperiaate ja luonnostelu

Ratkaisuperiaate ja alustava luonnos tehtiin intuitiivisen koneensuunnittelun menetelmin. Haspelia alettiin suunnitella annetun kuorman ja jo olemassa olevien laitteiden pohjalta. Ensin laitteista tehtiin karkea luonnos paperille, jonka pohjalta

tehtiin 3D-malli Creo Parametric 2.0-mallinnusohjelmalla. Luonnoksesta tehty 3D-malli on kuvassa 2. (s.16). Kuvasta hahmottuu miten haspeli tulee toimimaan ja pääpiirteittäinen ulkomuoto, millainen laitteesta on määrä tulla.



Kuva 2. 3D-malli luonnoksesta, versio 1

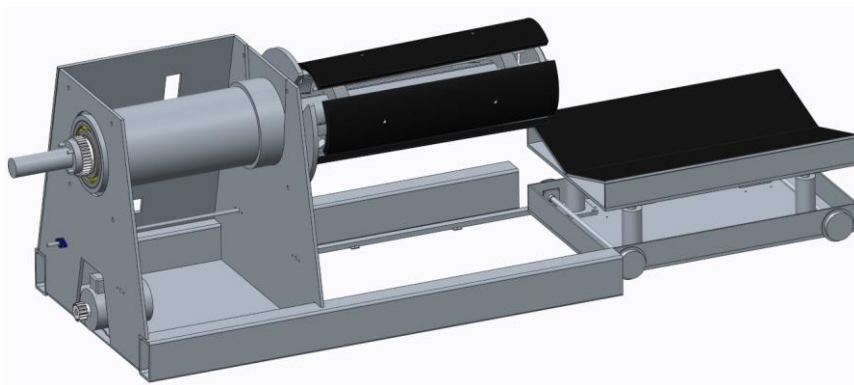
3.1.4 Ratkaisuperiaatteen kehittäminen

Ratkaisuperiaatetta kehitettiin tehtävän antajan kanssa ja ottamalla oppia jo käytössä olevista haspeleista. Kehitystyötä tehtiin yhteistyössä työntekijöiden kanssa ja heidän toiveita huomioitiin. Työntekijöiden toiveena oli tehdä haspelista yksinkertainen, helposti huollettava ja käytännöllinen. Otin oppia yrityksen kahdesta haspelista, joiden avulla suunnittelin liukulaakerit päätylevyyn. Laakerit ehkäisevät tuurnaa jumiutumasta. Kuva laakereista ja niiden sijoittelusta (Kuva 3, s.17).



Kuva 3. Liukulaakerit päätylevyssä

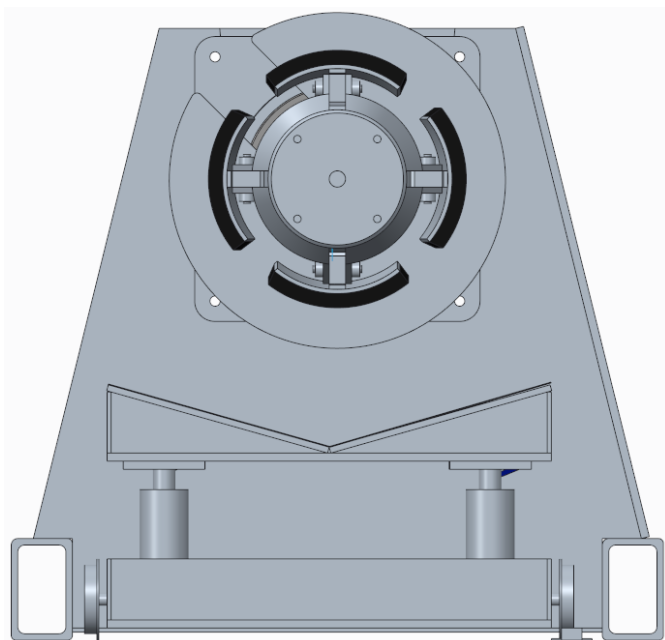
Työntekijät halusivat myös huollettavuuden olevan helppoa, joten haspelin sisustan suunnittelin tilavaksi, että työskentely koneikoilla olisi helpompaa huoltoluukun kautta. Myös osien irroitus ja takaisin asennus otettiin huomioon. Haspelin tuurna suunniteltiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Myös laakerit ovat vaihdettavissa, sekä tarkastettavissa nostamalla tuurna kiinnityksiltään pois. Nostaminen onnistuu yrityksen siltanostimella. Liukulaakerit päätylevyssä ovat helposti vaihdettavissa lukkorengaskiinnityksen ansiosta. Kuvassa 4 näkyy tuurnan kokonaisuus ja tapa miten tuurnapaketin voi nostaa pois. Myös koneikolle varattu tila on riittävän suuri.



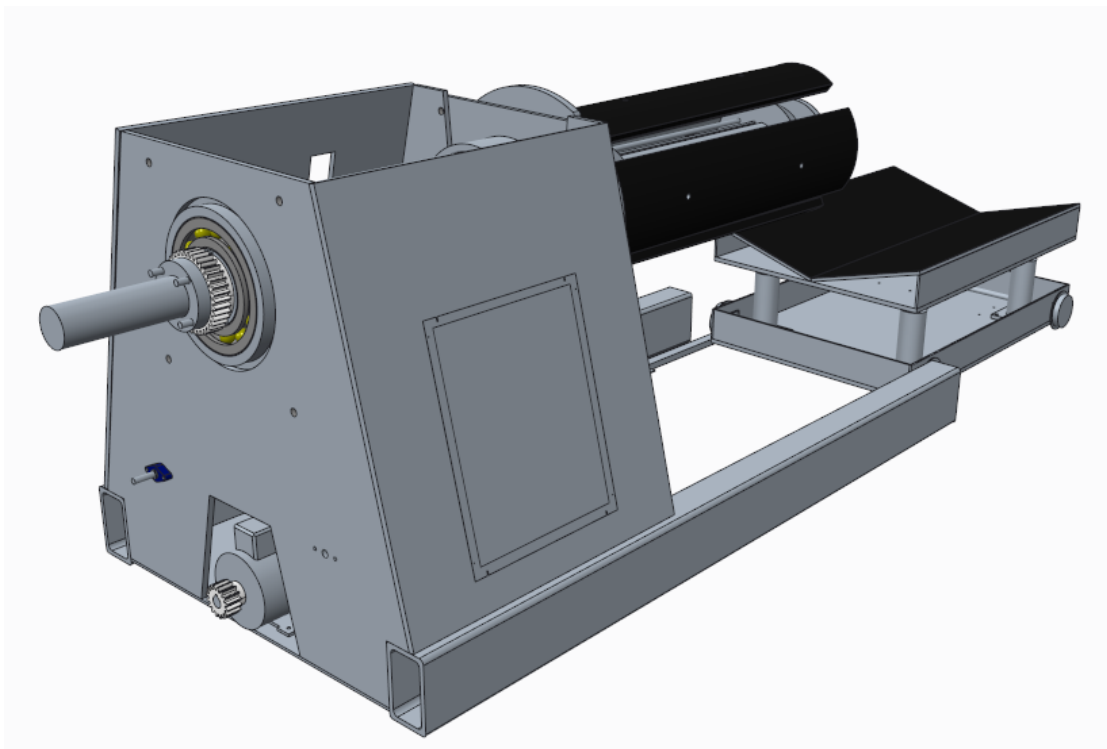
Kuva 4. Haspelin sisusta, jossa tila hydraulikoneikolle.

Päädyin vaihtamaan akselilla liikkuvan kelkan muotoa toimintavarmuuden parantamiseksi, näin estetään liukukiilojen jumiutuminen kiristys- ja vapautusvaiheessa. Luonnoksen toisessa versiossa muutin tuurnan muotoa, joka toi hieman lisää koneistettavaa.

Tuurnan kiristinlevyjen leveyttä lisäsin, jotta kelaan kohdistuisi kiristettäessä mahdollisimman laajalle alalle tasainen paine. Tällä voidaan vähentää riskiä, että tuurna tekisi jälkiä kelaan liian suuren paineen vuoksi. Tuurnan kiristysliikettä ohjaa hydraulisylinteri, joka on kiinnitetty haspelin takaosaan. Sylinteri liikuttaa tuurnan akselilla olevaan kelkkaa. Kelkan osat ovat yhteydessä toisiinsa trapetsitangoilla. Trapetsitanko antaa liikkumavaraa ja säädettävyyttä kelkalle. Tuurnan päätylevyn suunnittelin pyöreäksi, jotta muoto olisi yksinkertainen. Lisäksi suunnittelin päätylevyyn kolon, jotta kela voidaan tuoda haspelille myös suoraan siltanostimella. Kuvassa 5 on nähtävissä suunniteltu päätylevy ja kolo lastausta varten.



Kuva 5. Tuurnan levyt ja päätyprofiili



Kuva 6. Hydraulisylinteri ja kiinnitys, versio 2

Haspelin kylkeen lisäsin reiät, joista on mahdollista viedä hydrauliletkut ja sähköjohdot vaununostimelle. Myös yksi reikä on tehty, jotta ohjainyksikkö voidaan kiinnittää haluttaessa haspelin kylkeen. Haspelin kansi on auki, jotta työntekijöille ei tule tarve jättää tavaroita haspelin päälle lojumaan, joka lisää työturvallisuusriskiä, sekä lisää työtä kun tavarat eivät ole niiden osoittamilla paikoilla.

Versio 2 valittiin suunniteltavaksi työksi, jonka pohjalta haspeli ja sen piirustukset toteutettiin. Valinta tehtiin yhdessä yrityksen edustajan kanssa. Työssä on muutama osa, jotka vaativat versiota 1 enemmän koneistusta, mutta työ vaikutti muuten kestävämmältä, joten versio 2 valittiin toteutukseen. Kuvassa 6 näkee tuurnan liikettä ohjaavan hydraulisynterin kiinnityksen.

Haspelin toimintaperiaate on seuraavan lainen:

- Kela tuodaan siltanostimella kelavarastosta ja lasketaan vaununostimelle. Tämän jälkeen nostimen sylinterit nostavat kelan riittävän korkealle, jotta kelan saa pujotettua tuurnalle.
- Tuurna kiristyy akselin sisällä olevan sylinterin avulla ja kiristää kelan tuurnan ympärille hydraulipumpun avulla.

- Anturivarsi nostetaan pellin päälle. Pellin aiheuttama liike nostaa anturivartta, joka noustessaan irti kytkimestä käynnistää sähkömoottorin ja saa tuurnan pyörimään.
- Peltiä vedettäessä valssauslinjalle pelti nousee, joka käynnistää haspelin pyörimään.
- Haspeli pysähtyy kun anturinvarsi painuu riittävän alas.
- Kelan poisto haspelilta tapahtuu käänteisessä järjestyksessä. Teräskela pakataan tuurnalla, jonka jälkeen tuurnan alle ajetaan vaununostin. Nostin nostetaan lähelle kelaa ja tuurnan kiristys vapautetaan. Nostinta lasketaan hieman, jotta pelti ei ota tuurna kiinni kelaa pois ajettaessa.

3.1.5 Haspelin viimeistely

Viimeistelyvaiheessa haspeliin lisättiin toleranssit sovitteiden ja liukupintojen vuoksi. Valmistus- ja hitsauspiirrokset viimeisteltiin. Creon simulointityökalulla tarkistettiin törmäykset mahdollisten virheiden vuoksi ja samalla pystyi seuraamaan laitteen toimivuutta teoriassa. Laitteiden kaikki 35 valmistuspiirustusta hyväksyttiin toimeksiantajalla. Version 1 piirustuksia ja suunnitelmia ei toimitettu toimeksiantajalle. Tästä julkisesta työstä on poistettu valmistuspiirustukset yrityksen toiveesta.

3.1.6 Vaununostimen ratkaisuperiaate ja luonnostelu

Vaununostimen suunnittelu alkoi haspelin tapaan paperille hahmottelusta ja jo olemassa olevista nostimista mallia ottamalla. Vaihtoehtoina olivat sylintereillä suoraan ylöspäin nostaminen tai vaihtoehtoisesti saksinostintyyppinen ratkaisu. Näistä vaihtoehdoista päädyin sylintereillä suoraan ylöspäin tehtävään nostoon, sillä tämä ratkaisu tulee halvemmaksi, kun ylimääräinen koneistus jää pois. Alkuperäisessä ideassa vaununostimeen suunniteltiin peltiset reunat, mutta ne poistettiin tarpeettomuuden vuoksi ja näin konstruktio saatiin matalammaksi. Nostimeen lisättiin kiinteä teräksinen pohja, johon sylinterit kiinnitetään pulteilla kiinni. Nostimen pintalevyt suunniteltiin v-

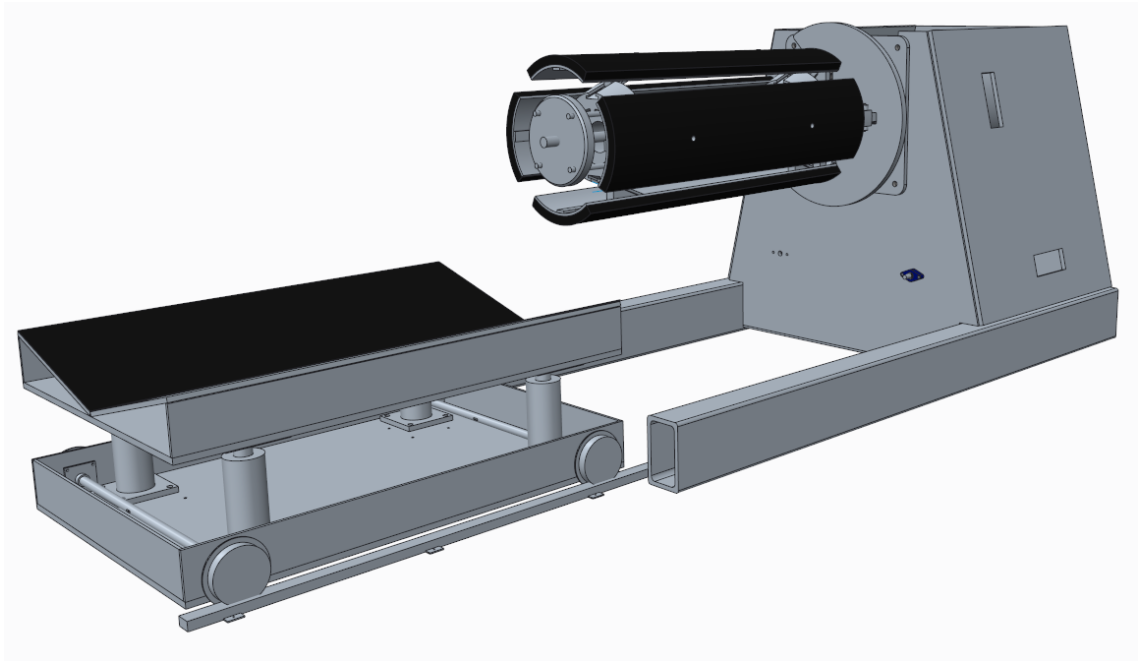
muotoon, jotta kela keskittyy keskelle itseksensä ja tuurnalle nosto on helpompi ja kela pysyy tukevasti paikallaan. Nostimen pintaan suunniteltiin kumimatto estämään maalipinnan naarmuuntumista ja pitämään kelan tukevasti paikallaan. Nostimen sylinterit ovat kaksitoimiset hydraulisyliinterit 300 mm iskulla. 300 mm isku on riittävä liike nostovaunulle ottaen huomioon kelan korkeuden pienimmästä suurimpaan.

3.1.7 Ratkaisujen kehittäminen

Vaunu voi olla liikuteltavissa käsin, mikäli laakerointi on kunnossa, mutta käytännöllisyyden ja turvallisuuden vuoksi nosturiin tuli sähkömoottori liikuttamaan vaunua. Näin saatiin pienennettyä riskiä, että työntekijä jäisi kiskon ja pyörän väliin tai vedettäessä loukkaisi selkensä. Hydrauliletkuille lisätään laitteen sivuun johtotela, jota pitkin letkut kulkevat haspelin sisällä olevaan hydraulikoneikkoon. Nostimelle tehtiin akselit ja toiseen kiilan paikka, jotta sähkömoottori ja akseli saadaan yhdistettyä ketjulla toisiinsa. Nostimen ohjaus tapahtuu ohjausyksiköstä, joka on haspelin ohjausyksikön yhteydessä.

3.1.8 Nostimen lopullinen suunnitelma

Sivulla 22 näkyvä kuva 7 osoittautui lähelle valmista, joten tästä mallista tehtiin piirustukset valmistusta varten. Vaununostimen pohjaan suunnittelin tukevia kolmioita, jotka estävät vaunua notkahtamasta kuopalle. Kulmaraudat on hitsattu pienahitsauksella vaunun reunoihin lähelle hydraulisyliintereitä. Pyörät on suunniteltu kulkemaan teräskiskolla, joten pyöriin oli lisättävä laipat, jotta vaunu ei putoa raiteilta liikuteltaessa.



Kuva 7. Suunnitelman 2 valmis kuva

3.2 Tehtävien tarkempi kuvaus

Seuraavissa väliotsikoissa kuvailen osia ja niiden toteutusta tarkemmin. Tässä selvennetään vaatimukset, jotka ohjaavat suunnittelua ja antavat työlle rajoja.

3.2.1 Vaatimusten määrittäminen

Haspelin ja vaununostimen suunnittelu alkoi tehtävän selventämisestä. Haspelin on kyettävä pyörittämään kelaia riittävän nopeasti niin, että valssauslinja ei ole haspelia nopeampi, eli noin 30 m/s. Haspelille haluttiin iso moottori, joka olisi pitkäikäinen ja huoltovapaa, teholtaan 7,5 kW. Haspeli olisi tarpeen tullen mahdollista vaihtaa oikeakätisestä vasenkätiseksi ja olisi liikuteltavissa kiskoilla.

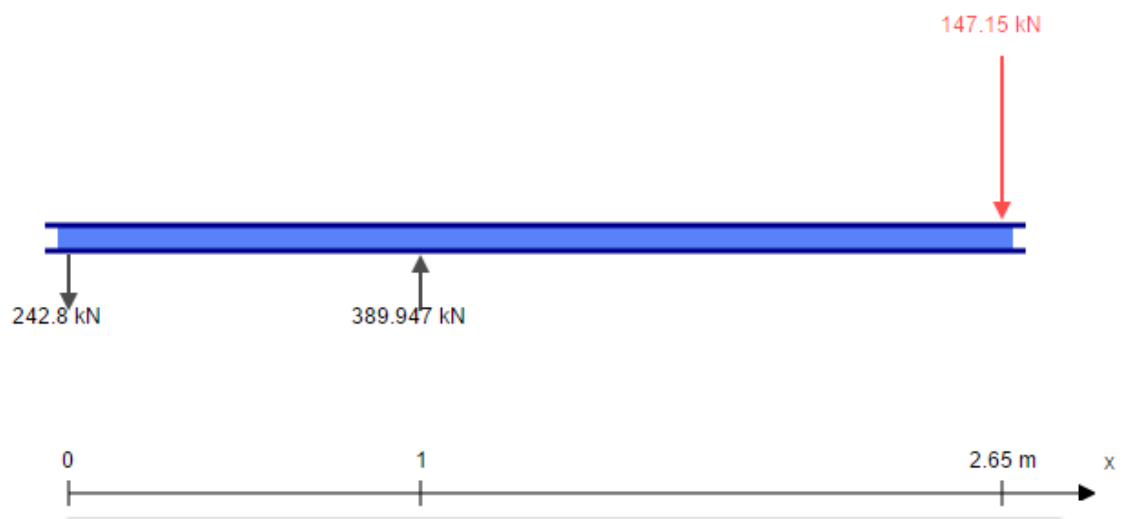
3.2.2 Akseli

Mitoitus oli aloitettava tuurnan akselistä. Akselin on kestettävä 15000 N kuorma akselin kärjessä ja maksimitaipumaksi oli asetettu 10 mm. Vaadittava kuorma tulee teräskelan painosta 7500 kg, varmuuskertoimesta 2 ja kuorma on akselin kärjessä, koska näin

saadaan äärimmäinen tilanne akselille mahdollisen tapaturman varalta. Akseli on tuettu kahdella kuulalaakerilla.

3.2.3 Laakerointi

Akselin paksuuden kautta pääsi kiinni tulevan laakerin kokoon. Laakeri päädyttiin valitsemaan kuulalaakeriksi rullalaakerin sijaan, sillä jos akselin päähän heilahtaa teräskela esimerkiksi siltanosturilla nostaessa kestää kuulalaakeri paremmin tämän kuin rullalaakeri. Laskentakuulalaakeriksi on esivalittu dynaamisen kuorman perusteella (s. 24) SKF 6244M, sekä ohjaavaksi laakeriksi SKF 6344M. SKF 6344M:n dynaamisen kuorman ehto ei täyty sivulla 26, mutta päätettiin valita tämä koska kuorma ei ole pistemäinen akselin kärjessä vaan jakautuu tasaisesti 1250 mm matkalle akselille, jolloin laakeri kestää vaikka varmuuskertoiseksi on määrätty 2. Asiakas pyysi selvittämään toimisiko liukulaakeri haspelissa, koska tämä olisi paljon kuulalaakeria halvempi vaihtoehto, mutta laskujen jälkeen kävi ilmi, että liukulaakeri ei olisi kestoältään hyvä ratkaisu haspelissa. Liukulaakerin käyttöikä todettiin laskukaavalla sivulla 26.



Kuva 8. Statiikka akselille.

HASPELIN LAAKERILASKUT (kuulalaakeri ja liukulaakeri)

KUULALAAKERI

Vaatus kelansyöttönopeudelle:	30 m/s
Kelan suurin säde (täysi kela):	1500 mm
Kelan pienin säde (lähes lopussa oleva kela):	600 mm

Kelan piiri, p:

$$1500 \text{ mm} \cdot \pi = 4712,39 \text{ mm}$$

$$600 \text{ mm} \cdot \pi = 1884,96 \text{ mm}$$

$$\text{Keskiarvo} = 4712,39 \text{ mm} + 1884,96 \text{ mm} = 6597,35 \text{ mm}$$

Pyörimisnopeus, n:

$$n = 30\,000 \text{ mm/min} / 3298,67 \text{ mm} = 9,09 \sim 10 \text{ rpm}$$

Laakerin käyttöiän mitoitus

$$L_{10} = 60 \cdot n \cdot L_{10h} / 10^6 \text{ (SKF 2017, 31)}$$

$$L_{10h} = [\text{h}] \text{ (taulukosta)}$$

Machine type	Specification life Operating hours
Household machines, agricultural machines, instruments, technical equipment for medical use	300 ... 3 000
Machines used for short periods or intermittently: electric hand tools, lifting tackle in workshops, construction equipment and machines	3000 ... 8 000
Machines used for short periods or intermittently where high operational reliability is required: lifts (elevators), cranes for packaged goods or slings of drums etc.	8 000 ... 12 000
Machines for use 8 hours a day, but not always fully utilized: gear drives for general purposes, electric motors for industrial use, rotary crushers	10 000 ... 25 000
Machines for use 8 hours a day and fully utilized: machine tools, woodworking machines, machines for the engineering industry, cranes for bulk materials, ventilator fans, conveyor belts, printing equipment, separators and centrifuges	20 000 ... 30 000
Machines for continuous 24 hour use: rolling mill gear units, medium-sized electrical machinery, compressors, mine hoists, pumps, textile machinery	40 000 ... 50 000
Wind energy machinery, this includes main shaft, yaw, pitching gearbox, generator bearings	30 000 ... 100 000
Water works machinery, rotary furnaces, cable stranding machines, propulsion machinery for ocean-going vessels	60 000 ... 100 000
Large electric machines, power generation plant, mine pumps, mine ventilator fans, tunnel shaft bearings for ocean-going vessels	100 000 ... 200 000

Taulukko 2. Vaatimustaulukko (SKF 2018)

$$n = \text{Keskimääräinen pyörimisnopeus [kierr/min]}$$

$$L_{10h} = 3000 \text{ h}$$

$$L_{10} = 60 \cdot 10 \cdot 3000 \text{ h} / 10^6 = 1,8 \cdot 10^6 \text{ kierr}$$

Dynaaminen kuormitus (Vapaalla)

$$C \geq L_{10}^{1/p} * P \text{ (SKF 2017)}$$

$$C = \text{Dynaaminen kuormitus [N]}$$

$$p = 3 \text{ (valmiiksi annettu)}$$

$$P = \text{Kuormitus [N]} = \text{vapaalla} = F_r$$

$$C \geq L_{10}^{1/p} * P = C \geq 1,81013 * 242\,798 \text{ N} = 295349 \text{ N}$$

Staatinen kuorma (Vapaalla)

$$S_0 = C_0 / P_0 \Rightarrow C_0 = S_0 * P_0 \text{ (SKF 2017)}$$

$$S_0 = \text{Varmuuskerroin (normaalisti 1,0...1,5)}$$

$$C_0 = \text{Staatinen kuormitus [N]}$$

$$P_0 = \text{Kuormitus [N]} \text{ vapaalla} = F$$

$$S_0 = C_0 / P_0 \Rightarrow C_0 = S_0 * P_0 = 1 * 242\,798 \text{ N} = 242\,798 \text{ N}$$

Valitaan laakeri SKF 6244 M

OHJAAVA LAAKERI ESIVALITTAAN SKF 6344M

Aksiaalinen voima on niin pieni, että sillä ei ole juurikaan vaikutusta muuhun laskentaan. Sen suuruudeksi päätettiin 900 N, joka on todennäköisesti huomattavasti suurempi mitä todellisuudessa.

$$C = 410 \text{ kN}$$

$$C_0 = 520 \text{ kN}$$

$$F_0 = 14$$

$$F_0 * F_a / C_0 = 14 * 900 \text{ N} / 520\,000 \text{ N} = 0,024 \text{ (SKF 2017)}$$

saadulla suhteella laakeritaulukosta saadut arvot ovat

$$e = 0,07$$

$$X = 0,56$$

$$Y = 4$$

$$F_a/F_r = 0,00245$$

$$X_0 = 1$$

$$Y_0 = 0$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1 \cdot 389948 \text{ N} + 0 \cdot 900 \text{ N} = 389948 \text{ N (SKF 2017)}$$

dynaaminen kuormitus

$$C \geq L_{10}^{1/p} \cdot P = 410 \text{ kN} \geq 1,813 \cdot 389\,948 \text{ N} = 474\,349 \text{ N (SKF 2017)}$$

Ehto ei toteudu, mutta laskelmissa on laskettu raskaimmassa mahdollisessa tilanteessa. Sovittiin ennen laskelmien aloitusta, että suoritetaan laskelmat siten, että koko kuorma on pistemäisenä kuormana akselin päädyssä. Tämän takia valittu laakeri oikeassa tilanteessa todennäköisesti kestää.

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 1 \cdot 389948 \text{ N} + 0 \cdot 900 \text{ N} = 389948 \text{ N (SKF 2017)}$$

$$C_0 \geq P_0 = 520 \text{ kN} \geq 389\,948 \text{ N OK}$$

Valitaan ohjaavaksi laakeriksi SKF 6344M

Liukulaakerin elinikä tunneissa

$$L_h = (400 \cdot F_A \cdot F_p \cdot F_v \cdot F_u \cdot F_w \cdot F_r) / P_v^{1,2} = 400 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 / (2,04176 \text{ Nmm}^2 \cdot \text{m/s})^{1,2} = 95,1135 \text{ h (SKF 2017)}$$

F_A = kuormituksen korjauskerroin

F_p = kuormituksen korjauskerroin

F_v = Nopeuden korjauskerroin

F_u = Lämpötilan korjauskerroin

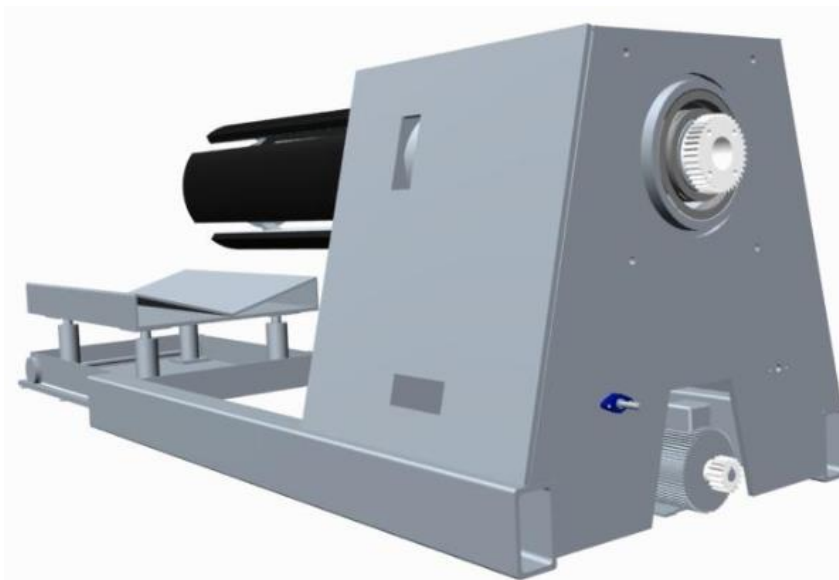
F_w = materiaalin korjauskerroin (teräs saa arvon 1)

F_r = pinnankarheuden korjauskerroin

Kuten laskusta näkyy jää kestoikä erittäin alhaiseksi, jotenkin liukulaakeri ei ole hyvä ratkaisu.

3.2.4 Runko

Runko on suunniteltava niin, että kone on mahdollista kääntää vasen- ja oikeakätiseksi. Tästä syystä oli mietittävä, miten kone lähtee päälle. Ratkaisu oli ohjaava tanko, jonka pyörä asetetaan pellin päälle. Kun valssauslinjasto vetää peltiä nousee haspelissa kiinni oleva pelti ylöspäin. Kun pelti nousee riittävästi kytkinpyörä käynnistää moottorin ja haspeli alkaa syöttämään peltiä linjalle. Kun valssauslinja ei vedä laskeutuu pelti alas ja kytkin menee 0-asentoon, jolloin haspeli lopettaa liikkeensä. Tästä syystä suunnittelin pesälaakereille paikat etu- ja takalevyyn. Pesälaakerin reiät ovat vasemmalla ja oikealla sivulla haspelia, mikäli kätisyyttä halutaan vaihtaa. Sivujen levyihin oli tehtävä aukot ohjainyksikköä varten. Myös hydrauliletkujen ja sähköjohtojen aukko oli suunniteltava. Toiselle puolelle suunnittelin huoltoluukun, jota kautta koneen sisälle pääsee asentamaan sähkömoottorin, sekä hydraulikoneikon. Myös laitteiden luoksepääsevyys on helpompaa, kun huoltoaukko on riittävän suuri ja kansi helposti irroitettavissa. Haspelin kansiosan jätin auki, jotta koneiden lämmitessä lämmin ilma pääsee vapautumaan yläkautta pois. Tarvittaessa koneen päälle on mahdollista asentaa esimerkiksi teräsverkko. Pohjaan hitsataan 15 mm paksu teräslevy, johon on helppo porata ja kierteyttää reiät sähkömoottorin, sekä hydraulikoneikon kiinnitykselle. Jalat on suunniteltu niin, että niihin on helppo hitsata muut rungon osat ja paikoittaa liukukiskot haspelin siirtelyä varten linjalta toiselle. Kuvassa 9 näkyy letkuille ja kaapeleille reitit.



Kuva 9. Runko

3.2.5 Tuurna

Tuurnan liike on oltava tasainen. Tämä toteutettiin valitsemalla sähkömoottori hydraulimoottorin sijaan. Voiman on jakauduttava tasaisesti kelan sisälle, joka otettiin huomioon leventämällä tuurnan levyjä. Leventäminen pienentää painetta joka kohdistuu kelan sisäkehälle. Tällä minimoidaan kelaan mahdollisesti tulevat painaumat, jos kela on kiristetty tuurnalle liian tiukkaan. Vaikuttavia tekijöitä kelan kiristykseen ovat kelan kireys, paksuus, levynpaksuus, sekä pellin jäykkyys. Näin ollen on hankala määrittää oikea kireys johon kelan voisi kiristää tuurnalle vahingoittamatta peltiä. Kiristys on katsottava silmällä. Suunnittelin tuurnan pintaan polyeteenilevyt pehmentämään tartuntaa.

3.2.6 Tuurnan kiristinlevyt

Kiristinlevyt on mitoitettava niin, että liukukiila ei pysty painamaan jälkeä levyn läpi rullaan ja levyn on myös oltava tarpeeksi jäykkä, jotta kuorma jakautuu tasaisemmin kelan sisälle. Valitsin myös teräslevyn lisäksi levyn päälle polyeteenistä pintalevyn, joka tuo joustoa. Polyeteeni antaa myös periksi, jos esimerkiksi tuurnan kiristinlevyn ja kelan väliin jää roskia.

3.2.7 Vaununostin

Nosturin on kyettävä nostamaan 7500 kg painava teräskela. Päädyin suoraan ylöspäin nostaviin sylintereihin saksinostimen sijaa, koska tarvittava nostoliike ei ole liian suuri. Nostimeen suunniteltiin v-muotoinen taso, johon kela lasketaan siltanostimella. V-muoto auttaa kela pysymään keskellä vaununostinta, jolloin kela on helppo ohjata tuurnalle ja tuurnalta pois. Vaununostimen on liikuttava tuurnan alle ja riittävän matkan päähän tuurnan alta, jotta kela on helppo tuoda nostimelle. Vaunun v-pintaan lisättiin kumimatto, joka estää kelan maalipintaa vaurioitumasta.

3.2.8 Sähkömoottori

Sähkömoottoreita on kaksi kappaletta, toinen pyörittää tuurnaa ja toinen on lastausvaunussa pyöriä liikuttamassa. Haspelille olisi riittänyt 2 kW kokoinen sähkömoottori taajuusmuuntajan kanssa, joka kiihdyttäisi tasaisesti kelan liikkeelle. Tämän sähkömoottorin jarrun käyttöikä mietittäessä voi ilmetä ongelmia, koska liikkuva voima on suuri ja pysähdysaika pitäisi olla lyhyt. Tällä estetään kelan tarpeeton purkautuminen. Yrityksen toiveena oli suuri 7,5 kW kokoisen sähkömoottorin ilman taajuusmuuntajaa. Näin hintakin putosi noin 700 eurosta 500 euroon. Haittapuolena tässä on, että osien käyttöikä lyhentyy, kun sähkömoottori käynnistyessään antaa kaiken tehonsa tuurnalle ja äkkiliike aiheuttaa suuren voiman ketjuille, sekä tapeille, jotka ovat kiinni tuurnan akselissa pitämässä hammaspyörää paikallaan. Tämä on ratkaistavissa siis lisäämällä taajuusmuuntaja. Myös 7,5 kW moottorissa on sen verran iso jarru, että sen käyttöikä on pitkä ja pysäyttää kelan nopeasti. Haittana on myös, jos valssauslinjalla ajetaan lyhyitä peltejä. Lyhyiden peltien ajo aiheuttaa haspelille toistuvaa nykimisliikettä, joka rasittaa osia varsinkin jos haspelissa on kiinni täysi teräskela.

Vaununostimen sähkömoottori on 1,5 kW kokoinen ja kiinnitetään vaununostimen pohjalevyyn. Moottori on riittävä kuljettamaan kela tuurnalle ja siitä pois. Valintaperusteena tässä käytettiin jo yrityksen nostimista löytyviä moottoreita nostolaitteelle.

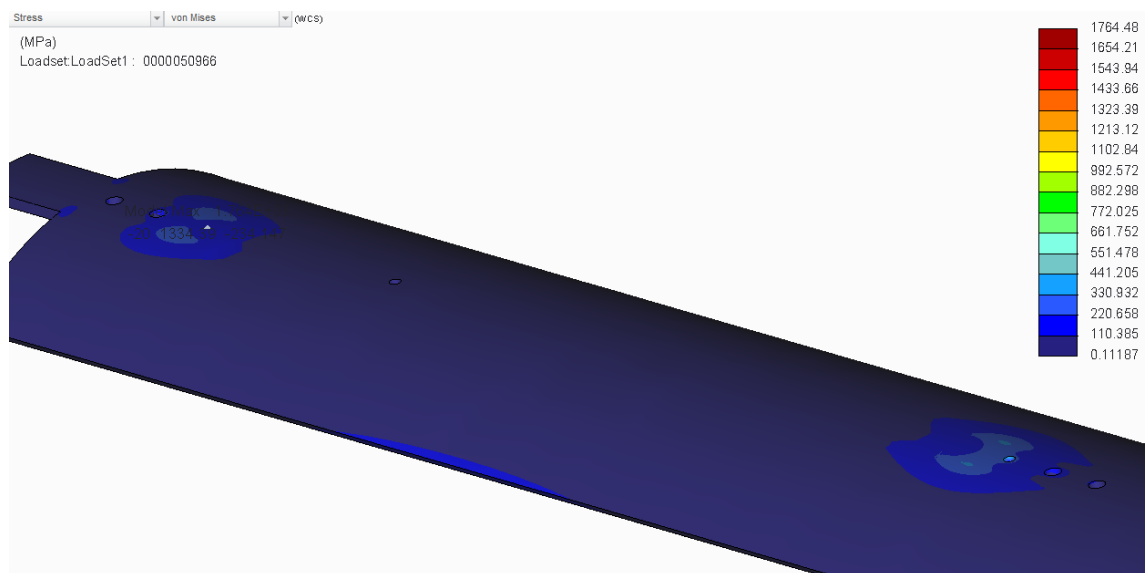
4 Analyysit

Analyyseillä pyrittiin vähentämään suunnitteluvirheitä ja näin ollen vähentämään tapaturmariskiä, mikäli jokin rakenteista pettää. Analyyseissä kuorma on kerrottu luvulla 2, jotta saadaan luotettavuutta rakenteelle. Materiaalina on käytetty S355J0 terässeosta, jotta rakenne on mahdollisimman luja, mutta ei liian kallis. Verkotusta on tihennetty kontaktipinnoissa, sekä on käytetty Creo:n simulaatiopuolelta Multi Pass Analysis-työkalua, jotta kone laskee laskut useampaan kertaan ja näin ollen saadaan tarkempia tuloksia. Koko suunnitelmasta ei ollut mahdollista tehdä analyysia, sillä työ on niin suuri, että laskenta-aika venyy pitkäksi. Creo suorittaa laskennan

vektorilaskentana ja muodostaa kappaleeseen määrätyn kokoisia kolmioita. Työssä on kuitenkin useita kohtia, joissa kolmiokoon on oltava noin 3 mm kokoinen. Haspeli on kokonaisuudessaan niin suuri, että laskettavia kolmioita olisi muodostunut satojatuhansia. Tämä pidentäisi laskentaa merkittävästi, joten todettiin ettei laskentaa ollut kannattavaa tehdä. Lisäksi analyysiin olisi lisättävä liukupinnat, hitsausseamat ja ruuviliitokset. Näiden lisääminen olisi lisänneet laskenta-aikaa vielä entisestään.

4.1 Tuurnan levyt

Tuurnaa kuormitetaan satunnaisesti eri kohdista levyä. Analyysissä käytetty kuorma on 73575 N, joka koostuu teräskelan maksimipainosta 7500 kg.



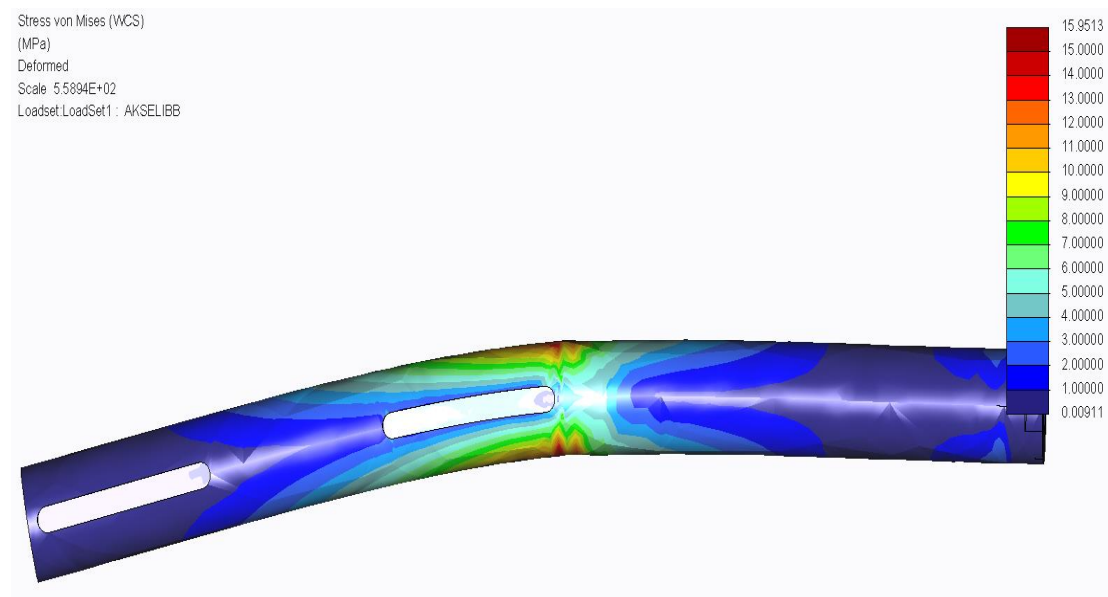
Kuva 10. Tuurnan pintalevyn analyysi

Tuurnaan esiintyi hyvin pienellä alueella jännityskeskittymä 1764 MPa. Tämä ilmestyi kiinnittimen ja levyn nurkkaukseen. Verkontihennyksellä keskittymä poistuisi eikä näin ollen vaikuta muuhun tulokseen. Kuvassa 10 tuurnan pintaan ilmaantui pieniä alueita, joissa paine on noin 330 MPa. Nämä alueet ilmaantuvat levyn alapuolella olevista liukukiilojen kärjistä. Pintalevyä voi paksuntaa, mikäli haluaa minimoida paineen vaikuttamat alueet. Analyysistä voi tehdä useita tilanteita, jossa kela on eri kohdissa

levyä. Pyrin sijoittamaan kuorman niin, että kelan aiheuttama kuorma olisi epäedullisimmassa kohdassa haspelia.

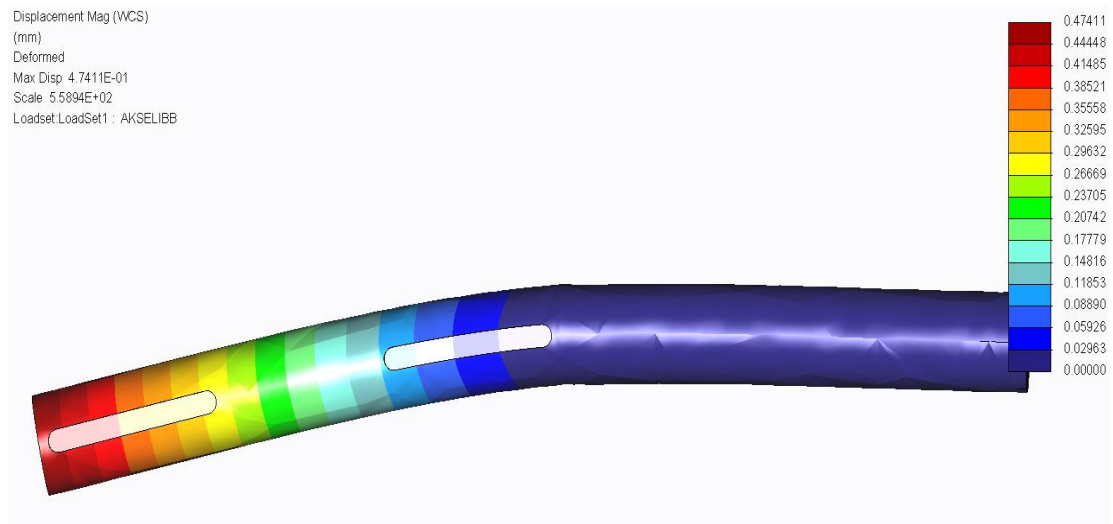
4.2 Akselin kuormitus

Akseli on laskettu käsin kaavojen avulla siten, että todellinen kuorma on kaksinkertaisena pistekuormana akselin päässä (s. 23). Akselin sallittu taipuma määriteltiin olemaan 10 millimetriä. Todellisuudessa kuorma on tasainen kuorma 1200 mm matkalla. Todelliset taipumat ja normaalijännitykset analysoitiin Creo ohjelmiston FEM:llä, josta kuvat alla.



Kuva 11. Normaalijännitys akselilla

Kuvien 11 ja 12 analyysit ovat korostettu havainnollistamaan tilannetta. Kuten kuvan 11 taulukosta näkee ei kuormalla ole suurta vaikutusta akseliin. Suurimmat jännitykset ilmenevät ensimmäisen laakerin reunalla. Suurin sallittu leikkausjännitys S355 teräksellä on 25 Mpa, sekä myötölujuus 355 Mpa

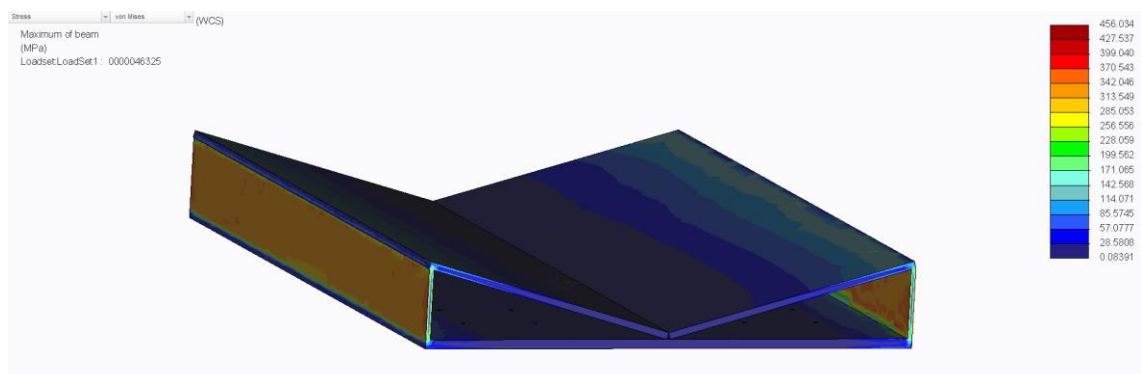


Kuva 12. Taipuma

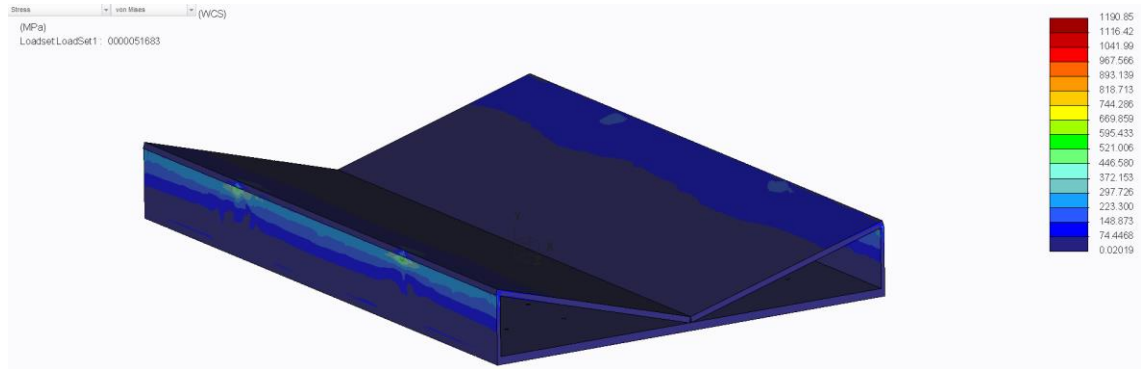
Akselin taipuma jää reilusti asetetusta 10 mm taipumasta. Annetulla kuormalla suurin taipuma on vain 0,47mm.

4.3 Nostimen kansi

Nostimen kansi suunniteltiin S355 teräksestä, suorista levyistä, jotta kustannukset jäisivät alhaisemmaksi. Kuva 13 on pelkillä hitsausseamoilla ja reunoja tukevat kolmiot on jätetty pois. Kuormana toimii 7500 kg koko kannen pinta-alalla.



Kuva 13. Nostovaunu ilman tukikolmioita

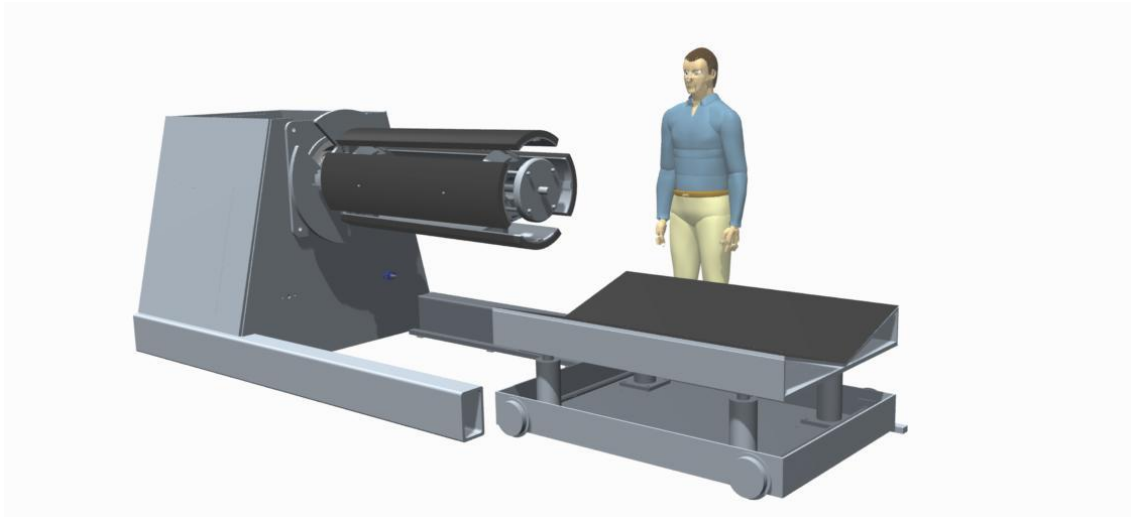


Kuva 14. Nostovaunu tukikolmioilla

Suuret jännitykset ilmenevät tukikolmion kärjessä, joten se ei tule vaikuttamaan tuotteeseen. Kuvassa 14 näkee kuinka suuri vaikutus tukevalla tukikolmioilla on tuotteeseen lähes olemattomalla lisäyksellä. Vaikka kuvan 13 asteikossa näkyy luku 456 MPa on kuvan 14 tilanne parempi 1190 MPa jännityskeskittymästä huolimatta. Kuvassa 13 rasitus on laajalti koko reunan leveydeltä. Tämä voi aiheuttaa nurjahtamisen reunoilla.

4.4 Lopullinen työ

Laitteiden suunnittelussa pyrin ottamaan käyttömukavuuden mukaan koneiden käytössä. Käytin suunnitteluun tilastokeskuksen antamaa miesten keskipituutta 179 cm (Tilastokeskus. 2018), jolla määritin ergonomisen korkeuden haspelille. Kuvassa 15 voi nähdä mille korkeudelle haspeli tulee käyttäjäänsä. Laitteen käyttömukavuus lisääntyy, kun kumartuminen ja kurottelu jää pois. Ulkoasun viimeistelyn ja tarkastuksen jätin viimeiseksi, koska sillä ei ole käytännön kannalta niin suurta merkitystä.



Kuva 15. Haspeli ja sitä käyttävä 179 cm pitkä henkilö

5 Turvalaite-esitykset

Yrityksen pyynnöstä listasin mahdollisia turvalaitteita haspelille. Pääsy koneen käydessä on estettävä, ettei henkilö takerru liikkuvaan peltiin tai jää puristuksiin. Haspelin takaosa on suojattava 15 mm tiheällä suojaverkolla, jotta liikkuviin osiin ei ole pääsyä koneen ollessa käynnissä. Seuraavissa alaotsikoissa on esityksiä haspelin ympäristön suojaamiseksi.

5.1 Turvamatto

Turvamatto perustuu kosketinpintojen liikkeeseen. Kun riittävän suuri paine kohdistuu anturille painautuvat tämän kosketinpinnat yhteen, joka lähettää pysäytyssignaalin koneelle. Turvamatto on luotettava ja helppo tapa suojata laite ilman valoverhon tuottamia ongelmia. Kuvassa 16 (s.35) näkyy turvamaton poikkileikkaus, elementit ja kosketinpinnat. Turvamaton rajataan koko alue, missä pelti liikkuu ja laitteen ympäristö. Matto kytkeytyy pois päältä kun kone on pysähtyksissä. Turvamaton lisäksi olisi hyvä asentaa varoitusvalot, jotka ilmoittavat laitteen olevan käynnissä niin vältetään turhilta koneen pysäyttelyiltä. Tällöin henkilökunta tietää mikä linja on aktiivinen ja missä voi kulkea. (OEM Automatic 2017)



Kuva 16. Turvamatto ja sen rakenne. (OEM Automatic 2017)

5.2 Valoverho

Valoverhon toimintaperiaate perustuu valonsäteen ja vastaanottimen yhteyden katkeamiseen. Valoverhon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 17. (s.35) Valoverhoja käytetään estämään pääsy tuotantolaitteille niiden ollessa käynnissä. Resoluutio on säädettävissä käyttökohteelle sopivaksi, esimerkiksi 14 mm kun halutaan suojata henkilön sormet ja 30 mm kun halutaan estää käden pääsy laitteelle. Laite on muuten hyvä, mutta liikuteltaessa haspeliallaslinjalta toiselle lasereiden suuntaukset voivat muuttua ja tämä aiheuttaa valoverhon toimimattomuuden. (OEM Automatic 2017)



Kuva 17. Valoverho ja sen toiminta. (OEM Automatic 2017)

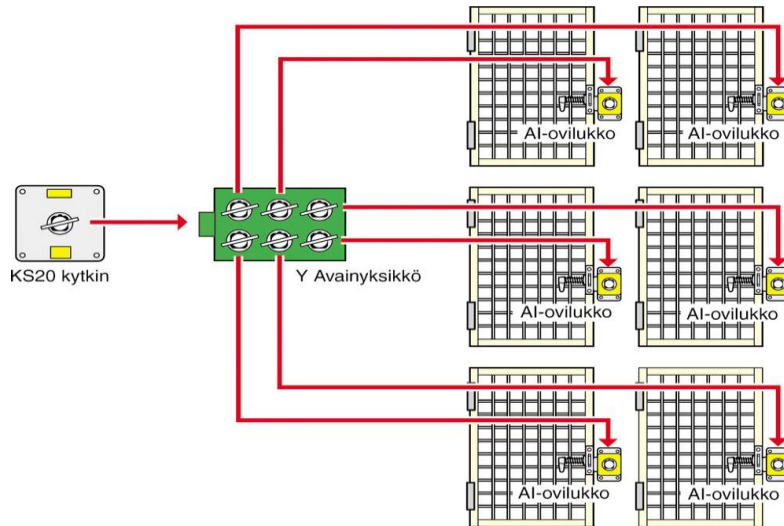
5.3 Häkki

Ratkaisu on tilaa vievä ja kömpelö. Häkki tarvitsisi valoverhon latausvaunulle, joka liikkuu häkin ulkopuolelle ladattavaksi. Ratkaisu on kohtuullisen halpa, mutta ei niin käytännöllinen kuin valoverho tai turvamatto.

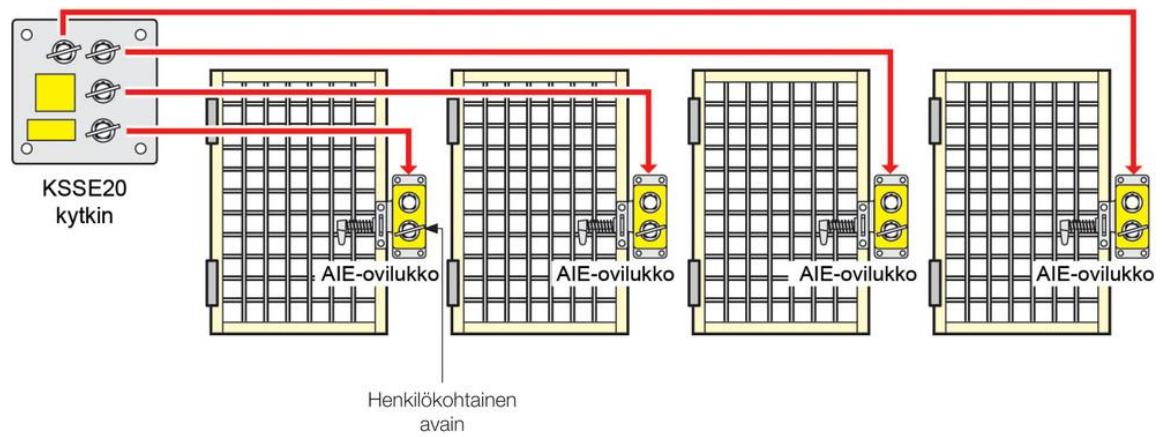
5.4 Siirtoavainjärjestelmä

Siirtoavainjärjestelmän toiminta perustuu avainten määrää, joita on vähintään yksi vähemmän kuin lukkopesiä, joka pakottaa käyttäjän käyttämään laitetta turvallisesti. Eli siirtoavain on kiinni joko suojuksen lukossa tai kytkimen lukossa. Tämän jälkeen siirtoavain voidaan siirtää suojuksen lukosta kytkimen lukkoon. Kun kytkin käännetään ”päälle” asentoon ei siirtoavainta pystytä kytkimestä irrottamaan. Avaimen saa irti vasta kun kytkin käännetään ”seis” asentoon. Tämä järjestelmä auttaa silloin jos kone on aidattu jo valmiiksi. Jos ovia on useampi voidaan käyttää avainyksikköä turvallisuuden takaamiseksi. Avainyksikkö vaatii kaikki avaimet ennen kuin kytkimen avain saadaan kytkimen avain irti ja kytkin käännettyä ”päälle” asentoon. Kuvassa 18 on nähtävissä avainyksikkö.

Siirtoavainjärjestelmä kuvassa 19 tuo turvallisuutta myös huoltoon, jolloin henkilökunnalle jaetaan henkilökohtaiset avaimet. Kun kone on saanut pysähtymiskäskyn ja järjestelmä toteaa koneen/laitteen pysähtyneeksi, turvasignaali vapauttaa solenoidilukitteiset avaimet KSSE20-kytkinyksiköstä. Nämä neljä avainta viedään AIE-ovilukkojen ylempään avainpesään ja käännetään myötäpäivään. Tämän jälkeen alempi ”henkilökohtainen avain” (personnel key) irrotetaan kääntämällä sitä vastapäivään, jolloin lukko aukeaa. Henkilökohtaisella avaimella varmistetaan ettei kukaan muu pysty sulkemaan ovea sillä aikaa kun käyttäjä on vaara-alueella. Vasta kun henkilökohtainen avain on palautettu ovilukon alempaan lukkopesään voidaan ovilukko lukita ja ylempi avain taas irrottaa. Kaikki neljä avainta pitää olla lukittuna KSSE20-kytkimeen ennen kuin kone voidaan taas käynnistää. Käyttäjä ei voi toimia väärin aiheuttaen vaaratilannetta. (OEM Automatic 2017)



Kuva 18. KS20 kytkin ja avainyksikkö (OEM Automatic 2017)



Kuva 19. KSSE20 kytkin ja AIE suojaus. (OEM Automatic 2017)

6 Pohdinta

Työn aloittaminen oli helppoa. Työyhteisö ja käytettävät koneet olivat tuttuja ja tiesin koneiden toimintaperiaatteen. Pääsin heti alussa tutustumaan jo käytössä oleviin koneisiin ja tutkimaan mitä koneiden sisältä löytyy, jotta tietää mitä ottaa huomioon. Peruskuvan tulevasta työstä pystyi hahmottamaan selkeästi.

Työskentelin yrityksessä tuotannon tehtävissä. Työpäivän jälkeen suunnittelu kotona osoittautui raskaaksi, kun lepoaika väheni. Tilannetta olisi helpottanut töiden aikatauluttaminen jo ennen suunnittelun aloittamista. Tällä oltaisiin välttytty tarpeettomalta kiireeltä, mikä voi näkyä lopputuloksessa.

Haasteita toi kokemattomuus koneensuunnittelussa. Kokemusta saa vain suunnittelemalla lisää ja oppimalla kokeneemilta suunnittelijoilta. Tietämys standardoiduista osista nopeuttaisi suunnittelua ja laskisi tuotteen kustannuksia.

Lopputulokseen olen suhteellisen tyytyväinen, sillä kone tuli suunnitelluksi. Työssä sai haastaa itsensä eri aloilla, kuten suunnittelussa, analysoinnissa ja selvitystyössä. Työ opetti mallinnustaitoja, tiedonetsintää ja tiedonkäsittelyä. Mallinnuksessa tuottavuus tehostui, kun oli selkeä päämäärä mihin pyrkiä ja mitä tuotteilta vaaditaan.

Lähteet

- Shanghai Pioneer Precision Mechanical Equipment Co.,ltd. 14.2.2018
<http://bnmachinery.com/en/Productimage/k.jpg>. 14.2.2018.
- Dutch Fluid Power Conference. 2017. Dokumentit
<http://www.dfptc.nl/assets/documents/03b-aaltonen-semantic-information-and-process-modelling-in-mechatronic-system-design-final-abstract.pdf>.
 10.12.2017.
- SKF. 2017. Bearing rating life.
http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-rating-life/bearing-rating-life/index.html?WT.oss=bearing%20life&WT.z_oss_boost=0&tabname=All&WT.z_oss_rank=1. 15.2.2018
- SKF. 2017. Laakerien kunnossapito.
http://www.skf.com/binary/123-290853/SKF-laakerien-kunnossapito---SKF-bearing-maintenance-handbook---10001_1-FI.pdf. 8.10.2017.
- SKF. 2017. Laakerointi.
<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/loads/index.html>. 8.10.2017.
- OEM Automatic. 2017. Turva.
<http://www.oem.fi/Tuotteet/Turva/531097.html>. 2.11.2017.
- Pahl, G; Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Poimukate Oy. 2017. Yritys.
<http://www.poimukate.fi>. 14.2.2018.
- Tilastokeskus. 2017. Vuosisadan vertailut.
<http://www.stat.fi/ajk/satavuotiassuomi/suomiennanjanyt/vuosisadanvertailut.html>. 11.1.2018.
- Tuomaala, J 1995. Luova koneensuunnittelu. Tampere: Tammertekniikka ky.
- Wikipedia. 2017. Oikosulkumoottori.
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Oikosulkumoottori>. 1.12.2017.
- Wikipedia. 2017. Sähkömoottori.
https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6moottori#S%C3%A4hk%C3%B6moottorin_historiasta. 1.12.2017.