

Tuomas Jantunen

## **PUUOSATYÖKALUN SUUNNITTELU TEOLLISUUSROBOTILLE**

# **PUOSATYÖKALUN SUUNNITTELU TEOLLISUUSROBOTILLE**

Tuomas Jantunen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka

---

Tekijä: Tuomas Jantunen

Opinnäytetyön nimi: Puuosatyökalun suunnittelu teollisuusrobotille

Työn ohjaaja: Eero Korhonen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2014

Sivumäärä: 45+ 0 liitettä

---

Opinnäytetyössä suunniteltiin puuosatyökalun teollisuusrobotille, joka kokoaa puisia kattoristikkorakenteita. Työn toimeksiantajana oli Autoprod Oy, joka on kehittänyt täysin automaattisen kattoristikoiden kokoonpanolinjan. Suunniteltavan työkalun tuli suoriutua puuosien siirtämisestä kokoonpanoseinälle ja valmiin ristikon poistosta. Suunnittelulla pyrittiin parantamaan nykyistä työkalua sekä tekemään sen käytöstä entistä joustavampaa erityisesti puuosaa haettaessa. Merkittävin kehityskohde edelliseen työkaluun verrattuna oli tartuntaosa, johon suunniteltiin kääntömekanismi. Toinen merkittävä lisäys oli ristikonpoiston mahdollistaminen samalla työkalulla. Työn tavoitteina olivat myös valmistus- ja kokoonpanopiirustusten laatiminen sekä valmiin työkalun kokoonpano ja testaaminen.

Suunnittelu aloitettiin tutustumalla käytössä olevaan työkaluun, käsiteltäviin kappaleisiin ja prosessiin, jotta tiedettiin niiden antamat rajoitteet ja vaatimukset työkalulle. Uuden työkalun kehittäminen aloitettiin perehtymällä erilaisiin olemassa oleviin tarraimiin ja yleisimpiin käytössä oleviin tarrainmekanismeihin. Työkalun suunnittelu aloitettiin luonnostelemalla erilaisia vaihtoehtoja tartuntaosan mekanismeiksi, jotka soveltuisivat tähän työkaluun. Neljästä mekanismivaihtoehdosta mallinnettiin yksinkertaiset mallit Inventor-ohjelmalla ja tutkittiin niiden soveltuvuutta ja toteutettavuutta sekä valittiin paras vaihtoehto. Työkaluun tulevilta toimilaitteilta vaadittavat voimat ja muut mitoitukset tehtiin niihin soveltuvilla menetelmillä. Tartuntaosan mallintamisen edetessä suunniteltiin erilaisia kääntömekanismivaihtoehtoja. Tarkemmin tutkittiin kolmen eri mekanismin soveltuvuutta. Työkalun runko mallinnettiin, kun tartuntaosan ja kääntömekanismin toimintaperiaatteet oli ratkaistu.

Lopuksi tehtiin tarvittavat lujuustarkastelut Inventorilla ja laadittiin osa-, osakokoonpano- ja kokoonpanopiirustukset vasta, kun työkalu oli kokonaan mallinnettu. Työkalun käyttövoimaksi valikoituivat pneumatiikka ja hydraulikka. Lopputuloksena saatiin työkalu, joka teoriassa suoriutuu sille asetetuista vaatimuksista. Kokoonpano ja testaaminen rajattiin pois työstä, koska aika ei olisi riittänyt niiden tekemiseen.

---

Asiasanat: mekaniikka, tarrain, hydraulikka, pneumatiikka

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
1.1 Autoprod Oy	6
1.2 Opinnäytetyön tavoite	6
2 TARRAIMET	9
3 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	12
3.1 Työkalulla siirreltävät kappaleet	12
3.2 Tarraimen fyysiset rajoitteet	13
3.3 Tartuntavoiman mitoitus	15
4 TARTUNTAOSAN SUUNNITTELU	18
4.1 Lineaarijohde	18
4.2 Nivelmekanismi	19
4.3 Yhdensuuntainen nivelmekanismi	19
4.4 Polvinivel	20
4.5 Lopullinen ratkaisu	21
4.5.1 Toimilaitteen valinta	21
4.5.2 Lineaarijohteiden valinta	23
4.6 Tartuntaosan mallintaminen	25
5 KÄÄNTÖMEKANISMIN SUUNNITTELU	26
5.1 Vaihtoehtojen vertailu	26
5.1.1 Hammaspyörä ja hammastanko	26
5.1.2 Kampimekanismi	26
5.1.3 Kääntölaite	27
5.2 Lopullinen ratkaisu	28
5.2.1 Tarvittavan vääntömomentin laskenta	28
5.2.2 Toimilaitteen valinta	30
5.3 Laakereiden mitoitus	31
6 TYÖKALUN RUNGON SUUNNITTELU	34

7 KOMPONENTTIEN VALINTA	35
7.1 Hydraulikkajärjestelmä	35
7.2 Paineilmajärjestelmä	36
7.3 Työkalunvaihtojärjestelmä	36
8 LUJUUSTARKASTELU	37
8.1 Sormien simulointi	37
8.2 Rungon simulointi	39
9 TULOKSET	41
10 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	44

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Autoprod Oy

Autoprod Oy on suomalainen teknologiayritys, joka on perustettu vuonna 2005. Se on erikoistunut puuristikkorakenteiden tuotantoautomaation suunnitteluun ja kehittänyt täysautomaattisen puuristikkorakenteiden kokoonpanolinjan, jonka käyttäminen vaatii vain yhden työntekijän. (1.)

Kokoonpanolinja toimii CAD/CAM-periaatteen mukaisesti, ja se voidaan liittää suoraan asiakkaan tuotannonohjausjärjestelmään, jolloin ristikkorakenteen suunnittelutieto ohjaa suoraan kokoonpanoa (1, linkki Tuotteet). Autoprod Oy:n palveluihin kuuluvat kehittämisen, valmistuksen ja myymisen lisäksi tuotteen asennus, ylläpito ja huolto (1, linkki Palvelut).

## 1.2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyössä suunnitellaan puuosatyökalu kattoristikoiden kokoonpanolinjan teollisuusrobotille. Sen tehtävänä on siirtää ristikon puuosat kuljettimelta kokoonpanoseinällä olevaan asetteeseen. Kuvassa 1 robotti on siirtämässä puuosaa kuljettimelta kokoonpanoseinälle.



*KUVA 1. Puuosan vieminen teollisuusrobotilla (2)*

Opinnäytetyön edetessä huomattiin, että ristikkorakenteen poistaminen samalla työkalulla parantaisi läpimenoaikaa, koska säästettäisiin työkalun vaihtoon menevä aika. Nykyisellä menetelmällä puuosien asettelu ja ristikonpoisto tehdään eri työkaluilla, joten jos molemmat vaiheet voitaisiin tehdä samalla työkalulla, säästettäisiin yhden työkalun valmistuskustannukset ja lisäksi ristikoiden valmistus nopeutuisi. Tavoitteeksi lisättiin, että työkalu suoriutuisi myös ristikonpoistosta.

Työssä ratkaistaan työkalun käyttövoima, rakenne ja muut ominaisuudet. Oleellisin kehityskohde on kääntyvä tartuntaosa, joka mahdollistaa robotin joustavamman toiminnan puosaa haettaessa. Kehityskohtena oli myös ristikonpoiston mahdollistaminen samalla työkalulla. Nykyisellä työkalulla puosia haettaessa robotti saattaa törmätä viereiseen kuljettimeen, koska siinä ei ole kääntyvää tartuntaosaa (kuva 2).



*KUVA 2. Törmäys puuosaa haettaessa (2)*

Suunnitteluun sisältyy rakenteen mallintaminen Inventor-ohjelmalla, toimilaitteiden valinta ja lujuustarkastelu. Lisäksi rakenteesta laaditaan piirustukset ja osalista. Suunnittelussa pyritään käyttämään mahdollisimman paljon standardiosia sekä normaaleja valmistusmateriaaleja ja kokoja. Yksityiskohtaiset kuvaukset kokoonpanolinjasta ja työssä laaditut piirustukset ovat osa tilaajan liikesalaisuutta, joten niitä ei julkaista tässä opinnäytetyössä.

## 2 TARRAIMET

Teollisuusrobotin työkalu on se osa, joka siirtyy asemasta toiseen ja suorittaa sille suunniteltua tehtävää. Robottien työkaluista tavallisin on tarrain, joka tarttuu kappaleeseen jollakin määrättyllä tavalla kappaleen ominaisuuksien mukaisesti. Muita teollisuusrobottien työkaluja voivat olla esimerkiksi hitsauspistooli tai maalausruisku. Tarraimet voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaan eri ryhmiin:

- mekaaniset tarraimet
- imu- ja tyhjiötarraimet
- magneettitarraimet
- erikoistarraimet
- vakiotarraimet. (3, s. 60–64.)

Imu- tai tyhjiötarraimen toiminta perustuu alipaineeseen. Imukuppien käyttö vaatii laajan, puhtaan, tiiviin ja sileän pinnan. Tartunta tapahtuu yleensä yhdestä suunnasta, jolloin liikkeissä ei saa muodostua suuria tarrainta kohtisuoraan olevia voimia tai muuten kappale saattaa irrota. (3, s. 63.)

Magneettitarraimien käyttö on mahdollista vain magneettisten aineiden käsittelyssä. Magneetin nostovoimaan vaikuttavat kappaleen materiaali, muoto ja pinnanlaatu. Lisäksi siihen vaikuttavat ilmarako ja magneetin lämpötila. Sähkömagneettia käytettäessä on tarkkailtava, ettei sen lämpötila nouse liikaa. (3, s. 64.)

Erikoistarraimet (kuva 3) toimivat yleensä periaatteella, jossa tartuntaelin laajenee tai mukautuu kappaleen ympärille ja tarttuu siihen. Muotoutuminen voi perustua joko paineen avulla muokattavaan granulaattiin tai magneettipulveriin, jota ohjataan sähkömagneetilla. (3, s. 64.)



*KUVA 3. Erikoistarrain (4)*

Vakiotarraimet (kuva 4) ovat robottien valmistajien tuotevalikoimissa olevia standarditarraimia tai niiden osia, joista voi koota ja muokata haluamansa ratkaisun. Yleensä tarrain joudutaan kuitenkin rakentamaan johonkin tiettyyn tarkoitukseen. Monesti joudutaan vähintään muotoilemaan uudet tartuntapinnat, koska ei ole olemassa tarrainta, joka voisi tarttua ominaisuuksiltaan toisistaan merkittävästi poikkeaviin kappaleisiin. (3, s. 63–64.)



*KUVA 4. Schunk-vakiotarraimet (5)*

Mekaaniset tarraimet koostuvat yleensä jostakin mekanismista, toimilaitteesta ja sormista. Sormilla tarkoitetaan tarraimen osaa, joka on kosketuksessa kappaleen kanssa. Mekaanisten tarraimien toiminta perustuu yleensä nivelmekanismiin, hammaspyörä hammastankoyhdistelmään, epäkeskoon, ruuviin, vaijeriväkipyörään tai muuhun vastaavaan ratkaisuun. Mekanismien ja toimilaitteen valinnalla voidaan vaikuttaa tarraimen liikealueeseen ja tartuntavoimaan. (3, s. 60–63)

### 3 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Siirreltävät kappaleet ovat puuta, ja niiden kokemat voimat ovat suhteellisen suuria ja kohdistuvat moneen eri suuntaan, joten mekaaninen tarrain on ainoa järkevä vaihtoehto puuosien asetteluun. Alipainetarrain vaatii hyvän pinnanlaadun, ja siihen saa kohdistua vain yhdensuuntaisia voimia, joten sen käyttö ei ole mahdollista. Puu ei ole magneettinen, joten magneettitarrain on myös pois suljettu vaihtoehto. Lisäksi kyseisellä tarraimella on paljon fyysisiä vaatimuksia ja rajoitteita, joita ei löydy vakiotarraimista, joten niitäkään ei voida hyödyntää. Erikoistarraimella puuosan hakeminen olisi mahdollista, mutta sen vieminen asetteeseen olisi mahdotonta asetteen fyysisten ominaisuuksien takia.

Puuosat haetaan kuljettimelta, jossa ne tulevat pystyasennossa. Tarttuja ottaa kiinni kappaleen sivuilta ja vie sen seinälle samassa asennossa joko parretarttujaan tai piikkiarttujaan.

#### 3.1 Työkalulla siirreltävät kappaleet

Työkalulla nostatettavat puukappaleet ovat erikokoisia. Suurimmat kappaleet voivat olla 6 000 mm x 48 mm x 260 mm ja pienimmät 250 mm x 42 mm x 73 mm. Kattoristikoiden valmistuksessa käytetään yleisimmin ilmakeivattua kuusta, jonka kosteus on noin 15 %. Tällöin puun tiheys voi vaihdella 300–470 kg/m<sup>3</sup> (6). Kappaleen tilavuuden ja tiheyden avulla voidaan laskea raskaimman yksittäisen kappaleen massa kaavalla 1.

$$m = p * l * k * \rho$$

KAAVA 1

$m$  = massa (kg)

$p$  = pituus (m)

$l$  = leveys (m)

$k$  = korkeus (m)

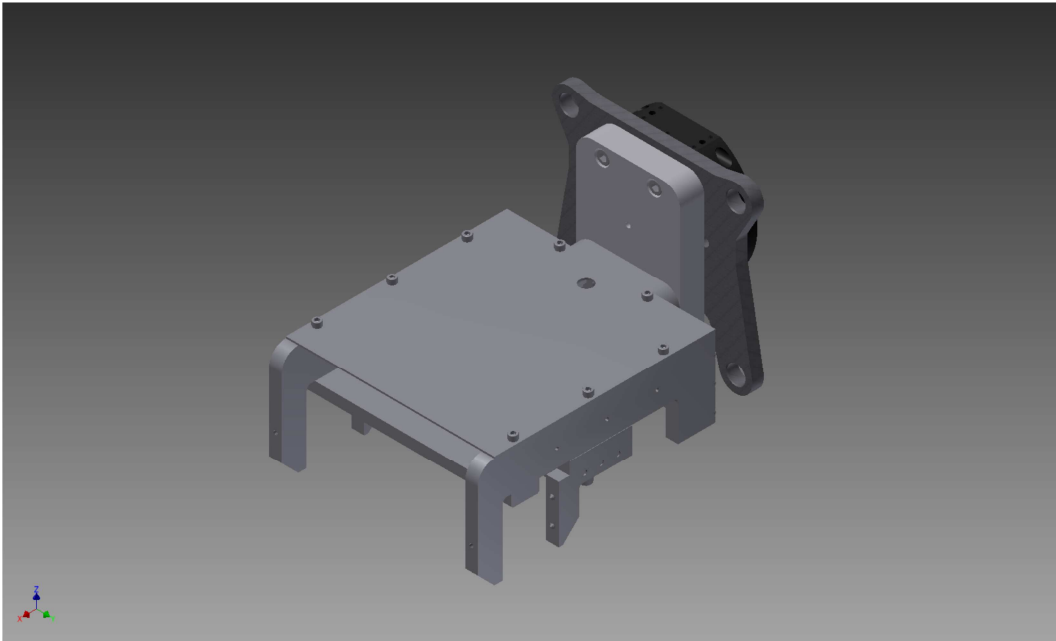
$\rho$  = tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$$m = 6 \text{ m} * 0,048 \text{ m} * 0,260 \text{ m} * 470 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 35,194 \text{ kg}$$

Raskaimmillaan yksittäinen kappale voi olla noin 35 kg. Kokonaisen ristikkorakenteen painoksi arvioitiin 300 kg. Tarrain täytyy mitoittaa raskaimman kuormituksen mukaan, joten lasketaan raskain mahdollinen kuormitus. Kappaleisiin tartutaan niiden kapeimman sivun suunnasta, jolloin tartuntaleveydet ovat 48 mm tai 42 mm. Ristikkoa poistettaessa naulalevyn paksuus lisätään ristikon paksuuteen, jos ristikon poistokohta on naulalevyjen kohdalla. Kokonaisuus on paksuimmillaan noin 50 mm. Työkalun tartuntaosan liikealue suunnitellaan siten, että se mahdollistaa eripaksuisten ristikkorakenteiden käsittelyn samalla työkalulla.

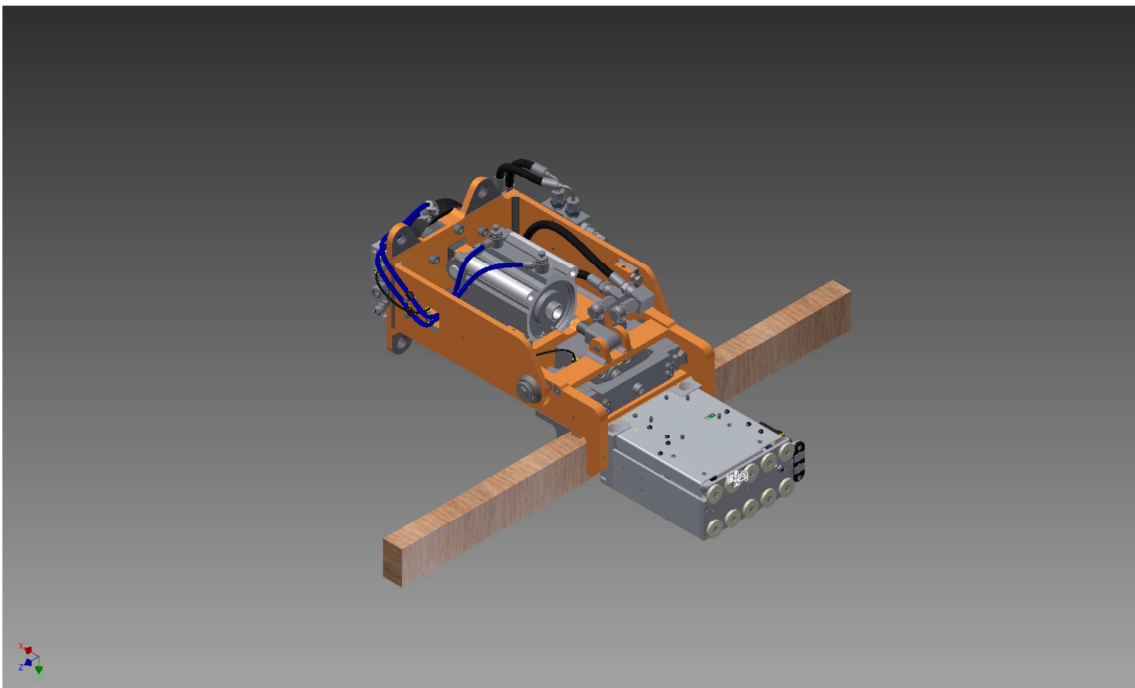
### 3.2 Tarraimen fyysiset rajoitteet

Työkalun koolla ei muuten ole kovin paljon merkitystä kunhan tartuntaosan mitat ovat samaa luokkaa kuin vanhassa työkalussa. Tavoitteena on kuitenkin suunnitella suurin piirtein samankokoinen työkalu. Nykyisen tarttujan pituus on 380 mm, leveys 250 mm ja korkeus tartuntaosan kohdalla 140 mm. Kuvassa 5 on nykyinen versio puuosatyökalusta.



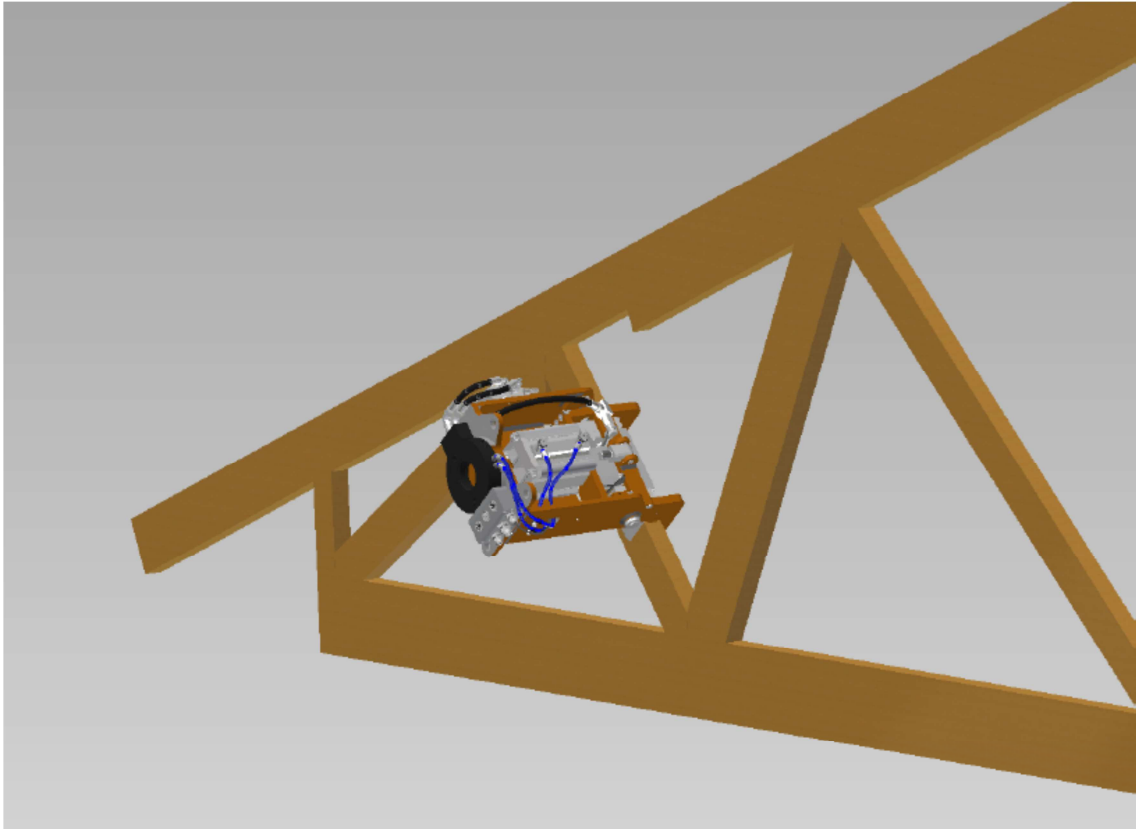
KUVA 5. Puuosatyökalu

Tartuntaosan sormet eivät saa olla pidemmät kuin matalimman puuosan korkeus eli 73 mm. Nykyiset sormet ovat 70 mm pitkät, jolloin jää sopiva välys kuljettimen ja sormien välille. Työkalussa on oltava neljä sormea kahdessa eri linjassa, jotta puuosat saadaan vietyä luotettavasti piikkitarttujaan. Piikkitarttuja on kokoonpanoseinällä oleva asete, jonka tehtävä on pitää diagonaalit paikallaan kokoonpanon ajan. Piikkitarttujan leveys on 200 mm ja tästä syystä sormien välin täytyy olla 220 mm, etteivät ne törmää piikkitarttujaan. Lisäksi välin täytyy olla tyhjä, jotta puuosa voidaan painaa piikkitarttujaan siten, ettei mikään osa törmää siihen. Kuva 6 on tilanteesta, jossa puuosa viedään piikkitarttujaan.



*KUVA 6. Puuosan vieminen piikkitarttujaan*

Työkalun tartuntaosa ei saa olla liian korkea, jotta se mahtuisi nousemaan puuosien välistä kokoonpanotilanteessa. Paarretarttuja ei aseta mitään erityisvaatimuksia tarraimelle. Paarteisiin voidaan tarttua sellaisesta kohdasta, että työkalu ei ole paarretarttujen kohdalla asettamisen aikana vaan niiden välissä. Kuva 7 on tilanteesta, jossa tarttujan pitää mahtua poistumaan ristikkorakenteen sisältä puuosan viemisen jälkeen.



*KUVA 7. Puuosan vieminen ristikkorakenteeseen*

### **3.3 Tartuntavoiman mitoitus**

Tartuntavoiman mitoitus on tärkeä osa suunnittelua, jotta saadaan valittua oikea käyttövoima ja toimintaperiaate sekä voidaan valita sopiva toimilaite voiman tuottamiseen. Mitoitus tehdään suurimman kuormitusyhdistelmän mukaan eli painavimman kappaleen, maksimikihtyvyyden ja tartuntavoiman normaalin suuntaisen liikkeen perusteella. Tartunta ei aina ole pelkkä kitkatartunta vaan se voi olla osittain muotosulkeinen, jolloin se on varmempi kuin puhdas kitkatartunta. (7, s. 37.)

Seuraavaksi lasketaan erikseen yksittäisen kappaleen ja kokonaisen ristikkorakenteen vaatima tartuntavoima, koska niille voidaan ohjelmoida eri kiihtyvyyden arvot. Ristikonpoisto voidaan siis tehdä rauhallisemmin kuin yksittäisten kappaleiden siirtely. Kaavalla 2 saadaan laskettua tartunnan vaatima voima (7, s. 37).

$$F = K_1 K_2 K_3 m g$$

*KAAVA 2*

$K_1 =$  varmuuskerroin (1,2–2,0)

$K_2 =$  kiihtyvyysskerroin

$K_3 =$  siirtokerroin

$g =$  maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

Tarvitaan kiihtyvyysskerroimen kaava, joka ottaa huomioon kappaleen kiihtyvyydet liikkeiden aikana. Kiihtyvyysskerroin saadaan laskettua kaavalla 3. (7, s. 37.)

$$K_2 = 1 + \frac{a}{g} \quad \text{KAAVA 3}$$

$a =$  kappaleen suurin kiihtyvyys liikkeen aikana kitkavoiman suunnassa

Kaavalla 4 lasketaan siirtokerroin, joka ottaa huomioon kitkakertoimen, kappaleen sijainnin tarraimessa ja kappaleen liikesuunnan. (7, s. 37, 111.)

$$K_3 = \frac{1}{2 * \mu} \quad \text{KAAVA 4}$$

$\mu =$  kitkakerroin

Kitkakerroin puun ja teräksen välille on 0,2 - 0,6 (8). Valitaan 0,6, koska sormiin lisätään piikit, jotka tekevät tartunnasta osittain muotosulkeisen ja kitkakerroin on ainakin valittu arvo. Tällöin saadaan tarvittava varmuus tartuntaan ja tartuntavoima on riittävä myös huonoimmassa mahdollisessa tapauksessa. Robotin kiihtyvyyden arvona laskennassa käytetään arvoa  $20 \text{ m/s}^2$ , jolloin puuosan kiihtyvyyden arvo on sama. Varmuuskertoimena käytetään arvoa 1,5.

$$K_2 = 1 + \frac{20 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 3,0387$$

$$K_3 = \frac{1}{2 * 0,6} = 0,8333$$

Sijoitetaan edellä lasketut ja valitut arvot kaavaan 2. Näillä arvoilla saadaan laskettua tarvittava yksittäisen kappaleen tartuntavoima.

$$F = 1,5 * 3,0387 * 0,8333 * 35 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1565,01 \text{ N} \approx 1,6 \text{ kN}$$

Ristikkorakenteen siirtämiseen tarvittavan tartuntavoiman laskennassa käytetään kiihtyvyyden arvoa  $10 \text{ m/s}^2$  ja ristikon painona  $300 \text{ kg}$ , mutta muuten käytetään samoja arvoja kuten edellä. Kiihtyvyyškertoimeksi saadaan laskettua kaavalla 3, arvo  $2,0194$ . Sijoitetaan arvot kaavaan 2, jolloin saadaan tartuntavoiman suuruudeksi  $7428,72 \text{ N} \approx 7,4 \text{ kN}$ . Käytetään toimilaitteen valinnassa arvoa  $7,4 \text{ kN}$ .

Aikaisemmin käytössä olleen tarraimen puristusvoima on  $4,364 \text{ kN}$  ja se on toiminut hyvin yksittäisten kappaleiden siirtelyssä. Niinpä nyt mitoitettu  $7,4 \text{ kN}$  voima tulee riittämään erittäin hyvin, vaikka kappaleita siirreltäisiin epäsymmetrisellä otteella. Ristikonpoisto pyritään aina tekemään mahdollisimman läheltä painopistettä, joten edellä tehdyt tartuntavoiman mitoituslaskut on tehty riittäväällä tarkkuudella. Kuva 8 on ristikonpoistotilanteesta, josta nähdään työkalun ja ristikon mittasuhteet. Ristikon korkeus on  $2,3 \text{ m}$  ja pituus  $10,4 \text{ m}$ .



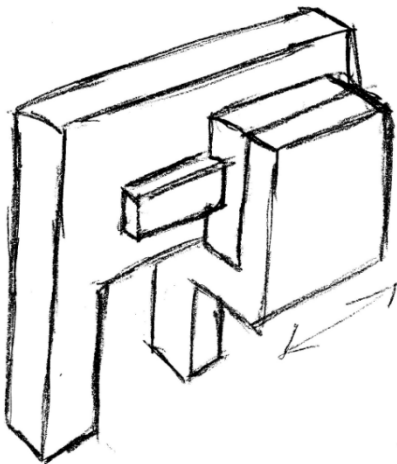
KUVA 8. Työkalu ristikonpoistossa

## 4 TARTUNTAOSAN SUUNNITTELU

Tartuntaosan rakenteen suunnittelu aloitettiin luonnostelemalla erilaisia toimintamekanismeja ja pohtimalla, miten saadaan tuotettua tarvittava puristusvoima pysyvän tartunnan aikaansaamiseksi. Nykyisessä työkalussa mekanismina ovat lineaarijohteet ja toimilaitteena paineilmasylinteri. Mahdollisina voimantuottovaihtoehtoina olivat paineilma ja hydraulikka, koska molemmat ovat valmiiksi robotissa ja niiden käyttäminen on mahdollista.

### 4.1 Lineaarijohde

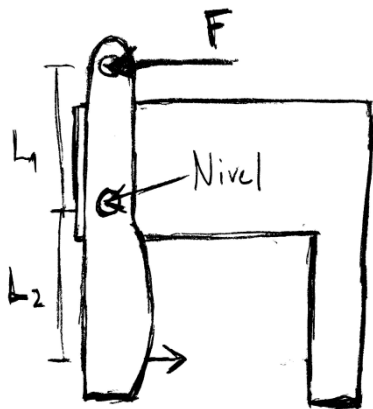
Tässä mekanismissa periaatteena on, että etummaisetsormet ovat kiinteät ja takimmaisetsormet ovat kiinni lineaarijohteessa ja liikkuvat joko paineilma- tai hydraulikkasynterinin avulla. Puristustilanteessa keskittäminen tapahtuisi robotin avulla, kuten nykyisessä työkalussa. Kuvassa 9 on mekanismin luonnostelma. Tarrimeen tulisi kaksi vastaavanlaista rakennetta ja sylinteri sijoitettaisiin niiden väliin.



KUVA 9. Lineaarijohteella toteutettava mekanismi

## 4.2 Nivelmekanismi

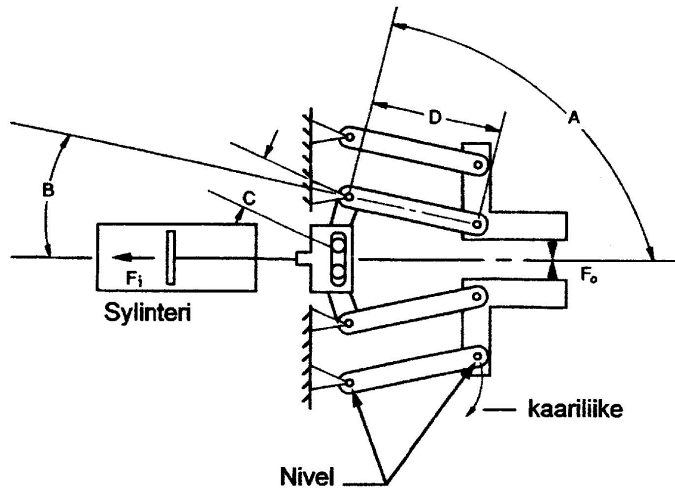
Nivelmekanismi koostuu nivelestä ja vivusta. Voimantuotto tapahtuisi paineilmasylinterillä. Voiman suuruus määräytyisi voiman varsien mukaan, joten nivelen paikka määräisi sylinteriltä vaadittavan voiman sekä iskunpituuden. Sormien muotoilulla voitaisiin ratkaista erivahvuisten kappaleiden käsittely. Käytännössä toisen puolen sormien tartuntapinnat olisivat kaarevat ja kiinteät sormet olisivat suorat. Kuvassa 10 on luonnos nivelmekanismista.



KUVA 10. Nivelmekanismi

## 4.3 Yhdensuuntainen nivelmekanismi

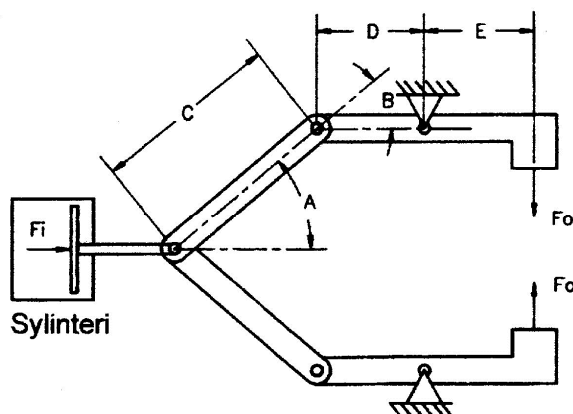
Yhdensuuntaisella nivelmekanismilla voitaisiin käsitellä luotettavasti erivahvuisia kappaleita. Myös tässä tapauksessa voimantuotto tapahtuisi paineilmasylinterillä. Omassa ideassani toinen sormi olisi kiinteä ja vain toisessa olisi nivelmekanismi ja voimantuotto tapahtuisi samassa suunnassa kuin tartuntavoima, jolloin mekanismi saataisiin pienempään kokoon. Tällöin keskittäminen tapahtuisi robotilla, kuten muissakin mekanismeissa. Kuvassa 11 näkyy yhdensuuntaisen nivelmekanismin toimintaperiaate.



KUVA 11. Yhdensuuntainen nivelmekanismi (3. s. 61)

#### 4.4 Polvinivel

Kyseisen mekanismin ideana olisi nivelen lukkiutuminen juuri oikean levyisellä kappaleella. Mekanismin sormissa olisivat sovitepalat, joilla voitaisiin vaihtaa tartuntaleveyttä. Näin erivahvuisten puuosien käsittelyä olisi mahdollista samalla työkalulla. Tällä mekanismilla saavutettaisiin erittäin luotettava tartunta. Toimilaitteen vaatima voima olisi suhteellisen pieni verrattuna muihin vaihtoehtoihin, koska sormet eivät pääsisi aukeamaan nivelen ollessa lukossa. Kuva 12 selventää polvinivelen toimintaperiaatetta.



KUVA 12. Polvinivel (3. s. 61)

## 4.5 Lopullinen ratkaisu

Lopulliseksi ratkaisuksi valittiin lineaarijohteet ja hydraulikkasyylinteri. Tämä vaihtoehto oli ainoa, joka saatiin tarpeeksi pieneksi ja rakenteeltaan sellaiseksi, että se täytti kaikki fyysiset rajoitteet.

### 4.5.1 Toimilaitteen valinta

Käyttövoimaksi valittiin hydraulikka, koska tartuntavoiman tuottaminen pneumaattikalla kyseiseen mekanismiin olisi ollut haastava, sillä toimilaitteen koko olisi kasvanut huomattavan suureksi. Toimilaitte valittiin AHP Merkleltä, koska sen valikoimassa on sylinteri, jossa on magneettianturointi. Anturoinnilla voidaan seurata työkalun toimintaa ja robotti saa tiedon, jos työkalun toiminnassa ilmenee jotain poikkeavaa. Tällaisella anturoinnilla voidaan estää tuotantokatkoja, koska anturoinnin välittämän tiedon perusteella voidaan tunnistaa virhetilanteet, ja selvittää ne. (3, s. 72)

Robotissa olevan koneikon tuottama maksimipaine on 250 baaria ja tilavuusvirta 24 litraa minuutissa. MBZ-sarjan sylintereille on annettu maksimikäyttöpaineeksi 160 baaria, joten työkaluun joudutaan integroimaan erillinen paineenrajoitusventtiili, koska robotin käyttämä naulalevypuristin käyttää samaa koneikkoa. Paineita ei voida rajoittaa koneikossa olevalla paineenrajoitusventtiilillä. Lasketaan tarvittavan voiman ja paineen avulla männän pinta-ala. Laskemiseen käytetään kaavaa 5 (9, s. 99).

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow A = \frac{F}{p} \quad \text{KAAVA 5}$$

$F$  = voima

$A$  = pinta-ala

$$A = \frac{F}{p} = \frac{7429 \text{ N}}{16\,000\,000 \text{ Pa}} = 0,00046431 \text{ m}^2$$

Saatu pinta-alan arvo on teoreettinen, eli sen laskennassa ei ole otettu huomioon sylinterin hyötysuhdetta. Käytetään nyt sylinterin hyötysuhteena 0,8. Jae-

taan saatu pinta-ala hyötysuhteella, jolloin saadaan lähempänä todellista oleva arvo  $0,00046431 \text{ m}^2/0,8 = 0,00058039 \text{ m}^2$ .

Ympyrän pinta-alan kaavalla saadaan laskettua männän halkaisija. Sijoitetaan pinta-alan arvo kaavaan 6.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{KAAVA 6}$$

$D$  = halkaisija

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,00058039 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,027184 \text{ m} = 27,2 \text{ mm}$$

Toimilaitteeksi valittiin AHP Merklen hydraulikkasyylinteri MBZ 160.32/20.01.201.30.Z.T1. Siinä on halkaisijaltaan 32 mm mäntä ja 20 mm männänvarsi. Sylinterin iskunpituus on 30 mm, ja sen tuottama voima valmistajan taulukon mukaan plusliikkeellä on 10,29 kN, kun käyttöpaine on 160 baaria (10). Sylinteriin ei valittu päätyvaimennuksia, koska se olisi kasvattanut sylinterin pituutta ja siten tarttujan kokoa. Sen takia valmistaja suosittelee sylinterille liikenopeudeksi vähemmän kuin 0,1 m/s (10). Sylinterin liikenopeuteen voidaan vaikuttaa muuttamalla tilavuusvirtaa.

Lasketaan plus- ja miinusliikkeiden tarvitsemat tilavuusvirrat erikseen, koska tilavuuden ovat toisistaan poikkeavat männän eri puolilla. Mitoitetaan tilavuusvirrat liikenopeudelle 0,1 m/s.

$$q_v = v * A * 1000 * 60 \quad \text{KAAVA 7}$$

$v$  = männän nopeus

Yhdistämällä kaavat 6 ja 7 saadaan kaava tilavuusvirran laskemiseksi.

$$q_{v+} = v * \frac{\pi D^2}{4} * 60000 = 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{\pi * \left(0,032 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{4} * 60000 = 4,80 \text{ l/min}$$

$$q_{v-} = 0,1 \frac{m}{s} * \frac{\pi * ((0,032 m)^2 - (0,020 m)^2)}{4} * 60000 = 2,94 l/min$$

Tilavuusvirrat ovat plusliikkeelle 4,80 l/min ja miinusliikkeelle 2,94 l/min. Koneikon tuottamaa tilavuusvirtaa joudutaan pienentämään huomattavasti. Tilavuusvirran säätö joudutaan integroimaan työkaluun, kuten paineenrajoitusventtiili, koska koneikossa ollessaan se häiritsisi naulalevypuristimen käyttöä.

#### 4.5.2 Linearijohteiden valinta

Linearijohteen valinnassa tärkein tekijä on selvittää siihen kohdistuvat voimat, jotta voidaan valita malli, joka kestää siihen tulevat rasitukset. Johteeseen kohdistuva rasitus on dynaamista, koska se tapahtuu vain puristuksessa, eli se ei ole jatkuva. Momentti on tässä tapauksessa ratkaiseva tekijä, koska johteiden varassa ei ole raskasta taakkaa. (11, s. 2, 3.) Tarraimen rakenteesta saadaan selvitettyä voimien vaikutussuorien etäisyydet linearijohteen keskilinjasta. Kaavalla 8 saadaan laskettua johteeseen kohdistuvat momentit (9, s. 93).

$$M = Fr$$

KAAVA 8

$F$  = voima

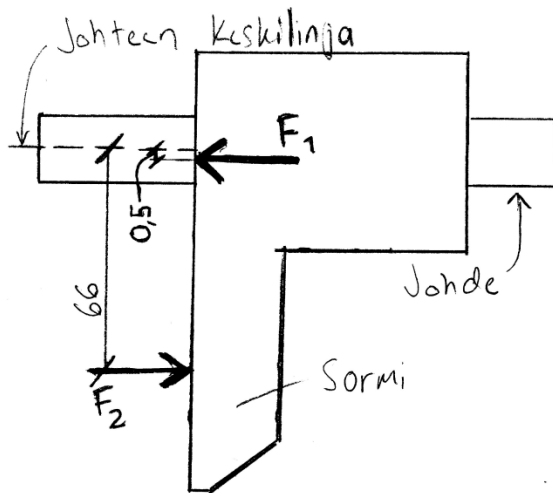
$r$  = voiman vaikutussuoran etäisyys akselista

Puristus tapahtuu yhdellä sylinterillä ja jakautuu kahteen eri sormeen ja linearijohteeseen. Yhden sormen puristusvoima on puolet sylinterin tuottamasta voimasta eli 5,145 kN. Voiman vaikutussuoran etäisyys johteesta on 66 mm. Sijoitetaan edellä mainitut arvot kaavaan 8.

$$M = 5,145 kN * 0,066 m = 0,33957 kNm$$

Sylinterin tuottama voima aiheuttaa tätä momenttia vastaan olevan momentin, koska se on samalla puolella johdetta, mutta vastakkaisuuntainen. Voiman vaikutussuoran etäisyys on 0,5 mm. Sijoittamalla arvot kaavaan 5 saadaan sylinterin tuottama momentti. Momentin arvoksi saadaan -0,0025725 kNm. Laskemalla momentit yhteen saadaan lopullinen linearijohteeseen kohdistuva dy-

naaminen momentti, joka on 0,3369975 kNm. Kuvassa 13 on johteeseen momenttia aiheuttavat voimat ja niiden etäisyydet keskilinjasta.



KUVA 13. Lineaarijohteeseen kohdistuvat voimat

Valitaan lineaarijohteiksi HIWIN HGL25HA, jonka dynaamisen momentin kesto kyseisessä suunnassa on 0,379 kNm. Tämä momentin kestoarvo on laskettu siten, että johteen pitäisi kestää 50 km matka dynaamista momenttia, jonka arvo on 0,379 kNm. Muissa suunnissa momenttia aiheuttavat voimat ovat huomattavasti pienempiä, joten niillä ei ole vaikutusta valintaan. Lasketaan lineaarijohteen kestromatka kaavalla 9 dynaamisen momentin arvolla ja valmistajan esitteessä olevalla kaavalla. (11, s. 4.)

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 * 50 \text{ km}$$

KAAVA 9

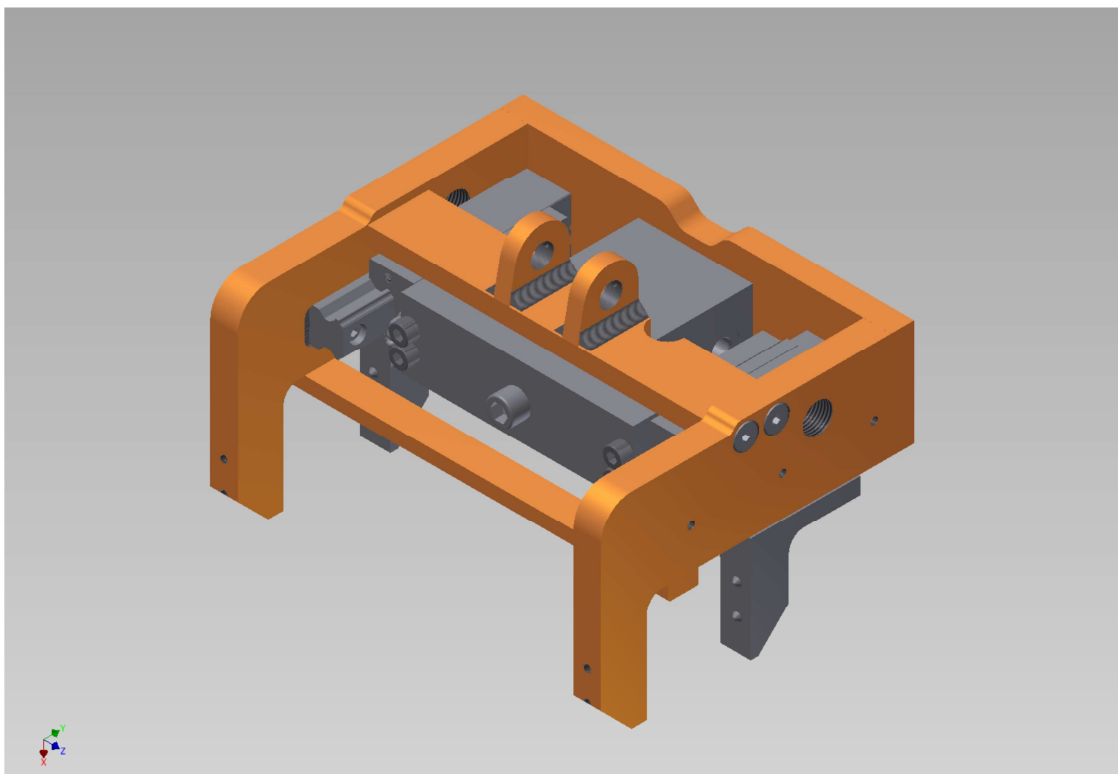
$C$  = valmistajan ilmoittama dynaaminen kuormitus

$P$  = laskettu dynaaminen kuormitus

$$L = \left(\frac{0,379 \text{ kNm}}{0,3369975 \text{ kNm}}\right)^3 * 50 \text{ km} = 71,1226 \text{ km} \approx 71 \text{ km}$$

## 4.6 Tartuntaosan mallintaminen

Tartuntaosan 3D-mallintamisessa käytettiin Autodeskin Inventor -ohjelmaa. Rakenteen suunnittelussa pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon standardiosia. Valmiit 3D-mallit saatiin valmistajien sivuilta lineaarijohteille ja -kelkoille sekä hydraulikkasyylinterille. Koska rakenteisiin kohdistuu suuria voimia, materiaaliksi valittiin S355J2 ja suunnittelussa pyrittiin käyttämään standardin mukaisia levypakkuuksia ja lattatankoja. Kuvassa 14 on lopullisen tartuntaosan isometri 3D-mallista.



KUVA 14. Tartuntaosa

## 5 KÄÄNTÖMEKANISMIN SUUNNITTELU

### 5.1 Vaihtoehtojen vertailu

Kääntömekanismi mahdollistaa tartuntaosan kääntämisen 90°. Erilaisia mekanismeja pohdittiin monelta eri kannalta tutustumalla erilaisiin valmiisiin kääntötoimilaitteisiin ja keksimällä ratkaisuja eri toimilaitteilla ja mekanismeilla. Vaihtoehtoina olivat hammaspyörä ja hammastankoyhdistelmä, kampimekanismi ja kääntölaite.

#### 5.1.1 Hammaspyörä ja hammastanko

Tässä mekaniismissa hammaspyörä asennettaisiin tarttujan akselille ja sitä pyöritettäisiin joko paineilma- tai hydraulikkasyylinteriin liitetyllä hammastangolla. Mekanismi tulisi olemaan rakenteen ulkopuolelle ja se kasvattaisi työkalun kokoa. Lisäksi hammaspyörän asentaminen tarttujan akselille olisi haastavaa. Kuvassa 15 on hammaspyörä hammastanko yhdistelmä, jolla lineaariliike voidaan muuttaa pyörimisliikkeeksi.

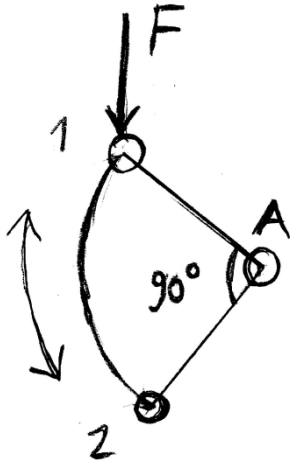


KUVA 15. Hammaspyörä ja hammastanko (13)

#### 5.1.2 Kampimekanismi

Kampimekanismin toteuttaminen tapahtuisi paineilma- tai hydraulikkasyylinterillä ja tarttujaan sijoitetulla korvakkeella, johon sylinterin männänpääty on liitetty. Tartuntaosan tarvitsee pyörähtää vain 90°, joten mekanismi voidaan toteuttaa helposti lineaariliikkeellä, joka muutetaan pyörimisliikkeeksi. Kuvassa 16 on

kampimekanismin periaate. Pisteessä A on tarttujaosan akseli, jonka suhteen se pyörii. Tartuntaosaa voidaan pyöräyttää  $90^\circ$ , kun sylinteri tekee liikkeen pisteestä 1 pisteeseen 2 ja päinvastoin.



KUVA 16. Kampimekanismi

### 5.1.3 Kääntölaite

Pneumaattisia kääntölaitteita etsittiin suoraan eri valmistajien valikoimista. SMC:n valikoimasta ei löytynyt toimilaitetta, jonka vääntömomentti olisi riittänyt tarttujan pyöräyttämiseen silloin, kun siinä on painavin puuosa kydyssä. Kinetrol valmistaa venttiilien käyttöön suunniteltuja toimilaitteita (kuva 17), joissa vääntömomentti olisi riittänyt ja kääntökulma olisi ollut  $90^\circ$ . Kääntölaite olisi muuten ollut hyvä ratkaisu, mutta sen sijoittaminen suoraan tartuntaosan akselille ei onnistunut, joten voiman välittämiseen olisi tarvittu kuitenkin jokin mekaniismi.



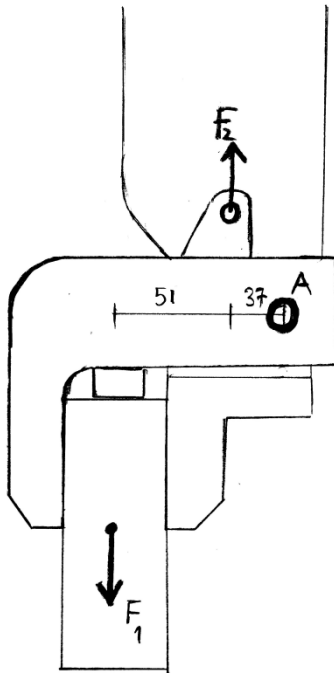
*KUVA 17. Kääntötoimilaite (14)*

## **5.2 Lopullinen ratkaisu**

Lopulliseksi ratkaisuksi valittiin kampimekanismi, jossa toimilaitteena on paineilmasylinteri. Paineilmasylinteri valittiin, koska kahden hydraulikalla toimivan toimilaitteen käyttäminen vaatisi erilliset ohjausventtiilit työkaluun. Korvakejohon voima kohdistetaan, suunniteltiin tartuntaosaan siten, että toimilaitteella pystytään tuottamaan suurin piirtein samansuuruinen momentti molempiin suuntiin pyöräytettäessä.

### **5.2.1 Tarvittavan vääntömomentin laskenta**

Vääntömomentin laskenta aloitettiin tutkimalla eri tilanteita, joissa vääntömomentti on suurimmillaan. Suurin vääntömomentti tarvitaan toimilaitteelta silloin, kun robotti lähtee liikkeelle tartuttuaan kappaleeseen. Tällöin työkalun runko on pystyssä ja tartuntaosa on vaakatasossa. Kuva 18 on tilanteesta, jossa puosa haetaan kuljettimelta ja robotti lähtee kiihtyvällä liikkeellä ylöspäin.



KUVA 18. Vääntömomenttia aiheuttavat voimat

Tartuntaosan painopiste on todellisuudessa lähellä akselia (piste A), joten sen aiheuttamaa momenttia ei oteta huomioon. Puuosan aiheuttama momentti voidaan laskea, kun tiedetään robotin kiihtyvyys  $20 \text{ m/s}^2$  ja kappaleen massa  $35 \text{ kg}$ . Oletetaan robotin lähtevän suoraan ylöspäin tartuntapisteestä. Kappaleen tartuntaosaan kohdistama voima  $F_1$  saadaan laskettua kaavalla 10.

$$F = m(g + a)$$

KAAVA 10

$m$  = kappaleen massa

$g$  = maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys

$a$  = robotin aiheuttama kiihtyvyys

$$F = 35 \text{ kg} * \left( 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 1043,35 \text{ N}$$

Voiman vaikutussuoran etäisyys tartuntaosan akselista on  $88 \text{ mm}$ . Voiman  $F_1$  ollessa  $1043,35 \text{ N}$  saadaan momentin suuruus laskettua kaavalla 8.

$$M = 1043,35 \text{ N} * 0,088 \text{ m} = 91,8148 \text{ Nm}$$

Toimilaitteen tulee tuottaa tälle momentille vastakkaissuuntainen momentti voimalla  $F_2$ , joka on vähintään yhtä suuri, että tartuntaosa pysyy varmasti oikeassa asennossa. Käytetään toimilaitteen mitoituksessa varmuuslukua 1,5. Tällöin saadaan toimilaitteelta vaadittavaksi momentin suuruudeksi  $1,5 \times 91,8148 \text{ Nm} = 137,7222 \text{ Nm} \approx 137 \text{ Nm}$ .

### 5.2.2 Toimilaitteen valinta

Pneumaattinen sylinteri valitaan SMC:n valikoimasta, koska Autoprodilla on totuttu käyttämään niiden tuotteita. Lisäksi SMC:llä on valmiit 3D-mallit tuotteistaan, mikä helpottaa mallintamista. Toimilaitteen valinnassa tärkeimmät asiat ovat iskunpituus ja männän halkaisija. Koska tartuntaosalla on tarkat fyysiset rajoitteet, korvakkeen sijoittaminen tehtiin ennen toimilaitteen valintaa. Muuttamalla akselin paikka sopivaan kohtaan saadaan tarvittavaksi iskunpituudeksi 75 mm. Akselin paikka valitaan sillä perusteella, että saadaan mahdollisimman tasainen vääntömomentti sylinterin molemmissa liikesuunnissa.

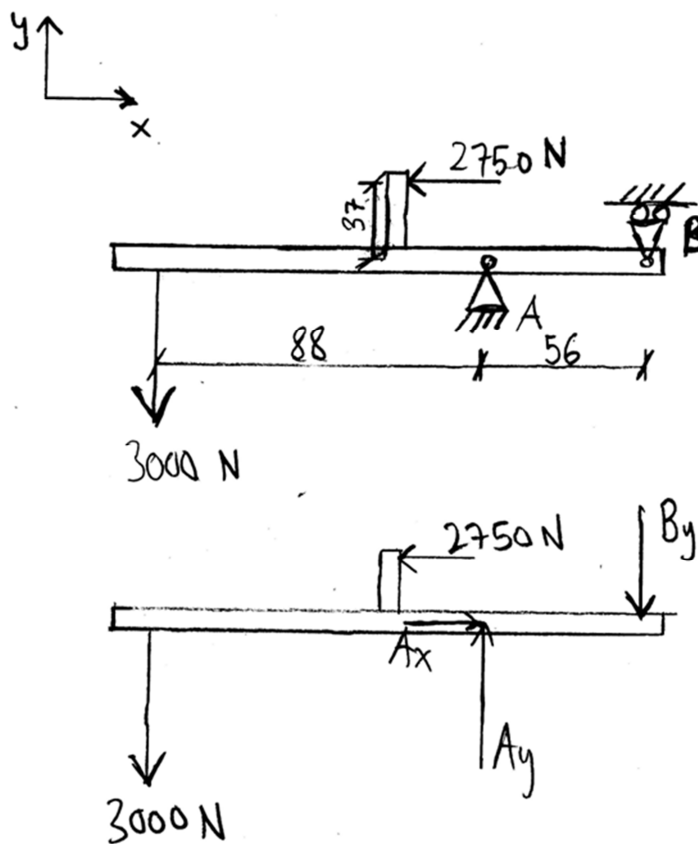
Sylinterin tuottaman voiman vaikutussuoran etäisyydeksi tartuntaosan akselista tulee 37 mm. Tällöin toimilaitteelta vaadittava voima saadaan laskettua aiemmin määritellyn momentin tarpeen mukaan kaavalla 8, joka tulee muotoon.

$$F = \frac{M}{r} = \frac{137 \text{ Nm}}{0,037 \text{ m}} = 3702,703 \text{ N}$$

Saatu voima on sylinterin miinusliikkeellä tarvittava voima. Valitaan sylinteriksi SMC CDQ2A-100-75DZ-M9PM. Sen männän halkaisija on 100 mm ja iskunpituus 75 mm. Sylinterissä on mäntään integroitu magneetti ja ulkopuolella olevat anturit, joiden avulla robotti saa tietoa työkalun toiminnasta ja tilasta. Lisäksi valitaan SMC:n valikoimasta sylinterin päätykiinnike CQ-D100, jolla liitetään sylinteri työkalun runkoon. Paineilmaverkon paineena on laskennassa käytetty 7 baaria. Tällöin sylinterin teoreettiset voimat ovat plusliikkeessä 5 497 N ja miinusliikkeessä 5003 N (15, s. 465).

### 5.3 Laakereiden mitoitus

Tartuntaosan ja työkalun rungon väliseen akseliiliitokseen mitoitettiin laipalliset liukulaakerit. Laakereiksi valittiin NOMO:n huoltovapaat PTFE-liukulaakerit. Malliksi valittiin mitoitettuun akseliin sopiva NB1F-25115. Suurin radiaalisuuntainen kuormitus laakerille tulee ristikonpoistossa, kun kääntösylinteri tekee plusliikkeen ja robotti lähtee kiihtyvällä liikkeellä ylöspäin kuljettamaan ristikkoa pois kokoonpanoseinältä. Kuvassa 19 näkyvät voimat ristikonpoistotilanteessa.



KUVA 19. Laakeriin kohdistuvat voimat ristikonpoistossa

Tukipiste A on kohta, jossa sijaitsee tartuntaosan akseli ja laakerointi. Tukipiste B on työkalun rungossa oleva vaste, johon tarttujaosan runko ottaa vastaan. Lasketaan voimien  $A_x$ ,  $A_y$  ja  $B_y$  suuruudet. Momenttiehto on laskettu pisteen A suhteen.

$$\uparrow A_y - 3\,000\text{ N} - B_y = 0$$

$$\rightarrow A_x - 2\,750\text{ N} = 0$$

$$\curvearrowright 2\,750\text{ N} * 0,037\text{ mm} + 3\,000\text{ N} * 0,088\text{ mm} - B_y * 0,056\text{ mm} = 0$$

Saadaan laskettua arvot  $B_y = 6\,531,25\text{ N}$  ja  $A_y = 9\,531,21\text{ N}$ . Pythagoraan lauseella saadaan laskettua voimien  $A_x$  ja  $A_y$  resultantti. Sen suuruudeksi tulee  $9\,919,80\text{ N}$ . Liukulaakerit mitoitetaan kyseisen resultanttivoiman mukaan.

Liukulaakerit mitoitetaan laskemalla pinta-paine ja tarkastamalla ettei arvo nouse yli sallitun rajan. Valmistajan mukaan pinta-paine saa olla maksimissaan  $140\text{ N/mm}^2$  ja laakerin maksiminopeus  $5\text{ m/s}$  (16, s. 22). Kaavalla 11 lasketaan pintapaine ja varmistetaan laakerin normaali kestoikä. (17, s. 177):

$$p = \frac{F}{dL} \quad \text{KAAVA 11}$$

$F$  = laakeriin kohdistuva voima

$d$  = laakerin sisähalkaisija

$L$  = laakerin pituus

$$p = \frac{9\,920\text{ N}}{25\text{ mm} * 20\text{ mm}} = 19,84\text{ N/mm}^2$$

Pintapaineen arvo on alle  $140\text{ N/mm}^2$  eikä nopeuden arvoa tarvitse tarkastaa, koska nopeutta säädetään kääntösynterissä olevilla vastusventtiileillä, eikä arvo tule koskaan olemaan jatkuvassa käytössä yli maksimiarvon. Käytännössä arvo tulee olemaan maksimissaan noin  $1\text{ m/s}$ .

Aksiaalisia voimia kohdistuu laakerin laippaan, silloin kun tarraimella pyöritetään puuosia oikeaan asentoon. Jos painavin puuosa pyöräytetään pystyasentoon, niin kappale kohdistaa laakerin laippaan voiman. Tällöin voima kohdistuu vain yhteen laippaan, joka on rungon ja tartuntaosan välissä. Puuosan lisäksi siihen kohdistuu tarraimen painon (noin  $15\text{ kg}$ ) aiheuttama voima. Voiman suuruus saadaan laskettua kaavalla 12 (9, s. 91).

$$F = mg \quad \text{KAAVA 12}$$

$m$  = kappaleen ja tarraimen massat

$g$  = maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys

$$F = (35 \text{ kg} + 15 \text{ kg}) * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 490,5 \text{ N}$$

Kaavalla 6 saadaan laskettua laakerin laipan pinta-ala. Laipan pinta-alan laskemiseen tarvittavat mitat ovat, ulkohalkaisija 35 mm ja sisähalkaisija 25 mm.

$$A = \frac{\pi * (35 \text{ mm})^2}{4} - \frac{\pi * (25 \text{ mm})^2}{4} = 471,239 \text{ mm}^2$$

Laippaan kohdistuva pintapaine on voima jaettuna pinta-alalla. Kaavalla 5 saadaan siis laskettua paineen arvo.

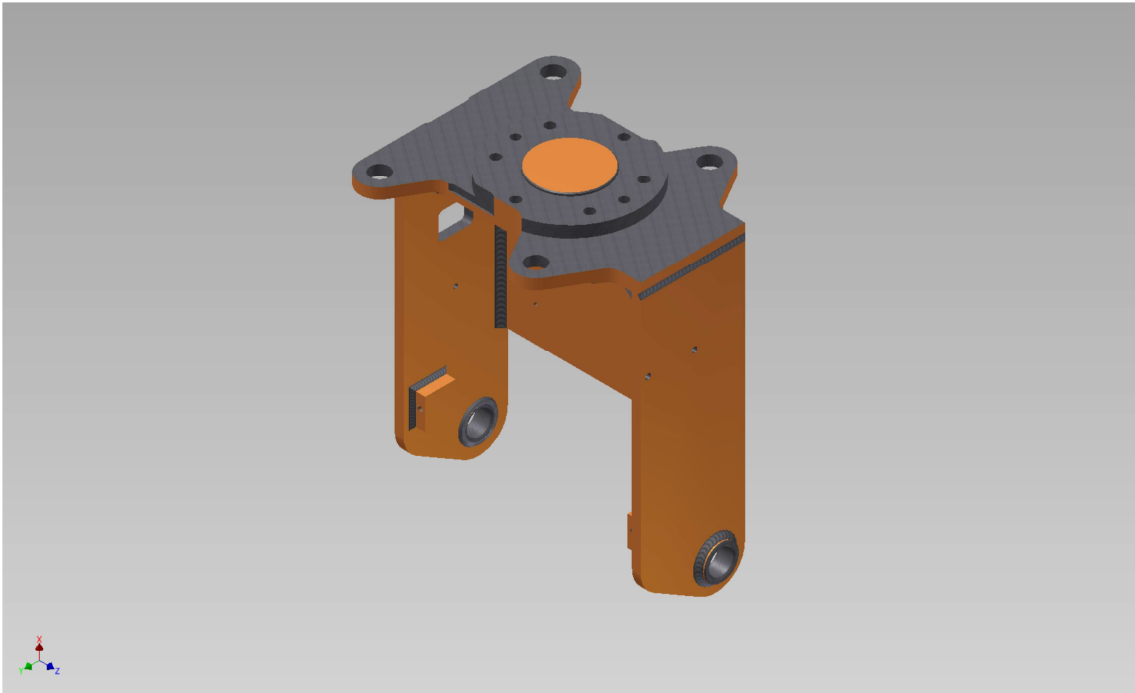
$$p = \frac{490,5 \text{ N}}{471,239 \text{ mm}^2} = 1,041 \text{ N/mm}^2$$

Aksiaalisuuntainen voimakin on mitättömän pieni verrattuna sallittuun arvoon.

Liukulaakereiden pitäisi kestää hyvin, koska lasketut arvot jäävät huomattavasti pienemmiksi kuin sallitut arvot.

## 6 TYÖKALUN RUNGON SUUNNITTELU

Työkalun rungon materiaaliksi valittiin S355J2. Rungon mallintaminen aloitettiin, kun tiedettiin kääntösynterinin paikka suhteessa tartuntaosaan. Rungon yläosaan tulee paikka Sommer-automaticin WWR 125L-B työkalunvaihtojärjestelmän laipalle. Rungon yläosaan suunniteltiin myös reiät, joista työkalu voidaan kohdistaa robotissa olevaan työkalutelineeseen. Sen osat liitetään toisiinsa hitsaamalla, jonka jälkeen koneistetaan referenssipisteet rungon yläosan laippaan. Rungon koneistukset tehdään referenssipisteiden mukaan ja koneistetut pinnat suojataan ennen maalausta. Kuvassa 20 rungon koneistetut pinnat ja hitsausaummat näkyvät harmaana.



KUVA 20. Työkalun runko

## 7 KOMPONENTTIEN VALINTA

### 7.1 Hydraulikkajärjestelmä

Hydraulikkajärjestelmän komponentit valittiin Dunlop Hiflexin ja Hydroscandin, Salhydro Oy:n ja Helmig-hydraulikin valikoimista. Kaksoispaineenrajoitusventtiili ja vastusventtiili jouduttiin asentamaan työkaluun, etteivät ne vaikuta muiden työkalujen toimintaan. Kaksoispaineenrajoitusventtiiliksi valittiin VAU 3/8 10-180, jolla voidaan rajoittaa maksimipaine haluttuun arvoon välille 10-180 baaria. Sillä voidaan rajoittaa erikseen sylinterin kummankin liikesuunnan paine. Tällainen valinta jouduttiin tekemään, koska valitun hydraulikkasynterinin maksimipaine on 160 baaria. Normaali paineenrajoitusventtiili olisi vaatinut erillisen paluulinjan tai ohjausventtiilin.

Vastusventtiiliksi valittiin Hydroscandin 8070-04-04, jolla voidaan rajoittaa tilavuusvirta noin 3 l/min. Vastusventtiili rajoittaa virtauksen molempiin suuntiin, jolloin selvittää yhdellä komponentilla. Jos olisi valittu vastusvastaventtiili, niin molempiin liikesuuntiin olisi tarvittu oma venttiili. Koska aiemmin lasketut sylinterin tilavuusvirrat ovat lähellä toisiaan ja sylinterin iskunpituus vain 30 mm, niin erillisten vastusvastaventtiilien valitsemisesta ei saataisi merkittävää hyötyä.

Hydrauliikkaletkuiksi valittiin Dunlop Hiflexin 241T-04. Se on teräskudosletku, jonka taivutussäde on 51 mm ja paineenkesto 420 baaria. Liittimet ja puristusholkit valittiin myös Dunlop Hiflexiltä. Hydraulikkaletkujen jatkoksi ennen sylinteriä valittiin Helmig-hydraulikin valikoimasta pyörivät liittimet DGWS 1/4 IG SW 27, koska ilman niitä hydraulikkaletkujen kestävyys olisi voinut muodostua ongelmaksi kääntyvän tartuntaosan takia. Pyörivät liittimet liitetään sylinteriin Salhydro Oy:n valikoimassa olevilla banjoputkilla, banjotartunnoilla ja banjopulteilla. Hydraulikkasynterinin ohjaus hoidetaan robotin koneikossa olevalla suuntaventtiilillä.

## **7.2 Paineilmajärjestelmä**

Kaikki paineilmajärjestelmän komponentit valittiin SMC:n valikoimasta. Sylinteriin tulevat vastusvastaventtiilit ovat mallia AS3201F-03-08-J. Letkut ovat 8 mm paineilmaletkua. Työkalunvaihtolaippaan tulevat liittimet ovat mallia KQ2KD-8-01. Paineilmajärjestelmää ohjataan robotissa olevilla suuntaventtiileillä, joten työkaluun tuleva järjestelmä on hyvin yksinkertainen.

## **7.3 Työkalunvaihtojärjestelmä**

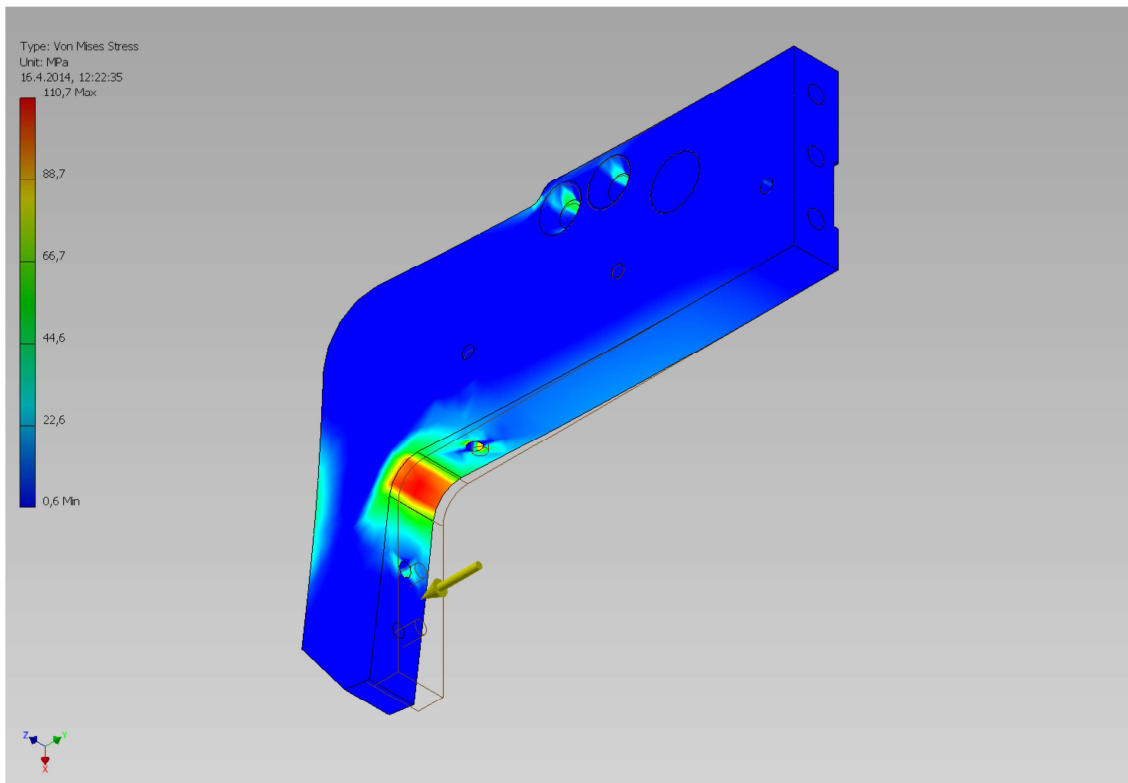
Autoprodin robotissa on käytössä Sommer-automaticin työkalunvaihtojärjestelmä, johon kuuluvat työkalunvaihtolaippa WWR 125L-B ja hydraulikkaelementti WER05-LH2. (18, s. 29, 35.) Lisäksi työkalunvaihtojärjestelmässä on sähköliitinelementti, joka on Autoprodin suunnittelema.

## 8 LUJUUSTARKASTELU

Lujuustarkasteluja tehtiin koko ajan mallintamisen edetessä. Aluksi pyrittiin selvittämään pahin mahdollinen kuormitus ja laskemaan rakenteeseen kohdistuva voima. Kun voima ja sen sijainti saatiin selvitettyä, tehtiin simulointi Inventor-ohjelmalla. Tähän opinnäytetyöhön sisällytettiin vain osa tehdyistä simulointituloksista.

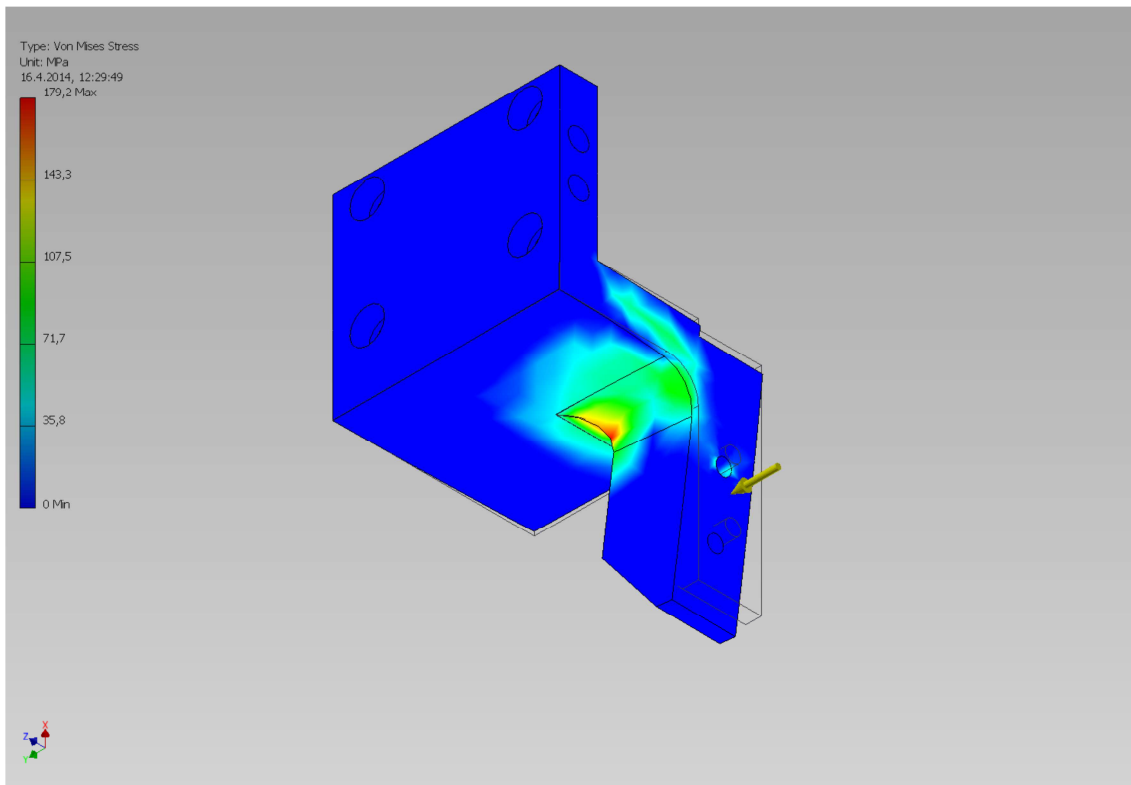
### 8.1 Sormien simulointi

Sormien simulointi tehtiin hydraulikkasynterinin tuottaman voiman mukaan. Synterinin työntövoima on 10,29 kN, ja se jakautuu kahteen sormeen, jolloin yhteen sormeen kohdistuva voima on 5,145 kN. Voima kohdistuu tasaisesti koko sormeen, mutta tässä simuloinnissa se on yksinkertaistettu pistemäiseksi ja sijoitettu puristuspinnan keskipisteeseen. Kuvassa 21 näkyy sormeen kohdistuva jännitys, joka on suurimmillaan 110,7 MPa, ja joka sijaitsee sormen juuressa olevassa pyörityksessä. Materiaalina on S355J2, jonka alempi myötöraja on 335 MPa. Tästä voidaan päätellä, että sormi kestää puristuksen aiheuttaman jännityksen.



*KUVA 21. Etummaisena sormen simulointitulokset*

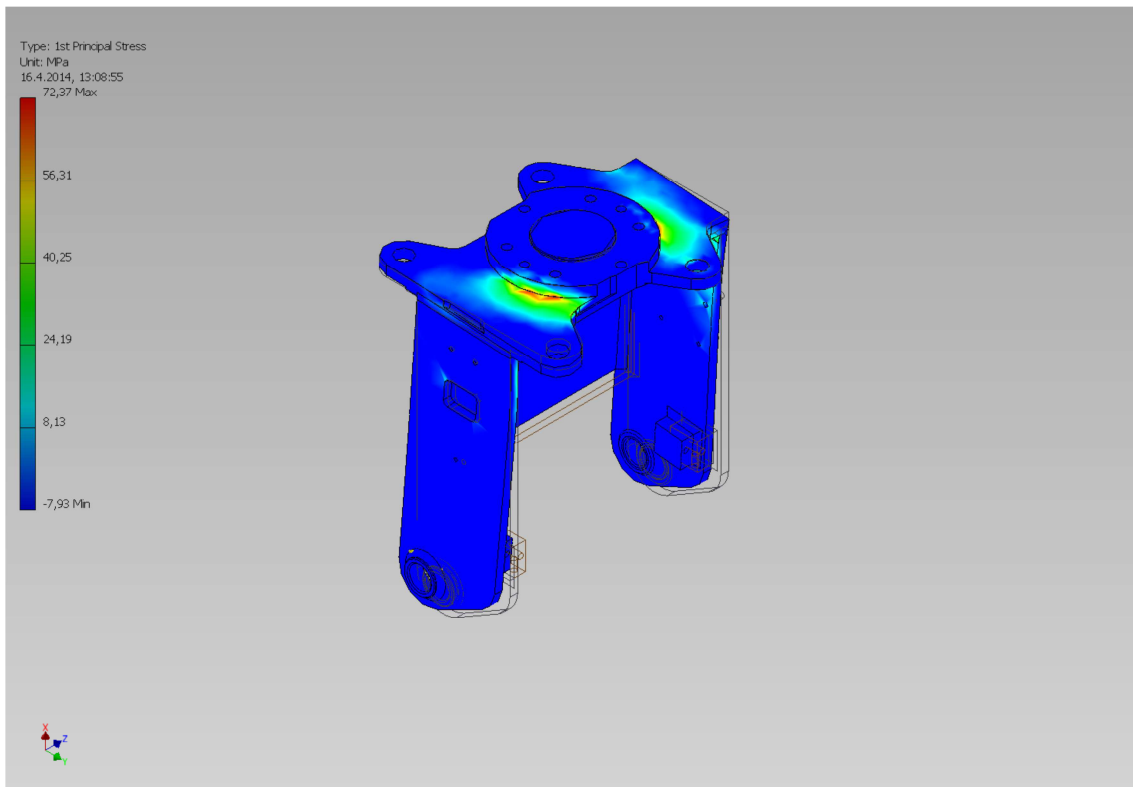
Taemman sormen simulointi tehtiin vastaavalla tavalla kuten etummaisena sormen. Materiaali ja voima ovat samat ja voiman sijoittaminen tehtiin vastaavalla tavalla. Suurimmillaan jännitys on 179,2 MPa ja sijaitsee sormen takareunan pyörityksessä, eli se on puristusjännitystä. Suurin vetojännitys on noin 100 MPa. Kuvassa 22 on sormeen kohdistuvien jännityksien jakaantuminen puristustilanteessa.



KUVA 22. Taemman sormen simulointitulos

## 8.2 Rungon simulointi

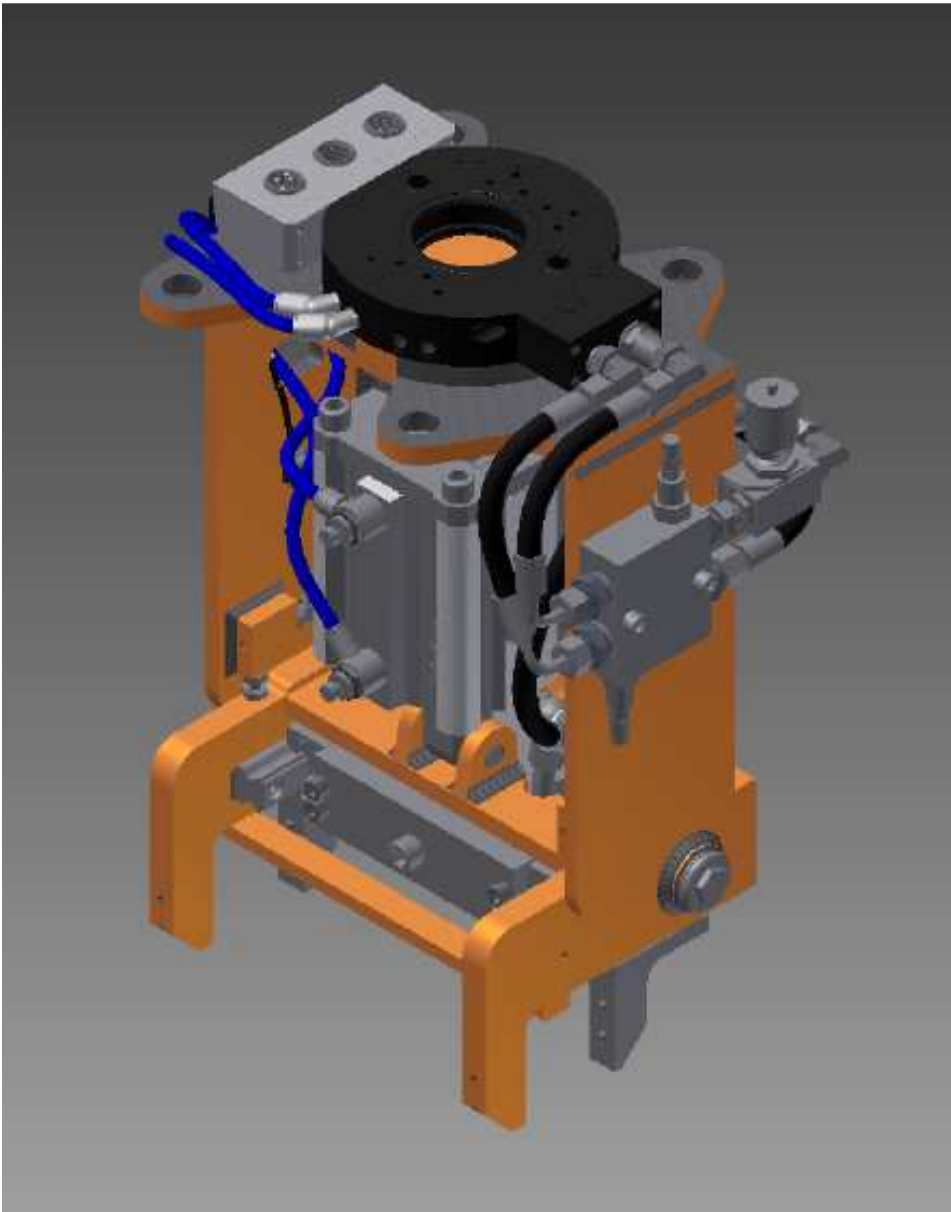
Rungon simulointi tehtiin raskaimman kuormitustilanteen mukaan, joka on ristikonpoistotilanteessa. Ristikonpoistossa rakenteeseen kohdistuu voima, jonka suuruus on noin 6 000 N. Todellisuudessa voima välittyy tartuntaosan kautta rakenteeseen. Tilannetta on yksinkertaistettu ja se on kohdistettu suoraan runkoon akseleiden kohdalle, koska se ei muuta tilannetta merkittävästi. Suurin jännitys on rungon yläosan laipassa ja sen suuruus on 72,37 MPa. Kuvassa 23 näkyvät rungon jännitykset maksimikuormituksella.



*KUVA 23. Rungon simulointitulokset*

## 9 TULOKSET

Tuloksena saatiin hydrauliiikkaa ja pneumatiikkaa käyttävä työkalu, joka teorias-  
sa selviytyy sille asetetuista vaatimuksista. Työkalua ei vielä valmistettu, joten  
sen toimintaa ei ole vielä testattu käytännössä. Kuvassa 24 on lopullinen puu-  
osatyökalu. Työn tuloksena saatiin myös valmistus- ja kokoonpanopiirustukset,  
mutta niitä ei julkaista.



*KUVA 24. Puuosatyökalu*

## 10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli puuosatyökalun suunnittelu teollisuusrobotille, joka toimii kattoristikoiden kokoonpanolinjalla. Työkalun tuli toimia puuosien siirtelyssä ja ristikonpoistossa. Tehtävänä oli ratkaista työkalun käyttövoima, rakenne ja muut ominaisuudet. Lisäksi työkalu piti saada kestäväksi, joten sille tehtiin tarvittavat lujuustarkastelut. Työkaluun piti suunnitella kääntyvä tartuntaosa, jolla mahdollistetaan sen joustavampi toiminta puuosaa haettaessa. Työkalun mallintamisessa ja lujuustarkastelussa käytettiin Autodesk Inventor -ohjelmaa. Lisäksi Inventorilla luotiin valmistus- ja kokoonpanopiirustukset työkalun valmistusta varten. Tarkoituksena oli tehdä myös työkalun kokoonpano ja testaaminen, mutta se osoittautui mahdottomaksi ajallisten ongelmien takia, sillä itse suunnitteluun kului aikaa arvioitua enemmän. Niinpä päätimme yhdessä tilaajan kanssa rajata se pois opinnäytetyön sisällöstä.

Työ aloitettiin perehtymällä erilaisiin olemassa oleviin tarttujiin ja mekanismeihin internetin sekä erilaisten kirjojen avulla. Lisäksi löysin muutaman opinnäytetyön, joissa oli kuvailtu tarraimen suunnitteluprosessin etenemistä ja suunniteltu jonkinlainen tarrain robotille. Haasteelliseksi osoittautui sopivan tarttujamekanismin valinta ja oma tietämättömyyteni kyseisestä kokoonpanoprosessista sekä sen asettamista vaatimuksista. Jos aloittaisin suunnitteluprosessin nyt uudelleen, luultavasti tekisin asiat eri tavalla ja lopputulos voisi olla täysin erilainen.

Työn tuloksena saatiin puuosatyökalu, joka teoriassa pystyy tekemään siltä vaadittavat tehtävät. Työkalun käyttövoimaksi valikoituivat sekä hydraulikka että pneumatiikka. Hydraulikkasyylinteri oli hyvä ratkaisu tarttujaosan toimilaitteeksi, koska se oli pienikokoinen ja sillä saatiin varmasti pysyvä tartunta. Toisaalta hydraulikkaletkujen sijoittamisen on aina vaikeampaa kuin paineilmaletkujen. Tarttujaosan kääntöön suunniteltiin mekanismi, joka toimii paineilmasylinterillä. Tätä valintaa puolsi se, että kahden paineilma- tai hydraulikkatoimilaitteen käyttämien olisi vaatinut erilliset ohjausventtiilit, jotka olisi pitänyt sijoittaa työkaluun. Ongelmaksi työkalun käytössä voi osoittautua lyhyempien puuosien siirte-

ly kuin suunnittelussa on huomioitu, koska sillä ei voida siirtää puuosia yhdellä sormella, kuten nykyisellä työkalulla.

Työkalun suunnittelu osoittautui erittäin haastavaksi tehtäväksi. Haastavuutta tehtävään tuli vielä lisää, kun tilaajan toivomuksesta lisäsin tavoitteeksi ristikonpoistosta suoriutumisen. Haasteita syntyi erityisesti fyysisten rajoitteiden takia, joista johtuen tarttujaosa piti saada mahdollisimman pieneksi. Myös toimilaitteen mahtuminen tarttujaosaan aiheutti lisäongelmia hydraulikkaletkujen ja liittimien sijoittamiseen. Lisää haasteita hydraulikkajärjestelmään toi kääntyvä tarttujaosa, johon letkut piti vetää. Työn loppuvaiheilla tilaajan toivomuksesta tehtiin vielä muutos hydraulikkaletkuihin, joihin lisättiin pyörivät liittimet tartuntaosaan, jotta letkut kestäisivät jatkuvaa käyttöä. Tavoitteeni oli luoda mahdollisimman yksinkertainen ja toimiva työkalu, mutta sellaisen suunnittelu ei ollutkaan kovin yksinkertaista.

Vaihtoehtoisia ratkaisuja työkaluun on varmasti monenlaisia. Oma aikani ei riittänyt tutustua sähkötoimilaitteisiin, jotka olisivat voineet olla hyviä ratkaisuja käyttövoiman lähteeksi. Niidenkin käyttäminen olisi ollut mahdollista. Tarttujaa olisi voinut lähteä miettimään alusta asti eri tavalla esimerkiksi siten, että puuosa tulisi kuljettimella vaakatasossa ja tartunta tapahtuisi sen lyhimmiltä sivuilta. Tällä saavutettaisiin se etu, että puuosan vieminen seinälle olisi helpompaa ja se onnistuisi myös ahtaisiin väleihin, kun tarttuja voisi poistua kohtisuoraan pois päin seinästä.

Oma tietämykseni robotiikasta ja mekaniikkasuunnittelusta ei ollut kovinkaan hyvällä tasolla ennen suunnittelun aloittamista, mutta jälkeenpäin en kadu työn vastaanottamista yhtään. Itse olen päällisin puolin tyytyväinen suunnittelemaani lopputulokseen, mutta joitakin asioita tekisin toisin, jos aikaa olisi enemmän. Huomasin myös sen, että koulu on vain pintaraapaisu opiskelussa ja todellinen opiskelu alkaa työelämään siirryttäessä.

## LÄHTEET

1. Autoprod Oy. 2012. Saatavissa: <http://autoprod.fi/site/index.php/fi>. Hakupäivä 28.1.2014.
2. Ylitalo, Matti 2013. Autoprod Oy:n verkkolevy.
3. Kuivanen, Risto 1999. Robotiikka. Tampere: Suomen Robotiikkayhdistys Ry.
4. "Jamming" Robot Gripper Gets Official: Article Published in PNAS. Saatavissa: [http://www.hizook.com/files/users/3/Jamming\\_Robot\\_Hand\\_2.jpg](http://www.hizook.com/files/users/3/Jamming_Robot_Hand_2.jpg). Hakupäivä 4.2.2014.
5. Air oil systems. 2014. Saatavissa: <http://www.airoil.com/manufacturers/Schunk+Grippers.html>. Hakupäivä 3.2.2014.
6. Lujuusteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/puun-lujuusteknisia-ominaisuuksia>. Hakupäivä 30.1.2014.
7. Heilala, Juhani 1990. Älykkään robottitarraimen suunnittelu. Tekninen tiedotus 17/90, Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
8. The Engineering Toolbox, Saatavissa: [http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d\\_778.html](http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html). Hakupäivä 2.2.2014.
9. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani 2010. Tekniikan kaavasto. Hämeenlinna: Tammertekniikka.
10. AHP Merkle 2014. Saatavissa: <http://fi.ahp.de/products/product-overview/block-cylinder/block-cylinder-bz/details/>. Hakupäivä 10.4.2014.

11. HIWIN motion control and systems. 2014. Catalog Linear Guideways. Saatavissa: [http://www.hiwin.de/en/SeriesHGQH-Products?co\\_id=4268](http://www.hiwin.de/en/SeriesHGQH-Products?co_id=4268). Hakupäivä 9.4.2014.
12. HIWIN motion control and systems. 2014. HGL. Saatavissa: [http://www.hiwin.de/en/HGL-Products?co\\_id=4276&art\\_id=22232](http://www.hiwin.de/en/HGL-Products?co_id=4276&art_id=22232). Hakupäivä 14.4.2014.
13. Direct industry. 2014. Martin sprocket and gear. Saatavissa: <http://www.directindustry.com/prod/martin-sprocket-gear/racks-pinions-9091-31265.html>. Hakupäivä 14.4.2014.
14. Kinetrol actuators and dashpots. Saatavissa: <http://www.kinetrol.com/>. Hakupäivä 14.4.2014.
15. Tuoteluettelo F2. 2011. SMC Pneumatics Finland Oy.
16. Glidlager 2005. NOMO. Saatavissa: <http://www.nomo.se/pdf/glidlager.pdf>. Hakupäivä 15.4.2014.
17. Blom, Seppo – Lahtinen, Pekka – Nuutio, Erkki – Pekkola, Kari – Pyy, Seppo – Rautiainen, Hannu – Sampo, Ahto – Seppänen, Pekka – Suosara, Eero 2006. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita.
18. Tool changers. Sommer-automatic. Saatavissa: [http://www.sommer-automat-ic.com/typo3conf/ext/lw\\_sommer\\_products/Resources/Public/dokumente/serienpdf/gb/s\\_wwr\\_gb.pdf](http://www.sommer-automat-ic.com/typo3conf/ext/lw_sommer_products/Resources/Public/dokumente/serienpdf/gb/s_wwr_gb.pdf). Hakupäivä 5.5.2014.