



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# TELANHITSAUSKONEEN SUUNNITTELU

Lauri Palm

Opinnäytetyö  
Elokuu 2019  
Konetekniikan koulutusohjelma  
Tuotekehitys



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan koulutusohjelma  
Tuotekehitys

PALM, LAURI:  
Telanhitsauskoneen suunnittelu

Opinnäytetyö 27 sivua, joista liitteitä 1 sivua  
Elokuu 2019

---

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin Power Tech Group Oy:lle pyörityslaitte telojen hitsausta varten. Idea pyörityslaitteen rakentamiseen tuli tuotannon työntekijän aloitteesta.

Power Tech Group Oy on kotkalainen, vuonna 1983 perustettu tilauskonepajayritys. Yrityksen palveluihin kuuluvat vaativat koneistus-, levytyö- ja kokoonpanotehtävät. Yrityksellä on toimintaa kolmella paikkakunnalla neljässä eri toimipisteessä.

Tavoitteena oli tehostaa telojen hitsausprosessia, vähentää telojen valmistukseen tarvittavien työvaiheiden määrää ja näin ollen lyhentää telatilausten läpimenoaikoja.

Tela koostuu useimmiten kolmesta eri osasta: S355 ainesputkesta sekä kahdesta haponkestävästä päätyosasta. Osat liitetään toisiinsa hitsaamalla. Teloja on kymmeniä erilaisia, joten pyörityslaitteen suunnittelun kannalta oli tärkeää miettiä rakenne sellaiseksi, että yhdellä laitteella pystytään hitsaamaan erilaisia teloja ja muita pyörähdyskappaleita mahdollisimman monipuolisesti.

Tämänhetkiselällä menetelmällä telojen hitsauksessa on muodostunut ongelmaksi se, että osat vaativat tarkan esikoneistuksen ennen hitsausta sekä useita eri koneistustyövaiheita hitsausvaiheen jälkeen. Tämä puolestaan pitkittää telojen läpimenoaikaa tuotannossa. Uusi laite mahdollistaa osan telamalleista hitsaamisen jopa täysin ilman esikoneistusta.

Suunnittelutyö alkoi reunaehtojen määrittämisellä sekä ostokomponenttien valinnalla. Mallinnus ja valmistuspiirustukset tehtiin SolidWorks 2017 -suunnitteluohjelmistolla.

Laite otetaan käyttöön elokuussa 2019, joten raportin kirjoitushetkellä ei ole todellista näyttöä siitä, päästiinkö tuloksiin. On kuitenkin erittäin todennäköistä, että laitteella saadaan parannettua telojen tuotantoprosessia.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical Engineering  
Product Development

**PALM LAURI:**  
Designing a Roller Welding Machine

Bachelor's thesis 27 pages, appendices 1 page  
August 2019

---

The purpose of this thesis was to design a rotary positioner machine for roller welding at Power Tech Group Oy. The idea for making this kind of rotary machine came from an initiative of a production worker.

Power Tech Group Oy is a company headquartered in Kotka, Finland. The company specializes in demanding machining, welding and assembly services. Power Tech Group Oy was founded in 1983 and has four factories in three different cities.

The goal was to make the roller welding process more efficient and to reduce the overall number of work phases required to produce the rollers, thus shortening the turnaround time of the rollers.

A roller typically consists of three parts: a hollow structural steel middle section and stainless steel end parts. The parts are welded together. However, there are several different types of different variations in the rollers, so it was important to design the structure so that the machine can be used to weld as many kinds of rollers and other rotating pieces as possible

The problem in the current production method is that the parts need a very precise pre-machining before the welding phase and multiple machining phases after the welding. This makes the turnaround time of the rollers longer. In the best case scenario the new machine could even render the pre-machining phase useless, at least with some of the roller types.

The design work began by determining the boundary conditions and selecting the store bought components. Modeling and manufacturing drawings were made with SolidWorks 2017 design software.

Roll production with the new machine starts in August 2019, therefore there's no real reference to if the financial goals were met. However it is very likely that the machine will affect the production in a positive way.

---

Key words: design, planning, cad, solidworks, welding, machining, roller

**SISÄLLYS**

1	JOHDANTO.....	6
2	YRITYS.....	7
3	TEORIA .....	8
	3.1 Tuotekehitys.....	8
	3.2 Investointi .....	8
4	SUUNNITTELU .....	10
	4.1 Reunaehdot .....	10
	4.2 Runko.....	11
	4.3 Telan päätyosien kiinnitys .....	14
	4.4 Moottorin ja vaihteen mitoitus.....	15
	4.5 Itsekeskittävä puristin .....	21
5	POHDINTA.....	25
	LÄHTEET.....	25
	LIITTEET .....	27

**ERITYISSANASTO**

CAD	Computer Aided Design
S355	Rakenneteräs, jonka myötölujuus on 355 MPa
Investointi	Pääoman tai maaperän hankintaa tuotantoa varten
Investoinnin pitoaika	Taloudellinen käyttöaika, joka investointihyödykkeellä on
Diskonttaus	Tulevaisuuden rahavirran nykyarvon laskeminen
AC	Alternative Current (Vaihtovirta)
Hitausmomentti	Pyörimisliikkeessä olevan kappaleen massan pyörähdysakselille aiheuttama momentti. Mitä suurempi kappaleen hitausmomentti on, sitä suurempi momentti vaaditaan, jotta kappale saadaan kiihtymään halutulla kulmakiihtyvyydellä

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Power Tech Group Oy:lle pyörityslaitte telojen hitsaukseen. Laitteella on tarkoitus nopeuttaa telojen ja muiden vastaavien pyörähdysymmetristen kappaleiden hitsausprosessia. Laitteen perusideana on kaksi samankeskeistä sorvinpakkaa, joihin telan päätyosat kiinnitetään, sekä kaksi puristinta jotka keskittävät telaputken samaan keskiöön päätyjen kanssa halkaisijasta riippumatta.

Suunnittelutyöhön kuului paljon erilaisten vaihtoehtojen pohtimista ja osa vaihtoehtoista päätyi suunnittelupöydälle asti. Työllä ei ollut kriittistä aikataulua, joten aikaa erilaisten ratkaisujen miettimiselle oli riittävästi, ja esimerkiksi telaputken kannattimesta ehdittiin tehdä kaksi CAD-mallia ennen lopullisen idean muodostumista.

Opinnäytetyössä käsitellään tuotekehityksen, investointilaskelmien sekä tietokoneavusteisen suunnittelun teoriaa ja laitteen suunnittelutyötä mekaniikan osalta. Pääkomponenttien valintaa lukuun ottamatta sähkö- ja automaatio suunnittelua ei tässä raportissa käsitellä, eikä myöskään itse laitteen valmistusprosessia.

## 2 YRITYS

Power Tech Group Oy on Kotkan Kaarniemeen vuonna 1983 perustettu tilauskonepaja. Yrityksellä on Kotkan Kaarniemessä sijaitsevan 6000m<sup>2</sup> toimipisteen lisäksi varasto- ja kokoonpanotilaa Kotkan Hietasen satamassa, sekä konepajat Savonlinnassa sekä Tohmajärvellä. Savonlinnan yksikkö on erikoistunut suurten kappaleiden jysintöihin.

Tohmajärven yksikkö, entinen MFG Components Oy, siirtyi liiketoimintakaupan seurauksena Kesla Oyj:ltä Power Tech Groupille vuoden 2017 lopulla, tuoden mukanaan laajan valikoiman pienempiä (500 mm pyörintähalkaisijaan asti) koneita, n. 40 työntekijää sekä ensimmäistä kertaa Power Technin historiassa oman tuoteperheen (akselikytkimet).

Power Tech -Group tarjoaa asiakkailleen muun muassa seuraavanlaisia palveluita:

- levy- ja hitsaustyöt
- CNC-koneistus
- hammastus
- konepajamittaukset (koordinaattimittakone 2000 x 3300 x 1500 mm)
- kokoonpanot, koeajot ja koeponnistukset
- varastointi- ja logistiikkapalvelut

Yritys on tilauskonepaja, jonka pääasiallinen liiketoiminta koostuu sopimusvalmistuksesta. Asiakas toimittaa piirustukset, joiden mukaan tuotteet valmistetaan.

Asiakaskunta on laaja, pienistä yrityksistä aina suuriin monikansallisiin toimijoihin. Asiakkaita on useilta eri teollisuudenaloilta, esimerkiksi paperi-, metsä-, energia-, merenkulku- ja offshore-sektoreilta.

Asiakkaiden tilaamien töiden työmäärät vaihtelevat laajalla skaalalla parista tunnista useiden kuukausien projekteihin.

## 3 TEORIA

### 3.1 Tuotekehitys

Tuotekehityksellä tarkoitetaan useimmiten koko prosessia konseptivaiheesta uuden tuotteen markkinoille saattamiseen asti. Uusien tuotteiden tai palveluiden kehitys lähtee useimmiten asiakastarpeesta, mutta joskus tuotteita tai toimintamalleja kehitetään tai parannetaan myös yrityksen oman tuottavuuden kehittämiseksi. (Kahn 2012.)

Tuotekehityksessä voi olla kyse täysin uuden tuotteen suunnittelemisesta tai olemassa olevan tuotteen edelleen kehittamisestä niin, että tuotteesta tulee teknisesti aikaisempaa parempi ja/tai valmistuskustannuksiltaan halvempi. Tehtävänä voi myös olla jonkin tunnetun järjestelmän sovittaminen toiseen tarkoitukseen. Tällöin joudutaan yksittäisiä osia suunnittelemaan uudestaan, mutta ratkaisuperiaate säilyy entisenä, eikä tavoitteena ole täysin uuden tuotteen suunnitseminen. Tuotekehitysprosessi käsittää tuoteidean etsimisen, kehitysnäkymien, markkinoiden ym. tuotekehityshankkeen käynnistämiseen tarvittavien tietojen selvittämisen, varsinaisen tuotteen luonnostelun, yksityiskohtaisen suunnittelun, optimoinnin, työpiirustusten tekemisen, käyttöohjeiden laatimisen sekä tuotantomenetelmien kehittämisen. (Jokinen 2010.)

### 3.2 Investointi

Investoinneilla on merkittävä liiketaloudellinen rooli, sillä ne saattavat ratkaista koko yrityksen tulevaisuuden. Oikea-aikainen investointi on vienyt yrityksiä kansainväliseen menestykseen ja epäonnistunut tai väärin ajoitettu investointi on vastaavasti kaatanut lukuisia yrityksiä.

Investoinnin huolellinen suunnittelu ja eri vaihtoehtojen puntarointi ovat erittäin tärkeässä asemassa, sillä suunnitteluvaihe määrittää kustannukset. Toteutusvaiheessa on kustannuksia säästäviä muutoksia vaikeita toteuttaa. Toteutusvaiheessa pääpaino kannattaa kiinnittää siihen, että investointi valmistuu suunniteltuna ajankohtana. Tämä varmis-



tetaan parhaiten ostamalla tuote paikoilleen asennettuna sekä koekäytettynä ja viivästyksestä aiheutuu sakko toimittajalle. Yrityksen omana työnä tehty investointi ei välttämättä valmistu ajallaan, eikä myöhästymissakkoja voi periä keneltäkään. (Yritystulkki, 2018.)

Investointilaskelma on investoinnin pitoajalle ulottuva laskelma, jolla pyritään selvittämään investoinnin järkevyyttä ja kannattavuutta.

Erityisesti investointilaskelmien tarpeellisuus tulee esille silloin, kun investointivaihtoehtoja on useita ja ne pitää asettaa paremmuusjärjestykseen. Laskelmien tekeminen on myös liiketoimintamielessä järkevää. Laskelmia tehtäessä joudutaan kiinnittämään huomiota toteutuskustannuksiin, saattaviin tuottoihin ja rahoitusvaihtoehtoihin. Tämä tarkastelu saattaa johtaa alkuperäistä ajattelumallia parempaan lopputulokseen.

Mitä suuremmasta investoinnista on kysymys, sitä enemmän on panostettava tietojen keräämiseen. (Yritystulkki, 2018.)

Pääpiirteittäin investointilaskentaan käytetään kahta tai useampaa seuraavista viidestä investoinnin laskentamenetelmästä:

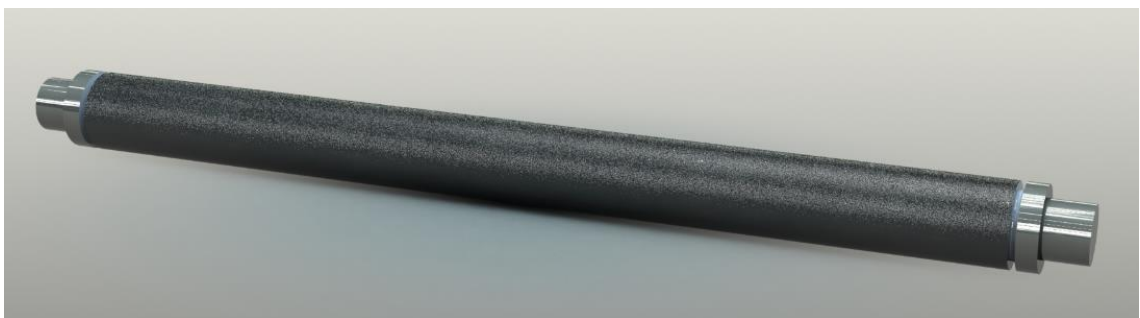
- *Nykyarvomenetelmä*, jossa tuotot ja kulut diskontataan nykyhetken valitulla korkokannalla laskettuna.
- *Annuiteettimenetelmä*, jossa nykyhankintameno jaetaan pitoaikaa vastaaville vuosille yhtä suuriksi pääomakustannuksiksi.
- *Sisäisen korkokannan menetelmä*, jossa tutkitaan investoinnin tuottamaa korkokantaa. Korkokanta ilmoittaa kuinka monta prosenttia yhden vuoden korko on pääomasta. Jos korkokanta on suurempi kuin tavoite, on investointi kannattava toteuttaa. Toisin sanoen investoinnista kertyvien nettotuottojen nykyarvo on vähintään perushankintakustannuksen suuruinen.
- *Pääoman tuottoastemenetelmä*, joka on hieman yksinkertaistettu malli sisäisen korkokannan menetelmästä.
- *Takaisinmaksuajan menetelmä*, yksinkertainen tapa jolla selvitetään kuinka nopeasti investoinnin yhteenlasketut nettotuotot maksavat investoinnin takaisin eli ylittävät perushankintakustannukset.

## 4 SUUNNITTELU

### 4.1 Reunaehdot

Laitteen suunnittelutyö alkoi reunaehtojen määrittämisellä:

1. Laitteella on tarkoitus pystyä pyörittämään erikokoisia teloja ja muita vastaavanlaisia pyörähdyskappaleita (kuva 1). Teloista suurimmat ovat halkaisijaltaan n. 160 mm ja painavat n. 130 kg. Pituutta pisimmillä teloilla on n. 2500 mm.
2. Laitteeseen on saatava kiinnitettyä putki ja siihen hitsattavat päätyosat niin, että osat ovat aina samassa keskiössä riippumatta halkaisijasta.
3. Hitsausprosessia ajatellen laitteessa tulee olla portaaton tai lähes portaaton pyörimisnopeuden säätö. Pyörimisnopeuden tulee olla noin 0-7 1/min. Pyörimisnopeuden säädön tulee toimia riittävän tarkasti myös lähellä nollaa. Pyörimissuuntaa tulee myös pystyä muuttamaan.
4. Runko on mitoitettava niin, että se kestää koneeseen kiinnitettävien kappaleiden massan sekä mahdollistaa ergonomisen työskentelyasennon.



KUVA 1. Havainnollistava kuva hitsausvalmiista telasta

Määriteltyjen reunaehtojen perusteella pystyttiin aloittamaan varsinainen suunnittelutyö. Suunnittelu aloitettiin laitteen rungosta, jonka ympärille alettiin rakentamaan muuta kokonaisuutta. Päätyosien kiinnitykseen paras ratkaisu on sorvin pakka. Käyttävä pakka on kiinteästi kiinni rungossa, mutta jotta mahdollistetaan eripituisten telojen kiinnitys lait-

teeseen, on toisen pään pakkaa mahdollista liikuttaa laitteen pituussuunnassa lineaarijoh-teilla kulkevalla kelkalla. Ainesputken kiinnittämiseen tarvitaan itsekeskittävä puristin, joka mahdollistaa ainesputken samankeskeisen kiinnityksen sorvinpakkoihin nähden no-peasti ja riittävän laajalla halkaisija-alueella. Puristimia tarvitaan kaksi kappaletta, ja myös niitä on mahdollisuus liikuttaa lineaarijoh-teilla laitteen pituussuunnassa.

Koneen voimanlähteenä toimii taajuusmuuttajaohjattu vaihdemoottori. Moottorin pyöri-misnopeus ja vääntömomentti saadaan säädettyä sopivaksi kierukkavaihteen sekä hih-navälityksen avulla.

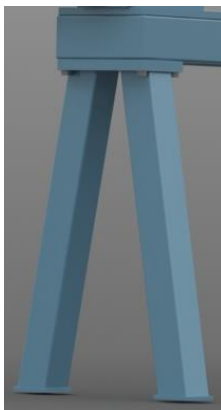
## 4.2 Runko

Runko suunniteltiin kevyeksi, mutta tukevaksi. Runko rakentuu 120x60x3 –putkipal-keista, erivahvaisista levyistä ja lattatangoista. Osat liitetään toisiinsa hitsaamalla. Run-gon toiseen päähän suunniteltiin kiinteä pukki vaihdemoottorin ja pakan laakereiden kiin-nitystä varten (kuva 2).



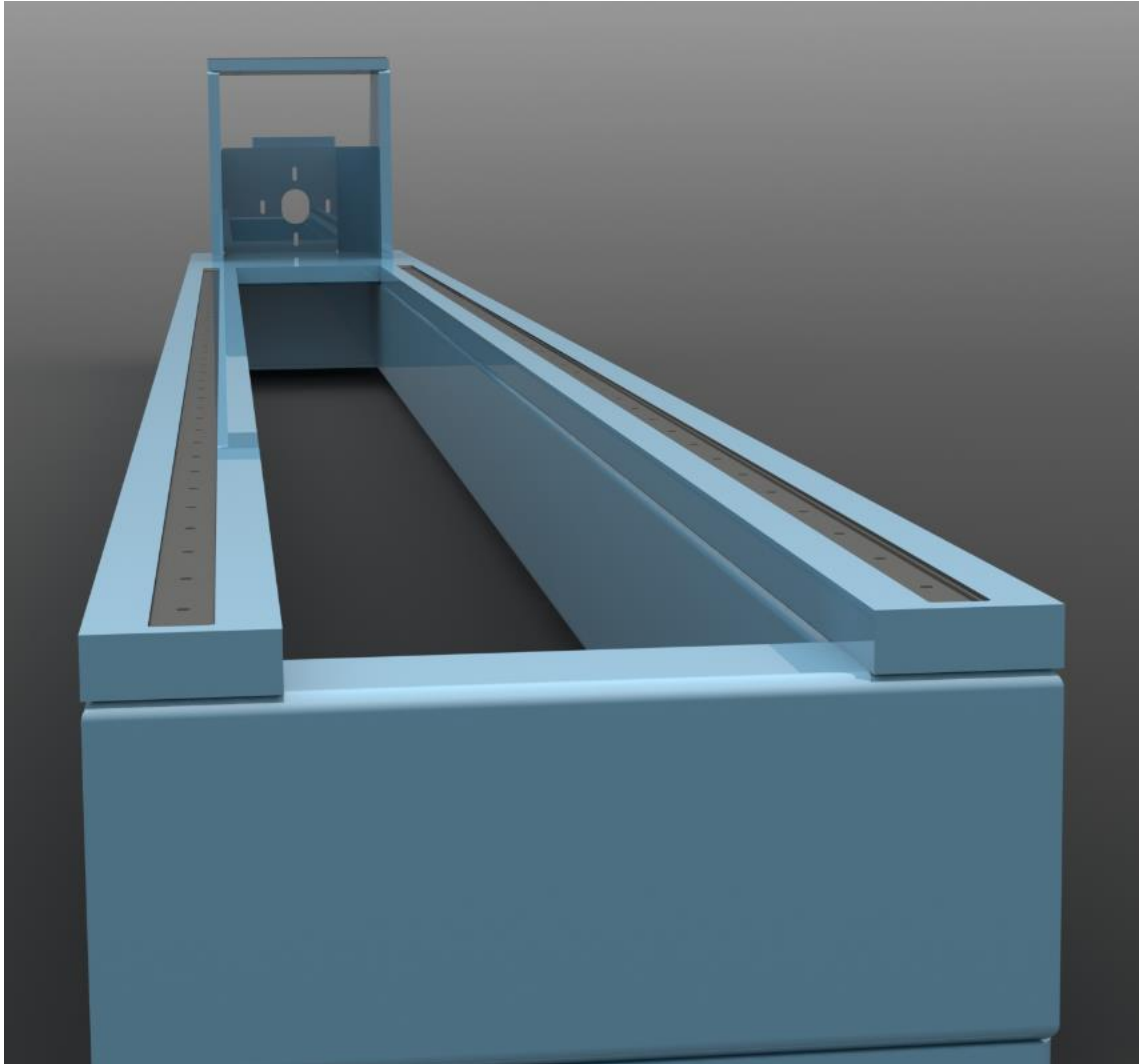
KUVA 2. Rungon sivuprofiili

Jalat päätettiin kiinnittää ruuviliitoksella, jotta ne pystytään tarpeen vaatiessa vaihtamaan helposti esim. toisen pituisiin (kuva 3).



KUVA 3. Jalat kiinnitettynä runkoon

Lineaarijohteita varten runkoon suunniteltiin urat valmistajan määrittelemien suunniteluohjeiden mukaisesti (kuva 4).



KUVA 4. Urat lineaarijohteita varten.

Lineaarijohteiden toiminnan kannalta keskeinen asia on urien yhdensuuntaisuus. Valitulle kiskolle valmistaja on määrittänyt ohjauspintojen väliseksi maksimiyhdensuuntaisuustoleranssiksi 0,025 mm (HIWIN, 33).

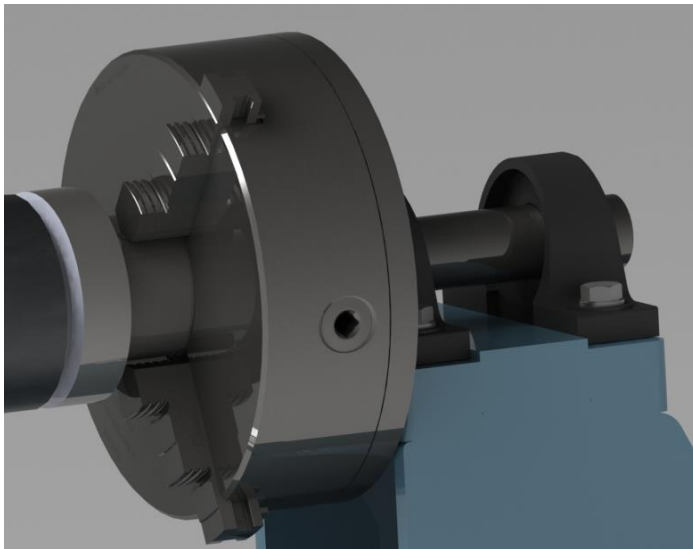
Rungon materiaaliksi valittiin S355J2G3-rakenneteräs sen edullisen hinnan, hyvän saatavuuden ja helpon työstettävyyden vuoksi. Korroosiolle alttiina materiaalina se kuitenkin vaatii maalauksen tai muun pintakäsittelyn, joka hieman korottaa kokonaiskustannusta. Maalausjärjestelmän valinnassa on värisävyn lisäksi otettava huomioon maalattavan pinnan materiaali sekä maalattavan osan käyttöpaikan olosuhteet ja mahdolliset maalipintaan kohdistuvat erityisrasitukset (Tikkurila, 9.). Koska laite tulee merelliseen teollisuusympäristöön, kuuluu se standardin SFS-EN ISO 12944-2 mukaisesti rasisitusluokkaan C3, jolloin kalvonpaksuuden on oltava 120-200 µm (kuva 5).

MaalausRYL 2001:n ja standardin SFS-EN ISO 12944-2 rasisitusluokkien vastaavuudet				
RASITUSLUOKAT SISÄLLÄ				
Rasisitusluokka / MaalausRYL 2001		Rasisitusluokka / Standardi SFS-EN ISO 12944-2		
1	Vähäiset rasisitukset ja vaatimukset kuivissa sisätiloissa, joissa ainoastaan vähäinen mekaaninen rasisitus eikä pinnoilta vaadita pesunkestävyyttä.			
2	Tavanomaiset rasisitukset ja vaatimukset kuivissa sisätiloissa, joissa tavanomainen mekaaninen rasisitus ja pintojen kestävä pyyhkimistä.			
3	Suuret rasisitukset ja vaatimukset kuivissa sisätiloissa, joissa suuria mekaanisia rasisituksia ja pintojen kestävä pesua.			
4a	Erytisrasitukset ja -vaatimukset sisätiloissa, joissa suuria mekaanisia rasisituksia tai roiskuvaa tai tiivistyvää vettä (märkätilat). Pintojen kestävä toistuvaa pesua.			
4b	Erittäin ankara ilmatorasitus eritysolosuhteiden rasittamassa kaupunki-, teollisuus- ja meri-ilmastossa. Esimerkiksi syövyttävät kaasut, kostuneet kemikaalipölyt, roiskeet, lämpörasitukset ja merivedestä peräisin olevat kloridit (Suomessa roiskerasitus).	C5-I	Hyvin ankara teollisuusilmasto. Teollisuusalueet, joilla korkea kosteus ja syövyttävä ilmatila.	
RASITUSLUOKAT ULKONA				
Rasisitusluokka / MaalausRYL 2001		Rasisitusluokka / Standardi SFS-EN ISO 12944-2	Suosittelut kalvonpaksuudet	
5	Lievä ilmatorasitus, esimerkiksi ulkona puhtaassa maaseutuilmastossa.	C2	Lievä. Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä alhainen. Enimmäkseen maaseutualueita.	80–160 µm
6	Kohtalainen ilmatorasitus epäpuhtauksien rasittamassa kaupunki-ilmastossa ja rannikkoalueilla, joissa kloridipitoisuus alhainen. Esimerkiksi noki, pöly ja rikkijyhdisteet.	C3	Kohtalainen. Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.	120–200 µm
7	Ankara ilmatorasitus voimakkaiden epäpuhtauksien rasittamassa kaupunki- ja teollisuusilmastossa suurissa taajamissa ja kaupungeissa.	C4	Ankara. Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla kohtalainen suolapitoisuus.	200–280 µm
8a	Erittäin ankara ilmatorasitus eritysolosuhteiden rasittamassa kaupunki-, teollisuus- ja meri-ilmastossa. Esimerkiksi syövyttävät kaasut, kostuneet kemikaalipölyt, roiskeet, lämpörasitukset ja merivedestä peräisin olevat kloridit (Suomessa roiskerasitus).	C5-I C5-M	Hyvin ankara teollisuus- ja meri-ilmasto. Teollisuusalueet, joilla korkea kosteus ja syövyttävä ilmatila. Rannikkoalueet ja rannikon ulkopuoliset alueet, joilla korkea suolapitoisuus.	240–400 µm (käytettäessä sinkkipölypohjamaalia)

KUVA 5. Rasisitusluokat standardin SFS-EN ISO 12944-2 mukaan (Tikkurila, 9)

### 4.3 Telan päätyosien kiinnitys

Päätyosien kiinnitykseen päätettiin käyttää itsekeskittäviä kolmileukaistukkoita niiden nopean käytettävyyden sekä hyvän keskitystarkkuuden vuoksi. Pakat akseloidaan ja kiinnitetään telanpyörityskoneen runkoon ja liikutettavaan kelkkaan pukkiakerein (kuva 6). Koska hitsattavien telojen päätyosat ovat halkaisijaltaan suurimmillaan noin 100 mm, valittiin istukan tyypiksi laippakiinnitteinen Bison 3204-315 –kolmileukaistukka, jonka ulkohalkaisija on 315 mm ja karporaus 103 mm (kuva 7). Näin päätyosat saadaan kiinnitettyä tukevasti mahdollisimman läheltä liitoskohtaa. Riittävän suuri pakka mahdollistaa telojen lisäksi myös muunlaisten kappaleiden pyörittämisen koneessa.



KUVA 6. Päätyosan kiinnitys ja pakan tuenta



KUVA 7. Bison 3204-sarjan kolmileukaistukka

#### 4.4 Moottorin ja vaihteen mitoitus

Laitteen käyttökomponentit mitoitettiin suurimman koneessa pyöritettävän telan aiheuttaman kuorman mukaan. Moottorin pyörimisnopeudeksi  $n_1$  oletettiin 1400 1/min ja suurimmaksi käytettävän akselin pyörimisnopeudeksi  $n_2$  7 1/min.

Kuormamomentin tarkastelu aloitettiin laskemalla suurimman koneessa pyöritettävän telan hitausmomentti. Koska tela voidaan tulkita umpinaiseksi sylinteriksi, lasketaan sen hitausmomentti kaavalla

$$J = \frac{1}{2}mr^2, \quad (1)$$

jossa

$J$	hitausmomentti
$m$	pyöritettävän kappaleen kokonaismassa
$r$	pyöritettävän kappaleen säde

(ABB Tekninen opas nro 7, 19.)

Telan pyörähdysakselille kohdistuvan maksimihitausmomentin laskenta aloitettiin reunaehdoksi määritellyn suurimman koneessa pyöritettävän telan arvoilla kaavalla (1):

$$J_{tela} = \frac{1}{2} \cdot 130 \text{ kg} \cdot (0,08 \text{ m})^2 = 0,416 \text{ kgm}^2$$

Lisäksi on huomioitava telan kanssa samalla pyörimisakselilla pyörivien kolmileukaistukoiden hitausmomentti. Valmistaja ilmoittaa Bison 3204-315 –kolmileukaistukan massaksi 50 kg ja ulkohalkaisijaksi 315 mm. Kolmileukaistukka voidaan laskennassa tulkita umpinaiseksi sylinteriksi, joten myös sen hitausmomentti lasketaan kaavalla (1):

$$J_{pakka} = \frac{1}{2} \cdot 50 \text{ kg} \cdot (0,1575 \text{ m})^2 = 0,62 \text{ kgm}^2$$

Kolmileukaistukoiden kiinnityslaippoja ja -akseleita ei tarvitse ottaa laskennassa huomioon niiden suhteellisen pienen hitausmomentin vuoksi.

Samalle pyörähdysakselille kohdistuvat hitausmomentit voidaan summata yhteen, joten systeemin suurin mahdollinen kokonaishitausmomentti käytettävällä akselilla lasketaan kaavalla

$$J_2 = J_{tela} + 2 \cdot J_{pakka} = 0,416 \text{ kgm}^2 + 2 \cdot 0,62 \text{ kgm}^2 = 1,656 \text{ kgm}^2$$

Koska laitteessa on vaihde sekä avovälitys, on hitausmomentti redusoitava käytettävältä akselilta moottorin akselille. Redusoinnissa otetaan huomioon välityssuhde käyttävän ja käytettävän akselin välillä ja se lasketaan kaavalla

$$J_1 = J_2 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2, \quad (2)$$

jossa

$J_1$	Kuorman moottorin akselille aiheuttama hitausmomentti
$J_2$	Kuorman omalle pyörähdysakselilleen aiheuttama hitausmomentti
$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$	Vaihteen välityssuhteen käänteisluvun neliö

(ABB Tekninen opas nro 7, 19.)

Huomataan, että moottorin akselille redusoituva hitausmomentti jää erittäin pieneksi suuresta kokonaisvälityssuhteesta johtuen:

$$J_{red} = 1,656 \text{ kgm}^2 \cdot \left(\frac{7 \frac{1}{min}}{1400 \frac{1}{min}}\right)^2 = 4,14 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

Moottorin ollessa suhteellisen pienikokoinen, ei sen omaa hitausmomenttia tarvitse ottaa huomioon.

Moottorin akselille redusoidun hitausmomentin avulla lasketaan moottorilta vaadittava vääntömomentti  $T_l$ . Vääntömomentti vaikuttaa kulmakihtyvyyteen  $\alpha$ . Kulmakihtyvyy-



dellä tarkoitetaan aikaa, joka kuluu halutun pyörimisnopeuden saavuttamiseen. Mitä suurempi vääntömomentti, sitä suurempi on kulmakiihtyvyys. Toisin sanoen suurempitehoisella moottorilla saavutetaan haluttu pyörimisnopeus nopeammin.

Ennen kuin voidaan laskea kulmakiihtyvyyttä, on akselin pyörimisnopeus muutettava kulmanopeudeksi. Kulmanopeudessa yksi täysi kierros vastaa (radiaaneina) kulmaa  $2\pi$ . Näin ollen kulmanopeus lasketaan kaavalla

$$\omega = 2\pi n, \quad (3)$$

jossa

$n$  pyörimisnopeus (1/s)

Muutetaan moottorin akselin pyörimisnopeus yksikköön 1/s:

$$n_1 = 1400 \frac{\frac{1}{\text{min}}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = 23,333 \dots \frac{1}{\text{s}}$$

Moottorin akselin kulmanopeus lasketaan kaavalla (3):

$$\omega_1 = 2\pi \cdot n_1 = 146,607 \dots \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Kulmakiihtyvyys lasketaan kaavalla

$$\alpha = \frac{\omega}{\Delta t}, \quad (4)$$

jossa

$\Delta t$  kiihdytykseen käytettävä aika sekunteina

Käynnistykseen käytettävän ajan on syytä olla lyhyt, jotta hitsauksen pystyy aloittamaan lähes välittömästi hitsattavan kappaleen alettua pyörimään. Käytetään moottorin kulmakiihtyvyyden määrittämisessä kiihdytyksen ajalle  $\Delta t$  arvoa 0,5 s:

$$\alpha_1 = \frac{\omega_1}{\Delta t} = \frac{146,607 \dots \text{ rad/s}}{0,5 \text{ s}} = 293,215 \dots \text{ rad/s}^2$$

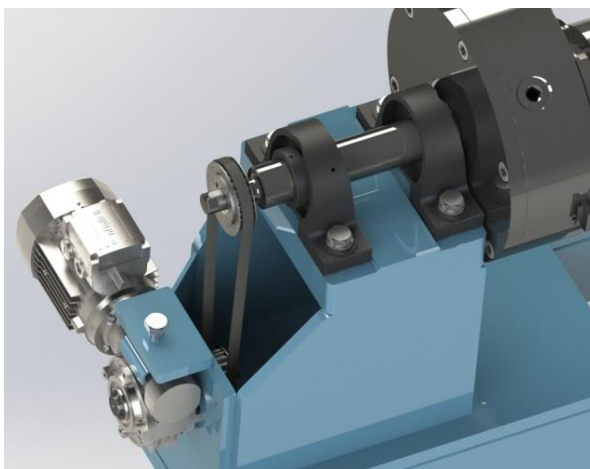
Kulmakiihtyvyyden ollessa tiedossa voidaan kiihdytyksen moottorin puolelle aiheuttama maksimivääntömomentti laskea kaavalla

$$T = J\alpha \quad (5)$$

$$T_1 = J_{red} \cdot \alpha_1 = 1,656 \text{ kgm}^2 \cdot 1,466 \frac{1}{\text{s}^2} = 0,0242 \text{ Nm}$$

Voidaan todeta, että suuresta välityssuhteesta johtuen ei moottorin tarvitse olla kovinkaan tehokas.

Pyörityskoneen voimanlähteeksi valittiin taajuusmuuttajalla ohjattava neljänapainen AC-yksivaihemoottori, jonka nimellisteho on 180 W ja nimellispyörimisnopeus 1400 1/min (Bonfiglioli BN63B-4). Moottorin pyörimisnopeus saatiin säädettyä toisioakselille sopivaksi kierukkavaihteella, jonka välityssuhde on 100:1 (Bonfiglioli VF49-100) sekä 2:1 hammashihnavälityksellä (kuva 8). Toisioakselin maksimipyörimisnopeutta saa tarvittaessa helposti muutettua suuntaan tai toiseen hihnavälitystä muuttamalla.



KUVA 8. Vaihdemoottori-hihnakäyttö.

Tarkastellaan vielä käänteisesti mikä on valitulle vaihdemoottori-hihnavoimansiirrolle suurin mahdollinen kuorma. Moottorin nimellismomentti lasketaan kaavalla

$$T = \frac{9550 \cdot P}{n}, \quad (6)$$

jossa

$P$  moottorin nimellisteho  
 $n$  moottorin nimellisyörimisnopeus

(ABB Tekninen opas nro. 4, 17.)

$$T_m = \frac{9550 \cdot 0,18 \text{ kW}}{1400 \text{ 1/min}} = 1,227 \dots \text{ Nm}$$

Kertomalla moottorin nimellismomentti kokonaisvälityssuhteella  $n_1/n_2$  saadaan teoreettinen maksimivääntömomentti toisioakselilla. Lisäksi on otettava huomioon vaihteen dynaaminen hyötysuhde  $\eta_d$ , joka löytyy useimmiten vaihteen valmistajan suunnitteluoppaista. Valmistajan mukaan laitteeseen valitun kierukkavaihteen dynaaminen hyötysuhde on 54 % (Bonfiglioli, 75.). ABB:n Teknisen oppaan nro 7 sivulla 17 kerrotaan, että toisioakselin maksimimomentti saadaan laskettua kaavalla

$$T_2 = T_m \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \cdot \eta_d \quad (7)$$

$$T_2 = 1,227 \dots \text{ Nm} \cdot \left(\frac{1400 \text{ 1/min}}{7 \text{ 1/min}}\right) \cdot 0,54 = 132,6 \text{ Nm}$$

Lasketaan maksimivääntömomentin avulla vielä teoreettinen maksimi toisioakselin hitausmomentille. Sen määrittämiseksi lasketaan ensin toisioakselin kulmanopeus kaavalla (3)

$$\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot n_2 = 0,733 \dots \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

jonka jälkeen lasketaan kulmakiihtyvyys kaavalla (4). Käytetään tässäkin kiihdytyksen ajalle  $\Delta t$  arvoa 0,5 s.

$$\alpha_2 = \frac{0,733 \dots \text{rad/s}}{0,5 \text{ s}} = 1,466 \dots \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Toisioakselin teoreettinen maksimihitausmomentti lasketaan käännetyllä kaavalla (5)

$$T = J\alpha \Leftrightarrow J = \frac{T}{\alpha}$$

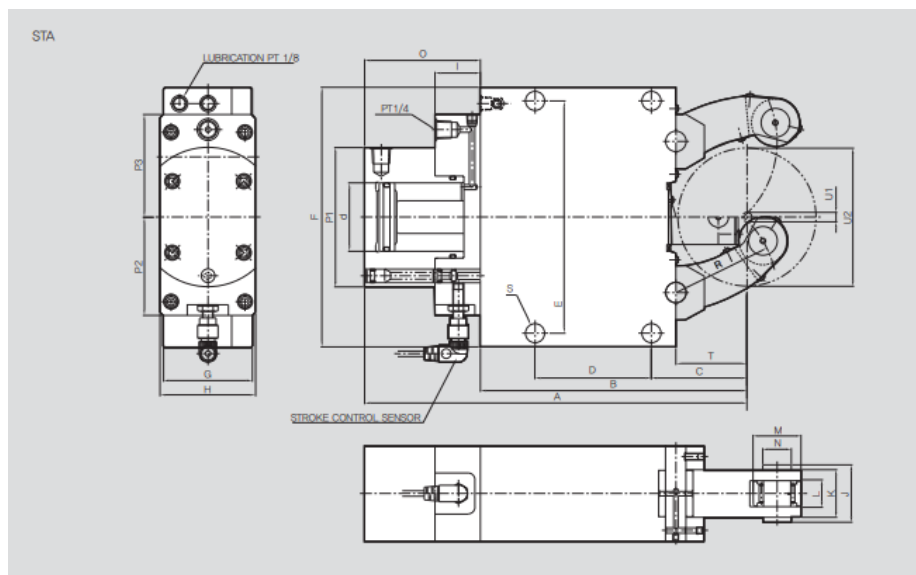
$$J_{max} = \frac{132,6 \text{ Nm}}{1,466 \dots \text{rad/s}^2} = 90,45 \text{ kgm}^2$$

Suhteellisen pienestä moottorin nimellistehosta huolimatta valittu vaihdemoottori-hihnakäyttö siis kykenee kiihtymään haluttuun pyörimisnopeuteen halutussa ajassa yli 50-kertaisella kuormalla suunniteltuun maksimiin verrattuna. Valittu vaihdemoottori on hinnaltaan suhteellisen edullinen vaihtoehto, joten on kannattavampaa valita laitteen voimanlähteeksi tehokas AC-moottori kuin käyttää esim. pientä DC-moottoria jossa nimellisvääntömomentti olisi vain kaksin- tai kolminkertainen laskennalliseen ensiöakselin maksimikuormamomenttiin verrattuna. Lisäksi tehokkaampi moottori mahdollistaa myös raskaampien kappaleiden pyörittämisen koneessa.

#### 4.5 Itsekeskittävä puristin

Koska laitteesta oli tarkoitus saada mahdollisimman monipuolinen ja helppokäyttöinen, suunniteltiin telan runkoputken tukemista varten itsekeskittävä puristin, joka puristaa kappaleen kolmesta kohdasta aina samaan keskiöön.

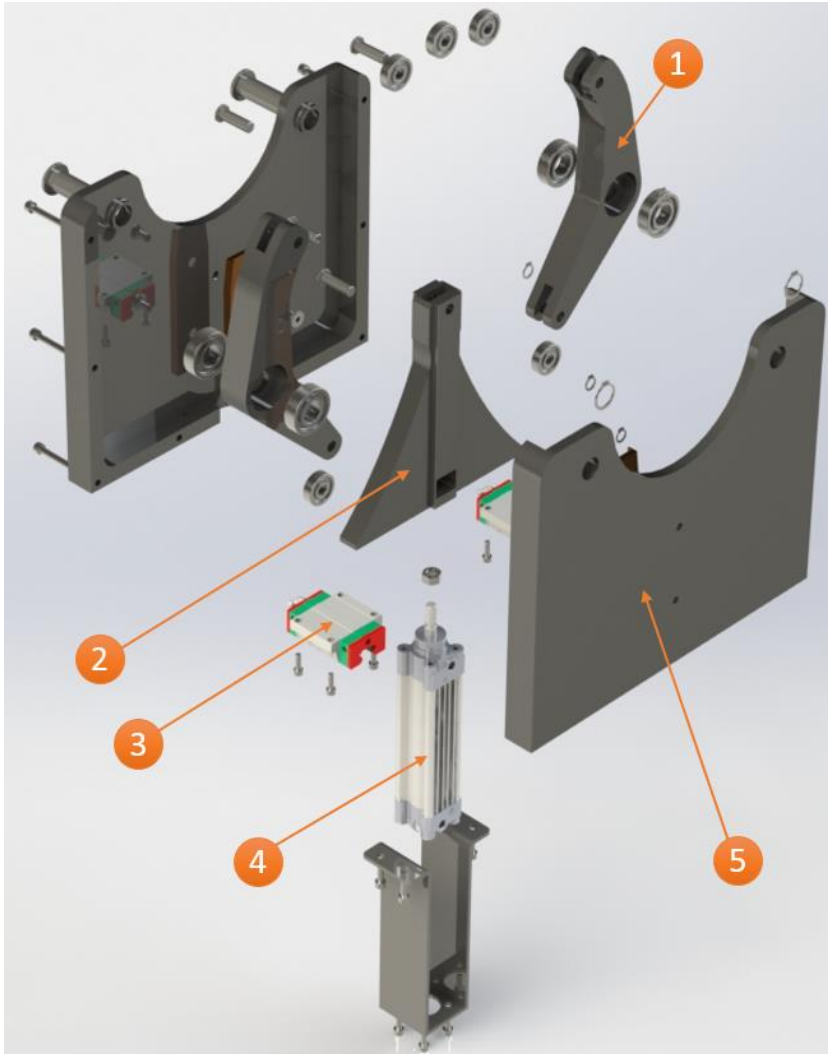
Ennen suunnittelutyön aloittamista selvitettiin, löytyykö markkinoilta valmiiksi sopivanlaisia puristimia. Täysin oikeanlaista ei löytynyt, joten päädyttiin suunnittelemaan myös puristin itse alusta alkaen. Käyttötarkoitukseen olisi toisaalta sopinut CNC-sorviin tarkoitettu itsekeskittävä tukilaakeri, mutta niiden hinnat ovat liian korkeat telanpyörityskoneen valmistusbudjettiin nähden. Lisäksi itse suunnittelemalla puristimen ulkomitat ja halkaisija-alueen saa tarkalleen käyttökohteeseen sopivaksi ja sen käyttö voi olla esim. ruuvi-toiminen tai pneumaattinen, kun taas useimmat markkinoilla olevat mallit ovat hydraulitoimisia. Hydraulisylinterillä varustettu puristin vaatisi erillisen hydraulikoneikon lisäämistä koneeseen, kun taas pneumaattista sylinteriä ajetaan paineilmalla, jolle löytyy valmis liitäntä telanhitsauskoneen sijoituspaikasta. Puristin perustuu pitkälti CNC-sorviin tarkoitettun itsekeskittävän tukilaakerin toimintaan (kuva 9).



KUVA 9. Havainnekuva CNC-sorveihin tarkoitettun itsekeskittävän tukilaakerin toiminnasta (Samchully, 151)

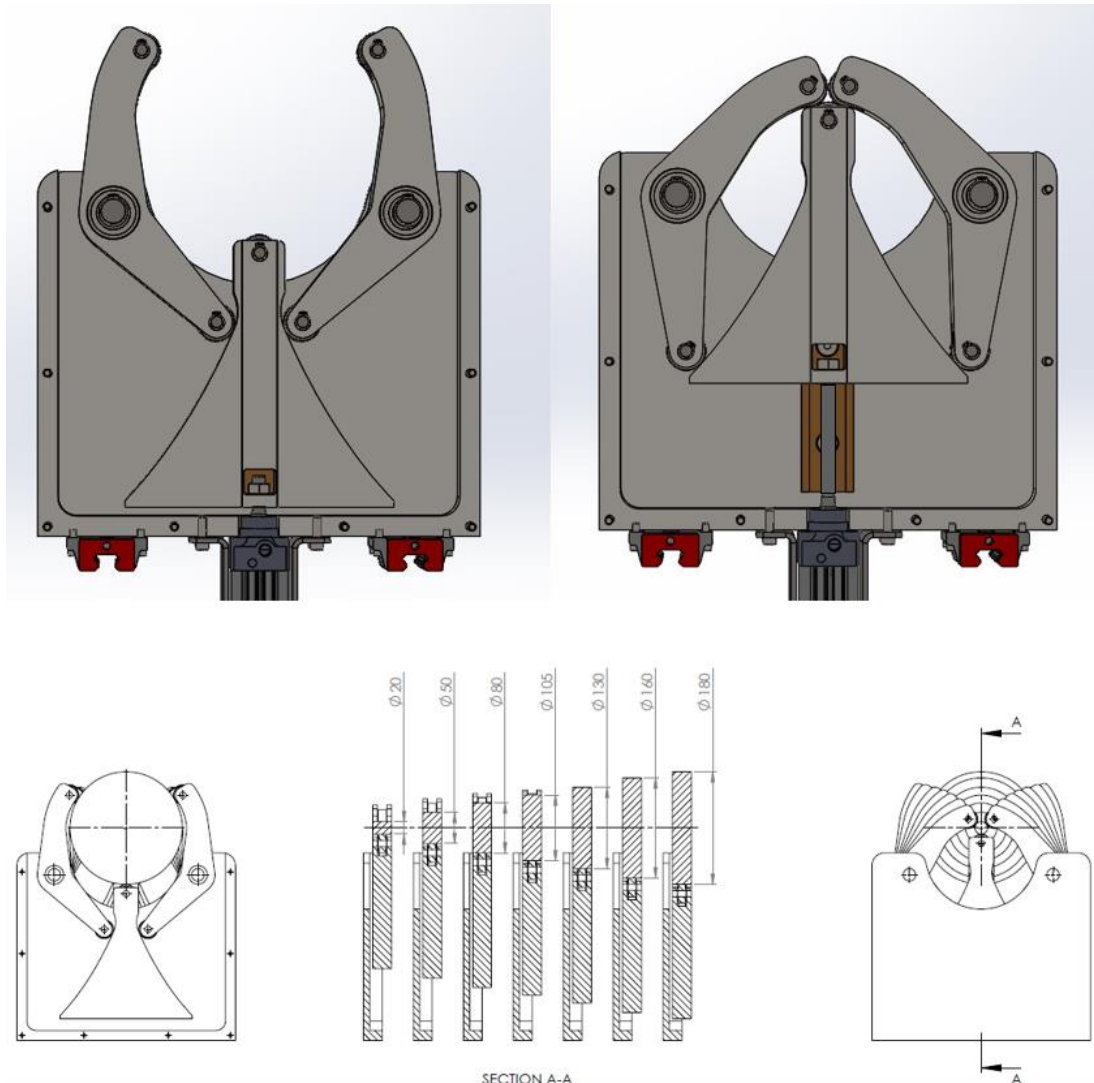
Kuvassa 10 on numeroituna puristimen toiminnan kannalta oleelliset osat.

1. Kääntövarsi
2. Työntövarsi
3. Lineaarijohteen kelkka
4. Paineilmasylinteri
5. Kotelo



KUVA 10. Puristimen toiminnan kannalta oleelliset osat.

Puristin toimii siten, että paineilmasylinterin (osa 4) mäntä työntää työntövartta (osa 2), joka puolestaan liikuttaa kääntövarsia (osa 1). Työntövarren sivuilla on muuttuväsäteinen kaari, joka on suunniteltu toimimaan yhdessä kääntövarsien kanssa siten, että tukilaakerit ovat aina samalla etäisyydellä toisistaan. Puristimen suunniteltu toiminta-alue on 0-180 mm (kuva 11).



KUVA 11. Havainnekuva puristimen toiminnasta.

Paineilmasyylinteri mitoitettiin painavimman telaputken mukaan. Hulkkosen mukaan (2006, 7) paineilmasylinterin tuottama työntövoima lasketaan kaavalla (8):

$$F = A \cdot p \cdot \eta , \quad (8)$$

jossa

$F$  työntövoima

$A$	männän pinta-ala
$p$	sylinterin käyttöpaine
$\eta$	sylinterin hyötysuhde

Työntövoima  $F$  muutetaan muotoon

$$F = mg, \quad (9)$$

jossa

$g$  maan putoamiskiihtyvyys (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Käännetään kaava (8) sellaiseen muotoon, että saadaan tulokseksi paineilmasylinterin männän minimipinta-ala  $A_{min}$ . Laskennassa käytettiin paineilmaverkon paineelle  $p$  arvoa 0,7 MPa, telaputken massalle  $m$  arvoa 80 kg ja hyötysuhteelle  $\eta$  arvoa 0,8 (Hulkkonen 2006, 7). Koska laitteeseen tulee kaksi samanlaista puristinta, jaetaan telaputken massa kahdella.

$$A_{min} = \frac{m \cdot g}{p \cdot \eta} = \frac{40 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{7 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,8} = 7,007 \dots \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ympyrän pinta-ala lasketaan kaavalla (10):

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad (10)$$

josta saadaan johdettua kaava männän minimihalkaisijan  $d_{min}$  laskemiseen:

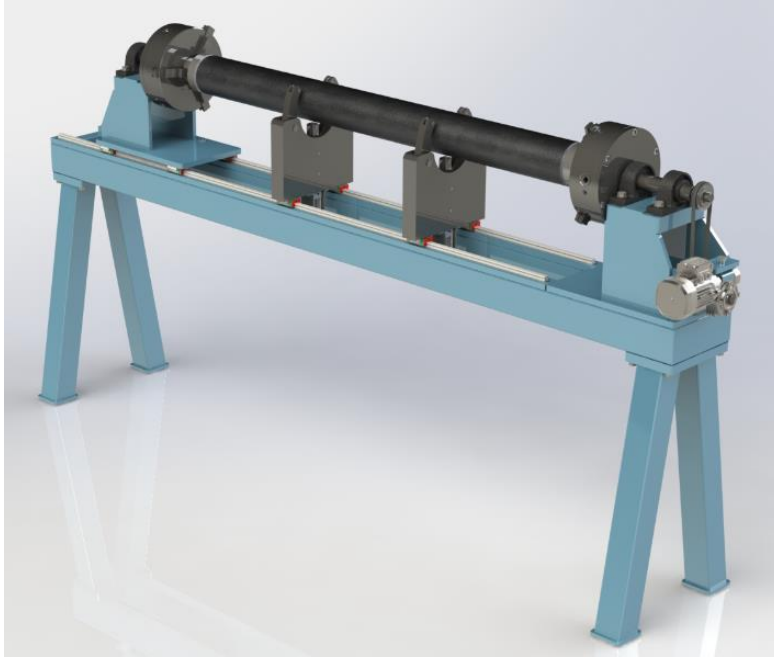
$$d_{min} = \sqrt{\frac{A_{min} \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{7,007 \dots \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 4}{\pi}} = 0,02985 \text{ m} \approx 30 \text{ mm}$$

Sylinteriksi valittiin ISO 15552 –standardin mukainen kaksitoiminen vakiosylinteri, jossa männän halkaisija on 32 mm ja iskunpituus 100 mm (Festo, 6).



## 5 POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksena saatiin suunniteltua ja valmistettua telanpyörityskone telojen tuotannon läpiviennin nopeuttamiseksi (kuva 12).



KUVA 12. Malli laitteen kokoonpanosta.

Asetettujen tavoitteiden saavuttamista on kirjoittamishetkellä vaikeaa todentaa, sillä laitetta ollaan vasta ottamassa käyttöön. On kuitenkin hyvin todennäköistä, että laitteen avulla saavutetaan merkittävä kokonaishyöty telatuotannossa. Mikäli laitteella saavutetaan riittävä keskitystarkkuus, voidaan tarkoista esikoneistusvaiheista luopua parhaimmillaan kokonaan. Lisäksi on todennäköistä, että osassa telamalleista pystytään koneistamaan päätyosat kokonaan valmiiksi jo ennen hitsausta. Vanhalla menetelmällä päätyosat piti usein jättää työvarolle ennen hitsausta, jolloin telan pituuden koneistus ja keskiöinti oli tehtävä jyrskoneella hitsausvaiheen jälkeen ja päätyosien halkaisijat koneistettiin valmiiksi vasta loppusorvausvaiheessa. Työvaiheiden vähentämisellä on luonnollisesti mahdollista saavuttaa kokonaisuuden kannalta hyvinkin merkittävä säästö työkustannuksissa. Lisäsäästöä on mahdollista saada materiaalikustannuksista, olettaen, että päätyosiin ei tarvita jatkossa yhtä paljon työvaraa. Suorien työ- ja materiaalikustannussäästöjen lisäksi kyseisten telojen läpimenoaika saadaan nopeutettua useilla vuorokausilla, jolloin samalla tuotantokapasiteetilla saadaan tehtyä isompi määrä tuotteita. Toisin sanoen tuotavuus paranee, sillä panokset pysyvät samana, mutta tuotosten määrä kasvaa.

## LÄHTEET

Kahn, K. 2012. The PDMA handbook of new product development, 3. painos. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Tapani Jokinen. Tuotekehitys. Elektroninen julkaisu. Perustuu teokseen Tapani Jokinen: Tuotekehitys 6. painos (2001) ja on sen korjattu, päivitetty laitos. Luettu 04.10.2018. <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>

Yritystulkki. Ohjeita aloittavalle yrittäjälle. Investoinnin kannattavuus. Luettu 25.10.2018 <https://www.yritystulkki.fi/fi/alue/oulu/aloittava-yrittaja/suunnittelu/talous-suunnitelmat/investoinninkannattavuus/>

ABB Oy 2001. Tekninen opas nro. 7. Luettu 09.06.2019. [https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf)

ABB Oy 2001. Tekninen opas nro. 4. Luettu 09.06.2019. [https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen\\_opas\\_nro4.pdf](https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf)

Bonfiglioli Riduttori. VF-W-series Wormgears. Luettu 09.06.2019. <https://www.wol-fautomation.com/media/pdf/gearbox/bonfig/bonfig-worm-gearbox-vf-wseries-catalog.pdf>

Samchully Machinery. General Catalog vol. 9. Luettu 10.06.2019 [http://www.prymark.it/assets/pdf/SAMCHULLY\\_PRODUCT\\_OVERVIEW.pdf](http://www.prymark.it/assets/pdf/SAMCHULLY_PRODUCT_OVERVIEW.pdf)

Tikkurila Oy. Teollinen pintakäsittely. Luettu 25.06.2019 [https://www.tikkurila.fi/files/7079/Teollinen\\_pintakasittely.pdf](https://www.tikkurila.fi/files/7079/Teollinen_pintakasittely.pdf)

HIWIN Corporation. HG Linear Guideway. Luettu 25.06.2019 [https://www.mekanelex.se/wp-content/uploads/hg\\_linear\\_guideway.pdf](https://www.mekanelex.se/wp-content/uploads/hg_linear_guideway.pdf)

Hulkkonen, V. Pneumatiikan perusteita. 2006. Fluid Finland. FLUID Klinikka No 14, 1-2006. Luettu 09.08.2019 <https://docplayer.fi/1000721-Pneumatiikan-perusteita-toimilaitteet-veli-hulkkonen-no-14.html>

Festo Oy 2019. Standards-based cylinders DSBC, to ISO 15552. Luettu 09.08.2019 [https://www.festo.com/cat/fi\\_fi/data/doc\\_engb/PDF/EN/DSBC\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/fi_fi/data/doc_engb/PDF/EN/DSBC_EN.PDF)

**LIITTEET**

Valmistuspiirustukset ovat luottamuksellista aineistoa ja poistettu julkisesta raportista.