



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jani Vaskivuori

TARTTUJAN SUUNNITTELU DYNAMOLEVYILLE

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jani Vaskivuori
Opinnäytetyön nimi	Tarttujan suunnittelu dynamolevyille
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	51 + 1 liitettä
Ohjaaja	Sami Elomaa

Opinnäytetyö suoritettiin toimeksiantona ABB Motors & Generators -yksikölle Vaasaan. Tämän tutkimustyön tarkoitus oli suunnitella robotin tarttujaa staattori- ja roottorilevyjen poimintaan. Laserlevyleikkurilta kuljetinta pitkin saapuvat dynamolevyt poimittaisiin tällä tarttujalla ja asetettaisiin pinon lavalle tai sylinterimäiseen tuurnaan. Tuotantosolu, minne tarttuja tulisi, on vasta suunnitteilla.

Tutkimusta tehtiin tutustumalla sähkömoottoreiden tuotantoon ja tuotteisiin. Rajattiin staattoreiden ja roottoreiden levymallit yleisimmin käytettyihin ja suunniteltiin tarttuja sopivaksi niille. Tutkittiin levyjen fyysisiä ominaisuuksia. Tutustuttiin useisiin robotiikkaa ja automaatiota sisältäviin lähteisiin ja aiempiin aiheeseen liittyviin tutkimuksiin. Lisäksi pohdittiin, millaisia ominaisuuksia vaaditaan robotin tarttujalta, jotta se toimisi sujuvasti automatisoidussa dynamolevyjen tuotantosolussa yhdessä muun laitteiston kanssa.

Ideoitiin erilaisia robotin tarttujia. Suunniteltiin asiakkaan toiveisiin parhaiten so- piva tarttuja ja mallinnettiin se Siemens NX -ohjelmistoa käyttäen. Pohdittiin mahdollisia jatkokehityskohteita robotin tarttujaan ja tuotantosoluun liittyen.

ABSTRACT

Author	Jani Vaskivuori
Title	Design of a Gripper for Dynamo Plates
Year	2020
Language	Finnish
Pages	51 + 1 Appendices
Name of Supervisor	Sami Elomaa

This thesis was commissioned by the ABB Motors & Generators unit in Vaasa. The purpose of this research was to design a robot gripper for picking up stator and rotor plates. The gripper picks up the plates when they arrive along the conveyor from the laser-cutting machine. After that, the plates are placed in a stack on a pallet or cylindrical stacking tube. The production cell where the gripper will be in operation, is still under planning.

The research was carried out by getting to know the production of ABB electric motors. Only the most commonly used plate models of the stators and rotors were chosen and the gripper was designed for them. Examined the physical properties of the plates. Several sources of robotics and automation and previous researches related to the topic were also studied. It was also examined, what is required of the robot gripper to work properly in the automated production cell together with other hardware.

Several ideas of different robot grippers came up in the thesis, but only one of the ideas that was the best for the customer was implemented. A 3D model was made of it by using the Siemens NX software. Some further development targets related to this research were also considered.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	YRITYS LYHYESTI	10
3	ROBOTIT JA TARTTUJAT.....	11
3.1	Erityyppisiä teollisuusrobotteja	11
3.1.1	Lineaari- tai portaalirobotti (Cartesian robot)	12
3.1.2	Sylinterirobotti (Cylindrical robot)	13
3.1.3	Napakoordinaatistorobotti (Polar robot)	14
3.1.4	SCARA-robotti	15
3.1.5	Rinnakkaisrakenteiset robotit.....	16
3.1.6	Kiertyvänivelinen robotti (Robot arm/articulated robot)	17
3.2	Erityyppisiä tarttuvia.....	17
3.2.1	Mekaaniset tarttuvat	18
3.2.2	Vakuumitarttuvat	18
3.2.3	Magneettitarttuvat	18
3.2.4	Muut erikoistartunnat	19
4	SUUNNITTELUPROSESSI	20
5	TARTTUJAN SUUNNITTELU	22
5.1	Vaatimuslista.....	24
5.2	Alustavat suunnitelmat ja ideoinnit	25
5.3	Ideoita tarttujalle ja konseptisuunnittelua	26
5.3.1	Spiraalimainen mukautuva tarttuja	27
5.3.2	Vipuvarsilla mukautuva tarttuja.....	28
5.3.3	Haarukkamainen mukautuva tarttuja	29
5.3.4	Erillisillä piireillä varustettu.....	30
5.4	Luonnosten arviointi ja pisteytys	31
5.5	Jatkosuunnittelu	32
5.5.1	Tartuntatavan valinta.....	33

5.5.2	Tarttujan mekaniikka	35
5.5.3	Tarttujan rakenne ja osaluettelo	37
5.5.4	Dynamolevyjen paikoitus	39
5.5.5	Anturointi ja muu varustelu	41
5.6	3D-malli suunnitellusta tarttujasta	41
5.7	Valmistus	43
5.7.1	Koneistettavat osat	44
5.7.2	Laserleikattavat osat.....	46
6	POHDINTA JA YHTEENVETO.....	47
6.1	Jatkokehitys.....	49
	LÄHTEET.....	50

LIITTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Lineaarirobotti/portaalirobotti.

Kuva 2. Sylinterirobotti.

Kuva 3. Napakoordinaatistorobotti.

Kuva 4. SCARA-robotti.

Kuva 5. Rinnakkaisrakenteinen robotti.

Kuva 6. Kiertyvänivelinen robotti.

Kuva 7. Gecko Single Pad -tarttuja.

Kuva 8. Käsiteltävät levyt.

Kuva 9. Oma CAD-malli kokoonpanossa käytettävästä tuurnasta.

Kuva 10. Ensimmäinen CAD-malli spiraalimaisesta rakenteesta tarttujassa.

Kuva 11. Ensimmäinen CAD-malli vipuvarsimekaniikasta.

Kuva 12. Ensimmäinen CAD-malli tarttujasta.

Kuva 13. Ensimmäinen CAD-malli haarukkamaisesta tarttujasta.

Kuva 14. Ensimmäinen CAD-malli erillisillä piireillä olevasta tarttujasta.

Kuva 15. CAD-malli Feston imukupista.

Kuva 16. Toinen pituussuuntainen lineaariyksikkö.

Kuva 17. Ohjaustapin toiminnan ideointia.

Kuva 18. Induktiivinen anturi

Kuva 19. CAD-malli suunnitellusta tarttujasta.

Kuva 20. Staattorilevy kiinni tarttujassa.

Kuva 21. Sivulaippa avattuna JETCAM-ohjelmistolla.

Kuva 22. Koneistusajan simulointia.

Taulukko 1. Vaatimuslista tarttujalle.

Taulukko 2. Taulukko eri konseptien pisteytyksestä.

Taulukko 3. Osaluettelo.

Taulukko 4. Koneistusajan laskenta.

Taulukko 5. Koneistusaika -arviot.

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Opinnäytetyöpassi

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

ABB	Asea Brown Boweri.
Staattori	Sähkömoottorin kiinteä osa.
Roottori	Sähkömoottorin pyörivä osa.
Dynamolevy	Nimitys staattori- ja roottorilevyille.
Gripperi	Robotissa käytettävä työkalu. Muita yleisesti käytettyjä nimityksiä gripperille ovat tarrain tai tarttuja. Voidaan kutsua myös robotin manipulaattoriksi.
CAD-malli	Computer Aided Design. Tietokoneen avulla muodostettu 3D -malli.
RobotStudio	ABB:n ohjelmisto, jolla voi mm. simuloida ja ohjelmoida Offline -tilassa.
FEM-laskenta	Usein tietokoneavusteinen rasituslaskenta, jolla voidaan mallintaa rakenteen kestävyyttä.
Topologian optimointi	Rakenteen optimointia siten, että rajoitetaan rakenteen muotoa mahdollisimman vähän ja käytetään materiaalia vaan siellä missä sitä tarvitaan ja otetaan pois missä sitä ei tarvita.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö suoritettiin toimeksiantona ABB Motors & Generators -yksikölle Vaasaan. Opinnäytetyön tavoite on suunnitella robotin tarttujaa staattori- ja roottorilevyjen poimintaan. Kyseistä dynamolevyjen valmistussolua ei ole vielä olemassa vaan on vasta suunnitteilla. Suunniteltavan solun tarkoitus olisi nykyi-kaistaa ja tehostaa dynamolevyjen tuotantoa. Tämä opinnäytetyö pohjautuu osaksi aiempaan tutkimustyöhön dynamolevyjen robotisoidusta siirrosta /1/. Omat haasteensa työhön luo poimittavat erikokoiset dynamolevyt ja niiden käsittely poiminnan jälkeen.

Dynamolevyt leikattaisiin höyrystävällä laserleikkurilla. Leikkurilta ne tulisivat kuljetinta pitkin robotin toiminta-alueelle, josta robotin olisi kyseistä tarttujaa käyttämällä poimittava levyt ja siirrettävä lavalle tai mahdollisesti jopa suoraan kokoonpanon ladontavaiheessa käytettävälle tuurnalle. Suoraan tuurnalle asetettuna poistuisi nykyisin käsin tehtävä tuurnalle latominen.

Tutkimusta tehtiin tutustumalla sähkömoottoreiden tuotantoon ja tuotteisiin. Rajattiin staattoreiden ja roottoreiden levymallit yleisimmin käytettyihin ja suunniteltiin tarttuvia sopivaksi niille. Levyjen halkaisijat vaihtelevat tässä tapauksessa karkeasti 130–700 mm välillä. Tutkittiin levyjen fyysisiä ominaisuuksia ja massoja. Tutustuttiin useisiin robotiikkaa ja automaatiota sisältäviin lähteisiin ja aiempiin aiheeseen liittyviin tutkimuksiin. Lisäksi tutkittiin, millaisia ominaisuuksia ja antu-rintia vaaditaan robotin tarttujalta, jotta se toimisi optimaalisesti automatisoi- dussa dynamolevyjen tuotantosolussa yhdessä muun laitteiston kanssa.

2 YRITYS LYHYESTI

”ABB on teknologiajohtaja, joka edistää teollisuuden digitalisaatiota. Innovointimme on jatkunut yli 130 vuoden ajan. ABB:llä on neljä asiakaskeistä globaalisti johtavaa liiketoimintaa: Electrification, Industrial Automation, Motion ja Robotics & Discrete Automation, joita tukee yhteinen, digitaalinen ABB Ability™ -alusta. ABB:n Power Grids -liiketoiminta divestoidaan Hitachille vuonna 2020. ABB toimii yli 100 maassa ja työllistää noin 147 000 henkilöä.” /2/

Suomessa ABB:llä on toimintaa noin 20 paikkakunnalla, mutta suurimmat tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Porvoossa ja Haminassa.

Helsinki, Pitäjänmäki: moottorit, generaattorit, taajuusmuuttajat, CPM-energianhallintajärjestelmät ja paperikonekäyttöratkaisut.

Helsinki Vuosaari, Hamina: Azipod® -ruoripotkurijärjestelmät.

Vaasa: moottorit, muuntajat, sähköverkon ohjaus- ja suojauslaitteet, pienjännite-tuotteet ja -järjestelmät, sähkön siirto- ja jakelujärjestelmät, voimantuotannon järjestelmät, prosessiteollisuuden kokonaisprojektointi.

Porvoo: sähköasennustuotteet. /3/

Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisista työnantajista, pääkaupunkiseudulla suurin. ABB:llä on toimintaa maailmanlaajuisesti ja se on maailman johtava moottorivalmistaja, joka kehittää energiatehokkaita ja korkean hyötysuhteen omaavia moottoreita ja generaattoreita. ABB Motors and Generators -liiketoimintalinja valmistaa ja kehittää moottoreita Suomessa Helsingissä ja Vaasassa. Vaasan-tehtaalla valmistetaan pienjännitemoottoreita ja Helsingin Pitäjänmäellä sijaitsevassa tehtaassa valmistetaan muun muassa korkeajännitemoottoreita, dieselgeneraattoreita ja kestopagneettimoottoreita. Maailmanlaajuisesti ABB:n moottori- ja generaattoriliiketoiminta työllistää 13 000 henkeä 31 tehtaassa 9 maassa. Suomessa liiketoiminta työllistää 1520 henkilöä, joista Vaasassa 550 ja Helsingissä 900. /4/

3 ROBOTIT JA TARTTUJAT

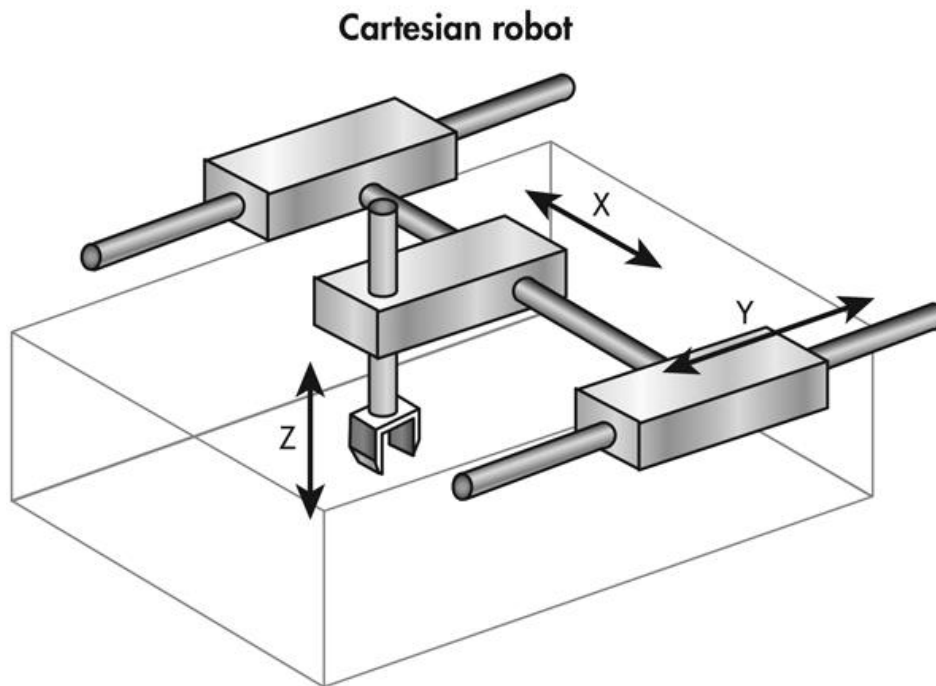
Standardi SFS-EN 775 määrittelee robotin laitteeksi, joka on uudelleen ohjelmoitavissa oleva automaattisesti ohjattu monikäyttöinen käsittelylaite, jolla on useita vapausasteita ja se voi olla joko kiinteästi tai liikkuvaksi asennettu. Teollisuusrobotiksi luokiteltavalla laitteella on oltava vähintään kolme vapaasti ohjelmoitavissa olevaa akselia ja vähintään yksi työkalu. Työkaluja kutsutaan usein myös manipulaattoreiksi. Teollisuudessa robotteja käytetään usein lisäämään tuottavuutta ja kilpailukykyä erilaisissa kokoonpanotehtävissä, hitsauksessa, laserleikkauksessa ja nykyään robotiikkaa sovelletaan myös 3D-tulostuksessa. Robotteja käytetään myös sellaisiin tehtäviin mihin ihminen ei sovellu. Tällaisia tehtäviä ovat esimerkiksi raskaat kappalesiirrot ja ihmiselle vaaralliset työolosuhteet. Robottien tai tarttujien käyttövoimana käytetään sähköä, hydraulikkaa tai pneumaattikkaa. Muita tärkeitä robotiikan standardeja ovat ISO 9787 ja ISO 8373. /5/

3.1 Erityyppisiä teollisuusrobotteja

Riippuen sovelluksesta, erityyppisiä robotteja käytetään siten mikä mihinkin tehtävään parhaiten soveltuu. Tässä tutkimustyössä käytettävät robotit on rajattu siten, että suunnitellaan tarttuja tai tarttujat sopivaksi portaalirobotille ja kiertyväniveliselle robotille. Käydään kuitenkin nopeasti läpi yleisimpiä erityyppisiä teollisuudessa käytettäviä robotteja.

3.1.1 Lineaari- tai portaalirobotti (Cartesian robot)

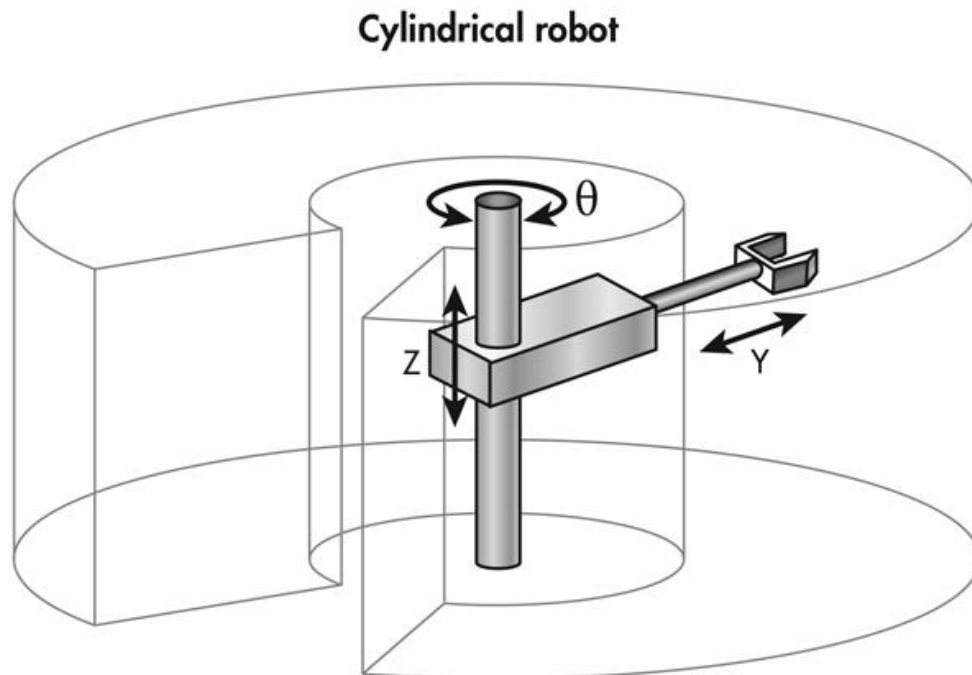
Suorakulmaiset liikkeet kolmen eri akselin suuntaan ja kinematiikkakaaviossa viimeisimpänä on manipulaattori. (Kuva 1).



Kuva 1. Lineaarirobotti/portaalirobotti. /6/

3.1.2 Sylinterirobotti (Cylindrical robot)

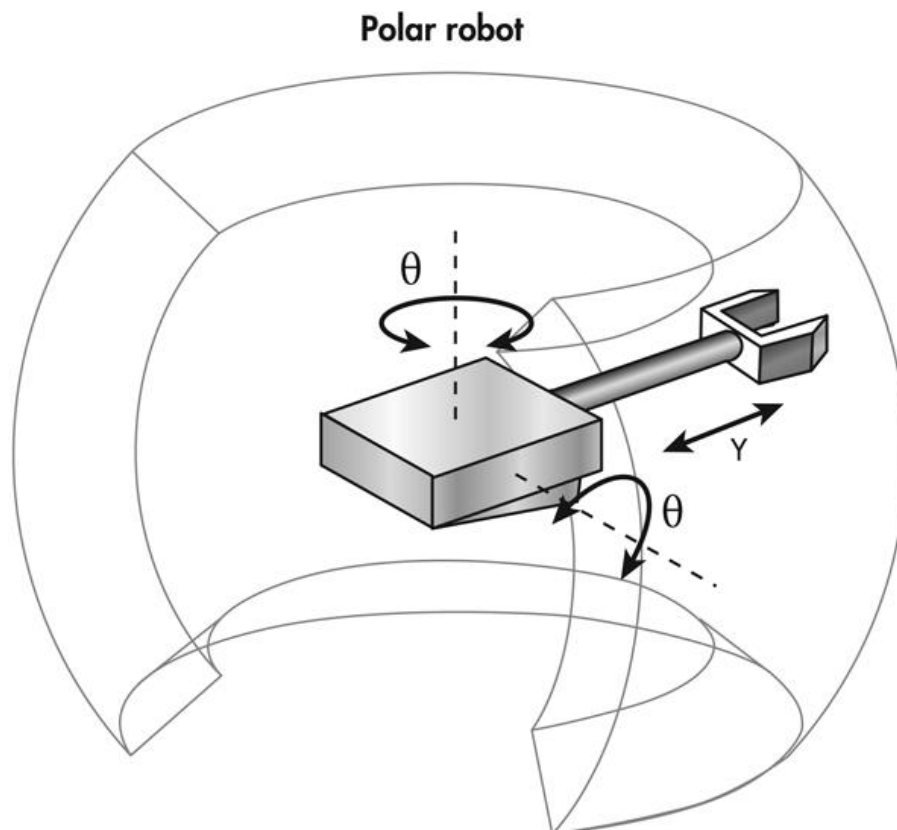
Yksi koko rakennetta kääntävä pyörivä akseli. Muiden akselien liikkeet lineaarisia. (Kuva 2).



Kuva 2. Sylinterirobotti. /6/

3.1.3 Napakoordinaatistorobotti (Polar robot)

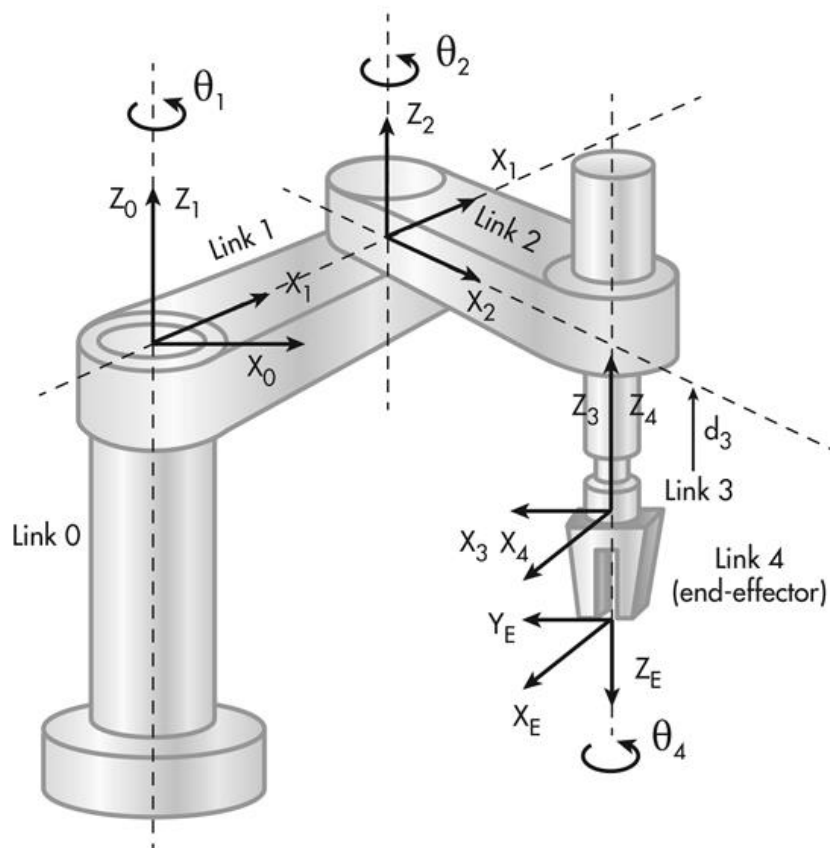
Saman tyyppinen ratkaisu kuin sylinterirobotti, mutta pyörivää akselia on myös mahdollista kallistaa pystysuunnassa. Harvinainen robottityyppi, jota käytetään erikoissovelluksissa. (Kuva 3).



Kuva 3. Napakoordinaatistorobotti. /6/

3.1.4 SCARA-robotti

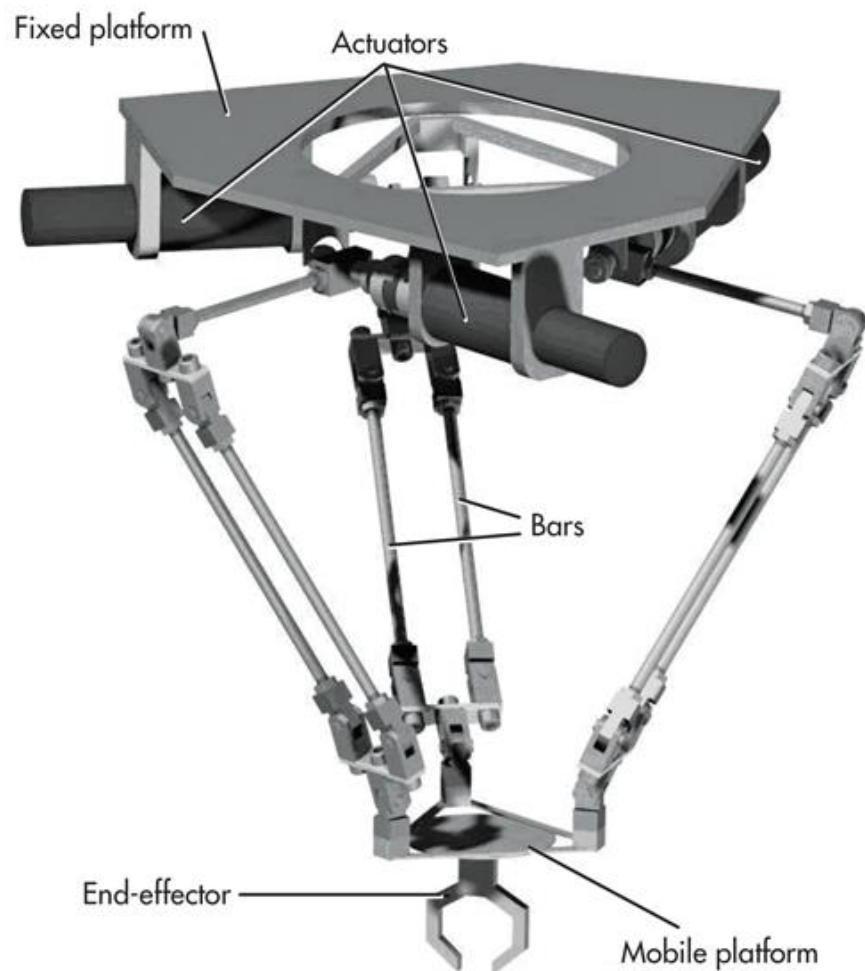
SCARA-nimi tulee sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm. Pystysuuntainen liike on lineaarinen ja sen nivelet ovat vaakatasossa ja kääntyvät akselinsa ympäri. Yleensä vain 4 vapausastetta ja etuna rakenteessa on sen jäykkyys pystysuunnassa. **(Kuva 4).**



Kuva 4. SCARA-robotti. /6/

3.1.5 Rinnakkaisrakenteiset robotit

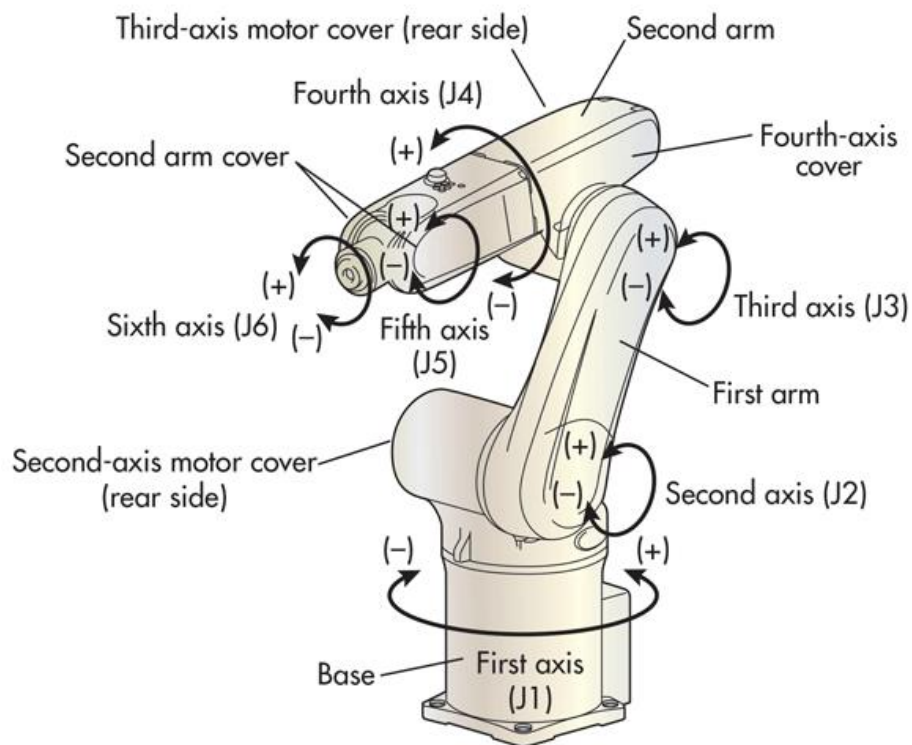
Ovat usein niin sanottuja Pick&Place -robotteja. Tukevia ja todella nopeita robotteja silloin kun pidetään rakenteet kevyinä ja massat pieninä. Tavallisesti roikkuvat telineestä ja niissä on kolmen lineaariliikkeen varassa oleva työkalulaippa. (Kuva 5).



Kuva 5. Rinnakkaisrakenteinen robotti. /6/

3.1.6 Kiertyvänivelinen robotti (Robot arm/articulated robot)

Rakenne muistuttaa ihmisen käsivartta. Todella monipuolisesti käytettävissä oleva rakenne ja siksi yleisesti käytetty sen soveltuvuuden vuoksi. Yleensä kuusi vapaasti ohjelmoitavissa olevaa niveltä, seitsemän jos robotti on liikkuvalla alustalla. (Kuva 6).



Kuva 6. Kiertyvänivelinen robotti. /6/

3.2 Erityyppisiä tarttujia

Tarttijat ovat robottien yksi yleisimpiä ja tärkeimpiä toimilaitteita. Se on robotin työkalulaippaan kytkettävä työkalu, jolla tartutaan työkappaleisiin. Tarttujasta yleisimmin käytettyjä muita nimityksiä ovat tarrain tai gripperi. Erilaisia yleisesti käytettyjä tartuntatyyppisiä ovat mekaaninen, magneettinen, vakuumi ja erikois-tartunnat, joissa hyödynnetään esimerkiksi kitkaa, liimapintaa, jäätymistä, pinta-

jännitystä, sähkökenttää tai Van der Waalsin voimaa. Tarttumat voivat toimia esimerkiksi sähköllä, pneumaattisesti tai hydraulisesti. Tarttuman suunnitteluun vaikuttavat aina työkappaleen ominaisuudet ja ympäristön olosuhteet. Näihin suunnitteluun liittyviin asioihin perehdytään tässä tutkimustyössä tarttuman suunnittelua käsittelevässä kappaleessa. /7/

3.2.1 Mekaaniset tarttumat

Yleisiä mekaanisia tarttumia ovat niin sanotut leuka- tai sormitarttumat, joilla tartunta voidaan hoitaa joko sisäpuolisesti tai ulkopuolelta yhdellä tai useammalla leualla tai sormella. Leukoja voidaan muotoilla monin tavoin työkappaleisiin sopiviksi paremman tartunnan aikaansaamiseksi. Kappaleeseen voidaan tarttua mekaanisesti myös muilla tavoin, kuten esimerkiksi paisuvalla tarttumaelementillä tai vaan kappaleen massaa, painovoimaa ja kitkaa hyödyntäen. /8/

3.2.2 Vakuumitarttumat

Kutsutaan myös alipaine- tai imukuppitarttumiksi. Usein ovatkin imukuppimaisia ja niissä on joustava palje, joka mukautuu tartuttavaan pintaan paremman tartunnan saamiseksi. Imukuppia tai vakuumitartuntaa käytettäessä on etuna se, että voidaan tarttua kappaleeseen vain yhdeltä suunnalta. Imukuppitartunta ei myöskään naarmuta pintoja. Imuteho kasvaa imukupin pinta-alaa suurentamalla tai käyttämällä useampaa imukuppia. Imuvuoto taas heikentää voimakkaasti tartuntaa, eivätkä imukupit kestä suuria sivuttaisvoimia. Kaikki alipainetarttumat eivät kuitenkaan ole imukuppimaisia vaan on kehitetty myös solukumisia tarttumia erikoisella venttiilitekniikalla. /9/

3.2.3 Magneettitarttumat

Magneetteja on erityyppisiä ja ne toimivat hieman eri tavoin, magneetin tyypistä riippuen. On olemassa sähkömagneettisia, jotka aktivoituvat sähkövirrasta ja joiden magneetin voimakkuus kasvaa sähkövirran voimakkuudesta riippuen. Haittapuolena sähköisissä magneeteissa on niiden kuumentuminen käytössä. Sitten

on myös teräksestä valmistettuja kestomagneetteja, jotka pysyvät magneettisina hyvinkin kauan. Kestomagneeteista on olemassa tarttujiin suunniteltuja pneumaattisia magneetteja, jotka aktivoituvat paineilmalla ja ovat usein jousipalautteisia ja vaativat siksi vain yhden paineilmalähdön. /10, 11/

3.2.4 Muut erikoistartunnat

Yksi nykyisistä tartuntainnovaatioista on Van der Waalsin voimaan perustuva Gecko-tarttuja, joka tarttuu miljoonien pienien mikrosäikeiden avulla mille tahansa tasaiselle pinnalle materiaalista riippumatta ja täysin jälkiä jättämättä. Ei vaadi paineilmaa tai erillistä virtalähdettä. **(Kuva 7)**.



Kuva 7. Gecko Single Pad -tarttuja. /12/

4 SUUNNITTELUPROSESSI

Tuotesuunnitteluprosessi koostuu lyhyesti seuraavista vaiheista:

- asiakkaan vaatimukset ja toivomukset tuotteelle
- vaatimuslistan laatiminen
- ideointi
- luonnokset ja alustava mallintaminen
- konseptointi ja mallinnusten tarkennus ja visualisointi mahdollisia esityksiä varten
- detaljisuunnittelu, parantelu ja kehittäminen
- lopulliset piirustukset mahdollista prototyyppin valmistusta varten.

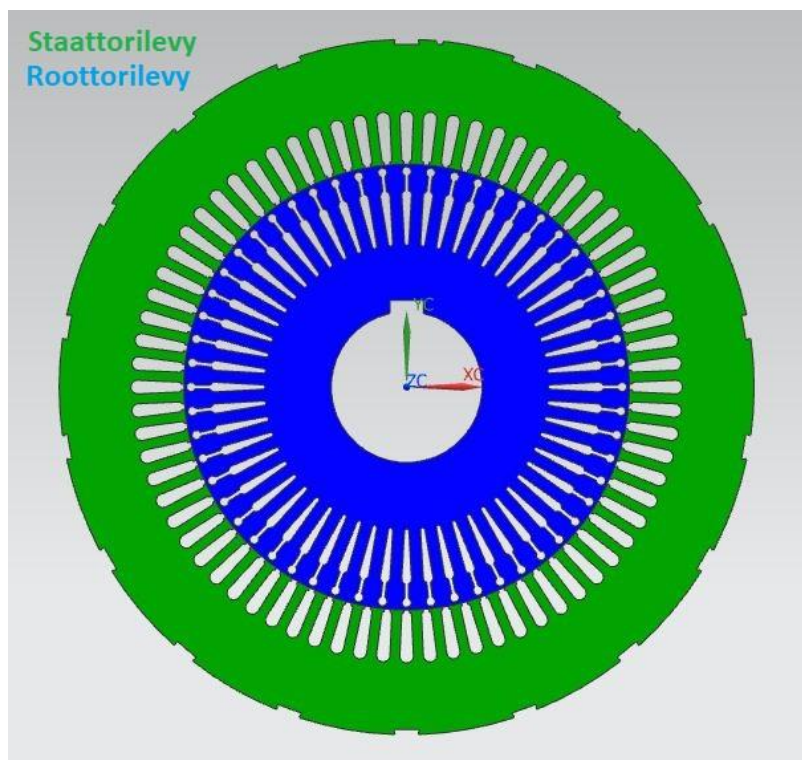
Suunnittelutyö aloitetaan kartoittamalla asiakkaan vaatimukset. Tätä varten on hyvä laatia vaatimuslista, johon voidaan palata suunnittelutyön eri vaiheissa tarkastamaan vastaako suunniteltu tuote vaatimuksia kaikilta osin. Se onkin tavaltaan suunnittelua ohjaava työkalu. Vaatimuslista voi pitää sisällään esimerkiksi kokoon tai muotoon tai muihin fyysisiin piirteisiin liittyviä rajoitteita ja vaatimuksia. Muita tärkeitä asioita mitä tulee ottaa huomioon ovat esimerkiksi turvallisuus, voimat, kustannukset, käytettävyys, käyttö ja kunnossapito. Nämä ovat niin sanottuja vaatimuslistan päätunnuksia, jotka pitävät sisällään lukuisia muita esimerkkejä niihin liittyen. Seuraavassa vaiheessa aloitetaan konseptisuunnittelu. Konseptisuunnittelu pitää sisällään ideointia ja luonnoksia tuotteesta. Tässä vaiheessa saa ja pitääkin olla luova. Hyvänä lähtökohtana olisi luoda useita luonnoksia, joista sitten myöhemmin karsitaan sopivimmat jatkosuunnitteluun. Valitaan jatkoon esimerkiksi sellaiset, jotka parhaiten vastaavat asiakkaan tarpeita. Muita karsittuja luonnoksia ei kannata kokonaan kuitenkaan hylätä, sillä niistä saattaa olla jatkossa hyötyä, jos esimerkiksi aiemmin jatkoon menneiden luonnosten ke-

hittelyn aikana huomataankin niiden olevan epäsopivia. Kehitellään jatkoon menneitä konsepteja ja luodaan malleja niistä. Mallien ei tarvitse kuitenkaan vielä olla mittatarkkoja tai muutenkaan viimeistelyjä. Eri konseptit on hyvä arvioida tarkasti vaatimuslistaa apuna käyttäen niiden karsimista varten. Vaatimuslistaa-kin täytyy toisinaan päivittää ja tarkentaa konseptisuunnittelun aikana, koska vaatimukset voivat täydentyä suunnittelun edetessä ja voi ilmetä uusia vaatimuksia tai toiset vaatimukset voivat osoittautua turhiksi. Konseptien karsimiseen hyvä työkalu voisi olla konseptien pisteytys niiden ominaisuuksien mukaan. Konseptit, jotka saavat eniten pisteitä, menevät jatkoon. Jatkoon menneistä konsepteista voidaan myös luoda erilaisia visualisointeja niiden toiminnan havainnollistamiseksi. CAD-mallinnuksen jälkeen, olisi mahdollista myös simuloida tarttujan toimintaa käyttämällä esimerkiksi ABB:n RobotStudio-ohjelmistoa. Valitaan konsepteista paras detaljisuunnitteluun. /13, 14, 15/

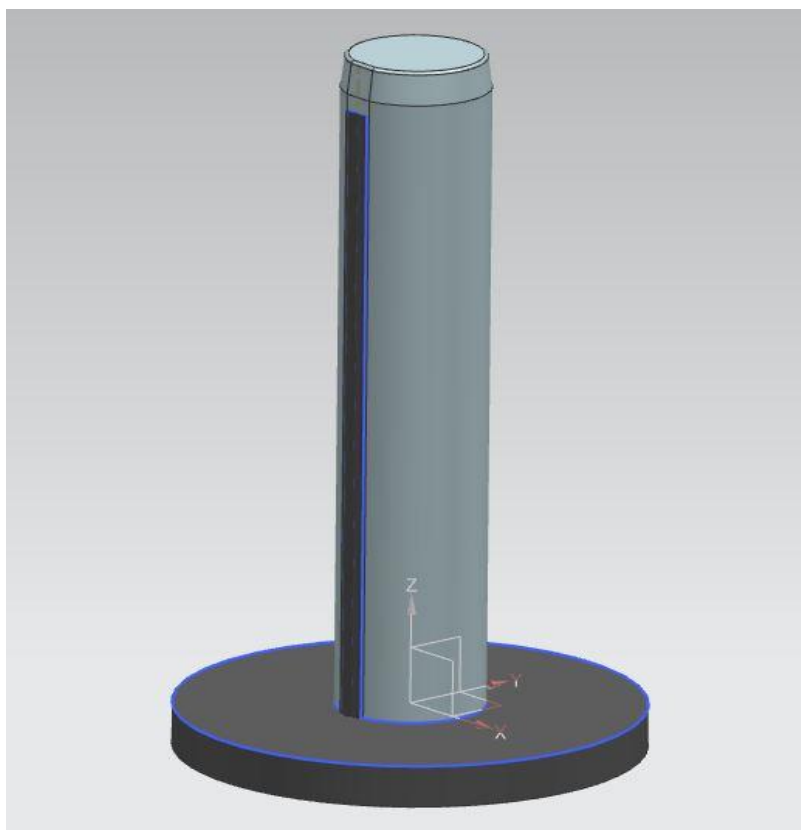
Detaljisuunnittelussa mallinnetaan mittatarkat osat ja tehdään osista ja kokoonpanoista piirustukset ja tarvittavat ohjeet. Määritellään myös osien materiaalit ja voidaan laskea lujuudet ja rasitukset.

5 TARTTUJAN SUUNNITTELU

Kun lähdetään suunnittelemaan tarttujaa niin tärkeimpiä asioita ovat asiakkaan vaatimukset sekä itse käsiteltävä työkappale. Työkappaleet eli dynamolevyt ovat sähkömoottorin kiinteän osan eli staattorin osia ja roottorilevyt ovat pyörivän osan eli roottorin osia. Yhdessä käytetään näistä levyistä nimitystä dynamolevyt. Tässä tapauksessa suunnitellaan tarttujaa halkaisijaltaan erikokoisiin staattori- sekä roottorilevyihin. Levyjen halkaisijat vaihtelevat karkeasti 130–700 mm välillä. Nämä ovat siis yleisimpien moottorikokojen dynamolevyjen halkaisijoita. Dynamolevyt ovat vain 0,5 mm paksusta sähkölevystä leikattuja uritettuja pyöreitä teräslevyjä ja sen takia ovat ominaisuuksiltaan melko veteliä, varsinkin mitä isommaksi halkaisija kasvaa. Tämän vuoksi tarttujan tulisi kiinnittyä etenkin isompaa halkaisijaa olevaan levyyn useasta kohtaa, ettei se jäisi roikkumaan. Jos levy roikkuu, saattaa olla hankaluuksia asettaa sitä suoraan tuurnalle. Ladonnassa käytettävä tuurnahan on siis sylinterimäinen asennuspäästä hieman viistetty ja siinä on levyn kohdistusta varten vastakappale, että levyn orientaatio pysyy samana koko pinoamisen ajan. Tuurnalle pinotaan levyjä vaadittava määrä, jonka jälkeen se siirtyy seuraavaan työvaiheeseen. Dynamolevyjen tuurnalle asennus täytyy ottaa huomioon tarttujaa suunnitellessa. Koska jos lähdetään suunnittelemaan tulevasta tuotantolinjasta korkeasti automatisoitua, olisi kannattavaa suunnitella se niin, että mahdollisimman monta ”turhaa” työvaihetta jätettäisiin välistä. Tässä tapauksessa, jos saadaan robottia ja tarttujaa käyttäen vietyä levyt suoraan tuurnalle lavojen sijasta, jäisi käsin tehtävä dynamolevyjen tuurnalle pinoaminen kokonaan pois. (Kuvat 8 ja 9).



Kuva 8. Käsiteltävät dynamolevyt.



Kuva 9. Oma CAD-malli käytettävästä tuurnasta.

Tavoitteena on siis suunnitella sellainen tarttuja, joka mukautuu mahdollisimman moniin eri halkaisijalla oleviin levyihin ja että levyt saataisiin poiminnan jälkeen samaa tarttujaa käyttäen vietyä tarkasti paikoitettuna tuurnalle. Lisäksi pohditaan, millaisia muita ominaisuuksia vaaditaan, että tarttuja toimii osana automatisoitua prosessia, eli suunnittelun aikana otetaan huomioon myös muu kyseisen solun toiminta ja laitteisto.

5.1 Vaatimuslista

Aloitin suunnittelutyön laatimalla vaatimuslistan. Vaatimuslistaa päivitetään tarpeen mukaan, mutta alla olevalla aloitettiin. (**Taulukko 1**).

Taulukko 1. Vaatimuslista tarttujalle.

Vaatimuslista - Gripperi dynamolevyjen poimintaan			
No	Muutos pvm	KV, VV, T *	Vaatus
Geometria1		KV	Tarraimen kiinnitys tulisi sovittaa robottiin
Geometria2		T	Tarraimen muoto mahdollistaa tuurnalle asettelun
Geometria3		VV	Muunneltavuus erikokoisille levyille tai useampi työkalu tarvittaessa
Geometria4		KV	Tarraimen sovitus vaihtolaippaan jos/kun työkaluja on useita
Voimat1		KV	Tarraimen on tartuttava kappaleeseen
Voimat2		VV	Tarraimen tulisi käsitellä min. 1kg kuormaa
Kustannukset1		T	Mahdollisimman vähän valmistettavia osia kustannusten minimoimiseksi
Käyttö1		T	Huollettavuus helppoa
Käyttö2		T	Huomioidaan osien hyvä saatavuus huoltojen helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi
Käyttö3		VV	Tarttujan täytyy tunnistaa onko kappale kiinni
Käyttö4		T	Tarraimen kappaleenkäsittely nopeaa

Käyttö5		KV	Tarrain ei saa vahingoittaa kappaletta
Käyttö6		T	Törmäystä varten törmäyssuoja vahinkojen minimoimiseksi
Käyttö7		KV	Tarttujan paikoitettava kappale tarkkaan asentoon
Valmistus1		T	Käytetään mahdollisimman paljon standardi -osia saatavuuden vuoksi ja kustannusten minimoimiseksi
Valmistus2		T	Käytetään mahdollisimman paljon ABB:n osia
		*KV = Kiinteä vaatimus, VV = Vähimmäisvaatimus, T = Toive	

5.2 Alustavat suunnitelmat ja ideoinnit

Koin tärkeäksi ensimmäisenä pohtia tarttujan kiinnittymistä työkappaleeseen, koska sillä millaista tartuntatapaa käytetään, voi olla suurikin merkitys tarttujan rakenteen kannalta. Vaihtoehtoisia tartuntatapoja lueteltiin jo aiemmin tässä tutkimustyössä, mutta jo ideoinnin alkuvaiheessa oli selkeä ajatus siitä, että käytettäisiin tarttumiseen magneetti- tai vakuumitartuntaa. Magneetteja ja imukuppeja on käytetty paljon ohutlevysovelluksissa aiemminkin. Ajatellaan tapausta, että dynamolevy on kuljettimella valmis poimittavaksi ja siinä on ranka ympärillä mistä levy on leikattu. Tässä tapauksessa paras tapa tarttua dynamolevyyn on yläpuolelta, sillä levyssä on tasaista sileää pintaa mihin on esimerkiksi imukupilla tai magneetilla mahdollista tarttua. Leuka- tai sormitartuntaa varten ei ole pintaa mihin tarttua, sillä ranka estää tarttumisen sivusta ja kun oletetaan että levy on kuljettimen pintaa vasten, siihen on muutenkin mahdotonta tarttua tällä tavalla. Ajatellaan myös, että dynamolevyn ollessa isompi ja tartuttaessa sen reunaan esimerkiksi vaan yhdestä kohdasta, niin nostaessa levy taipuu huomattavasti ja roikkuu. Tämä tekee sen käsittelystä hankalaa ja levy saattaa vahingoittua. Näistä syistä levyyn tulisi tarttua yläpuolelta, ja mitä isompi levy on, niin sitä useamman kohdasta tartutaan. Tätä varten tulisi tutkia miten monta tartuntapintaa suurimmissa dynamolevyissä tarvitaan. Isompien staattoripakettien ladonta suorite-

taan siten, että kaksi henkilöä nostaa nipun staattorilevyjä lavalta ja sitten asettavat sen tarkasti ohjaten tuurnalle. Täten teoriassa tarvitaan neljä tartuntapistettä, koska levyjen sujuvaan ladontaan tarvitaan kaksi henkilöä eli yhteensä neljä kättä. Valitaan siis alustavasti neljä tartuntapistettä tarttujan ideointiin ja käytetään kiinnittymiseen magneetteja tai imukuppeja. Tutkitaan kiinnittymistä vielä tarkemmin jatkossa ja tehdään päätös siitä, kumpaa tartuntaa käytetään. Kuitenkaan tässä vaiheessa tarttujan rakenteen kannalta ei ole tärkeää kumpaa kiinnittymistapaa käytetään, sillä imukupia tai magneettia käytettäessä rakenne voi olla hyvin samankaltainen. Tarttujalla käsiteltävä massa määräytyy suurimman/painavimman levyn mukaan, joka on tässä tapauksessa noin 0,5 kg.

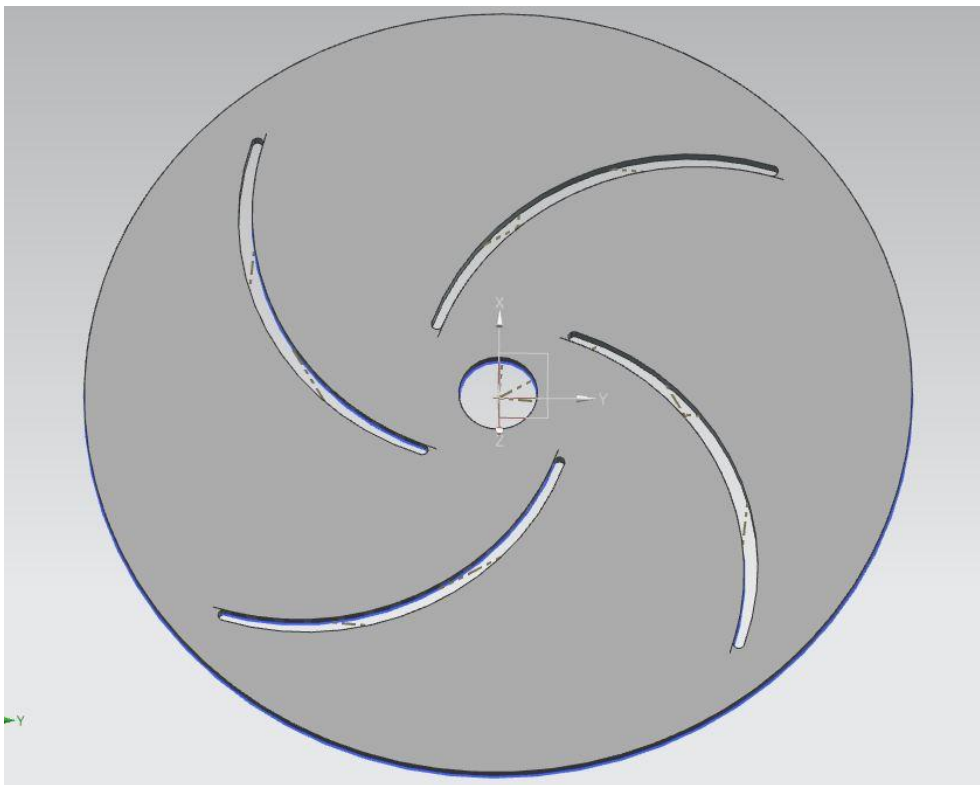
Aiheeseen liittyvässä tutkimustyössä ”Dynamolevyjen robotisoitu siirto”, oli suunniteltu layout tulevassa solussa mahdollisesti käytettäville roboteille. Tässä oli suunniteltu käytettäväksi portaalirobotteja sekä IRB2600-20/1.65-robotteja. Koska näistä vaihtoehdoista kuormankäsittelykyvyltään kevyempi robotti on IRB2600, niin suunnitellaan tarttujaa sen käsittelykyvyille sopivaksi. Kyseinen robotti on kiertyvänivelinen robotti, jonka suurin käsittelykyky on 20 kg ja ulottuvuus 1.65 m. /1/

5.3 Ideoita tarttujalle ja konseptisuunnittelua

Aloitettiin tarttujan suunnittelu luonnostelemalla erilaisia ideoita paperille. Paperille luonnostelun jälkeen aloitettiin konseptisuunnittelu ja ensimmäisten ideoiden mallintaminen. Keskityttiin aluksi ideoimaan, miten hoidettaisiin mukautuminen eri halkaisijalle. Pyrittiin ideoinnin aikanakin jo ottamaan huomioon mahdollinen levyjen tuurnalle asettelu. Levyt siis tulisi saada asetettua tuurnalle siten, että niitä saatetaan hieman tuurnan yläosasta alaspäin vähintään niin kauan, kunnes levy on ohittanut asennusviisteen tai vaihtoehtoisesti tuurnan pohjaan saakka, joka olisi näistä kahdesta se varmempi tapa.

5.3.1 Spiraalimainen mukautuva tarttuja

Ajatuksena oli, että tarttujan rakenteessa olisi spiraalimaiset urat. Spiraalimaista levyä pyörittämällä urat ohjaisivat tartuntakomponentteja sisään- tai ulospäin, riippuen pyörimissuunnasta. Tartuntakomponentit voisivat liikkua esimerkiksi johteiden varassa. Tällä ratkaisulla haettiin mukautumista levyjen vaihteleviin halkaisijoihin. Alla kuvassa alustava luonnos pohjalevystä. **(Kuva 10)**.

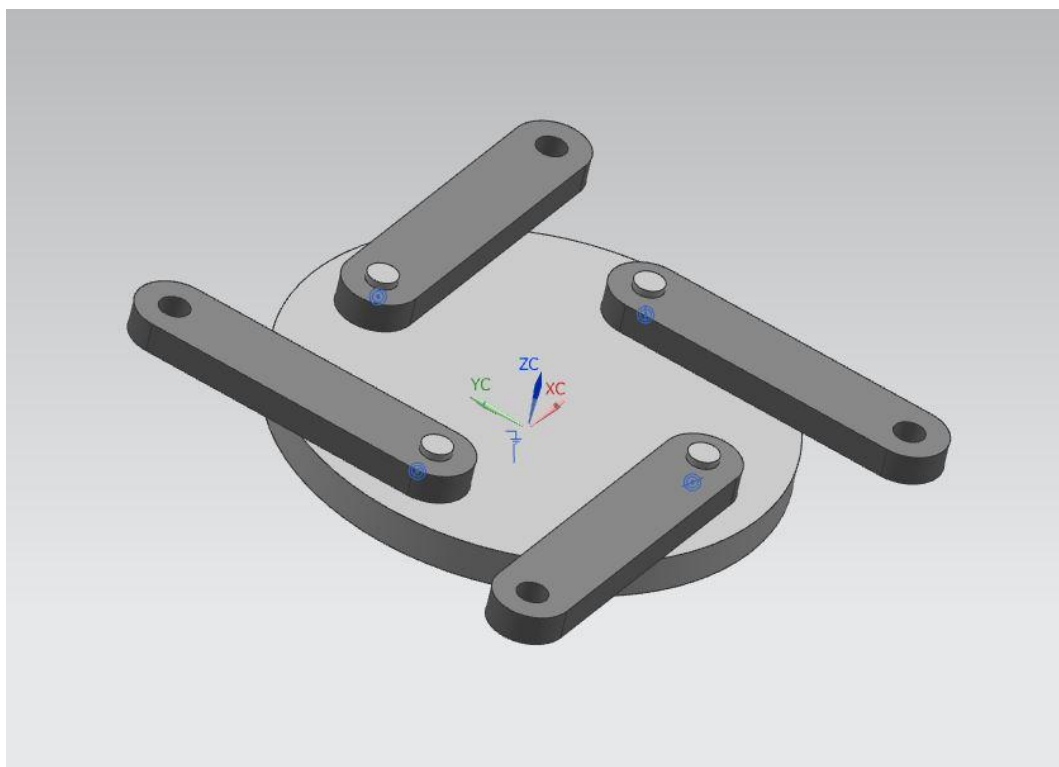


Kuva 10. Ensimmäinen CAD-malli spiraalimaisesta rakenteesta tarttujassa.

Mietitään mitä hyvää ja mitä huonoa tällaisessa ratkaisussa voisi olla. Tällaisella ratkaisulla voidaan muuttaa tartuntakomponenttien etäisyyttä toisiinsa ja siten mukautua erikokoisille levyille sopivaksi. Tarvitsisi paljon jatkosuunnittelua, että saataisiin tästä mekaanisesti toimiva. Myös levyjen asettaminen tuurnalle ei onnistuisi täysin tällaisella rakenteella. Levyn saa kyllä asetettua tuurnan yläpäähän, mutta sitä ei ole mahdollista saattaa tuurnaa pitkin alas asti, sillä tarttuminen tapahtuisi suoraan levyn yläpuolelta.

5.3.2 Vipuvarsilla mukautuva tarttuja

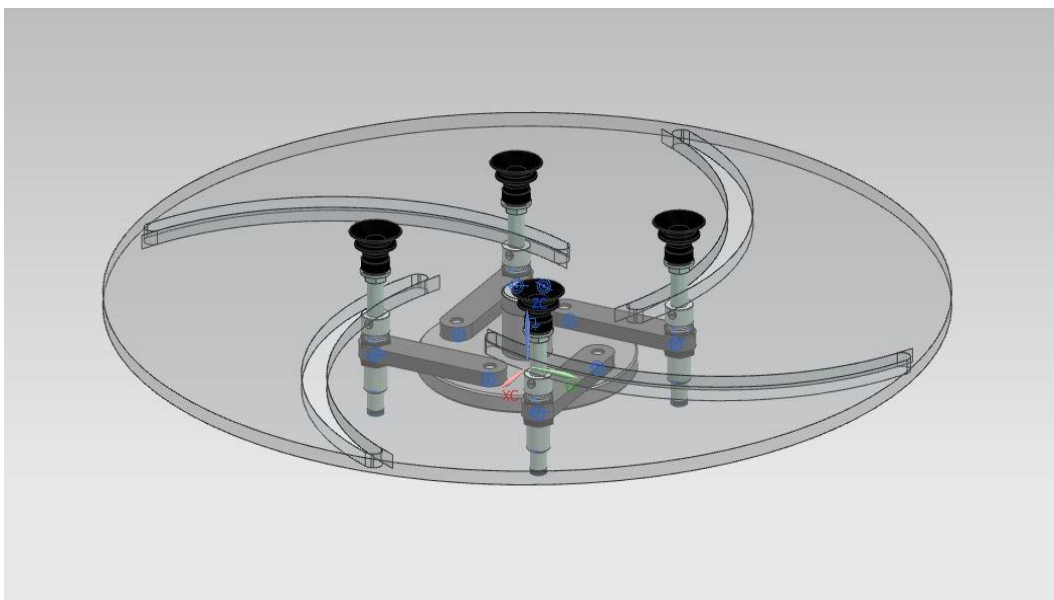
Samankaltainen ajatus kuin spiraalimaisella, mutta tässä halkaisijan muutos tapahtuu vipuvarsia kääntämällä. Vipuvarsien päähän kiinnitettäisiin tartuntakomponentit. Ajatusta havainnollistettu alla olevassa kuvassa. **(Kuva 11)**.



Kuva 11. Ensimmäinen CAD-malli vipuvarsimekaniikasta.

Tässäkin toteutuksessa pystyttäisiin mukautumaan eri halkaisijoille. Vaatii jatko-suunnittelua, että saataisiin mekaanisesti toimiva. Vipuvarsien tulisi aueta yhtä-aikaisesti, joten täytyisi suunnitella linkki niiden välille. Sen voisi ratkaista esimerkiksi hammaspyöriä käyttäen siten, että jokaisen vivun toisessa päässä olisi hammaspyörä ja keskellä olisi kaikille neljälle hammaspyörällä voimaa välittävä hammaspyörä. Tässäkin ratkaisussa olisi ongelmana levyjen asettaminen tuurnalle, koska tarttuja olisi suoraan tuurnalle asennettavan levyn yläpuolella.

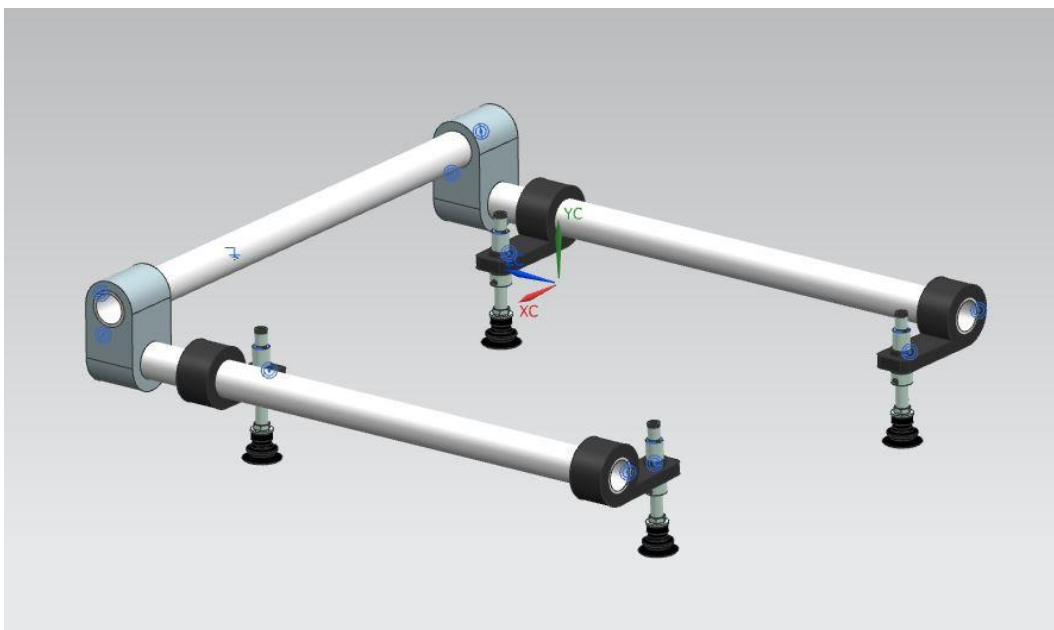
Tässä vaiheessa heräsi jo ajatus siitä, että jos yhdistäisi spiraalimaisen pohjalevyn tähän kokoonpanoon, niin siinä saattaisi olla mekaanisesti toimiva kokonaisuus. Siispä yhdistettiin nämä kaksi ideaa jatkokehittelyyn. Eli halkaisijan muutos tapahtuisi spiraalimaista levyä pyörittämällä. Spiraalimaiset urat ohjaisivat vipuvarsiensa päissä olevia imukuppeja joko sisään- tai ulospäin, riippuen pyörimissuunnasta. Vaihtoehtoisesti spiraalimaisen pohjalevyn pystyisi korvaamaan ristimäisellä nelisakaraisella levyllä, jossa on vastaavat urat ohjaamassa imukuppeja. Kaikissa näissä edeltävissä ideoissa työkalun keskipiste pysyisi paikallaan riippumatta tartuntakomponenttien asennosta. Seuraavassa kuvassa luonnos tästä yhdistetystä ratkaisusta spiraalimaisella levyllä. **(Kuva 12)**.



Kuva 12. Ensimmäinen CAD-malli tarttujasta.

5.3.3 Haarukkamainen mukautuva tarttuja

Haarukkamaisessa tarttujassa olisi neljä imukuppi- tai magneettipidikettä, joita voitaisiin säätää kahden eri akselin suuntaan ja tämä mahdollistaisi eri halkaisijoille mukautumisen. Putkimaisesta rakenteesta saisi kevyen käyttämällä siinä esimerkiksi alumiiniputkia ja rakenne olisi helposti muokattavissa erikokoiseksi. Alla olevassa kuvassa luonnos haarukkamaisesta tarttujasta. **(Kuva 13)**.

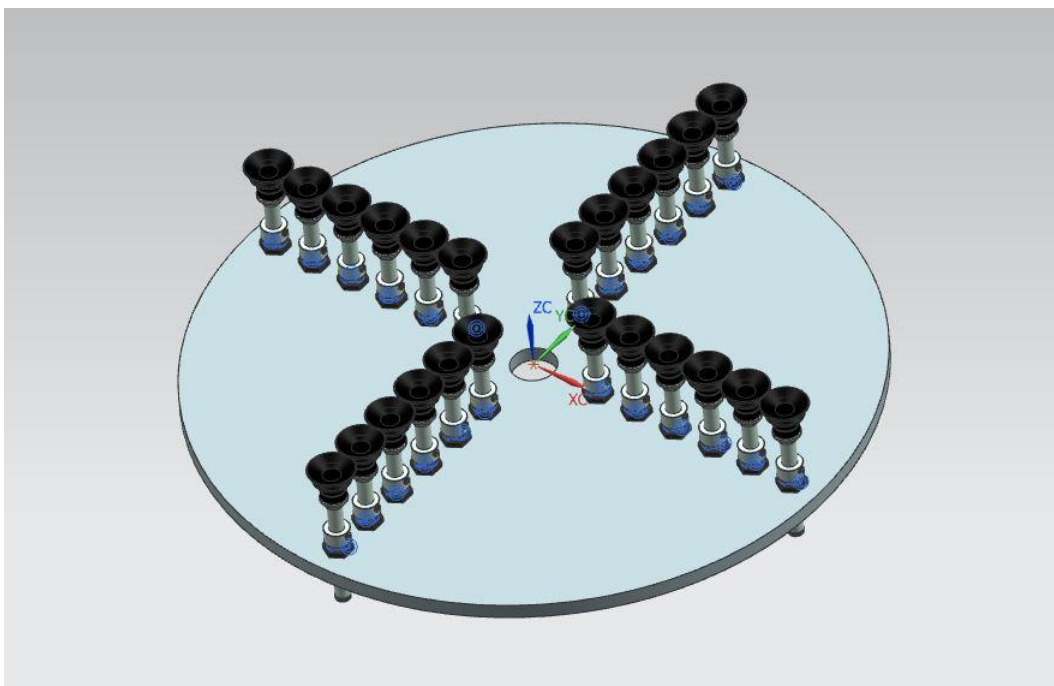


Kuva 13. Ensimmäinen CAD-malli haarukkamaisesta tarttujasta.

Tällaisella haarukkamaisella rakenteella pystyttäisiin asettamaan dynamolevyt tuurnalle parhaiten ja pinoamaan levyt tuurnalle aina pohjaan saakka. Rakennetta ja mekaniikkaa täytyy suunnitella, että miten se olisi käytännössä mahdollista toteuttaa, mutta muuten tällainen haarukkamainen tarrain vaikuttaa toimivalta ratkaisulta. Tällaisessa ratkaisussa täytyy ottaa huomioon, että työkalun keskipiste/koordinaatisto muuttuu kun tartuntakomponenttien orientaatio muuttuu, toisin kuin edellisissä ideoissa, joissa tartuttaisiin suoraan yläpuolelta.

5.3.4 Erillisillä piireillä varustettu

Hyvin yksinkertainen rakenne. Eri halkaisijalla olevat levyt poimitaan vain eri piirit aktivoimalla. Piirit muodostustuvat eri halkaisijalle asennetuista tartuntakomponenteista. Alla kuvassa havainnollistava malli pohjalevystä mihin tartuntakomponentit kiinnitetään. Hankintakustannuksia saattaa kertyä tartuntakomponenttien suuren määrän vuoksi, mutta sitä kompensoi erittäin yksinkertainen rakenne, joka on muuten edullinen ja helppo toteuttaa. (**Kuva 14**).



Kuva 14. Ensimmäinen CAD-malli erillisillä piireillä olevasta tarttujasta.

Dynamolevyjen tuurnalle asettaminen ei tällaisella rakenteella tulisi kyseeseen. Muuten varsin toimiva ja nopea ratkaisu levyjen käsittelyyn. Rakennetta pystyy keventämään reilusti muokkaamalla pyöreästä pohjalevystä nelisakaraisen. Vaatii järjestelmältä useita paineilmalähtöjä eri piirejä varten. Kuten muutkin ideat, tämäkin tarvitsisi vielä jatkosuunnittelua ainakin dynamolevyjen tarkan kohdistuksen toteuttamiseen liittyen, sekä tulisi suunnitella adapterit robotin työkalulaipalle tai vaihtolaipalle ja tarvittava anturointi ja kiinnikkeet niille.

5.4 Luonnosten arviointi ja pisteytys

Arviointiin luonnosten hyviä ja huonoja puolia ja pisteytettiin luonnokset Excel -taulukkoa apuna käyttäen. Tehtiin karkea arviointi osaksi vaatimuslistan pohjalta. Pisteesiin perustuen tehtiin päätös siitä, mitä ideoita vietiin jatkokehittelyyn. Alla olevassa taulukossa näkyy ideoiden pisteytys. **(Taulukko 2)**.

Taulukko 2. Taulukko eri konseptien pisteytyksestä.

Arviointitaulukko (pisteytys 1-5. 1=huono, 5=hyvä)				
	<i>Spiraalimainen</i>	<i>Vipuvarsi</i>	<i>Haarukkamainen</i>	<i>Eri piirit</i>
1. Soveltuu poimintaan	5	5	5	5
2. Soveltuu tuurnalle	1	1	5	1
3. Mukautuu eri halkaisijoille	4	4	5	5
4. Toteuttamiskelpoinen	3	3	4	4
5. Tukeva rakenne	3	3	2	5
6. Raskas rakenne (-)	3	3	4	5
7. Sopii magneetille	5	5	5	5
8. Sopii imukupille	5	5	5	5
9. Kohtuulliset kustannukset	3	3	3	3
Kokonaispisteet:	32	32	38	38
Huomioita:	Yhdistin nämä kaksi ideaa ja pisteytin samalla tavalla. Rakenteesta johtuen paljon liikkuvia ja kuluvia osia.		Tukevampi rakenne olisi hyväksi.	Yksinkertainen ja siksi hyvä.

Tämän karkean arvioinnin perusteella eniten pisteitä sai haarukkamainen ja eri piireillä varustettu rakenne. Näiden kahden idean suurin eroavaisuus on siinä, että haarukkamaisella rakenteella voidaan tehdä suoraan tuurnalle asettaminen, kun taas erillisillä piireillä varustetulla tarttujalla ei voida sitä tehdä. Sillä pystytään asettamaan levy tuurnan yläpäästä paikalleen, mutta on mahdotonta saattaa levy sylinterimäistä tuurnaa pitkin aina alas pohjaan saakka. Lähdetään kuitenkin kehittämään ensisijaisesti haarukkamaista konseptia, sillä se täyttää paremmin asiakkaan vaatimukset ja toiveet.

5.5 Jatkosuunnittelu

Tässä vaiheessa suunnittelua täytyy kiinnittää jo enemmän huomiota käytettäviin komponentteihin ja mitoittaa tarttujan osia sen mukaan. Tutkitaan ensin tartuntaan käytettävien imukuppien ja magneettien kuormankantokykyä ja ominaisuuksia ja tehdään päätös, kumpaa tarttujassa käytetään. Seuraavaksi täytyy

suunnitella, miten toteutetaan tarttujalta vaadittava lineaariliike kahteen eri suuntaan haarukan levittämiseksi, sekä pidentämiseksi. Lisäksi dynamolevyn paikoitukselle on suunniteltava ratkaisu, sekä tarvittava anturointi ja niiden kiinnikkeet lisättävä.

5.5.1 Tartuntatavan valinta

Otetaan esimerkiksi Feston imukuppi ja valitaan imukupin halkaisijaksi tähän vertailuun 30 mm, koska dynamolevyssä oleva kiinteä tartuntapinta-ala ei ole kovin laaja. Malliksi valikoitui ESS-30-BN, jonka pitovoimaksi oli ilmoitettu 26,2 N ja sivuttaisvoimaksi 24,5 N normaalilla käyttöpaineella (-0,7 bar). Lasketaan tästä yhden imukupin pitokyky:

$$\begin{aligned} \text{Liikkeyhtälö } F = ma &\rightarrow m = F/a & [F] = N = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 \\ & & m = \text{massa} = \text{kg} \\ & & a = g(\text{painovoima}) = 9.81 \text{ m}/\text{s}^2 \end{aligned}$$

$$26,2 \text{ N} = 26,2 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$$

$$= 26.2 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 / (9.81 \text{ m}/\text{s}^2) = 2.670744138634 \text{ kg}$$

Yhden imukupin pitovoima on siis noin 2.67 kg, jolloin neljän imukupin pitovoima olisi jo yli kymmenen kiloa. Teoriassa tämä siis riittää todella hyvin tarttujalla liikuteltavien massojen käsittelyyn ja on hyvinkin mahdollista käyttää vielä pienempiä ja kevyempiä imukuppeja. Työkappaleen massa kuitenkin vaikuttaa suoraan siihen, miten nopeasti siirrot voidaan suorittaa aiheuttamatta suurilla kiihtyvyyksillä työkappaleen irtoamista. Nämäkin voidaan myöhemmässä vaiheessa laskea, jotta saataisiin teoriassa suurin kappaleenkäsittelyssä käytettävä kiihtyvyydet selville. /16/

Toiseksi vaihtoehdoksi valikoitua Schmalzin SGM-HP 20 G1/8-IG-magneettitarttuja. Kyseessä on pneumaattinen magneetti ja valitsin sen mukaan vertailuun pienen koon, keveyden ja pienen jäännösmagnetismin vuoksi. Mag-

neetin pitovoima vaihtelee 16–28 N välillä riippuen kitkarenkaan käytöstä. Lasetaan pitokyky 16 N mukaan samalla liikeyhtälön kaavalla:

$$\begin{aligned} \text{Liikeyhtälö } F &= ma \rightarrow m = F/a & [F] &= N = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \\ m &= \text{massa} = \text{kg} \\ a &= g(\text{painovoima}) = 9.81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

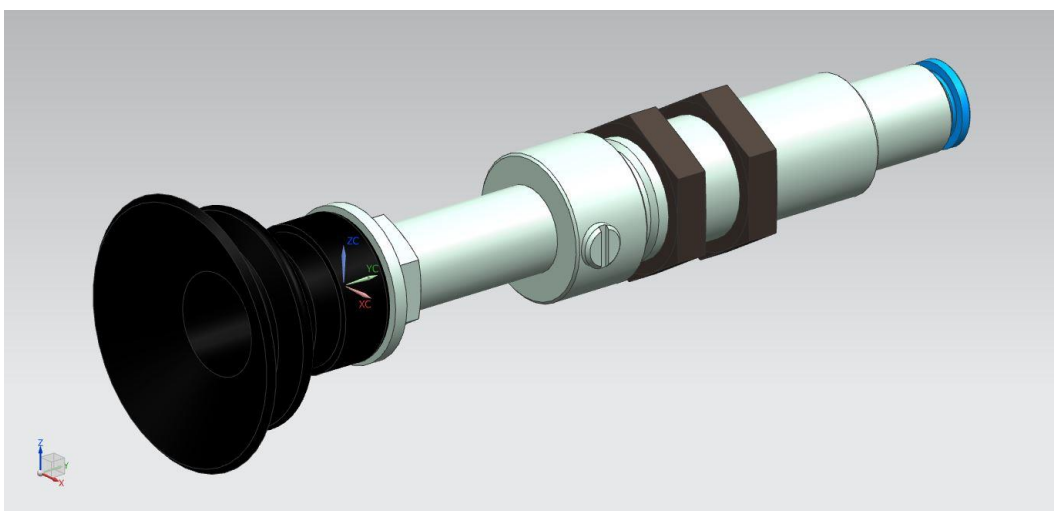
$$16 \text{ N} = 16 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$(16 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2) / (9.81 \text{ m/s}^2) = 1.630988786952 \text{ kg}$$

Yhden magneetin pitovoima on siis 1.63 kg ja neljän magneetin noin 6.5 kg, joka on sekin teoriassa riittävä. Magneetteja käytettäessä tarttumiseen, on huomiotava jäännösmagnetismi. Jos jäännösmagnetismi on liian suuri, pienet kappaleet saattavat jäädä kiinni magneetteihin tarttujan irrottaessa niitä ja silloin saattaa syntyä ongelmia. Tämä on huomioitava tartuntatapaa valittaessa. Ja jos kuitenkin päädytään käyttämään magneetteja, olisi sille hyvä suunnitella irrotusmekanismi ongelman välttämiseksi. /17/

Pitovoiman perusteella voidaan tarttujassa käyttää kumpaakin vaihtoehtoa, joten muut ominaisuudet ratkaisevat valinnan. Dynamolevyssä on kiinteää ja tasaista tartuntapintaa mihin voidaan kiinnittyä joko magneeteilla tai imukuppeilla. Kuitenkin pienissä levyissä tämä kaistale on kapea ja levyissä olevat urat voivat heikentää imukuppien imutehoa, jos ne eivät koko kupin pinta-alalta vastaa levyjen kiinteään kaistaleeseen. Magneetti taas olisi tässä tapauksessa parempi vaihtoehto, sillä magneeteilla voidaan tarttua reikäiseenkin materiaaliin. Tätä mahdollista ongelmaa voidaan kuitenkin minimoida käyttämällä pienempihalkaisijaisia imukuppia, että niin suurta vaaraa imuvuodolle ei olisi. Magneetin huonoiksi ominaisuuksiksi voidaan päätellä jäännösmagnetismi ja se, että siihen voi mahdollisesti tarttua metallijätettä esimerkiksi laserleikkauksen jäljiltä ja tämä metallijäte saattaisi kulkeutua levynippujen väliin. Levyjä poimittaessa magneetti ei

itsessään jouta yhtään, joten olisi hyvä suunnitella tarttuja niin, että jokin osa joustaisi hieman, jos käytetään magneettia. Imukuppi taas itsessään hieman joustaa. Magneetti saattaisi myös vahingoittaa tai naarmuttaa ohutta dynamolevyä. Painoa vertaillen kyseisten komponenttien kesken on imukuppi kevyempi vaihtoehto. Näillä perusteilla valitaan käytettäväksi imukuppi magneetin sijaan. (Kuva 15).



Kuva 15. CAD-malli Feston imukupista.

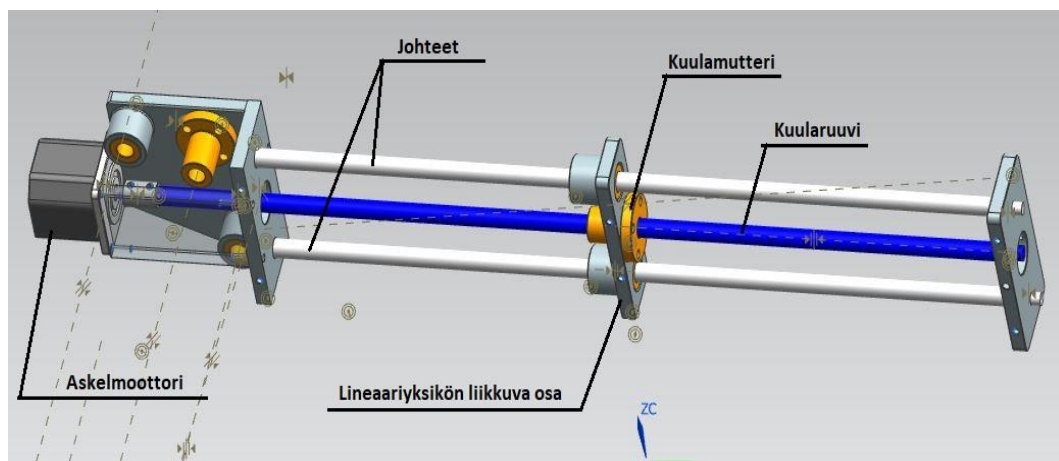
5.5.2 Tarttujan mekaniikka

Haastavin osuus tarttujan suunnittelussa on ehdottomasti mekaniikka. Suunnitellaan tarttujan komponentit ja valmistettavat osat mahdollisimman kevyeksi, että voidaan tarvittaessa käyttää suuria liikenopeuksia poimintaprosessin nopeuttamiseksi. Lineaariliike täytyy tässä tapauksessa toteuttaa kahteen eri suuntaan ja siirtymän täytyisi olla suhteessa samansuuruinen kummassakin suunnassa siten, että kaikki neljä tartuntapistettä pysyisivät ympyränmuotoisella kehällä ja näin mukailisivat pyöreitä työkappaleita.

Roboteissa on hyvät valmiudet erilaisille sähköisille ja pneumaattisille toimilaitteille mekaniikan toteuttamiseksi, joten valitaan käytettävät osat sen mukaan. Huomioidaan toimilaitteita ja komponentteja valittaessa myös työympäristö. Tarttujalla käsiteltäisiin sähkömoottoreiden osia, joten työympäristön tulisi olla

puhdas. Puhtauden varmistamiseksi vältetään käyttämästä tarttujassa sellaisia komponentteja, jotka sisältävät öljyä ja saattaisivat vuotaa sitä.

Tutkiessani lineaariliikkeen toteutustapoja, oli mielessäni kaksi vaihtoehtoa. Toinen vaihtoehto olisi hammashihnakäyttöinen ja toinen kuula- tai liikeruuvikäyttöinen. Näistä kahdesta vaihtoehdosta päädyin kuula- tai liikeruuvikäyttöiseen, sillä näihin oli saatavilla paljon erilaisia komponentteja. Lisäksi tällaisen ratkaisun pystyy toteuttamaan esimerkiksi sähköistä askelmoottoria käyttäen, jolloin saadaan tarkka tieto asemoinnista. Koska lineaariliikkeet tulisi toteuttaa kahden akselin suuntaan, täytyy moottoreita olla enemmän kuin yksi. Toinen vaihtoehto olisi käyttää vain yhtä moottoria ja kulmavaihteita tai muuta vastaavaa ratkaisua esimerkiksi hammaspyöriä käyttäen. Askelmoottorit ovat melko pienikokoisia ja kevyitä, joten päädyin suunnitelmissani käyttämään useampaa moottoria. Liikeruuvi ei yksinään riitä vaan tarvitaan vähintään yksi johde ohjaamaan tarttujan liikkuvaa osaa. Valitsin pyöreät johdeakselit, että rakenne pysyisi mahdollisimman kevyenä. Suunnitelmassani käytin 12 mm halkaisijalla olevia liikeruuveja ja johteita. Näitä on saatavilla myös erikokoisia, mutta tätä ennen täytyisi simuloida kestäisivätkö ne tulevia rasituksia ja kuormia. Suunniteltiin johteille sopivat laipat ja liikkuvat osat, joihin kiinnitetään tartuntakomponentit. **(Kuva 16).**



Kuva 16. Toinen pituussuuntainen lineaariyksikkö.

Pituussuunnassa olevat liikeruuvit tulisi toteuttaa samansuuntaisella kierteellä ja samalla kierteen nousulla. Kun taas sivusuuntainen liike tulisi suunnitella siten,

että keskilinjän vasen ja oikea puoli olisivat erisuuntaisilla kierteillä ja liikkuisivat eri suuntiin yhtä suuren matkan samanaikaisesti. Tässä sivusuuntaisessa liikkeessä voitaisiin käyttää liikeruuvissa puolet pienempää kierteen nousua kuin pituussuuntaisessa, sillä kompensoidaan liike samansuuruiseksi kummassakin suunnassa, kun käytetään askelmoottoreita samalla tavalla sekä pituussuuntaisessa että sivusuuntaisessa liikkeessä. /18, 19/

5.5.3 Tarttujan rakenne ja osaluettelo

Rakennetta suunniteltiin mahdollisuuksien mukaan kevyeksi, mutta kuitenkin yrittäen pitää se tukevana. FEM-laskennan avulla saataisiin vielä varmuus rasiuksista ja mahdollisesti tehtävistä muutoksista osiin. Tarttujan suunnittelun ja mallinnuksen aikana ei ollut kuitenkaan mahdollista sitä suorittaa. Myös huollettavuus otettiin huomioon siten, että huollettaviin osiin olisi helppo päästä käsiksi ja valittiin sellaisia osia, joita todennäköisesti on hyvin saatavilla. Valmistettavia osia tarttujassa ovat rungon komponentit, joiden materiaaliksi valikoitui alustavasti koneistettava alumiini. Tällä suunnitellulla rakenteella ja niille tässä määritellyillä materiaaleilla painoa tarttujalle kertyi 16,3 kg. Paino pysyy myös isompien työkappaleiden kanssa yhteensä alle 17 kg, mikä pysyy vielä robotin salliman 20 kg rajoissa. Joitain osia voidaan tarttujan keventämiseksi valmistaa esimerkiksi 3D-tulostamalla ne muovista. Mainitut tarttujakokoonpanon painot ovat 3D-mallinnusohjelman ilmoittamia painoja.

Koska tarttujan rakenne pidettiin kevyenä, saattaa siinä esiintyä hieman taipumista, joka tulee ottaa huomioon komponentteja valitessa. Tämän vuoksi valittiin johteiden laakeriholkit ja ruuvien laakerit hieman taipumista salliviksi (self-aligning). Turvallisuutta ja jäykkyyttä ajatellen lisättiin rakenteeseen liikeruuvien ja johteiden eteen sivuille suojalevyt, joihin voidaan suunnitella vaikka esimerkiksi yrityksen logo. Osaluettelossa alla listattuna tarttujan osat sekä niiden materiaalit. (Taulukko 3).

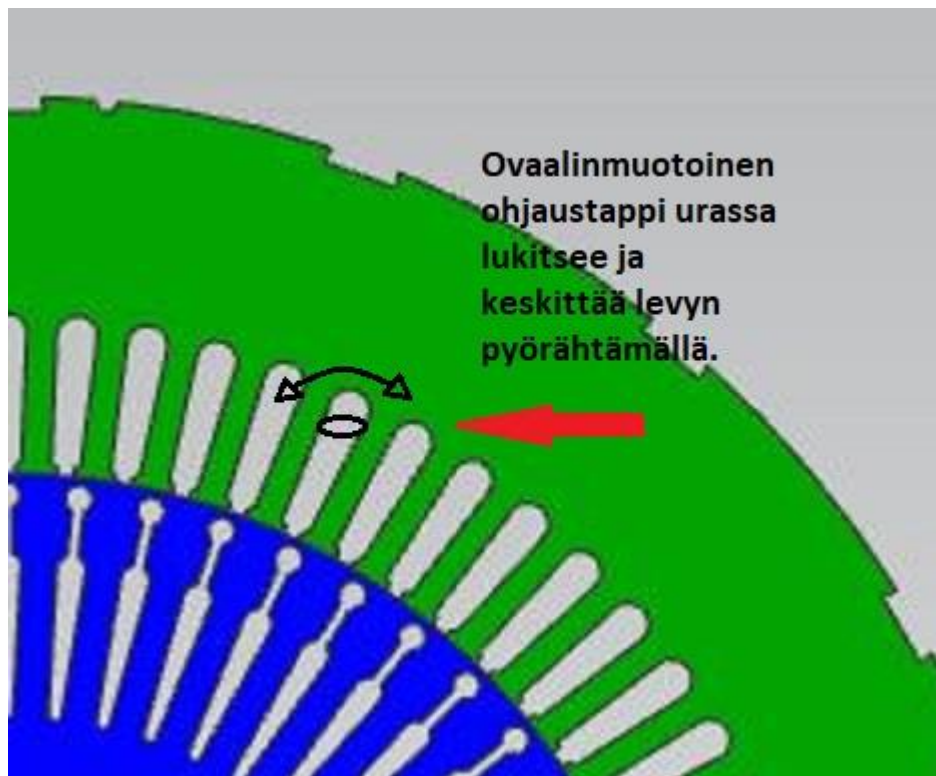
Taulukko 3. Osaluettelo tarttujan osista.

OSALUETTELO				
Valmistettavat osat	Osa	Materiaali	Kpl	Valmistustapa
	Adapterilaippa	Alumiini	1	Koneistus
	Runkoputkenlaippa	Alumiini	4	Koneistus
	Runkoputki	Alumiini	1	Sahaus
	Sivulaippa	Alumiini	1	Laserleikkaus, koneistus
	Sivulaippa_2	Alumiini	1	Laserleikkaus, koneistus
	Valilaippa	Alumiini	1	Laserleikkaus, koneistus
	Valilaippa_2	Alumiini	1	Laserleikkaus, koneistus
	Valilaippa_3	Alumiini	1	Laserleikkaus, koneistus
	Johdelaippa	Alumiini	2	Laserleikkaus, koneistus
	Kuulamutterilaippa	Alumiini	2	Laserleikkaus, koneistus
	Paatylaippa	Alumiini	2	Laserleikkaus, koneistus
	Sivupeitelevy	Alumiini	2	Laserleikkaus
	Imukuppikiinnike	Teräs	2	Laserleikkaus
	Imukuppikiinnike_2	Teräs	2	Laserleikkaus
	Anturikiinnike	Teräs	1	Laserleikkaus
	Valiholkki	Teräs	3	Koneistus
Tilattavat/teetettävät osat	Osa	Selite	Kpl	Huom.
	Johde	Johdeakseli 12mm	4	
	Johde_2	Johdeakseli 12mm	2	
	Ruuvi_1	Ruuviaakseli 12mm O -kierre	2	
	Ruuvi_2	Ruuviaakseli 12mm O+V -kierre	1	
	Kuulamutteri	Oik. kierre	3	
	Kuulamutteri	Vas. kierre	1	
	Laakeri	12mm johdeakselille	8	Self-aligning
	Laakeri	Kuulalaakeri 26/10	3	Self-aligning
	Askelmoottori		3	
	Imukuppi	Festo	4	Halk. 30mm
	M5 kuusiokoloruuvi	M5x0,8x12	24	
	M5 kuusiokoloruuvi	M5x0,8x20	32	

M6 kuusiokoloruuvi	M6x1x25	11	
M6 mutteri	M6 Nyloc	1	
M8 mutteri	M8 Nyloc	12	

5.5.4 Dynamolevyjen paikoitus

Dynamolevyjen täytyisi olla tarkkaan kohdistettuna tai paikoitettuna ja asento tiedossa, kun ne asetetaan tuurnalle tai pinoon. Koska levyjä on paljon erikokoisia ja levyissä on paljon erilaisia muotoja ja kokoja urissa, on vaikea löytää tähän ratkaisua, joka sopisi kaikille levyille. Paljon riippuu siitä, että jos käytetään konenäköä levyjen tunnistamiseen, niin miten tarkasti konenäkö paikoittaa tarttujan, kun poimitaan levy kuljettimelta ja riittääkö se tarkkuus itsessään jo tuurnalle pinoamiseen. Jos tarkkuus todetaan riittämättömäksi, on keksittävä siihen muu ratkaisu. Tällainen voisi olla esimerkiksi kohdistintappi. Tappi voisi kohdistaa levyn ottamalla ohjauksen urasta. Se voisi olla päästään reilusti viistetty ja ovaalin muotoinen, joka uraan asettuessaan kääntyy ja lukitsee levyn paikalleen. Piinottaessa viistetty ohjaustappi ohjaa levyä ja kohdistaa sen levypinoon. **(Kuva 17).**



Kuva 17. Ohjaustapin toiminnan ideointia.

Kohdistus täytyisi tapahtua vasta siinä vaiheessa, kun levy on poimittu kuljettimelta, sillä levy makaa tasomaista kuljetinta vasten sitä poimittaessa ja sen vuoksi ei ole mahdollista asettaa tappia uraan. Tässä on olemassa pieni riski levyn irtaamiseen imukupeista, jos kohdistuksen tapahtuessa tappi ei osukaan uraan tai on hieman sivussa ja levy hieman liikahtaa. Tämä on kuitenkin hyvin pieni liike ja imukupit sallivat hieman liikettä elastisuutensa vuoksi, mutta riski on olemassa. Toinen vaihtoehto olisi käyttää erillistä jigiä ennen kuin asetetaan levy paikalleen. Eli ensin poimitaan levy kuljettimelta ja asetetaan jigiin, joka korjaa levyn mahdollisen asentovirheen ja tämän jälkeen vasta asetetaan levy tuurnalle. Tähän kuitenkin menee enemmän aikaa, mutta olisi kohdistuksen kannalta hyvä ratkaisu. Konenäköä ja sen ominaisuuksia ja tarkkuutta tulisi tutkia asian selvittämiseksi. Tässä työssä keskityttiin itse tarttujan suunnitteluun, joten rajattiin tarkempi konenäön tutkiminen pois.

5.5.5 Anturointi ja muu varustelu

Tarttujalta täytyy lähteä tieto, onko työkappale tarttujassa kiinni. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi induktiivista anturia, jonka voisi sijoittaa yhden imukupin välittömään läheisyyteen. Tällä saadaan tarvittava tieto siitä, onko levy poimittu tai irrotettu. Myös paineenseuranta anturoinnin lisänä varmistaa tartunnan onnistumisen ja antaa tietoa häiriöstä esimerkiksi silloin kun imussa on vuoto tai jostain syystä jokin imukupeista ei tartu kappaleeseen. **(Kuva 18)**.

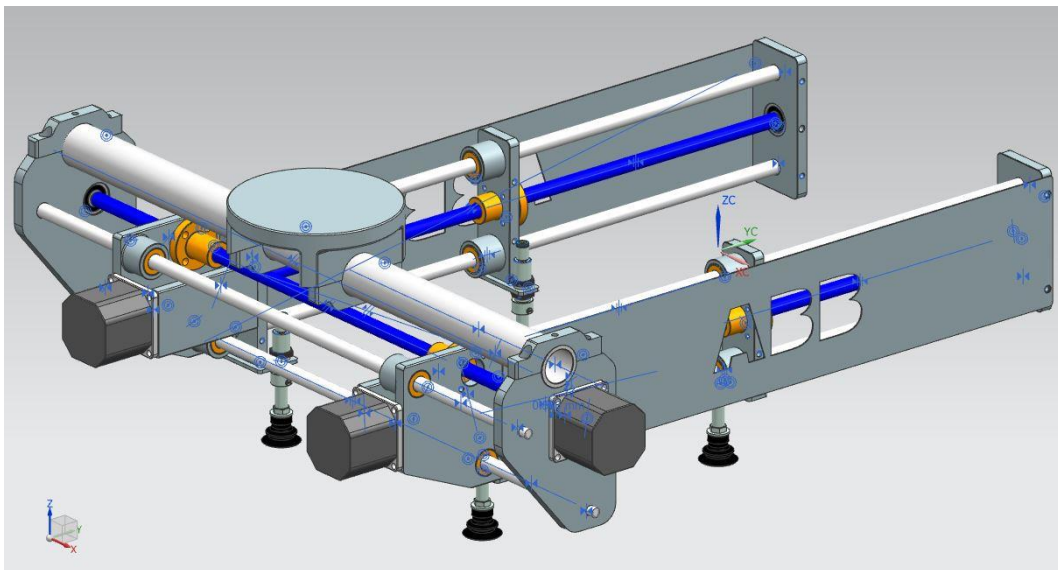


Kuva 18. Induktiivinen anturi. /20/

Törmäystilanteessa tulisi minimoida vahingot, jotta tuotantoa voitaisiin normaalisti jatkaa mahdollisimman nopeasti. Tähän hyvä ratkaisu voisi olla esimerkiksi törmäyssuoja robotin laipan ja työkalun tai vaihtolaipan väliin. On saatavilla valmiita törmäyssuojia, joissa vääntö ja voima ovat säädettävissä. /21/

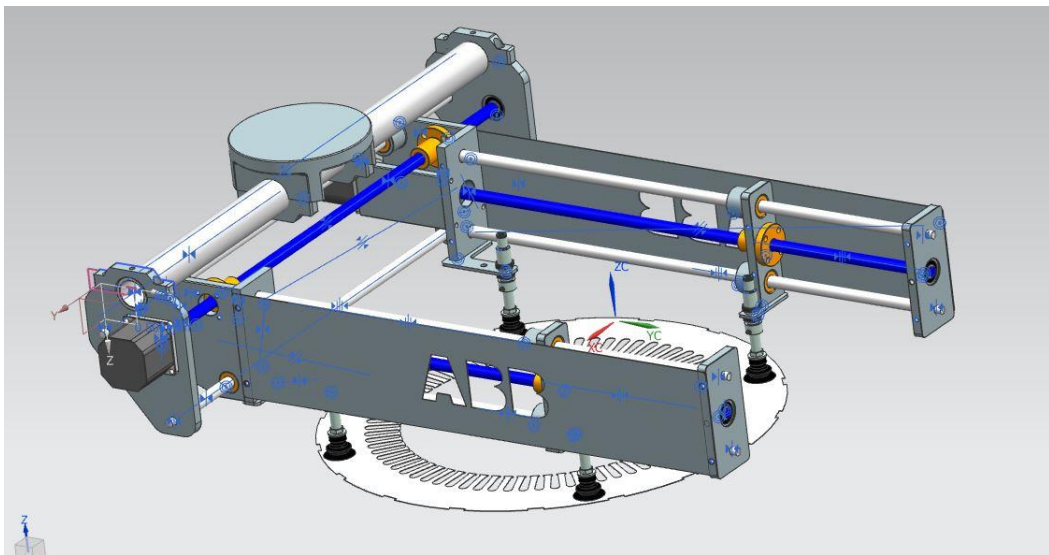
5.6 3D-malli suunnitellusta tarttujasta

Suunniteltu tarttuja on rakenteeltaan haarukkamainen. **(Kuva 19)**.



Kuva 19. CAD-malli suunnitellusta tarttujasta.

Rakenne mahdollistaa dynamolevyjen poiminnan kuljettimelta ja niiden viemisen ja asettamisen suoraan tuurnalle. Lopullisessa mallissa askelmoottoreita on kolme. Sivulevyssä oleva moottori liikuttaa kahta pituussuuntaista lineaarikokoonpanoa yhtäaikaaisesti sisään- tai ulospäin. Näissä on molemmissa omat askelmoottorit, joilla saadaan aikaan imukuppien pituussuuntainen liike. Laippa, jolla tarttuja kiinnitetään robottiin, on tarttujan runkoputkessa kiinni ja on kallistettava. Tähän ratkaisuun päädyttiin siksi, että saataisiin laippa kallistettua haluttuun asentoon, kun käytetään erityyppisiä robotteja. Tässä projektissa oli määriteltä käytettäväksi portaalirobotteja ja kiertyvänivelisiä robotteja. Alla olevasta kuvasta hahmottaa hieman tarttujan toimintaa ja fyysistä kokoa. Tarttujassa kiinnittyneenä halkaisijaltaan 460 mm staattorilevy. **(Kuva 20)**.



Kuva 20. Staattorilevy kiinni tarttujassa.

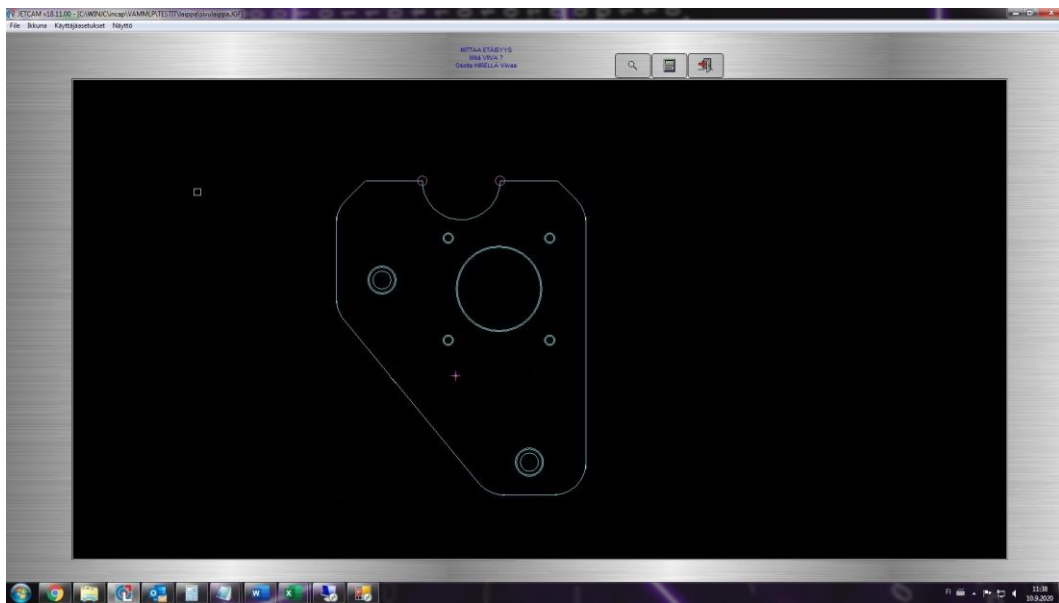
5.7 Valmistus

Suurin osa valmistettavista osista on 10 mm alumiinia. Olisi mahdollista leikata ne levystä laserilla, mutta laserleikatut 10 mm osat vaativat kuitenkin joka tapauksessa koneistusta, sillä osissa on kierteitä, upotuksia ja laakeritaskuja. Toinen vaihtoehto olisi myös koneistaa nämä osat kokonaan. Ohuemmasta materiaalista valmistettavat osat kuten sivupeitelevyt ja imukuppien kiinnikkeet olisi mahdollista leikata laserilla, sillä ne eivät vaadi muita toimenpiteitä. Osiin, joihin tulee johteiden laakerit, on hitsattava holkki, joka myöhemmin koneistetaan laakerin vaatimalle sovitteelle tai sitten koneistetaan suoraan se suuremmasta aiheesta. Adapterilaippa, jolla tarttuja kiinnittyy robotin työkalulaippaan, koneistetaan alumiinista. Runkoputkea on saatavana salkoina ja se sahataan sopivasta aiheesta oikeaan mittaan.

Valmistuskustannuksia varten olisi tarpeen kysyä tarjous laserleikkausta ja koneistusta tarjoavilta yrityksiltä. Eräs paikallinen yritys tarjosi suuntaa antavana hintana koneistus- ja laserleikkaustyölle 100–150 € tunnilta. Valmistettavissa osissa käytetään materiaalina alumiinia ja terästä. Alumiini, jota käytetään osissa eniten, oli raaka-ainehinnaltaan kyseisellä hetkellä 1,511 €/kg. /22/

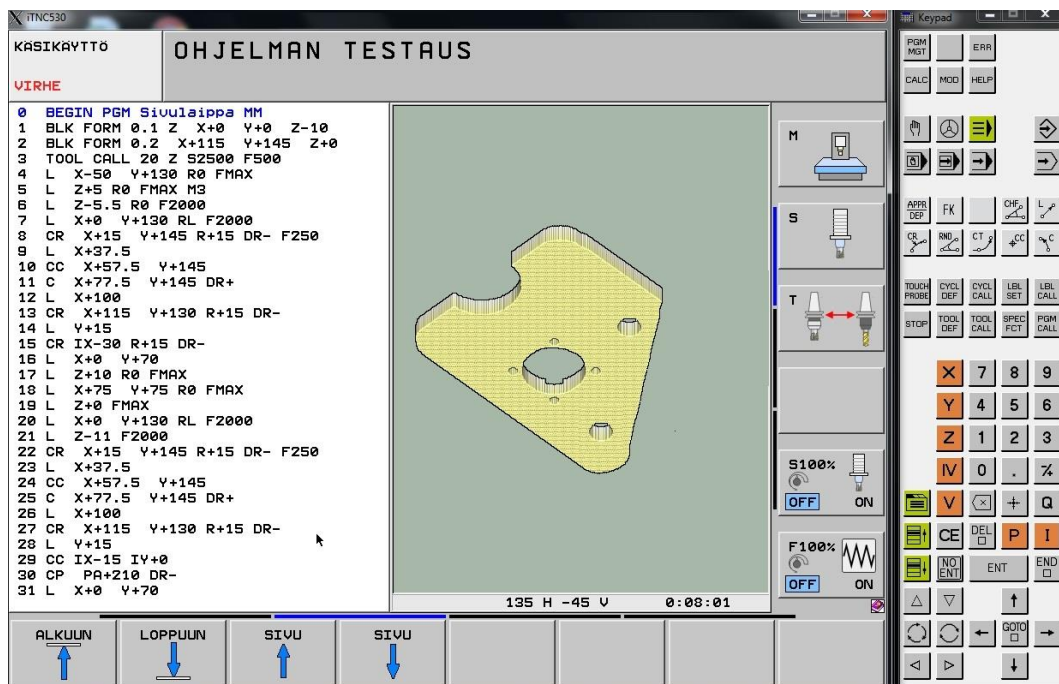
5.7.1 Koneistettavat osat

Suurin osa tarttujan osista valmistetaan koneistamalla, joten tehtiin karkea arvio koneistuskustannuksista. Valittiin yksi tarttujan osa ja tehtiin arvio koneistusajasta kyseiselle osalle. Tässä esimerkissä osa valmistetaan kokonaan koneistamalla se 10 mm paksuisesta alumiinilevystä. Osaksi valittiin sivulaippa, johon tulee kiinni runkoputki, kaksi johdetta ja askelmoottori. **(Kuva 21)**.



Kuva 21. Sivulaippa avattuna JETCAM-ohjelmistolla.

Arvio osan koneistusajasta tehtiin simuloimalla se. Simuloinnin ajassa ei ole otettu huomioon kappaleen kääntöä, työkalun vaihtoa tai asetus- ja ohjelmointiaikaa. **(Kuva 22)**.



Kuva 22. Koneistusajan simulointia.

Laskettiin muut ajat erilliselle taulukolle käyttäen koneistuskeskuksen työntekijän arvioimia aikoja. Näin saatiin yhden kappaleen valmistusajaksi noin 56 minuuttia. (Taulukko 4).

Taulukko 4. Koneistusajan laskenta sivulaipalle.

Toimenpide	Aika(min)	Kerroin	Yhteensä(min)
Ohjelmointi	30	1	30
Asetus	10	1	10
Työstöaika	8	1	8
Työkalun vaihto	0,5	6	3
Kappaleen kääntö	5	1	5
			56

Valmistettavia koneistettavia osia tarttujassa on yhteensä 16 kappaletta, joista 10 kappaletta on erilaisia. Näillä tiedoilla voitiin muodostaa vaan karkea arvio, miten paljon koneistettavien osien valmistukseen kuluu aikaa. Laskettiin 10 kappaleelle aika, joka sisälsi ohjelmointiajan ja 6 kappaleelle, joissa sama ohjelma toistuu, laskettiin aika ilman ohjelmointia. Laskettiin näistä ajat yhteen. Saatiin

koneistettaville osille arvio koneistukseen kuluva ajasta, joka oli yhteensä noin 716 minuuttia. (Taulukko 5).

Taulukko 5. Koneistusaika -arviot.

Osat	Kpl	Aika	Yht.(min)
Kappaleet, joissa ohjelmointiaika	10	56	560
Kappaleet, joissa ei ohjelmointia	6	26	156
Yhteensä:	16		716

Koneistettaville tarttujan osille saadun arvion perusteella voidaan laskea hinta aiemmin ilmoitetun hintahaarukan mukaan (100–150 €/tunti), jolloin saadaan summaksi noin 1193–1790 €. Tämä arvio koskee ainoastaan koneistettavia osia. Arvioinnissa ei otettu huomioon raaka-ainehintoja, sekä muita valmistustapoja. Tarkemman hinta-arvion saamiseksi tulisi laskea vielä muiden valmistettävien osien kulut ja selvittää hankittavien osien hinnat eri toimittajilta.

5.7.2 Laserleikattavat osat

Laserleikattavia osia oli 4 erilaista ja yhteensä 7 kappaletta. Laskettiin tarjouslaskennassa käytettävän taulukon mukaan kustannukset laserleikattaville osille materiaaleineen. Taulukko ei ole julkinen, joten eriteltiin kustannukset seuraavasti tähän:

-Anturikiinnike (1 kpl) 39,05 € / kpl

-imukuppiinnike (2 kpl) 20,41 € / kpl

-imukuppiinnike_2 (2 kpl) 20,73 € / kpl

-sivupeitelevy (2 kpl) 27,79 € / kpl.

Laserleikattujen osien yhteishinnaksi muodostui siis yhteensä 176,91 €. Tarttujan lopulliset valmistuskustannukset saadaan, kun lisätään vielä hankittavien osien kustannukset tässä laskettujen valmistettävien osien lisäksi.

6 POHDINTA JA YHTEENVETO

Mielestäni suunnittelutyö onnistui kokonaisuudessaan hyvin ja tavoitteet täyttyivät niiltä osin, kuten vaatimuslistassa oli laadittu. Protoa kyseisestä suunnitelmasta tämän tutkimustyön aikana ei valmistettu, mikä olisi ollut toki suunnittelijalle mielekästä. Suunnitelma on kuitenkin täysin toteuttamiskelpoinen ja simuloitavissa jatkoa varten. Valmistettavia osia kertyi lopulta yllättävän paljon, enemmän mitä suunnittelun alussa ajattelin. Suurin osa valmistettavista osista on leikattavia ja koneistettavia alumiiniosia ja tämän takia kertyy valmistuskustannuksia. Joitain osia saattaa olla mahdollista valmistaa 3D-tulostamalla ne muovista, jolloin saadaan kevyempiä osia. Topologian optimoinnilla osista saadaan myös painoa pois ja optimoinnin jälkeen valmistustapa saattaa muuttua. Tarttuja suunniteltiin sillä ajatuksella, että kuluvat ja huollettavat osat ovat hankittavia. Suurimmat ongelmat suunnittelun aikana tulivat toimivan mekaniikan suunnittelussa, muuten suunnittelu sujui hyvin. Pitkään suunnittelin toteuttavani tarttujan vaan yhdellä askelmoottorilla kulmavaihteita tai hammaspyöriä käyttäen. Mekaniikan suunnitteleminen tällaisessa ratkaisussa oli haastavaa ja tuntui, että liikkuvia osia tulisi olemaan aivan liikaa, joten päädyin yksinkertaisempaan rakenteeseen ja käyttämään kolmea askelmoottoria ja liikeruuvia. Tämä oli mielestäni paras ratkaisu toiminnaltaan. Askelmoottoreilla saadaan tarkka tieto imukuppien asemoinnista.

Suunniteltu tarttuja sopii yrityksen suunnittelemaan käyttöön ja sitä on mahdollista käyttää myös muissa yrityksen sovelluksissa, joissa käsitellään levyjä. Tuotantosolussa mihin tarttujaa lähdettiin suunnittelemaan, tarttujaa voitaisiin käyttää levyjen poimintaan ja ladontatyöhön. Tällaisessa sovelluksessa tarttujaa käyttämällä voitaisiin automatisoida toiminta lähes kokonaan ja tehostaa tuotantoa.

Tutkimustyön aikana heräsi uusia kysymyksiä tulevan tuotantosolun kokonaisuuteen liittyen. Yksi tarttujan ja sen toimintaan liittyvä kysymys, mitä olisi aihetta tutkia on konenäkö ja sen ominaisuudet ja niiden soveltaminen käytännössä. Tä-

tä olisi tarpeen tutkia siksi, että tiedettäisiin miten tarkasti konenäkö tunnistaa jokaisen poimittavan levyn ja sen orientaation, että voidaanko levy poimia tarttujaa käyttäen niin tarkasti, että se on mahdollista asettaa suoraan ladontatuurnalle ladonnan vaatimalla tavalla. Jos näin ei voida toimia, täytyisi suunnitella dynamolevyjen tarkka kohdistus esimerkiksi jigiiin ja siitä poimittaisiin se uudelleen ja asetettaisiin sitten tuurnalle. Tämä vaihtoehto tosin vie enemmän aikaa.

Itse poimintatapahtumaa pohtiessa tuli erilaisia ajatuksia tarttujasta ja koko tuotantosolusta. Jos esimerkiksi tässä tutkimustyössä suunniteltuun tarkoitukseen, eli poimintaan ja ladontaan suunniteltu tarttuja olisikin liian hidasta toimimaan ja pysymään laserleikkauksen tahdissa, voitaisiin lähestyä ongelmaa erilaisesta näkökulmasta. Jos tarttuja poimisi levyt kuljettimelta ja siirtäisikin ne joko toiselle kuljettimelle, joka veisi levyt suoraan kokoonpanorobotille poimittavaksi tai varastoitaville lavoille, eikä suoraan tuurnalle. Tähän tarkoitukseen toimisi mielestäni parhaiten tarttuja, joka poimisi samalla kertaa sekä staattorilevyn, että roottorilevyn. Tämän jälkeen poimitut levyt viedään esimerkiksi vierekkäisille lavoille ja asetetaan niille pinoon yksi kerrallaan staattorilevy toiselle lavalle ja roottorilevy toiselle. Tässä säästettäisiin poimintakertoja kuljettimelta ja poiminta nopeutuisi. Saamassani materiaalissa oli dynamolevyt asemoitu leikattaville levyarkeille siten, että ne olivat sisäkkäin, kuten **Kuva 8** esittää. Eli tarttujan voisi suunnitella siten että siten, että siinä olisi tartuntakomponentit kahdella erikokoisella ympyränmuotoisella kehällä, jotka vastaisivat yhden moottorityypin staattori- ja roottorilevyjä. Tarttuja olisi silloin rakenteeltaan yksinkertainen ja kevyt, mutta niitä tulisi olla useita. Tällöin voisi olla työkalunvaihtojärjestelmä ja useita työkaluja eri moottorityypeille. Tällaiseen ratkaisuun olisi mahdollista myös liittää automaattivarasto. Dynamolevyt voitaisiin automaattivarastosta tuoda esimerkiksi erilliselle robotisoidulle kokoonpanosolulle, jossa voitaisiin käyttää robottia ja tarttujaa, joka on suunniteltu kyseiselle kokoonpanolle ja tuurnalle pinoamiseen. Huono puoli tässä on se, jos moottorikokoja on todella paljon, niin tällöin tulee olla työkalujakin. Toinen asia poimintaa pohtiessa oli se, jos poimittaisiin leikatun levyarkin ranka, eli levyarkista leikkauksen jälkeen jäävä jättepala ensimmäisenä,

niin pystyttäisiinkö dynamolevyihin tarttumaan muilla tavoin, kuin vakuumi- tai magneettitartuntaa käyttäen. Erilaiset mahdolliset tartuntatavat toisivat uusia mahdollisuuksia tarttujan suunnitteluun.

6.1 Jatkokehitys

Suunniteltu tarttuja on vasta ensimmäinen versio eli niin kutsuttu protoversio. Jatkokehityksessä voisi tehdä topologian optimointia mahdollisimman kestävä ja kevyen rakenteen toteuttamiseksi ja samalla hyödyntää 3D -tulostusta osien valmistuksessa. Myös muovista tai hiilikuidusta tulostamalla voidaan valmistaa erittäin kestäviä ja kevyitä osia.

Toinen asia mitä voisi kehittää olisi tartunnan varmistaminen ja tähän voisi olla ratkaisu esimerkiksi magneetin käyttäminen imukuppien tukena. Eli poimitaan kappale imukuppeja käyttäen ja varmistetaan sen jälkeen tartuntaa vielä yhdellä tai useammalla magneetilla. Tällaisella ratkaisulla voisi olla mahdollista käyttää poiminnassa suurempia siirtymänopeuksia.

LÄHTEET

- /1/ Hölsö, M. Insinööriytyö. Luettu 23.3.2020
<https://www.theseus.fi/handle/10024/267680>
- /2/ ABB Oy. 2020. Viitattu 15.4.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>
- /3/ ABB Oy. 2020. Viitattu 15.4.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- /4/ ABB Oy. 2020. Viitattu 15.4.2020.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/motors-and-generators>
- /5/ Kuivanen Risto. Robotiikka. 1999. Talentum Oyj. Viitattu 15.4.2020.
- /6/ MachineDesign. 2020. Viitattu 24.6.2020
<https://www.machinedesign.com/markets/robotics/article/21835000/whats-the-difference-between-industrial-robots>
- /7/ Lyytinen J. Diplomityö. Viitattu 16.4.2020. TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO, Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Mukautuvan tarttujan suunnittelu robottisovelluksessa. Diplomityö 2014.
- /8/ Monkman G., Hesse S., Steinmann R., Schunk H., 2004 Robot Grippers. Wiley-VCH. Viitattu 16.4.2020
- /9/ Lineartec. 2020. Viitattu 20.4.2020.
<https://www.lineartec.fi/tuotteet/alipainetarttujat>
- /10/ Movetec. 2020. Viitattu 20.4.2020
<https://www.movetec.fi/fi/tuotteet/automaatio/tarttujat/magneettiset-tarttujat-zimmer>
- /11/ Livingston, James D. *Käyttövoima: Magneettien luonnollinen magia*. (Driving force, the natural magic of magnets. 1996.) Suomentanut Kimmo Pietiläinen. Helsinki: Terra Cognita. 1997. Viitattu 20.4.2020
- /12/ Onrobot. 2020. Viitattu 21.4.2020. <https://onrobot.com/en/products/gecko-single-pad-gripper>
- /13/ Keinonen Turkka, Jääskö Vesa. 2003. Tuotekonseptointi. Tegnologiateollisuus ry. Helsinki. Viitattu 14.4.2020

/14/ Petroski, Henry. Ideasta tuotteeksi: Miten insinöörit keksivät suunnitelmallisesti. (Invention by design: How engineers get from thought to thing. 1996. Suomentanut Kimmo Pietiläinen. Helsinki: Terra Cognita. 1997. Viitattu 14.4.2020

/15/ Hantula Juha. 2017. VAMK kurssimateriaali, tuotekehitys. Viitattu 14.4.2020

/16/ Festo. 2020. Viitattu 5.5.2020

<https://www.festo.com/us/en/a/189382/>

/17/ Schmalz. 2020. Viitattu 5.5.2020

<https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/special-grippers/magnetic-gripper/magnetic-grippers-sgm-hp-ht>

/18/ Movetec. 2020. Viitattu 22.5.2020

<https://www.movetec.fi/fi/tuotteet/lineaariliikkeen-mekaniikka>

/19/ Shmotor. 2020. Viitattu 22.5.2020

http://www.shmotor.co.kr/eng/sub02_0102.php

/20/ Sensorola. 2020. Viitattu 7.6.2020

<https://sensorola.fi/tuotteet/wenglor-induktiivinen-anturi-metallin-tunnistava/>

/21/ Movetec. 2020. Viitattu 7.6.2020

<https://www.movetec.fi/fi/tuotteet/robotiikka/tarttuvat/paineilma-ja-sahkotoimiset-tarttuvat-zimmer>

/22/ Alumeco. 2020.. Viitattu 4.9.2020

<https://www.alumeco.fi/asiantuntemus-ja-tekniikka/alumiinin-hinnat>