

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Konetekniikka

Samu Koskinen

RULLAMUOVAUSLINJAN SUUNNITTELU JA VALMISTUS

Toukokuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2018
Konetekniikka

Tikkarinne 9
80220 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Samu Koskinen

Nimeke
Rullamuovauslinjan suunnittelu ja valmistus

Toimeksiantaja
Poimukate Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa rullamuovauslinja Poimukate Oy:n käyttöön. Rullamuovauslinjalla haettiin tehokkuutta yrityksen tuotantoon. Laitteella oli tarkoitus ryhtyä valmistamaan koneellisesti tuotetta, joka valmistetaan käsityönä.

Tuotantolaitteen suunnittelussa pyrittiin huomioimaan nykyiset turvallisuusvaatimukset sekä kustannustehokkuus, jotta laite olisi turvallinen käyttää ja kustannustehokas valmistaa. Tuotantolaitte suunniteltiin niin, että sillä on tulevaisuudessa valmius valmistaa eri tuotteita rullastoa vaihtamalla. Opinnäytetyössä suunnitellaan laitteen runkoon vain yksi kasetti, jolla voidaan tehdä yhtä tuotetta. Kasetin sisään suunnitellaan profiloiva rullasto. Rungon päälle tuleva kasetti suunnitellaan vaihdettavaksi eri tuotteiden valmistusta varten. Profiloinnin suunnittelua lähdettiin toteuttamaan tavalla, jossa kaikkia tarvittavia taivutuksia lähdettiin taivuttamaan samanaikaisesti.

Opinnäytetyö keskeytettiin puuttuvien resurssien takia, mutta sisälsi paljon pieniä onnistumisia. Lopputuloksena syntyi kone, jonka muovaava rullasto pitää suunnitella uudelleen, jotta tuotteeseen jäänyt pituussuuntainen poikkeama saadaan poistettua.

Kieli

suomi

Sivuja 44

Asiasanat

Rullamuovaus, Koneenrakennus, Suunnittelu, Automaatio



THESIS
May 2018
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80220 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600

Author (s)
Samu Koskinen

Title
Design and Construction of a Roll Forming Line

Commissioned by
Poimukate Oy

Abstract

The main idea for this thesis was to design and construct roll forming machine for Poimukate Oy. The main purpose for the machine was to improve the production efficiency of the company. The machine was planned to manufacture a product which was normally made by hand using a bending machine.

In the design of the machine, current safety regulations were taken into account as well as cost efficiency for construction. The machine was designed in a way that it would be able to produce different kinds of products in future by changing the cassette which includes the forming rolls. This thesis includes only one cassette design for the machine. Inside of the cassette forming rolls were designed which can produce only one kind of product. The cassette is replaceable for manufacturing other kinds of products. Profiling design was to be implemented in a way where all necessary bendings start to form at the same time.

The thesis project ended due to lack of resources, but it encompassed a lot of little successes. As a result, we constructed the machine which forming rolls need to be redesigned so the longitudinal error from the product would be removed.

Language

Finnish

Pages 44

Keywords

roll forming, machine constructing, designing, automation

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Opinnäytetyön taustat.....	6
1.2	Toimeksiantaja	6
1.3	Tavoitteet	6
2	Ohutlevyjen työstömenetelmiä ja koneenrakennus.....	7
2.1	Rullamuovaus.....	7
2.2	Laitteisto.....	8
2.3	Haspeli	8
2.4	Oikaisupyörästä.....	9
2.5	Särmäys	10
2.6	Taivutus.....	10
2.7	Koneensuunnittelu.....	11
2.8	Koneturvallisuus	12
2.9	Käänteinen suunnittelu	13
2.10	Systemaattinen suunnittelumetodi VDI 2222	13
2.11	Intuitiivinen koneensuunnittelu.....	14
3	Toteutus	15
3.1	Toimintaperiaate.....	15
3.2	Suunnittelu	18
3.3	Polttoleikkeet	26
3.4	Kokoonpano	26
3.5	Leikkuri.....	33
3.6	Koeajo.....	40
4	Pohdinta.....	42
	Lähteet	44

Sanasto

FEM	(Finite element method) Elementtimenetelmä
Haspeli	Teräskelojen purku- ja kelauslaite
Raina	Pituussuunnassa leikattu, pitkä teräslevy

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön taustat

Opinnäytetyön toimeksiannon sain joensuulaiselta Poimukate Oy:ltä. Toimeksiantoon kuului suunnitella ja valmistaa uusi rullamuovauslinja tarvittavine toimilaitteineen. Uusi rullamuovauslinja korvaa vanhan toiminnassa olevan tuotantolaitteen. Työhön sisältyi rullamuovauslinja ja vastaanottoautomaatio.

Idean opinnäytetyöhön sain suorittaessani harjoittelua Poimukate Oy:llä. Opinnäytetyöstä joudutaan jättämään joitain asioita pois toimeksiantajan pyynnöstä. Työ itsessään on loistava mahdollisuus kokeilla omia kykyjä laitesuunnittelussa. Suunnittelin ja kokoonpanin laitteen pääosin itse. Työstä rajattiin ulos sähkötöiden teko, sillä minulla ei ollut riittävä koulutusta kytkentöjen tekoon. Komponentit tuotantolaitteeseen tilattiin alihankkijoilta ja kasasin osat itse. Edellä mainittu hyödytti minua työstä välittömänä saatavana palautteena esim. osien valmistustekniikkoihin ja kasattavuuteen liittyen. Opinnäytetyö sisältää konetekniikan osioita hyvin laajasti. Työssä tulee esiin esim. materiaalitekniikkaa, statiikkaa, valmistustekniikkaa ja automaatiota. Työ nivoi minun osaamisen konetekniikasta yhteen pakettiin.

1.2 Toimeksiantaja

Poimukate Oy on perustettu vuonna 1958. Yhtiö toimii katto- ja seinäprofiilien valmistuksessa. Yrityksen toimipiste sijaitsee Joensuussa. Yrityksen toimintaan kuuluu myös muiden ohutlevytuotteiden valmistus. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Juha Sivonen.

1.3 Tavoitteet

Työn tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa nykyaikainen sekä turvallinen rullamuovauslinjasto tehostamaan yrityksen tuotantoa. Pää tavoitteet valmistettavalle laitteelle on, että se olisi helppokäyttöinen ja ennen kaikkea turvallinen käytettävä. Tuotantolaitteen tulisi myös olla helposti muokattavissa erilaisten profiilien valmistukseen. Yksi tavoitteista oli lisätä tuotantolaitteeseen anturointia, jotta mittatarkkuutta saadaan entistä tarkemmaksi.

2 Ohutlevyjen työstömenetelmiä ja koneenrakennus

2.1 Rullamuovaus

Rullamuovausta on Suomessa käytetty 60-luvulta saakka. Rullamuovaus soveltuu loistavasti erilaisten materiaalien profilointiin. Rullamuovauksen toimintaperiaatteena on, että muovattava raaka-aine on kelalla. Kela on haspelissa, joka on ensimmäinen toimilaitte linjastossa. Haspeli syöttää raaka-ainetta muovaavaan linjastoon. Syöttävä haspeli toimii samaa tahtia linjaston kanssa. Linjasto muodostuu rullapareista, joiden välistä muovattava materiaali kulkee. Kuvassa 1 on esitetty muovauslinjaston rullat. Profilointi tapahtuu suorasta levy- tai rainatavarasta asteittain muovaamalla. Jokainen rullapari taivuttaa profiilille lisää muotoa, kohti lopullista profiilia. Tarvittavien rullaparien määrä riippuu täysin tuotettavasta profiilista, sekä sen poikkileikkauksen monimutkaisuudesta. Rullamuovauksessa muovattava materiaali on lähes aina huoneenlämpöinen ja materiaaliksi käy melkein mikä tahansa kylmämuovattava metalli. (Kivivuori 2004, 98—102.)



Kuva 1. Rullamuovauslinjaston muovaavat rullat.

Rullamuovausta käytetään teollisuudessa profiilien massatuotantoon. Rullamuovausmenetelmä on tuottavuudeltaan suuri ja sopii näin ollen läpimenoaikojen lyhentämiseen. Prosessituotteet ovat hyvin useasti rakennus-, katto- ja putkituotteita. Suuren tuottavuuden nurjana puoleena on muovauslinjaston huono muuntautumiskyky erilaisten profiilien tuottamiseen. Tuotettavan profiilin muuntaminen vaatii jo olemassa olevien rullaparien muokkaamista, poistamista tai lisäämistä. Tänä päivänä löytyy joitain muuntautuvia linjastoja, joissa tietokoneelle syötetään muovattavan profiilin mitat ja muovattavan teräs-

rainan leveys. Tietokone osaa paikoittaa rullia hydrauliiikan avulla uudestaan. Uudelleenpaikoituksella saadaan kuitenkin vain vähän muutosta profiiliin. Uudelleenpaikoituksen mahdollistama profiilimuutos on kuitenkin hyvin marginaalinen ja tuotokset ovat hyvin toistensa näköisiä. Tuotteiden päämitat ovat vain poikkeavia. Muuntautumisen vaikeus on siinä, että rullat joudutaan usein suunnittelemaan varta vasten muovattavaa profiilia varten. Rullien uudelleen käyttöä hankaloittaa tuotteissa olevat pyöristykset, jotka ovat vain ja ainoastaan joissain määrättyissä tuotteissa. Rullat, joiden taivutusasteet muodostavat yleisesti käytössä olevia kulmia, on helpompi uudelleen asemoida.

Rullamuovausprosessissa yhdistetään särmäystä ja taivutusta samaan aikaan. Muovaava rullapari koostuu usein kahdesta rullasta, jotka ovat käytännössä toistensa peilikuvia. Tällä tarkoitetaan, että ylemmän rullan on sovittava alemman rullan muotoon. Materiaaliin kohdistuu rullien välissä voimia, jotka aiheuttavat plastisen muodonmuutoksen materiaaliin. Muokkauksen jälkeen materiaali on saanut rullien väliin jäävän muodon, mikäli suuria takaisinjoustoja ei ilmaannu. Rullista materiaaliin kohdistuvaa voimaa voidaan säätää rullien etäisyydellä toisistaan. Rullamuovauksen suunnitteluun on nykypäivänä olemassa erilaisia tietokoneohjelmistoja. Tietokoneohjelmistoilla voidaan laskea muovauksen kannalta tärkeitä voimia, rullien paikkoja, rullien kokoja ja ennustaa materiaalin käyttäytymistä muovauksen aikana ja sen jälkeen. (Kivivuori 2004, 98—102.)

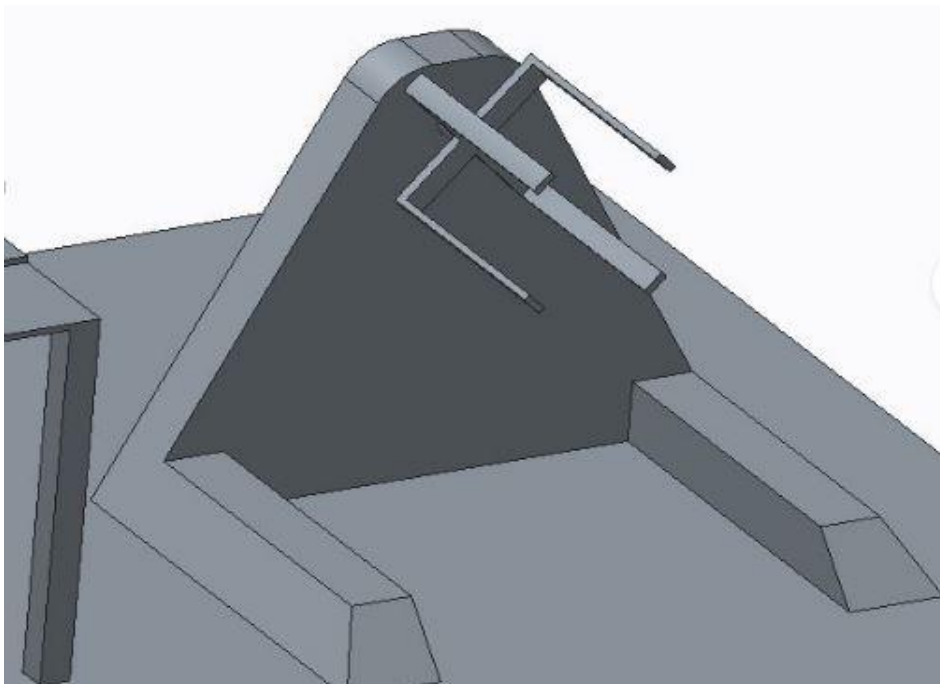
2.2 Laitteisto

Olenaiset toimilaitteet rullamuovauksessa aloituksesta lopetukseen ovat haspeli, oikaisupyörästä, muovauslinjasto, katkaisuyksikkö ja vastaanottopöytä. Muovauslinjastoon voidaan liittää myös muitakin työvaiheita, kuten esim. lävistystä ja hitsausta. Linjaston toiminta voidaan sovittaa muiden toimilaitteiden tahtiin tai muut toimilaitteet linjaston tahtiin. Jatkuvässä muovauksessa toimilaitteiden on usein liikuttava ja toimittava samaan tahtiin muovattavan profiilin kanssa. (Kivivuori 2004, 98—99.)

2.3 Haspeli

Haspeli on toimilaitte, jota käytetään pitkien teräsrajojen kelaukseen rullalle ja rullatun materiaalin purkamiseen. Kelan leveys rullamuovauksessa riippuu täysin valmistettavasta tuotteesta ja muovattava materiaali on etukäteen rainoitettu oikean levyiseksi. Haspeli purkaa kelaa pyörittämällä kelaa sitä mukaa, kun raaka-ainetta menee muovauk-

seen. Haspelia voidaan pyörittää sähkömoottorilla, jota ohjataan logiikan ja taajuusmuuttajan avulla. Keveisiin keloihin voidaan soveltaa vapaasti pyöriviä haspeleita, jolloin raaka-aineen purku tapahtuu vetämällä materiaalia kelalta. Sähkötöntä haspelia ei suositella käytettäväksi suurille kelako'ille, jotta pyörimisliike olisi helpompi hallita. Haspelin pyöritystoiminto on yleensä hoidettu hydraulisella tai sähkömoottorilla. Haspeliin voidaan liittää myös erilaisia toimintoja, kuten esim. hydraulikalla toimiva kelan kiinnitys ja kiristys kannattelevalle akselille. Haspeleita on olemassa erikokoisia ja rakenteeltaan erilaisia. Haspeleiden toiminnot pysyvät samana kokoluokasta huolimatta. Suurimmat erot ovat kaksi- ja yksitukisilla haspeleilla. Kaksitukisessa haspelissa kela kannattelevalla akselilla on tukeva laakeri kelan molemmilla puolilla. Kuvassa 2 on esitetty perinteisen yksitukisen haspelin pääpiirteitä.



Kuva 2. Yleinen haspelimalli.

2.4 Oikaisupyörästä

Oikaisupyörästä poistaa muovattavasta materiaalista jännityksiä. Kelalta purkautuva materiaali pyrkii säilyttämään pituussuunnassa spiraalimaisen muotonsa, joten oikaisuun siihen jää jännityksiä, jotka saattavat vaikeuttaa muovausta ja jättää jäännösjännityksiä lopputuotteeseen. Lopputuotteessa olevat jäännösjännitykset voivat aiheuttaa erilaisia taipumia, kiertymiä ja laajentumia. Oikaisupyörästä tarkoitus on poistaa

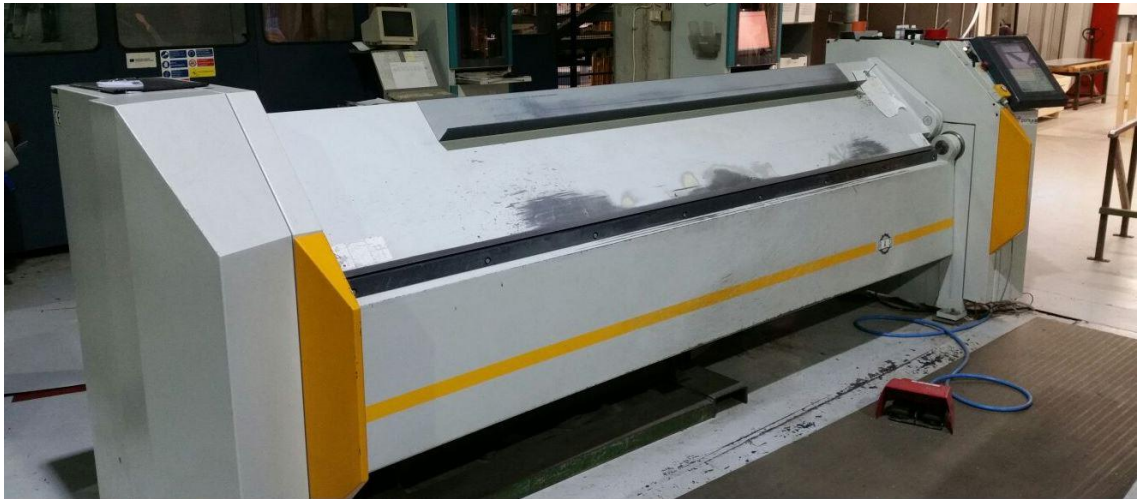
jännityksiä materiaalista. Materiaali on normalisoitunut kelalla kelan muotoon, joten oikaisupyörästä säädetään taivuttamaan materiaalia päinvastaiseen suuntaan. Oikaisussa materiaaliin kohdistetaan taivutusta juuri sen verran, että materiaali ei enää vapaana ollessaan pyri taipumaan itsestään mihinkään suuntaan. (Kivivuori 2004, 101—102.)

2.5 Särmäys

Särmäys on hyvin yleinen metallilevyjen työstömenetelmä. Särmäyksessä levyä painetaan tyypillisesti V:n muotoisella painimella saman muotoiseen vastinuraan. Särmäystä voi tehdä joko vapaana taivutuksena tai pohjauskuna. Vapaassa taivutuksessa on taivutettava halutun kulman yli, sillä materiaalin neutraaliakseli ei veny eikä tyssäänny. Särnäyttävän levyn sisäpinnalla esiintyy tyssäntymistä ja ulkopinnalla venymistä. Neutraaliakselilla tapahtuu vain elastista muodonmuutosta. Särmäyksen jälkeen neutraaliakseli pyrkii palautumaan alkuperäiseen muotoon, josta johtuu materiaalin takaisinjousto. Vapaassa taivutuksessa kulman taivutussäde jää suuremmaksi kuin pohjauskusärmäyksessä. Pohjauskusärmäyksessä materiaali painetaan painimella täysin alatyökaluja vasten, joten neutraalia akselia ei enää ole, vaan levy muovautuu plastisesti koko kulman alueelta. Pohjauskusärmäys vaatii 3-5-kertaisen voiman verraten vapaaseen taivutukseen, joten se sopii paremmin ohutlevytyöhön. Suurilla materiaalivahvuuksilla voi esiintyä herkästi erilaisia murtumia ja halkeamia, jos kulman taivutussäde jää liian pieneksi. Pohjauskusärmäyksessä on ylä- ja alatyökulun taivuttavan kulman oltava sama. (Kivivuori 2004, 93—95.)

2.6 Taivutus

Taivutus on ohutlevytyöstössä usein särmäyspuristinta tuottavampi työmenetelmä. Taivutus sopii erinomaisesti laatikkomaisten rakenteiden valmistukseen. Taivutuslaitteisto sopii yleisesti vain ohutlevyille. Ohutlevyksi lasketaan alle 3 mm:n ainevahvuudet. Taivutuksessa levy puristetaan pöytään kiinni taivutettavan kohdan vierestä. Taivutus tapahtuu käyttämällä nivelöityä taivutinta. Taivutuskone voi olla käsikäyttöinen, puoli- tai täysautomaattinen. Puoliautomaattisessa (Kuva 3) taivuttimessa kone säättää vasteet käyttäjän tekemän ohjelman mukaisesti aina taivutuksien välillä. Koneenkäyttäjän täytyy vain huolehtia, että työstettävä kappale on aseteltu oikein taivuttavien leukojen väliin. (Kivivuori 2004, 95—97.)



Kuva 3. Puoliautomaattinen, ohjelmoitava taivutin.

Täysautomaattinen tuotantolaite kykenee suorittamaan määrättyä ohjelmaa itsenäisesti ilman välitöntä tarvetta ihmisen läsnäololle. Taivutuksen täysautomatisointi vaatii huomattavasti enemmän laitteistoa mm. uusien aihoiden syöttöön ja valmiiden tuotteiden käsittelyyn.

2.7 Koneensuunnittelu

Koneensuunnittelussa lähdetään usein tyhjästä kehittämään uutta toimilaitetta. Vaihtoehtona voi käyttää myös edellisten laitteiden malleja, mikäli niitä on. Kone tai laite suunnitellaan suorittamaan jotain määrättyä toimintoa. Toiminto voi olla esim. jonkin materiaalin tai tavaran muokkaaminen tai siirto. Koneen tuotoksena on puolivalmiste tai täysin valmis tuote. Koneensuunnitteluun on laadittu erilaisia standardeja (METSTA, koneensuunnittelijan tärkeimmät standardit). Koneensuunnittelu on nykyään hyvin tietokonepainotteista. Siinä missä aiemmin osat piirrettiin paperille, voidaan tänä päivänä luoda 3D-malli tietokoneohjelmistolla. Suunnitteluohjelmat laskevat automaattisesti taustalla kaikkea, kuten esim. painoa ja tilavuutta. Suunniteltavan koneen osat voidaan sovittaa yhteen ja tehdä kokoonpanoksi. Tietokoneohjelmistoilla voidaan myös suorittaa FEM-analyysyjä. FEM-analyysi on virtuaalinen rasituskoe mallinnetulle kappaleelle tai kokoonpanolle, jonka tulokset käyttäjä saa visuaalisena karttana. Tuloksista voidaan mitata esim. jännityksiä ja taipumia. Materiaalin muutokset ja jännitykset ilmaistaan kappaleen

väriä muuttamalla kyseisessä pisteessä. Jännityksiä tutkimalla osaa suunnittelija määrittää tarvittaessa uudestaan materiaalin laadun sekä sen määrän jännitysalueella. Tässä opinnäytetyössä on käytetty Creo Parametric 2.0 -ohjelmistoa.

2.8 Koneturvallisuus

Koneturvallisuudessa huomioidaan kaikki koneen käyttöön liittyvät riskit. Koneenkäyttöön liittyvät riskit voivat olla niin henkisiä kuin fyysisiä. Riskit pyritään hävittämään kokonaan suojuksia käyttämällä tai uudelleensuunnittelulla. Koneenkäyttäjälle ei saa aiheutua minkäänlaista vaaraa tai uhkaa fyysiselle- kuin henkisellevä terveydelle. Turvallisuus pyritään huomioimaan koneen niin normaalissa käytössä, vikatilanteiden sattuessa ja pienen väärinkäytön sattuessa. Koneturvallisuuteen on laadittu erilaisia standardeja, joita tulee noudattaa jo heti suunnitteluvaiheesta asti. Euroopassa koneturvallisuuden perustana noudatetaan konedirektiiviä 2006/42/EY, joka on saatettu Suomessa voimaan valtioneuvoston asetuksella 400/2008.

Konedirektiivi 2006/42/EY koskee paitsi varsinaisia koneita ja koneista koottavia koneyhdistelmiä myös turvakomponentteja, nostoapuvälineitä, nostamiseen tarkoitettuja ketjuja, köysiä ja vöitä, nivelakseleita sekä osittain valmiita koneita. (SFS ry 2015, 2.)

Koneturvallisuuteen liittyvät standardit jaetaan kolmeen tyyppiin, A-, B- ja C-tyyppeihin. A-tyypin standardit käsittelevät koneturvallisuuden perustermejä, riskinarviointia ja turvallisuussuunnittelua (SFS-EN ISO 12100). B-tyypin standardit liittyvät koneensuunnitteluun. B-tyypin standardi määrittää tarkemmin mm. tarvittavia turvalaitteita, kulkuväyliä ja turvaetäisyyksiä. C-tyypin standardit pureutuvat tarkemmin yksittäisiin koneisiin ja koneryhmiin. (Rapinoja 2015, 5.)

Turvallisuusmääräyksillä pyritään vähentämään teollisuudessa tapahtuvia onnettomuuksia. Turvallisuusmääräyksiä rikotaan, mikäli tarpeelliset vaara-alueen suojaimet jätetään suunnittelematta, asentamatta tai poistetaan kokonaan. Suojainten puuttumisella voi olla vakavia seurauksia, jotka voivat helposti johtaa pitkiin sairaspöissaoloihin tai jopa ko-

neenkäyttäjän menehtymiseen. Koneensuunnittelussa on hyvä tehdä riskianalyysi suunnitteluvaiheessa sekä ennen valmiin koneen käyttöönottoa. Suunnitteluvaiheessa on hankala kyetä ottamaan kaikki mahdolliset vaaratilanteet huomioon.

2.9 Käänteinen suunnittelu

Suunnittelu normaalisti aloitetaan tyhjästä tai jo olemassa olevan tuotteen pohjalta. Käänteinen suunnittelu käsitteenä tarkoittaa jo jonkun olemassa olevan esineen mallintamista takaisin sähköiseen tiedostomuotoon. Menetelmä sopii erinomaisesti, jos suunniteltaessa on jotain komponentteja jo valmiina. Käänteisessä suunnittelussa voidaan käyttää apuna 3D-skannausta. 3D-skannauksessa työkappaleesta luodaan pisteistä koostuva pintamalli, joka voidaan 3D-ohjelman avulla muuttaa taas esim. koneistettavaksi tai 3D-tulostettavaksi malliksi. Käänteistä suunnittelua käytetään paljon varaosien tekoon erilaisissa harrastelupiireissä, sillä monien varaosien valmistus on lopetettu jo vuosia sitten. Harvinaisten osien hinta alkaa nousta jo korkealle, joten uuden tekeminen entisen mallin pohjalta voi olla jo edullisempi. Käänteinen suunnittelu on aiheellista, jos on käytettävä jo olemassa olevia komponentteja.

2.10 Systemaattinen suunnittelumetodi VDI 2222

VDI 2222 on perinteinen saksalainen suunnittelumenetelmä. Tässä menetelmässä ratkaisut haetaan kaavamaisesti ja järjestyksessä, jotta suunnittelun etenemisen seuraminen ja toteuttaminen ovat helpompaa. Menetelmä jakaa suunnittelutyön neljään eri vaiheeseen. Suunnittelukohde tai projekti valitaan tutkimusten tai kysynnän perusteella, josta saadaan toteutustavan ensimmäinen vaihe. Ensimmäisen vaiheen tehtävän on vaatimusten selvittäminen, jossa asetetaan tehtävälle ne tavoitteet ja reunaehdot, jotka pitää täyttää. Toinen vaihe on luonnostelu. Luonnostelussa tuotteelle etsitään toiminnot, joilla ensimmäisen vaiheen vaatimukset voidaan täyttää. Luonnostelu ei ota kantaa lopullisiin ratkaisuihin, vaan siinä määritetään vain toiminnot esim. nostaa, pyörittää ja työntää. Kolmantena vaiheena on kehittäminen. Kehittäminen ottaa kantaa siihen, kuinka edellä mainitut toiminnot voidaan täyttää. Kehittelyn aikana tuote saa rakennemuodon. Rakennemuodon hakuun voidaan käyttää apuna esim. jäsentelykaaviota. Jäsentelykaavioon sijoitetaan erilaisia ratkaisuja kunkin toiminnon täyttämiseksi. Kun tuotteen rakennemuoto on selvitetty, on vuorossa viimeistely, joka on viimeinen vaihe. Viimeistelyssä

tuote dokumentoidaan tarkasti. Dokumentointi pitää sisällään kaiken, jonka pohjalta voidaan suorittaa tuotteen valmistus. Dokumentointi ei varsinaisesti ota enää tuotteen rakenteeseen kantaa, vaan esim. pinnanlaatuihin ja muihin valmistukseen liittyviin asioihin. Huomioitavia asioita ovat periaatteen, rakennemuotoilun ja valmistuksen optimointi. (Pahl & Beitz, 1990, 48—52.)

2.11 Intuitiivinen koneensuunnittelu

Intuitiivinen koneensuunnittelu on koneenrakennusmetodi, jossa ratkaisuja ei haeta niin kaavamaisesti kuin perinteisessä VDI 2222 -metodissa. Ratkaisuja haetaan luovemmin jo olemassa olevien tuotteiden ja niissä olevien ratkaisujen pohjalta. Intuitiivinen suunnittelu pyrkii hakemaan suunniteltavan laitteen toiminnan tai ratkaistavan ongelman kannalta heuristiset pisteet. Heuristinen piste on tehtäväkokonaisuuden ratkaisussa olennainen toiminto tai vaatimus, joka pitää täyttää. (Tuomaala 1995, 95—97.)

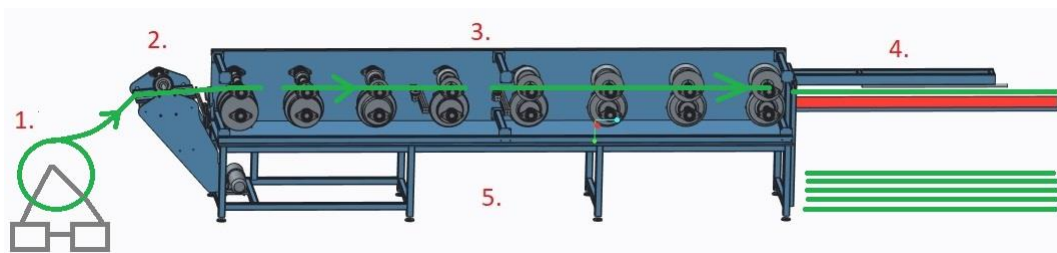
Se [Intuitiivinen suunnittelu] tulee käyttämään hyväksi jännitettä, heuristisia pisteitä, lyhyttä logiikkaa ja määrättyä aikataulua. Olettakaamme, että tehtävä annetaan meille jo jotenkin määriteltynä. Se on aluksi otettava vastaan, analysoitava ja sisäistettävä. Vasta tämän jälkeen meissä kasvaa intuitiivinen jännite, jonka suuruus riippuu osittain tehtävän kiireellisyydestä. Suurimmaksi osaksi jännitteen suuruus perustuu valmistelevaan analyysin tuloksiin suhteessa omaan kokemukseen ja tietoomme. (Tuomaala 1995, 29.)

Rikkianalyysissä pohditaan jo olemassa olevaa tuotetta ja sen toimintojen ratkaisuja. Intuitiivisessa suunnittelussa kerätään toimivia ratkaisuja eri tuotteista, vaikka ne eivät varsinaiseen suunniteltavaan tuotteeseen liittyisi. Tärkeintä on löytää ja ymmärtää toteutetut ratkaisut. Näin ratkaisut jäävät suunnittelijan muistiin ja tajuntaan, kunnes painuvat alitajuntaan. Rikkianalyysin tavoite on päästä käsiksi tuotteen suunnittelijan ajatusmaailmaan ja osaamiseen käsiksi. Analyysin tarkoitus ei ole suoraan kopioida tuotetta, vaan pyrkiä löytämään ne ratkaisut, jolla toiminnot ovat täytetty. Jo valmiit, hyväksi todetut ratkaisut yhdistyvät intuitiivisen jännitteen ansiosta. (Tuomaala 1995, 32—74.)

3 Toteutus

3.1 Toimintaperiaate

Koneen ensimmäiseen toimilaitteeseen haspeliin laitetaan peltiraina, joka on rullalla. Rullasta syötetään alku käsin vetäville pyörille syöttöpöytään. Syöttöpöydän vetävät pyörät kontrolloivat raaka-aineen syöttöä linjalle.



Kuva 4. Vihreällä merkattu pellin kulku.

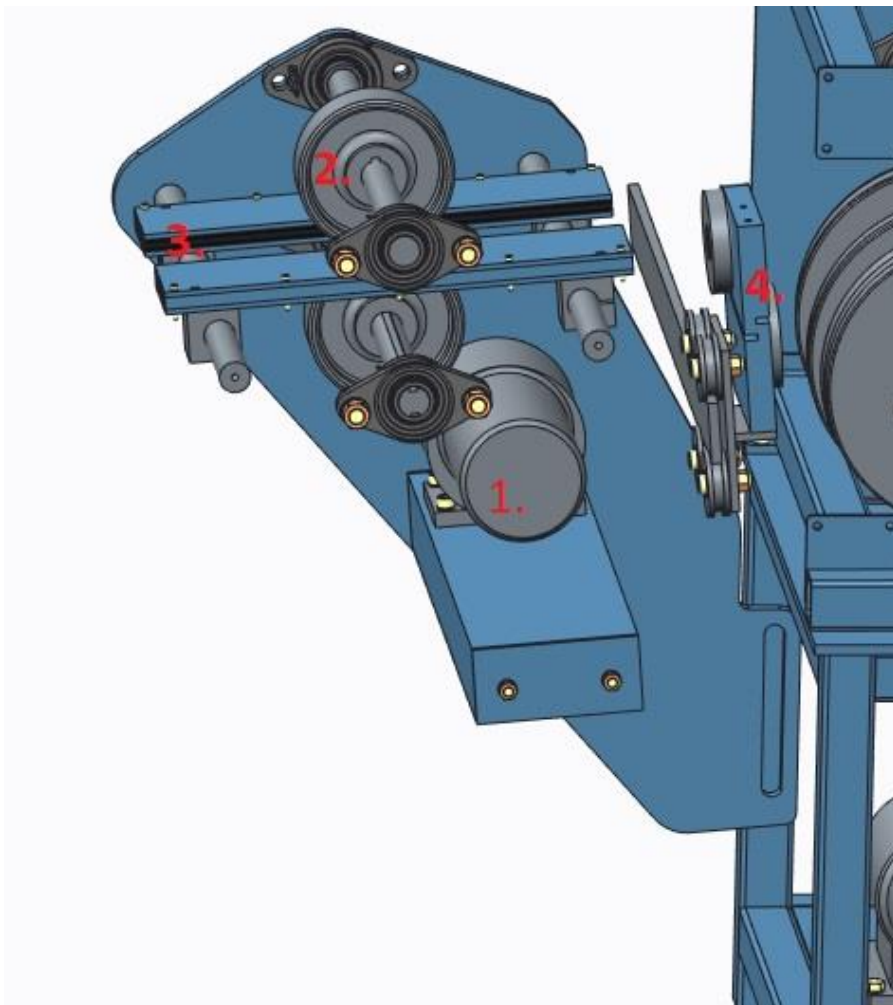
Kuvan 4 selitteet:

1. Haspeli, Pitää raaka-ainetta paikallaan ja syöttää linjaa.
2. Syöttöpöytä, Mittaa ja katkaisee.
3. Kasetti, Muovaa pellin asteittain.
4. Manipulaattori, Asettaa valmiit tuotteet pinnoon.
5. Runko, Nivoo kaiken yhteen. Sis. Sähkömoottorin (Motovario, TH80B4,750W) ja ohjausyksikön



Kuva 5. Haspeli, joka tulee laitteeseen ensimmäiseksi toimilaitteeksi. Haspelin korkeus on n. 75 cm.

Linjaan suunniteltiin pulssianturi ennen syöttöpöydän omaa vetorullastoa, jotta syötetyn raaka-aineen pituusmittaa voidaan hallita ja näin myös koko valmiin tuotteen pituusmittaa. Koneen ohjelmaan voi täten syöttää haluamansa mitan, jota kone rupeaa valmistamaan. Kone vetää erillisillä rullilla syöttöpöydästä ja suorittaa leikkurilla leikkausliikkeen, kun ennalta määrätty pulssimäärä on tullut täyteen. Pulssien määrään asetettiin pieni toleranssi, jotta kone ei jää suorittamaan leikkausta liian kauaksi aikaa. Liian tiukka toleranssi hidastaisi koneen toimintaa.

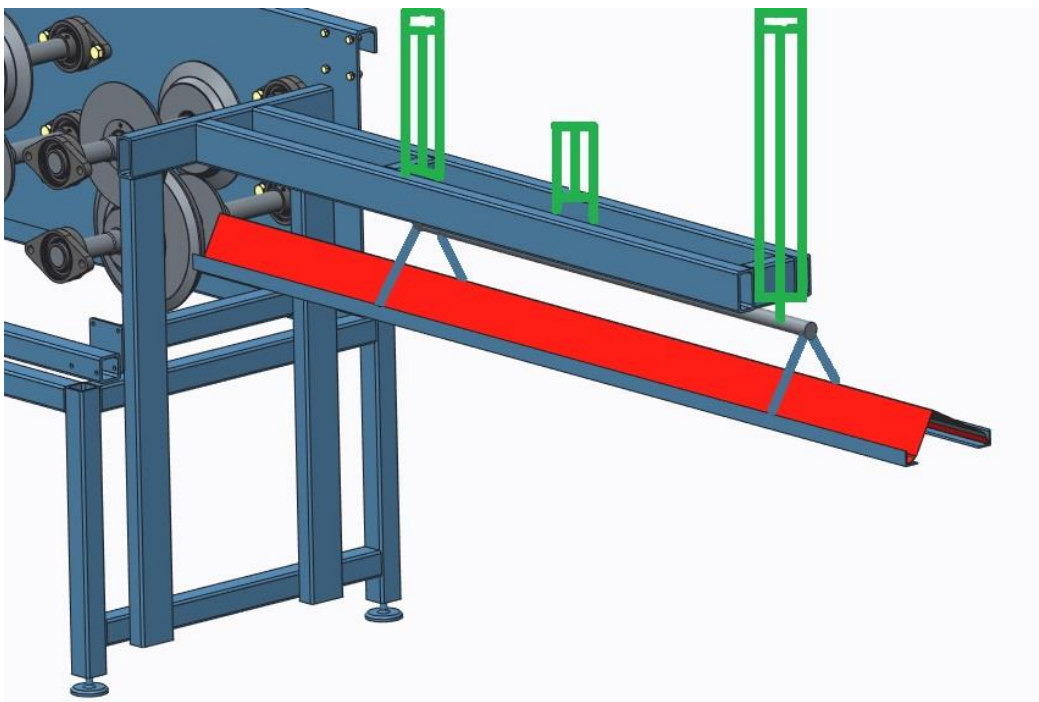


Kuva 6. Syöttöpöytä, josta toinen kylki piilotettu.

Kuvassa 6 numeroituna:

1. Sähkömoottori ja vaihteisto (Motovario, TS71B4, 370W)
2. Vetopyörät (Blickle)
3. Ohjurit
4. Leikkuri

Tavoitteeksi asetettiin ± 2 mm kahden metrin mittaiseen listaan. Leikkausliikkeen suoritettuaan kone lähtee taivuttamaan listaa kasetilla, jonka sisällä on muovaava rullasto (Kuva 4. nro 3). Listakoneessa on kaksi sähkömoottoria, joista pienemmällä (370 W) syötetään raaka-ainetta koneeseen ja isommalla (750 W) pyöritetään koneen rullastoa. Koneen alkaessa taivuttaa listaa, odottaa syöttöpöytä kaksi sekuntia ja lähtee kiihdyttämään muovattavaa raaka-ainetta muovaavan linjan nopeuteen. Molemmat moottorit hidastavat samaa tahtia, kun listan leikkaaminen lähestyy. Linjan perään suunniteltiin manipulaattori, joka ottaa valmiin listan vastaan ja laskee sen manipulaattorin alle asetetulle lavalle. Manipulaattorin päähän suunniteltiin anturi, joka havaitsee muovatun listan. Manipulaattorin liike suunniteltiin kestämään 2,5 sekuntia, jotta toiminto ehditään suorittaa ennen seuraavaa saapuvaa listaa. Manipulaattorissa on toinenkin anturi, joka tarkkailee valmistettujen listojen pinon korkeutta. Listapino ei saa olla liian korkea, jotta ne eivät vaurioidu oman painonsa alla. Anturi havaitsee joko listapinon tai kuormalavan reunan ja antaa signaalin avata manipulaattori ja asettaa valmistettu listapinon päälle. Sama korkeussuuntaa tarkkaileva anturi myös keskeyttää koneen toiminnan ja antaa hälytyksen, kun listapino on riittävän korkea. Kuormalavaa käydään siirtämässä koneen ollessa seis-tilassa ja hälytys kuitataan ohjauspaneelista, jotta kone voi jatkaa toimintaansa.



Kuva 7. Manipulaattori on puomimallinen, jotta lavan asettelu alle olisi helppoa. Valmis lista merkattu punaisella ja pneumaattiset sylinterit vihreällä.

Koneen ohjauspaneelista voidaan valita joko käsi- tai automaattikäyttö. Käsin konetta joudutaan ajamaan vain raaka-aineen syöttö- ja häiriötilanteissa. Raina syötetään koneeseen käsin koneensuojassa olevan reiän läpi niin pitkälle, että vetävä pyörästö tarttuu siihen kiinni. Rainaa ajetaan käsin leikkurille asti. Käsiäjolla suoritettu leikkausliike oikaisee rainan pään ja samalla nolaa pulssianturin alkuun mittaaman matkan. Koneen ohjelmaan voi syöttää automaattiajon alussa haluttavan kappalemäärän ja kappaleiden pituuden. Yli kahden ja puolen metrin mittaisen listan ajaminen sulkee pois manipulaattorin ja listat on otettava käsin vastaan.

3.2 Suunnittelu

Suunnittelussa käytettiin apuna AutoCAD 2018 ja Creo Parametric 2.0 -ohjelmistoja. Projekti aloitettiin laatimalla koneelle vaatimuslista (Taulukko 1, s.19), joka sen oli täytettävä. Geometrialtaan koneen oli sovittava paikkaan, jossa ovat muutkin yrityksen käytössä olevat listakoneet. Paikka oli valittu siten, että valmiit tuotelavat voitiin noutaa trukilla varastoon. Pienillä vierintävastuksilla haluttiin pienentää käytöstä aiheutuvia kuluja pitkässäjuoksussa. Vierintävastuksiin pyrittiin vaikuttamaan laakeroinneilla ja muiden liukupintojen materiaalien valinnoilla. Koneen tarvitsi kestää käytön aikana syntyvät rasitukset. Mikäli rakenteiden suunnittelussa esiintyy heikkouksia, runkoa voidaan vielä vahvistaa ja tukevoittaa jälkeenkäin päin. Koneen huollettavuuteen ja siisteyteen nojaten haluttiin käyttää pneumaattisia ja sähköisiä toimilaitteita. Muovauksessa syntyy pääosin adhesiivista kulutusta, joten materiaalin rullastossa täytyy olla riittävän kovaa ja lujaa. Lujuuden lisäksi materiaalin täytyy olla kuitenkin helposti työstettävää, jotta rullien muuttaminen jälkikäteen on mahdollista. Yrityksellä on pieni sorvi, jolla voitiin tarvittaessa tehdä pieniä muutoksia rulliin. Uusi laite oli rakennettava nykyisten turvallisuusstandardien mukaisesti niin, ettei laitetta käyttävän työntekijän henkinen tai fyysinen terveys vaarannu.

Koneen suunnittelussa huomioitiin yrityksen käytössä olevat työkalut ja koneet. Työkaluja on laajalti, mutta konekannassa ei ole CNC-työstökoneita. Tarkemmin toleroidut osat oli siis tilattava alihankkijalta ja suuremmilla toleransseilla valmistettavat ja hitsattavat osat voitiin tehdä itse. Varsin tärkeä etappi tuli olemaan laitteen koeajo, joka tuli määrittämään laitteen kyvyn tuottaa vaatimusten mukaista tuotetta. Koeajo oli suoritettava mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta koneen rakentamisen onnistumista ja projektin jatkamista voitiin arvioida. Koeajoja voitiin ajaa, kunhan muovaava rullasto, syöttöpöytä ja voimansiirrot olivat paikoillaan.

Koneen täytyy pystyä tekemään määrätyn korkuinen pino tuotteita lavalle. Lavalle mahtuu yhteensä neljä pinoa tuotteita. Lavaa siirreltäisiin käsin pumppukärryä käyttämällä. Lavan täytyttyä tuotteet pannoitetaan lavaan kiinni ja siirretään trukilla varastoon.

Koneita kunnossapitävä henkilöstö kokee hydrauliset laitteet sotkuisiksi huollettaviksi. Sotkuisuus aiheuttaa usein työvarustuksen vaihtamisen ja pesettämisen. Vanhetessaan hydrauliset koneet tyypillisesti vuotavat paikoitellen hyvinkin paljon öljyä.

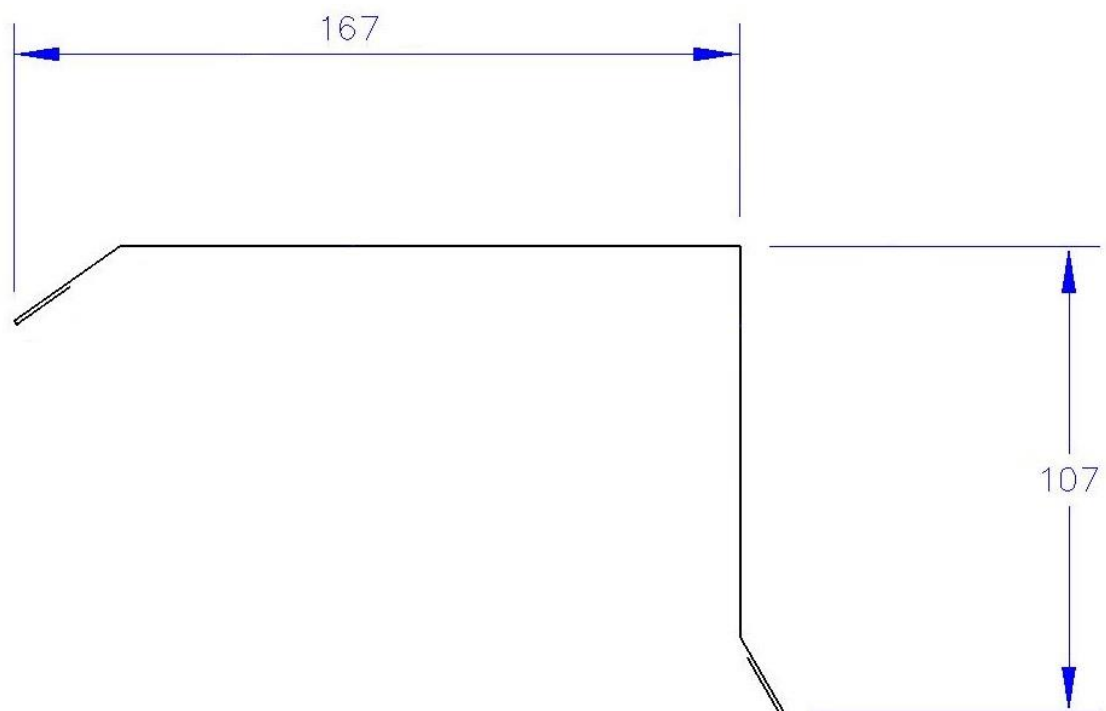
Projektille määriteltiin määrärahasi 25 000€, jonka alle on päästävä.

Taulukko 1. Koneen vaatimuslista.

Muutos pvm.	KV, VV, T	VAATIMUS	Tärkeys
		GEOMETRIA	
	KV	Koneen sovittava muiden linjojen kanssa samaan paikkaan	4
		KINEMATIikka	
	T	Pienet vierintävastukset	2
		VOIMAT	
	VV	Kokoonpanon on kestävä käytön rasitukset	3
		ENERGIA	
	VV	Pneumatiikka- ja sähkökomponentit voimien siirtoon	3
		AINE	
	KV	Lujat ja kulutusta kestävät materiaalit (Teräs)	4
		TURVALLISUUS	
	VV	Standardien mukainen suojaus	4
		VALMISTUS	
	T	Yksinkertainen valmistettavuudeltaan	1
		TARKASTUS	
	T	Koeajo	4
		KÄYTTÖ	
	VV	Toimintavarma. Kasetti oltava vaihdettavissa	4
		KUNNOSSAPITO	
	T	Vähän huollettavia osia	3
		KUSTANNUKSET	
	KV	Hankintahinta alle 25 000€	5

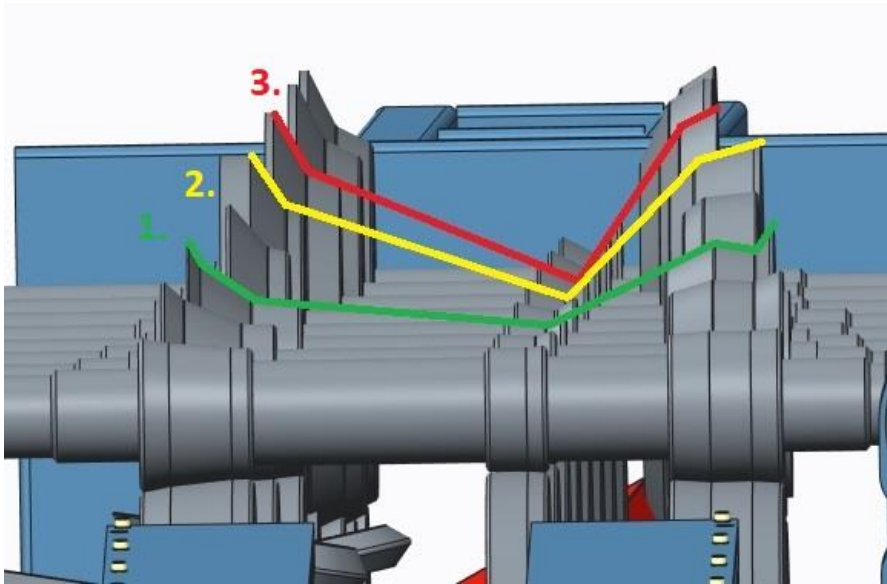
KV = kiinteä vaatimus, VV = vähimmäisvaatimus, T = toivomus

Valmistettavan koneen suunnittelu aloitettiin tutkimalla vanhojen linjojen ominaisuuksia ja niistä poimittiin sellaisia ominaisuuksia, jotka oli todettu hyviksi ja toimiviksi. Suunnittelu lähdettiin toteuttamaan tuotteesta itsestään takaperin tavalla, jossa sen taivutuksia lähdettiin avaamaan asteittain. Jokaisen rullaparin kohdalla taivutuksissa mentiin takaperin. Taivutusten avaamisella tarkoitetaan, että esim. 92° :n taivutuksesta siirryttiin 85° :n taivutukseen ja näin ollen askeleittain kohti suoraa peltirainaa. Tehtävien taivutusten määrä on kytköksissä tarvittavien rullaparien määrään.



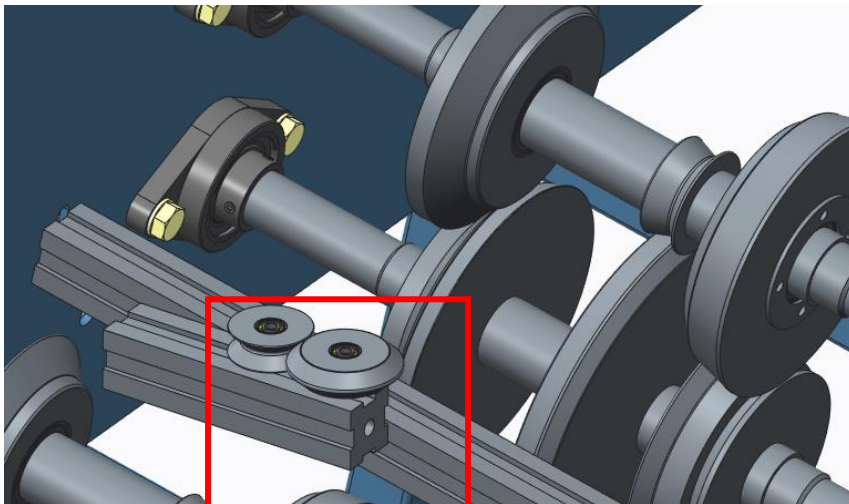
Kuva 8. Listan profiili ja päämitat.

Taivutuksen astelukuun, joka voidaan kerralla taittaa, liittyy monia erilaisia muuttujia, kuten esim. taivuttavien rullien koko ja halkaisija. Mitä pienemmät rullat ovat taivuttamassa, sitä pienempi on taivutuksen oltava. Pienillä rullilla taivutuksessa materiaaliin kohdistuvat rasitukset ovat paljon pistemäisempiä ja voivat aiheuttaa poikkeamaa tuotteeseen. Tuote tulee valmistettavasta linjasta ulos siinä asennossa, kuin se olisi asetettu pöydälle, pinnoitettu puoli ylöspäin. Kuvassa 9 voidaan nähdä profiilin päätaivutuksen (90°) asteittainen muodostuminen.



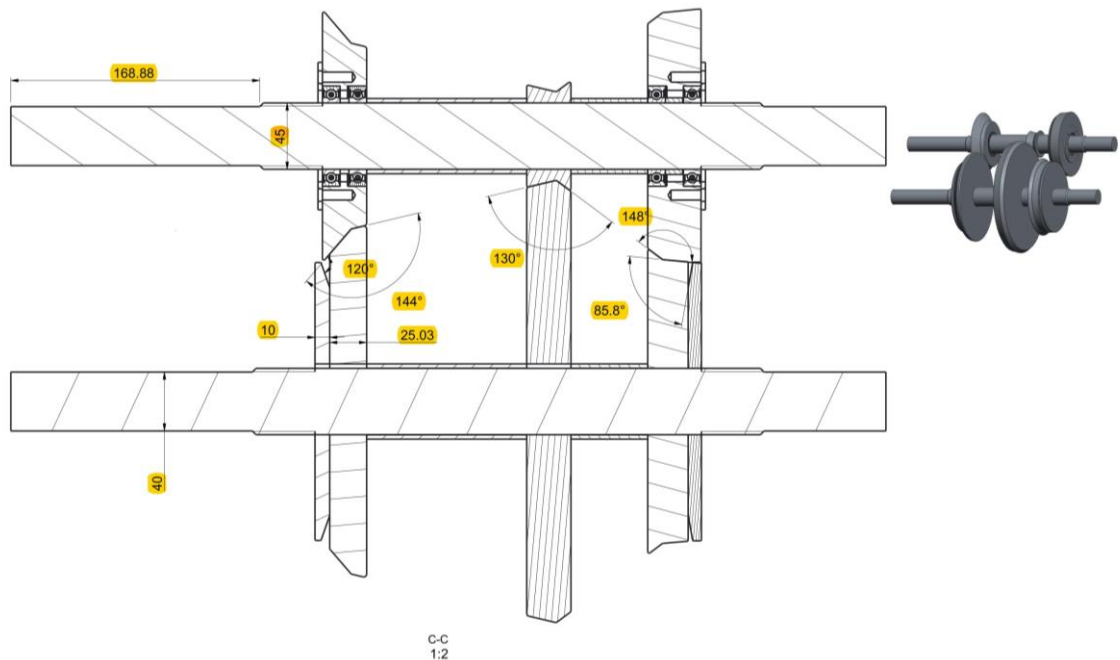
Kuva 9. Rullat linjattu peräkkäin muutaman asteen kallistuskulmaan, jotta taivutusta olisi helpompi arvioida. Taivutukset tuotu esiin väreillä korostamalla. Taivutukset tapahtuvat rullaparien välissä koneen sisässä.

Listan molempiin pätyihin tulee 180°:n taivutus (taivutetaan kaksinkerroin, Kuva 8, s.20.), jotka tarvitsevat pieniä irrallisia rullapareja tekemään taivutusta. Pienille rullille suunniteltiin kasetin sisään alumiiniprofiilista kiskot, joihin niitä voidaan kiinnittää. Pienien apurullien määrä arvioitiin kahteen pariin puolelleen. Kuvassa 10 alumiiniprofiili ja siihen kiinnitetty rullapari.



Kuva 10. Apurullat, jotka taivuttavat vain reunaan tulevaa 180° asteen taivutusta.

Rullaparit sijoitettiin kokoonpanoon peräkkäin ja niiden kiinnityksen suunnittelu kasettiin aloitettiin. Kiinnityksen suunnittelussa päätettiin kokeilla uudenlaista tekniikkaa, jossa akselien tarvittava etäisyys toisistaan arvioitiin riittävän pitkäksi tuotteen muodostumisen kannalta. Perinteisesti akseliparit suunnitellaan erillisiksi paketeiksi, jotka kiinnitetään koneistettuihin johteisiin, jotta niiden paikkaa voidaan siirtää ja tarvittaessa määrää lisätä. Perinteinen menetelmä on em. syistä turvallinen. Perinteinen menetelmä osoittautui kuitenkin huomattavan kalliiksi verrattuna uuteen edulliseen menetelmään, jossa akselit kiinnitetään pesälaakereilla kasetin seinään. Uusi menetelmä sisältää riskejä rullaparien sijaintien määrittämisen ja säädettävyyden takia, mutta päätettiin valita sen edullisuuden perusteella. Alemmat rullat suunniteltiin vetäviksi ja ylemmät rullastot pyörivät niiden tahtiin. Alemmat rullat lukittiin akseliin kiiloilla ja niiden etäisyys toisiinsa rullien väliin asetettavilla holkeilla. Koko paketti puristetaan akselimuttereilla (M45x1,5) kasaan. Ylemmän puolen reunarullat päätettiin laakeroida erikseen, koska erot rullien pyörimisnopeuksissa ovat listan muodostumisen loppuvaiheissa jo niin isot. Keskimmäisen rullan laakerointi olisi turha, sillä se on akselilla, joka on jo laakeroitu. Näin ylemmät rullat saavat pyöriä omaa kierrosnopeuttaan vapaasti. Laakeroinnin pois jättäminen olisi aiheuttanut rullien luistamista peltirainan päällä. Luistaminen yleensä aiheuttaa tuotteeseen pituussuuntaista naarmuuntumista tai jopa pinnoitteen irtoamista.



Kuva 11. Neljän rullaparin kokoonpano halkaistuna.

Rullaparien akselien päähän jätettiin tarkoituksella tilaa, jotta alempaan akseliin voidaan sijoittaa pesälaakerin lisäksi ketjupyörä voimansiirtoa varten. Ketjupyörä kiinnitetään jokaiseen akseliin kartiokiilalla ahdistamalla. Poikkeuksena on ensimmäinen rullapari, johon kiinnitettiin kaksi ketjupyörää. Ensimmäinen rullapari ottaa voiman ketjun välityksellä sähkömoottorista, joka sijaitsee laitteen rungossa juuri ensimmäisen rullaparin alla ja välittää sen muille rullapareille erillisen ketjun välityksellä.



Kuva 12. Kasetin perusrakenne, josta toinen kylki piilotettuna.

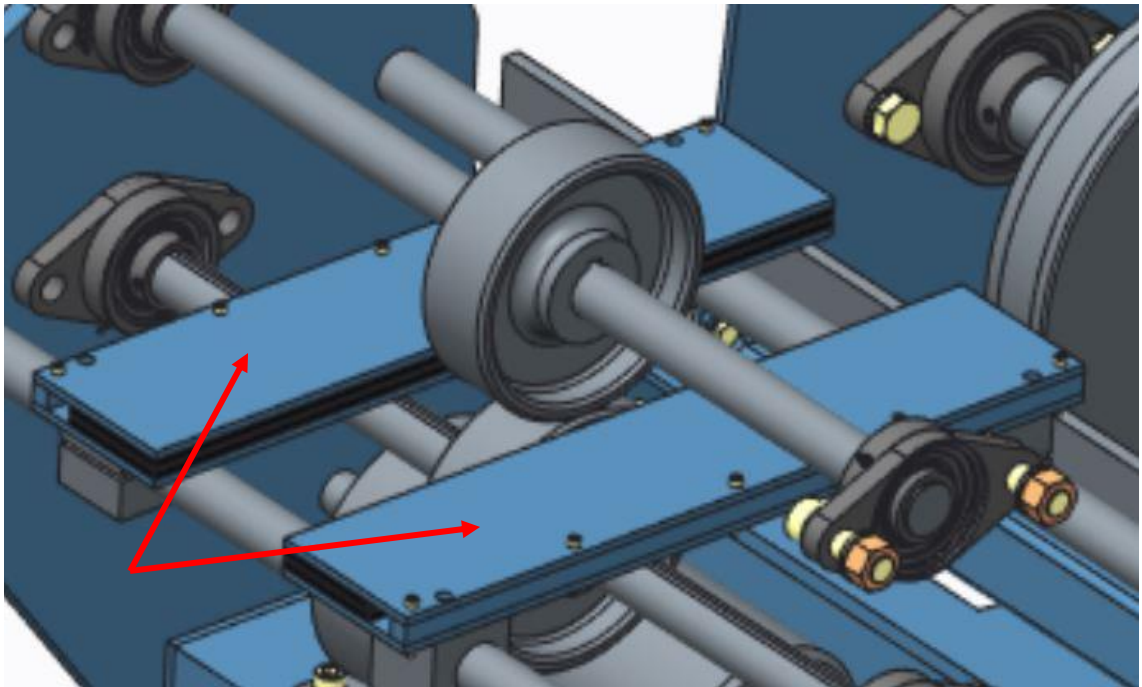
Kasetin perusrakenteen ollessa valmis siirryttiin suunnittelemaan syöttöpöytä ja sen toimintaa. Syöttöpöytä oli alun perin tarkoitus laittaa toimimaan samalla sähkömoottorilla kuin kasetti, mutta voimansiirrollisista ja ohjauksellisista syistä päätettiin syöttöpöydälle laittaa oma sähkömoottori. Laitteen toiminnan suunnittelu helpottui huomattavasti, kun molempia ei tarvitse käyttää samalla sähkömoottorilla ja näin ollen muovaavaa rullastoa voidaan ajaa rainan vielä ollessa paikallaan syöttöpöydässä.

Syöttöpöydän tehtävä on syöttää peltirainaa kasettiin ja katkaista se. Peltiraina on lattialla sijaitsevassa haspelissa, joka on huomattavasti rullastoa alempana, joten syöttöpöydän täytyy olla hieman kallellaan alas, jotta rainan kulkeminen olisi mahdollisimman sujuvaa. Kulma haettiin niin alaviistoon kuin se oli mahdollista. Liian suuressa kulmassa peltirainan syöttäminen rullastoon olisi voinut aiheuttaa vääristymiä tuotteeseen. Rainan on oltava jännitteettömässä tilassa, kun sitä aletaan muokata. Syöttöpöydän ja ensimmäisten rullien väliin jäi n. 40cm välimatka, jonka keskeltä se katkaistaan kiekkoleikkurilla. Leikkausliikkeen jälkeen kasetti lähtee vetämään mittaanleikattua peltiä sisäänsä ja syöttöpöytä odottaa kaksi sekuntia, jonka jälkeen se lähtee taas syöttämään peltiä.

Pellin syöttöön ei käy pinnoittamattomat teräsrollat. Peltiä syöttävissä vetävissä pyörissä täytyy olla jonkinlainen kumiointi tai pinnoite, joka ei riko tai jätä jälkiä valmistettavan

tuotteen pinnoitteeseen. Vetävien pyörien sorvaus ja kumiointi osoittautuivat hyvinkin kalliiksi. Sopivat pyörät löytyivät Blicklen katalogista valmiina. Blicklen valmistamissa pyörissä on valurautainen runko ja sopivan pehmeä pinnoite, jotta peltirainaan ei jää jälkiä ajon aikana. Pyörien runkoihin tarvitsi vain tehdä kierteet lukkoruuvia varten, jotta asemointi akselilla saataisiin pysymään ja tarvittaessa eri kokoiselle rainalle säädettyä. Pyörissä oli kiilaurat jo valmiina, joten ne tarvitsivat koneistaa vain akseleihin, joille pyörät sijoitetaan. Välys pyörien väliin suunniteltiin niin, että kone jaksaa vetää peltirainaa haspelista, mutta jos haspeliin tulee häiriö ja se lakkaa pyörimästä, vetävä pyörä lyö tyhjää. Tyhjää lyövä vetopyörä jää rainan nurjalle puolelle eikä riko rainan maalipinnoitetta.

Raina syötetään ohjureille, jotka ohjaavat rainan aina samaan kohtaan muovaavaa rullastoa. Ohjureiden sisään suunniteltiin ohjaaviksi laakereiksi tavallista ketjua, jotta raina kulkee mahdollisimman keveästi syöttöpöydän läpi. Ohjuri koostuu teräsloatoista, ketjuista ja huopapehmusteesta.



Kuva 13. Ohjurit, joiden välistä pelti kulkee.

Ohjurit asennetaan johteille. Ohjurit pitää voida kiristää paikalleen ja löysätä sivuttaissäätöä varten.

Leikkuri suunniteltiin aluksi ostettavan valmiina, mutta vaatimukset täyttävää leikkuria ei tahtonut löytyä, joten leikkuri päätettiin suunnitella kokonaan itse laitteeseen sopivaksi. Leikkuriin haettiin mallia jo olemassa olevista leikkureista. Leikkurin täytyy olla mahdollisimman hyvin hallittavissa. Hallittavuutta pohdittiin kolmen eri vaihtoehdon välillä, jotka olivat kiekko-, giljotiini- ja muotoleikkuri. Muotoleikkuri olisi leikannut valmista jo profiloitua tuotetta manipulaattorin päässä. Muotoleikkuri olisi vaatinut hydraulisen käytön. Hydraulikkaa ei kuitenkaan haluta käyttää, koska se koetaan sotkuiseksi mahdollisten vuotojen takia. Hydraulinen muotoleikkuri olisi leikannut valmista profiilia koneen loppupäässä, joten se ei sopinut. Jokaiselle muovattavalle profiilille olisi pitänyt suunnitella oma hydraulinen leikkuri. Jotta muotoleikkurilla tapahtuva leikkaus olisi hallittu, olisi se pitänyt olla ehdottomasti hydraulinen. Giljotiini mallinen leikkuri olisi sopinut, mutta kiekko-leikkurin käyttö, suunnittelu ja huolto koettiin helpommaksi. Giljotiini mallisen leikkurin arveltiin olevan pneumaattisena myös hieman arvaamaton, joten kiekko-leikkuri tuntui luontevimmalta vaihtoehdolta.

Koneen rungon suunnittelussa tarvitsi ottaa huomioon, että se jaksaa kantaa kasetin painon ja siihen voidaan kiinnittää tarvittavat toimilaitteet. Koneen päälle asetettava kasetti on oltava mahdollista vaihtaa. Kasetin vaihtaminen asetti hieman vaatimuksia voimansiirron suhteen. Voimansiirto päätettiin toteuttaa ketjulla. Toimilaitteiden kiinnitykset vaativat lähinnä vain reikiä pulttiliitoksia varten. Sähkömoottori tarvitsi erillisen teräslevyn rungon sisään, johon se voitiin kiinnittää pulteilla. Runko suunniteltiin 50x50x5 S235 teräsputkesta. Rungon pystytolppien alle laitettiin säädettävät jalat, jotta runko saadaan säädettyä suoraan, vaikka lattiatasossa olisi korkeuseroja.

Vastaanottoautomaatiota ryhdyttiin suunnittelemaan, kun kasetti, syöttöpöytä ja koneen runko oli suunniteltu. Vastaanottoautomaation tehtävänä on ottaa valmistettu tuote vastaan ja laskea se alla olevalle kuormalavalle. Valmiin listan painoksi jäi n. 2,45 kg, joten manipulaattoriin käy hyvin pneumaattiset toimilaitteet. Manipulaattorin tehtäväksi jää myös seurata alla olevan kuormalavan täyttymistä ja keskeyttää koneen toiminta, kun lavalla on riittävän korkea pino tuotteita. Lavaa siirretään käsin sivuttaissuunnassa, hälytykset kuitataan ja kone voi taas jatkaa valmistusta. Manipulaattorin toiminnot ovat laskea tuote alas ja jättää se pinon päälle. Teoriassa kaksi pneumaattista sylinteriä olisi riittänyt. Kuorman ja rakenteiden keveys olisi sallinut käytettävän vain yhtä sylinteriä tuotteen alas laskussa. Yhtä sylinteriä käytettäessä olisi kuitenkin suunniteltava jonkinlaiset johteet, jotta tuotteen alas lasku olisi hallitumpaa. Kahdella sylinterillä laskutoiminto on vakaa ja erillisiä johteita ei tarvita. Kolmas sylinteri suorittaa hissien avaus- ja sulkutoiminnot.

Koneensuojaimet suunniteltiin niin, että kaikkien toimilaitteiden ympärille rakennetaan teräskehikkoinen häkki, joka verhotaan riittävän pienellä silmäkoolla olevalla teräsverkolla. Häkkeihin laitetaan luukut huoltoa varten. Häkin luukkuihin sijoitetaan standardin mukaiset katkaisijat keskeyttämään koneen toiminta, jos ne avataan. Manipulaattorin suojaus tapahtuu valoverholla. Manipulaattorin toiminta olisi ollut muuten hankala suojata, joten sen toiminta-alue päätettiin eristää kokonaan. Valoverho suojaus on suhteellisen helppo toteuttaa koneen ympärille ilman, että se vaikeuttaa lavan siirtelyä ja noutoa. Koneen keskusyksikkö ja ohjaus on sijoitettu erilliseen ohjauskaappiin, jotta sen paikkaa voidaan vaihtaa tarpeen tullen.

3.3 Polttoleikkeet

Polttoleikkeet hankittiin paikallisilta yrityksiltä. Kasetin seinälevyt olivat hieman mutkikkaampia tilattavia, sillä kaikkien toimittajien konekanta ei olisi kyennyt valmistamaan ja särmäämään 4,35 metriä pitkiä levyjä. Sivulevyistä poistettiin kaikki särmäykset. Särmäykset suunniteltiin alun perin tuomaan kasetin rakenteelle tukea sivuttaissuunnassa. Särmäykset kuitenkin voitiin poistaa ja niiden tilalle päätettiin laittaa 50x50x5 rakenneteräsputkea. Muutos pudotti levyjen hankintahintaa huomattavasti. Polttoleikkeet tilattiin pääasiassa laser- ja plasmaleikkeinä. Hinnoittelussa ei tullut merkittäviä eroja, kun osat olivat helppoja valmistettavia. Laserleikkeiden leikkausjäljissä oli paikoin isojakin toimitajakohtaisia eroja.

3.4 Kokoonpano

Koneenrakennus ja -kasaus aloitettiin runkoputkien hankinnasta. Sähkökaapin rakennus ja kytkennät tilattiin ostopalveluna. Runko rakennettiin ensin sillä välin, kun polttoleikkeitä ja koneistettavia osia odotettiin. Rungon valmistaminen ei tuottanut ongelmia, koska rakenne jäi hyvinkin yksinkertaiseksi ja kaikki tarvittavat työkalut löytyivät yritykseltä itseltään. Saapuneille polttoleikkeille tehtiin silmämääräinen tarkastelu ja tämän jälkeen kokoonpanohitsaus. Hitsauksen jälkeen osat ja kokoonpanot pintakäsiteltiin maalaamalla. Väri valikoitui muiden koneiden ja laitteiden kanssa yhteensopivaksi kirkkaan siniseksi.

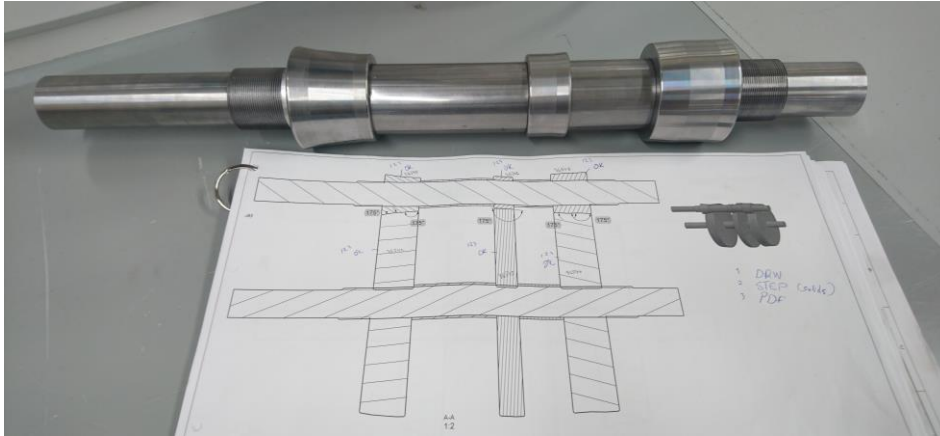


Kuva 14. Syöttöpöydän ja kasetin sivulevyt maalattuna ja hitsattuna.

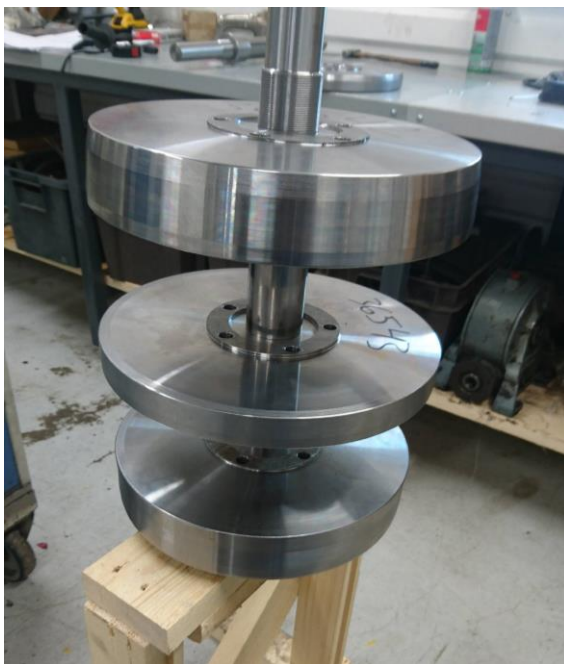


Kuva 15. Perusrakenteet pintakäsiteltynä ja kasattuna.

Akseleiden kasaukseen tehtiin rullaparikohtaiset kokoonpanokuvat. Koneistusosien toimittaja merkitsi osanumerot kappaleisiin tussilla, joka helpotti osien löytämistä ja sijoittamista omalle paikalleen. Kokoonpanoon tehtiin puusta kasausta helpottava teline. Telineen keskelle laitettiin akseli pystyyn. Pystyssä olevaan akseliin oli helppo pujottaa painavatkin rullat.



Kuva 16. Ensimmäisen rullaparin ylempi rullasto kasattuna akselille.

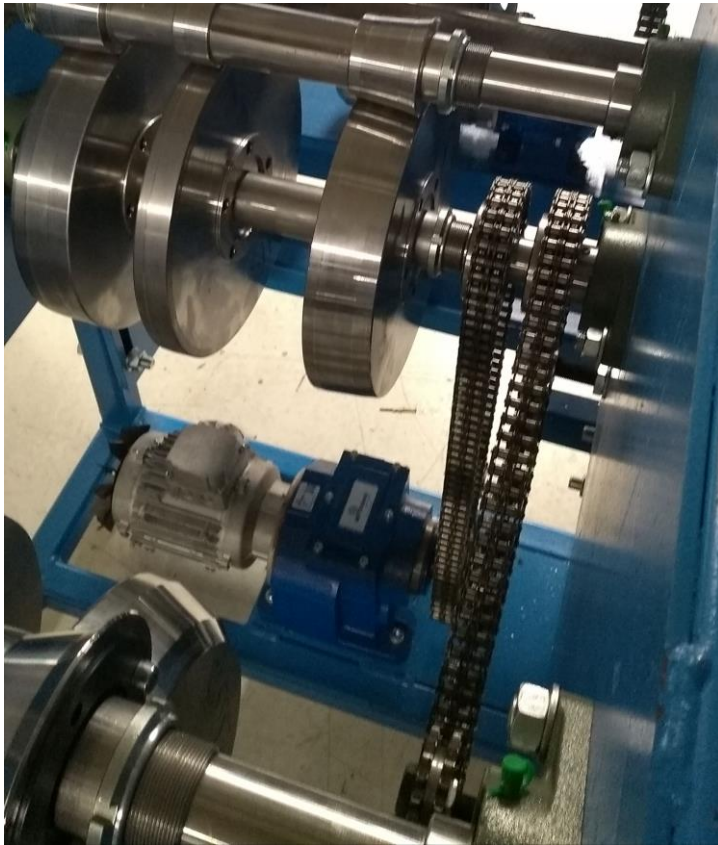


Kuva 17. Ensimmäisen rullaparin alempi rullasto kokoonpantuna akselille.

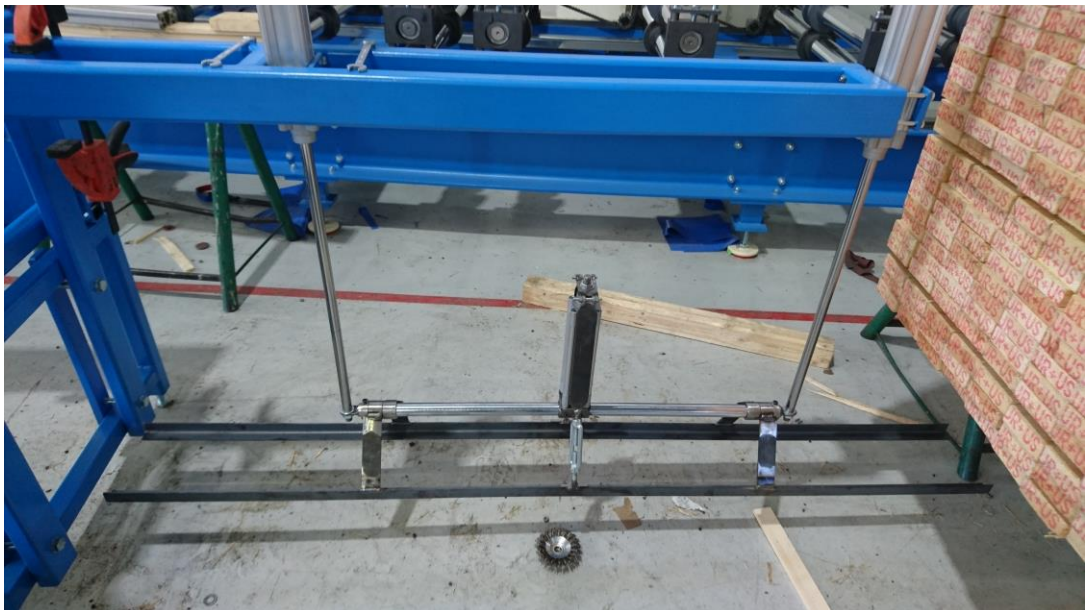
Akselistot asennettiin kasetin sisään puominosturia käyttäen. Akseliston asennus sujui jokseenkin helposti. Akseleiden pituus kasetin sisämittaaan nähden olisi voinut olla lyhyempi, sillä välykseksi oli suunniteltu 2 mm. Välyks tuntuu käyvän paikoitellen liian pieneksi ja asennuksessa piti huomioida tarkkaan, että akseli lasketaan suorassa kulmassa kasetin sisään. Hitsaus väänsi kasetin kylkiä hieman ja paksu maalikerros vähensivät välystä entuudestaan. Akselit olisivat voineet olla helposti jopa 10 mm lyhyemmät, jotta kaikki ahdistustilanteet olisi vältetty. Akselit tarttuivat koneen runkoon kiinni paikoitellen tiukastikin, jos akseli pääsi kääntymään kasetin sisällä. Rungon hitsauksessa pyrittiin mahdollisimman pieniin hitseihin, jotta hitsauksessa aiheuttamat vääntymät olisivat mahdollisimman pieniä.



Kuva 18. Rullasto asennettuna paikoilleen.



Kuva 19. Voimansiirto moottorilta kasettiin.



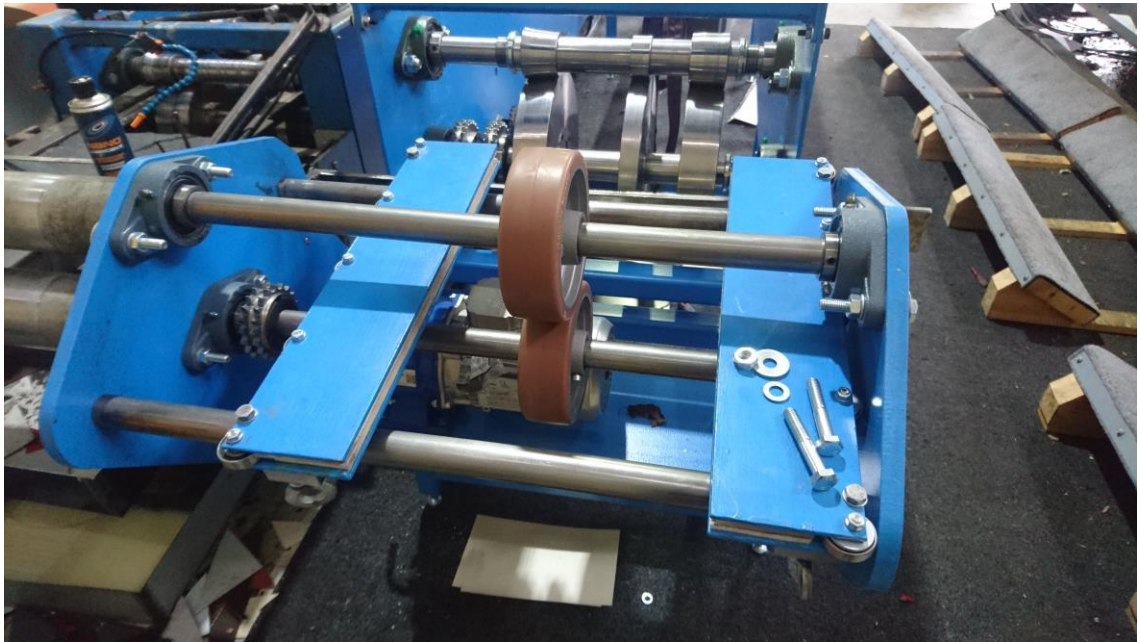
Kuva 20. Manipulaattori kasattuna ja alas laskettuna.



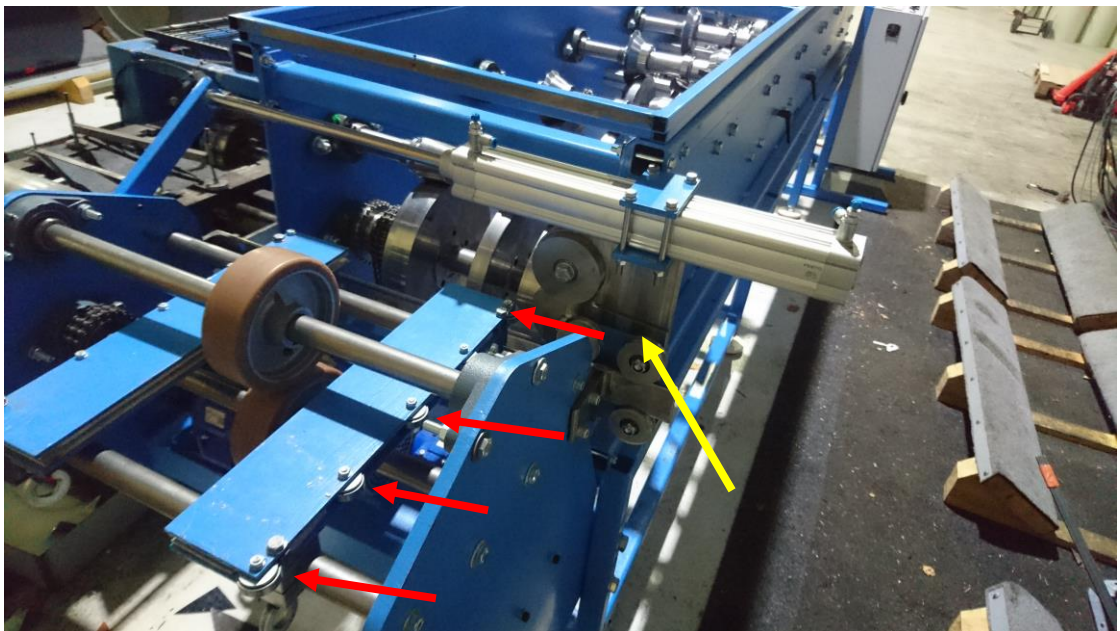
Kuva 21. Koneen sähkökaappi ja hallintalaitteet



Kuva 22. Hallintalaitteet.



Kuva 23. Syöttöpöytä kasattuna.

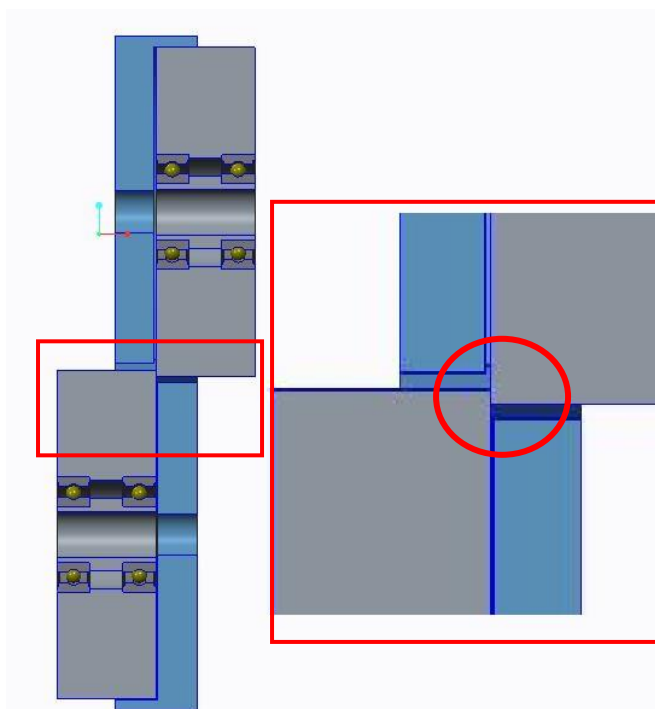


Kuva 24. Leikkuri on asennettuna. Leikkuri on merkattu keltaisella ja ohjurin laakerit punaisella nuolella.

Kaikki osat kävivät hyvin toisiinsa, joitain pieniä valmistusvirheitä oli havaittavissa. Suurin osa virheistä oli mahdollista hävittää tekemällä säätöä simmilevyjä ja -nauhaa käyttämällä. Syöttöpöydän ohjureita kehitettiin kokoonpanovaiheessa hieman. Alun perin ohjureiden sivuun piti tulla neliötanko (kuva 13, s.14) ja ohjurin sisään tankoa vasten tavalista ketjua. Ketjun tehtävä olisi ollut toimia sopivana kulutusosana ohjurin sisällä. Sopivat osat kehittelyyn löytyi sattumalta entisten projektien ylijäämä osista. Jossain aiemmassa projektissa oli tarvittu laakereita ja niihin sopivia keskiöitä. Laakerit toimivat ohjurissa erittäin hyvin ja niiden linjaus oli erittäin helppoa. Kuvassa 24 (s.33) näkyy ohjurit, joissa on erilainen toteutus, kuin alun perin oli suunniteltu tehtävän.

3.5 Leikkuri

Kiekkoleikkurin perusajatus on, että terät ovat pyöreät ja sijoitetaan toisiinsa nähden niin, että kiekot limittyvät hieman. Kiekkoleikkurin etu on, että leikkauksella ei ole maksimipituutta. Verraten kiekkoleikkuria giljotiinin malliseen, leikkauksen maksimi pituus giljotii-nileikkurilla on sen terien oma mitta.



Kuva 25. Kiekkoleikkurin kokoonpano halkaistuna ja terien asettelun suurennos. Punaisella ympyröitynä kiekkojen limitys.

Leikkuria etsittiin valmiina eri toimittajilta, mutta sopivaa leikkuria ei löytynyt. Taulukossa 2 esitettynä leikkurin vaatimuslista. Monessa hyvässä vaihtoehdossa ei kuitenkaan ollut valmiita kohtia, joista se olisi voitu kiinnittää koneeseen ja leikkuria liikuttavaan sylinteriin. Leikkurin hinta toimittajalta ostettaessa olisi jäänyt niin korkeaksi siihen nähden, että sitä olisi pitänyt vielä muokata laitteeseen sopivaksi. Leikkuri päätettiin suunnitella itse. Itse suunnittelemalla leikkuriin saatiin kaikki tarvittavat kiinnityskohdat ja geometriat. Suunnittelussa tutkittiin jo yrityksen käytössä olevia leikkureita ja niiden ominaisuuksia. Periaatteeltaan kaikki toimivat samalla tavalla, mutta leikkaavien terien koot ja geometriat poikkesivat toisistaan paikoitellen paljonkin. Kuvassa 26 (s.35) oleva leikkuri on osoittautunut hyvinkin toimivaksi, mutta terät ovat liian näkyvillä ja sormien joutumista leikkurin kitaan ei voi poissulkea kokonaan. Valmistettavan listan maksimi ainevahvuus on 0,5 mm, jolle valmistaja ilmoittaa murtolujuudeksi 461 MPa. Terien materiaalin valintaan saatiin konsultaatiota Malmin Terä Oy:ltä. Materiaaliksi valikoitui Uddeholmin valmistama Arne, joka karkaistiin HRC-asteikolla arvoon 56-58.

Taulukko 2. Leikkurin vaatimuslista

Muutos pvm.	KV, VV, T	VAATIMUS	Tärkeys
		GEOMETRIA	
	KV	ulkomitat	4
		KINEMATIikka	
	T	Pienet vierintävastukset	2
		VOIMAT	
	VV	Kokoonpanon on kestävä leikkauksen rasitukset	3
		ENERGIA	
	VV	Pneumaattisesti ohjattavissa	3
		AINE	
	KV	Kestävät materiaalit (Teräs)	4
		TURVALLISUUS	
	VV	Sormien joutuminen leikkuriin estettävä	4
		VALMISTUS	
	T	Yksinkertainen valmistettavuudeltaan	1
		TARKASTUS	
	T	Leikkauskyvyn tarkistus	4
		KÄYTTÖ	
	VV	Toimintavarma	4
		KUNNOSSAPITO	
	T	Vähän huollettavia osia, terät voitava kääntää	3

		KUSTANNUKSET	
KV		Hankintahinta alle 1000€	5

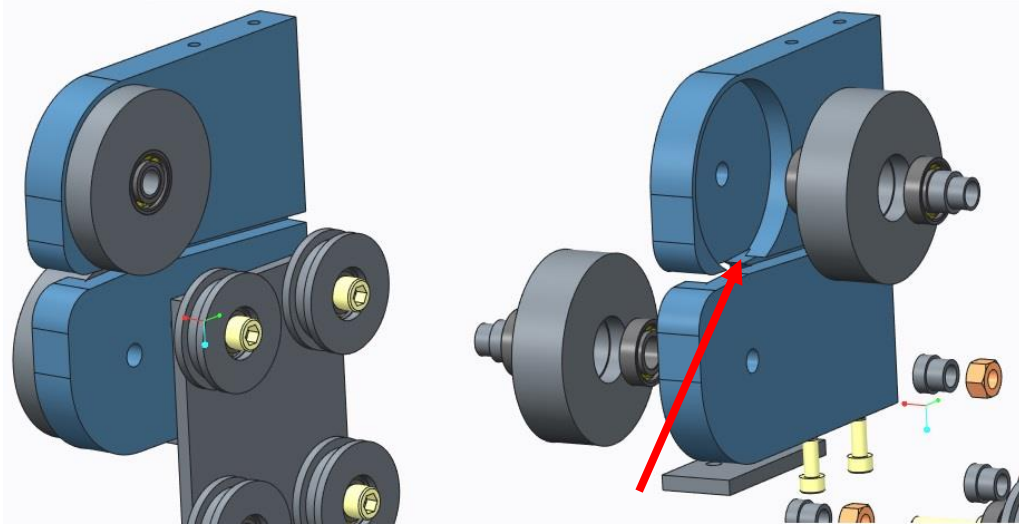
KV = kiinteä vaatimus, VV = vähimmäisvaatimus, T = toivomus



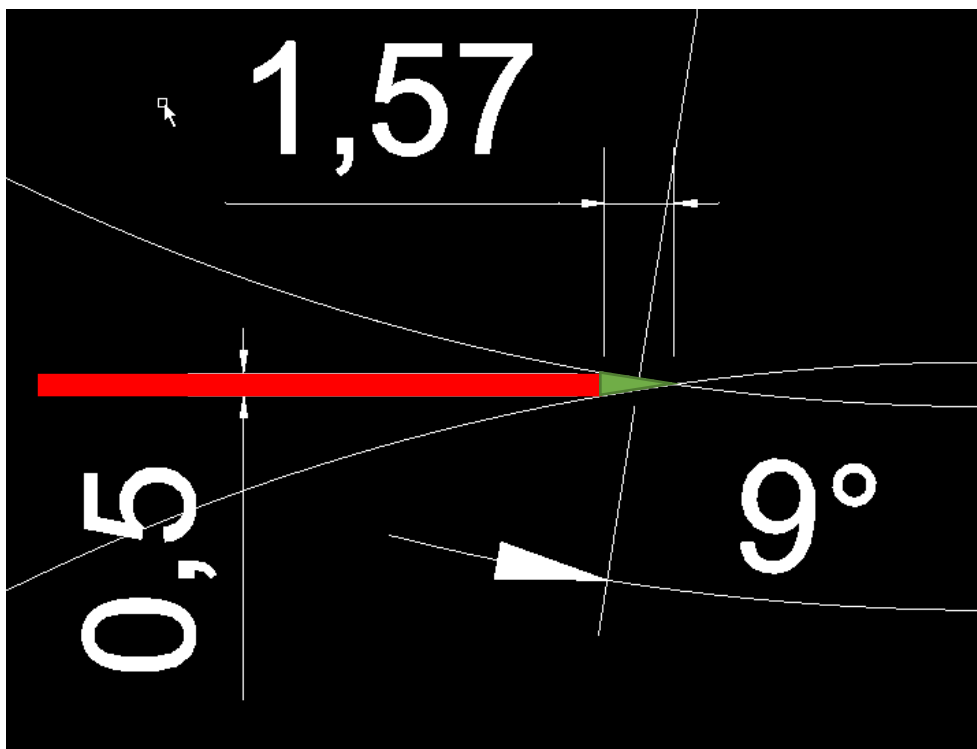
Kuva 26. Yksi yrityksen käytössä oleva leikkuri, jota käytettiin verrokkina.

Leikkurin tulisi olla mahdollisimman huoltovapaa. Huoltoa tarvitsevat kohteet leikkurissa on laakerit ja terät. Opinnäytetyöhön tulevaan leikkuriin haluttiin terät, jotka voidaan kääntää kerran ennen teroitusta. Käännettävillä terillä saatiin tuplattua leikkurin käyttöaika ennen teroitusta. Terien katsottiin kuluvan myös tasaisemmin verrattuna giljotiini malliin jossa terät kuluvat vain siltä osin, jossa leikkausta suoritetaan.

Teriksi suunniteltiin 100 mm halkaisijaltaan ja 30 mm korkeat lieriön muotoiset terät, jotka laakeroitiin keskiöstä. Terät pultataan keskiönsä läpi leikkurin runkoon kiinni. Runkoon laitettiin kiinnityskohdat johteelle ja sylinterille. Leikkuri on laakeroituna johteelle, joka sijaitsee suoraan leikkurin alla. Leikkurin kidassa käytettiin suurta pyöristystä, jotta pellin ohjautuminen sinne olisi helppoa. Kuvassa 26 leikkurin kiekot ovat varsin hyvin esillä. Terien selkeä sijoittelu helpottaa leikkurin huoltoa. Terien sijoittelu kuitenkin sisältää riskin, jossa huoltoa suorittavan henkilö voi leikata sormeensa. Verrokkina käytetty leikkuri oli varsin isokokoinen ja vastaavan sovittaminen opinnäytetyöhön olisi ollut hankalaa.



Kuva 27. Leikkurin kokoonpano ja räjäytyskuva. Leikkaustapahtuma sijaitsee punaisen nuolen kärjessä leikkurin sisällä.



Kuva 28. Leikkauksen geometriaa. Kuvaan punaisella merkattuna leikattava pelti ja vihreällä merkattuna leikkaantuva-alue.

Kuvan 28 kaaret ovat terien ulkokehät. Terän keskiöstä on 9°:n kulma leikkauksen keskelle. Leikattava pelti on merkattu punaisella ja leikattava pinta-ala vihreällä. Leikkaukseen tarvittava voima nousee leikkauksen alusta, kunnes leikkauksen eteneminen on saavuttanut levyn enimmäispaksuuden. Leikkaukseen tarvittavan voiman laskennassa ei huomioida leikkauksessa- tai laakeroinneista syntyviä kitkoja. Leikkaukseen tarvittavaa voimaa laskettiin seuraavasti.

Toimittajan ilmoittama teräksen murtolujuus (R_m) = 461 MPa

Terien kitaan jäävä leikattava pinta-ala = 0,25mm x 1,57mm = 0,39mm²

Leikkautumiseen tarvittava voima = 0,39mm² x 461 N/mm² = 181 N

Voima on laskettu aavistuksen suuremmaksi. Todellinen voima on pienempi, sillä leikattava pinta-ala on laskettu suorakaiteena, vaikka leikkurin terän kaari pienentää leikattavaa pinta-alaa. Leikkurin työntämiseen tarvittava voima tarkistetaan.

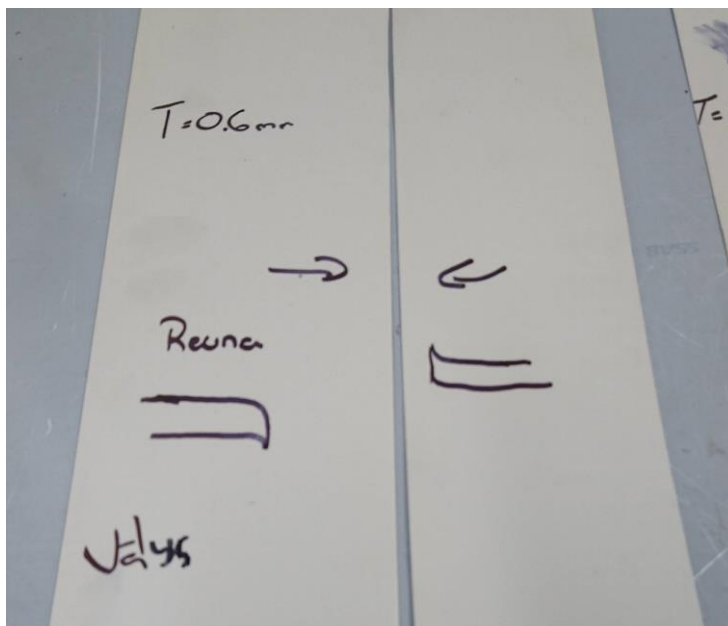
$\sin(9) \times 181 \text{ N} = 28,3 \text{ N}$

Leikkuri pystyy luomaan huomattavan suuren leikkaavan voiman suhteellisen pienellä työntämisellä, joten sen käyttö onnistuu mainiosti pneumaattisella sylinterillä. Leikkurin käyttö haluttiin ehdottomasti pneumaattisesti, koska leikkauksessa tarvittavat voimat jäävät suhteellisen pieniksi. Hydraulikan käyttö leikkurissa haluttiin jättää pois, koska hydraulikka koettiin sotkuseksi ja liian hitaaksi.

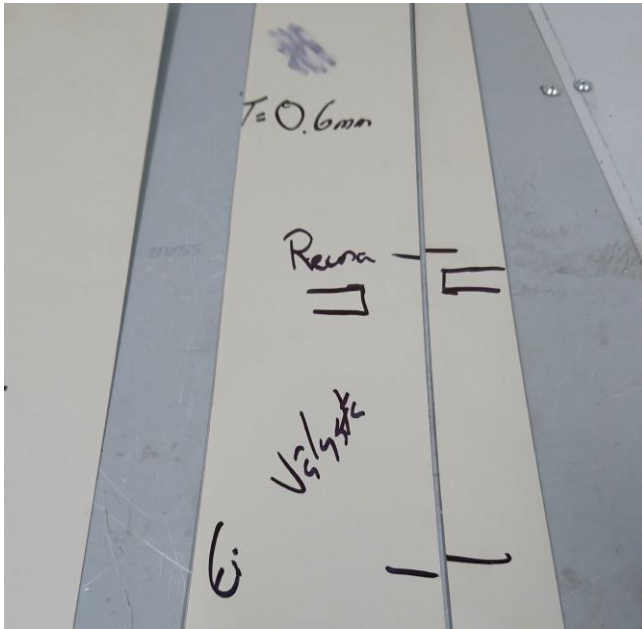
Osien saapuessa leikkuri kokoonpantiin ja toimintavällys säädettiin simmileyvyillä. Leikkurin ensimmäinen koeajo tehtiin kiinnittämällä se ruuvipenkkiin ja jättämällä terien väliin pieni vällys. Pellin reuna jäi kuitenkin teräväksi, joten toinen koeajo suoritettiin ilman välystä. Leikkurin säätö välyksettömäksi antoi juuri toivotun tuloksen, jossa reuna ei muotoutunut tai jäänyt erityisen teräväksi.



Kuva 29. Leikkuri kokoon pantuna. Leikkaautuminen tapahtuu leikkurin rungon sisällä. Leikkaantunut pelti ohjautuu uraa myöden ulos leikkurista.



Kuva 30. Pellin reunan muoto vällyksen kanssa ainevahvuudella 0,6mm.



Kuva 31. Pellin reuna jäi väljysettömänä suorakulmaiseksi.

Koeajot suoritettiin leikkurille tarkoituksenmukaisesti 0,6 mm:n ainevahvuudella, jotta voidaan olla varmoja leikkurin soveltuvuudesta pienemmille paksuuksille.

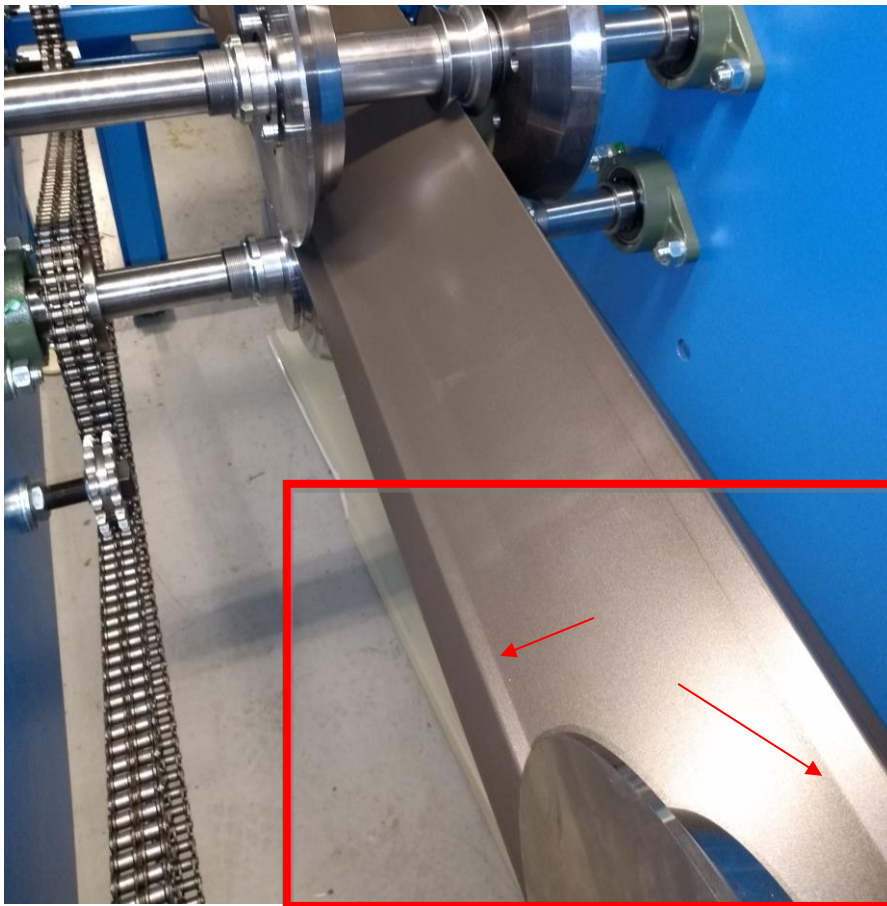


Kuva 32. Leikkuri paikalleen asennettuna ja koe ajossa.

Leikkurin toiminnassa ei havaittu poikkeamaa sen ollessa asennettuna omalle paikalleen. Koeajo suoritettiin liikuttamalla leikkuria käsin. Syöttöpöytä kykeni pitämään rainan paikallaan leikkauksen aikana, joten leikattava reuna jäi suorakulmaiseksi.

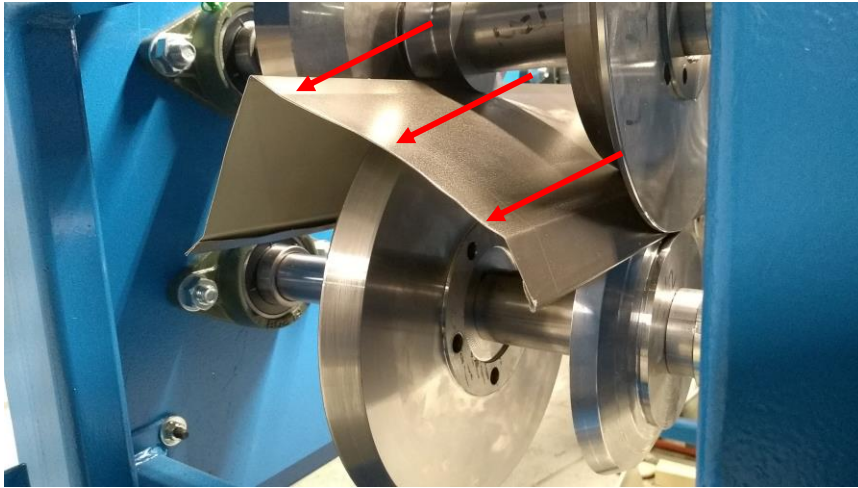
3.6 Koeajo

Toiminnan kannalta tärkeimpien komponenttien ollessa asennettuna ja linjattuna, laitetta koeajettiin pyörittämällä sähkömoottoria sen perässä olevasta tuulettimesta. Tuulettimesta pyörittämällä voitiin linjaa ajaa hallitusti ja välttää vaaratilanteet. Projektin jatkon kannalta tässä vaiheessa koeajon suorittaminen koettiin tärkeäksi, jotta toiminnasta voitiin olla varmoja. Tuotteita ajettiin ensin kolme. Koevedoksissa oli erilaisia poikkeamia pituussuunnassa. Poikkeamat olivat mm. erilaisia ns. haamutaivutuksia ja pituussuuntaista käyristymää.



Kuva 33. Pituussuuntaisia ylimääräisiä taivutuksia.

Listaan syntyi pituussuuntaisia taivutuksia, jotka johtuivat testirainan ollessa liian leveä. Suunnittelussa ei otettu huomioon riittävän hyvin toleranssia rainan leveyden suhteen. Ylimääräiset taivutukset tulivat, kun peltiin kohdistui sivuttaissuunnassa voimia, jotka aiheuttivat listaan puristusjännitystä. Puristusjännitykset keskittyivät listan suorille osille (Kuva 34) ja saivat listan taipumaan. Taipunut pelti osui pienessä kulmassa taivuttavan rullan nurkkaan, joka teki pientä taivutusta.



Kuva 34. Listan käyristynyt sivu.



Kuva 35. Kuvioon merkittynä ahdas ura.

Ongelma ratkaistiin sorvaamalla alarullaston rullia hieman kapeammaksi, jotta pelti mahtuisi kulkemaan ilman sivuttaisjännityksiä.



Kuva 36. Lista muutostöiden jälkeen.

Rullia sorvaamalla pystyttiin poistamaan kaikki ylimääräiset taivutukset listan profiilista. Listaan kuitenkin jäi pituussuuntainen vääristymä. Tarkoittaen että tasaiselle alustalle laitettaessa listan sivut olivat käyrät ja niiden päädyt nousivat n. 5 mm ilmaan. Tuote ei ole vielä valmis tuotantoon. 90°:n päätaivutus oli suora ja hyväksyttävä. Käyristymän aiheutti listan molemmissa päissä olevien 180°:n taivutusten liian nopea teko. Liian nopeasti taivuttamalla pelti venyi. Venyminen johti listan vääristymän syntyyn.

4 Pohdinta

Opinnäytetyö keskeytettiin, koska helmojen pituussuuntainen taipuma koettiin hankalaksi korjata ja projektilla ei ollut enää riittävästi resursseja sen tekemiseksi. Pituussuuntainen vääristymä olisi ollut mahdollisesti korjattavissa sijoittamalla kasetin sisään lisää pienempiä yksittäisiä rullapareja taivuttamaan listan sivuilla olevia 180°:n taivutuksia. Pienempien rullaparien lisääminen kuitenkin olisi vaikuttanut taivutusta pääasiallisesti

tehneiden rullien sijoitteluun ja geometriaan. Toimeksiantaja päätyi rullaston uudelleen-suunnittelun kannalle, joka on seuraava vaihe. Uudelleensuunnittelun jälkeen on rullasto vaihdettava, linjattava, koeajettava ja koneen suojukset asennettava paikalleen.

Tiesin heti alussa, että työ tulee olemaan erittäin iso ja haastava, varsinkin yhden henkilön tehtäväksi. Haastavuutta lisäsi erityisesti rullaston suunnittelussa käytettävän ohjelmiston puuttuminen ja aikataulujen pettäminen. Aikataulut menivät pieleen, kun toimittaja ei kyennyt toimittamaan osia sovituksessa ajassa. Osat piti toimittaa alku kesästä 2017, jolloin pystyin aktiivisesti konetta rakentamaan. Viimeisetkin osat saapuivat vasta myöhään syksyllä, jolloin olin siirtynyt jo toisen työnantajan palvelukseen ja rakentaminen tapahtui sunnuntaisin.

Listan helmojen käyryys olisi voitu vielä korjata lisäämällä taivuttavia rullia kasetin sisään, mutta aikaa ei yksinkertaisesti enää ollut käytettävissä ja sunnuntaityö alkoi tuntua pitkässäjuoksussa hyvinkin raskaalta. Jos kaikki sorvatut osat olisivat olleet saatavilla sovituksessa aikataulussa, olisi ollut enemmän aikaa korjata helmojen taivutusta.

Työ oli todellakin kannattava ottaa vastaan, vaikka se kesken jäikin. En keksi toista työtä, josta olisin saanut näin valtavasti tietoa koneenrakennuksesta, toimittajista, valmisosista ja automaatiosta. Työn jälkeen minulle jäi paljon kontakteja eri alojen ammattilaisiin. Työlle annettiin määrärahasi 25 000€, jonka alle päästiin. Budjetissa pysyminen oli suurin haaste, sillä jotkin toiminnot ja ratkaisut oli tehtävä sen mukaan, että annettu määräraha riittää toteuttaa kaikki osa-alueet koneesta.

Lähteet

- Kivivuori, S. 2004. Muokkaustekniikan perusteet. Teknillinen korkeakoulu. ISSN 1455-2329
- Pahl, G & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Rapinoja, J-P. 2015. Koneenrakentajan tärkeimmät standardit. Helsinki. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys METSTA ry. 17.3.2017
https://www.sfs.fi/files/8057/Koneenrakentajan_tarkeimmat_standardit.pdf
- Suomen Standardisointiliitto SFS ry; Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys METSTA ry. 2017. Koneturvallisuusstandardit. Helsinki. 19.3.2017
https://www.sfs.fi/files/1478/koneturvallisuusstandardit2017_web.pdf
- Tuomaala, J. 1995. Luova koneensuunnittelu. Tampere. ISBN 951-9004-62-9