

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

LUT Metalli

**TUULIVOIMALAN GENERAATTORIN KESTOMAGNEETTIEN
KIINNITTÄMISEEN TARKOITETUN TARRAIMEN SUUNNITTELU**

**DESIGN OF A GRIPPER USED TO INSTALL PERMANENT MAGNETS TO A
GENERATOR OF WINDMILL**

Kandidaatintyö

Ohjaaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Lappeenrannassa 27.4.2010

Riku Neuvonen

0312030

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
2 ROBOTITARRAINTEN SUUNNITTELU	1
2.1 Tarraintyypit.....	2
2.1.1 Mekaaniset tarraimet.....	3
2.1.2 Imu- ja tyhjiötarraimet.....	3
2.1.3 Magneettitarraimet	4
2.1.4 Erikoistarraimet	5
2.2 Tartuntatavat	6
2.3 Suunnitteluprosessi	7
2.4 Esisuunnittelu	8
2.4.1 Ongelmahierarkia.....	9
2.4.2 Työkappaleanalyysi.....	9
2.4.3 Prosessianalyysi	10
2.4.4 Taloudelliset näkökohdat	11
2.4.5 Mekaaninen rakenne.....	12
2.4.6 Tartuntavoima	12
2.4.7 Toimilaitteet.....	12
2.4.8 Anturit.....	12
2.4.9 Ohjausjärjestelmä	13
2.5 Suunnittelu.....	13
2.5.1 Turvallisuus.....	14
2.5.2 Viimeistely.....	15
3 TEHTÄVÄNMÄÄRITTELY, LUONNOSTELU JA KEHITTELY	16
3.1 Vaatimuslistan laatiminen	16
3.2 Abstrahointi.....	16
3.3 Toimintorakenteen laatiminen.....	18

3.3.1 Osatoimintojen kuvaus.....	18
3.4 Vaikutusperiaatteiden haku ja arviointi	20
3.5 Ratkaisumuunnelmien luominen.....	27
3.6 Kehittely.....	30
3.6.1 Toiminnansuunnittelu	31
3.6.2 Materiaalit	32
3.6.3 Anturit.....	32
3.6.4 Vaihtoehto 1	33
3.6.5 Vaihtoehto 2.....	33
3.6.6 Vaihtoehto 3.....	33
3.6.7 Vaihtoehto 4.....	33
3.7 Muutokset kehikon rakenteeseen	34
3.8 Ratkaisuvaihtoehtojen vertailua.....	34
3.9 Parhaan kokonaisratkaisun toimintaperiaate	36
3.10 Parhaan kokonaisratkaisun kehittäminen	37
3.10.1 Rungon kehittäminen	37
3.10.2 Tarraimen pohja	39
3.10.3 Kynnet.....	39
3.10.4 Liukukelkka	40
3.10.5 Komponentit.....	43
4 PARHAAN KOKONAISSRATKAISUN JATKOKEHITTELY.....	44
4.1 Remote center compliance	45
4.2 Liimaus	45
4.3 Rakenteen optimointi.....	45
4.4 Ohjausjärjestelmä.....	46
4.5 Tartuntapintojen materiaali	46
5 TULOSTEN ANALYSOINTI	46

6 YHTEENVETO.....	47
LÄHTEET	48
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Robottitarraimet ovat mekatronisia laitteita, joiden suunnittelu vaatii suunnittelijalta tietoa monilta eri tieteenaloilta. Tarraimen suunnittelussa yhdistyvät mekaniikan suunnittelu, toimilaitteiden valinta ja ohjausjärjestelmän suunnittelu. Lisäksi tarraimen suunnittelijan tulisi ymmärtää automaattisen tuotannon perusteita.

Tämän työn tarkoituksena on suunnitella tuulivoimalan generaattorin kestopagneettien asennukseen käytettävä robottitarrain. Työn alkupuolella tutustutaan erilaisiin tarrantyypppeihin ja tartuntatyypppeihin, joiden tunteminen on erittäin tärkeää tarranta suunniteltaessa. Tämän jälkeen työssä keskitytään tarraimen suunnittelun periaatteisiin sekä turvallisuusnäkökohtiin. Teoriakatsauksen jälkeen työssä esitellään magneettien kiinnittämiseen tarkoitettua tarraimen suunnittelua. Tarraimen suunnittelussa noudatettiin järjestelmällisen koneensuunnittelun periaatteita sekä työn alkuosassa selostettuja tarraimen suunnittelun periaatteita. Työn loppupuolella esitellään lisäksi tarraimen jatkokehityssuunnitelma sekä arvioidaan tarraimen hyviä ja huonoja puolia.

2 ROBOTTITARRAINTEN SUUNNITTELU

Robotin tehtäviä voivat olla muun muassa työstökoneen palvelu, kokoonpano, pakkaus, lajittelu tai siirto. Näiden tehtävien suorittamiseksi robotin varteen tulee liittää robottitarrain. Tarrain mahdollistaa työkappaleeseen tarttumisen, kappaleen siirtämisen ja kappaleen paikoittamisen haluttuun kohtaan. (Kurfess T. R 2005 s. 11-1 – 11-4)

Tarraimilla käsiteltävien työkappaleiden kokoluokat voivat vaihdella millimetreistä jopa metreihin. Työkappaleita voivat olla esimerkiksi sorvattavat pyörähdyssymmetriset kappaleet tai ohutlevyt. Niiden materiaalit vaihtelevat paljon. Paineilmalla toimivat kaksisormiset tarrainkonstruktiot ovat yleisimpiä käytössä olevia tarraimia. Robotit pyritään suunnittelemaan mahdollisimman joustaviksi, jotta sama robotti kävisi moneen eri sovelluskohteeseen. Tarraimet räätälöidään tietyn sovelluskohteen mukaisesti, koska moneen käyttökohteeseen soveltuvaa tarranta on hankala suunnitella. Vakiotarraimia on markkinoilla kuitenkin tarjolla. Vakiotarrainten liikunta- ja tarrainparametrejä joudutaan usein

muokkaamaan sovelluskohteesta riippuen. Tällaisia tarraimia valmistaa esimerkiksi Schunk GmbH & Co. (Aaltonen, Ekman, Kamppari, Kauppinen, Kivivuori, Paro, Vuorinen 1991 s. 249)

Automatisoidussa tuotannossa käsiteltävien työkappaleiden muodot, mitat ja materiaalit monimuotoistuvat jatkuvasti, mistä johtuen myös tarrainten suunnitteluun on tulevaisuudessa panostettava huomattavasti enemmän. Monien asiantuntijoiden mielestä tarrainten kapasiteettien parantaminen on tärkeimmässä osassa automatisoidun kokoonpanon taloudellisuuden parantamisessa. Käytännön tarpeiden toteuttamiseksi tulisi kehittää joustavia tarrainratkaisuja kokoonpanolinjastojen tarpeisiin. (Monkman, Hesse, Steinman, Schunk 2007 s. 2)

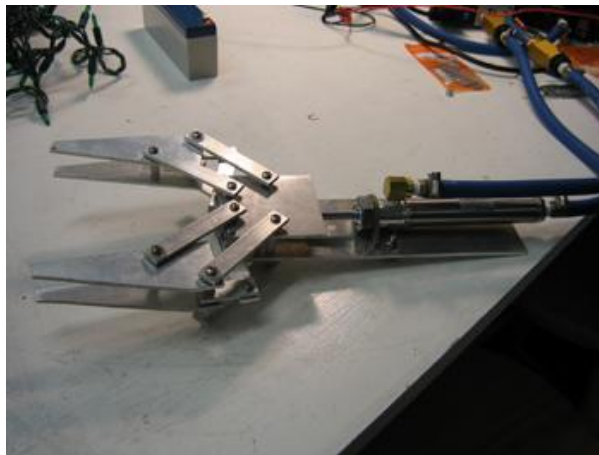
Toimivan tarraimen suunnittelu ei ole helppo tehtävä. Valitettavan usein tarraimen suunnittelijalle sanellaan suoraan työkappaleiden mitat ja asennusjärjestys, jonka jälkeen suunnittelijan tehtävänä on suunnitella tilanteeseen sopiva tarrain. Jo tuotetta suunniteltaessa olisi järkevää miettiä tuotteen osia ja kokoonpanoa tarraimen sekä automatisoinnin kannalta, koska pienikin muutos työkappaleeseen voi parantaa tarraimen luotettavuutta huomattavasti. Toisaalta sopiva tarrainkonstruktio voi yksinkertaistaa konstruktiota ja parantaa sen kokoonpantavuutta. (Causey, Quinn 1998 s.1)

2.1 Tarraintyypit

Suunniteltaessa tai valittaessa tarrainta tulisi tietää erilaiset tarraintyypit. Tarraimet voidaan jaotella monella eri tavalla esimerkiksi toimilaitteen tyyppin tai tartuntatavan mukaan. Tässä työssä käytetään seuraavaa jaottelua: mekaaniset tarraimet, imu- ja tyhjiötarraimet, magneettitarraimet, erikoistarraimet ja vakiotarraimet. Robottitarrainten yhteydessä puhutaan myös älykkäistä tarraimista. (Kuivanen 1999 s.60) Älykkäällä tarraimella tarkoitetaan tarrainta, joka sisältää mekaanisten osien lisäksi älykkäitä antureita eli aistimia sekä ohjaus- ja säätöjärjestelmiä. Älykkäiden tarrainten ohjausjärjestelmät sijaitsevat yleensä erillään robotin ohjausjärjestelmästä. (Tekninen tiedotus 17/90 s. 5, 26) Edellä mainittujen tarrainten lisäksi on olemassa pienoiso- ja mikrotarraimia (Monkman et al.2007 s. 237).

2.1.1 Mekaaniset tarraimet

Mekaaniset tarraimet koostuvat mekanismista, toimilaitteesta ja sormista tai kynsistä. Osia voidaan yhdistää yksinkertaisissa konstruktioissa. Tarraimissa yleisesti käytössä olevia mekanismeja ovat nivelmekanismit, hammaspyörät ja hammastangot, epäkeskot sekä ruuvi- ja lineaarijohteet. Tarraimen liikealueeseen voidaan vaikuttaa toimilaitteen ja mekanismin valinnalla. (Kuivanen 1999 s. 60, 63) Alla olevassa kuvassa 1 on esitettyä mekaaninen tarrain, jonka voiman lähteenä toimii pneumatiikkasyylinteri.



Kuva 1. Pneumatiikkakäyttöinen nelinivelmekanismilla toimiva mekaaninen tarrain. (Cornerstone robotics 2009)

2.1.2 Imu- ja tyhjiötarraimet

Imu- ja tyhjiötarrainten toiminta perustuu alipaineeseen. Tällaisia tarraimia käytetään yleensä kohteissa, joissa mekaanisen tarraimen käyttö on hankalaa tai mahdotonta. Imutarraimessa käytetään yleensä kumisia tai muovisia imukuppeja, joilla käsiteltävään kappaleeseen tartutaan yhdeltä puolelta. Tartuntavoimaa lisätään alipainetta kasvattamalla tai lisäämällä imukuppien lukumäärää. Usean imukupin tarraimissa on huomioitava yhden imukupin irtoamisesta aiheutuva alipaineen menetys kaikissa imukupeissa. Ilman erillistä varolaitetta tämä aiheuttaa työkappaleen putoamisen. Imu- ja tyhjiötarraimet vaativat työkappaleelta riittävän tasaista, puhdasta ja tiivistä pintaa toimiakseen. Imuvoima saadaan paine-eron ja imupinta-alan tulosta. Imutarraimet eivät siedä suuria tarrainta vastaan kohtisuoria sivuttaisvoimia, sillä sivuttaisliikettä vastustaa vain imukupin ja kappaleen välinen kitkavoima. Yleensä alipaine muodostetaan käyttäen venturia,

ejectoria tai erillistä alipainepumppua. Imutarraimen etuina voidaan pitää rakenteen yksinkertaisuutta ja luotettavuutta. Imukupit eivät myöskään naarmuta työkappaleen pintaa, ja lisäksi imukupit toimivat joustoelementteinä. Imutarraimia voidaan käyttää puhdastiloissa. (Kuivanen 1999 s. 63-64) Kuvassa 2 on esitettyä ohutlevyjen siirtämiseen käytetty alipainetarrain.



Kuva 2. Neljällä imukupilla toimiva alipainetarrain. (Skanveir 2009)

2.1.3 Magneettitarraimet

Ferromagneettisille aineille voidaan käyttää magneettitarraimia. Magneetin nostovoima riippuu kappaleen materiaalista, muodosta, pinnanlaadusta, työkappaleen ja magneetin välisestä ilmaraosta sekä magneetin lämpötilasta. Magneettisen tarraimen käyttö edellyttää työkappaleelta riittävän suurta tasaista tartunta-aluetta, koska magneettikentän vaikutus heikkenee nopeasti ilmaraon kasvaessa. Magneettitarrain aiheuttaa työkappaleeseen jäännösmagnetismia, joka hidastaa irrottamista. Kestomagneettiset tarraimet vaativat lisäksi erillisen irrotusmekanismin. Sähkömagneetilla toimivissa tarraimissa magneettikentän suunta voidaan kääntää, jolloin irrotus nopeutuu. Sähkömagneettiset tarraimet kuumenevat käytössä ja niiden työkierrot on suunniteltava siten, että tarraimen lämpötila ei nouse liikaa. (Kuivanen 1999 s. 64) Kuvassa 3 on esitettyä ohutlevyjen käsittelyyn tarkoitettu magneettitarrain.



Kuva 3. Magneettitarrain (Vacuworld 2009)

2.1.4 Erikoistarraimet

Erikoistarramalla tarkoitetaan tarrainta, joka mukautuu tartuttavan kappaleen mukaan. Tällaiset tarraimet perustuvat tartuntaelimen laajentumiseen kappaleen ympärille. Mukautuvat elementit voivat olla rakenteeltaan lamellimaisia, mekaanisesti muotoutuvia, granulaattien tai magneettipulverin perustuvia. (Kuivanen 1999 s. 64) Joskus myös älykkäät tarraimet ja revolveritarraimet sisällytetään tähän ryhmään.

Revolveritarraimessa on kierrettävä tarrainpää, johon on liitetty useita tarraimia. Revolveritarraimia voidaan käyttää työstökoneiden palvelemiseen. Jos kappaleesta poistetaan työstön aikana paljon materiaalia, samaa tarrainta, jolla kappale koneelle tuotiin, ei voida enää käyttää. Tällaiseen tarkoitukseen revolveritarrain soveltuu mainiosti, koska tarrainpää ei tarvitse vaihtaa, vaan riittää, että revolverista pyöräytetään sopivan kokoinen tarrain esille. (Aaltonen et al. 1991 s. 259)

2.1.5 Vakiotarraimet

Vakiotarraimet ovat robottien tai tarrainvalmistajien tuotevalikoimista löytyviä tarraimia. Vakiotarraimia joudutaan usein muokkaamaan käyttökohteeseen soveltuviksi. Yksinkertaisimmillaan tämä tarkoittaa tartuntapintojen muokkaamista. (Kuivanen 1999 s. 64)

2.2 Tartuntatavat

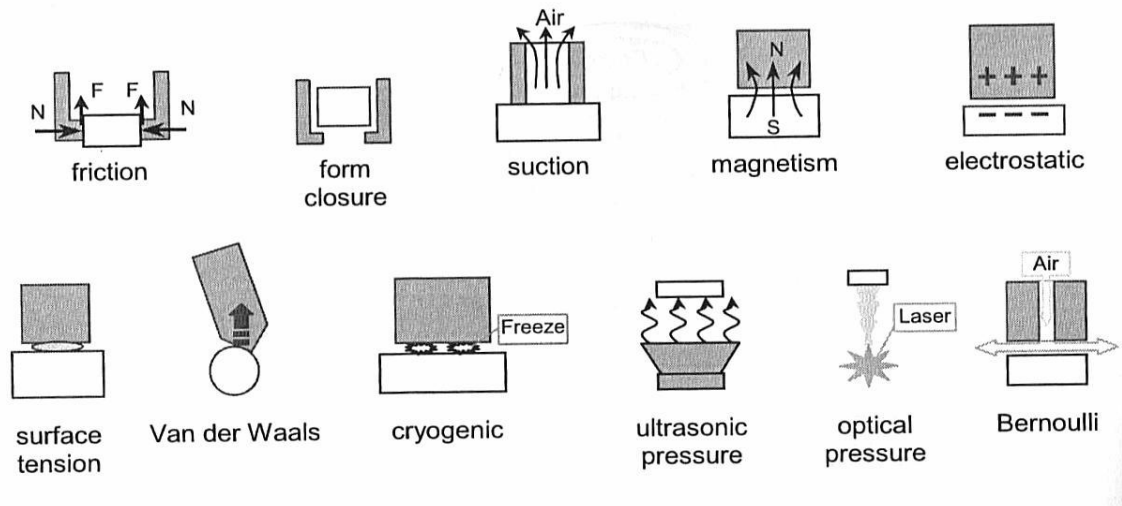
Tarraintyypien lisäksi tarrainta suunniteltaessa on tunnettava erilaiset tartuntatavat. Tartunnat voidaan jaotella seuraavasti: puristusvoimaan perustuva tartunta (engl. Impactive), sitova tartunta (engl. Ingressive), vetovoimaan perustuva tartunta (engl. Astrictive), pintakosketuksen vaativa tartunta (engl. Contigutive). (Monkman et al. 2007 s. 61) Erilaisia tartuntatapoja on esitettyä kuvassa 4.

Puristusvoimaan perustuvat tartunnat jaetaan muotosulkeiseen tartuntaan tai kitkasulkeiseen tartuntaan. Muotosulkeisessa tartunnassa hyödynnetään kappaleen muotoja ja kitkasulkeisessa kappaleen ja tarraimen sormien välistä kitkavoimaa. Kitkasulkeisessa tartunnassa tartuntapinta kannattaa valita huolella, jotta kappale ei pääse liikkumaan. Puristusvoima on oltava riittävä, jotta kappale pysyy paikallaan. (Monkman et al. 2007 s. 61, 62)

Sitovat tartunnat voidaan jakaa edelleen. Tartunta voi perustua tässä tapauksessa työkappaleen lävistämiseen esimerkiksi neuloilla tai lävistämättömään tekniikkaan esimerkiksi ”koukku-lenkki” tyylisten systeemien kuten Velcron käyttöön. (Monkman et al. 2007 s. 61, 62)

Myös vetovoimaan perustuvat tartunnat voidaan jakaa edelleen sähköisen vetovoiman, magneettisen vetovoiman ja imu- tai tyhjiövoiman käyttöön. Sähköiseen vetovoimaan perustuvia tartuntoja voidaan käyttää lähes kaikille materiaaleille, mutta sen käyttö rajoittuu kevyisiin kappaleisiin. Myös imu- ja tyhjiötartuntaa voidaan käyttää lähes kaikille materiaaleille ja tällä saadaan aikaiseksi huomattavasti suuremmat voimat kuin sähköiseen vetovoimaan perustuvalla tartunnalla. Toisaalta tämä tartunta vaatii kappaleen ja tarraimen välille lähes täydellisen pneumaattisen kontaktin. Magneettisella tartunnalla saavutetaan suuria tartuntavoimia. (Monkman et al. 2007 s. 62)

Kuten kaikki muutkin tartuntatavat myös pintakosketuksen vaativat tartunnat voidaan edelleen jakaa alakategorioihin. Tällaiset tartunnat voivat perustua muun muassa jäätymiseen ja sulamiseen, adheesioon tai kapillaarivoimaan. (Monkman et al. 2007 s. 61)



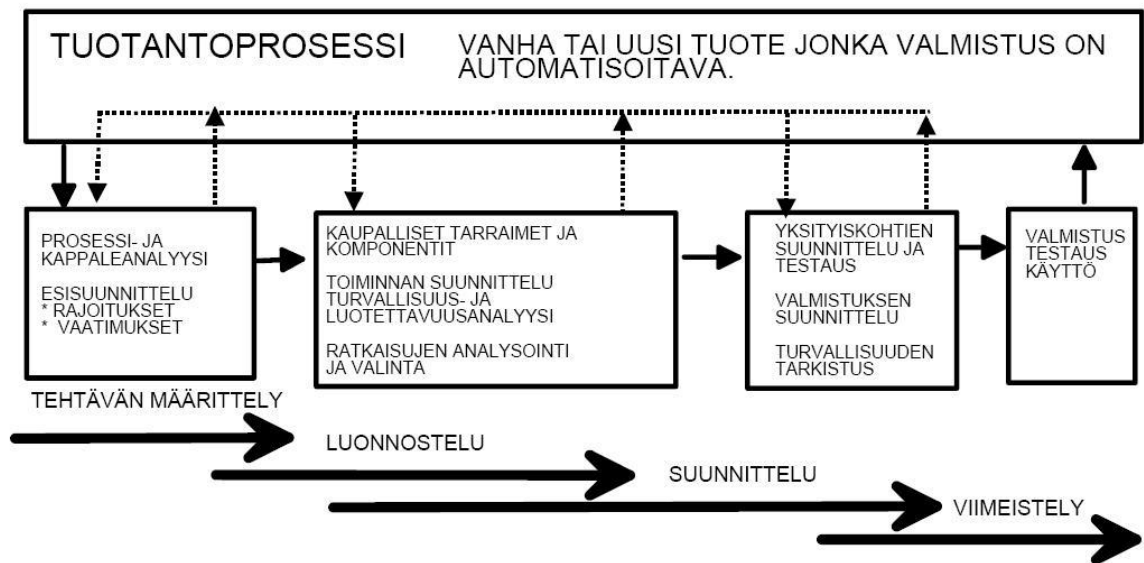
Kuva 4. Erilaisia tartuntatapoja. (Tampereen teknillinen yliopisto 2009)

2.3 Suunnitteluprosessi

Kappaleenkäsittelyjärjestelmä tulisi aina suunnitella kokonaisuutena. Tässä työssä keskitytään kuitenkin vain tarraimen suunnitteluun. Tarraimen suunnittelussa on kaksi pääsääntöä, joita tulisi aina pyrkiä noudattamaan:

1. Älä yritä matkia ihmisen toimintoja.
 - Ihmistä ja robottia ei voi verrata työtehtävissä.
 - Robotti on fyysisesti ihmistä kestävämpi, mutta sillä ei ole ihmisen monipuolista aistijärjestelmää.
2. Mieti kokonaisuutta ennen robotin valintaa.
 - Alkuvaiheessa on mietittävä tarraimen ja robotin yhteensopivuutta.
 - Automatisointiprojektiin on tutustuttava perusteellisesti.

Muita kappaleenkäsittelyjärjestelmän suunnittelussa huomioon otettavia asioita ovat käsiteltävä työkappale, poiminta-asento, prosessianalyysi ja robotin tai manipulaattorin valinta. Kuten mikä tahansa suunnitteluprojekti, myös kappaleenkäsittelyjärjestelmän suunnittelu on iteratiivinen projekti. Itse tarraimen suunnittelu voidaan jakaa kahteen päävaiheeseen: esisuunnitteluun ja suunnitteluun. (Tekninen tiedotus 17/90 s. 13 – 16) Alla olevassa kuvassa 5 on esitettyä tarraimen suunnitteluprosessi kaaviokuvana.



Kuva 5. Tarraimen suunnitteluprosessi.

(Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu 2009)

2.4 Esisuunnittelu

Esisuunnittelussa pyritään löytämään erilaisia tarrainratkaisuja abstrakteista tarpeista lähtien. Esisuunnittelussa on tarkoituksena selvittää tarraimen kannalta oleellisia asioita tuotantoprosessista, laitteista ja käsiteltävästä työkappaleesta. Erityisesti esisuunnitteluvaiheessa tulisi ottaa kantaa kokoonpanoprosessiin sekä sen robotin valintaan, johon tarrain liitetään. Tämän vaiheen tarkoituksena on tuottaa tarraimen vaatimuslista. Lisäksi saadaan tuotettua uusia vaatimuksia tai tarkennettua jo automatisointiprojektin aikaisemmassa vaiheessa huomattuja vaatimuksia itse prosessille ja käsiteltävälle kappaleelle.

Esisuunnittelussa lähdetään liikkeelle kappaleen ja prosessin asettamista vaatimuksista. Ensin on syytä selvittää käsiteltävän kappaleen koko, massa,

muoto ja materiaali. Tämän jälkeen tulisi selvittää prosessin tuottamat vaatimukset. Prosessista selvitettäviä kohtia voivat olla muun muassa tehtävä, työstömenetelmä sekä ympäröivät laitteet. Alustavasti voidaan myös miettiä mahdollisten antureiden tarvetta sekä tarraimelta vaadittavia lisäfunktioita kuten kappaleen keskittämistä, mittausta tai tarkastusta. (Tekninen tiedotus 17/90 s. 27, 30)

2.4.1 Ongelmahierarkia

Vaatimuslistan laadinnassa voidaan käyttää apuna ongelmahierarkiaa. Ongelmahierarkiaan merkitään kaikki sovelluksessa olevat merkittävät ongelmat. Ylimpänä ongelmahierarkiassa on perusongelma. Perusongelma voidaan jakaa neljään aliongelmaan: työkappale, prosessi, tarrain ja taloudelliset näkökohdat. Aliongelmat puolestaan voidaan jakaa alempiin aliongelmiin. Ongelmahierarkian alemmat aliongelmat tulee määrittää sovelluskohteen mukaan. Kun kaikkiin ongelmiin on löydetty vastaus, on tarraimen vaatimuslista valmis. Ongelmahierarkian laatiminen helpottaa myös systemaattista lähestymistä tarraimen suunnitteluun. (Tekninen tiedotus 17/90 s. 27 - 28)

2.4.2 Työkappaleanalyysi

Käsiteltävä kappale vaikuttaa tarraimen suunnitteluun erittäin paljon. Erityisesti kappale määrää käyttökohteeseen sopivat tartuntatavat. Tärkeimmät tartuntaan vaikuttavat tekijät ovat kappaleen koko, massa, muoto ja materiaali. Näiden lisäksi tartuntaan vaikuttavat:

- käsiteltävän kappaleen dimensiot ja toleranssit
- tartuntapinnan kaarevuus ja pinnanlaatu
- tartuntapinnat
- paino ja painopisteen sijainti
- työkappaleen konstruktio muutokset.

Näiden seikkojen perusteella voidaan alustavasti miettiä aikaisemmin esitetyistä tartuntavoista kyseiselle kappaleelle sopivimpia ratkaisuja. (Tekninen tiedotus 17/90 s. 30)

Mahdollisia tartuntapintoja etsittäessä kappaleen muoto on tärkein kriteeri. Valittaessa tartuntapintaa kappaleesta on syytä tutkia seuraavia ominaisuuksia:

- sisäpuolisia ja ulkopuolisia ympyräpintoja
- sisäpuolisia rakoja
- ulkopuolisia yhdensuuntaisia tasopintoja
- pintoja mahdollista alipainetartuntaa varten
- magneettiseen- tai sähköiseen tartuntaan soveltuvia pintoja
- erilaisia uria tai kohoumia muotosulkeista tartuntaa varten.

Myös kappaleen painopisteen sijainnilla on ratkaiseva merkitys tartuntapintaa valittaessa. Tartuntapinnan tulisi sijaita mahdollisimman lähellä painopistettä. (Tekninen tiedotus 17/90 s. 30)

2.4.3 Prosessianalyysi

Prosessianalyysissä tutkitaan prosessia tarraimen kannalta. Prosessista tulee selvittää sekä tarraimen tehtävän että ympäristön aiheuttamia vaatimuksia.

Tehtävästä tulee ottaa huomioon ainakin seuraavia asioita:

- tehtävän laatu
- liikeparametrit: nopeus, kiihtyvyys, tahtiaika
- törmäykset
- tiedonvälitys muiden laitteiden kanssa
- aistien tarve
- mukautumiskyky

Ympäristöstä tulee ottaa huomioon ainakin seuraavia asioita:

- epäpuhtaudet: öljy, pöly, lika jne.
- lämpötila ja ilman kosteus
- säteily
- valaistus, jos tarvetta näköjärjestelmille
- värinä
- sähkömagneettiset häiriöt
- yhteensopivuus muiden laitteiden kanssa

Prosessianalyysin jälkeen on mahdollisesti mietittävä parannuksia itse prosessiin automatisoinnin helpottamiseksi. (Kuivanen 1999 s. 65-67)

2.4.4 Tarrain

Itse tarraimesta tulee ottaa huomioon tarraintyypin ja tartuntatavan lisäksi toiminnalliset ja rakenteelliset vaatimukset.

Toiminnallisia vaatimuksia ovat muun muassa

- mahdolliset lisäfunktiot: mittaus, tarkastus, kappaleen keskitys jne.
- turvallisuus ja luotettavuus
- laaja käsittelykyky
- tarkkuus
- kunnossapito ja asennus
- yhteensopivuus
- jäykkyys ja hallittu jousto
- välykset ja kuluminen.

Tarraimen rakenteellisia vaatimuksia voivat olla esimerkiksi

- koko
- modulaarisuus
- mekaaninen jäykkyys ja keveys
- antureiden ja toimilaitteiden sijoitus
- kappaleiden sijoitus
- ohjauselektroniikan paikoitus
- valmistettavuus
- suojaukset
- liittyminen robottiin
- sormien vaihdettavuus.

(Kuivanen 1999 s. 67)

2.4.4 Taloudelliset näkökohdat

Koneensuunnittelussa tulee aina ottaa huomioon myös tuotteen taloudelliset vaatimukset. Taloudelliset näkökohdat tuottavat tarraimelle vaatimuksia hinnan, laadun, tehokkuuden ja läpimenoaikojen muodossa. Lisäksi on mietittävä myös koko automatisointiprojektin kustannuksia. (Kuivanen 1999 s. 67)

2.4.5 Mekaaninen rakenne

Tarraimen rakennetta suunniteltaessa tehdään valintoja käyttöenergian, toimilaitteiden, tartuntatapojen ja tarraintyypin väliltä tarraimen vaatimuslista huomioon ottaen. Lisäksi tarraimen rakenteen tulee olla mahdollisimman yksinkertainen, koska rakenteen monimutkaistuessa lisääntyvät mahdolliset toimintahäiriöt. Mekanismeja käytettäessä on muistettava huomioida mahdolliset kitkat ja kuolokohdat. (Kuivanen 1999 s. 68)

2.4.6 Tartuntavoima

Tartuntavoiman mitoitus on erittäin tärkeää tarrainta suunniteltaessa. Käsiteltävän kappaleen tulee pysyä tiukasti paikallaan robotin liikkeistä huolimatta, jotta kappaleen tarkka paikoittaminen olisi mahdollista. Voima ei myöskään saa olla liian suuri, sillä suureksi mitoitettu voima voi johtaa työkappaleen hajoamiseen tai liian painavaan tarrainkonstruktioon. Voima tulee aina mitoittaa suurimman kuormitusyhdistelmän mukaan eli maksimikiikhytyksen ja tartuntavoiman normaalin suuntaisen liikkeen mukaan. Tartuntaa mitoitettaessa kannattaa piirtää vapaakappalekuvio. (Tekninen tiedotus 1990 s.37)

2.4.7 Toimilaitteet

Robottitarraimen toimilaitteelta vaaditaan hyvää ohjattavuutta, pientä ja kompaktilaista kokoa sekä helppoa liitettävyyttä. Yleensä käytetään hydraulilla, pneumatiikalla tai sähköllä toimivia toimilaitteita. Hydraulikkaa käytetään, kun vaaditaan suuria voimia. Sähkökäyttöillä päästään puolestaan parhaaseen ohjattavuuteen. (Kuivanen 1999 s. 69) Pneumatiikkakäytöt ovat yleisimpiä auki-kiinni -tarraimissa. Toimilaitteena käytetään myös termo- ja muistimetalleja sekä sähkömagneetteja. Painovoimaa tai jousivoimaa voidaan myös hyödyntää. (Tekninen tiedotus 17/90 s.38)

2.4.8 Anturit

Alussa mainittujen älykkäiden tarrainten älykkyys perustuu kykyyn sopeutua joustavasti ympäristön muutoksiin ja tietoon niiden omasta tilasta. Ympäristön ja tarraimen oman aseman tarkkailuun käytetään antureita. Antureiden välittämää tietoa käytetään tarrainten ohjaamiseen. Ne jaotellaan tarraimen sisäistä ja

ulkoista tilaa mittaaviin antureihin. Tarraimen sisäistä tilaa mittaavat anturit voivat mitata esimerkiksi sormien avauskulmaa tai nopeutta. Ulkoista tilaa mittaavilla antureilla puolestaan saadaan tietoa esimerkiksi työkappaleen asemasta tai ympäristöstä. Anturit valitaan tarraimen käytön, ympäristövaatimusten sekä ohjausjärjestelmän mukaan, mutta myös käsiteltävän työkappaleen materiaali voi vaikuttaa anturivalintoihin. Kuten aina suunnittelussa, myös antureiden valinnassa on käytettävä järjestelmällistä lähestymistapaa. Turhaa anturointia tulee välttää. Yhdelle anturille voidaan antaa useampia tehtäviä. (Tekninen tiedotus 17/90 s. 38)

2.4.9 Ohjausjärjestelmä

Robotin ohjausjärjestelmällä voidaan ohjata myös tarrainta. Toisaalta tarraimelle voidaan myös rakentaa oma ohjausjärjestelmänsä. Joissain sovelluksissa myös solun keskustietokone voi hoitaa tarraimen ohjaamisen.

Antureilta kerättyä tietoa käytetään tarraimen ja robotin ohjaamiseen. Anturien määrän kasvaessa ohjausjärjestelmältä vaaditaan enemmän. (Kuivanen 1999 s. 72) Ohjausjärjestelmän suunnittelu on iso osa tarraimen suunnittelua. Tämän työn puitteissa ei kuitenkaan ohjausjärjestelmän suunnitteluun riitä aikaa, joten tätä osa-aluetta ei tässä työssä tämän enempää tarkastella.

2.5 Suunnittelu

Tarrainten suunnittelu voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: kehittelyyn ja viimeistelyyn. Kehittelyvaiheen tarkoituksena on kehittää esisuunnittelussa rajattuja vaihtoehtoja ja valita paras yhdistelmä. Kaupallisten komponenttien käyttöä kannattaa suosia, jos se on mahdollista. Tulee myös miettiä, soveltaisiko jokin vakiotarrain pienten muokkauksen jälkeen käyttökohteeseen. Kehittelyvaihe aloitetaan toiminnan suunnittelulla. Viimeistelyvaiheessa puolestaan valitaan tarvittavat komponentit ja mitoitetaan rakenne. Kuten jo edellä mainittiin, suunnittelu on iteratiivinen projekti, joten tarvittaessa tulee palata edellisiin vaiheisiin. Suunnitteluvaiheessa on tärkeää ottaa huomioon ongelmahierarkiassa esitetyt ongelmat. Erittäin tärkeää on ottaa huomioon turvallisuuteen liittyvät näkökohdat. Kappaletta paikallaan pitävän voiman tulee olla riittävä, jotta kappale ei irtoa. Kappaleen tulee pysyä paikallaan myös energiakatkoksen aikana. Tarraimen luotettavuuden ja huollettavuuden tulee olla mahdollisimman hyviä.

Modulaarista rakennetta tulisi suosia. Mahdolliset anturit ja johdot on suojattava riittävän hyvin. (Tekninen tiedotus 17/90 s.41)

2.5.1 Turvallisuus

Suunnittelun alusta lähtien on otettava huomioon turvallisuusnäkökohdat. Turvallisuusnäkökohdissa tulee ottaa huomioon myös laissa määrätyt kohdat sekä standardit. Tavoitteena on edistää laitteen turvallisuutta ja luotettavuutta taloudellisesti. (Kuivanen 1999)

Turvallisuussuunnittelun perusoletuksena on, että koneessa oleva vaara johtaa ennemmin tai myöhemmin vahinkoon, jos suojaustoimenpiteitä ei toteuteta. Suojaustoimenpiteiden toteuttaminen on suunnittelijan ja käyttäjän toimenpiteistä koostuva kokonaisuus. Suunnitteluvaiheessa toteutetut toimenpiteet ovat yleensä tehokkaampia kuin käyttäjän tekemät toimenpiteet. Turvallisuussuunnittelun alussa on otettava mahdollisuuksien mukaan huomioon samankaltaisten koneiden käyttäjien kokemukset. Suunnittelijan on toteutettava seuraavat seikat järjestyksessä:

- määriteltävä koneen raja-arvot ja tarkoitettu käyttö
- tunnistettava vaarat ja niihin liittyvät vaaratilanteet
- arvioitava riskin suuruus kunkin tunnistetun vaaran ja vaaratilanteen osalta
- arvioitava riskin merkitys ja tehtävä päätökset riskin pienentämisen tarpeista
- poistettava vaara tai pienennettävä vaaraan liittyviä riskejä suojaustoimenpiteiden avulla.

Yllä esitetty prosessi on iteratiivinen ja sen toistaminen useaan kertaan peräkkäin voi auttaa riskin pienentämiseksi parhaalla mahdollisella tavalla. Prosessin toteuttamisessa on kuitenkin huomioitava seuraavat asiat:

- koneen turvallisuus sen kaikkien elinkaaren vaiheiden aikana
- koneen kyky suorittaa toimintansa
- koneen käytettävyys
- koneen valmistus-, käyttö-, ja purkukustannukset.

Suojaustoimenpiteiden käyttö ei saa huonontaa laitteen käytettävyyttä tai estää laitteen tarkoituksen mukaista käyttöä. Jos tämä ei toteudu, seurauksena voi olla suojaustoimenpiteiden ohittaminen hyödyn parantamiseksi. (SFS-EN ISO 12100-1 s.32)

Turvallisuutta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon koko automaatiojärjestelmä, ei pelkkää tarrainta. Itse tarraimen turvallisuutta parannetaan lähinnä muotoilulla ja turvallisesti vikaantuvan toiminnan suunnittelulla. Turvallisesti vikaantuvalla toiminnalla tarkoitetaan muun muassa seuraavaa: kappale pysyy tarraimessa myös energiakatkosten ajan, ja hätä-seis -tilanteessa tai ohjaussignaalin katketessa tarrain säilyttää tartunta- ja avautumistilansa. Oikea mitoitus on tärkeä osa luotettavuutta ja turvallisuutta. Hätä-seis -tilanteessa tarraimen on kestävä äkillisestä pysähtymisestä johtuvat dynaamiset kuormat. Vaatimusmäärittely on tehtävä riittävän hyvin ja varmistettava, että kaikki toimintaan vaikuttavat tekijät on huomattu ja määritelty oikein. Myös seuraavat asiat on huomioitava:

- komponenttien toimintavarmuus, määrä ja rakenne
- sisäiset häiriöt esim. tiedonsiirtohäiriöt
- ulkoiset häiriöt esim. poikkeavat olosuhteet

(Tekninen tiedotus 17/90 1990 s. 44)

2.5.2 Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa on muistettava vaatimuslistassa esitetyt vaatimukset ja toivomukset. Tarraimen tulee olla kevyt, joten materiaalivalinnassa tulee suosia kevyitä materiaaleja. Kannattaa miettiä, voisiko rakennetta keventää esimerkiksi rei'illä. Myös riittävä jäykkyys ja puristusvoima epävarmoissakin tilanteissa tulee tarkistaa, eikä huolto- ja turvallisuusnäkökohtia saa unohtaa. Hyvä tarrain on luotettava ja kulutusta kestävä. Modulaarisen rakenteen suosiminen helpottaa huoltotöitä. Robotin tarkastakaan toistotarkkuudesta ei ole hyötyä, jos tarrain ei ole tukeva ja välyksetön. Kokoonpantavuus, huollettavuus, valmistettavuus sekä kustannukset tulee ottaa huomioon yksityiskohtia suunniteltaessa. Tässä voidaan käyttää apuna valmistustekniikan asiantuntijoita. Jos mahdollista, yksityiskohtia tulee testata aikaisessa vaiheessa toimintaa ja käyttöympäristöä vastaavissa tilanteissa. (Kuivanen 1999 s.71, 72)

3 TEHTÄVÄNMÄÄRITTELY, LUONNOSTELU JA KEHITTELY

Suunnittelu aloitetaan aina tehtävämäärittelyllä. Jokaisella konstruktioehtävällä on aina omat reunaehdonsa, joiden on oltava tarkasti suunnittelijan tiedossa, jotta optimaalinen ratkaisu käyttökohteeseen on saavutettavissa. Reunaehdot tulee selvittää mahdollisimman laajasti ja täydellisesti, jotta suunnittelu sujuu helposti. Vaatimuslistan luominen on välttämätöntä ongelman ymmärtämisen kannalta. (Pahl, Beitz 1990 s.62, 63)

3.1 Vaatimuslistan laatiminen

Tämän työn vaatimuslista luotiin yhdessä diplomi-insinööri Ville Ryytäsen kanssa. Apuna vaatimuslistan luomisessa käytettiin edellä mainittua ongelmahierarkiaa, joka on esitetty liitteessä B, sekä kappale- ja prosessianalyysia. Turvallisuusnäkökohdat otettiin myös huomioon vaatimuslistaa laadittaessa. Lisäksi vaatimuslistaan lisättiin yleisiä koneensuunnittelussa huomioon otettavia asioita. Vaatimuslista on esitetty liitteessä A.

Robotin toimintaympäristöstä, varastolevyistä ja roottorista tehtyjen 3D – mallien pohjalta tehtiin prosessi- ja kappaleanalyysi. Kuvista kävi ilmi toimintaympäristön lisäksi prosessiin liittyviä asioita. Näitä kuvia ei kuitenkaan tähän työhön voitu liittää salassapitovelvollisuuden takia. Työkappaleet on aseteltu varastolevyille tiettyihin paikkoihin ja tiettyyn asentoon, mikä on huomioitu prosessianalyysissa ja sitä kautta tarraimen vaatimuksissa. Myös kehikko tuottaa tarraimelle muun muassa kokoon liittyviä vaatimuksia. Magneettien kiinnittäminen tapahtuu normaalissa teollisuusympäristössä.

3.2 Abstrahointi

Yleensä suunnitteluprosessissa suunnittelija tai suunnittelijat kehittävät jo vaatimuslistaa luodessaan mahdollisia ratkaisuja omiin kokemuksiinsa perustuen. Tällöin voi alitajuisesti syntyä ajatuksia tiettyjen ratkaisujen toteuttamiseksi. Optimaalista konstruktioita suunniteltaessa ei kuitenkaan saisi jämähtää vanhoihin tottumuksiin. Tulisi miettiä olisiko mahdollista käyttää uudenlaista ja tarkoituksenmukaisempaa lähestymistä kyseiseen ongelmaan. Abstrahoinnilla

päästään eroon ennakkokäsityksistä ja tavanomaisista mielikuvista. (Pahl, Beitz 1990 s. 73)

Abstrahoinnissa ongelma pyritään esittämään mahdollisimman yleisellä tasolla oleellisia asioita korostaen. Tällä tavalla saadaan tehtävästä esille pääkohdat. Oikein muotoilemalla samalla tulee tunnistetuksi kokonaistoiminto ja ongelmaa luonnehtivat oleelliset edellytykset rajoittamatta ratkaisuvaihtoehtoja. (Pahl, Beitz 1990 s. 73)

Abstrahoinnin pohjana on laitteelle laadittu vaatimuslista. Vaatimuslistasta tulee aluksi analysoida toiminnot ja reunaehdot, jotta tehtävän pääkohdat saadaan selville. Abstrahointi suoritetaan viidessä askeleessa seuraavasti:

1. askel: Toivomukset jätetään pois
2. askel: Vaatimukset jotka eivät oleellisesti koske toimintaa jätetään pois
3. askel: Määrälliset toteamukset muutetaan laadullisiksi ja supistetaan oleellisiksi lausunnoiksi
4. askel: Laajennetaan mielekkäästi tähän asti tunnettua
5. askel: Muotoillaan ongelman ratkaisuun nähden neutraaliksi

Tehtävän laajuudesta riippuen joitakin askeleita voidaan jättää pois. (Pahl, Beitz 1990 s. 74)

Seuraavassa on esitelty tässä työssä tehty abstrahointi. Ensimmäisessä vaiheessa toivomukset jätettiin pois. Toisessa vaiheessa valmistukseen ja turvallisuuteen liittyvät vaatimukset jätettiin pois. Tämän lisäksi pois jätettiin robotin liikeparametrit ja magneetteihin kohdistuvien iskujen sekä tartuntapinnan vaatimukset. Kolmannessa vaiheessa kaikki määrälliset vaatimukset muutettiin laadullisiksi. Alla on esitetty abstrahointi kolmannen vaiheen jälkeen:

- käyttökohteeseen ehtojen mukaisesti mahdollisimman pieni ja kevyt tarrain
- tarraimen tulee olla kiinnitettävissä robottiin
- mahdollistaa magneettien tarkan paikoituksen sekä magneettien riittävän kiinnityksen

Neljäs askel jätetään tässä tarkastelematta, koska kolmannen askeleen jälkeen ongelmaa on saatu yksinkertaistettua tarpeeksi. Viidennen askeleen jälkeen koko

abstrahoinnin tulokseksi saatiin yksinkertaistettu muoto ongelmasta: suunniteltava robotin päähän kiinnitettävä tarrain, joka mahdollistaa kestopagneettien noudon, kuljetuksen ja kiinnityksen roottoriin turvallisesti.

3.3 Toimintorakenteen laatiminen

Laitteelle asetetut vaatimukset määräävät toiminnon eli systeemin tulon ja lähdön välisen riippuvuuden. Edellä mainitulla abstrahoinnilla saavutettu ongelman muotoilu sisältää myös toiminnallisen riippuvuuden eli kokonaistoiminnon. Toimintorakenteessa kokonaistoiminto jaetaan päätoimintoihin. Päätoiminnot voidaan edelleen jakaa osatoimintoihin. Tämä helpottaa ideoiden luomista. (Pahl, Beitz 1990 s.81, 93)

Yllä olevien periaatteiden mukaisesti tämän työn sovelluskohteelle luotiin toimintorakenne, jossa päätoiminto jaettiin kokonaistoimintoihin. Kokonaistoiminnot jaettiin edelleen osatoimintoihin. Toimintorakenne on esitetty liitteessä C.

3.3.1 Osatoimintojen kuvaus

Magneettien tunnistaminen

Roottorin toiminnan kannalta on tärkeää asetella N-napaiset ja S-napaiset magneetit oikealla tavalla roottoriin. Tästä syystä magneetit tulisi kyetä tunnistamaan. Lisäksi tarraimen on kyettävä tunnistamaan magneetti sitä noudettaessa.

Paikoitus

Prosessianalyysia tehtäessä selvisi, että magneetit on aseteltu varastolevyille ennalta määrätyille paikoille. Tarrain on pystyttävä paikoittamaan magneetteihin riittäväällä tarkkuudella, jotta tartunta sekä magneetin orientaatio tarraimessa olisivat aina samanlaiset. Mikäli tartunta tai kappaleen orientaatio vaihtelee liikaa, magneettien asettaminen roottorissa olevaan kehikkoon vaikeutuu tai muuttuu mahdottomaksi. Tarrain on myös paikoitettava tietyille kohdalle roottoria magneettien kiinnitysvaiheessa.

Asettuu tukevasti ja tarkasti vaaditulle paikalle

Paikoituksen jälkeen tarraimen tulee asettua magneetin suhteen oikealle paikalle tartunnan ja kiinnityksen onnistumisen takaamiseksi. Etenkin magneetin kiinnitysvaiheessa tämä on erittäin tärkeää, koska roottoriin aikaisemmin asennetut magneetit hylkivät tai vetävät puoleensa asennettavaa magneettia.

Riittävä tartunta

Käsiteltävä magneetti aiheuttaa suuren magneettisen vetovoiman, joten tartunnan on oltava riittävä, jotta magneetti ei irtoa tarraimesta. Tartuntavoimat tulee tarkistaa laskemalla.

Tartuntapinta

Onnistuneen tartunnan edellytyksenä on oikein valittu tartuntapinta. Tartuntapinnan valinnassa tulee käyttää aikaisemmin työssä mainittuja periaatteita.

Liimaus

Magneettien pohjaan on tarkoitus laittaa liimaa, joka varmistaa magneettien kiinnittymisen roottoriin. Liimaus on tarkoitus toteuttaa joko tarraimen liitettävällä liimaussysteemillä tai erillisellä liimauspisteellä.

Kiinnipito

Kuljetuksen aikana on varmistettava kappaleen kiinnipysyminen tarraimessa. Magneetin irtoaminen tarraimesta aiheuttaa suuren turvallisuusriskin lisäksi työprosessin katkeamisen. Robotin liikeparametreja ei tarvitse huomioida, koska magneetin massa on pieni.

Kiinnittää magneetin paikalleen

Työkappaleet upotetaan roottorissa olevaan kehikkoon. Magneettiin ei saa kohdistua iskuja, joten magneetit on asetettava kehikon pohjalle.

3.4 Vaikutusperiaatteiden haku ja arviointi

Seuraava vaihe järjestelmällisessä koneensuunnittelussa on vaikutusperiaatteiden haku osatoimintojen ratkaisemiseksi. Vaikutusperiaatteita voidaan hakea monista eri lähteistä, joita ovat kirjallisuustutkimukset, luonnon järjestelmien analyysit, tunnettujen teknisten systeemien analyysit, analogiatarkastelut sekä mittaukset ja mallikokeet. Yleensä näiden lisäksi joudutaan käyttämään niin sanottuja intuitiivisia menetelmiä, jotka perustuvat ryhmän tai yksittäisen henkilön oivalluksiin. Myös diskursiivisia menetelmiä voidaan käyttää. Diskursiivisissa menetelmissä ratkaisuja etsitään etenemällä pieniä askelia kerrallaan. Vaikutusperiaatteiden haun jälkeen suunnittelijalla tai suunnitteluryhmällä tulisi olla laadittuna ideamatriisi. Ideamatriisissa on esitettyä osatoiminnoille kehitetyt ratkaisut. Matriisista on tämän jälkeen helppoa koota kokonaisratkaisuja ongelman ratkaisemiseksi. (Pahl, Beitz 1990 s. 99 - 128)

Työn sovelluskohteen vaikutusperiaatteita on haettu kirjallisuudesta, markkinoilla olevista tarrainkonstruktioista sekä intuitiivisesti. Ideoinnissa ei otettu kantaa siihen, olivatko ideat mielekkäitä. Tarkoituksen oli keksiä mahdollisimman paljon ratkaisuvaihtoehtoja, joita voitaisiin myöhemmin karsia. Ideoinnin ja vaikutusperiaatteiden haun jälkeen ideat koottiin ideamatriisiin, joka on esitettyä liitteessä D.

Tartunta ja tartuntapinta

Tartuntaa ja tartuntapintaa ideoitaessa jätettiin suoraan pois käyttökohteeseen vaikeasti sovellettavat ratkaisut, kuten pintajännitykseen perustuvat tartunnat. Tarkasteltaviksi tartunnoiksi esikarsimisen jälkeen valittiin mekaaniset tartunnat sekä vetovoimaan perustuvat tartunnat. Seuraavassa pohditaan tarkemmin edellä mainittujen tartuntojen sopivuutta kohteeseen.

Magneettien muoto ja kehikon rakenne rajoittavat mahdollisuuksia tartuntapintoja valittaessa. Koska magneetit upotetaan kehikkoon, eikä magneeteissa ole uria, muotosulkeiset tartunnat eivät tule kysymykseen. Magneetit asetellaan kehikkoon kahden millimetrin välein, joten tarttuminen magneettien tasaisiin sivuihin ei ole mahdollista tilan puutteesta johtuen. Toisaalta kehikon rakenne rajoittaa myös mahdollisten mekanismien käyttöä. Tästä johtuen mekaaniset tartunnat rajoittuvat

kitkasulkeiseen tartuntaan magneettien kaarevilta sivuilta. Koska käsiteltävä kappale on magneetti, voi olla järkevää käyttää magneettiseen vetovoimaan perustuvaa tartuntaa. Toisaalta magneettiseen vetovoimaan perustuva tartunta vaatii lisäksi muun kiinnityksen, jotta magneetit eivät irtoa tarraimesta, kun tarrain lähestyy roottoria. Alipainetartunnan ongelmana puolestaan on magneetin yläpinnan pinta-ala. Jotta pieneen pinta-alaan saataisiin suuri voima, tarvittaisiin suuri alipaine. Tartunta voitaisiin suorittaa myös edellä mainittujen tartuntojen yhdistelmällä. Toisaalta useaa eri tartuntaa käytettäessä tarraimen rakenne voi monimutkaistua liikaa. Taulukossa 1 on arvioitu eri tartuntojen sopivuutta käyttökohteeseen.

Taulukko 1. Tartuntojen arviointi

	Tartuntavoima	Varmuus	Tarraimen rakenne	Käyttökohteeseen sopivuus
Magneettinen	Ei riitä yksinään	Vaikea arvioida, koska vetovoima riippuu magneettisen aineen määrästä	Monimutkainen, koska tarvitaan kaksi tartuntaa	Helposti sovellettava, työkappale magneetti
Muotosulkeinen	Helppo saavuttaa riittävä tartunta	Erittäin varma	Yksinkertainen	Erittäin vaikea soveltaa johtuen kehikosta
Kitkasulkeinen	Tarvittava voima riippuu kitkakertoimesta	Epävarma, riippuu kitkasta	Saattaa tarvita mekanismin, jolloin rakenne hieman monimutkaistuu	Helposti sovellettava, ei niin turvallinen kuin muotosulkeinen
Alipaine	Vaikea tuottaa, koska magneetin pinta-ala on pieni	Magneetin pinta on epätasainen, imukupit eivät välttämättä kiinnity oikein	Yksinkertainen, ei tarvitse kuin rungon, imukupit ja paineilmaletkut	Vaikea soveltaa, vaatii suuren alipaineen
Yhdistelmä	Saavutetaan helposti riittävä voima	Erittäin varma, jos yksi pettää jää silti toinen tartunta	Monimutkainen, vaatii useita mekanismeja tai toimilaitteita	Soveltuu hyvin käyttökohteeseen, jos tartunnat valitaan oikein
Painovoiman hyödyntäminen	Vaikea saavuttaa tarvittava voima	Huono	Yksinkertainen, runko ja mekanismi	Helposti sovellettava, ei niin turvallinen

Mekanismi

Kuten edellä jo mainittiin, magneettien sijoittelu roottoriin rajoittaa mahdollisten mekanismien käyttöä. Tarraimen sormien liikkeen tulisi olla mahdollisimman pieni, jotta tarrain mahtuu toimimaan magneettien välissä. Tästä yksinkertaisesta syystä johtuen voidaan rajata pois mekanismit, jotka aiheuttavat kaarevan liikkeen. Kuvista käy ilmi mekanismien toimintaperiaatteet. Taulukossa 2 on puolestaan esitettyinä eri mekanismien vertailua.

Taulukko 2. Mekanismien vertailua

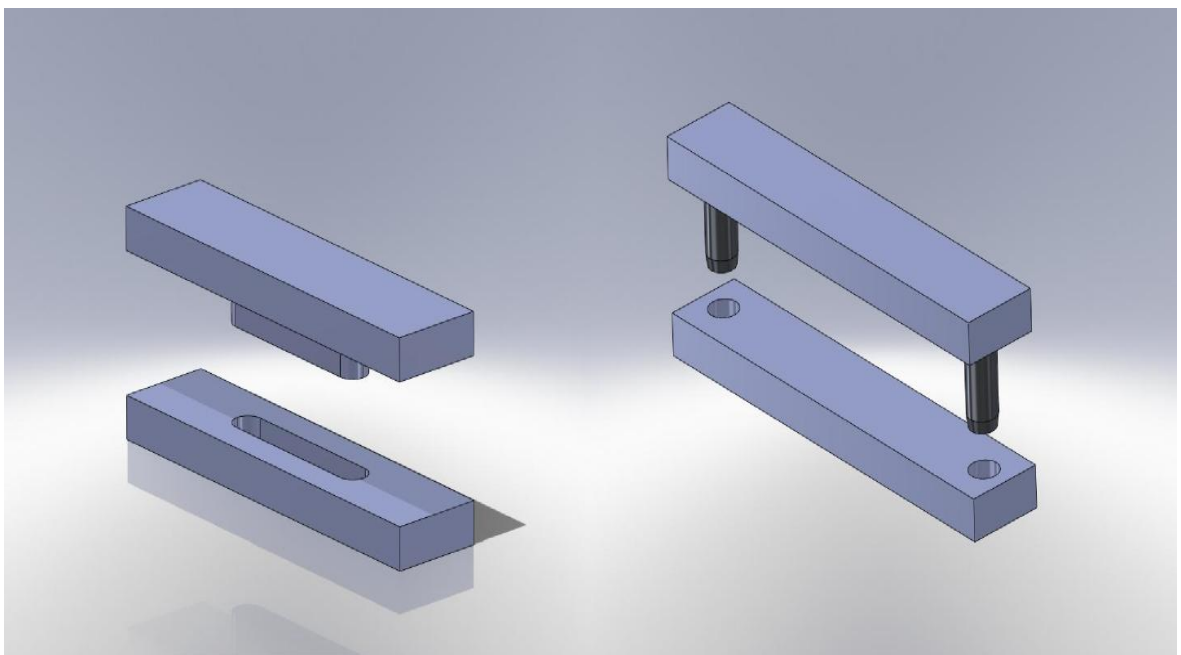
	Voima	Yksinkertaisuus	Kestävyys
Ruuvijohde	Voiman tuotto helppoa	Erittäin yksinkertainen	Pitkä kestoikä
Epäkesko	Riippuu kitkasta, luultavasti riittävän voiman aikaansaaminen mahdollista	Vaatii epäkeskon, seuraajan ja vivun.	Epäkeskon ja seuraajan kuluminen suurta
Nivelmekanismi	Voiman tuotto helppoa	Vaatii nivelet ja vivut.	Nivelten kuluminen
Hammaspyörä-hammastanko	Voiman tuotto helppoa	Melko yksinkertainen	Pitkä kestoikä
Kartio-rullaseuraaja	Huono välityssuhde	Vaatii kartion ja seuraajan	Kuluminen saattaa olla ongelma
Ei mekanisme	Ei välityssuhdetta, vaatii voimakkaan toimilaitteen	Yksinkertaisin	Erittäin pitkä kestoikä, mikäli toimilaitteelta ei vaadita liikaa

Tunnistus

Kätevin tapa tunnistaa magneetteja on Hall-anturi. Magneettien tunnistamisen lisäksi tarvitaan läheisyysanturi, joka tunnistaa, milloin tarrain koskettaa roottoria ja varastolevyä. Roottorin ja varastolevyn tunnistamiseen voidaan käyttää induktiivista, kapasitiivista tai optista anturia.

Paikoitus

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, magneetit on aseteltu ennalta määrättyllä tavalla varastolevyille. Paikoitukseen järkevin ratkaisuvaihtoehto on tappi – reikä -systeemi. Tappi – reikä -systeemi paikoittaa ja lukitsee tarraimen varmasti oikeaan kohtaan. Kuvassa 6 ovat nähtävillä luonnokset paikoitusratkaisuista. Taulukossa 3 on esitetty eri paikoitusratkaisujen vertailua.



Kuva 6. Luonnokset paikoitusratkaisuista

Taulukko 3. Paikoitusratkaisujen vertailua

	Tappi-reikä	Kiila-ura	Anturit
Varmuus	Erittäin varma, korjaa myös mahdolliset pienet paikoitusvirheet	Erittäin varma, korjaa myös mahdolliset pienet paikoitusvirheet	Varma, paikoitus riippuu antureiden tarkkuudesta, ei kiinnitä tarrainta
Yksinkertaisuus	Erittäin yksinkertainen	Erittäin yksinkertainen	Vaatii monimutkaisen anturoinnin ja ohjausjärjestelmän. Esiasetusten määrittäminen vaikeaa.
Kiinnittää tarraimen roottoriin/varastolevyyn	Kyllä	Kyllä	Ei
Valmistus	Erittäin helppo	Kehikossa vähän tilaa, vaikeuttaa valmistusta	Antureiden asentaminen haastavaa, johtojen vetäminen

Toimilaite

Erilaisten mekanismien voimanlähteiksi soveltuvat pneumaattiset sylinterit sekä pneumaattiset lihakset, sähkömoottorit ja lineaarimoottorit. Pneumaattiset toimilaitteet ovat yleisimpiä käytössä olevia voimanlähteitä. Pneumatiikan käytön hyviä puolia ovat komponenttien edullisuus, helppo asennettavuus ja vähäinen huollon tarve. Pneumatiikkasyntereitä pidetään yleisesti epätarkkoina. Nykyisin on kuitenkin olemassa niin sanottuja älykkäitä syntereitä, joilla päästään jopa sadasosamillimetrin tarkkuuteen. Pneumatiikkasynterit soveltuvat kuitenkin parhaiten nopeiden auki-kiinni -liikkeiden toteuttamiseen. Toisaalta pneumaattisilla lihaksilla voidaan saavuttaa jopa 10-kertainen voima samankokoiseen sylinteriin verrattuna. Lisäksi lihakset ovat kitkattomia ja keveitä. Kitkattomuuden ansiosta lihaksia on helppoa liikuttaa hitaasti ja pehmeästi. Pneumaattisten lihasten paikoitustarkkuus on myös hyvä. Pneumaattiset lihakset kestävät erittäin hyvin epäpuhtauksia. (Handroos, luentomoniste)

Sähkömoottoreilla päästään kohtuullisiin vääntömomenteihin ja niiden säätöominaisuudet ovat hyvät. Tarkkapaikoitus onnistuu sähkömoottoreilla helposti ja myös pyörimisnopeutta voidaan helposti säätää. Sähkömoottorit ovat suhteellisen pienikokoisia, kestäviä ja luotettavia. Toisaalta sähkömoottorit ovat kuitenkin arkoja termisille kuormituksille. Askelmoottoreiden liikkeenohjaus on tarkka ilman takaisinkytkentää, tosin askelmoottoreilla ei saada tuotettua suuria vääntömomenteja. Servomoottorit puolestaan ovat melko kalliita, mutta niillä päästään askelmoottoreita tarkempaan ohjattavuuteen. Lisäksi niiden suunnittelu, käyttöönotto, viritys ja ylläpito vaativat erityisosaamista. (Airila 1993 I.5 s. 2) Alla olevassa taulukossa 4 on esitettyä pneumaatiikan ja sähkökäyttöjen vertailua.

Taulukko 4. Pneumaatiikan ja sähkökäyttöjen vertailua.

	Pneumaatiikka	Sähkökäyttö
Energialähde	Robotissa valmiina pneumaattikajärjestelmä	Johdot vedettävä erikseen
Ohjaus, säädettävyys	Käyttökohteeseen riittävä säädettävyys	Käyttökohteeseen riittävä säädettävyys
Huollon tarve	Vähäinen; voitelulaitteen ja veden erottimen tarkastukset	Vähäinen; mahdollisten harjojen vaihto
Käyttökustannukset	Alhaiset; paineilmaverkko valmiina, kulutus pientä	Pienet, koska hyvä hyötysuhde
Voimantuotto	Käyttökohteeseen riittävän voiman tuottaminen helppoa	Käyttökohteeseen riittävän voiman tuottaminen helppoa
Magneettikenttä	Ei ongelmia	Työkappaleen magneettikenttä saattaa häiritä. Moottori saattaa vaikeuttaa magneetin asettumista tarraimen.

Liimaus

Liimauksen toteuttamiseksi on kaksi järkevää vaihtoehtoa. Ensimmäinen on itse tarraimen kiinnitettävä liiman levityslaitteisto ja toinen on erillinen liimauspiste, jossa robotti käyttää magneetin. Tarraimen kiinnitettävän liimauslaitteiston

huonona puolena on tarraimen painon kasvaminen. Ongelmia voi myös syntyä, mikäli liimaa roiskuu tarraimen komponentteihin. Tällöin tarraimen toiminta saattaa häiriintyä. Toisaalta, jos robotti joutuu käyttämään magneetin erillisessä liimauspisteessä, yhden magneetin kiinnittämiseen kuluva aika kasvaa. Taulukossa 5 on esitettyä liimausratkaisujen vertailua.

Taulukko 5. Liimausratkaisujen vertailua

	Liimauslaitteisto integroitu tarraimen	Erillinen liimauspiste
Yksinkertaisuus	Liimauslaitteiston kiinnittäminen tarraimen hankalaa	Vaatii erillisen liimauspisteen
Liimaukseen kuluva aika	Ei pidennä työkiertoon kuluvaan aikaan	Pidentää työkiertoa hieman
Muuta	Saattaa aiheuttaa toimintahäiriöitä tarraimen, liimauslaitteiston lisääminen tarraimen ei saa kohtuuttomasti kasvattaa tarraimen painoa	Liiman lisääminen ja liimauslaitteiston huolto helpompaa

Kerralla asennettävien magneettien lukumäärä

Magneettien kiinnitysprosessia voitaisiin nopeuttaa kiinnittämällä useita magneetteja samanaikaisesti. Usean magneetin yhtäaikainen käsittely vaatii kuitenkin huomattavasti monimutkaisemman tarrainkonstruktion.

Liikkuvien sormien lukumäärä

Normaalisti tarraimissa liikkuvien sormien lukumäärät vaihtelevat yhdestä kolmeen, joitakin poikkeuksiakin on olemassa. Liikkuvien sormien lukumäärän kasvaessa tarraimen rakenne monimutkaistuu. Tämän työn sovelluskohteeseen voidaan käyttää yhtä tai kahta liikkuvaa sormeaa.

Sormien muotoilu / kosketuspisteiden lukumäärä

Työkappaleiden asentaminen onnistuneesti vaatii, että työkappaleiden orientaatio pysyy samana työkierron kaikissa vaiheissa. Työkappaleen oikean orientaation varmistamiseen on kaksi tapaa. Ensimmäisessä tavassa tarrain tarttuu tietyssä asennossa olevaan työkappaleeseen. Tässä tapauksessa tartunnan aikana ja sen jälkeen työkappale ei saa liikkua suhteessa tarraimen. Toinen tapa on muotoilla tarraimen sormet siten, että tartuttaessa sormet kääntävät työkappaleen oikeaan asentoon. (Wagner, Morehouse, Melkote 2009 s. 1)

Työkappaleita käsiteltäessä tartunnan stabiilius on yksi tärkeimmistä huomioitavista asioista. Kappale ei saa asettua väärin työkappaleen painon tai inertian vuoksi. Tämä voidaan varmistaa sormien sopivalla muotoilulla. Tartuntapinnan suuri koko tai pintojen suuri lukumäärä lisäävät tartunnan stabiiliutta ja samalla vähentävät vaadittavaa voimaa. Paras stabiilius saavutetaan tarkasti työkappaleen muotoihin sopivilla sormilla. (Monkman et al. 2007 s. 20)

Kuten jo edellä on mainittu, muotosulkeisen tartunnan käyttö tässä sovelluskohteessa ei ole mahdollista. Jotta voitaisiin taata riittävä tartunta, tulee sormet muotoilla mahdollisimman hyvin magneetin muotoihin sopiviksi.

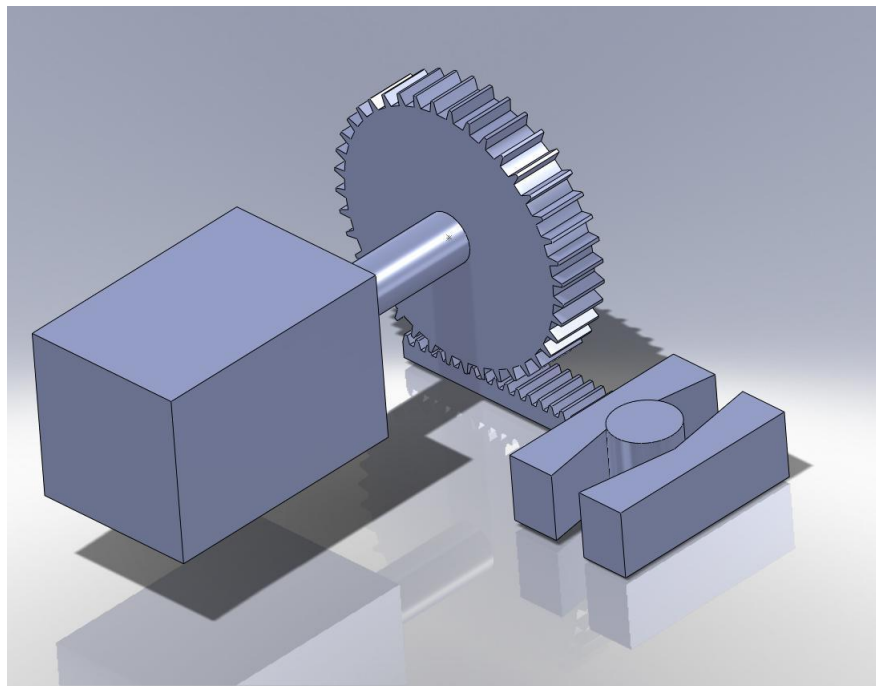
3.5 Ratkaisumuunnelmien luominen

Ideamatriisin pohjalta on helppoa luoda erilaisia ratkaisumuunnelmia kokonaistoiminnon toteuttamiseksi. Yhdistelemisen pääongelmana voidaan pitää ratkaisuvaihtoehtojen yhteensopivuuden tunnistamista. Toisaalta myös teknillisten ja taloudellisten etujen yhteensovittaminen saattaa tuottaa vaikeuksia. Liian kalliit kokonaisratkaisut tulisi pyrkiä karsimaan ajoissa. Kuitenkin on varottava tiputtamasta pois edullisia ja toimivia ratkaisuja. Valitettavasti joidenkin ratkaisujen soveltuvuus tai soveltumattomuus huomataan usein vasta myöhemmin suunnitteluprojektissa. Usein on helpompaa aloittaa hylkäämällä sopimattomat ratkaisut, ja mikäli tämän jälkeenkin ratkaisuja on liikaa, etusijalle on asetettava sellaiset ratkaisut, jotka toimivat toisia paremmin. Vain parhaimmilla näyttäviä ratkaisuja konkretisoidaan ja arvostellaan. (Pahl, Beitz 1990 s.129, 133)

Seuraavassa on esitettyä ideamatriisista kootut neljä ratkaisuvaihtoehtoa. Ratkaisuvaihtoehdoista pyrittiin muodostamaan mahdollisimman erilaiset. Kaikissa ratkaisuvaihtoehdoissa sormet on muotoiltu magneettiin mahdollisimman hyvin sopiviksi.

Vaihtoehto 1

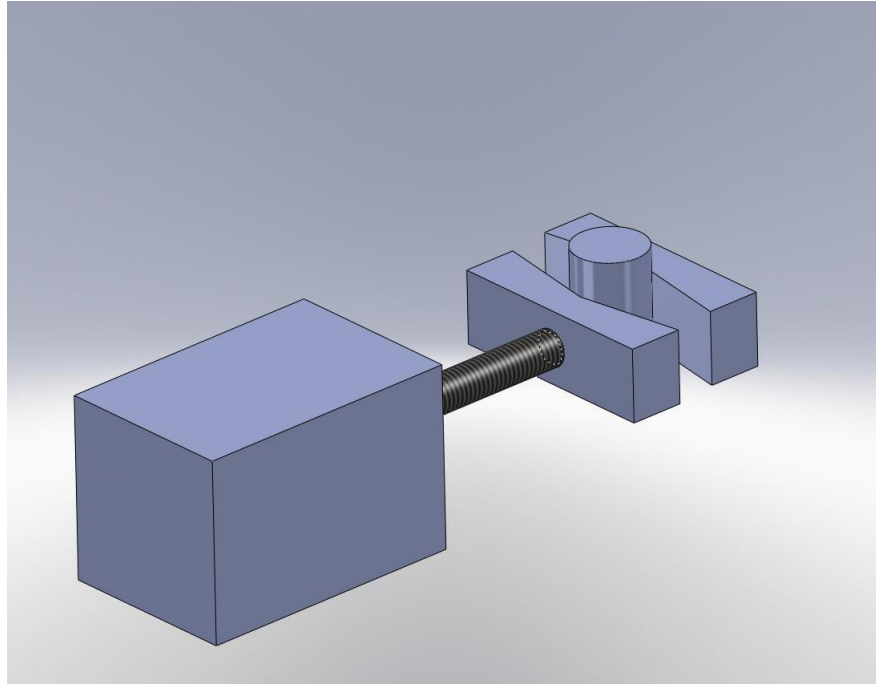
Ensimmäiseksi vaihtoehdoksi valittiin sähkömoottorikäyttöinen tarrain. Sähkömoottorilla käytetään hammaspyörä – hammastanko -mekanismia, joka tuottaa magneetin kiinnittämiseen tarvittavan puristusvoiman. Mekanismin tuottama puristusvoima välitetään magneettiin yhden liikkuvan sormen avulla. Kuvassa 7 on esitettyä luonnos ensimmäisestä ratkaisuvaihtoehdosta.



Kuva 7. Vaihtoehto 1

Vaihtoehto 2

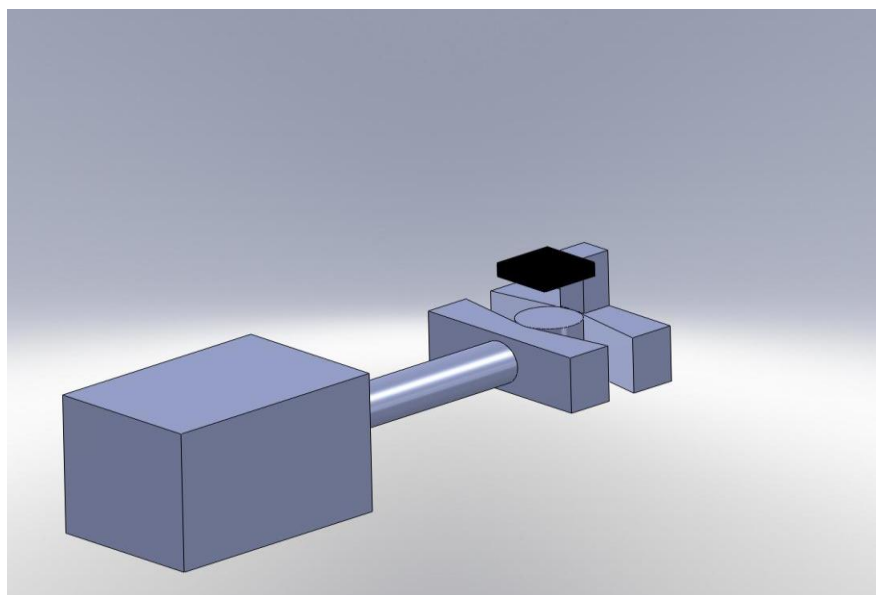
Toiseksi vaihtoehdoksi valittiin myös sähkömoottorikäyttöinen tarrain. Tässä versioissa sähkömoottorilla käytetään kuularuuvia, joka liikuttaa yhtä sormea. Liikkuva sormi puristaa magneetin paikallaan olevaa sormea vasten. Kuvassa 8 on esitettyä luonnos toisesta vaihtoehdosta.



Kuva 8. Vaihtoehto 2

Vaihtoehto 3

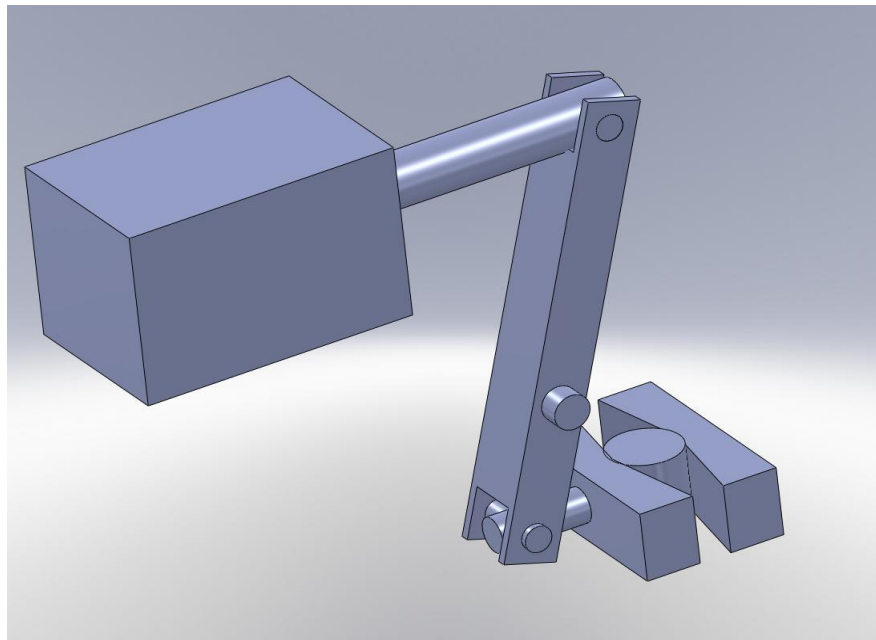
Kolmannessa vaihtoehdossa käytetään kitkasulkeisen tartunnan lisäksi magneettista tartuntaa. Magneettinen tartunta tuotetaan sijoittamalla tarraimen sisälle ferromagneettista ainetta, johon magneetti kiinnittyy. Kitkasulkeiseen tartuntaan tarvittava voima tuotetaan pneumatiikalla. Kuvassa 9 on esitettyinä luonnos kolmannelta vaihtoehdosta.



Kuva 9. Vaihtoehto 3

Vaihtoehto 4

Neljäs vaihtoehto on kitkasulkeiseen tartuntaan perustuva tarrain. Tartuntavoima tuotetaan pneumatiikalla ja nivelmekanismilla. Mekanismi liikuttaa liikkuvaa sormeä, joka puristaa magneetin paikallaan pysyvää sormeä vasten. Kuvassa 10 on esitettyä luonnos neljännestä vaihtoehdosta.



Kuva 10. Vaihtoehto 4

3.6 Kehittely

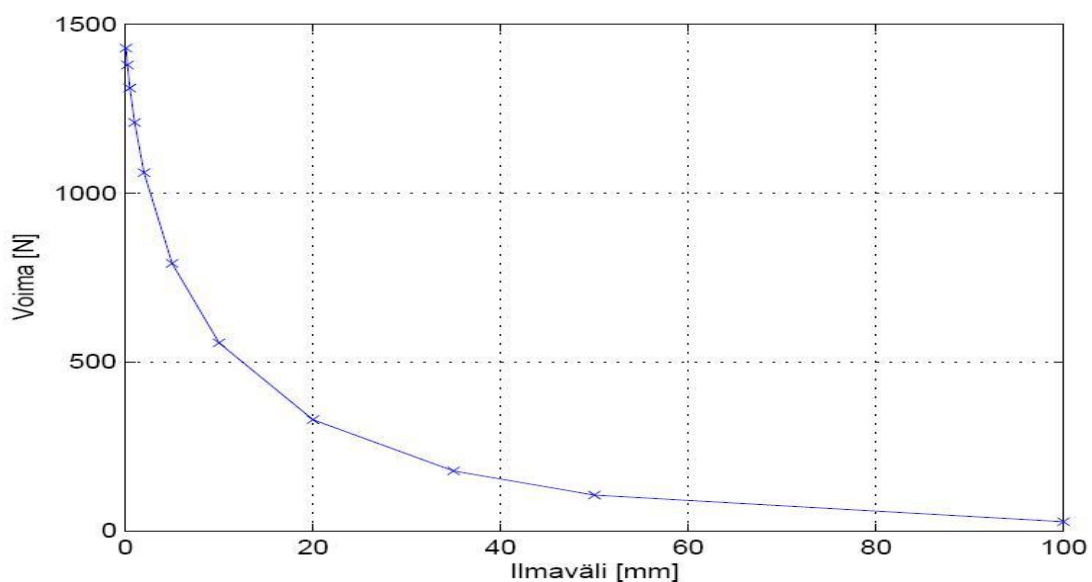
Kehittelyvaiheen tarkoituksena on kehittää suunniteltavan tuotteen rakennetta vaikutusrakenteesta tai periaatteellisesta ratkaisusta lähtien yksikäsitteiseksi ja täydelliseksi ottaen huomioon tekniset ja taloudelliset näkökohdat. Kehittelyvaiheen tulos on tuotteen rakennemuodon varmistuminen. (Pahl, Beitz 1990 s. 176)

Kehittelyvaihe aloitettiin toiminnansuunnittelulla. Toiminnansuunnittelun jälkeen mietittiin alustavasti materiaalivalintaa ja millaisia komponentteja tarrain toimiakseen vaatii. Tämän jälkeen aloitettiin tarraimen rakenteen kehittäminen. Aluksi rakenteen kehittäminen keskittyi osiin, jotka ovat samanlaisia eri ratkaisuvaihtoehdoissa. Tällaisia osia ovat esimerkiksi kynnet sekä tarraimen pohja, jonka tulee olla kehikon kanssa yhteensopiva. Seuraavaksi tarkastettiin laskemalla magneetin kiinnittämiseen vaadittava voima, minkä jälkeen voitiin

alkaa etsimään sopivia komponentteja, kuten sähkömoottoreita ja pneumatiikkasyylintereitä. Turvallisuusnäkökohdat huomioitiin kehittelyn kaikissa vaiheissa. Koska tarraimesta on tarkoitus rakentaa vain yksittäiskappaleita, suunnittelussa ei painotettu standardiosien käyttöä, paitsi sellaisissa kohdissa, joissa niiden käyttö ei aiheuttanut rakenteen monimutkaistumista.

3.6.1 Toiminnansuunnittelu

Toiminnansuunnittelun kannalta määräävin vaatimus tässä tapauksessa on magneetin vetovoima. Magneetin vetovoima on niin suuri, että robotin kantokyky ei riitä käsittelemään magneettia ferromagneettisten aineiden läheisyydessä. Tästä johtuen tarraimen on vedettävä magneetti tarraimen sisään riittävän kauas roottorista ja varastolevystä. Kun magneetti on riittävän kaukana ferromagneettisista aineista, voidaan sitä liikuttaa robotilla. Oleellisena osana toiminnansuunnittelua on myös magneettien tunnistaminen. Magneetit tulee tunnistaa kahdesta syystä: magneetit on asetettava tiettyyn kohtaan roottoria ja tarraimen on myös tiedettävä, milloin magneetti on tarraimen kynsien välissä. Tarraimen on myös tunnistettava, milloin se on kiinnittyneenä varastolevyyn ja roottoriin. Kuvassa 11 on esitettyä asennettavan magneetin ja roottorin välinen vetovoima ilmavälin funktiona.



Kuva 11. Asennettavan magneetin ja roottorin välinen vetovoima ilmavälin funktiona (Ruuskanen V. 2009)

3.6.2 Materiaalit

Runko

Suuresta magneettisesta vetovoimasta johtuen tarrain tulisi rakentaa ei-ferromagneettisista materiaaleista. Tästä johtuen tarraimen runkorakenteen materiaaliksi soveltuu käytännössä vain alumiini ja austeniittinen ruostumaton teräs. Mikäli ferromagneettisia materiaaleja joudutaan käyttämään, niitä voidaan käyttää ainoastaan osissa, jotka ovat riittävän kaukana magneetista.

Kynnet

Koska tarraimessa käytetään kitkasulkeista tartuntaa, kynsien materiaalin valinnalla voidaan vaikuttaa huomattavasti tarvittavaan puristusvoimaan. Taulukossa 6 on esitettyä eri materiaalien välisiä kitkakertoimia. Olisi hyvä varmistaa magneetin ja eri materiaalien väliset kitkakertoimet kokeellisesti, mutta kandidaatintyön puitteissa tämä ei ollut mahdollista. Voidaan kuitenkin olettaa, että taulukossa olevia arvoja voidaan käyttää, koska magneetin materiaali on lähellä terästä. Puristusvoima lasketaan varmuuden vuoksi käyttäen kitkakertoimia 0,3 ja 0,5. Puristusvoiman laskenta on esitettyä liitteessä F.

Taulukko 6. Eri materiaalien välisiä kitkakertoimia (Tekninen tiedotus 17/90 s. 25)

Sormimateriaali	Kitkakerroin: Teräs	Kitkakerroin: Alumiini
Teräs	0,28	0,32
Ristikkourakumi	0,53	0,78
Vohvelikumi	0,48	0,87
Nystykumi	0,52	0,76

3.6.3 Anturit

Tarrain tarvitsee antureita tunnistaaakseen magneetit ja kosketuksen roottoriin sekä varastolevyyn. Magneettien tunnistamiseen käytetään yleensä Hall-antureita. Roottorin ja varastolevyn tunnistamiseen voidaan käyttää esimerkiksi induktiivista läheisyysanturia. Anturointi tulee ottaa huomioon tarraimen runkorakennetta suunniteltaessa.

3.6.4 Vaihtoehto 1

Ensimmäisen vaihtoehdon kehittäminen aloitettiin valitsemalla sopiva sähkömoottori. Tärkein moottorin valintaa ohjaava vaatimus oli vääntömomentin suhde kokoon. Moottorin valintaan liitettiin myös sopivan kokoisen hammaspyörän valinta, koska nämä kaksi yhdessä vaikuttavat aikaansaatavan puristusvoiman suuruuteen. Tämän jälkeen tarraimen runkoa alettiin kehittää moottorille ja mekanismille sopivaksi. Rungon kehittämisen tärkein vaatimus oli keveys. Lisäksi rungosta pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman yksinkertainen. Tässä vaihtoehdossa magneetin veto tarraimen sisälle toteutetaan karamoottorilla.

3.6.5 Vaihtoehto 2

Toisen vaihtoehdon kehittäminen aloitettiin ensimmäisen tapaan moottorin valinnalla. Valinnassa keskityttiin samoihin vaatimuksiin kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa. Tässä vaihtoehdossa moottori ja kuularuuvi yhdessä tuottavat tarvittavan puristusvoiman, joten kuularuuvin valinta liittyi tiiviisti moottorin valintaan. Tässäkin tapauksessa magneetin veto tarraimen sisälle toteutetaan karamoottorilla.

3.6.6 Vaihtoehto 3

Myös kolmannen vaihtoehdon kehittäminen aloitettiin toimilaitteen valinnalla. Tässä vaihtoehdossa pneumatiikkasyylinteriltä vaadittava voima oli vaikea määrittää, koska tarraimen sisälle asetettavan ferromagneettisen aineen ja magneetin välisen vetovoiman määrittäminen on hankalaa, koska vetovoimalle ei saatu laskettua analyttistä tulosta. Tästä johtuen oletettiin että vetovoima olisi noin 0,5 kN. Kolmannessa vaihtoehdossa magneetin veto tarraimen sisälle toteutetaan paineilmasylinterillä.

3.6.7 Vaihtoehto 4

Edellisten tapaan tämänkin vaihtoehdon kehittäminen aloitettiin toimilaitteen valinnalla. Jo toimilaitetta valittaessa huomattiin, että riittävä puristusvoima saadaan aikaan ilman mekanisme. Tässä vaihtoehdossa magneetin sisään vetäminen toteutetaan jousilla ja ulos työntäminen paineilmapalkeella.

3.6.8 Modulaarisuus

Ratkaisuvaihtoehtoja kehitettäessä huomattiin tiettyjen tarraimelle asetettujen vaatimusten ohjaavan eri ratkaisumuunnelmia samaan suuntaan. Tärkeimmät näistä vaatimuksista olivat robotin kantokyky, kehikon rakenne sekä magneetin aiheuttaman vetovoiman suuruus. Näistä vaatimuksista johtuen ratkaisuvaihtoehtojen väliset erot rajoittuvat lähinnä toimilaitteen valintaan. Tästä johtuen olisi järkevää kehittää tarraimesta ainakin tietyssä määrin modulaarista. Oikein suunniteltuun runkorakenteeseen olisi mahdollista asentaa mikä tahansa toimilaite. Lisäksi tämä voisi mahdollistaa tarraimen soveltuvuuden myös erikokoisille tai -muotoisille magneeteille, esimerkiksi tarraimen pohjan ja kynsien vaihdon jälkeen. Rakenteen modulaarisuus parantaisi myös tarraimen huollettavuutta.

3.7 Muutokset kehikon rakenteeseen

Kehittelyvaiheessa huomattiin, että kehikkoa tulee hieman muuttaa. Kehikkoon on porattava reikiä, jotta jo asennettujen magneettien ja juuri asennettavan magneetin välille syntyvät voimat eivät siirrä tarrainta pois paikaltaan. Samanlaiset reiät tulee porata myös varastolevyyn, jolloin varmistetaan magneettien tarkka paikoitus myös tartunnan yhteydessä. Muutokset kehikkoon on nähtävissä kuvassa 9. Myös ruuvit, jotka kiinnittävät kehikot roottoriin, on vaihdettava, koska nykyiset estävät tarraimen pääsyn kiinni kehikkoon. Näitä muutoksia ehdotetaan, koska kehikkoon on huomattavasti helpompaa ja edullisempaa tehdä nämä pienet muutokset, kuin yrittää ottaa nämä asiat huomioon tarrainkonstruktiossa. Salassapitosyistä kehikon rakennetta ei voida tässä työssä näyttää.

3.8 Ratkaisuvaihtoehtojen vertailua

Kehittelyvaiheen jälkeen järjestelmällisen koneensuunnittelun seuraava vaihe on ratkaisuvaihtoehtojen vertailu. Järkevin tapa arvostella eri ratkaisuvaihtoehtoja on pistearviointi. Pistearvioinnin tarkoituksena on varmistaa, että arviointi tulee tehtyä objektiivisesti. Pistearviointi täytyy suunnitella huolellisesti, jotta kaikki tarpeelliset ominaisuudet tulevat arvioiduksi. (Pahl, Beitz 1990 s. 140)

Pistearviointin ensimmäisessä vaiheessa tulee selvittää asetetut tavoitteet. Näistä tavoitteista muodostuu arviointikriteerit, joita käytetään kaikkien vaihtoehtojen arviointiin. Arviointikriteerien tulee pohjautua tuotteen teknisiin tehtäviin ja tuotteelle esitettyihin vaatimuksiin. Mahdollisuuksien mukaan kaikki kriteerit tulisi arvostella kvantitatiivisesti, mutta mikäli tämä ei ole mahdollista voidaan käyttää sanallista arviointia. Arviointikriteerit voivat myös olla keskenään eriarvoisia, jolloin niitä tulee painottaa itse arviointia tehdessä esimerkiksi painokertoimilla. Pistearviointista kannattaa muodostaa taulukko, josta käyvät ilmi arviointikriteerit, painotuskertoimet ja ratkaisuvaihtoehtojen saamat pisteet. Näin suoritettua pistearviointia jälkeen saadaan selville käyttökohteeseen sopivin ratkaisuvaihtoehto. Lisäksi pistearviointilla voidaan saada selville vaihtoehtojen huonoja puolia. (Pahl, Beitz 1990 s.140, 141)

3.8.1 Toimilaitteiden vertailua

Kehittelyvaiheessa toimilaitteita valittaessa huomattiin, että tarvittavan voiman tuottavat pneumaattiset toimilaitteet ovat huomattavasti kevyempiä ja pienempiä kuin vastaavan voimat tuottavat sähköiset toimilaitteet. Lisäksi sähkömoottoreita varten tarvittavat sähköjohdot on vedettävä erikseen robotin päähän. Sähköisten toimilaitteiden etuna voidaan pitää tosin paikoituksen tarkkuutta, mutta tässä käyttökohteessa sillä ei ole merkitystä.

Kuten jo edellä mainittiin, tarraimelle asetettujen vaatimusten takia ratkaisuvaihtoehdoista tuli lähes identtiset. Tarraimen ollessa kyseessä tärkeimmät vaatimukset ovat koko, paino ja turvallisuus. Taulukossa 7 on vertailtu ratkaisuvaihtoehtoja sanallisesti. Kaikilla toimilaitteilla tarraimesta saadaan tarpeeksi turvallinen. Pneumatiikalla toimivat versiot ovat huomattavasti kevyempiä ja pienempiä kuin sähköiset. Lisäksi kolmannessa vaihtoehdossa käytettävä magneettinen tartunta monimutkaistaa rakennetta verrattuna neljänteen vaihtoehtoon. Pistearviointin tekeminen vain yhdestä ominaisuudesta on turhaa etenkin, koska neljäs vaihtoehto on huomattavasti muita parempi.

Taulukko 7. Vaihtoehtojen vertailua

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4
Yksinkertaisuus	Melko yksinkertainen, sähköjohdot joudutaan vetämään erikseen	Melko yksinkertainen, sähköjohdot joudutaan vetämään erikseen	Monimutkainen, vaatii magneetin sisään vedon lisäksi, ferromagneettisen kappaleen sisään vetäjän	Yksinkertainen, koska vähiten osia
Koko ja paino	Jos ei käytetä vaihdetta, tarvittava sähkömoottori on suuri.	Tarvittavan voiman tuottavat karamoottorit ovat suuria.	Feston ADVU-sylintereissä on todella hyvä koko/voima suhde.	Feston ADVU-sylintereissä on todella hyvä koko/voima suhde.

Jatkokehitettäväksi valitaan neljäs vaihtoehto, joka on vaihtoehtoista yksinkertaisin ja pienin. Tulos ei ole yllättävä, koska jo työn teoriaosiossa mainitaan, että auki - kiinni -tyyppiselle tarraimelleärkevin voimantuottotapa on pneumatiikka.

3.9 Parhaan kokonaisratkaisun toimintaperiaate

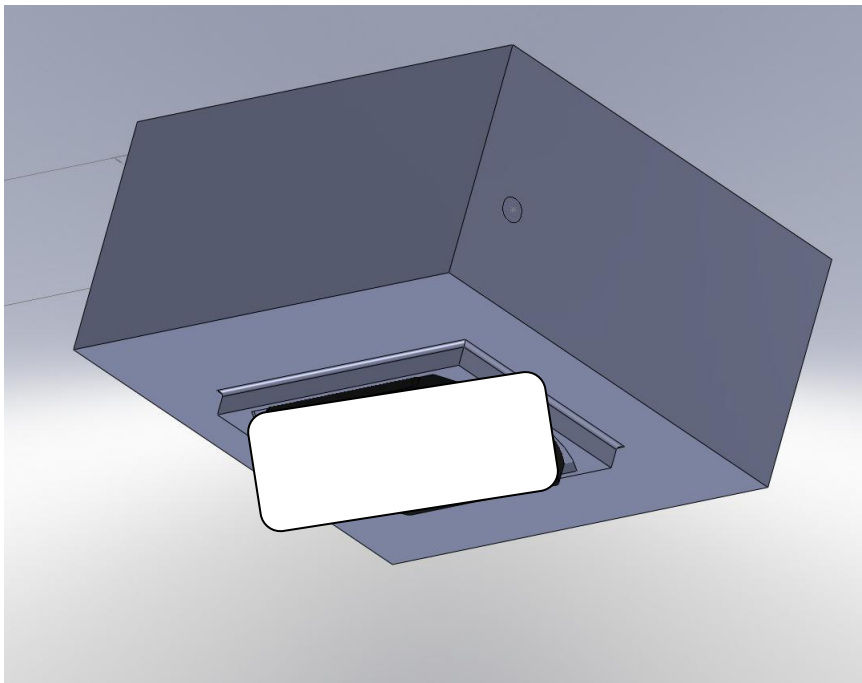
Magneetin vetäminen tarraimen sisälle ratkaistiin paineilmapalkeen ja jousivoiman käytöllä. Tarraimen lähestyessä magneettia, joka sijaitsee varastolevyllä, paineilmapalje laajenee ja työntää kynnet ulos tarraimen sisältä. Tämän jälkeen paineilmasylinteri sulkee magneetin tiukasti kynsien väliin. Kun magneetti on tiukasti kiinnitettyä kynsien väliin, paineilmapalje tyhjentyy hitaasti ja jousivoima nostaa magneetin tarraimen sisälle riittävän kauaksi varastolevystä. Tämän jälkeen robotti kuljettaa magneetin roottoriin, ja tarrain kiinnittyy roottorissa olevaan kehikkoon tappien avulla. Kun tarrain on kiinnittynyt kehikkoon, paineilmapalje painaa magneetin kehikon pohjalle. Tämän jälkeen sylinteri avaa kynnet. Parhaan vaihtoehdon toimintakaavio on esitettyä liitteessä E.

3.10 Parhaan kokonaisratkaisun kehittäminen

Vertailun jälkeen parhaaksi kokonaisratkaisuksi valittiin neljäs vaihtoehto. Valinnan jälkeen vaihtoehtoa alettiin kehittää. Kehittäminen aloitettiin rungon rakenteen yleisestä kehittämisestä. Kun rungon periaatteellinen rakenne oli selvillä, aloitettiin yksittäisten osien kehittäminen. Kehittelyn pohjana käytettiin vaatimuslistaa sekä tarraimen suunnittelun peruseriaatteita.

3.10.1 Rungon kehittäminen

Kuten jo aikaisemmin on mainittu, tarraimen pohjan tulee olla kehikon kanssa yhteensopiva. Tästä syystä pohjan kehittämisessä ei ollut juurikaan vaihtoehtoja. Tartunnan jälkeen magneetin olisi hyvä sijaita mahdollisimman keskellä tarrainta, jotta välttyttäisiin turhilta momenttikuormilta, kun magneettia kiinnitetään roottoriin. Koska tarraimen kohdistuva kuormitus on väsyttävää, osien muodot pyrittiin pyöristämään, jos se vain oli mahdollista. Kuvassa 12 on esitetty ensimmäinen versio tarraimen runkorakenteesta. Salassapitosyistä tietyt tarraimen osat on peitetty seuraavista kuvista.

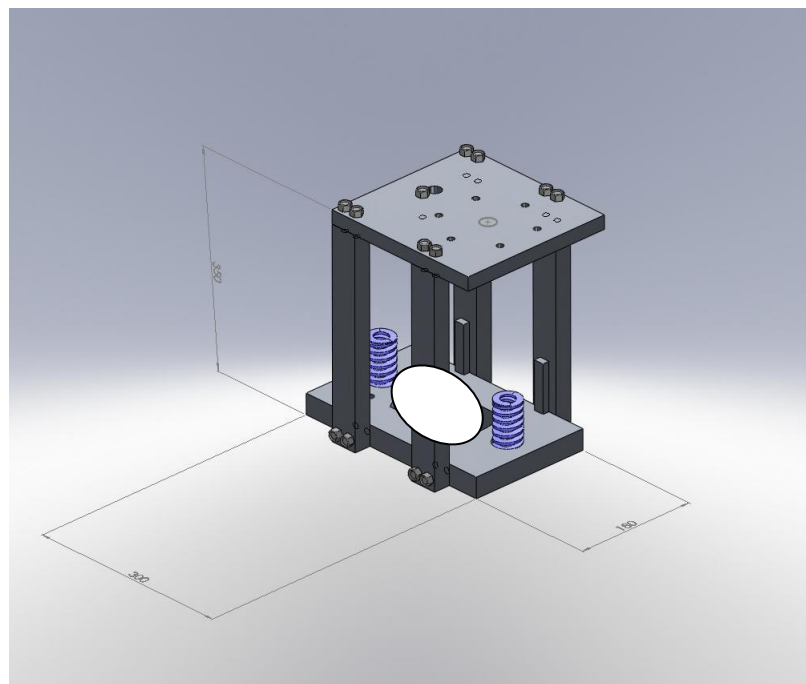


Kuva 12. Parhaan kokonaisratkaisun ensimmäinen versio

Kuten kuvasta 12 näkyy, magneetti on sijoitettu keskelle tarrainta. Lisäksi tässä versiossa tarraimen ympärille on suunniteltu kotelo, jonka tarkoituksena on suojata komponentteja.

Seuraavaksi mietittiin kannattaako käyttää kaupallisia liukujohteita vai valmistaa liukujohteet itse. Itse valmistettaviin liukujohteisiin päädyttiin, kun huomattiin, että ne olisi mahdollista integroida runkorakenteeseen. Tällä tavalla tarraimesta saadaan kevyempi. Lisäksi tällaisella konstruktiolla vältetään turhilta osilta, ja tätä kautta myös tarraimesta saadaan kevyempi.

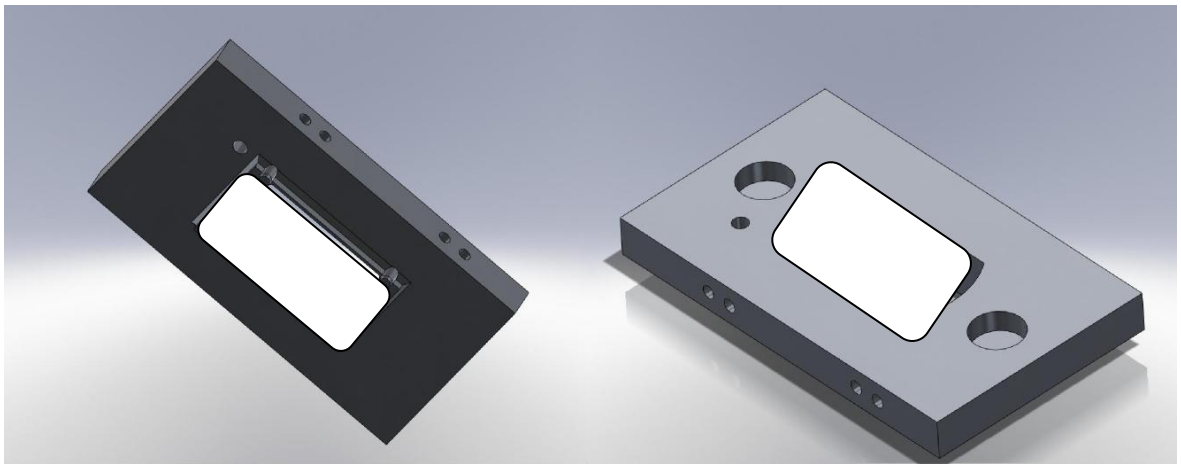
Tarraimen yksi tärkeimmistä vaatimuksista oli keveys. Tästä johtuen seuraavaksi mietittiin, onko tarraimen kotelointi tarpeellista. Turvallisuuden kannalta koteloinnilla ei ole merkitystä, koska robotti itsessään vaatii aidatun alueen, jotta sitä voitaisiin käyttää turvallisesti. Lisäksi robotti toimii normaalissa teollisuusympäristössä, joten komponentteja ei tarvitse erityisemmin suojata. Näiden asioiden pohjalta päätettiin, että robotin runko voi olla avonainen, jotta painoa saadaan pienemmäksi. Runkoon tuli myös kehittää kansi, jonka tarkoituksena oli kiinnittää pystysuuntaiset liukujohteet yhteen sekä mahdollistaa tarraimen kiinnittäminen itse robottiin. Kuvassa 13 näkyy tarraimen runkorakenne. Rungon ulkomitat ovat 350x300x150 mm.



Kuva 13. Tarraimen runko

3.10.2 Tarraimen pohja

Tarraimen pohjaa kehiteltiin edellä mainittujen periaatteiden pohjalta. Alla olevassa kuvassa on esitettyä tarraimen pohjan lopullinen 3D – malli. Kuten kuvasta 14 näkyy, tarraimen pohjan muotoja on hieman viistetty väsymiskestävyyden parantamiseksi. Muotoja ei pyöristetty, jotta pohjan valmistaminen koneistamalla olisi mahdollisimman helppoa. Lisäksi pohjassa näkyy paikoitustapit ja induktiivista tai kapasitiivista anturia varten tarkoitettu reikä. Pohjassa näkyvät myös jousia varten tehdyt upotukset.



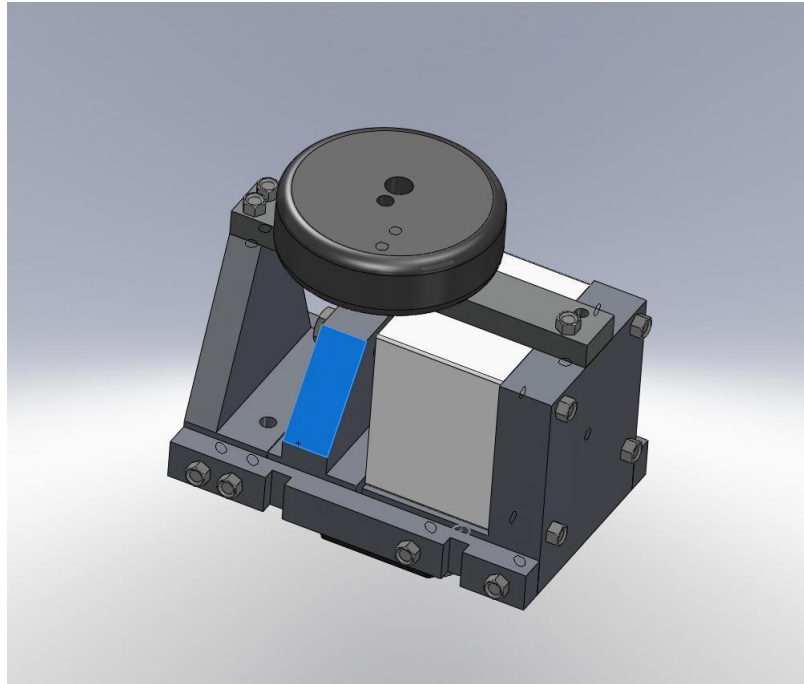
Kuva 14. Tarraimen pohja

3.10.3 Kynnet

Kynnet muotoiltiin magneettien muotoihin sopiviksi. Kynsien muotojen pyöristämistäkin mietittiin, mutta se ei ollut mahdollista magneettien muodosta johtuen. Kynsistä tehtiin lisäksi FE–analyysi -mallit, joiden avulla varmistettiin kynsien kuormitukset sekä siirtymät. FE–analyysillä tehdyt mallit ovat nähtävissä liitteessä G. Mallien analysoinnin jälkeen huomattiin, että kynsiä ei voi valmistaa alumiinista, koska siirtymät olisivat liian isoja. Kynnet on tarkoitus kiinnittää ruuveilla. Lisäksi toiseen kynteen suunniteltiin reikä, johon Hall-anturi voidaan kiinnittää. Kynsien kuvia ei salassapitosyistä voida liittää tähän työhön.

3.10.4 Liukukelkka

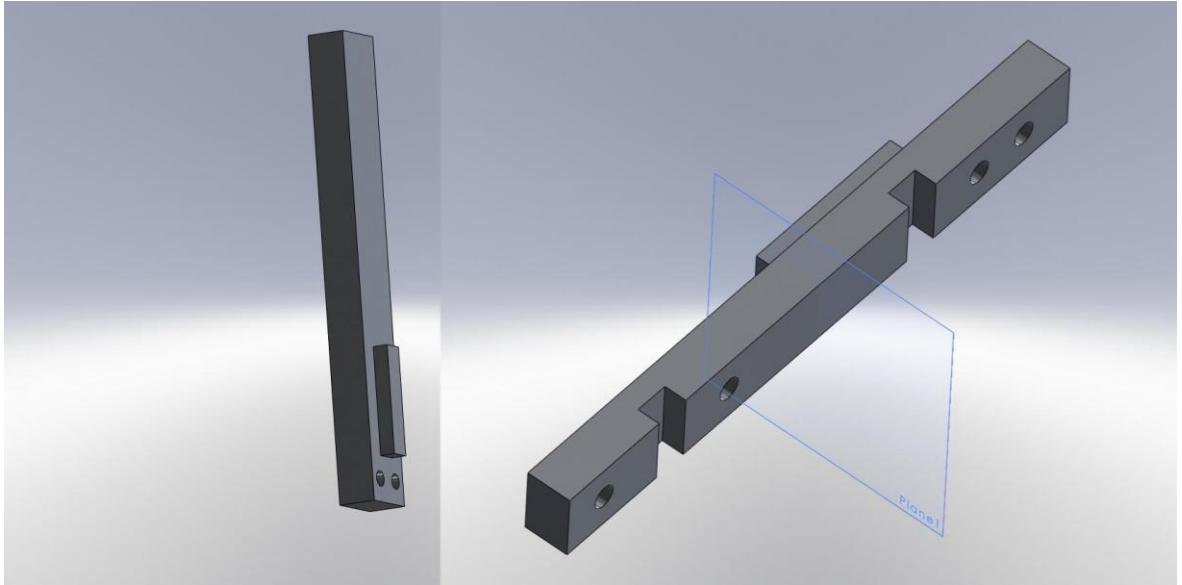
Jotta magneetin kiinnittäminen tarraimen sekä magneetin vetäminen tarraimen sisälle olisi mahdollista, kehiteltiin tarraimen sisälle liukukelkka, joka on esitettyä kuvassa 15.



Kuva 15. Liukukelkka

Liukujohteet

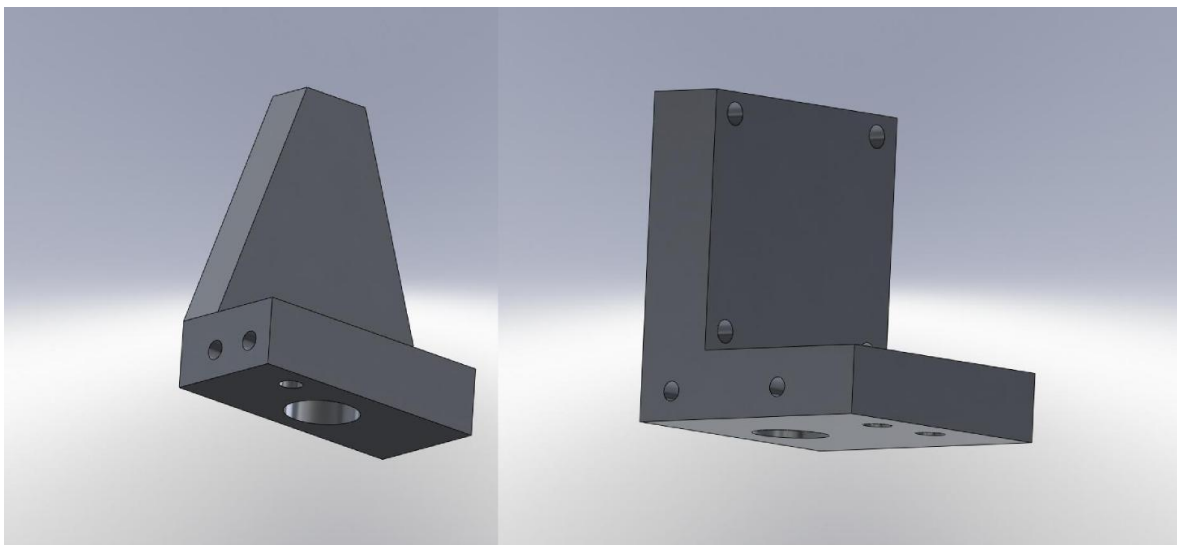
Tarraimeen tarvittiin sekä vaakasuuntaiset liukujohteet että pystysuuntaiset liukujohteet. Vaakasuuntaisia liukujohteita pitkin tapahtuu liike, joka kiinnittää magneetin tarraimen ja irrottaa magneetin. Pystysuuntaisia liukujohteita pitkin puolestaan magneetti vedetään tarraimen sisään ja työnnetään kehikon pohjalle. Lisäksi liukujohteisiin suunniteltiin reiät niiden kiinnittämistä varten. Vaakasuuntaiset liukujohteet toimivat samalla koko liukukelkan, johon kuuluu kynnet, liukujohteiden päädyt, liikkuvan kynnen kiinnitysosa, ylätuki, pneumatiikkasylinteri ja pneumatiikkapalje, runkona. Pystysuuntaiset liukujohteet toimivat puolestaan samalla koko tarraimen runkorakenteena yhdessä tarraimen pohjan ja kannen kanssa. Kuvan 16 vasemmassa reunassa on esitettyä pystysuuntaiset liukujohteet ja oikeassa reunassa vaakasuuntaiset.



Kuva 16. Liukujohteet

Liukujen päädyt

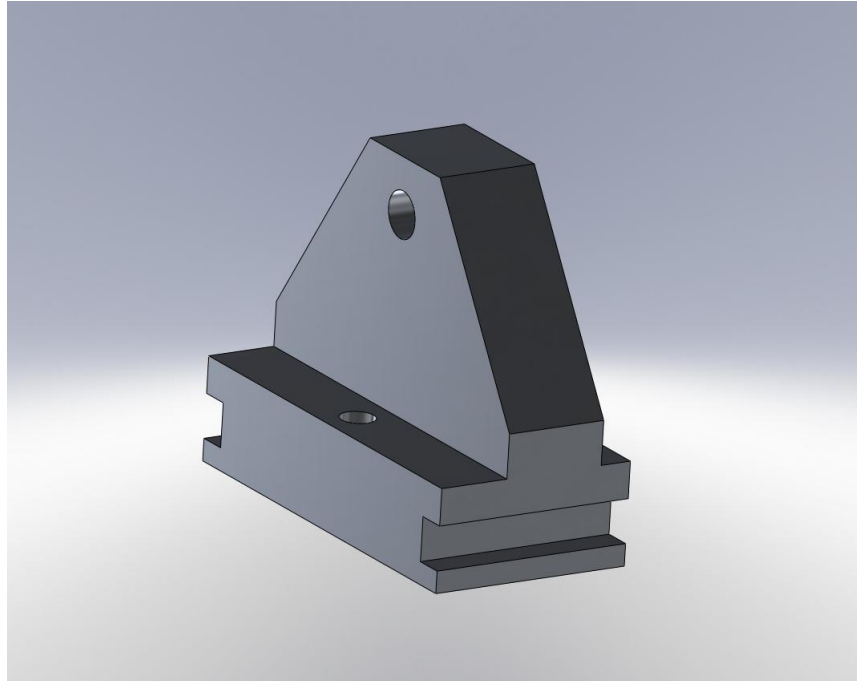
Liukujen pätyihin suunniteltiin liukujen kiinnittämiseen tarkoitetut kappaleet. Toinen pääty toimii lisäksi sekä osana johon sylinteri kiinnitetään että paikallaan olevan kynnen kiinnitysosana. Lisäksi päädyn yläpuolelle suunniteltiin kiinnitysreiät, joihin liukukelkan ylätuki voidaan kiinnittää. Liukujen pätyjen alapuolella ovat reiät, joihin jousen toinen pää asetetaan. Painon minimoimiseksi, toinen pääty viistettiin. Kuvassa 17 on esitettyinä molemmat päädyt.



Kuva 17. Liukujen päädyt

Liikkuvan kynnen kiinnitysosa

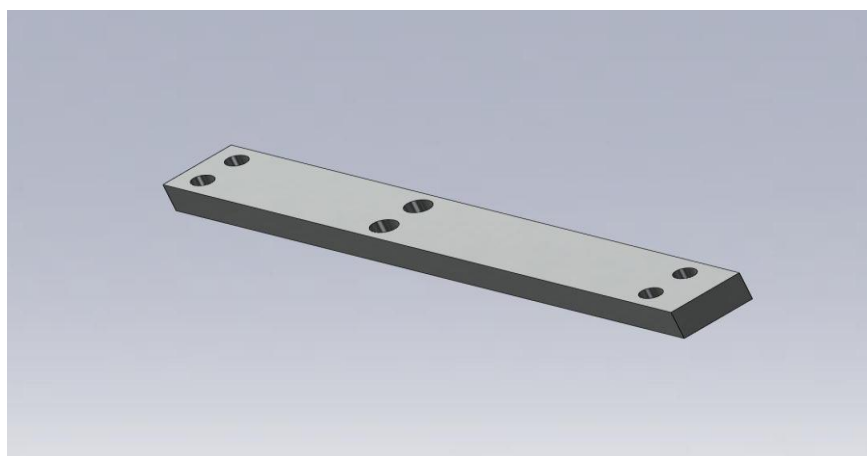
Liikkuvan kynnen kiinnitysosa liikkuu pitkin liukujohteita. Lisäksi kiinnitysosaan kiinnitetään liikkuva kynsi ja sylinteri, joka liikuttaa tätä kokonaisuutta. Kuvassa 18 on esitetty liikkuvan kynnen kiinnitysosa.



Kuva 18. Liikkuvan kynnen kiinnitysosa

Ylätuki

Ylätuen tarkoituksena on tukea liukukelkkaa sekä kiinnittää siihen pneumaattikapalje. Alla on esitettyä ylätuki kuvassa 19.



Kuva 19. Ylätuki

3.10.5 Komponentit

Tässä kappaleessa esitellään tarraimen valitut komponentit, joita ovat jouset, pneumatiikkasyylinteri ja pneumatiikkapalje. Komponenttien valinnasta tehdyt laskut ovat esitettynä liitteessä F.

Jouset

Jousiksi tarraimen valittiin Sodemanin Raymond-sarjan työkalujouset mallia ST53160. Jousien valinnan apuna käytettiin laskentaa.

Pneumatiikkasyylinteri

Sylinteriksi valittiin Feston ADVU –sarjan sylinteri sen hyvän voima/koko -suhteen ansioista. Sylinterin tiedot katsottiin Feston www-sivuilla olevasta katalogista. Sylinteri on esitettynä kuvassa 20.



Kuva 20. ADVU–sylinteri. (Toolshop 2010)

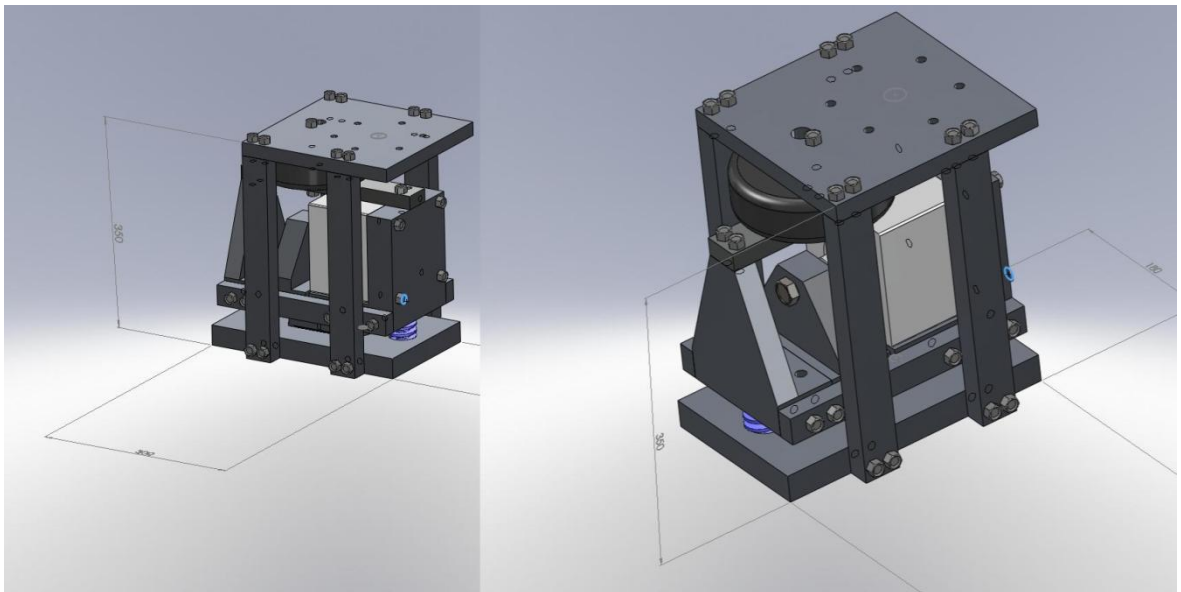
Pneumatiikkapalje

Magneetin ulostyöntöliikkeen toteuttamiseksi valittiin pneumatiikkapalje sen erittäin hyvän voima/paino -suhteen vuoksi. Lisäksi palje yhdessä jousien kanssa toimii joustoelementtinä, jotta magneetteihin ei kohdistuisi iskuja. Kuvassa 21 on pneumatiikkapalje.



Kuva 21. Pneumatiikkapalje. (Festo 2010)

Tarraimen lopullinen rakenne on esitettyä kuvassa 22. Tarraimen kokoonpano päätettiin toteuttaa ruuviliitoksien avulla, jotta välttyttäisiin hitsaamisen aiheuttamilta vetelyiltä. Lisäksi ruuviliitokset ovat helppo purkaa, mikäli tarraimen komponentteja joudutaan vaihtamaan.



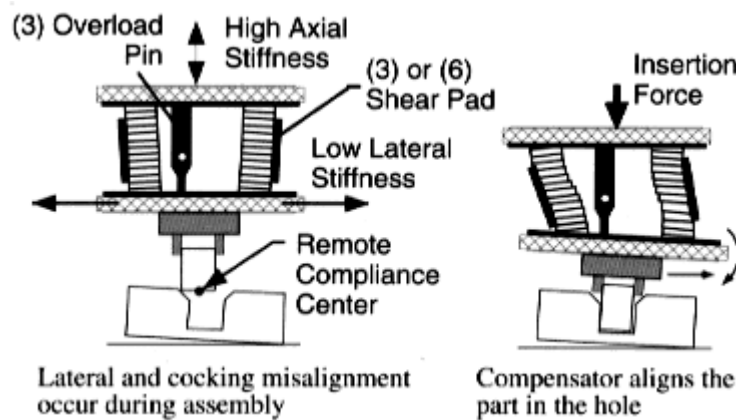
Kuvaa 22. Tarraimen lopullinen rakenne.

4 PARHAAN KOKONAISSRATKAISUN JATKOKEHITTELY

Suunnitteluprojektin tässä vaiheessa on luonnosteltu ja kehitelty eri ratkaisuvaihtoehtoja sekä arvioitu niitä keskenään. Arvioinnin jälkeen on saatu selville paras vaihtoehto, jota oli tarkoitus kehittää. Kandidaatintyön rajoissa ei ollut mahdollista tutkia ja huomioida kaikkia asioita, joita tarraimen suunnittelussa vaaditaan. Tämän lisäksi kaikkia konstruktioita voidaan aina kehittää lisää. Tässä luvussa esitellään muutamia asioita, jotka vielä kaipaavat jatkokehittelyä.

4.1 Remote center compliance

Remote center compliance eli RCC tarkoittaa tarraimen ja robotin väliin kiinnitettävää laitetta, joka auttaa paikoituksessa sekä suojelee tarrainta pieniltä kolhuilta. Käytännössä RCC mahdollistaa tarraimen mukautumisen pieniin paikoitusvirheisiin. RCC:n toiminta perustuu jäykkiin jousiin, jotka joustavat, mikäli tarraimessa oleva kappale ei aivan osu haluttuun kohtaan. (Monkman et al. 2007 s. 368) RCC:n toimintaperiaate selviää paremmin alla olevasta kuvasta 23.



Kuva 23. RCC toiminta (ATI industrial automation)

Työssä RCC otettiin huomioon jo paikoitustappeja suunniteltaessa. Tappien päät viistettiin, jotta RCC:tä voisi suoraan soveltaa tarraimen. RCC:tä valittaessa tämän työn sovelluskohteeseen on tärkeää huomioida jo asennettujen magneettien sekä magneetin, jota juuri ollaan asentamassa, väliset magneettiset voimat. RCC laitteita valmistaa kaupallisesti esimerkiksi ATI industrial automation.

4.2 Liimaus

Tarraimen rakenne suunniteltiin siten, että liimauslaitteiston kiinnittäminen tarraimen olisi mahdollista. Työtä tehdessä liiman koostumuksesta ei kuitenkaan ollut tarpeeksi tietoa, joten liimauslaitteiston suunnittelu ei ollut mahdollista.

4.3 Rakenteen optimointi

Kehittelyvaiheessa rakennetta yritettiin optimoida mahdollisimman kevyeksi, ottaen huomioon mahdolliset siirtymät ja jännitykset. Tämän tyyppisessä

konstruktiossa rakenteisiin kohdistuvat kuormitukset ovat kuitenkin selvästi väsyttäviä. Tästä johtuen rakenne tulisi jatkossa analysoida väsymiskestävyyttä ajatellen.

4.4 Ohjausjärjestelmä

Kandidaatintyön puitteissa ei ollut mahdollista suunnitella tarraimen ohjausjärjestelmää. Tarraimen ohjausjärjestelmän suunnittelun apuna voitaisiin kuitenkin käyttää tässä työssä esitettyä toimintaperiaatetta.

4.5 Tartuntapintojen materiaali

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, kandidaatintyön puitteissa ei ollut mahdollista tutkia magneetin ja kynsien materiaalien kitkakertoimia. Ennen tarraimen rakentamista tulisi selvittää kokeellisesti tartuntapinnoille soveltuvat materiaalit.

5 TULOSTEN ANALYSOINTI

Tässä kappaleessa analysoidaan edellä suunnitellun tarraimen soveltuvuutta käyttökohteeseen sekä tarraimen hyviä ja huonoja puolia. Lähtökohtana arviointiin pidetään suunnittelun alussa laadittua vaatimuslistaa.

Tässä työssä suunnitellulla tarraimella saavutetaan kaikki vaatimuslistan vaatimukset. Lisäksi tarraimen lopullinen paino on noin 30kg, mikä on huomattavasti pienempi, kuin vaatimuslistassa esitetty 70kg. Tarraimen ulkomitat ovat myös varsin pienet 300x180x350 mm.

Tarraimen heikoin kohta on kynnet, erityisesti niiden väsymiskestävyys. Kynsien erilaisella muotoilulla olisi ollut mahdollista parantaa väsymiskestävyyttä. Yhtenä tarraimen heikoista kohdista voidaan pitää myös liukujohteita. Koska tarraimesta saatiin kevyt, olisi kannattanut harkita kaupallisten liukujohteiden käyttöä. Huonoa tarraimessa on myös osien runsas lukumäärä, josta suoraan seuraa vaikeuksia tarrainta koottaessa. Toisaalta tarraimesta tehdään vain yksittäiskappaleita, joten kokoonpantavuus ei ole ongelma.

6 YHTEENVETO

Kestomagneettien kiinnitykseen tarkoitettu tarrain on nyt suunniteltu ohjausjärjestelmää lukuun ottamatta. Tarraimen suunnittelu on osoittautunut monivaiheiseksi ja iteratiiviseksi prosessiksi, jossa pienenkin yksityiskohdan muutos voi aiheuttaa suuria muutoksia muuhun konstruktion. Suunnittelutyön iteratiivisesta luonteesta johtuen suunnitteluprojektit venyvät helposti, mikäli suunnittelija ei osaa päättää, milloin tuote on riittävän hyvä. Lisäksi suunnitteluprosessia voivat venyttää sellaiset asiat, jotka tulevat esille vasta projektin edetessä.

Vaikeaksi tämän projektin teki magneetin suuri vetovoima suhteutettuna robotin kantokykyyn. Tähän ongelmaan ei keksitty muuta ratkaisua kuin magneetin vetäminen tarraimen sisään. Vaikeaa oli myös päättää, milloin tarrain olisi riittävän hyvä käyttökohteeseen, koska jotain tiettyä yksityiskohtaa voisi aina hieman parantaa.

Kandidaatintyön tekeminen on osoittanut, kuinka vaikeaa ideointi oikeastaan on, etenkin yksinään. Yksinään ideoitaessa helposti juuttuu ensimmäiseen hyvään ratkaisuun ja joissakin tapauksissa jopa ensimmäiseen ratkaisuun. Mikäli keksii omasta mielestään toimivan ratkaisun, on yrittämisestä huolimatta erittäin vaikea kehittää lisää ratkaisuja samaan ongelmaan, koska mieleen jää vain hyväksi todettu ratkaisu. Suunnitteluprosessissa tämä muodostuu isoksi ongelmaksi silloin, kun kyseinen ratkaisu ei toimi. Tämän jälkeen joudutaan palaamaan ideointivaiheeseen. Jos ideointivaiheeseen joudutaan palaamaan, ideointi muuttuu vieläkin vaikeammaksi, koska jo kehitetyt rakenteet tai osat rajoittavat ideoiden syntymistä. Suunnittelutaitojen karttuessa ja kokemuksen lisääntyessä ratkaisujen löytäminen näihinkin ongelmiin varmasti helpottuu.

LÄHTEET

Aaltonen K. & Ekman K. & Kamppari J. & Kauppinen V. & Kivivuori S. & Paro J. & Vuorinen J. J. 1991. Työvälinetekniikka Hämeenlinna. Otatiето Oy. 281 s.

Airila M. 1993 Mekatroniikka. Espoo. Otatiето oy. 367 s.

Automaattinen kokoonpano [Tampereen teknillisen korkeakoulun www-sivuilla]. [viitattu 29.12.2009] Saatavissa: <http://www.pe.tut.fi/akp/tarraimet.html>

Bellow cylinders EB/EBS [Festo Oy www-sivuilla]. [viitattu 25.3.2010] Saatavissa: http://www.festo.com/cat/fi_fi/data/doc_engb/PDF/EN/EB-EBS_EN.PDF

Causey G. C. & Quinn R. D. 1998. Gripper design guidelines for modular manufacturing Teoksessa: IEEE International conference on robotics and automation CAISR tech report #TR97-109.

Characteristic physical properties of sintered NdFeB magnet material at 20° C. [Neorem Magnetsin www-sivuilla]. [viitattu 20.1.2010]. Saatavissa: http://www.neorem.fi/fileadmin/pdf/NdFeB_PhysicalProperties.pdf

Cornerstone robotics rob_gripper [Cornerstone robototicsin www-sivuilla]. [viitattu 21.12.2009]. Saatavissa: http://www.cornerstonerobotics.org/_images/rob_gripper.jpg

Handroos H. 2009 Luentomoniste, Mekatroniikka. Lappeenranta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Heilala J. & Airila M. & Backan K. & Heikkilä J. & Kauhaniemi I. & Lehtinen H. & Merilinna J. & Ropponen T. & Soudunsaari R. Tekninen tiedotus 17/90 1990. Metalliteollisuuden kustannus Oy. 114 s.

Kuivanen R. 1999 Robotiikka. Vantaa. Talentum Oyj/Metallitekniikka. 188 s.

Kurfess T. R. 2005. Robotics and automation handbook. Florida. CRC Press Oy.

Monkman G. J. & Hesse S. & Steinmann R. & Schunk H. 2007. Robot Grippers. Weinheim. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. 452 s.

Pahl G. & Beitz W. 1990. Porvoo Koneensuunnitteluoppi Metalliteollisuuden kustannus Oy. 608 s.

Product description [ATI industrial automation yrityksen www-sivulla]. [viitattu 30.3.2010] Saatavissa: http://www.ati-ia.com/products/compliance/assembly_compliance_device.aspx

Robottitarraimet, kappaleen syöttö, asemointi ja työkalut [Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun www-sivulla]. [viitattu 29.12.2009] Saatavissa: http://www.ncp.fi/modernipuu/pdf/Robottitarraimet_syotto.pdf

Ruuskanen V. 2010. Kestomagneettien asennuksen aikana esiintyvät voimat. Projektiraportti. Lappeenranta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

SFS-EN ISO 12100-1. Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperiaatteet. Osa 1: Peruskäsitteet ja menetelmät. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS 2003. s. 32.

Skaneir Dumbo. [Skaneir Oy www-sivuilla]. [viitattu 29.12.2009] Saatavissa: <http://www.skaneir.fi/images/dumbo.jpg>

Sodemann Industrifjerde A/S vakiojouset varastokuvasto [Sodemann Industrifjerde A/S www-sivuilla]. [viitattu 25.3.2010] Saatavissa: http://shop.fjedre.dk/webster/Applications/fjedre/images/ebook/FI_Katalog/pdf/FI_Katalog_08.pdf

Toolshop. [Toolshop www-sivuilta]. [viitattu 21.4.2010] Saatavissa: <http://toptoolshop.de/images/PnZylFestoADVU-40-20-PA.jpg>

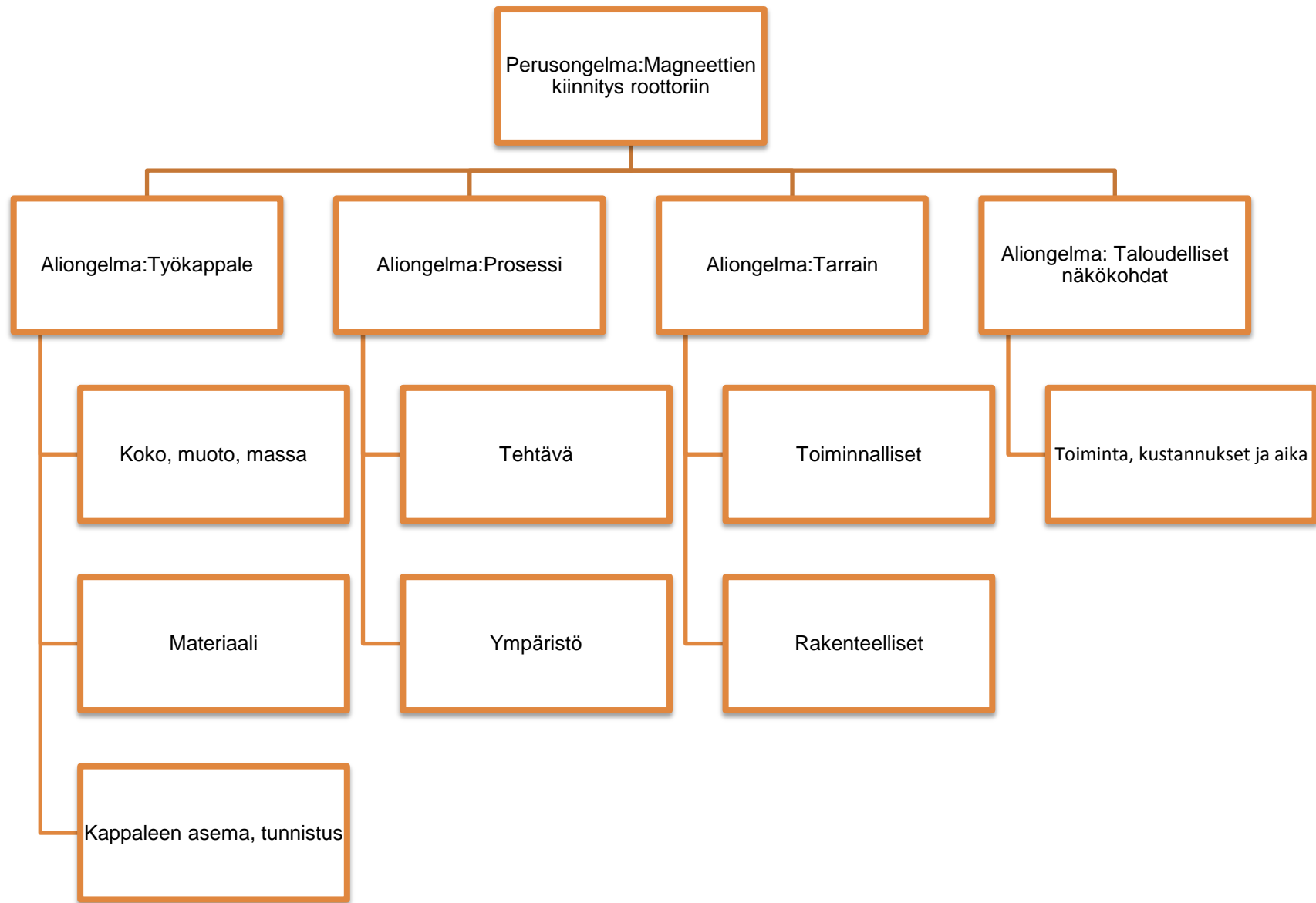
Työstökoneiden panostus- ja palvelutehtävät raportti. [Teknillisen korkeakoulun www-sivuilla]. [viitattu 29.12.2009] Saatavissa: http://www.tkk.fi/Yksikot/Konepaja/tuotantotekniikka/opetus/4119/Jakeluun/Tyosto_koneiden%20panostus-%20ja%20palvelurobotit_23112007.pdf

Wagner M. & Morehouse J. & Melkote S. 2009. Robotics and computer-integrated manufacturing 25. s. 449 – 459

LIITTEET

Lappeenrannan teknillinen yliopisto		Vaatimuslista Kestomagneettien kiinnitystyökalu	30.12.2009 Sivu:1
Muutos	V/T	Vaatimukset	
		Kappale:	
	V	Mitat: Leveys 81, Pituus 117, Korkeus 16	
	V	Magneettivoima: max. 1500N	
	V	Puristuslujuus: 80 Mpa	
		Magneetin massa: noin 0,44 kg	
		Materiaali: NdFeB	
	V	Taivutus lujuus: 240 Mpa	
	V	Tartuntapinta: Korkeus 10mm, koska kappale upotetaan kehikkoon 6mm	
	V	Magneetteihin ei saa kohdistua iskuja	
		Prosessi:	
	V	Tarrain tulee olla kiinnitettävissä robotin kiinnittimeen	
	V	Magneettien välissä tilaa: sivulla 2mm, ylä- ja alapuolella 25mm	
	V	Robotin toistotarkkuus: +- 0,2 mm	
	V	Robotin liikeparametrit	
	T	Liimauslaitteiston yhdistäminen tarraimen	
		Tarrain:	
	V	Magneettien riittävä kiinnitys	
	V	Magneetit on pystyttävä tunnistamaan	
	V	Toimilaite: pneumatiikka, sähkömoottori	
	V	Paino: max 70kg	
	T	Paino: mahdollisimman kevyt	
	V	Magneettien tarkka paikoitus	
	V	Pienten muutosten jälkeen on pystyttävä käsittelemään erimuotoisia magneetteja	
		Turvallisuus:	
	V	Tarrain ei saa aiheuttaa vaaraa työntekijöille tai ympäristölle:	
	V	-työkappaleen tukeva kiinnitys	
	V	-häätä-seis -tilanteessa tai ohjaussignaalin kadotessa tarraimen tulee säilyttää tilansa	
		Kunnossapito:	
	T	Vähäinen huollon tarve	
	T	Huollon oltava helppoa	
		Valmistus:	
	V	Tarrain tulee olla valmistettavissa normaalista konepajasta löytyvällä kalustolla	
		Kustannukset:	
	T	Tarraimesta valmistetaan tässä vaiheessa projektia vain yksittäiskappale, joten kustannukset eivät ole kovinkaan tärkeitä, kunhan eivät kasva suuriksi	

LIITE B. Ongelmahierarkia



Työkappale

Koko, muoto ja massa

- Tartuntavoima
- Tartuntapinnat
- Sormien liike
- Painopiste
- Pinnanlaatu
- Toleranssit

Materiaali

- Lujuus
- Hauraus
- Magneettivoima
- Pintapaineen kestävyys
- Tartuntaperiaate
- Kitkakerroin
- Materiaalivakiot

Kappaleen asema, tunnistettavuus

- Tunnistettavuus
- Luoksepäästävyys

Prosessi

Tehtävä

- Tehtävän laatu
- Liikeparametrit
- Törmäykset
- Tiedon välitys muiden laitteiden kanssa
- Aistien tarve
- Liimaus
- Asennuskohteessa vähän tilaa ympärillä

Ympäristö

- Epäpuhtaudet
- Lämpötila
- Ilman kosteus
- Magneettiset häiriöt
- Muut laitteet

Tarrain

Toiminnalliset

- Turvallisuus ja luotettavuus
- Tarkkuus
- Kunnossapito
- Yhteensopivuus
- Asennus
- Hallittu jousto
- Kuluminen
- Välykset

Rakenteelliset

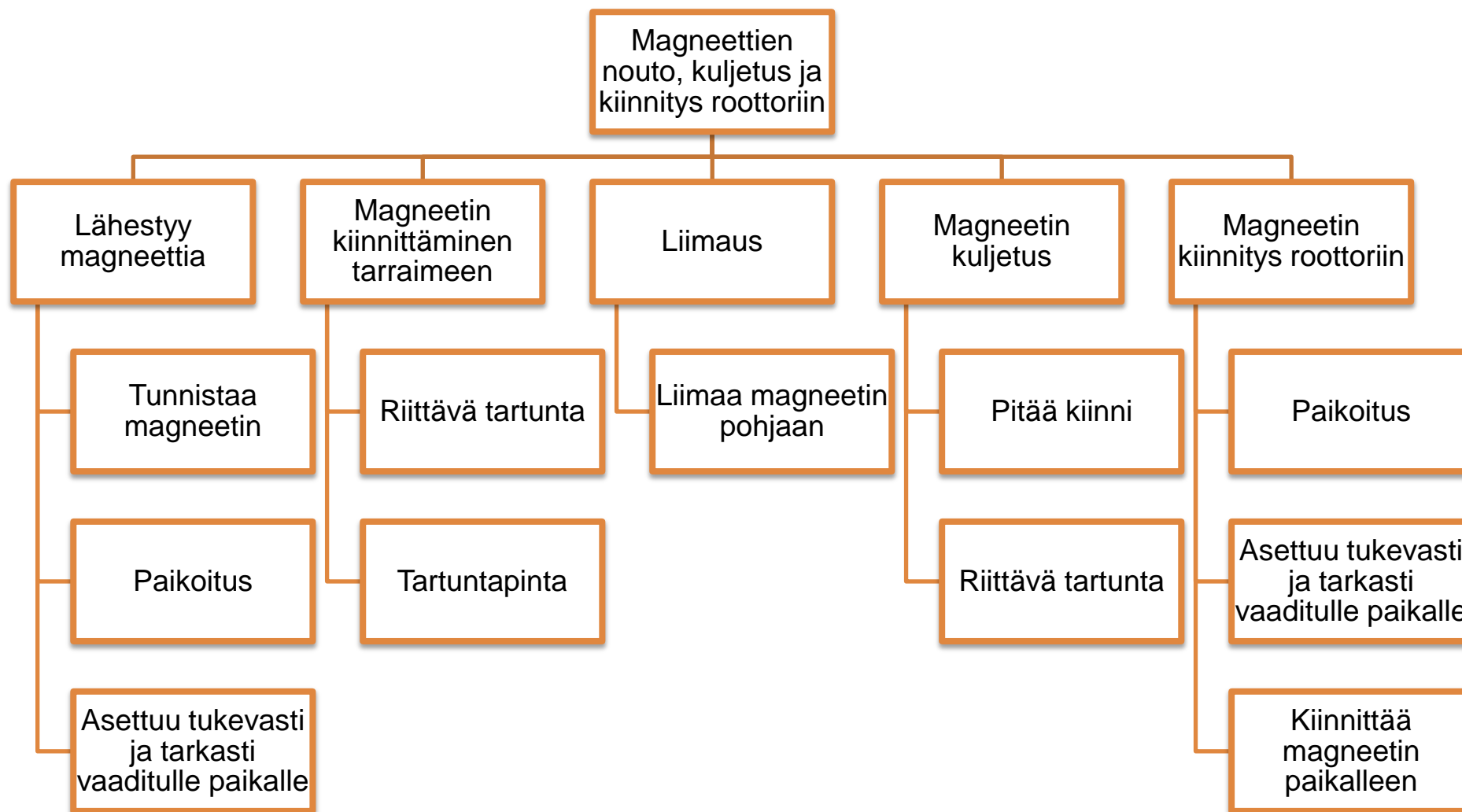
- Koko
- Massa
- Jäykkyys
- Magneetista aiheutuva vetovoima on suuri
- Antureiden ja toimilaitteiden sijoitus
- Kappaleen sijoitus
- Valmistettavuus
- Suojaus
- Liittyminen robottiin

Taloudelliset näkökohdat

Toiminta, kustannukset ja aika

- Hinta
- Laatu
- Tehokkuus
- Lyhyt läpäisy aika

LIITE C. Toimintorakenne



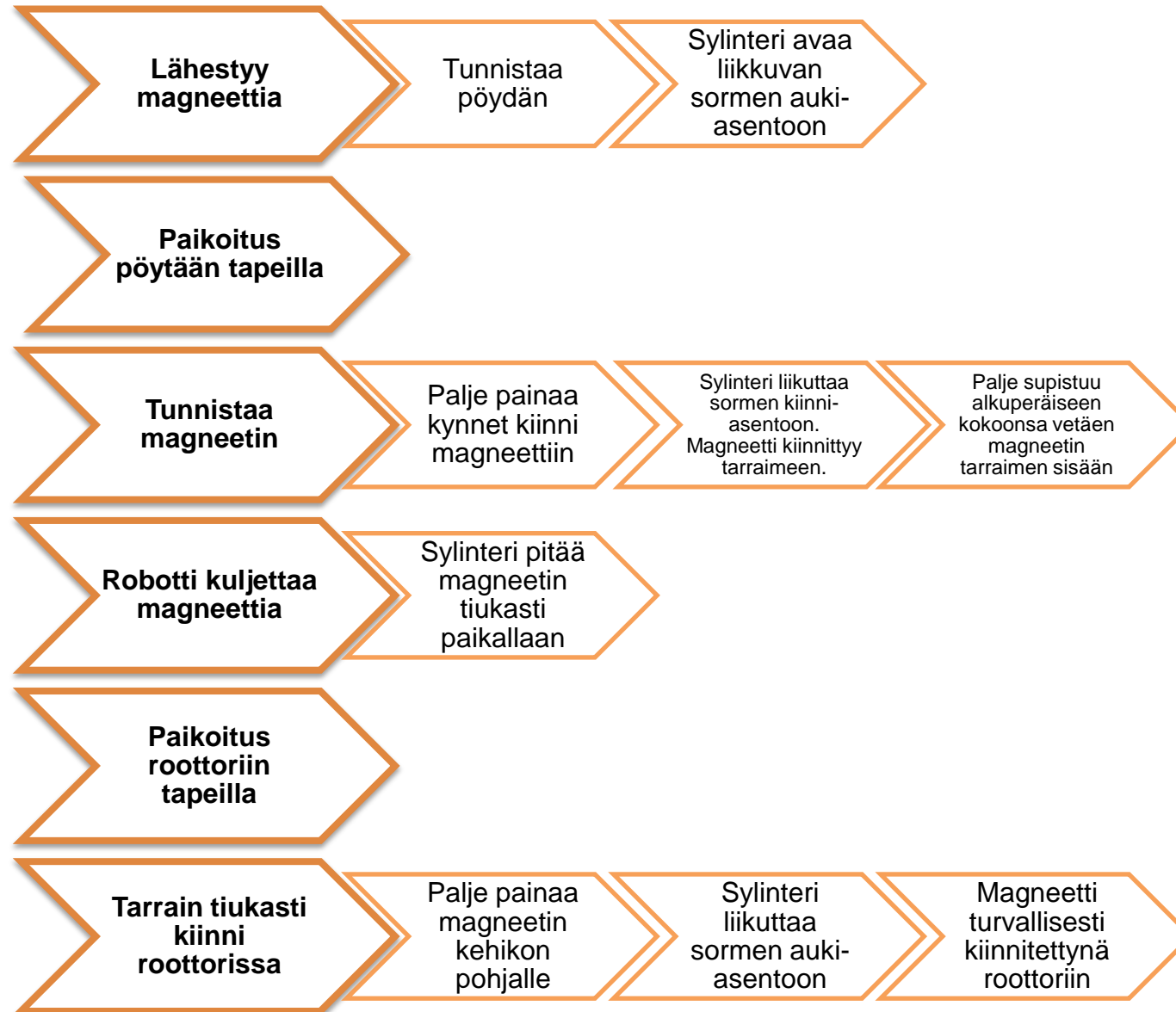
LIITE D. Ideamatriisi

Toimilaite	Pneumaattinen sylinteri	Pneumaattinen lihas	Servomoottori	Askelmoottori	Lineaarimoottori	Jousivoima	Sähkömagneetti	Alipaine	Magneettinen vetovoima
Tartunta	Magneettinen	Muotosulkeinen	Kitkasulkeinen	Alipaine	Painovoiman hyödyntäminen	Edellisten yhdistelmä			
Tunnistus	Hall-anturi								
Paikoitus	Tappi - reikä	Ura - kiila	Erilaiset anturit						
Tartuntapinta	Tasaiset sivut	Pyöreät sivut	Alta	Päältä	Edellisten yhdistelmä				
Liimaus	Erillinen piste	Integroitu tarraimen							
Mekanismi	Ruuvijohde	Epäkesko	Nivelmekanismi	Hammaspyörä ja tanko	Kartio ja rullaseuraaja	Ei mekanisme (jos voima riittää)			
Magneetin paikalleen asettaminen	"tiputtaa"	työntää							

LIITE D. Ideamatriisi

Kerralla asennettavien magneettien lukumäärä	1	2	useampia						
Liikkuvien sormien lukumäärä	1	2	3						
Sormien muotoilu									

LIITE E. Toimintakaavio



LIITE F. Laskuja

Lasketaan suurin voima jolla magneettia voidaan puristaa. Magneetin puristuslujuus $\sigma=80$ MPa. Magneetin mitat ovat: leveys 81 mm korkeus 10 mm.

$$F_{max} = \sigma * A = 80 * 81 * 10 = 64,8 \text{ kN}$$

Lasketaan magneetin paikallaan pitämiseen vaadittava voima kahdella eri kitkakertoimen arvolla. Magneetin vetovoima on suurimmillaan juuri ennen kuin se koskettaa roottoria $F_v=1500$ N. Käytetään varmuuskertointa 1,5. Ensimmäisessä tapauksessa kitkakerroin $\mu=0,5$.

$$F_p = \frac{(F_v * 1,5)}{0,5} = 4,5 \text{ kN}$$

Toisessa tapauksessa kitkakerroin $\mu=0,3$.

$$F_{p2} = \frac{(F_v * 1,5)}{0,3} = 7,5 \text{ kN}$$

Magneettien veto tarraimen sisälle toteutetaan jousilla ja magneetin työntö ulos tarraimesta puolestaan paineilmapalkeella. Lasketaan valittujen jousien aiheuttama voima. Jousien jousivakio $R=63$ N/mm. Jousia on kaksi kappaletta ja niitä tarvitsee puristaa kasaan $x=30,2$ mm.

$$F_j = 2 * 63 * 30,2 = 3,8 \text{ kN}$$

Lasketaan Festo ADVU - paineilmasylinteristä saatava voima, kun paine on $p=0,8$ MPa. Sylinterin halkaisija $R=125$ mm.

Voima, kun sylinteri liikkuu eteenpäin:

$$F_t = A_s * p = \left(\frac{R}{2}\right)^2 * \pi * 0,8 = 9,8 \text{ kN}$$

LIITE F. Laskuja

Voima, kun sylinteri liikkuu taaksepäin: Feston sivuilla ei lukenut männän varren halkaisijan ja sylinterin halkaisijan erotusta, joten lasketaan se. Sivuilla kerrottiin paineen $p=0,6$ MPa saavutetaan $F_{0,6}=6881$ N voima.

$$Av = \frac{F_{0,6}}{p} = 11470 \text{ mm}^2$$

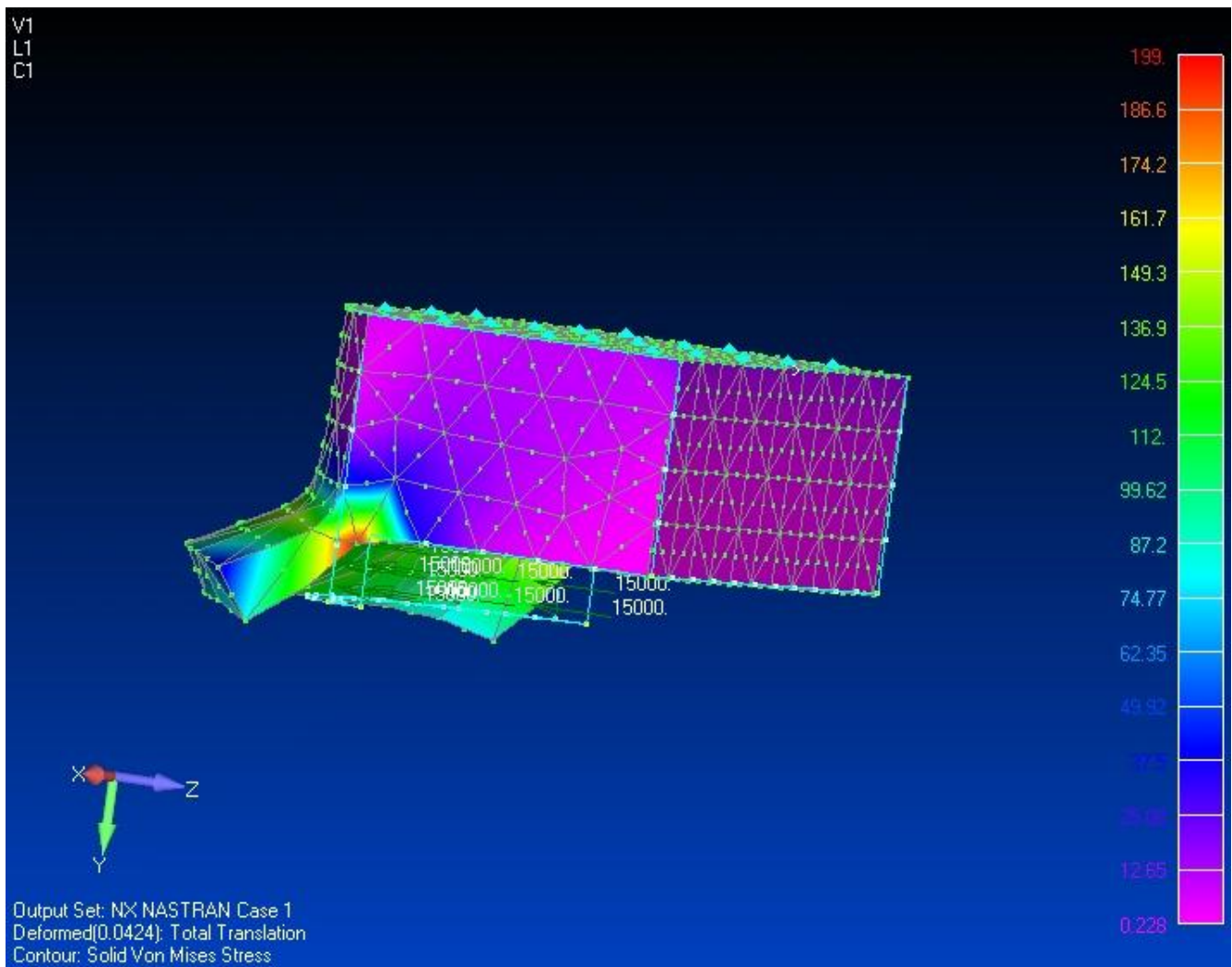
Seuraavaksi lasketaan voima, kun $p=0,8$:

$$F_v = p * Av = 0,8 * 11470 = 9,2 \text{ kN}$$

LIITE G. FEM-mallit

Lopullisen rakenteen kriittisimmistä osista tehtiin FEMAP -ohjelmaa käyttäen FEM -mallit, joiden avulla tarkasteltiin rakenteissa esiintyviä muodonmuutoksia ja jännityksiä. Kaikissa FEM -malleissa rakennetta rasittavan voiman varmuuskertoimena käytettiin 1,5.

Alla olevassa kuvassa on tarraimen kynnen FEM -malli. FE -analyysiä tehtäessä huomattiin, että kynsien materiaalina joudutaan käyttämään ruostumatonta terästä, koska alumiinilla muodonmuutokset tulivat liian suuriksi. Suurin von Mises -jännitys oli 199 MPa ja suurin siirtymä 0,04 mm.



LIITE G. FEM-mallit

Seuraavassa kuvassa on puolestaan esitettynä liukujohteen pääty, johon pneumatiikka-sylinteri kiinnitetään. Suurin von Mises -jännitys tuessa on 52 MPa ja suurin siirtymä 0,015 mm. Materiaalina alumiini.

