



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

VETÄVÄN PITUUSLEIKKURIN SUUNNITTELU

Mikko Keituri

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2017
Kone- ja tuotantotekniikka
Laitautomaatio



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Laiteautomaatio

KEITURI, MIKKO:
Vetävän pituusleikkurin suunnittelu

Opinnäytetyö 52 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Maaliskuu 2017

Tämä opinnäytetyö käsittelee vetävän pituusleikkurin suunnittelua RP-Ilmastointi KY -yritykselle. Pituusleikkuri suunnitellaan asennettavaksi osaksi valmista ohutlevyjen taituttamiseen ja leikkaamiseen perustuvaa kanavalinjaa. Tällä hetkellä kanavalinjalla valmistetaan ilmastointikanavia, jotka ovat tehtaalta tilattujen levyrullien levyisiä. Kapeiden kanavaosien tai erikoismitoitettujen osien valmistus on kuitenkin tällä hetkellä työlästä, sillä osat tulee valmistaa joko käsin tai jälkeempään valmiista kanavasta leikkaamalla esimerkiksi kulmahiomakoneella. Kanavalinjan sisälle suunniteltu pituusleikkuri helpottaisi lyhyiden kanavien tekemistä huomattavasti sekä ajallisesti että siisteyden kannalta.

RP-Ilmastointi KY on Tampereella Ruskon teollisuusalueella vuonna 1985 perustettu yritys, joka valmistaa ilmastointikanavia sekä muita ilmanvaihto-osia. Yritys tarjoaa osien lisäksi ilmastointiasennuksia, suunnittelua sekä ohutlevytuotteiden erikoistilauksia. Yrityksen päätuotteita ovat erilaiset kanttikanavat sekä kanttiosat, joiden avulla useimmiten asiakkaalle valmistetaan ja asennetaan koko ilmastointijärjestelmä.

Idea suoraan linjalle suunniteltavasta pituusleikkurista syntyi yrityksen työnjohtajaa sekä työntekijöitä haastatteleamalla. Tarpeena oli saada nopea, tarkka sekä helposti muuteltavissa oleva ratkaisu levyn jatkuvalla leikkaamiselle suoraan kanavalinjalla. Varsinainen suunnittelu alkoi tarpeiden laatimisella sekä leikkurille laaditun tilan mitoittamisella. Suunnittelutyö tehtiin Autodesk Inventor Professionalilla. Työssä käytettiin myös hyödyksi Inventorin sisäistä Stress Analysis -simulointityökalua, jonka avulla saatiin selvitettyä mallin rakenteellisia ominaisuuksia kuten taipumia ja leikkausjännityksiä.

Työn tuloksena oli valmis konsepti vetävälle pituusleikkurille sisältäen kokoonpanokuvat sekä pienkokoonpano- ja yksittäiskuvat. Konseptiin sisältyi pituusleikkurin pääpiirteinen turvallistaminen. Suunnittelun avulla on tarkoitus tulevaisuudessa valmistaa koemalli leikkurista. Koemallin eli prototyypin avulla voidaan selvittää leikkurissa ilmenevät mahdolliset virheet ja parannuskohteet ennen varsinaisen leikkurin valmistamista. Prototyypin valmistaminen on tärkeätä myös sen takia, että pituusleikkurin suora asentaminen tuotantolinjalle saattaa haitata tuotantoa suuresti, mikäli sen käytössä ilmenee ongelmia tai vikoja. Prototyypin rakentaminen ja käytännön testaaminen eivät kuulu tähän työhön.

Asiasanat: suunnittelu, pituusleikkuri, ohutlevy, tuotekehitys

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering
Machine Automation

KEITURI, MIKKO:
Design of a Slitting Machine

Bachelor's thesis 52 pages, appendices 7 pages
March 2017

This Bachelor's thesis deals with designing of a slitting machine for RP-Ilmastointi LP. The slitting machine was designed to be integrated as a part of the main production line for air conditioning ducts. Currently the production line can only produce ducts with the factory-original width dimensions. Producing duct parts with smaller width is currently an issue as it is to be done completely manually or by cutting the produced ducts using e.g. an angle grinder. The slitting machine along with the duct producing line would dramatically reduce the production time as well as keep the production area clean from grinding dust.

RP-Ilmastointi LP is a company founded in 1985 and it is operating in the industrial area of Rusko in Tampere. The company produces air conditioning ducts and special parts for air conditioning works. Along with the parts and accessories the company offers assembling and construction planning with the parts or separately. The main products of the company are square edge ducts and their accessories.

The main idea for a pull-through driven slitting machine was conceived while interviewing the company foreman and production employees. The main requirement was the design of a slitting machine for continuous production. Operational requirements included easy and fast operation as well as the ability to change settings quickly and precisely. The design was made with Autodesk Inventor Professional. Inventors Stress Analysis simulation software was used when shear stresses and deflections were evaluated in the modeling phase.

The main result of this thesis work was a concept for a pull-through driven roll slitting machine. The concept includes assembly drawing of the system as well as single part drawings for future production. It also includes EU-standardized safety modeling. Based on the concept a prototype machine is planned to be built in the future. The prototype is to be built to detect possible faults in the operation or individual parts and to ensure that the final version of the slitting machine works properly. The mentioned prototype will be built first because installation of the slitting machine to the production line without prior testing might cause delays or even halt the entire production if problems occur. The building and practical testing of the prototype are excluded from this thesis.

Key words: design, roll slitting machine, sheet metal, product development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TAUSTATIEDOT	7
	2.1 Kanavakoneen ja oheislaitteiden toiminta	7
	2.2 Tarpeiden selvitys sekä leikkuutavan määrittäminen	8
	2.3 Suunnittelutilan mitoittaminen	9
3	SUUNNITTELUN ESITIEDOT	11
4	CAD-SUUNNITTELU	14
	4.1 Ensimmäinen kokoonpano.....	14
	4.2 Teräpakan mallintaminen	15
	4.3 Laakerien lisääminen kokoonpanoon	20
	4.4 Viimeistely malli	23
	4.5 Suunnittelusta pois rajatut kohteet	25
5	VALMIIN MALLIN ANALYSOINTI	27
	5.1 Leikkausvoiman laskeminen.....	27
	5.2 Taipuman simulointi	29
	5.3 Yksinkertaistetun taipuman laskeminen	31
6	TURVALLISTAMINEN	34
	6.1 Pituusleikkurin raja-arvojen määrittäminen.....	35
	6.2 Pituusleikkurin riskien arviointi.....	37
	6.3 Korjaustoimenpiteet ja lopputulos	38
7	POHDINTA.....	41
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET	46
	Liite 1. Osaluettelo.	46
	Liite 2. Rakotulkin työkuva.....	48
	Liite 3. Riskien arviointitaulukko.....	49
	Liite 4. Työkuvat (3kpl)	50

ERITYISSANASTO

CAD	Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu.
SSAB	Svenskt Stål AB, ruotsalainen terästeollisuusyrittäjä.
SKF	Svenska Kullagerfabriken AB, ruotsalainen mm. laakereihin perehtynyt teollisuusyrittäjä.
Myötölujuus	Lujuusraja, jonka ylittyä materiaaliin alkaa muodostua pysyviä muutoksia.
Murtolujuus	Lujuusraja, jonka ylittyä materiaali murtuu.
Leikkausvoima	Voima, joka pyrkii leikkaamaan kappaletta kahden vastakkaiseen suuntaan.
Neliömomentti	Lujuusopillinen suure, joka kuvaa kappaleen kykyä vastustaa taipumaa tietyn akselin suuntaisesti
Von Mises -lujuushypoteesi	Lujuusopillinen hypoteesi sitkeiden materiaalien maksimijännityksille.
MPa	Megapascal, paineen mittayksikkö.
N	Newton, voiman mittayksikkö.
τ	Kreikkalainen aakkonen Tau, kuvaa lujuusopissa leikkausjännitystä.
.ipt	Autodesk Inventorin tiedostomuoto kappaleille.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella vetävä ohutlevyn pituusleikkuri. Leikkurin suunnittelu on tilattu RP-Ilmastointi KY:lle. Suunniteltavan pituusleikkurin ideana on toimia synkronoidusti jo käytössä olevan kanttimuotoista ilmastointikanavaa tuottavan koneen kanssa jatkuvassa tuotannossa niin, että se asennetaan valmiin kanavakoneen sisään sille suunniteltuun tilaan.

Tällä hetkellä RP-Ilmastoinnin kanavakoneella ei ole mahdollisuutta pituusleikkaukseen kanavan valmistusvaiheessa. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmastointikanavia voidaan valmistaa kanavalinjalla ainoastaan tehtaalta tilatuissa levymitoissa. Tehdasmittoja pienemmillä dimensioilla tilatut kanavat tulee valmistaa joko kokonaan käsin tai jälkeinpäin kaivantamalla kokomittaisesta kanavasta.

Tämän opinnäytetyön tuotekehitysosuus sisältää mekaanista suunnittelua, CAD-suunnittelua, kokoonpanosuunnittelua sekä lujuus- ja voimalaskentaa leikkurin osille: tekstissä analysoidaan muun muassa suunniteltujen osien jännitystaipumasimulaatioita sekä laskeaan tarvittavia leikkausvoimia. Vaikka pituusleikkuri suunnitellaan vetäväksi eli niin, että leikkuuterät pyörivät linjan mukaista pyörimisnopeutta, tähän työhön ei kuulu varsinainen voimansiirron suunnittelu. Tästä syystä esimerkiksi vetovälitysmekanismiin tarvittava suunnittelutyö on rajattu pois.

Työ sisältää myös pituusleikkurin turvallistamissuunnitelman sisältäen tarvittavien turvaosien suunnittelun. Turvallistamissuunnitelman ideana on kehittää pituusleikkurin raja-arvot jo suunnitteluvaiheessa.

2 TAUSTATIEDOT

Tämä työ aloitettiin käymällä läpi yrityksen laitteiden toimintaa kuin myös työn suunnitteluun ja toteuttamiseen liittyviä seikkoja. Yrityksen laitteiden toimintaa käytiin läpi vain niiltä osin, joihin tämä opinnäytetyö liittyy. Tärkeimpinä asioina työn taustatietojen keräämisessä oli oikeanlaisen suunnittelutarpeen kartoittaminen, riittävä mitoittaminen sekä työn alustus.

2.1 Kanavakoneen ja oheislaitteiden toiminta

RP-Ilmastointi KY käyttää kantikanavan valmistuksessa saksalaisen Wammes Machineryn valmistamaa kanavakonetta (kuva 1). Kuvassa 1 numeroidut kohteet ovat koneen taivutusosa (kuvassa numero 1), mittapyörä levyn pituuden juoksevaan mittaamiseen (2), muovaus- ja prässirullat (3), valmistusmateriaalina käytettävät teräslevyrainat (4) sekä kulmaloveuslaite (5). Koneen toimintaa ohjataan parametrinäytön avulla, johon syötettyjen pituus- ja taivutusarvojen mukaan saadaan valmistettua sivumitoiltaan halutun mallisia kanavia. Kone toimii halutessa täysautomaattisesti, jolloin koneen operoijan lisäksi linjalla tarvitaan maksimissaan toinen henkilö siirtämään valmiita kanavaosia pois koneen taivutuspästä. Koneen voimalähteenä toimii hydraulimoottori, joka välittää pyörimisliikkeen portaattomasti ketju- sekä hammasvälityksellä prässä- ja vetorullille.



Kuva 1. Wammes-kanavakone (Kuva: Mikko Keituri 2016)

Kanavakoneen lisäksi kanttikanavan valmistusvaiheisiin kuuluu sivusaumojen liittämisen toisiinsa saumakoneella sekä päätylistojen kiinnitys. Kanavakone muodostaa kanavan tekemällä levyyn kolme taivutusta jättäen yhden kulman auki. Kanavan auki olevan kulman saamaaminen taittaa auki olevat sivut toistensa sisään muodostaen tiiviin kokonaisuuden. Viimeinen työvaihe kanavan valmistuksessa on PI -päätylistojen kiinnittäminen. Päätylistojen tehtävänä on mahdollistaa tiivis kanavien peräkkäinen asennus. Kanavakoneessa on mahdollisuus PI -listojen kiinnitystä helpottavaan kanavan kulmakohdien loveamiseen.

2.2 Tarpeiden selvitys sekä leikkuutavan määrittäminen

Ennen varsinaista suunnittelutyön aloittamista täytyi kartoittaa halutut tarpeet suunnittelua varten. Tätä varten haastateltiin yrityksen työnjohtajia sekä tuotannon työntekijöitä. Suurimpina syinä suoraan koneen sisälle suunniteltavan leikkurin valmistukselle olivat tuotantoajan lyhentäminen sekä puhtauden parantaminen. Työnjohtaja Raimo Pihlmanin (2016) mukaan valmistusnopeus kanavakoneen avulla yhdelle kanttikanavalle on noin 10 minuuttia sisältäen saumaamisen ja listoituksen. Käsien valmistettaessa lukuisten työvaiheiden takia yhden osan valmistus kestää n. 30-50 minuuttia. Lisäksi valmiiden kanavien leikkaaminen pienemmäksi kulmahiomakoneella tuottaa runsaasti metallipölyä koneen ympäristöön: normaalisti kanavien valmistus tuottaa ainoastaan pienet kulmaloveuksissa syntyneet romupalat.

Koska haluttu leikkurityyppi ei vielä tässä vaiheessa ollut täysin selvillä, täytyi suunnittelua varten miettiä leikkaustapaa termisen leikkuutavan ja mekaanisten leikkuutapojen välillä. Haastattelussa verrattiin nykyisiä työskentelytapoja suunniteltavan leikkurin toimintatapoihin ja leikkurin vaatimuksiksi muodostuivat seuraavat asiat:

- Yksinkertainen käyttö
- Säättöjen muuttaminen helppoa ja nopeata
- Leikkausprosessi ei tuota merkittävästi romua tai leikkausjätettä
- Yksinkertainen käytöstä poisto
- Leikkurin rakentaminen ei vaadi suuria rakenteellisia muutoksia kanavakoneelle
- Leikkurilla tulee pystyä leikkaamaan kahta kapeata nauhaa samaan aikaan
- Leikkuri suunnitellaan 1 mm paksulle galvanoidulle teräslevylle.

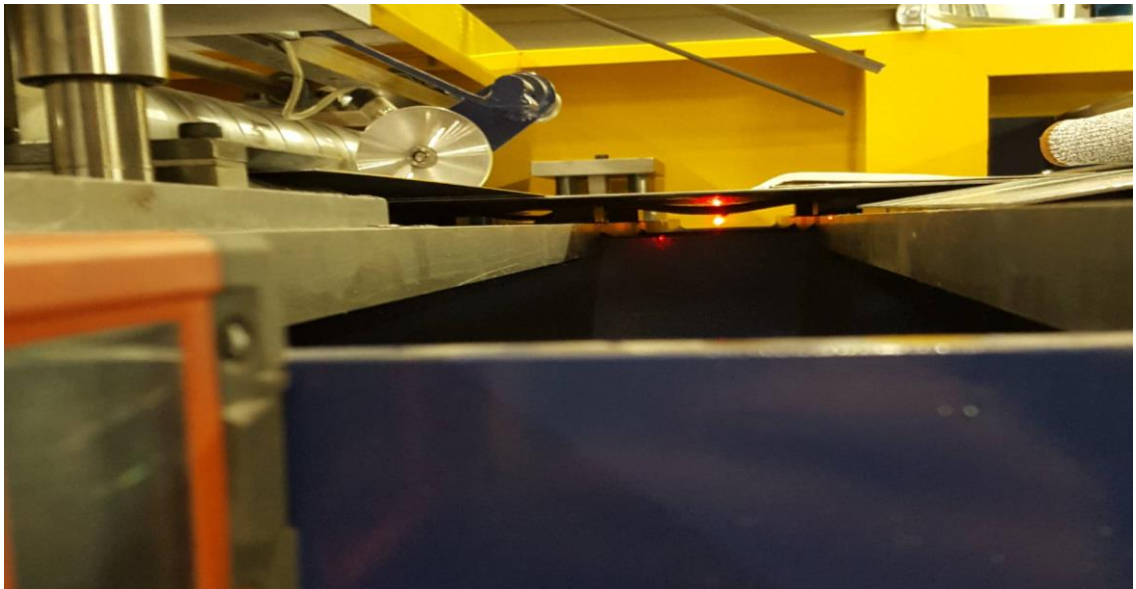
Suunnittelutyön kannalta tärkeimpinä vaatimuksina pidettiin puhdasta ja tarkkaa leikkaamista sekä leikkurin helppokäyttöisyyttä. Ohutlevyjä leikatessa nopein tapa on suuntausleikkaus mekaanisesti. Termiset eli polttoleikkaavat leikkaustavat tulevat taloudellisemmiksi vasta n. 8-10 mm levynpaksuuksilla (Aaltonen, Andersson, Kauppinen. 1997. 16-17). Mekaanisella leikkaustavalla ei myöskään synny juuri lainkaan leikkausjätettä. Mekaanisista pitkittäisleikkaustavoista yleisin on rullaleikkaus (Aaltonen ym. 1997. 34). Pituusleikkuri ei myöskään vaatisi suuria rakenteellisia muutoksia koneen rungolle, sillä se tultaisiin suunnittelemaan valmiiksi tyhjän tilaan: tila on alun perin tarkoitettu tilattavissa oleville koneen lisävarusteille. Rakenteellisia muutoksia joudutaan tekemään ainoastaan yhden tukipalkin ja suojalevyjen osilta. Edellä mainituista syistä päädyttiin yksimielisesti siihen tulokseen, että leikkuriksi suunnitellaan rullaleikkaava pituusleikkuri. Koska yksi edellä mainituista vaatimuksista oli kahden kapean nauhan samanaikainen leikkaaminen, täytyy rullaleikkaimella olla 3 teräparia eli yhteensä 6 leikkuuterää.

2.3 Suunnittelutilan mitoittaminen

Ennen mekaanista suunnittelua tuli mitoittaa leikkurille suunniteltu tila kanavakoneen sisältä. Mitoituksessa käytettyjä mittavälineitä olivat Hiltin PD-30 -laseretäisyysmittari sekä Mitutoyon AOS Absolute -työntömitta. Laseretäisyysmittaria käytettiin pituusmittojen sekä eräiden hankalien kohteiden mitoittamisessa (kuva 2). Alle 150 mm pitkien mittojen mitoittamiseen käytettiin työntömittaa. Vaikka rungon mitat olivat luettavissa kanavakoneen teknisistä piirustuksista, määrittämällä absoluuttiset mitta-arvot saatiin suunnittelutyöstä tehtyä tarkempi.

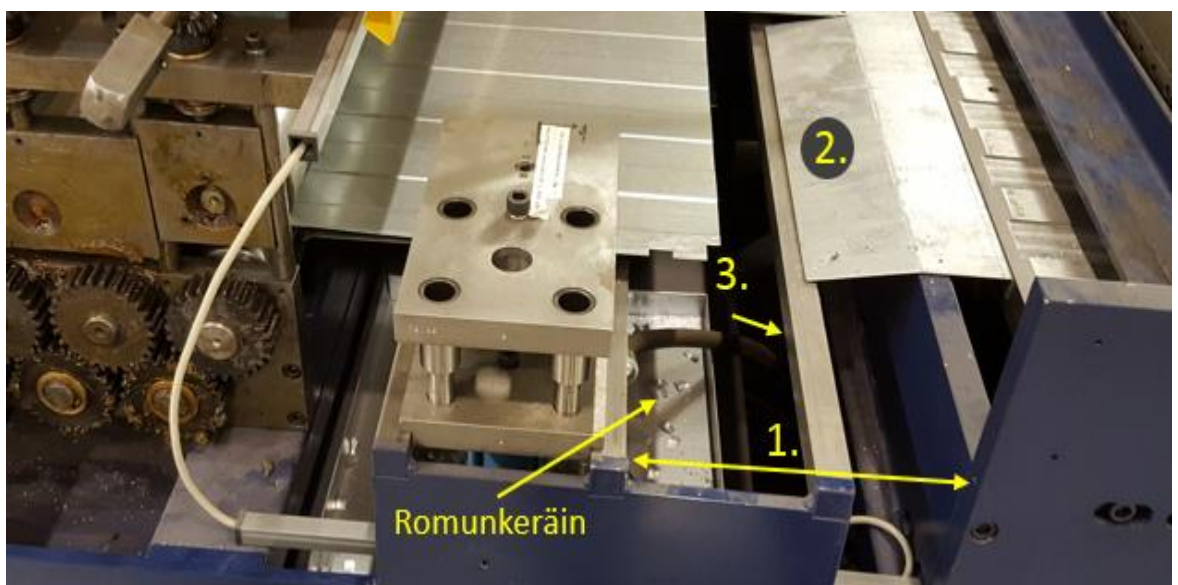
Mitoittamisen toleranssit

Mitoituksessa käytettiin pääasiassa yleisiä SFS-EN ISO 22768-1:1993-standardin mukaisia pituusmittojen poikkeamia (MetSta, 2016, 23). Näin ollen rungon leveyden ollessa yli 1000 mm mutta alle 2000 mm pituusmittoja mitoitettaessa keskikarkealla mitoitustavalla suurin sallittu mittapoikkeama oli $\pm 1,2$ mm. Muiden kuin rungon mittojen mitoittamisessa käytettiin hienoa mittatoleranssia.



Kuva 2. Mitoittaminen Hilti PD 30-laseretäisyysmittarilla (Kuva: Mikko Keituri 2016)

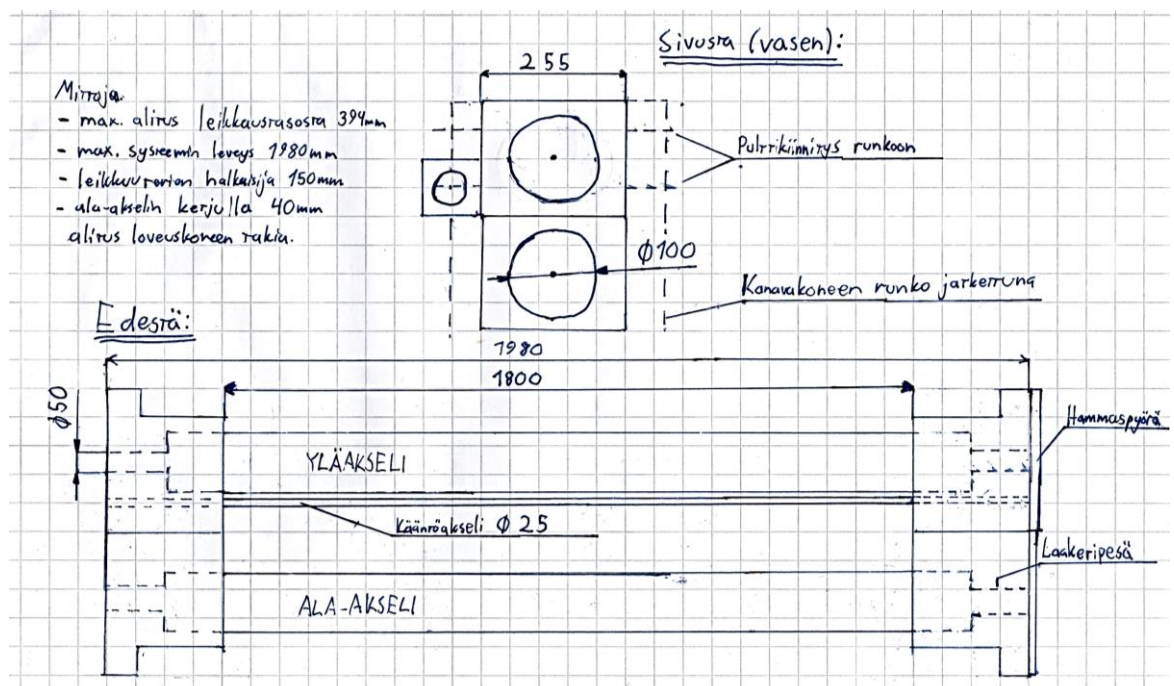
Rungon sivujen mitoittaminen oli tarpeellista tehdä vain yhdeltä puolelta konetta, sillä mitoitettava osa koneesta on symmetrinen (kuva 3). Suurin sallittu pituusleikkurin linjan suuntainen pituus saatiin määritettyä loveuskoneen ja koneen rungon tukilevyn välille (kuva 3, numero 1). Mitoittamisen mahdollistamiseksi tuli kanavakoneesta poistaa rungon suojalevyt sekä kuvassa 3 näkyvä ohjauspelti prässirullilta taivutuspäähän (2). Mitoituksessa jätettiin huomioimatta poikittaistukipalkki, joka tullaan poistamaan ja korvaamaan pituusleikkurin rakentamisvaiheessa (3). Poikittaistuen lisäksi kuvassa 3 näkyvä loveuskoneen alla oleva romunkeräin tullaan siirtämään sekä kanavakoneen suojauslevyjä joudutaan muokkaamaan.



Kuva 3. Rungon mitoittamisesta (Kuva: Mikko Keituri 2016)

3 SUUNNITTELUN ESITIEDOT

Tässä osiossa käydään läpi pituusleikkurin esisuunnittelua, siihen vaikuttavia tekijöitä sekä rullaleikkauksen teoriaa. Rullaleikkauksen teoriaan nojaava CAD-suunnittelu voitiin myöhemmin aloittaa mitoittamisen ja leikkurin yksinkertaistetun käsin hahmottamisen jälkeen (kuva 4). Käsin piirrettyssä konseptissa muodostettiin yksinkertainen malli leikkurin muodoille mitoituksen mukaan. Mallissa leikkuuakselien tukeminen suunniteltiin siis ylä- ja alatukiosilla, ”kaseteilla”, jotka toimivat tavallaan leikkurin runko-osina. Kuvassa 4 kasetit ovat neliskanttisen muotoiset osat molemmissa sivuissa allekkain.



Kuva 4. Käsin hahmoteltu piirros pituusleikkurista (Kuva: Mikko Keituri 2016)

Kuvan 4 käsin hahmotellussa mallissa akselien laakeroitavat päät sovittiin olevan 50mm halkaisijoiltaan, jotta leikkurille voidaan valita pieneen suunnittelutilaan mahtuvat laakerit ja laakeripesät. Muut mitat ovat suoraan mitoituksesta saatuja mittoja, joiden mukaan mallinnettu leikkuri mahtuu vielä sille suunniteltuun tilaan.

Rullaleikkauksesta yleisesti

Rullaleikkain (engl. rotary slitter) on usein yksi osa levytyölinjasta, jolla työstetään ohutlevyjä. Ennen pituusleikkausta kelalla oleva ohutlevy tulee kelata auki ja valssata taiseksi. Rullaleikkauksessa levykelasta leikataan haluttu määrä ohutlevynauhoja sekä tarpeen vaatiessa levyn reunoista leikataan jätenauhat suorien reunojen muodostamiseksi.

Joissakin sovelluksissa pituusleikatuista nauhoista muodostetaan edelleen poikittaisleikkaamalla arkkeja. (Aaltonen ym. 1997. 34).

Rullaleikkauksen leikkaavina osina ovat pyörähdyskappaleen muotoiset yläterät (uros) ja alaterät (naaras). Terien välistä kulkeva levymateriaali leikkautuu niin, että yläterän ja levyn väliin muodostuva leikkaus osuu alaterän ja levyn väliin muodostuvan leikkauksen kanssa yhteen muodostaen tasaisen ja suoran leikkausjäljen. Leikkurityyppiä on yleisesti kaksi: vetävä ja takaisinkelaava leikkuri. Vetävässä leikkurissa ohjaintelojen veto on välitetty synkronoidusti leikkuuterille niin, että ne pyörivät samaa tahtia levyä syöttävän linjan kanssa. Takaisinkelaavassa leikkurissa on erillinen takaisinkelain, joka kelaa leikkattuja levynauhoja uudelle kelalle. Vetävään pituusleikkuriin voi sisältyä myös uudelleenkelain ja romukelain. (Roll Slitting Principles and Applications Part 2. 2016.)

Leikkausjäljen laatu

Rullaleikkauksessa leikkausjäljen laatua voidaan yleisesti tarkistella kolmen pinnan ominaisuuden mukaan: leikkaus, murtuma ja reunapurse. Rullaleikkauksessa leikattavaa levyä ei ainoastaan leikata, vaan siihen kohdistettava leikkausvoima murtaa materiaalia. Metalleilla suurin osa rullaleikkauksesta on siis materiaalin murtorajan ylittävän voiman aiheuttamaa murtumaa. (The Art of Slitting. 2008). Rullaleikkauksessa levyn leikkuureunoille syntyvän reunapurseen määrään ja laatuun vaikuttaa suoraan leikkausparametrit kuten horisontaalinen välys, terien päällekkäisyys sekä leikattava materiaali. Reunapursetta saattaa myös muodostua leikkuuterien tylsistyessä. (Atkins. 2009. 133). Yleisesti kovemmilla materiaaleilla leikkauksissa syntyy enemmän murtumaa, kuin puhdasta leikkausta: luonnollisesti pehmeillä materiaaleilla levyn murtuva osa on pienempi (The Art of Slitting. 2008).

Yleisimmät virheet rullaleikkauksessa

Yleisimpiä virheitä rullaleikkaamisen parametreissa ovat ylä- ja alaterien välille asetettu liian suuri tai pieni horisontaalinen välys sekä liian suuri tai pieni väli terien vertikaalissa asetuksessa. Liian pienellä horisontaalisella välyksellä leikattaessa terät asettuvat väärin murtuman kanssa muodostaen epätasaisen leikkausjäljen ja pahimmassa tapauksessa varsinaisen leikkausjäljen lisäksi terien välille leikkaantuu ohut lankamainen nauha. Liian suurella horisontaalisella välyksellä materiaalissa ei ilmene enää leikkausta, vaan

levy leikkaantuu puhtaasti murtumalla. Liian suuri horisontaalinen väli aiheuttaa huomattavasti reunapursetta sekä epätasaista leikkausjälkeä. Se rasittaa myös terien reunoja ja kuluttaa niitä huomattavan paljon. (The Art of Slitting, 2008).

Terien vertikaalinen päällekkäisyys riippuu leikattavan materiaalin paksuudesta ja ominaisuuksista. Mitä kovempaa leikattava materiaali on, sitä vähemmän tapahtuu puhdasta leikkausta. Liian suuri vertikaalinen päällekkäisyys kovilla materiaaleilla kuluttaa teriä. Liian pieni päällekkäisyys pehmeillä materiaaleilla saattaa johtaa vain osittaiseen leikkautumiseen, jolloin materiaali ei leikkaannu nauhoiksi. (The Art of Slitting, 2008).

Materiaaleista johtuvat virheet

Materiaaleista johtuvat poikkeukset aiheuttavat myös virheitä rullaleikkauksessa. Koska valmistusmateriaaleina käytettävät teräsohutlevyt ovat valmistajan puolesta tietyissä toleransseissa, täytyy levyn paksuus- ja leveysmittojen vaihtelu ottaa huomioon rullaleikkauksessa. RP-Ilmastointi KY:n kanttikanavat valmistetaan SSAB:n DX51D-merkkinisestä 1mm paksusta galvanoidusta teräsohutlevystä. 1 mm paksun materiaalin teräsrainalle paksuustoleranssina yli 1200 mm leveydelle on 0,07 mm ja leveystoleranssina 0,09 mm (Kuumasinkityt kelat ja arkit, 2016). Paksuusmitan vaihtelu vaikuttaa suoraan rullaleikkauksen pystysuuntaiseen terien päällekkäisyyteen.

Muita materiaaleista johtuvia virheitä ovat materiaalien sisäiset jännitykset sekä seosten vaihtelevuus. Ne vaikuttavat moniin valmistusparametreihin, joskaan niiden vaikutus ei usein ole merkittävä.

4 CAD-SUUNNITTELU

Pituusleikkurin mallintaminen aloitettiin käsin suunnitellun mallin mukaan. Kokoonpanon ensimmäiseen vaiheeseen kuului mm. akseleiden, vedon välittävien hammaspyörien sekä runkoon kiinnitettävien tukikasettien mallintaminen. Tässä vaiheessa mallinnusta oli tärkeitä suunnitella akselien sekä kiinnityskasettien mitat niin, että ne noudattavat mitoitettuja tiloja, mutta ovat kuitenkin muokattavissa tarpeen mukaan. Mallinnuksesta jätettiin pois jo olemassa olevat runko-osat, sillä niiden mallintaminen tähän työhön ei ollut tarpeellista. Varhaisessa suunnitteluvaiheessa sovittiin työnjohtajan sekä muun työpaikan henkilöstön kanssa seuraavista kriteereistä:

- Leikkuuterien akseleiden halkaisija on 100 mm
- Leikkuuterät siirretään tarvittaessa akselien päihin, mikäli niitä ei tarvita
 - o Leikkuuteriä ei tarvitse poistaa missään käytön vaiheessa.
- Pituusleikkuri suunnitellaan suoraan asennettavaksi kanavakoneen runkoon.
- Leikkuuterien materiaali on leikkuutyöhön soveltuvaa työkaluterästä
- Akselien materiaali on kulutuksenkestävää ja lujaa terästä

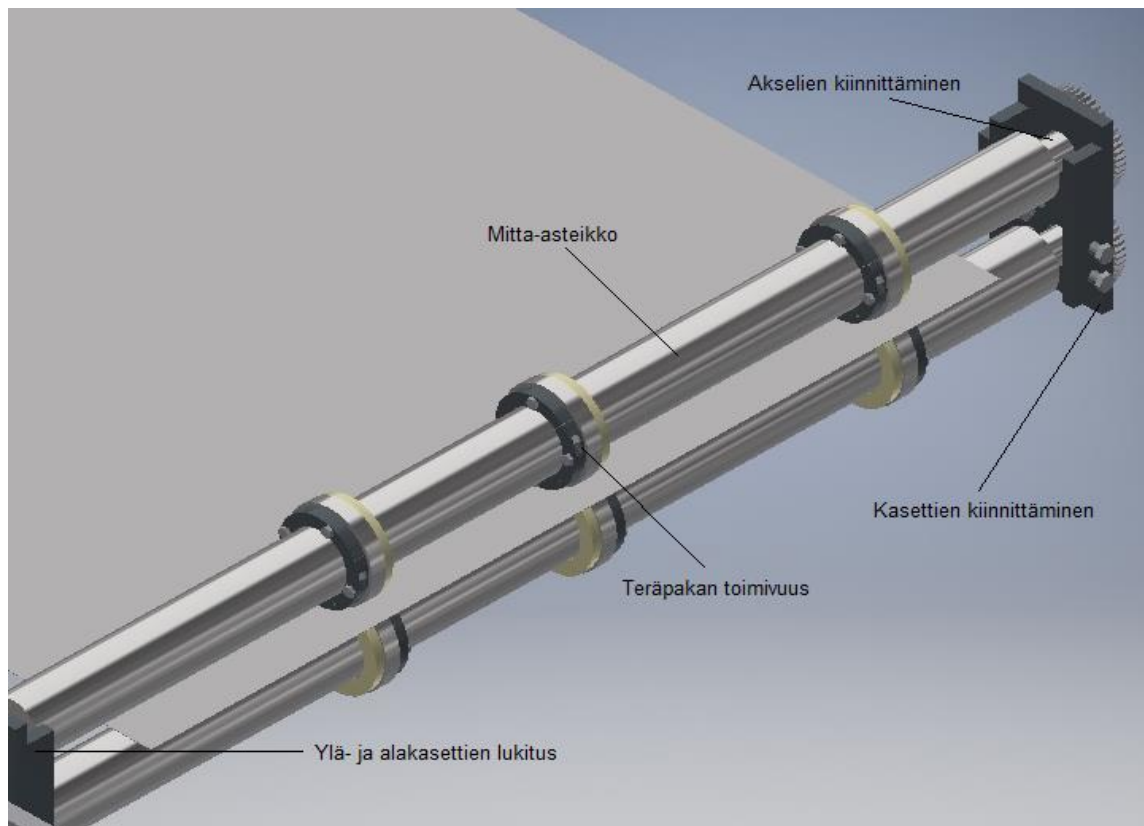
Akselien halkaisijaksi sovittiin 100 mm sen takia, että samaa akselitangon kokoa käytetään yrityksen urituskoneessa, jolloin akselien varastointi helpottuu samaa telinekokoa käyttämällä. 100 mm akselikooksi todettiin olevan tähän tarkoitukseen kaikin puolin riittävä.

4.1 Ensimmäinen kokoonpano

Ensimmäisessä kokoonpanoversiossa (kuva 5) tutkittiin osien sopivuutta sekä leikkurin yleistä toimintaperiaatetta. Tähän kokoonpanon versioon ei sisälly laakereita siitä syystä, että laitteen osien yhteensopivuuden tutkiminen ohjelmalla oli huomattavasti helpompaa ilman laakereita. Laakerien ja laakeripesien lisääminen työhön kuormittaa mallinnusohjelmaa huomattavasti enemmän, mikä myös hankaloittaa yksityiskohtien tutkimista. Selvästi kehitettäviä kohteita olivat akselien ja kasettien kiinnityskohdat, teräpakan toimivuus ja ylä- ja alakasettien välinen lukitus.

Kiinnityskohdat olivat ensimmäisessä mallissa väärissä paikoissa, jolloin kiinnityspulttien tielle osui akselitanko tai sen rei'itys ei ollut oikealla kohdalla kanavakoneen runkopalkkien kanssa. Pituusleikkurin yläakseli suunnitellaan kääntöakselilla vapaasti avattavaksi akseliksi, mistä syystä siihen tuli suunnitella lukitussysteemi, jolla yläkasetin saa lukittumaan tiukasti tarvittaessa.

Ensimmäisen mallinnuksen jälkeen suunnittelu siirtyi teräpakan mallin parantamiseen, laakerien lisäämiseen sekä kokoonpanon virheiden korjaamiseen, viimeistelyyn ja paranteluun.



Kuva 5. Ensimmäinen kokoonpanokokeilu ja kehityskohteet (Kuva: Mikko Keituri 2016)

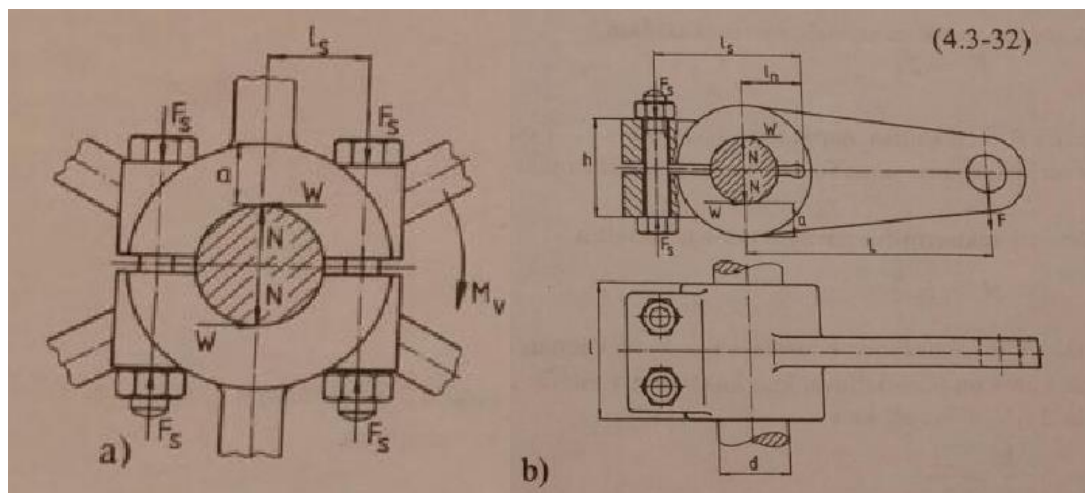
4.2 Teräpakan mallintaminen

Pituusleikkurin teräpakka koostuu leikkuurullasta sekä sitä tukevista kiristimistä sekä nylonvalmisteisista levynohjaimista. Teräpakan leikkaavana osana toimii leikkuuterän toinen sivu, joka asetettuna vastakkaisen teräparin leikkuuterän sivun kanssa vierekkäin leikkaa materiaalia. Teräpakka saadaan kiristettyä tarkasti oikealle paikalleen kiristimien avulla: kiristimet ovat leikkuuterän molemmilla puolilla ja ne liikkuvat vapaasti akselilla.

Kiristysliitokset

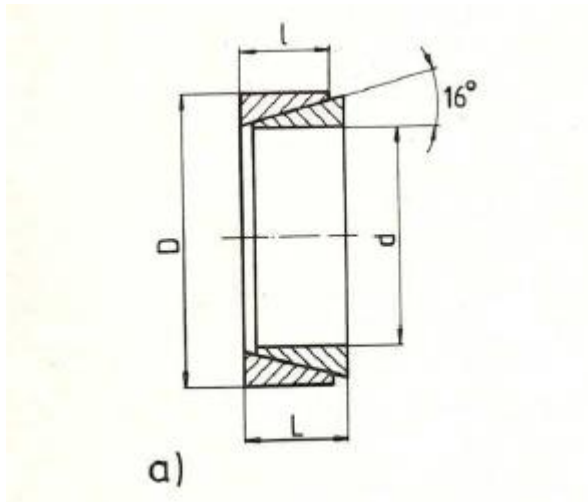
Teräpakan kiinnitykselle oli useita vaihtoehtoja. Kiristykselle päätettiin suunnitella kitkasulkeinen kiristysliitos. Kitkasulkeisista liitoksista tähän työhön soveltuvimpia ovat radiaalisesti kiristettävät liitokset tai kartioliitokset.

Yleisimpiä radiaalisesti kiristettäviä liitoksia ovat halkaistun navan kiristysliitos ja lovetun navan kiristysliitos. Radiaalisesti kiristettävien liitosten etuna on niiden siirtomahdollisuudet aksiaali- ja kehänsuunnissa. Radiaalisesti kiristettyjen liitosten haittapuolina ovat pintapaineen sekä kitkan vaihtelut. (Airila, Ekman, Hautala. 2010. 254-255). Halkaistun navan liitoksessa kappale kiinnittyy akselille kiristämällä halkaistua napaa yhdistäviä ruuveja (kuva 6, a). Lovetun navan liitoksessa on sama kiinnityspeeriaate, mutta siinä kappaleen napaa ei ole halkaistu kokonaan (kuva 6, b). Molemmissa kiristystavoissa kiristäminen tulee tehdä manuaalisesti aina, kun osia siirretään akselilla.



Kuva 6. Halkaistu ja lovettu napa (Airila ym. 2010. 254)

Kartiorenkaat (kuva 7) olivat kolmas mekaaninen vaihtoehto kiristystavalle. Kartiorenkaiden etuina ovat asennustarkkuus, helppo purettavuus sekä kohtuullisella ruuvivoimalla saatava lujin mahdollinen mekaaninen napaliitos. Kartiorenkaissa itsessään ei ole kiristysvälineitä ja ne on rakennettava muun rakenteen yhteyteen. (Airila, Jantunen, Kivioja, Laihotie, Nurmi, Pora, Ranta. 1987. 108-109). Kartiorenkaan toimintaperiaatteena on akselin ja navan yhdistyminen kitkan avulla.



Kuva 7. Kartiorengas (Airila ym. 1987. 108)

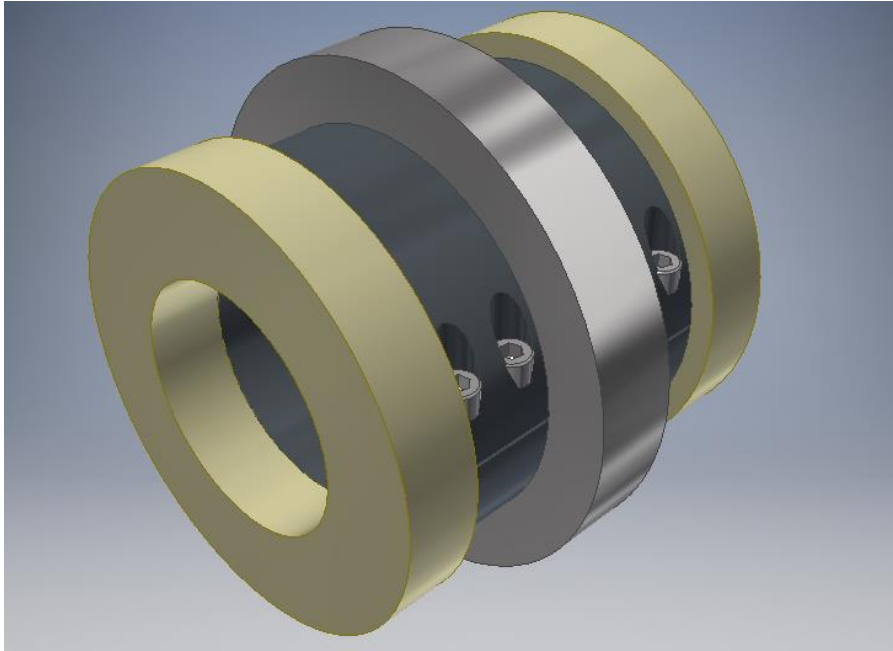
Kartiorenkaiden käyttö teräpakan kiristämisessä olisi siis aksiaaliselta kiristykseltään tiukkin, mutta se vaatisi vapaat tilat käsin kiristykselle. Pituusleikkurin suunnitellun ala-akselin ollessa leikkaustason alapuolella paikoin hankalasti liikuteltavien terien kiristys olisi kartiorenkailla toteutettuna vaikeata. Tästä syystä yrityksen edustajan sekä työntekijöiden kanssa todettiin kiristysliitoksista työhön soveltuvimmaksi lovetun navan kiristysliitos. Tässä käyttökohteessa se on nopea avata ja sulkea. Lovetulla navalla toimivat kiristimet tulevat myös edullisemmaksi, sillä lieriömallisten kiristimien valmistaminen on kartiorenkaisiin verrattuna huomattavasti yksinkertaisempaa ja edullisempää.

Teräpakan malli

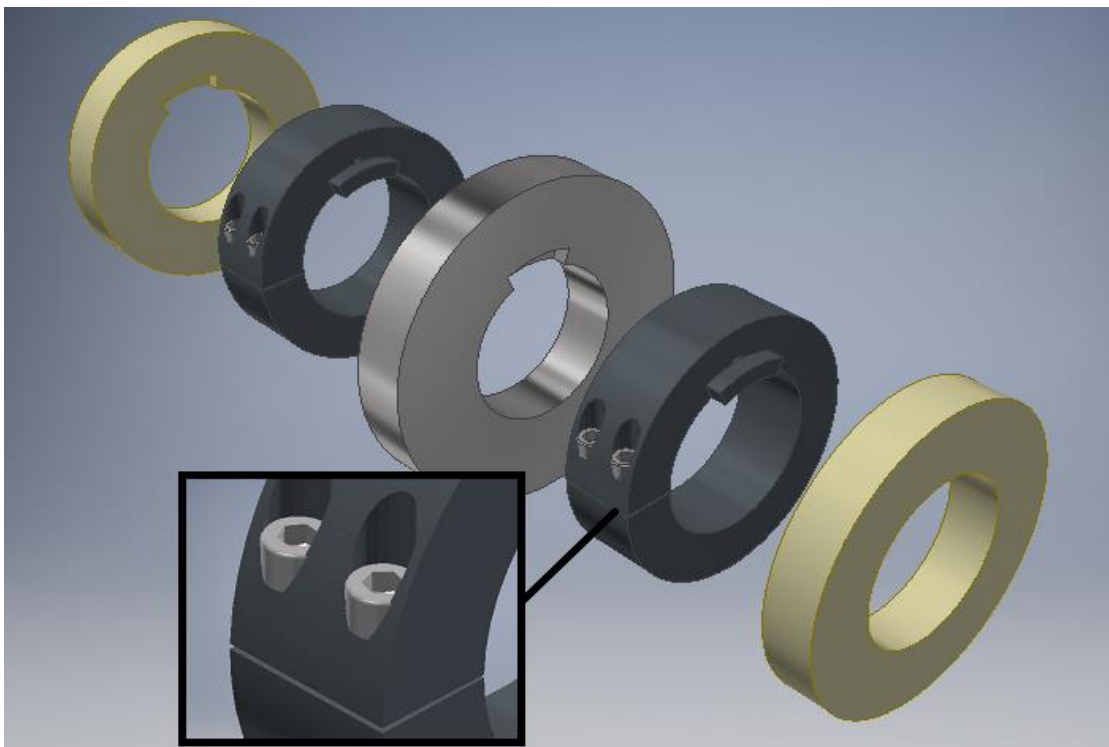
Teräpakan (kuva 8) kiristimet suunniteltiin lovetuiksi niin, että kiristys tapahtuu kahta loven läpi kulkevaa M8-kuusioruuvia kiristämällä. Kiristimiin suunniteltiin myös ulokkeet, jotka uppoavat leikkuuterän sisään: tämä estää leikkuuterän pyörimisen kiristimien välissä (kuva 9). Teräpakan kiristyminen todettiin toimivaksi tähän käyttötarkoitukseen.

Teräpakkaan kuuluu myös pakan päätyihin asennettavat nylonrenkaat. Renkaiden tehtävänä on ohjata leikattu levynauha linjan suuntaan, mikäli levy alkaa vääntyä leikkauksen myötä. Levyn rullaleikkauksen jälkeinen kierteelle vääntyminen tai taipuminen on yleistä mm. silloin, kun levyssä on sisäisiä jännityksiä, leikattava nauha on hyvin kapea tai leikkuunopeus on hidas (Mechanical Cutting. 2011).

Teräpakka suunniteltiin aluksi pyörimislukittavaksi akselille suunniteltavalla kiilauralla. Sen todettiin kuitenkin hankaloittavan kiristimien kiinnitystä, koska kiristimet tulee saada käännettyä akselilla tarpeen vaatiessa niin, että kiristysruuvit ovat näkyvissä.




Kuva 8. Teräpakka koottuna (Kuva: Mikko Keituri 2017)



Kuva 9. Teräpakka avattuna (Kuva: Mikko Keituri 2017)

Varsinaisen leikkuuterän geometria on CAD-mallissa tasainen lieriö. Dienes USA:n artikkelin Slitting Reference Guide (2015) mukaan rullaleikkaavien terien leikkuugeometria vaihtelee materiaalien mukaan niin, että leikkaavan kulman suuruus on usein sitä pienempi mitä lujempaa leikattava materiaali on. Tästä syystä leikkuukulman viiste tulisi metallia leikattaessa olla 0-10° (kuva 10). RP-Ilmastoinnin työntekijöiden mukaan yrityksen vanhojen rullaleikkainterien leikkaavien särmien viisteet olisivat n. 7°, joskin vanhalla rullaleikkaimella leikataan eripaksuisia levyjä. Koska tarkkaa leikkuuterän kulmaa on vaikea arvioida ilman käytännön kokeilua, pidettiin CAD-mallissa terä lieriönä. Ensimmäisen version teriin verrattuna myös sen kokoa kasvatettiin.

-Cutting Edge Geometry- top knife		
cutting bevel	angel of bevel - α -	application areas
	0 - 10°	metals, laminates plastic materials, low edge distortion
	30°	paper, foils, laminates, fleece, cardboard
	45°	
	60°	special cases, film industry, sensitive cutting edges

Kuva 10. Rullaleikkausterien leikkausviisteitä (Dienes USA 2015)

Leikkuuterän materiaali

Leikkuuterän materiaali on työn tärkein materiaalivalinta, sillä se tekee leikkurin raskaimman ja kuluttavimman työn. Yleisesti käytettyjä teräslajeja rullaleikkaimissa ovat seosteräkset, työkaluteräkset sekä pikateräkset (Principles of Shear Slitting. 2016). Näillä materiaaleilla määräävinä ominaisuuksina ovat kulutuksenkestävyys, karkaisun kautta muodostunut pintakovuus sekä iskutkeys (Properties of Tool Steel. 2013).

SSAB:n Toijalan terästehtaan tuotantojohtaja Petri Koivulan kanssa käydyssä sähköpostikeskustelussa (2017) kävi ilmi, että SSAB:lla käytetään teräsprofiilien valmistuksessa Sverkerin työkaluteräksiä sekä seosteräksiä, jotka ovat karkaistu HRC 64 -kovuusluokkaan. Samankaltaiset materiaalit todettiin sopivan myös ohutlevyn leikkuuterän materiaaleiksi, sillä pintaominaisuuksien ansiosta ne soveltuvat hyvin myös leikkaimiin.

Etsinnän jälkeen soveltuvaksi esimerkilliseksi materiaaliksi löytyi mm. Böhlerin valmistama K360 Isodur. Tällä kylmätyöteräksellä on erittäin hyvä kovuus ja adhesiivisen kulumisen sekä iskujen kesto (Böhler K360 ISODUR. 2003). Tämän teräksen yleisiä käyttökohteita ovat leikkaimet sekä puristustyökalut. Autodesk Inventorilla mallinnettaessa leikkuuterän materiaaliksi valittiin simulointia varten Inventorin materiaalivalikosta sopiva työkaluteräs, joka vastasi haluttuja ominaisuuksia.

4.3 Laakerien lisääminen kokoonpanoon

Seuraavana työvaiheena kokoonpanossa oli laakerien, laakeripesien sekä akselien pidäntinrenkaiden lisääminen kokoonpanoon. Laakereita tähän malliin tuli molempien akselitankojen päihin sekä nivelholkit kääntöakselin päihin. Laakerit valittiin SKF:n internet-sivuilta. Haluttujen laakereiden valinta tehtiin yhteistyössä yrityksen edustajan sekä muun henkilöstön kanssa, sillä laakeroinnin kustannukset olivat suurimpia kustannuksia tässä työssä.

Akselien laakerointi

Koska suunniteltava tila oli verrattain pieni, mutta leikkauksessa syntyvät voimat välittyvät suoraan laakereille, akselien laakeroinnissa määräävinä tekijöinä olivat

- Laakerin paksuus
- Laakerin leveys
- Laakerin dynaaminen kuormitettavuus
- Laakeripesän dynaaminen kuormitettavuus

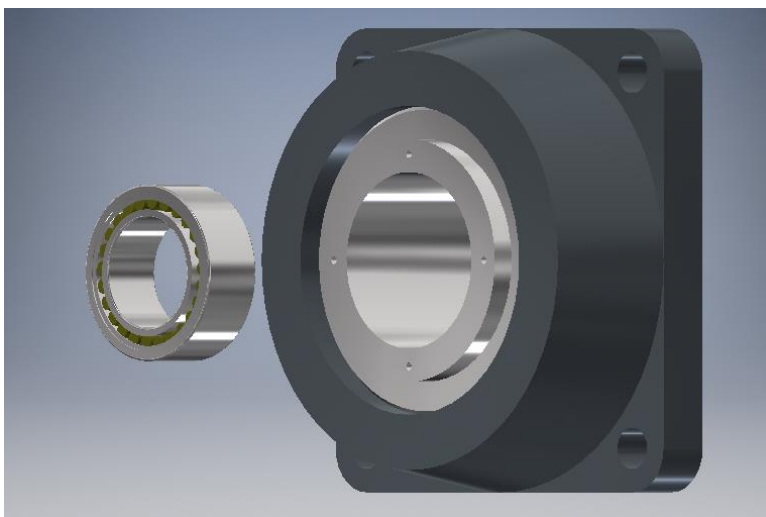
SKF:n tuotevalikoimasta tutkimalla sopivaksi vaihtoehdoksi akselitankojen laakeroinnille valikoitui toroidillinen rullalaakeri C 4010 V (kuva 11). Toroidillisessa rullalaakerissa on kuulien sijasta tynnyrin muotoisia rullia, joiden ansiosta se kestää tehokkaasti radiaalista kuormitusta. Leikkurin akseleihin kohdistuu rullaleikkauksessa pääasiassa radiaalisia voimia, joiden sietokyky oli suurin määräävä tekijä tämän laakerin valitsemisessa. C 4010 V-laakerissa suurin sallittu väsytyskuormitus on 20,8 kN, minkä todettiin riittävän tähän suunnitteluun hyvin. Laakerin maksimipyörimisnopeus on 3000 RPM, minkä todettiin olevan suhteellisen hitaasta valmistusnopeudesta johtuen riittävä.



Kuva 11. SKF:n toroidillinen rullalaakeri (Eriks. 2017)

Laakerille soveltuva laakeripesä valittiin etsimällä SKF:n valikoimasta sopiva halutulle laakerin ulkohalkaisijalle ja leveydelle. Koska suunniteltavan pituusleikkurin tila on pituuden kannalta valmiiksi lyhyt, valittu laakeripesä tuli olla ulkomitoiltaan mahdollisimman pieni. Laakeripesäksi valikoitui pienin laakerin ulkohalkaisijan mukaisella sisähalkaisijalla ollut laakeripesä, FYNT 80 L. Laakeripesän määräävinä valintakriteereinä olivat sen sisähalkaisija, leveys sekä kiinnitystapa. FYNT 80 L on neliskanttinen aksiaaliseen suuntaan kulmista neljällä M12 -ruuvilla kiinnitettävä laakeripesä. Laakeripesän halettiin olevan aksiaaliseen suuntaan kiinnitettävä, jotta sen kiinnitys kasettiin ja sen myötä runkoon on tukeva. FYNT 80 L-laakeripesän väsymyskuormitusraja on n. 29 kN ja sisältämän laakerin maksimipyörimisnopeus 2300 RPM, joten sen todettiin olevan kaikin puolin sopiva kokoonpanoon.

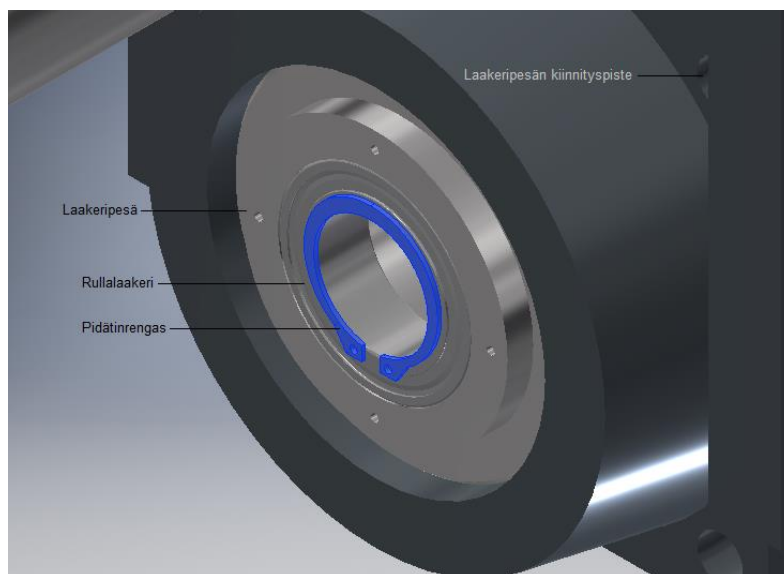
3D-mallinnusta varten laakerista sekä laakeripesästä ladattiin Autodesk Inventorin 3D-mallit .ipt-muodossa SKF:n sivuilta (kuva 12).



Kuva 12. Laakerin ja laakeripesän ipt-mallit (Kuva: Mikko Keituri 2017)

Akselitankojen laakerit, laakeripesät sekä akselille mallinnetut pidätinrenkaat lisättiin kokoonpanoon kasettien sisälle akselitankojen mallinnuksen viimeistelemiseksi (kuva 13). Pidätinrenkaiden tehtävänä on pitää akselit paikallaan aksiaalisessa suunnassa. Kuvassa 13 akselitanko on muutettu läpinäkyväksi kokoonpanon selvyuden parantamiseksi.

Laakeripesää lisättäessä kokoonpanoon huomattiin suunnitteluvirhe kasettien mallinnuksessa. Laakeripesä oli 30mm leveämpi linjan suunnassa, joten se ei mahtunut kasetin sisälle suunniteltuun kohtaan. Tästä syystä kaikkia kasetteja tuli leventää 30mm. Levennyksestä huolimatta kasetit mahtuvat niille suunniteltuun tilaan.



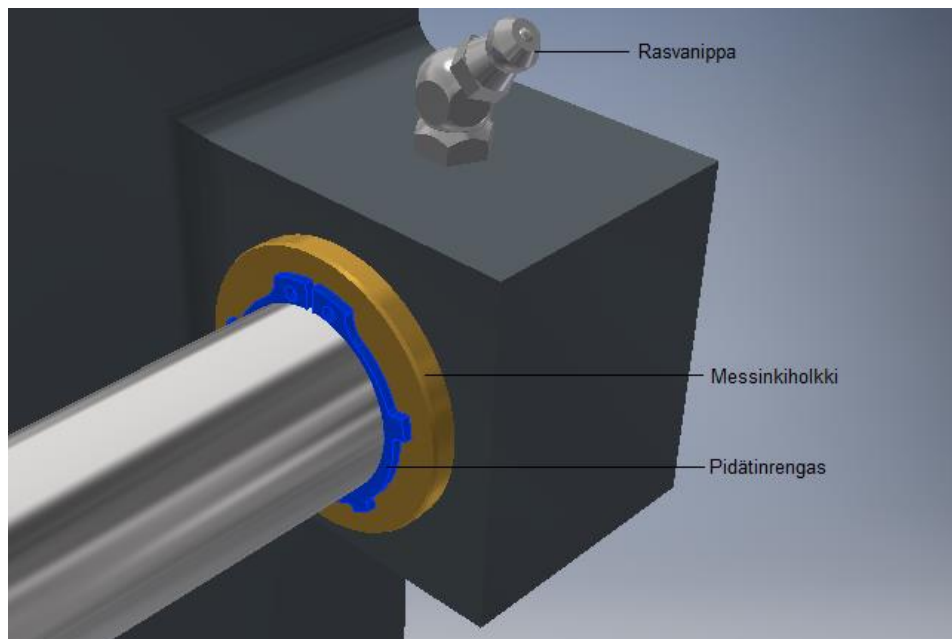
Kuva 13. Laakeroinnin lisääminen kokoonpanoon (Kuva: Mikko Keituri 2017)

Kääntöakselin laakerointi

Kokoonpanon kääntöakselin laakeroinnin suunnittelussa tärkeimpiä huomioina olivat akselin vähäinen käytettävyys sekä siltä vaadittava radiaalinen voimiensietokyky. Kääntöakseli on käytössä ainoastaan silloin, kun leikkuri poistetaan käytöstä tai otetaan käyttöön. Leikkurin ollessa pois käytöstä kääntöakselin tehtävänä on pitää yläakselia yläasennossa paikallaan ja sen myötä akselien väliä levynvahvuutta suurempana niin, että levy pääsee tarvittaessa vapaasti rullaamaan akselien välistä.

SKF:n sovellusinsinöörin kanssa käydyssä sähköpostikeskustelussa (2017) parhaimmaksi sovellukseksi tämänlaiselle akselille toimii nivellaakerit tai nivelholkit. SKF:n

mallistosta löytyi sopiva nivelholkki PSMF 253220 A51. Nivelholkki on tämänkaltaiseen tilanteeseen sopiva voimavälityskomponentti, sillä sen kiinnittäminen ei vaadi suurta asennustarkkuutta laakereihin verrattuna eikä se vaadi erillistä asennuspesää. Nivelholkki asennettiin 3D-mallissa yläkasettien sovitereiän ja kääntöakselin välille (kuva 14). Kääntöakselille tehtyyn rengasuraan kiinnitetään 4-ulokkeinen pidätinrenkas, joka estää holkin liikkumisen aksiaalisessa suunnassa. Kääntöakseli tulee päistään kiinni kanavakoneen runkoon, jolloin pidätinrenkas kuvan 14 osoittamassa paikassa riittää sellaisenaan holkin pidättelemiseen. Nivelholkin ja akselin väliseksi voitelemiseksi suunniteltiin rasvanippa ja sen voitelukanava.



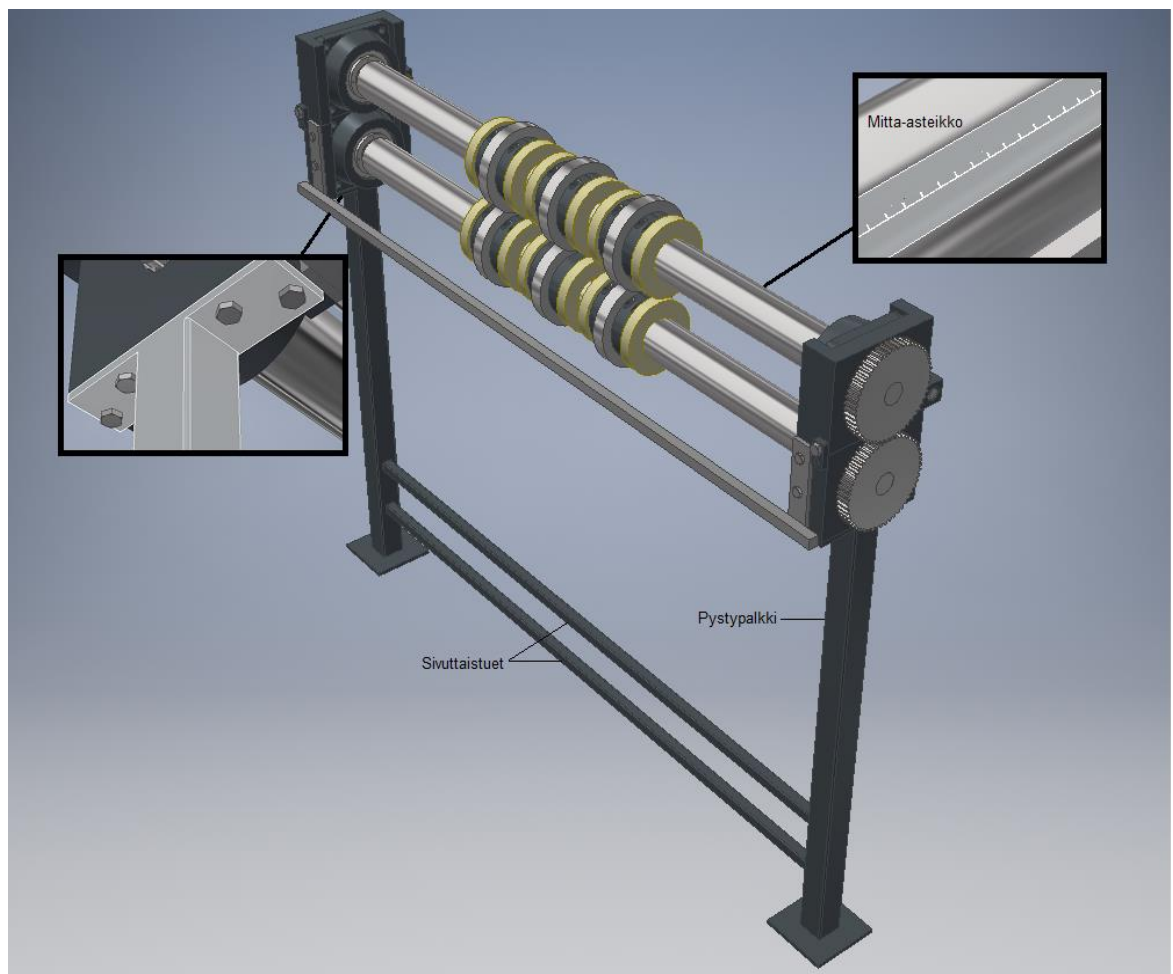
Kuva 14. Kääntöakselin kiinnitys (Kuva: Mikko Keituri 2017)

4.4 Viimeistelty malli

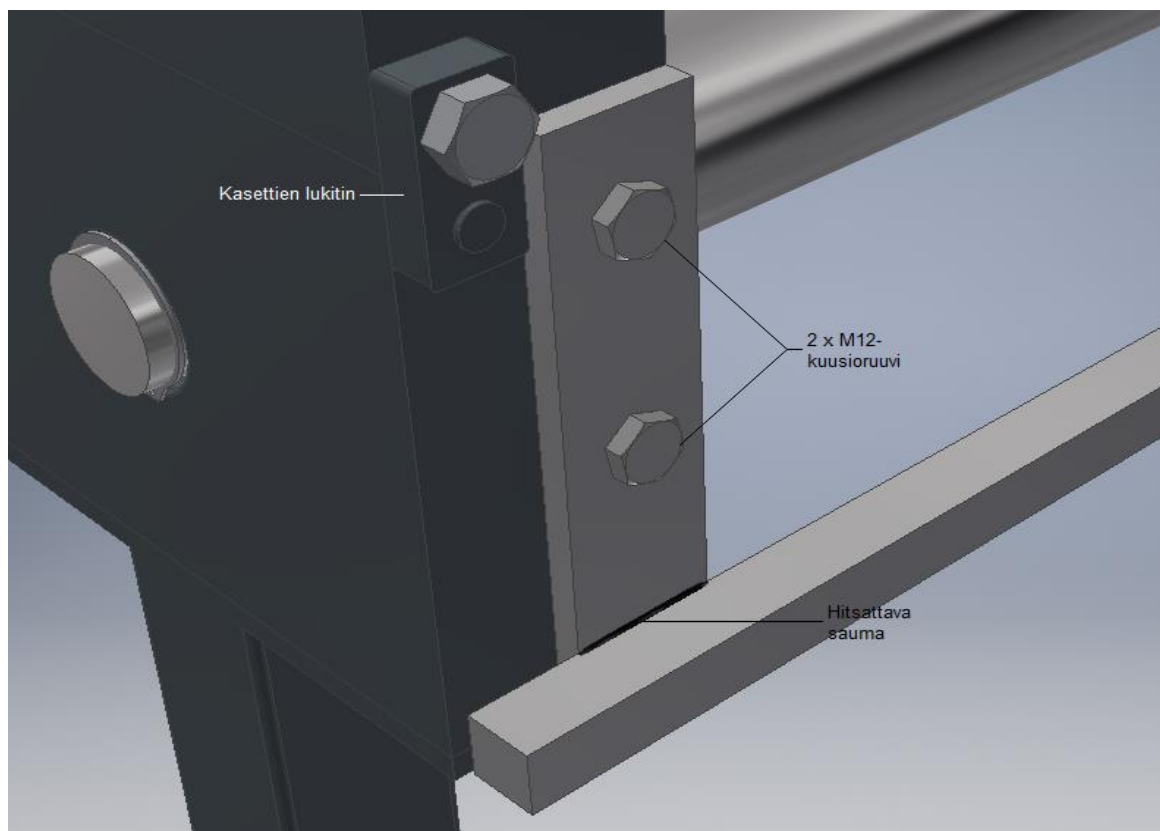
Viimeistelyyn malliin lisättiin leikkurin yläosan kiinnittävä lukitusosa, tukipalkit, akseliin upotettava mitta-asteikko leikkuuterille sekä tarvittavat ruuvit (kuva 15). Leikkurin tuiksi valittiin Terästarvike OY:n katalogista (2017) sopivat neliöpalkit: Leikkuria pystysuoraan tukeviksi palkeiksi valittiin rakenneteräksestä S355-J2-H valmistetut 70 x 70 x 4 mm-putkipalkit ja sivusuunnassa tukeviksi samaa materiaalia olevat 30 x 30 x 3 mm-putkipalkit. Koska suuri osa painosta kohdistuu laakerikaseteista suoraan alaspäin, todettiin yhteisesti 4mm seinämällä olevien neliöputkien olevan tarpeeksi jämäkät tukemaan leikkuria pystysuunnassa.

Pystytuki kiinnitetään leikkurin alakasettiin alhaaltapäin neljällä M12 -kuusioruuvilla (kuva 15). Kiinnitysruuveja on neljä ja ne on jaoteltu tasaisesti laakerikasetin geometrian mukaisesti tasaisen tuennan vuoksi. Pystytukien lisäksi leikkuri kiinnitetään sivusuunnasta jäämästä koneen runkoon, jolloin sen aiheuttama rasitus pystypalkkeihin vähenee entisestään. Mitta-asteikko on millimetriasteikko, jossa joka kymmenes millimetri on merkitty suuremmalla mittaviivalla. Työnjohtaja Raimo Pihlmanin (2016) mukaan leikkavien levyjen leveystoleranssiksi riittää 1mm, jolloin tämän mitta-asteikon avulla leikkuuterien kiinnitys on riittävän tarkka.

Rungon sivuttaistukipalkin ja kiinnityslevyn väliin tulee hitsaussauma, jolla lujitetaan rungon sivuttaistuki yhdeksi kappaleeksi (kuva 16). Viimeistelyn jälkeen leikkurin osista tehtiin osaluettelo, jossa osakokoonpanot on merkitty taulukkoon omilla väreillä osien lukemisen helpottamiseksi (liite 1).



Kuva 15. Pituusleikkurin lopullinen malli (Kuva: Mikko Keituri 2017)



Kuva 16. Leikkurin sivupalkki sekä kasettien lukituspala. (Kuva: Mikko Keituri 2017)

Rakotulkin suunnittelu

Leikkuuterien horisontaalisen välyksen asettamiseksi päätettiin suunnitella sopiva rakotulkki (liite 2). Rakotulkin tehtävänä on toimia mitta-apuvälineenä oikean asetusvälyksen löytämisessä ja se asetetaan halutun välyksen kohtaan niin, että terät osuvat siihen molemmilla puolilla. Bluescope Steelin artikkelin mukaan 1mm paksulla metallilevyllä sopiva horisontaalinen välys leikkuuterien välillä on n. 0,08-0,1 mm. (Shearing and Slitting Steel Sheet and Strip. 2003). Suunniteltavan rakotulkin sovittiin olevan maksimissaan 0,1 mm paksu. Rakotulkin tulkkavaa terä suunniteltiin pitkäksi, jotta hankalassakin teräasetuksessa välyksen määrittäminen olisi helppoa. Rakotulkin mittaliuskan soveltuvaksi valmistusmateriaaliksi sopisi esimerkiksi jousiteräs sen taipuisuuden ja valmistettavuuden vuoksi.

4.5 Suunnittelusta pois rajatut kohteet

Tähän mennessä suunnitelluilla osilla pituusleikkuri ei ole vielä toimintakelpoinen. Leikkurin toimintakelpoiseksi saattamiseksi tulee suunnitella

- voimansiirto leikkurille

- yläakselin nostin
- yläakselin pystysuuntainen liikutus.

Voimansiirroksi leikkurille suunniteltiin alustavasti ketjuvälitystä suoraan kanavakoneen pyörivältä akselilta. Koska leikkurin voimansiirron vaikutusta kanavakoneen toimintaan tällaisenaan on vaikea arvioida, toinen suunniteltava voimansiirtotapa on ala-akselia synkronoidusti pyörittävä oikosulkumoottori.

Yksi leikkurin jäljelle jääneistä suunnittelukohteista oli leikkurin yläakselin avausmekanismi. Avausmekanismeista toimivimmaksi tämänlaiseen kohteeseen soveltuvat epäkeskoavaus, hydraulinen sylinteri tai muu mekaaninen nostotapa. Epäkeskonostimen etuna olisi pieni vaadittava nostovoima ja se vaatisi vain mekaanista suunnittelua. Hydraulisen nostimen etuna taas olisi sen käytön helppous ja käyttäjystävällisyys. Hydraulisella nostimella avattuna leikkurin käyttäjän ei välttämättä edes tarvitsisi poistua käyttöpaneelin luota avatakseen leikkurin.

Mikäli tulevaisuudessa koneella halutaan valmistaa levynauhoja eri materiaaleista, tulee leikkuuterien pystysuuntaista välitystä pystyä muuttamaan. Hyvänä suunnitteluvaihtoehtoja tästä olisi esimerkiksi trapetsikierreprofiililla liikutettava yläkasetti. Tämän suunnittelu rajattiin kuitenkin tästä mallista pois, sillä tulevaisuudessa valmistettavista materiaaleista ei ole varmuutta sekä tarvittaessa tämänlainen muutos koneen toimintaan olisi verrattain helppo tehdä. Ilman yläsuuntaista säätöä leikkuria on helpompi käyttää samalla valmistusmateriaalilla, sillä silloin leikkurin vällysasetukset eivät muutu konetta käytettäessä, eikä käyttäjän tarvitse tehdä ylimääräisiä tarkistuksia yläakselin suoruuden tai vällyksen suhteen.

5 VALMIIN MALLIN ANALYSOINTI

Leikkurin konsepti todettiin olevan mekaaniselta suunnittelultaan valmis. Mallin valmistuttua alettiin määrittää siihen kohdistuvia teoreettisia leikkausvoimia leikkuutilanteessa. Rullaleikkaus on giljotiinileikkauksen kaltaista suoraleikkausta, jossa leikkuupiste muuttuu suhteessa terien liikkeeseen. Suoralle leikkaukselle suurin mahdollinen leikkuuterien voima voidaan määrittellä murtolujuuden, levyn paksuuden ja leikkauksen pituuden mukaisesti. (Analysis of Guillotining and Slitting. 2000. 19). Leikkausvoiman määrittäminen oli tärkeää, sillä sen avulla voidaan määrittellä leikkurin rakenteellisia kuormituksia ja muutoksia leikkausprosessin aikana.

5.1 Leikkausvoiman laskeminen

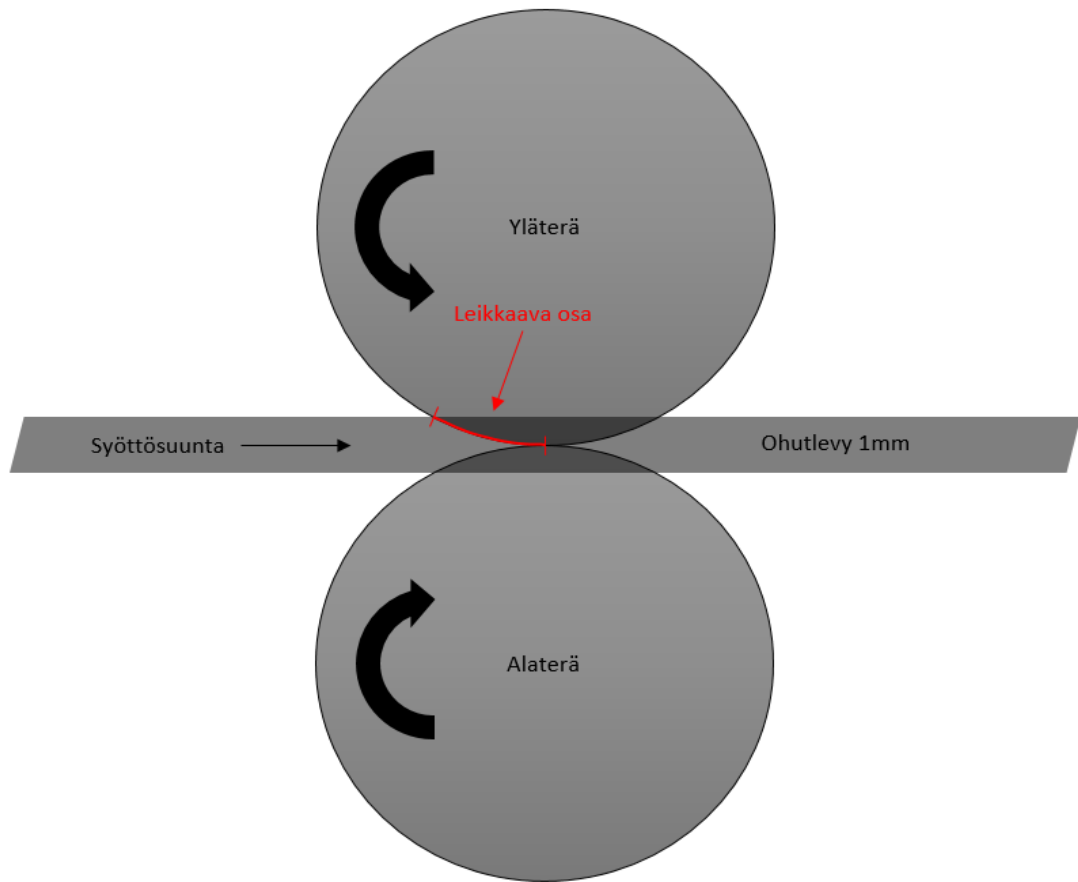
Leikkausjännityksen määrittelemisen ortogonaalisella eli pystysuoralla leikkaustavalla voidaan laskea tyypillisen metallin vetokokeen tavoin, joskaan se ei anna täysin tarkkaa tulosta leikkausvoimasta. Toisin sanoin rullaleikkauksessa tapahtuva materiaalin leikkautuminen noudattaa vetokokeen kaltaista materiaalin muodonmuutosta, mutta siinä materiaalin myötö- ja murtorajat vaihtelevat. (Analysis of Guillotining and Slitting. 2000. 19).

Rullaleikkauksessa leikkausvoima voidaan määrittää keskimääräisen leikkausjännityksen kaavalla (kaava 1). Kohtisuoran keskimääräisen leikkausvoiman määrittämiseksi tulee tietää leikkausmateriaalin paksuus, leikkausjännitys sekä leikkauksen pituus. Leikkausvoimaa kutsutaan keskimääräiseksi, sillä todellisuudessa jännitys ei jakaannu tasaisesti pinnalla. (Karhunen ym. 1993. 12). Koska rullaleikkauksessa leikattavan sauman tarkkaa pinta-alaa on vaikea määrittää, suurimman voiman laskemiseksi käytetään suurinta mahdollista leikkuuterien ja levyn kosketuspintaa (kuva 17.). Tämä leikkauksipinta on siis suurin mahdollinen terien ja leikattavan materiaalin välinen pinta.

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (1.)$$

Kaavassa 1 τ kuvaa leikkausjännitystä, Q leikkausvoimaa ja A leikattavaa pinta-alaa. Tästä kaavasta saadaan laskettua leikkausvoima leikattavan alueen pinta-alan ja leikkausjännityksen tulolla. Leikkausjännitykseksi valittaessa levyn murtolujuus, saadaan selville levyn leikkaamiseksi vaadittava voima.

Leikkauskulmaan ja sen myötä leikkaavan osan pituuteen vaikuttaa terien pystysuuntainen päällekkäisyys. Pystysuuntainen terien ylityksen ohjearvo 1 mm paksulla teräsmateriaalilla on noin 0,35 mm (Shearing and Slitting Steel Sheet and Strip. 2003). Pystysuora ylitys tulee huomioida laskettaessa leikkausvoimaa, sillä sen ollessa positiivinen eli teriä sistentävä se suurentaa terien leikkauskulmaa ja täten terän materiaalia koskevaa pintaa. Koska kanavat valmistetaan 1mm paksusta levystä, kuvan 17 mukaisessa leikkuupinnan määrittäyksessä on otettu huomioon terien päällekkäisyys.



Kuva 17. Havainnollistaminen terien leikkaavasta pinnasta (Kuva: Mikko Keituri 2017)

Mitattu leikkaavan osan pituus kuvan 18 mukaisesti on 4,056 mm laskettuna Inventorin mittatyökalulla mallin leikkausteristä. Leikkaavan pinnan määrittämiseksi Inventorissa syötettiin 1mm paksu levy terien väliin ja sen myötä määritettiin leikkaava pinta.

Materiaali, josta kanavat valmistetaan, on SSAB:n DX51D -pinnoiteteterästä ja sen murto-
lujuus on n. 400 MPa. Määritettyjen suureiden mukaan saadaan laskettua vaadittava leikkausvoima leikkausjännityksen kaavasta 1 muutetun kaavan 2 mukaisesti:

$$Q = \tau \cdot A \quad (2)$$

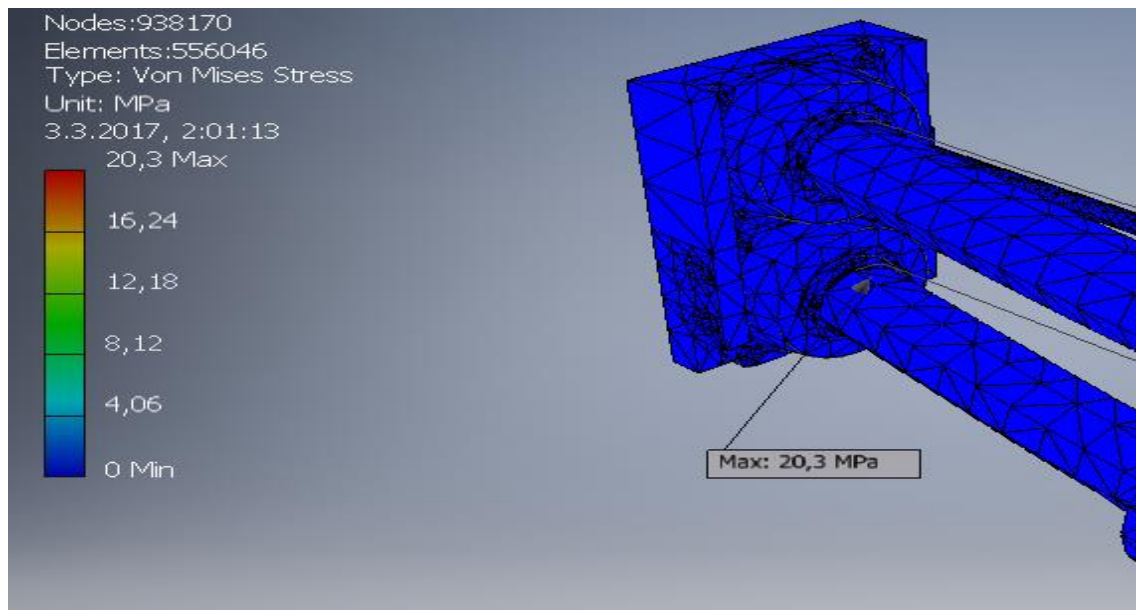
$$Q = 400 \text{ MPa} \cdot (4,056 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm}) = 1622,4 \text{ N} \approx 1600 \text{ N}.$$

Laskettu leikkausvoima saavutetaan siis silloin, kun kyseessä on puhdas leikkaus ilman materiaalin murtumista. Yleisesti rullaleikkauksessa suurin osa leikkauksesta tapahtuu murtumalla, joten laskettu leikkausvoima on ylimitoitettu. Tarkoilla asetuksilla ja oikeanlaisilla leikkuuterillä leikkauksessa murtunutta osuutta saumasta on jopa 80% (Mechanical Cutting, 2011). Koska murtuman vaikutusta leikkausvoimaan on hyvin vaikea arvioida ilman käytännön kokeilua, oletetaan tässä osiossa leikkauksen tapahtuvan ilman murtumista.

5.2 Taipuman simulointi

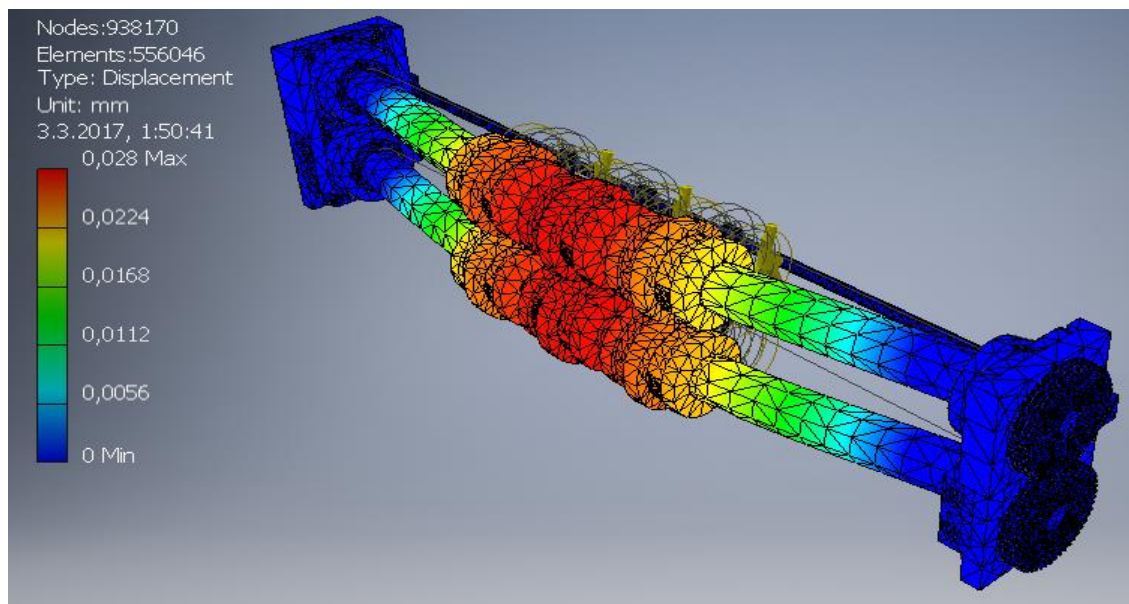
Taipumaa simuloitiin Inventorin Stress Analysis-työkalulla. Taipuman simuloinnissa käytettiin kaikkia kolmea teräparia ja siinä simuloitiin tilannetta, jossa jokainen teräpari leikkaa levyä lasketulla maksimivoimalla. Puhtaan leikkausvoiman kanssa simuloimisen tulokset ovat todellisia taipumia huomattavasti suurempia: mikäli leikkaamisen asetukset olisivat ihanteelliset, vaadittavan leikkausvoiman pienentyessä taipumaksi tulisi vain murto-osa saaduista tuloksista. Simuloinnissa leikkurin molemmat päädyt asetettiin jäykiksi, jolloin taipuma tapahtuu ainoastaan akselien välillä.

Simuloinnissa jokaiseen terään asetettiin kohtisuora 1600 N voima. Simuloinnissa terät asetettiin pienimmälle mahdolliselle välille ja keskelle akseleita. Tällöin saavutetaan suurin mahdollinen venymä terien ollessa mahdollisimman kaukana tukipisteistä. Työnjohtaja Raimo Pihlmanin mukaan pienin väli terille tulisi olla 200 mm, jota kapeammat kannaosot tehdään kokonaan käsin. Teräparit asetettiin niin, että keskimmäinen teräpari on tasan puolessa välissä akselitankoja ja viereiset teräparit 200 mm päässä sen leikkausvälistä. Simuloinnissa tärkeimmät mitattavat suureet ovat Von Mises-lujuushypoteesin mukainen maksimileikkausjännitys akseleille (kuva 18) sekä akselien taipumat (kuvat 19 & 20).



Kuva 18. Von Mises-lujuuden määrittäminen (Kuva: Mikko Keituri 2017)

Von Mises-lujuudeksi määrittyi 20,3 MPa. Tämä leikkausjännitys sijaitsi akselien ja laakereiden välisessä liitoskohdassa, jossa akselien taipuessa tapahtuu eniten leikkausta. Akselien, laakerien sekä laakeripesin ollessa lujaa seosterästä (myötölujuus 400-500 MPa) sekä liukupinnoiltaan pintakarkaistuja määritetty Von Mises-leikkausjännitys ei aiheuttaisi riskiä muodonmuutokseen tai liian suureen rasitukseen.

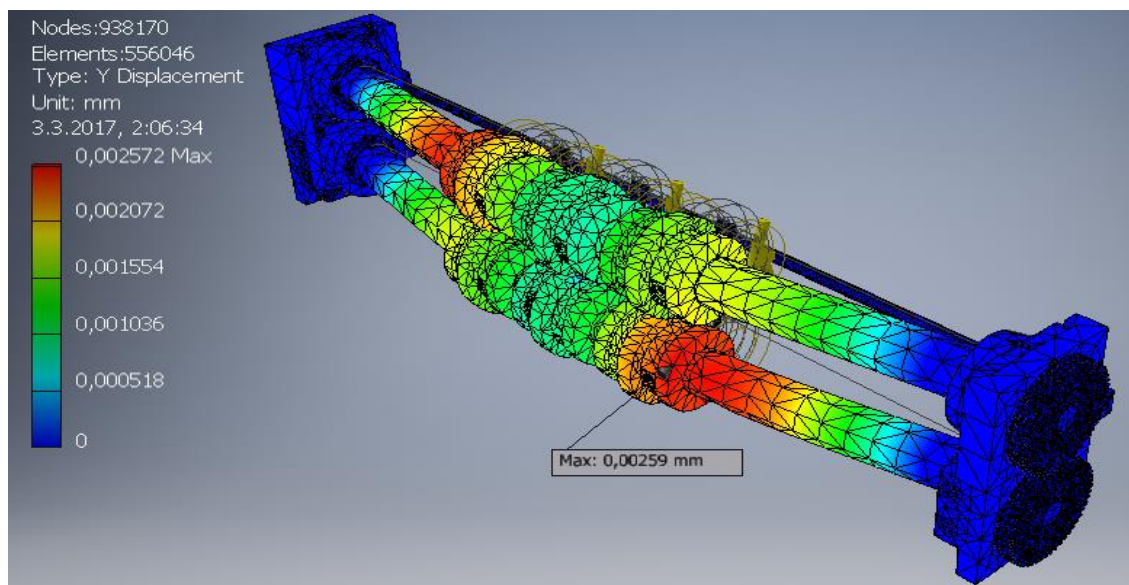


Kuva 19. Simuloitu suurin taipuma (Kuva: Mikko Keituri 2017)

Suurin taipuma simuloinnissa X-, Y- ja Z-suunnassa yhdistettynä oli 0,028 mm. Kuvasta 19 todetaan, että suurin taipuminen sijoittuu ylä- ja ala-akselien keskikohtaan tasaisesti.

Akselit taipuvat yläviistoon kohtisuoran 45 asteessa teriin nähden suunnatun leikkausvoiman suuntaisesti. Yhdistetyn taipuman todettiin olevan riittävän pieni laitteen toimintavarmuuden sekä laakeroinnin kestävyuden kannalta.

Leikkuuterien vertikaalisen ylityksen muutoksen tarkasteluun tutkittiin kuvan 20 mukaisesti pystysuuntaista (Y-suunta) taipumaa: mikäli taipuma olisi liian suuri, terien pystysuuntaisen välin muuttuessa leikkausasetukset muuttuisivat ja täten leikkausjälki saattaisi muuttua huomattavasti. Jatkuva pystysuuntaisen välin muutos myös kuormittaisi ja kuluttaisi leikkuuteriä epätasaisesti. Y-suuntaiseksi taipumaksi määrityksi 0,0026 mm. Leikkuuterien ylityksen ollessa 0,35 mm simuloinnista saatu Y-suuntaisen muutoksen todettiin olevan jatkuvanakin taipumana **mitätön** leikkausjäljen muutokseen nähden.



Kuva 20. Taipuma pystysuunnassa (Kuva: Mikko Keituri 2017)

5.3 Yksinkertaistetun taipuman laskeminen

Taipumaa tutkittiin simuloinnin lisäksi myös laskemalla. Taipuman laskemisen ideana oli tarkistaa suuntaa antavasti, olivatko Inventorin Stress Analysis-työkalulla simuloitavat akselien taipumat oikeellisia. Taipuman laskemisessa yksinkertaistettiin akselin muoto, sekä taipuma laskettiin keskelle akselia vaikuttavalla pistemäisellä aiemmin määritetyllä 1600 N voimalla. Taipuman laskemiseksi tuli selvittää akselin polaarinen neliömomentti (kaava 3). Akselin taipuman laskemiseksi käytettiin päistään jäykästi tuetun keskeltä taivutetun palkin taipuman laskukaavaa (kaava 4) (Deflection of Beams. 2000.). Kaavassa 4 käytetään kimmokerrointa, jonka suuruus vaihtelee materiaalista riippuen. Inventorin

materiaalivalikosta kimmokertoimen arvo suunnittelussa käytetylle seosteräkselle oli n. 212000 MPa.

Halkaisijaltaan 100mm olevan akselin polaarinen neliömomentti (Mäkelä, Soininen, Tuomola Öistämö. 2012. 146):

$$I_p = \pi \cdot \frac{d^4}{32} \quad (3)$$

$$I_p = \pi \cdot \frac{100^4}{32} = 9817477 \text{ mm}^4.$$

Akselin taipuman laskukaava:

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I_p} \quad (4)$$

Kaavassa 4 δ kuvaa taipumaa millimetreinä, F voimaa, L akselin pituutta ja E kimmokerrointa.

Akselin taipuma keskitetyllä 1600 N voimalla:

$$\delta = \frac{1600 \text{ N} \cdot (1700 \text{ mm})^3}{192 \cdot 212000 \text{ MPa} \cdot 9817477 \text{ mm}^4} = 0,01967 \text{ mm}$$

Halkaisijaltaan 100 mm olevalle lujasta seosteräksestä valmistetulle akselille saatiin siis 1600 N keskitetyllä voimalla taipumaksi 0,01967 mm. Inventorin taipuman simuloinnissa kolmella 200 mm etäisyydellä toisistaan olevalla kohtisuoralla 1600 N voimalla taipumaksi saatiin 0,028 mm. Taipuman laskemisen myötä todettiin Inventorin laskujen olevan totuudenmukaisia. Taipuman käsin laskennan tuloksessa tuli myös ottaa huomioon akselin halkaisijan muutos, koska todellisessa mallissa se pienenee laakeripesän kohdalta.

Taipumaan vaikuttavia tekijöitä

Simulaatiossa havaittujen taipumien suuruuteen vaikuttavat moni asia, kuten akselien materiaali, voimien suunta, suuruus sekä etäisyys tukipisteestä. Taipuman pienentämiseksi

olisi mahdollista valita akselien materiaaliksi lujempi valmistusmateriaali, joskin akselin kokoluokan takia se nostaisi valmistuskustannuksia huomattavasti suuremmiksi. Inventorissa käytetyiksi akselin materiaaleiksi on valittu niukkahiilinen luja seosteräs. Toinen vaihtoehto olisi akselivälin pienentäminen, mikä ei myöskään ole mahdollista leikkuuleveyden takia. Akselin tukeminen keskeltä esimerkiksi tukirullien avulla on myös vaihtoehtona, mutta tukirullille ei riitä tilaa kanavakoneessa sekä niiden siirtäminen terien siirron yhteydessä tekisi työnteosta hankalaa.

Voimien suuruus vaikuttaa suoraan taipuman suuruuteen. Ihanteellisissa olosuhteissa puhtaan leikkauksen ollessa n. 20 % luokkaa luonnollisesti leikkausvoimakin pieneneisi huomattavasti pienentäen akselien taipumaa. Yllä mainituista syistä todettiin leikkurin olevan riittävä toimimaan sellaisenaan.

6 TURVALLISTAMINEN

Pituusleikkurin suunnitteluun sisällytettiin sen turvallistaminen. Turvallistaminen perustuu Euroopan Unionin vuonna 2006 laatimaan konedirektiiviin 2006/42/EC ja sitä sovellettiin koneturvallisuusstandardeihin, erityisesti vuonna 2007 vahvistettuun koneturvallisuuden riskin arviointistandardiin SFS-EN ISO 14121-1. Tässä osiossa perehdytään konesuunnittelun näkökohtiin turvallistamisen suhteen sekä standardien asettamiin vaatimuksiin suunnittelussa. Turvallistamisosuuteen sisältyy muutokset koneen rakenteelle sen käyttöturvallisuuden parantamiseksi.

Koneturvallisuusstandardit

Koneturvallisuusstandardit koostuvat kolmiportaisesta systeemistä, joka luokittelee ne omiin ryhmiinsä:

- A-tyypin standardi: perusteet, suunnitteluperiaatteet, yleiset näkökohdat
- B-tyypin standardi: yksi tai useampi turvallisuusnäkökohta tai yksi tai useampi suojauslaite, jota voidaan käyttää useammassa koneryhmässä
- C-tyypin standardi: konekohtainen standardointi, joka koskee yhden koneen tai koneryhmän turvallisuusvaatimuksia

Yllämainitut standardityypit sisältävät kaikki koneturvallisuuteen liittyvät aihealueet yksittäisestä suunnittelusta koneesta yleisiin näkökohtiin koskien kaikkia koneita. C-tyypin standardi on sitä koskevan koneen tai koneryhmän kohdalla dominoiva tarkoittaen sitä, että siinä esitettävät vaatimukset ovat ensisijaisia A- tai B-ryhmän standardeihin nähden silloin, kun kone on rakennettu muutoin C-tyypin standardin mukaisesti. (SFS-EN ISO 14141-1. 2007. 8). Tässä tekstissä suunnittelun pituusleikkurin turvallisuusstandardointi on suositeltua tehdä C-tyypin mukaan. Vaikka vastaavia pituusleikkureita on suunniteltu useita kertoja, kaikki tässä työssä suunnitellut leikkurin osat, kiinnityskohdat ja toiminta ovat työn tekijän suunnittelemaa.

Yleisesti koneiden turvallistamiseksi sovelletaan riskianalyysiä ja siihen perustuvaa riskin arviointia. Riskianalyysi tarkoittaa koneen raja-arvojen määrittelyä, vaaratilanteiden tunnistamista sekä riskin suuruutta ja sen merkityksen arviointia yhtenä kokonaisuutena. Riskianalyysi voidaan johtaa riskin arviointiin.

Riskin arviointiin sisältyy riskianalyysin lisäksi riskin pienentäminen eli selvitys siitä, kuinka riskianalyysissä havaittuja ongelmia riskejä on pienennetty ja onko niitä pienennetty tarpeeksi paljon. (SFS-EN ISO 14141-1. 2007. 16).

6.1 Pituusleikkurin raja-arvojen määrittäminen

Standardoidun koneen riskien arviointia varten tulee selvittää lukuisia asioita, joista kaikki eivät tässä suunnittelussa olleet selvitettävissä. Näitä asioita olivat mm. samankaltaisiin koneisiin liittyvät tapaturma- ja toimintahäiriötiedot sekä samankaltaisiin koneisiin liittyvät ergonomiset periaatteet. Puuttuvista tiedoista huolimatta pituusleikkurille voitiin tehdä riskiarviointi, jossa kuvattiin tarvittavat riskikohteet.

Perusraja-arvojen määrittäminen

Pituusleikkurin riskiarviointi aloitettiin koneen tarpeellisten raja-arvojen selvityksellä. Koneen käyttörajat määrittyivät tarkoitetun käytön ja ennakoitavissa olevan väärinkäytön mukaan. Raja-arvojen määrittämisessä siis kartoitetaan kaikki koneen kanssa toimiminen sekä vaatimukset. (SFS-EN ISO 14141-1. 2007). Raja-arvot määritettiin seuraavasti:

1. Koneen toimintatapana on yksinkertainen pyörimisliike ja toimintahäiriöihin puututaan käyttämällä kanavakoneen hätäpysäytysjärjestelmää sekä noudattamalla yleisiä työturvallisuussääntöjä sekä konekohtaisia turvaohjeita.
2. Koneen käyttöön liittyviä normaaleita fyysisiä rajoitteita käyttäjältä ei ole. Kaikki koneeseen liittyvät asetusten muutokset ovat fyysiseltä kuormitukseltaan suhteellisen kevyitä.
3. Koneen hyödyntäjien oletettu koulutustaso on metallialan ammattitutkinto tai sitä korkeampi koulutus. Myös koneen käyttökoulutus sekä työturvallisuuskortti ovat pakollisia koneen käyttöä varten.
4. Muilla henkilöillä ei ole välitöntä vaaraa missään vaiheessa leikkurin toimintaa, sillä leikkuri sijaitsee selvästi syrjässä muista koneista ja työpisteistä yrityksessä
 - a. läheisyydessä ei ole muilla koneilla työskenteleviä henkilöitä
 - b. läheisyydessä ei ole muita työntekijöitä, jotka eivät liity leikkurin toimintaan
 - c. läheisyydessä ei ole koneen käytön aikana henkilöitä, jotka eivät ole työntekijöitä

5. Koneen väärinkäytön vähentämiseksi jokainen konetta käyttävä työntekijä perehdytetään koneen toimintaan ja eritoten sen vaaroihin

Tilarajojen määrittäminen

Tilarajojen määrittäminen liittyy koneen dimensioihin ja sen liikkeisiin (SFS-EN ISO 14141-1:2007.18). Tilaraja pituusleikkurille määritettiin seuraavasti:

1. Koneen tekemä liike on jatkuvaa paikallaan toimivaa pyörimisliikettä, jossa liike ei vaikuta välittömästi koneen käyttäjään
2. Koneen kanssa tekemisissä olevan henkilö(stö)n vaatima tila on huollon kannalta suunniteltu niin, että leikkurin akselit poistetaan kanavakoneesta huollon ajaksi kokonaan. Nostoon käytetään aina nosturia tai trukkia oikeellisilla nostoapuvälineillä.
3. Koneen käyttäjän ja koneen välisessä vuorovaikutuksessa huomioitavaa on käyttäjän toiminta parametrinäytön kautta olematta leikkurin välittömässä läheisyydessä. Vikatilanteissa koneenkäyttäjän ei tule lähestyä konetta ennen, kuin se on sammutettu kokonaan.
4. Koneen ja tehonsyötön välinen suhde on määritetty niin, että koneen tehonkäyttö on suoraan verrannollinen muun kanavakoneen tehonkäyttöön.

Aikarajat

Koneen aikarajojen määrittäminen sisältää koneen ja sen osien ennakoitavissa olevan eliniän kartoituksen sisältäen oikeaoppisen käytön sekä ennakoitavissa olevan väärinkäytön (SFS-EN ISO 14141-1:2007.19). Leikkurin kuluvimpana osana on leikkuuterät. Leikkurin aikarajat määritettiin seuraavasti:

1. Leikkurin leikkuuterien elinikä on normaali rullaleikkaimen elinikä, joka oikein huollettuna kestää vuosia ilman vaihtamista.
 - a. Leikkuuterän kuluminen ei aiheuta sirpaloitumis-, tai iskuvaaraa, vaan johtaa puhtaasti työn jäljen huononemiseen
2. Suositeltavat tarkistusvälit leikkuuterille ovat kerran vuodessa tai aina, kun leikkuujäljessä tai työssä ilmenee muuten poikkeuksia. Ottaen huomioon leikkurin epäsäännöllisen käytön ja käytöstä johtuvan vähäisen rasituksen vuosi on riittävä aikaväli leikkuuterien tarkistukselle.

3. Leikkurin muiden osien huoltoväli on osien kulumisesta riippuen kerran vuodessa tai harvemmin.

Muut raja-arvot

Muita koneen käyttöön liittyviä raja-arvoja ovat koneen ympäristön puhtausvaatimukset sekä käsiteltävän materiaalin vaatimukset:

1. Koneen ympäristö tulee pitää puhtaana metallipölystä sekä muista pienhiukkasista, sillä metallipölyn joutuessa leikkuuterien akselien väliin tai kasettien väliin se voi vaikuttaa leikkausjälkeen sekä kasettien välissä ollessa leikkausominaisuuksiin. Koneen ympäristö tulee puhdistaa säännöllisesti.
2. Materiaalin vaatimukset ovat standardoidut materiaalin valmistajan mukaan niin, että vastuu ohutlevyjen materiaalivaatimuksista, mitoista ja muista ominaisuuksista on materiaalin valmistajalla.

6.2 Pituusleikkurin riskien arviointi

Raja-arvojen määrittämisen jälkeen oli varsinaisen riskianalyysin vuoro. Riskien arviointi taulukoitiin Excel-ohjelmalla (liite 3) ja riskin suuruuteen ja merkittävyyteen vaikuttavat asiat numeroitiin asteikolla 1-6. Riskien arviointitaulukosta käy ilmi seuraavat asiat (kuva 21):

- Vaaran tunnistaminen eli kohdissa koneen elinkaarta
- Riskin vaarallisuus
- Riskille altistuminen
- Riskin todennäköisyys
- Riskin vältettävyys
- Riskikerroin 1-6
- Riskin pienentämistoimenpiteet. (SFS-EN ISO 14141-1. 2007. 16).

Riskien arviointiin kuului riskianalyysin lisäksi vaarojen korjaustoimenpiteet parhaimmalla mahdollisella tavalla riskien minimoimiseksi. Riskien korjaustoimenpiteitä seuraa riskien uudelleenarviointi, jossa riskikohdat käydään läpi uudelleen korjaustoimenpiteen vaikutuksen esittämiseksi (SFS-EN ISO 14141-1. 2007. 17). Riskien arviointitaulukosta on poistettu pituusleikkurin käytön riskit ympärillä oleville työntekijöille, sillä suurin osa

riskeistä kohdistuu koneen välittömään läheisyyteen. Taulukosta löytyy myös tarvittavissa kohdissa lisähuomiot.

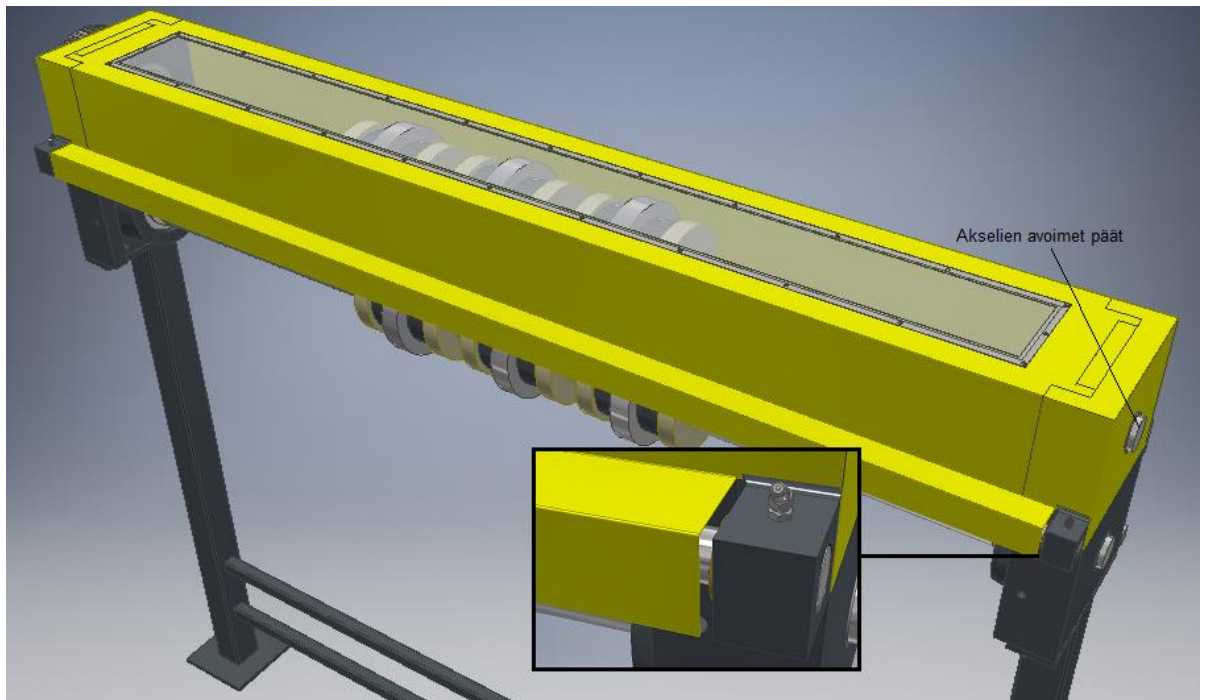
Tilanteen selitys	Riskin vaarallisuus	Altistuminen	Todennäköisyys	Vältettävyyttä	Riski 1-6	Toimenpiteet
Valmistusmateriaalit teräväreunaisia ohutlevyjä: viiltymisen vaara käsiteltäessä kanavaosia	2	5	5	2	5	Viiltosuojahanskojen sekä suojavaatetuksen

Kuva 21. Esimerkki riskin arvioinnista (Kuva: Mikko Keituri 2017)

6.3 Korjaustoimenpiteet ja lopputulos

Pituusleikkurin turvallistamiseksi tuli tehdä korjaustoimenpiteitä. Suurimpana vaarana pituusleikkurin käytössä on sormien ja käsien jääminen pyörivien leikkuuterien väliin. Vaarana on myös esimerkiksi suojavaatetuksen takertuminen pyörivien akselien tai hammaspyörrien väliin. Suojaavina toimenpiteinä parhaimmiksi todettiin suojaimen tai optisen tunnistinlaitteiston suunnitteleminen. Optisen tunnistimen, esimerkiksi valoverhon, optisen anturin, tai rajakytkimen käyttö tähän tarkoitukseen todettiin kuitenkin ylimitoitetuksi, sillä koneen välittömässä läheisyydessä ei ole henkilöitä konetta käytettäessä sekä valoverhon toiminnan kannalta kanavakoneen turvapiiriä tulisi muuttaa reilusti: valoverho tai rajakytkin tarvitsevat ohjelmoitavan logiikan sekä turvapiirin toimiakseen.

Suojaussuunnittelun kohteeksi kulminoitui konesuojain (kuva 22). Konesuojaimen tehtävänä on estää riittävän hyvin kehon osien sekä vaatetuksen joutuminen pyörivien koneenosien väliin. Konesuojain estää myös mahdollisten leikkuuosien tai materiaalien sinkoamisen pois leikkuualueelta. Konesuojaimen suunniteltiin muovinen ikkuna, josta koneen käyntiä ja leikkuutilannetta voidaan tarpeen vaatiessa seurata. Suojaimen lisäksi kuvassa 22 näkyvien avoimien akselinpäiden suojaus suunnitellaan voimansiirron suunnittelun yhteydessä myöhemmin.



Kuva 22. Konesuojain (Kuva: Mikko Keituri 2017)

Konesuojain sulkee leikkurin syöttöpään niin, että sormien tai vaatteiden joutuminen akselien väliin ei ole riittävällä edellytyksellä mahdollista: konesuojan ja kanavakoneen alaturkilevyn väliin jää noin 10 mm tilaa leikkurin syöttöpäässä. Konesuojain tehdään 1,25 mm paksusta teräsohutellevystä ja se asennetaan kiinni yläakselin kasetteihin niin, että se liikkuu yläakselia avattaessa sen mukana. Konesuojaimen käyttö on pakollista aina, kun leikkuria käytetään. Koneenkäyttäjän vastuulla on varmistaa suojaimen kunto ja kiinnitys ennen leikkurin käynnistämistä. Kiinnitys runkoon tapahtuu molemmista akselipäistä: suojaimen molemmat akselipään sivut ovat hiukan viistettyjä, joten sen asentaminen ylhäältäpäin on mahdollista. Viistetyt sivut kiristetään akselikasettien taakse tukevasti.

Yleisten työturvallisuussäntöjen noudattaminen

Pituusleikkurin riskiarvioinnissa suuri osa riskeistä on normaaliin teollisuustyöntekoon liittyviä työtaturmariskejä. Pituusleikkuri ei itsessään lisää juurikaan riskejä koneen välittömiin työtaturmariskeihin, esimerkiksi väsymiseen, työsuojainten käyttöön tai työn aiheuttamiin fyysisiin rasitteisiin nähden. Siitä huolimatta niiden vaikutus tuli karvoittaa konetta käytettäessä. Pakollisia suojavälineitä leikkuria sekä kanavakonetta käytettäessä ovat

- suojavaatetus koko kehon alueella
- kuulonsuojaimet
- suojalasit tai -maski

- turvajalkineet
- viiltosuojahanskat
- leikkuria asennettaessa tai poistettaessa suojakypärä.

Tapaturmavakuutusliitto TVK:n (ent. TVL) vuonna 2015 julkaisemassa työtapaturmien tilastossa työtapaturmista työsuorituksen mukaan yli puolet koostui pelkästään henkilöiden liikkumisesta työpaikalla sekä esineiden käsitlemisestä. Taakan siirtäminen käsivoimin johti 14 %:iin työtapaturmista ja käsikäyttöisillä työkaluilla työskenteleminen 13%:iin tapaturmista. Edellä mainittuihin tapaturmatapoihin lisättäessä koneen käyttäjälle sattuneet tapaturmat (4 %) niiden yhteismäärä on 86 % kaikista työtapaturmista (Tilastojulkaisu 2015.17).

Suurimman osan työtapaturmista ollessa siis yleisellä tasolla tapahtuvia työpaikkakohtaisia, työvälinekohtaisia tai konekohtaisia tapaturmia, niiden vaikutus tuli ottaa huomioon riskiarvioinnissa ja siitä syystä riskiarviointiin sisältyi myös joitakin koneen ulkopuolisia riskejä.

Lopputulos

Standardinmukainen turvallistaminen sisältää leikkurin käyttö- ja turvaohjeet, jotka laaditaan leikkuria rakennettaessa, mutta kuitenkin ennen sen käyttöönottoa. Tämä turvallistamissuunnitelma ei takaa tulevaisuudessa ilmeneviä mahdollisia koneen ulkopuolisia riskejä, mutta se pyrkii myös tulevien riskien arviointiin. Suuri osa pituusleikkurin työturvallisuusriskeistä on sidoksissa normaaliin kanavakoneella työskentelyyn. Siitä syystä koko kanavakoneen kattavaa riskien arviointia ei tarvitse tehdä tässä työssä.

Korjaavien toimenpiteiden ja riskien pienentämissuunnitelman jälkeen leikkurin turvallistaminen todettiin olevan riittävä. Vaikka koneen standardinmukainen turvallistaminen vaatii dokumentointia ja tietoja, joita ei tässä työssä käydä läpi, todettiin turvallistamisen olevan konesuunnittelun kannalta tehty oikeellisesti ja riittävällä tarkkuudella.

7 POHDINTA

Tämän työn tuloksena oli vetävän pituusleikkurin suunnitelma. Suunnitelma kattoi kaikki yrityksen edustaja Raimo Pihlmanin sekä muiden työntekijöiden kanssa sovitut asiat prototyypileikkurin valmistamista varten. Merkittävimpinä tuloksina leikkurin valmistamiseksi olivat jokaisesta työn osasta laaditut valmistuskuvat (liite 4) sekä muut tarvittavat valmistuksen dokumentit, joita kaikkia ei esitetä tässä työssä. Liitteessä 4 näkyvät pääkoonpanojen työkuvat. Tässä osiossa heijastetaan työn tavoitteiden saavuttamista, sen jälkikehitystä ja ajankäyttöä. Tähän osioon kuuluu myös loppusanat sekä kirjoittajan lyhyt itsearviointi työn kulusta.

Tavoitteiden saavuttaminen

Työn päätavoitteina olivat ne kriteerit, joiden sisällä pituusleikkuri suunniteltiin sekä niiden kautta syntynyt suunnittelutulos. Kriteereitä leikkurille olivat muun muassa helppokäyttöisyys, siisteys, leikkuutarkkuus sekä tietyt leikkumahdollisuudet. Suunnitellun leikkurityypin käyttö todettiin olevan yksinkertaista ja tarkkaa sekä se tulisi lyhentämään tuotantoaikaa reilusti. Lisäksi leikkuri ei muodostaisi juurikaan metallijätettä tai -pölyä linjan ympäristöön. Yritykselle tärkeimpinä asioina työssä olivat työn alkuvaiheissa sovitut osien valmistuskuvat, toimintaperiaatteen laatiminen sekä leikkaustavan toimivuus ja tutkiminen. Tietyistä suunnittelutavoitteista jouduttiin välillä poikkeamaan, jolloin olttiin vuorovaikutuksessa yrityksen henkilöstön kanssa. Työhön tarvittavat muutokset ja korjauskehotukset yrityksen edustajan taholta otettiin huomioon kaikissa suunnittelun vaiheissa niin, että tuloksena oli yhteisymmärryksessä muodostunut kokonaisuus. Maaliskuussa 2017 käydyssä opinnäytteen palaute-, ja kehityskeskustelussa työn tulosten todettiin yhteisymmärryksessä olevan juuri sellaisia, joita vaadittiinkin: täten myös työn päätavoitteisiin sekä niiden kautta syntyneeseen tulokseen päädyttiin yhteisymmärryksessä.

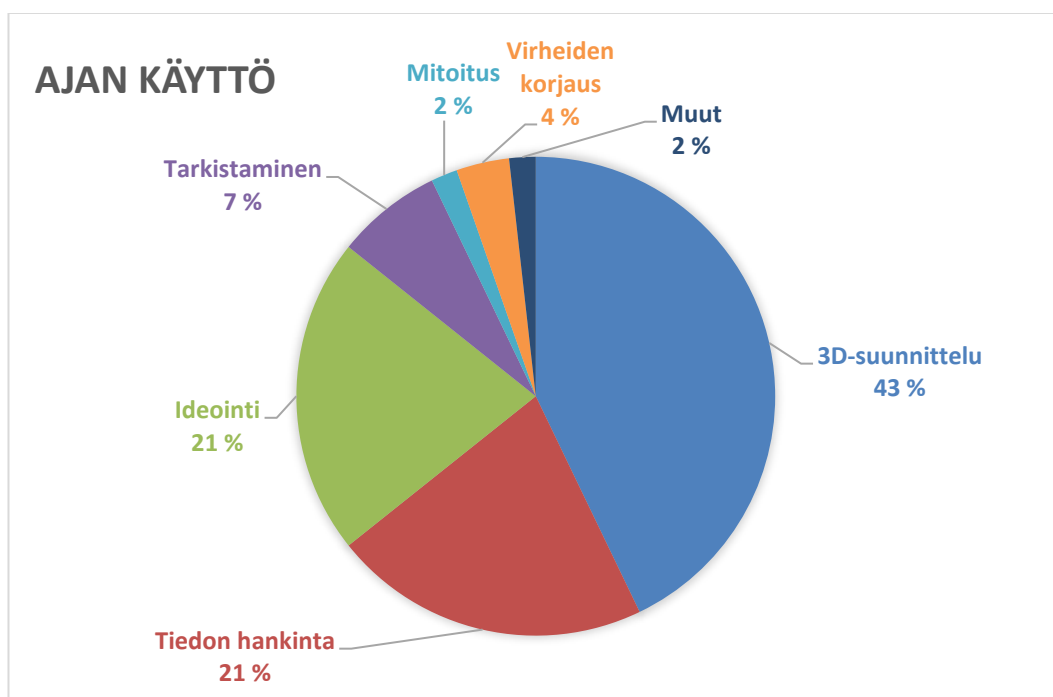
Työn kehittäminen

Pituusleikkurin mallin ollessa valmis on tarkoitus aloittaa prototyypin valmistaminen lähitulevaisuudessa. Työn aikana varsinaisia puutteita leikkurin toimintaperiaatteen kannalta ei syntynyt, jolloin sopivan voimansiirron sekä muiden puutteiden suunnittelun jälkeen leikkuri on testausvalmis. Ennen prototyypin valmistusta tulee kuitenkin käydä läpi mm. sen valmistuskustannukset, eri osien valmistustapojen pohtiminen, pituusleikkurin

CE-merkintä, valmistuksesta johtuvat tuotantoseisokit sekä valmistusaikataulut. Pituusleikkurin valmistuskustannuksia ei käyty läpi tässä työssä, koska esimerkiksi koneistettavien kappaleiden valmistuskustannukset vaihtelevat suuresti koneistamokohtaisesti. Lisäksi useat työssä suunnitellut osat voidaan valmistaa eri tekniikoilla, joihin perehtymisen rajattiin tästä työstä pois.

Ajankäyttö työssä

Opinnäytetyö katsottiin aloitetuksi ensimmäisen konkreettisen vaiheen alettua joulukuussa 2016. Tällöin aloitettiin tarpeiden kartoitus. 3D-suunnittelu aloitettiin vuoden loppulla ja se kesti helmikuun loppuun asti. Raportin kirjoittaminen aloitettiin helmikuun alussa samanaikaisesti suunnittelun ohella. Työn tekemisessä eniten aikaa kului 3D-suunnitteluun sekä tiedon hankintaan (kuvio 1). Kuviossa 1 havainnollistetaan ajan käyttöä työssä niin, että työn eri tekovaiheisiin käytetyt työtunnit on taulukoitu noin tunnin tarkkuudella. Kuviossa näkyy kunkin työvaiheen prosentuaalinen osuus. Prosentuaalinen osuus saatiin määritettyä työvaiheisiin käytettyjen työtuntien mukaan sekä Autodesk Inventorin käyttötuntien mukaan.



Kuvio 1. Ajan käyttö opinnäytetyössä (Kuvio: Mikko Keituri 2017)

Työssä tarkistamista vaativia kohteita oli verrattain paljon. Muun muassa jokaisesta osan muutoksesta seurasi suunnittelutilan tarkistaminen ja mahdolliset konfliktit kappaleiden

välillä. Tarkistukset johtivat virheiden korjaamiseen. Kuviossa ideointi kuvaa työssä loogisesti pääteltyjä suunnittelutuloksia, esimerkiksi kiinnitystapoja ja laitteen yleistä toimintaa. Ideointi vei aikaa suurimmaksi osaksi siksi, että työn tekijällä ei ollut ennalta kokemusta vastaavan laitteen suunnittelusta.

Loppusanat

Julkaistavan opinnäytetyön kannalta tärkeitä seikkoja työn onnistumisessa olivat suunnittelutyön näkökohtien ja suunniteltavien osien siirtäminen työhön niin, että aihealue on rajattu tarpeeksi pieneksi ja niin, että varsinaista yritykselle tilattua työtä ei selitettäisi opinnäytetyössä liikaa. Työn jokainen suunnittelun vaihe on pyritty kuvaamaan tekstissä niin, että lukijalle jää kuva siitä, mitä milloinkin on tehty ja eritoten miksi niin on tehty. Työssä tarvittiin paljon lähteitä tiedon hankintavaiheessa. Koska koko opinnäytetyön sisältö on kirjoittaman ideoima ja suunnittelema, täytyi jokainen työn suunnitteluvaihe selittää ja pohtia riittävästi. Kaikki työssä tehdyt valinnat esimerkiksi osien, käytettävien materiaalien ja suunnittelunäkökohtien kannalta ovat työn kirjoittajan laatimia loogisia päätelmiä.

Työn valmistuskuvat laadittiin edellä aikataulusta sekä kokonaisaika työlle oli myös kirjoittajan henkilökohtaisten tavoitteiden kannalta etuajassa. Työn kannalta oleellinen tiedonhankinta oli hoidettu työelämäedustajan antaman lausunnon mukaan riittävän kattavasti ja työssä oletetut ennalta tiedetyt suunnittelukohteet, esimerkiksi ruuvien suunnittelu ja mitoitus, rajattiin tekstistä sekä työsuunnitelmasta pois. Työn vaiheista ja suunnitelluista osakokonaisuuksista käytiin keskustelua yrityksen henkilöiden kanssa mahdollisimman sopivan tuloksen saamiseksi. Kehityskohteista ja mahdollisesti muuteltavissa olevista osista käytiin keskustelu, jonka perusteella koneelle luotiin raja-arvot, joiden sisällä sen ominaisuuksia tai osia saatetaan muuttaa prototyypin valmistusvaiheessa.

Työn tekijän oman arvostelun mukaan julkaisun kirjoitettava osuus rakentui tulevan lukijan kannalta jaksotetusti ja kronologisesti. Varsinaisessa työssä ei juurikaan ilmennyt merkittäviä ongelmia ja koska työ oli rajattu sopivan kokoiseen suunnitteluun, se valmistui ajoissa sekä sen jokaisen osa-alueen suunnittelu saatiin päätökseen. Työssä suurimmat ongelmat koostuivat tietyistä osien suunnittelutöistä ja simuloinneista, sillä opinnäytteen tekijän erikoistumisala ei suuntaa suoranaisesti tuotekehitystöihin ja täten niistä ei ollut ennalta kehittyntä kokemusta.

LÄHTEET

Kirjalähteet

Aaltonen, K.; Andersson, P.; Kauppinen, V. Levytyö ja työvälinetekniikat. Helsinki: WSOY, 1997. 16-17 & 34

Airila, M; Ekman, K; Hautala, P. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma Pro. 2010. 4. painos. 254-256.

Airila, M. Jantunen, E. Kivioja, S. Laihotie, E. Nurmi, L. Pora, M. Ranta, A. Porvoo; Helsinki; Juva: WSOY 1987. Koneenosat. 105-109.

Atkins, T. The Science and Engineering of Cutting. Butterworth-Heinemann. 1.7.2009. 1. painos. s. 133.

Karhunen, J. Lassila, V. Pyy, S. Ranta, A. Räsänen, S. Saikkonen, M. Suosara, E. Lujuusoppi. Helsinki: Otatieto OY 1993. 12

Mäkelä, M. Soininen, L. Tuomola, S. Öistämö, J. Tekniikan kaavasto. Tampere: Tammermekaniikka. 10. painos, 2012. 146

SFS-EN ISO 14141-1. 2007. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Luettu 3.3.2017. 8, 15-16, 38-45

Verkkolähteet

Analysis of Guillotining and Slitting. Harm Wisselink. Julkaistu 2000. Luettu 22.2.2017. 5-6 & 19 <http://doc.utwente.nl/32067/1/t0000015.pdf>

Böhler K360 ISODUR. 2003. Böhler. Luettu 5.2.2017. http://www.bohler.nl/dutch/files/downloads/Bohler_K360_ISODUR.pdf

Deflection of Beams. Russ Elliott. 2000. Luettu 22.2.2017. <http://www.clag.org.uk/beam.html>

Kuumasinkityt kelat ja arkit. BE Group. Luettu 20.12.2016. http://www.begroup.com/upload/fi/tuotepdf/terakset/kuumasinkityt_kelat_ja_arkit_0314.pdf

Mechanical Cutting. Julkaistu 2011. Rautaruukki. Luettu 26.1.2017. http://www.oxycoupage.com/FichiersPDF/Ruukki_Pdf/English/Ruukki-Hot-rolled-steels-Processing-of-material-Mechanical-cutting.pdf

Principles of Slitting. Burriss Machine co. Luettu 4.2.2017. http://www.burrismachineco.com/pdfs/principles_of_shear_slitting_burriss.pdf

Properties of Tool Steel. 2013. Simply Tool Steel. Luettu 4.2.2017. <http://www.simplytoolsteel.com/properties-of-tool-steel.html>

Roll Slitting Principles and Applications Part 2. Julkaistu 3.2.2016. Formtekgroup: Ken Haughwout. Luettu 20.1.2017. <http://formtekgroup.com/rotary-slitting-principles-and-applications-part-2>

Shearing and Slitting Steel Sheet and Strip. Bluescope Steel. Julkaistu 2003. Ladattu 15.1.2017. s. 3. <http://www.bluescopesteel.com.au/files/TB-F2.PDF>

Slitting Reference Guide 2nd Edition. Julkaistu 2015. Dienes USA. Luettu 1.2.2017. <http://www.dienesusa.com/wp-content/uploads/2015/11/Dienes-Slitting-Reference-Guide-2nd-Edition.pdf>

Teknisen piirustuksen standardit. MetSta 22-23. Luettu 10.1.2017. www.sfsedu.fi/files/147/Teknisenpiirustuksenstandardit.ppt

Terästarvike OY. 2015. Teräsluettelo. Luettu 15.2.2017 <http://terastarvike.fi/wp-content/uploads/2012/08/Terastarvike-Terasluettelo-032015-web.pdf>

The Art of Slitting. Julkaistu 2.10.2008. Fabricating & Metalworking. Luettu 22.1.2017. <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2008/10/the-art-of-slitting/>

Työtapaturmat – Tilastojulkaisu 2015. Tapaturmavakuutuskeskus. Julkaistu. 10.11.2015. Luettu 5.3.2017. <http://www.finnsafe.net/fin/images/jasenverkosto/Tilastojulkaisu2015.pdf>

Muut lähteet

Aarnio. A. Application Engineer. Suunnittelutuki. Sähköpostikeskustelu. Luettu 9.3.2017. antti.aarnio@skf.com

Eriks Industrial. 2017. Kuvalähde. Haettu 10.2.2017. <https://www.eriks.co.uk/Media/Images/SKF-CARB.jpg>

Koivula. P. Tuotantojohtaja. Tiedustelu profilointiterien materiaaleista. Sähköpostikeskustelu. Luettu 12.4.2017. petri.koivula@ssab.com

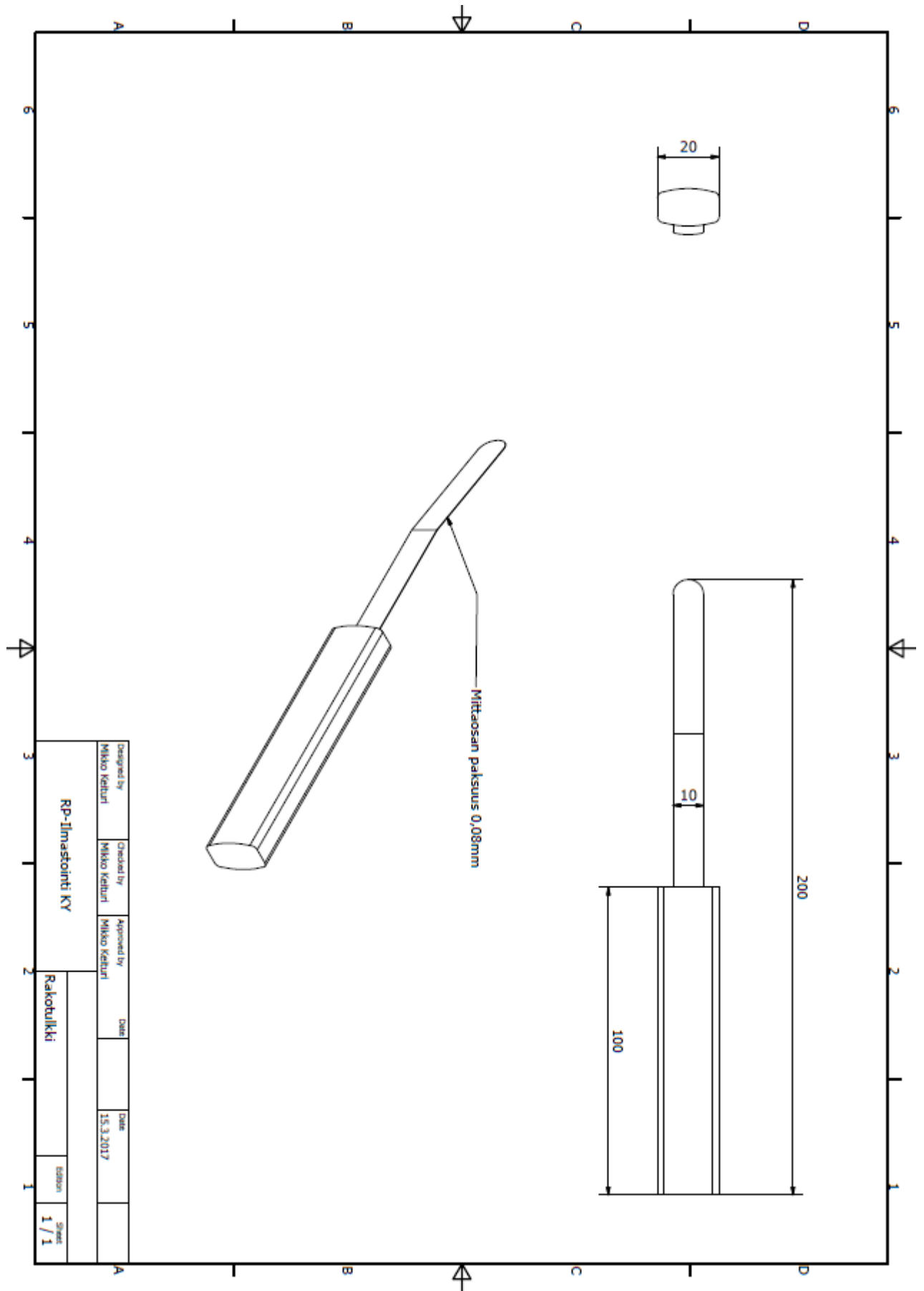
LIITTEET

Liite 1. Osaluettelo.

Osan numero ja nimi	Kappalemäärä	Kokoonpanoryhmä / kohde	Hankittavuus
Yläakselin kasetti: oikea	1	Pääkokoonpano	Valmistettava
Yläakselin kasetti: vasen	1	Pääkokoonpano	Valmistettava
FYNT-80-laakeripesä	4	Pääkokoonpano	Ostettava
C 4010 V-kuulalaakeri	4	Pääkokoonpano	Ostettava
Akseli D 100mm	2	Pääkokoonpano	Valmistettava
Akseli D 25mm	1	Pääkokoonpano	Valmistettava
Ala-akselin kasetti: oikea	1	Pääkokoonpano	Valmistettava
Ala-akselin kasetti: vasen	1	Pääkokoonpano	Valmistettava
Hammaspyörä	2	Pääkokoonpano	Ostettava
Pidätinrenkas D 50mm	8	Pääkokoonpano	Ostettava
Kasettien kiinnitin	2	Pääkokoonpano	Valmistettava
Kuusioruuvi M16 X 50	8	Pääkokoonpano	Ostettava
PSMF 253220 A51-nivelholkki	2	Pääkokoonpano	Ostettava
Rasvanippa	2	Pääkokoonpano	Ostettava
Pidätinrenkas D 25mm	2	Pääkokoonpano	Ostettava
Leikkuuterän kiristin	12	Leikkuuterä	Valmistettava
Kiristimen ruuvi M8 X 40	24	Leikkuuterä	Ostettava

Leikkuuterä	6	Leikkuuterä	Valmistettava
Ohjuri rengas	12	Leikkuuterä	Valmistettava
Neliöpalkki 70 X 70 X4	2	Leikkurin tuenta	Ostettava
Neliöpalkki 30 X 30 X 3	2	Leikkurin tuenta	Ostettava
Kuusioruuvi M12 X 30	12	Leikkurin tuenta	Ostettava
Neliöpalkin kiinnitys- latta	2	Leikkurin tuenta	Valmistettava
Lattiakiinnityslevy	2	Leikkurin tuenta	Valmistettava
Alakasettien tukipalkki	1	Leikkurin tuenta	Valmistettava
Alakasettien tukipalkin kiinnityslatta	2	Leikkurin tuenta	Valmistettava

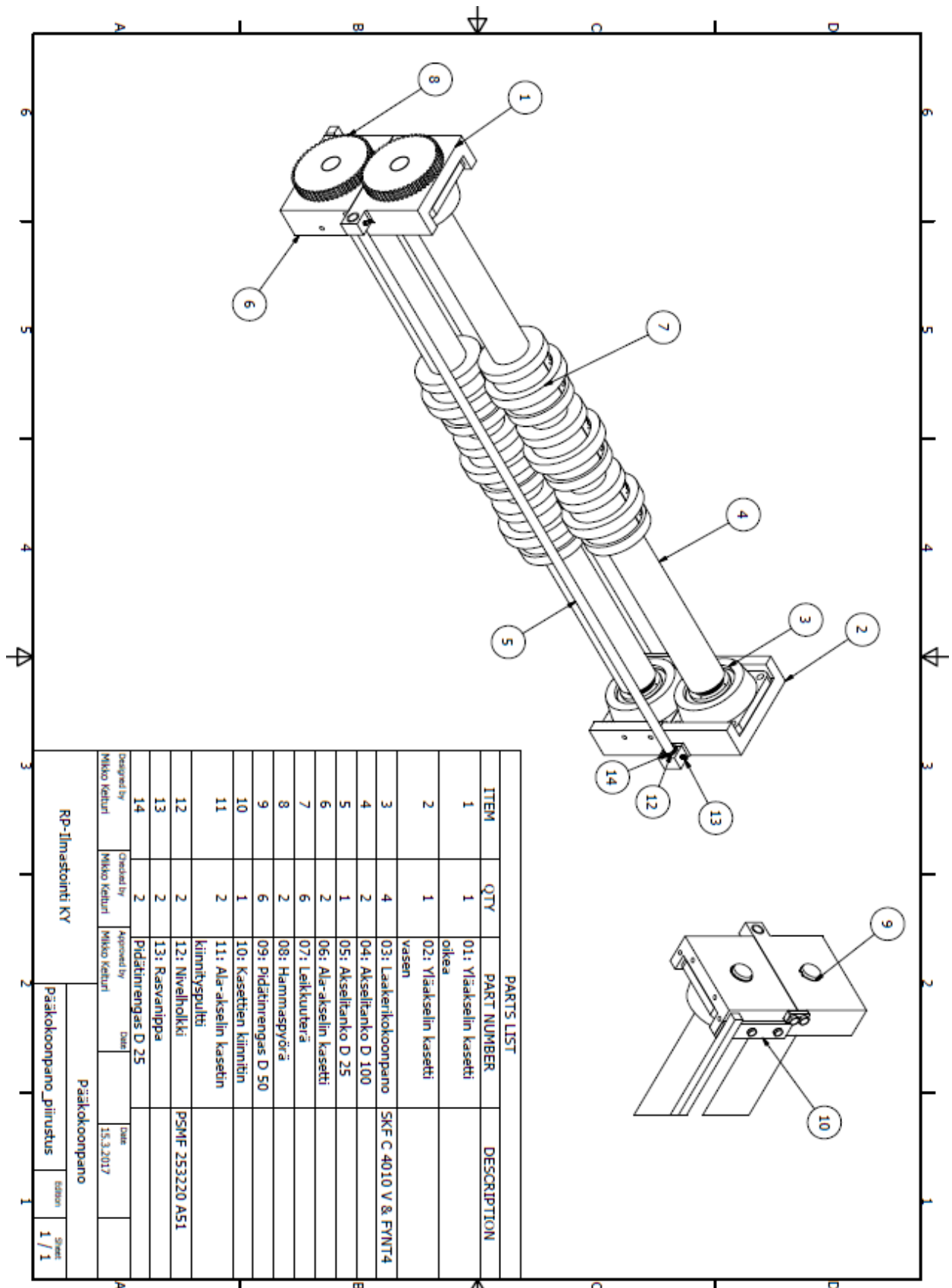
Liite 2. Rakotulkin työkuva

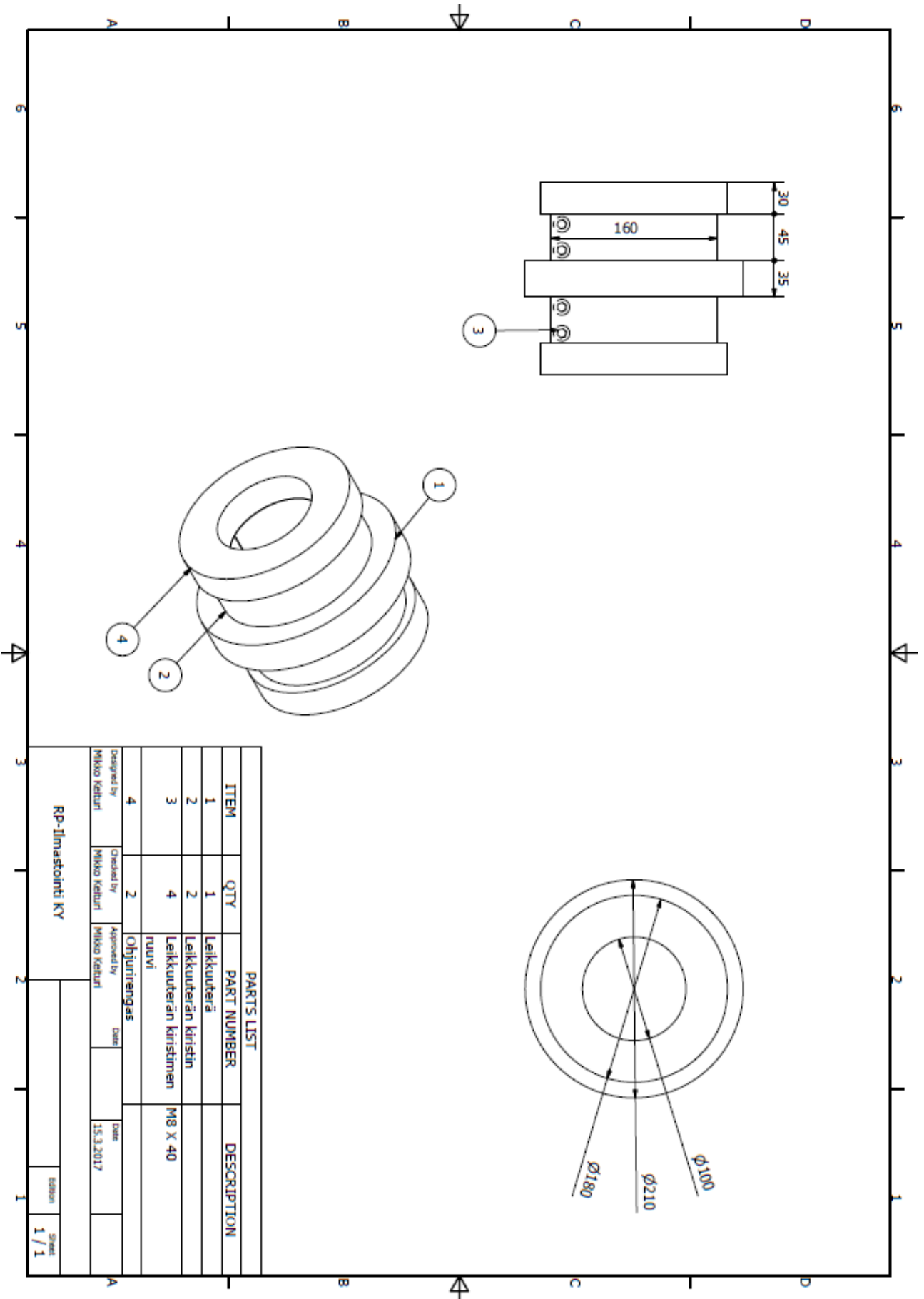


Liite 3. Riskien arviointitaulukko.

Riskittöis tilanne		Riskin arvioiminen (1-6)						Riskin vähentäminen	Riskin uudelleenarvointi						Riskiarvointi: Mikko Keituri, 2/2017. Vetävä pituusleikkuri
Riskin aiheuttaja	Tilanteen selitys	Riskin vaara- lisuus	Aliturni- nen	Todennä- köisyys	Vältettä- vyys	Riski 1-6	Toimenpiteet	Riskin vaara- lisuus	Aliturni- nen	Todennä- köisyys	Vältettä- vyys	Riski 1-6	Huomiot		
Materiaalista tai aineista johtuva vaara: Vainistumateriaalit	Vainistumateriaalit teräviä/raunaisia ohuilevyjä: viilymisen vaara käsiteltäessä kanavaosia	2	5	5	2	5	Villiosuojanaskojen sekä suojavaatituksen	1	2	2	1	2	Työntekijällä on vastuu pitää huolta henkilökohtaisista suojaamista		
Mekaaninen vaara: Laitteet ja koneet	Pöyrivät leikkurit: puristuksen, leikkautumisen, viilymisen, takertumisen ja hankauksen vaara	6	3	3	3	6	Leikkurisuojaimen suunnittelu	1	1	1	2	2			
Mekaaninen vaara: Laitteet ja koneet	Pituusleikkurin osien muodot: Kulmikkaat muodot aiheuttavat onnettomuustilanteessa tapaturmavaaran	3	2	1	2	3	Leikkurin käyttäjää ohjeistettava yötapaturnan	2	1	1	1	2			
Mekaaninen vaara: Laitteet ja koneet	Leikkausapahurma: Tapaturmatilanteessa osien irtoaminen ja materiaalin poistuminen työilmalta	4	2	2	2	4	Leikkurisuojaimen suunnittelu sekä käytetään ohjeistus	3	2	2	2	3	Leikkurin käyttäjällä tulee olla perendyys hätäysälytystietoon		
Mekaaninen vaara: Laitteet ja koneet	Leikkurin asennus ja huoltaminen: Asennuksessa ja huollossa puristumisen ja viilymisen vaara	4	2	2	3	5	Asennuksessa käytettävä oikeaoppisia	3	2	2	2	2			
Mekaaninen vaara: Työkälut ja ohjeislaiteet	Leikkurin huoltaminen: Huoltoilanteissa työkalujen käytössä Iskurin puristumisen vaara	4	3	2	3	3	Kunnollisten työkalujen oikeallinen käyttö	2	2	2	2	2			
Melusta johtuva vaara: Laitteet ja koneet	Leikkurin käyttö: Käytöstä johtuva melu sekä metallilevyjen taivutusesta aiheutuvat äkilliset kovät äänet	2	5	6	4	4	Kuulosuojaimien käyttö konetta käytettäessä	1	2	2	1	2	Kuulosuojaimena käytettävä kanavakoneen käytössä sekä sen ympäristössä muutenkin		
Ergonomiasta johtuva vaara: Toistuva toiminta	Kanavien valmistus: Tarkkaavaisuus virheille heikkenee leikkurin valmistuksessa toistuvasti samantlaisia osia	2	3	3	3	2	Säännöllinen taukojen pitämisen	2	1	2	2	2			
Vaarojen yhdistelmä: Toistuva toiminta + ponnistelu	Kanavien valmistus: Kanavien toistuva valmistus sekä niiden siirosta aiheutuva ponnistelu aiheuttaa kompastus-, väsymys	3	3	3	3	3	Säännöllinen taukojen pitämisen sekä työn vaihtelu	2	1	2	2	2			
Sähköinen vaara: Laitteet ja koneet	Leikkurin käyttö: Sähköisten laitteiden toimimattomuus voi johtaa yötapaturniin	4	2	1	4	4	Sähkölaitteiden tarkistus/huolto	2	1	1	4	1			

Liite 4. Työkuvat (3kpl)





PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Leikkuterä	
2	2	Leikkuterän kiristin	
3	4	Leikkuterän kiristimen ruuvi	M8 X 40
4	2	Ohjuriengas	
Designed by		Checked by	Approved by
Mikko Keturi		Mikko Keturi	Mikko Keturi
		Date	Date
			15.3.2017

RP-Ilmastointi KY

Keturi 1 / 1

