

LUT-yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Konetekniikka
BK10A0402 Kandidaatintyö

KESTOMAGNEETTIEN ASENNUSPROSESSIN TUOTTAVUUDEN
TEHOSTAMINEN

IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF THE PERMANENT MAGNET INSERTION
PROCESS

Vantaalla 23.5.2021

Lauri Paronen

Tarkastaja TkT Harri Eskelinen

Ohjaaja TkT Harri Eskelinen

DI Mikko Piispanen

TIIVISTELMÄ

LUT-yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Konetekniikka

Lauri Paronen

Kestomagneettien asennusprosessin tuottavuuden tehostaminen

Kandidaatintyö

2021

39 sivua, 21 kuvaa

Tarkastaja: TkT Harri Eskelinen

Ohjaaja: TkT Harri Eskelinen
DI Mikko Piispanen

Hakusanat: Tuotekehitys, järjestelmällinen suunnittelu, asennusrobotti, asennusprosessi, VDI2221

Tämä kandidaatintyö on tehty yritykselle, joka valmistaa muun muassa sähkömoottoreita, joiden roottoreiden kokoonpanossa yritys käyttää asennusrobottia. Asennusrobotin tehtävänä on asentaa kestopagneetit roottorin magneettikuiluihin. Kestomagneettien asennusprosessissa on kuitenkin havaittu olevan pullonkauloja.

Työn tarkoituksena on suunnitella ja kehittää yritykselle ratkaisu, jolla pystytään tehostamaan nykyistä kestopagneettien asennusprosessia. Tavoitteena on suunnitella ja tuottaa yritykselle konkreettinen ratkaisu, jolla saavutettaisiin noin 30 %:n tehostus asennusprosessin tuottavuuteen mahdollisimman kustannustehokkaasti ja helposti.

Kandidaatintyön suunnitteluprosessi toteutetaan käyttämällä järjestelmällisen suunnittelun menetelmää VDI2221. Menetelmässä määritetään suunnittelun eri vaiheet tarkasti, jonka jälkeen edetään vaiheiden mukaan askel askeleelta.

Järjestelmällisen suunnittelun tuloksena yritykselle päädyttiin kehittämään uusi monihaarainen työkalu vanhan kaksihaaraisen työkalun tilalle. Parannusratkaisun laskettu tuottavuuden tehostus on noin 27 %. Ratkaisu on helposti toteutettavissa ja kustannustehokas. Yritykselle toimitettiin osien valmistuspiirustukset ja 3D-mallit.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Lauri Paronen

Improving the productivity of the permanent magnet insertion process

Bachelor's thesis

2021

39 pages, 21 figures

Examiner: Harri Eskelinen D. Sc.

Supervisor: Harri Eskelinen D. Sc.
Mikko Piispanen M. Sc

Keywords: Product development, systematic design, insertion process, assembly robot, VDI2221

This bachelor's thesis has been done for a company that manufactures electric motors among other things. The company uses an assembly robot in the assembly of the rotor of the electric motor. The purpose of the assembly robot is to insert magnets into the magnet wells of the rotor. However, bottlenecks have been found in the magnet insertion process.

The purpose of this bachelor's thesis is to design and develop a solution for the company that can improve the productivity of the current permanent magnet insertion process. The goal is to design and produce a solution for the company that would achieve about 30 % efficiency increase in the productivity of the magnet insertion process as cost-efficiently and easily as possible.

The design process of this bachelor's thesis has been done by using the systematic design method VDI2221. Different design phases are defined in the method and then followed step by step.

As a result of the systematic design process, a new multi-branch tool was developed to replace the old two-branched tool. The calculated improved efficiency of the productivity with the new multi-branch tool is approximately 27 %. The solution is easy to implement and cost-efficient. Manufacturing drawings and 3D models of the parts have been sent to the company.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	6
	1.1 Tutkimuksen tavoite ja merkitys kohdeyritykselle.....	6
	1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset.....	6
	1.3 Tutkimuksen toteuttamistapa.....	6
2	METODIT	8
3	ASENNUSTYÖKALUN SUUNNITTELUPROSESSIN TULOKSET	10
	3.1 Tehtävän selvitys.....	10
	3.2 Kestomagneettien asennusprosessin tarkastelu.....	10
	3.2.1 Kestomagneettien asennusprosessin eri vaiheet.....	16
	3.3 Ratkaisujen etsintä kestopmagneettien asennusprosessin nopeuttamiseksi.....	17
	3.4 Toteutuskelpoinen rakenne monihaariselle työkalulle.....	21
	3.5 Asennustyökalun osien viimeistely ja tarkastelu.....	26
	3.6 Valmistuspiirustusten laatiminen.....	30
4	POHDINTA	31
	4.1 Järjestelmällinen asennustyökalun suunnitteluprosessi.....	31
	4.2 Asennustyökalun suunnitteluprosessin objektiivisuus ja luotettavuus.....	32
	4.3 Keskeiset johtopäätökset asennustyökalun suunnitteluprosessille.....	33
	4.4 Asennustyökalun suunnitteluprosessin tulosten uutuusarvo ja hyödynnettävyys.....	35
	4.5 Jatkotutkimusaiheet.....	35
5	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	38

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Haarukka	Osa, joka painaa magneetin paikalleen
Lappu	Ulkoputken päähän hitsattava levy
M6-pultti	Standardikokoinen pultti
M8-pultti	Standardikokoinen pultti
Magneetikuilu	Roottorissa kuiluja, joihin magneetit pudotetaan
Magneettipakka	Magneetit säilötään päällekkäin tornimaisesti
Roottori	Sähkömoottorin pyörivä osa, johon kestopagneetit asennetaan
SolidWorks	Tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma
Ulkoputki	Putki, jonka sisään akselin ympärille kiinnitettävä putki liukuu
VDI2221	Verein Deutsche Ingenieuren järjestelmällisen suunnittelun ohje
Yritys	Yritys, jolle tämä kandidaatintyö on tehty

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tavoite ja merkitys kohdeyritykselle

Robottien markkinat kasvavat vuosittain, ja yhä useampi yritys omaksuu teollisuusrobotin käyttöönsä. Markkinoiden odotetaan jopa kaksinkertaistuvan vuoteen 2025 mennessä (Research and Markets, 2020). Robotit ovat erinomaisia apuvälineitä tuotannossa, ja niiden avulla voidaan saavuttaa parempi tuottavuus ja turvallisuus. Robotti kykenee esimerkiksi tekemään monotonista työtä tauotta ihmiselle vaarallisissa olosuhteissa tuottaen tasaista laatua (Robotics Tomorrow, 2018). Tämä kandidaatintyö on tehty yritykselle, joka valmistaa muun muassa sähkömoottoreita, joiden roottoreiden kokoonpanossa käytetään asennusrobotia. Asennusroboti asentaa kestopagneetit roottoriin oikeille paikoilleen. Työn tarkoituksena on suunnitella ja toteuttaa ratkaisu, joka tehostaa kestopagneettien asennusprosessin tuottavuutta. Tuottavuuden tehostamisella tarkoitetaan tässä tapauksessa asennusprosessin nopeuttamista.

1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Nykyisessä kestopagneettien asennusprosessissa on havaittu olevan pullonkauloja, joihin ratkaisut on tarkoitus kohdentaa. Kandidaatintyön tuloksena tavoitellaan mahdollisimman kustannustehokasta ja helposti toteutettavissa olevaa ratkaisua, jolla saavutetaan noin 30 % parannus tuottavuuteen. Tarkkoja asennusaikoja ei esitetä työssä tietosuojaan vuoksi, ja asennusprosessin kuvina käytetään vain yrityksen toimittamia 3D-malleja.

1.3 Tutkimuksen toteuttamistapa

Työssä käydään aluksi läpi metodiikkaa, jolla päästään haluttuun lopputulokseen, eli asennusprosessin nopeuttamiseen. Tässä kandidaatintyössä hyödynnetään järjestelmällisen suunnitteluprosessin menetelmää VDI2221, joka on saksalaisten insinöörien yhdistyksen (Verein Deutsche Ingenieure) vuosia käytössä ollut ohje (Jänsch & Birkhofer, 2006, s. 49). Järjestelmällistä tuotesuunnitteluprosessia hyödyntäen tavoitellaan ratkaisua, jolla asennusprosessia pystytään tehostamaan. VDI2221:n mukaan suunnittelu etenee askel askeleelta. Aluksi suunnitelmalle laaditaan vaatimuslista, jonka pitää toteutua. Jokaisen vaiheen jälkeen tuloksia tarkastellaan ja vertaillaan aiempaan vaiheeseen. Kun huomataan uusia rajoituksia tai vaatimuksia, niitä tarvittaessa täydennetään vaatimuslistaan. (Pahl &

Betz, 1990, s.64.) Työn tarkoituksena on tuottaa ratkaisusta 3D-mallit ja valmistuspiirustukset. Osien testauksen tuloksia ei käsitellä tässä kandidaatintyössä tehdyn rajauksen vuoksi.

2 METODIT

Parannusratkaisu asennusrobotin tuottavuuden tehostamiseksi suunnitellaan käyttämällä järjestelmällisen tuotesuunnitteluprosessin VDI2221-menetelmää. Kuvassa 1 esitellään kaavio järjestelmällisestä VDI2221-menetelmästä, ja siinä näkyy suunnitteluprosessin eteneminen vaihe vaiheelta. Menetelmän mukaan suunnitteluprosessin ensimmäisessä vaiheessa määritetään ja selvitetään koko suunnitteluprosessin tehtävä, eli mihin tässä työssä etsitään ratkaisua. Kun tehtävä saadaan määriteltyä, aiheeseen perehdytään tarkasti. Ensimmäisessä vaiheessa tuotetaan myös vaatimuslista, jonka tarkoituksena on määrittää pakolliset asiat, jotka on löydettävä valmiista ratkaisusta. Vaatimuslistaa myös täydennetään tarvittaessa suunnitteluprosessin edetessä. (Pahl & Betz, 1990, s.64.) VDI2221:n toisessa vaiheessa selvitetään toiminnot ja niiden rakenteet. Tässä suunnitteluprosessissa toimintojen selvittämisessä perehdytään aluksi yrityksen asennusrobotin työsoluun ja sen osiin, ja sen jälkeen käydään läpi yksityiskohtaisesti asennusprosessin eri vaiheet. Kolmannessa vaiheessa etsitään ratkaisuja, joilla voitaisiin ratkaista ensimmäisessä kohdassa määritelty tehtävä. Tässä suunnitteluprosessissa etsitään siis ratkaisua, jolla voitaisiin tehostaa yrityksen kestopagneettien asennusprosessin tuottavuutta mahdollisimman kustannustehokkaasti ja helposti. Kolmannen vaiheen tuloksena tuotetaan mahdollisia ratkaisuja suunnitteluprosessin ensimmäisessä vaiheessa määritellylle tehtävälle. Tässä työssä päädytään suunnittelemaan uusi työkalu, jolla asennusprosessin tuottavuutta olisi mahdollista tehostaa. Neljännessä vaiheessa tehtävän ratkaisukeinosta tehdään toteutuskelpoinen esitys siitä, miten oikeasti ratkaisu voitaisiin toteuttaa. Tässä vaiheessa siis esitetään ehdotus työkalun varsinaiselle rakenteelle. Viidennessä vaiheessa kehitetään aikaisemman vaiheen ratkaisua ja tuotetaan suunnitelmia toteutukselle. Tässä kandidaatintyön kirjallisessa osuudessa vaiheet 4 ja 5 on yhdistetty yhden kappaleen alle. Kuudennessa vaiheessa suunnitteluprosessin ratkaisu viimeistellään eli työkalun jokainen osa käydään läpi, ja osille tehdään vielä viimeiset muutokset. Viimeinen VDI2221:n mukainen vaihe on valmistuspiirustusten ja käyttöohjeiden laatiminen tuotetulle ratkaisulle ja siihen liittyville osille. (Jänsch & Birkhofer, 2006, s. 49.)

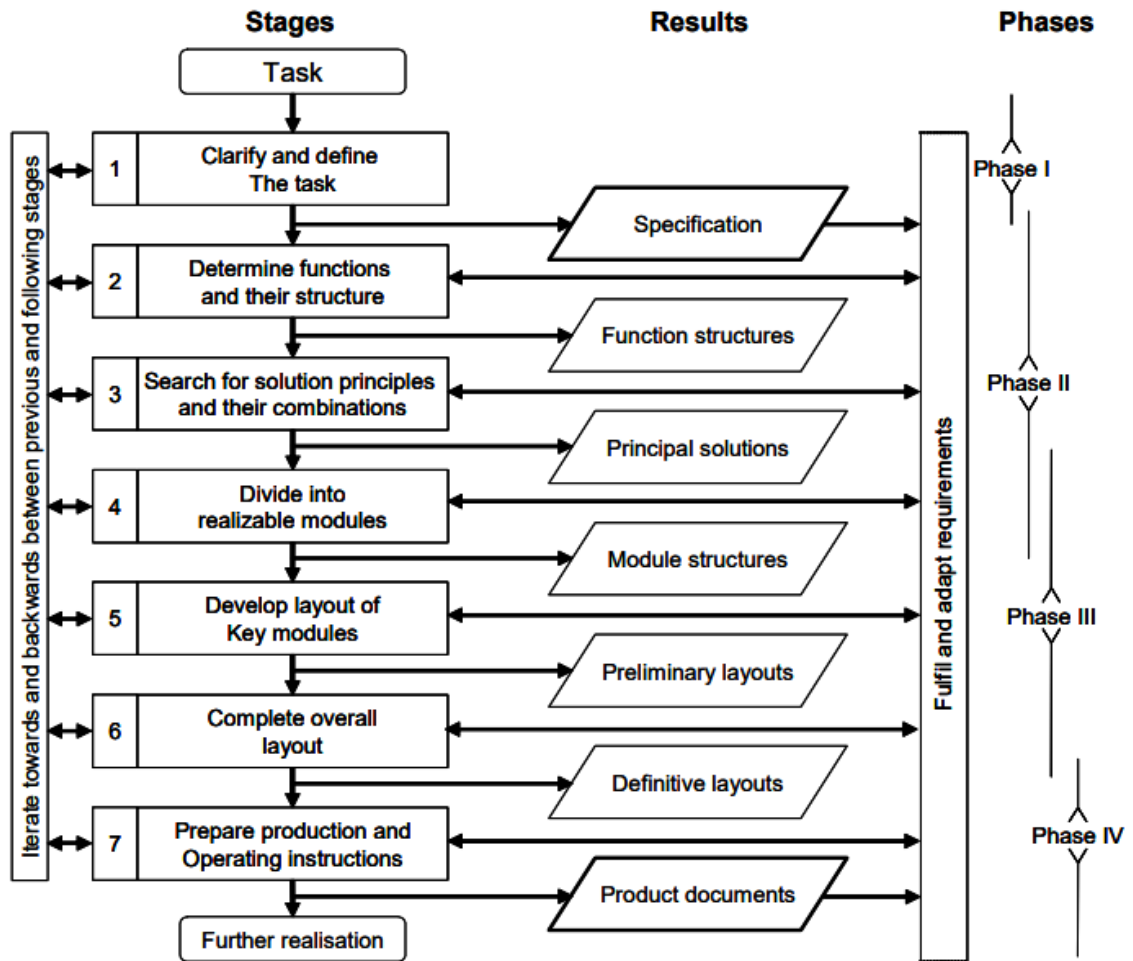


Figure 4. Guideline VDI 2221

Kuva 1. VDI2221 (Jänsch & Birkhofer, 2006, s. 49)

3 ASENNUSTYÖKALUN SUUNNITTELUPROSESSIN TULOKSET

3.1 Tehtävän selvitys

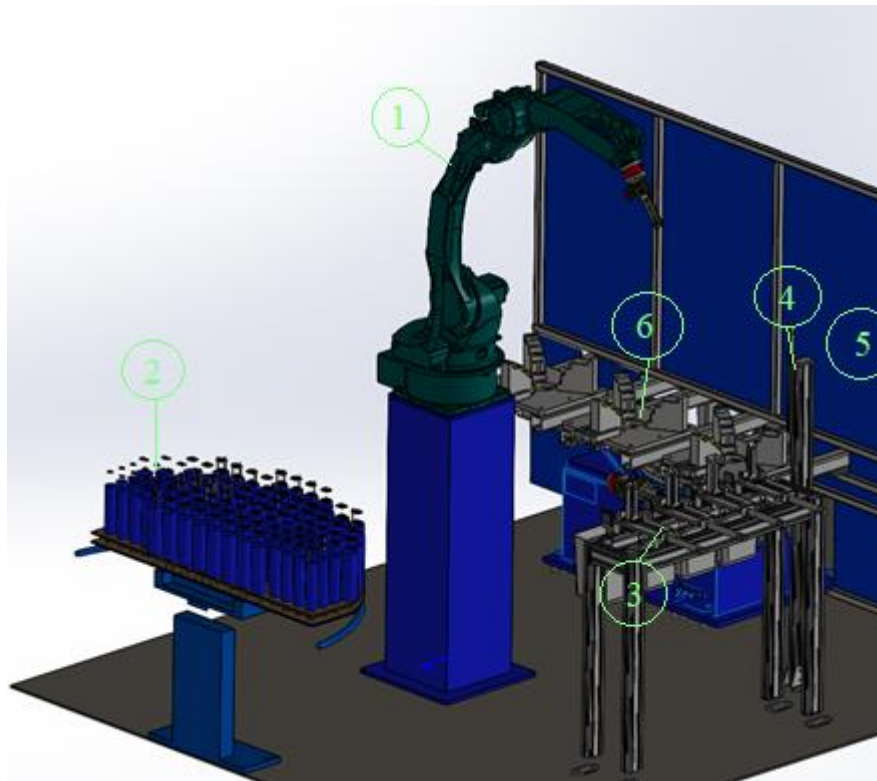
VDI2221:n mukaan ensimmäisen suunnittelun vaihe on tehtävän määrittäminen (Jänsch & Birkhofer, 2006, s. 49), joka on tässä kandidaatintyössä ratkaisun suunnittelemisen kestopagneettien asennusprosessin tuottavuuden tehostamiseksi. Tavoitteena noin 30 %:n parannus tuottavuuteen mahdollisimman kustannustehokkaasti ja helposti toteutettuna. Ensimmäisessä suunnitteluvaiheessa laaditaan myös vaatimuslista parannusratkaisulle. VDI2221:n mukaan tehdään tämänhetkinen vaatimuslista parannusratkaisulle. Yritys on esittänyt vaatimuksia parannusratkaisulle. Vaatimukset ovat seuraavat:

- 1) Tavoitteena noin 30 %:n parannus tuottavuuteen
- 2) Asennusrobotti pysyy samana
- 3) Ratkaisu on kustannustehokas
- 4) Ratkaisu on helposti toteutettavissa
- 5) Työsolun koon rajoitukset on huomioitu
- 6) Asennusrobotin rajoitukset on huomioitu

3.2 Kestomagneettien asennusprosessin tarkastelu

Järjestelmällisen suunnittelun toinen vaihe on määrittellä toiminnot ja niiden rakenteet (Jänsch & Birkhofer, 2006, s. 49). Aluksi tulee perehtyä tarkasti nykyiseen kestopagneettien asennusprosessiin. Tämä on tärkeää, jotta pystytään suunnittelemaan ja kehittämään parannusratkaisu asennusprosessille. Kuvassa 2 esitetään asennusrobotin työsolu, josta voidaan tunnistaa seuraavat osat:

- 1) Asennusrobotti
- 2) Erikokoisia magneettipakkoja
- 3) Hydraulisia magneettien erottimia
- 4) Kaksihaarainen työkalu
- 5) Liiman pursotin, joka ei näy kuvassa
- 6) Alustoja roottorien kiinnittämiseksi



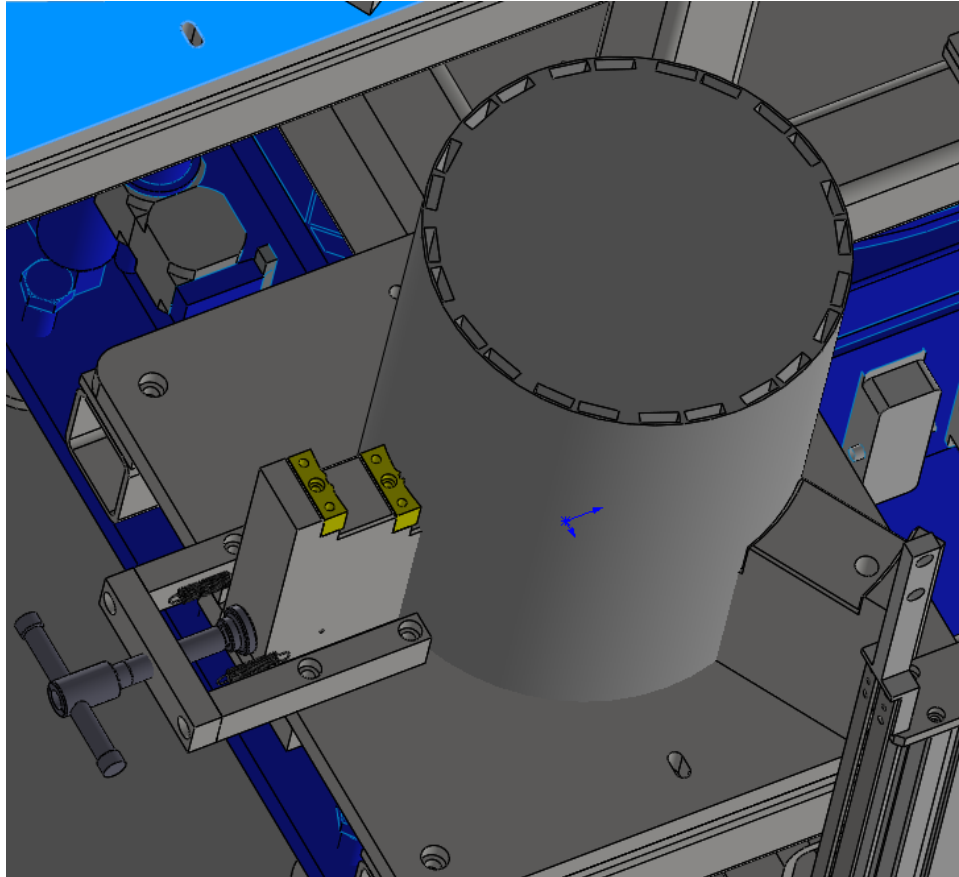
Kuva 2. Asennusrobotin työsolu (Yritykseltä saatu materiaali.)

Robotin asennusprosessi koostuu monesta eri vaiheesta, mutta se voidaan jakaa kahteen päävaiheeseen ja useaan sivuvaiheeseen. Asennusprosessin päävaiheet A ja B, sekä sivuvaiheet lueteltuna:

- A) Roottorin magneettikuilujen täyttäminen. Tätä toistetaan, kunnes kierros on valmis.
- 1) Robotti ottaa kourallaan yhden magneetin kestopagneettien erottimesta.
 - 2) Liima pursotetaan magneetin toiseen pätyyn.
 - 3) Magneetti pudotetaan roottorin magneettikuiluun.
- B) Kun A:n kierros on valmis, magneetit painetaan pohjaan asti.
- 4) Robotti hakee kaksihaaraisen työkalun eli ”haarukan” telakastaan.
 - 5) Robotti painaa kaikki kierroksen magneetit pohjaan haarukalla.
 - 6) Haarukka palautetaan telakkaan.

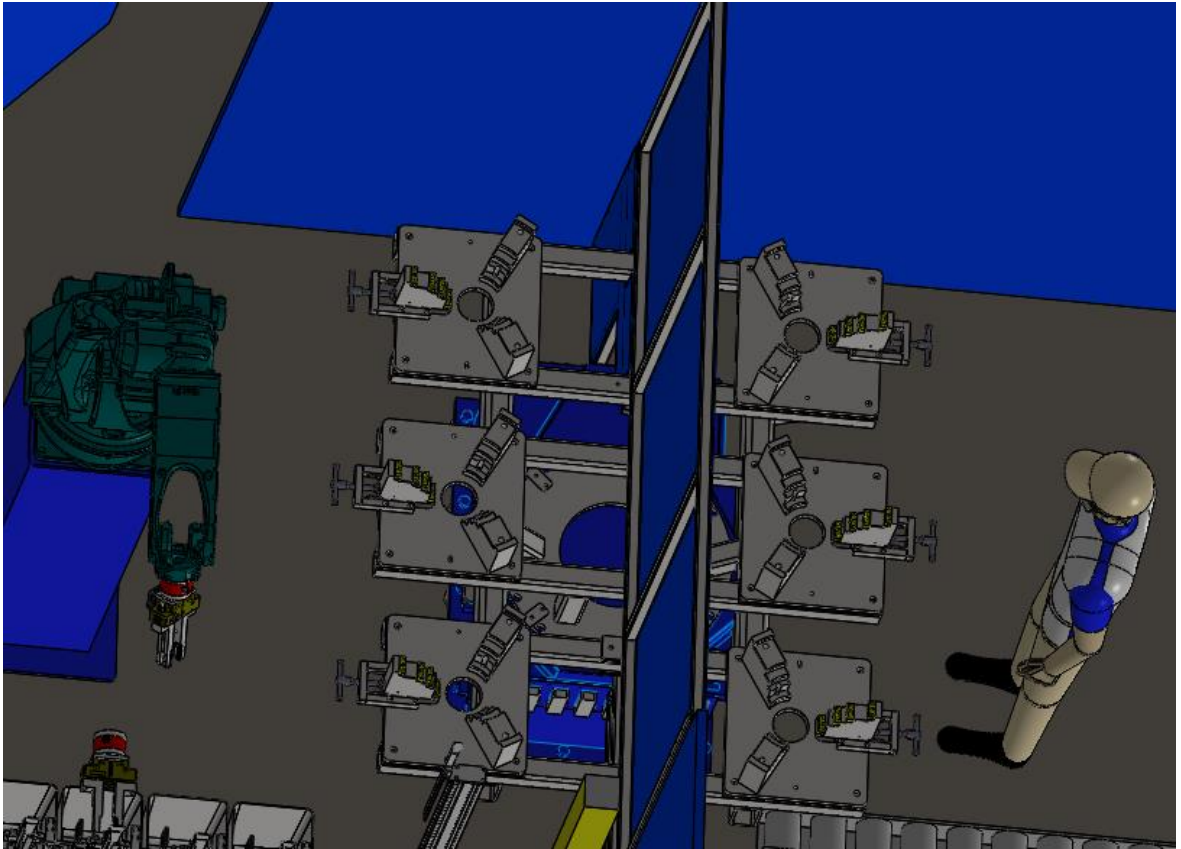
A ja B päävaiheita toistetaan niin kauan, kunnes roottorin magneettikuilut on täytetty kokonaan kestopagneeteilla.

Ensimmäinen asennusprosessin päävaihe (A) on siis roottorin magneettikuilujen täyttäminen kestmagneeteilla yksi kerrallaan ja kierros kerrallaan. Kuvassa 3 esitetään roottori kiinnitettynä asennusalustaan ja sen magneeteilla täytettävät kuilut.



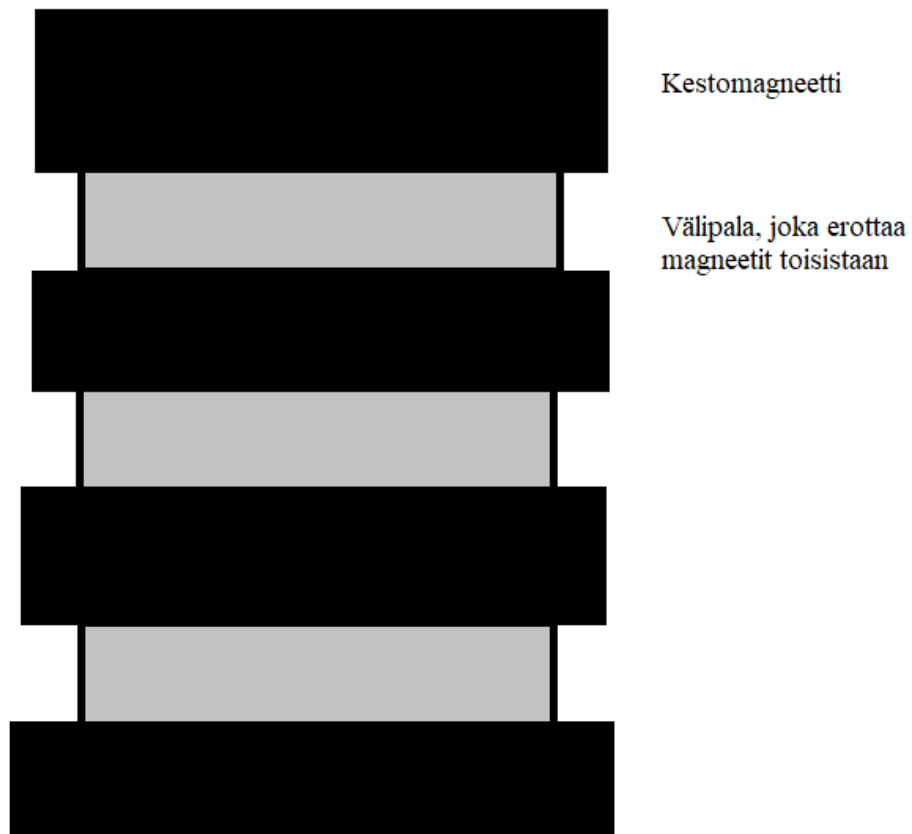
Kuva 3. Roottori kiinnitettynä alustaan. Magneettikuilut näkyvät kuvassa, ja niitä on tällä roottorityypin halkaisijalla 24 eli 12 paria (Yritykseltä saatu materiaali.)

Prosessin operaattori eli työntekijä on asennusrobotin työsolun ulkopuolella ja syöttää uusia roottoreita työsoluun, sekä ottaa valmiita ulos. Kuvassa 4 nähdään tämä havainnollistettuna.



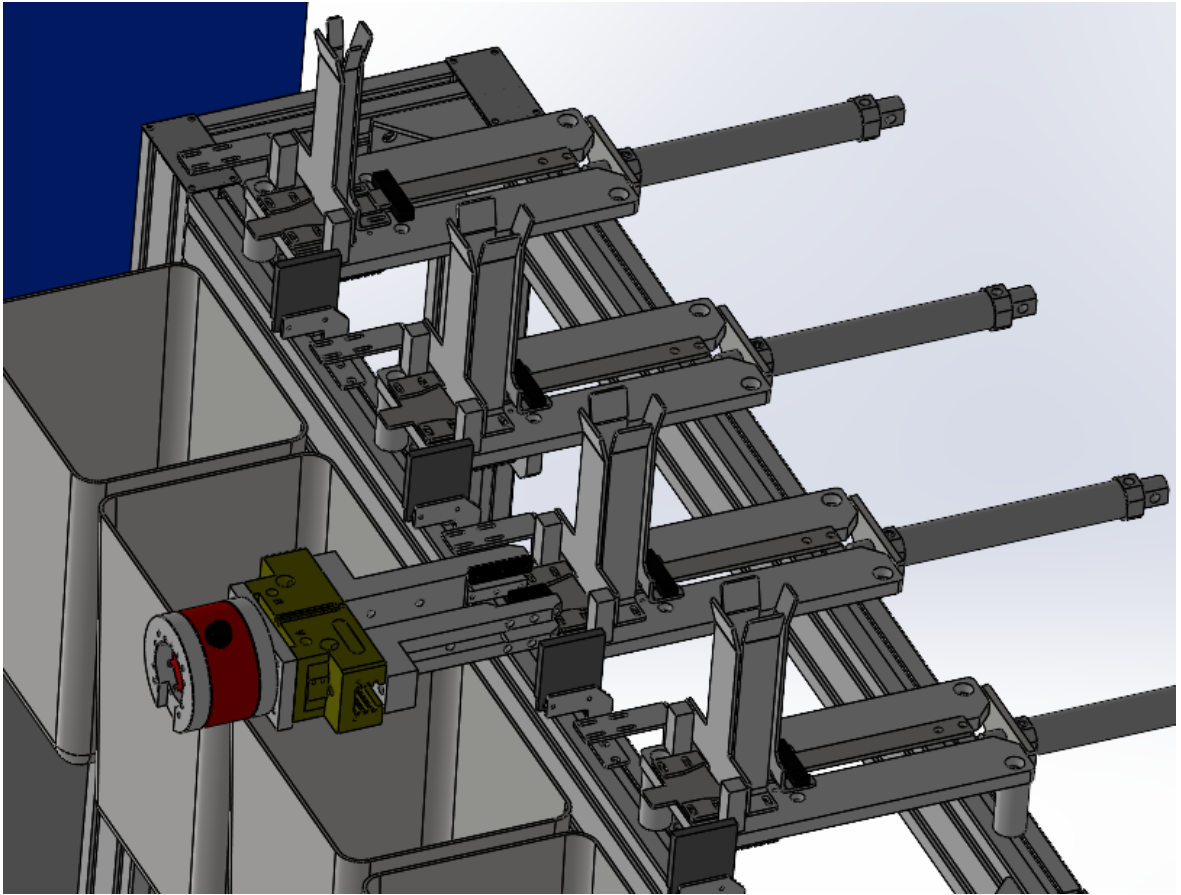
Kuva 4. Prosessioperaattori työsolun ulkopuolella (Yritykseltä saatu materiaali.)

Magneetikulut täytetään vain yksi kerrallaan johtuen asennusrobotin kourasta. Magneetteja varastoidaan pakoissa asennusrobotin työsolun sivupöydällä, joka näkyy kuvassa 2. Sivupöytä on pyörivä. Kun lisämagneettipakat loppuvat, uudet magneettipakat voidaan pyöräyttää tilalle. Pakoissa on erikokoisia magneetteja erikokoisille roottorihalkaisijoille. Magneettipakka on tornimainen ja se esitellään kuvassa 5. Kestomagneetit erottaa toisistaan välipala, joka estää magneettien tarttumisen toisiinsa.



Kuva 5. Hahmotelma magneettipakasta.

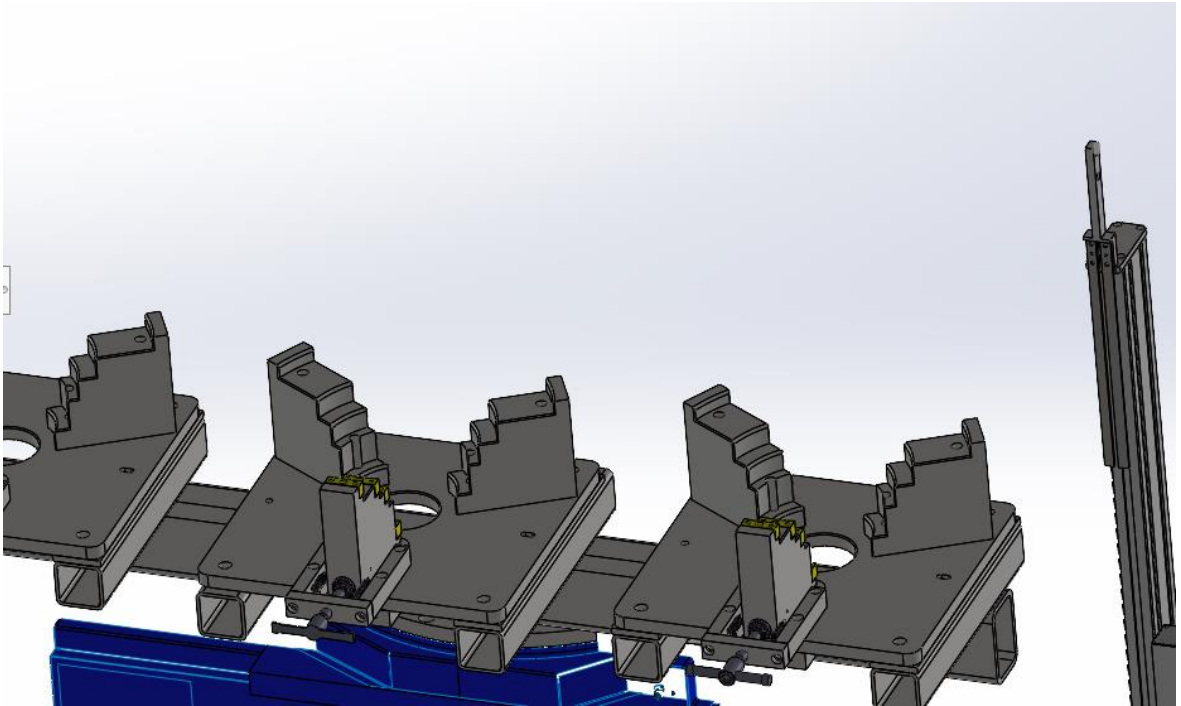
Kestomagneetit eivät ole suoraan käytettävissä magneettipakoista sellaisenaan, vaan magneetit pitää erottaa välipaloista yksitellen, jotta asennusrobotin koura voi tarttua niihin. Kuvassa 6. esitetään hydraulinen magneettien erotin. Magneettien erottimia on neljä vierekkäin, ja ne ovat erikokoisille magneeteille. Magneettipakka syötetään erottimen kuiluun yläkautta. Kone painaa yhden magneetin ulos sivulta, jotta robotin koura voi tarttua siihen. Toisella liikkeellä hydraulinen erotin painaa magneettipakan välipalan magneettien erottimen edessä olevaan roskakoriin.



Kuva 6. Magneettien erottimia (Yritykseltä saatu materiaali.)

Kun asennusrobotti on saanut yhden magneetin kouraansa, se siirtyy liiman pursottimelle, jossa liimaa syötetään magneetin toiseen päähän. Tämän jälkeen asennusrobotti siirtyy roottorille ja pudottaa kestmagneetin roottorin magneettikuiluun. Kun kestmagneetti on saatu pudotettua, asennusrobotti palaa takaisin magneettien erottimelle ottaakseen uuden magneetin kouraansa.

Toinen päävaihe (B) tapahtuu valmiin kierroksen jälkeen, jolloin kierroksen kestmagneetit on pudotettu magneettikuiluihin. Tässä asennusvaiheessa kestmagneetit painetaan vielä pohjaan erillisellä kaksihaarisella työkalulla, jonka robotti hakee kourallaan telakastaan. Kaksihaarainen työkalu näkyy kuvassa 7.



Kuva 7. Kaksihaarainen haarukka oikealla ja vasemmalla roottorien kiinnitysalustoja vierekkäin (Yritykseltä saatu materiaali.)

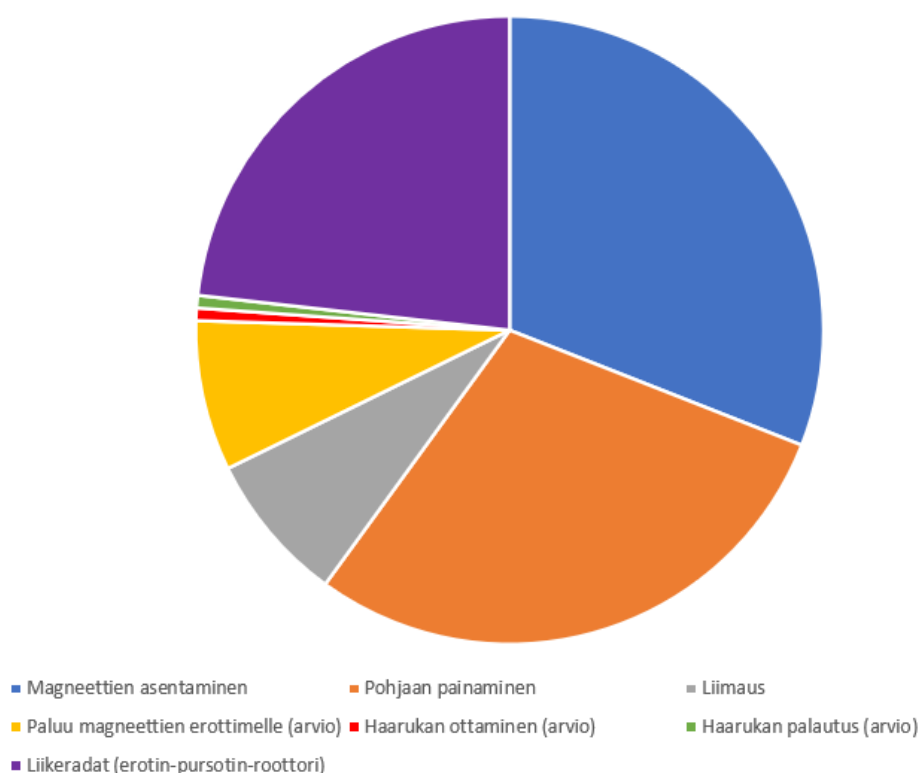
Kun kaikki saman kierroksen magneetit on tiputettu magneettikuiluihin, ne on painettu pohjaan ja haarukka on palautettu telakalleen, asennusrobotti voi aloittaa kasaamaan uutta kierrosta kestmagneetteja vanhan kierroksen päälle. Kuilujen täyttämiskierroksia ja magneettien painamiskierroksia toistetaan niin kauan, kunnes roottorin kuilut on täytetty kokonaan kestmagneeteilla.

3.2.1 Kestomagneettien asennusprosessin eri vaiheet

Kun on selvitetty asennusprosessin toimintaperiaate, työsolun rakenne ja eri osien toiminnot, voidaan perehtyä tarkemmin eri asennusvaiheiden keston. Asennusvaiheisiin kulunut aika on selvitetty taulukoimalla ne. Tällöin parannusratkaisut voidaan kohdentaa kaikista hitaimpiin vaiheisiin, ja selvittää, miten päästään tuohon työssä tavoiteltavaan noin 30 %:n parannukseen tuottavuudessa. Koronaviruksesta johtuen yritysvierailu ei ollut mahdollinen. Tämän vuoksi asennusprosessiin kuluva aika on taulukoitu perustuen yrityksen toimittamaan videomateriaaliin asennusprosessista. Näitä videoita käyttäen kelloitin eri asennusvaiheisiin kuluneen ajan. Tämä oli mielestäni järkevä tapa lähestyä parannusratkaisua. Kuvassa 8, esitely eri asennusvaiheisiin kulunut aika, ja tästä voidaan huomata, että selkeästi eniten aikaa kuluu yhdessä kierroksessa kestmagneettien

asentamiseen paikoilleen (31 %), kestopagneettien pohjaan painamiseen (29 %), sekä liikeratoihin magneettien erottimen, liiman pursottimen ja roottorin välillä (23 %). Tässä taulukossa ei olla huomioitu kestopagneettien erottimien täyttämistä magneettipakoilla, koska videomateriaalissa ei ollut kohtaa, josta tämä olisi ollut mahdollista kelloittaa. Samasta syystä myös kohdissa paluu kestopagneettien erottimelle, haarukan ottaminen ja sen palautus ei olla käytetty varsinaista kelloitettua aikaa. Hyödynnän näille tapauksille kuitenkin arvioitua aikaa, jonka määrittäminen oli helpompaa perustuen saatavilla olevaan videomateriaaliin. Arviossa on kuitenkin syytä huomioida virheen mahdollisuus.

Kierrokseen kulunut aika prosentteina



Kuva 8, Kierrokseen kulunut aika prosentteina

3.3 Ratkaisujen etsintä kestopagneettien asennusprosessin nopeuttamiseksi

Tässä suunnitteluvaiheessa etsitään varsinaisia ratkaisuja, ja niiden rakenteita kestopagneettien asennusprosessin tehostamiseksi. Kuten aikaisemmin tuli ilmi, suurin osa ajasta asennusprosessissa kuluu kestopagneettien asentamiseen eli pudottamiseen roottorin magneettikuiluihin (31 %), Toiseksi eniten aikaa kuluu kestopagneettien pohjaan painamiseen (29 %) ja kolmanneksi eniten aikaa liikeratoihin kestopagneettien erottimen,

liiman pursottimen ja roottorin välillä (23 %). Jotta päästäisiin haluttuun noin 30 %:n parannukseen tuottavuudessa, on syytä kohdentaa parannusratkaisut eniten aikaa vieviin kohtiin asennusprosessissa. Tarkastellaan tarkemmin kyseisiä asennusvaiheita, ja käydään läpi sitä, miten niitä voitaisiin nopeuttaa hypoteettisesti. Parannusehdotuksen toteutettavuutta myös analysoidaan.

Magneettien asentaminen (31 %): Suurin syy tämän asennusvaiheen pitkälle kestolle on se, että magneetit joudutaan pudottamaan yksi kerrallaan magneettikuiluihin. Tämä johtaa myös siihen, että aina pitää hakea uusi magneetti magneettien erottimelta. Myös yksittäisen magneetin pudottamiseen magneettikuiluun kuluu kohtuullisen paljon aikaa. Parannusehdotuksia ja analysointia, kuinka helposti ne ovat toteutettavissa:

- 1) Useamman magneetin pudottaminen kerrallaan. Koska itse asennusrobotia ei voida vaihtaa, pitäisi suunnitella kohtuullisen monimutkainen työkalu, johon nykyinen asennusrobotin koura tarttuisi. Itse työkalu pystyisi tarttumaan useampaan magneettiin kerrallaan. Tämä vaatisi myös mahdollisesti magneettien erottimien muokkaamisen.
- 2) Useamman magneetin pitäminen mukana, jotta ei tarvitsisi palata magneettien erottimelle joka kerta. Magneeteille tulisi tehdä teline, joka kiinnitettäisiin asennusrobotin kouran kylkeen. Telineen pitäisi olla ladattavissa uudella magneettipakalla. Teline tarvitsisi myös magneettien erottimen ja jonkinlaisen menetelmän, jolla magneetti syötettäisiin kouran otteeseen. Tämä olisi kuitenkin monimutkainen laite, joka mahdollisesti häittäisi kouran toimintaa.
- 3) Yksittäisen magneetin pudottamiseen kuluneen ajan pienentäminen. Tätä olisi ehkä mahdollista pienentää lisäänturoinnilla tai asennusohjelman tarkkuuden parantamisella. Tämän vaihtoehdon toimivuudesta on vaikea sanoa, ja prosentuaalinen parannus tehokkuuteen ei välttämättä olisi kovin merkittävä. Toimivuuden tarkastelemiseksi olisi myös päästävä käsiksi asennusohjelmaan.

Kestomagneettien pohjaan painaminen (29 %): Tämä asennusvaihe vaati suuren määrän aikaa, koska nykyinen työkalu on kaksihaarainen eli se kykenee painamaan vain 2 kestomagneettia pohjaan kerrallaan. Tässä asennusvaiheessa myös itse pohjaan painaminen vaatii paljon aikaa.

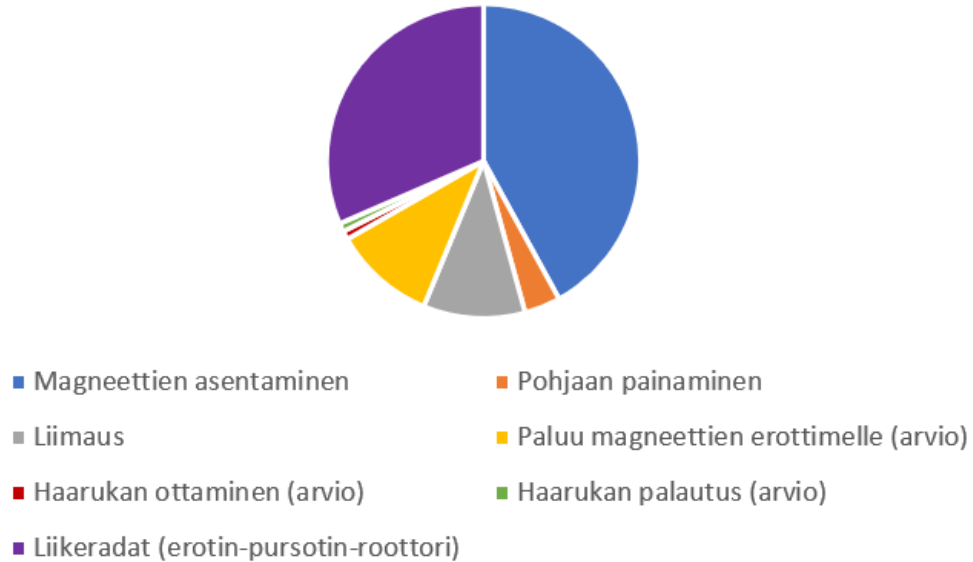
- 1) Useamman magneetin pohjaan painaminen. Työkalu voisi olla yksinkertaisesti monihaarainen työkalu, joka kykenisi painamaan kokonaisen kierroksen pohjaan.
- 2) Yksittäisen painalluksen nopeutta olisi ehkä mahdollista nopeuttaa lisäanturoinnilla tai asennusohjelman parantamisella. Tämän ratkaisun toimivuudesta ja konkreettisesta toteuttamisesta on kuitenkin vaikea sanoa.

Liikeradat kestomagneettien erottimen, liiman pursottimen ja roottorin välillä (23 %): Liikeratoihin kuluu kohtuullisen paljon aikaa asennusprosessista, mutta ne vaikuttavat tällä hetkellä hyvin optimoiduilta videomateriaalin perusteella, mikä rajoittaa tämän kohdan tehokkuuden parantamista.

- 1) Liikeratojen pienentäminen liiman pursottimen uudelleensijoittelulla. Sijoittamalla liiman pursotin esimerkiksi suoraan roottorien tai magneettien erottimen ylle. Tällä parannusehdotuksella on ehkä mahdollista saada pieni parannus tuottavuuteen.

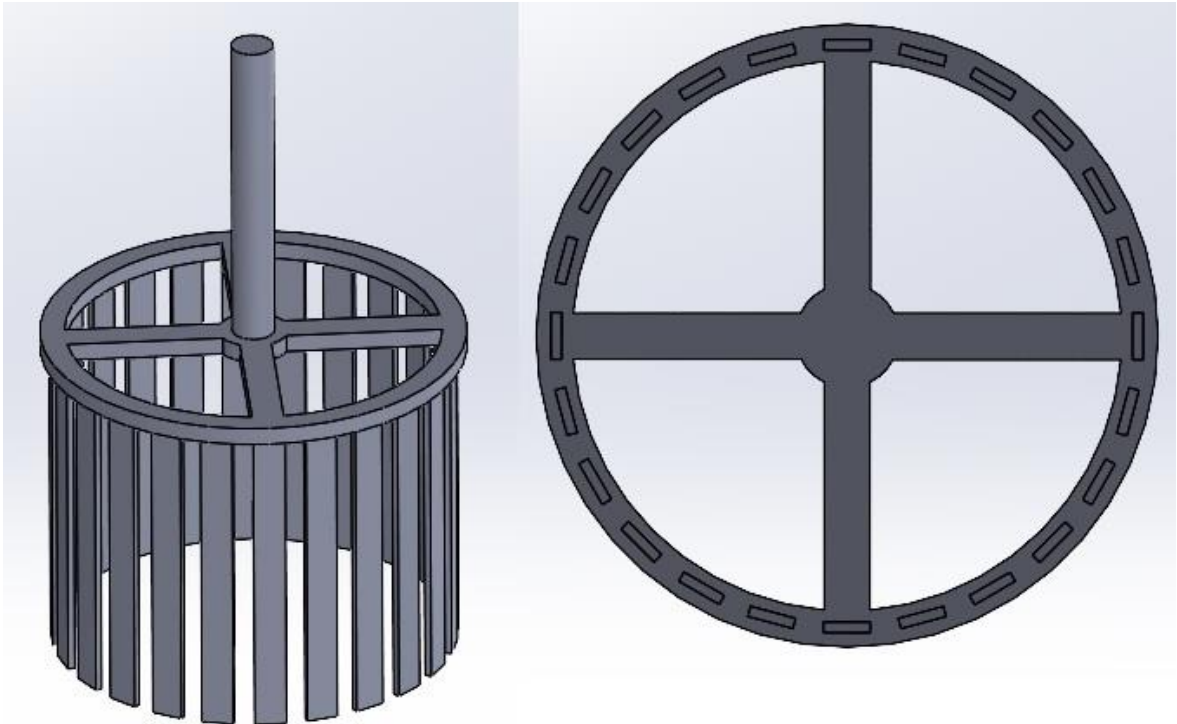
Tarkastelun tuloksena selkeästi helpoimmalta ja kustannustehokkaalta ratkaisulta vaikuttaa parannusratkaisu, joka keskittyy useamman kestomagneetin pohjaan painamiseen. Tekemäni taulukon mukaan, painamalla kokonainen kierros pohjaan kerrallaan saavutettaisiin noin 27 %:n parannus tuottavuuteen, joka olisi tarpeeksi lähellä yrityksen haluamaa parannusta. Kuvassa 9 on nähtävissä uudet prosentuaaliset osuudet asennusprosessiin kuluneesta ajasta käyttäessä uutta monihaaraista työkalua. Kuvasta nähdään pohjaan painumisen osuuden pienentyneen 4 %:n kokonaiseen kierrokseen kuluneesta ajasta.

Kierrokseen kulunut aika prosentteina (uusi)



Kuva 9, Kierroksen asennusvaiheet prosentteina uudella työkalulla

Helpoin ratkaisu kestmagneettien asennusprosessin nopeuttamiseksi vaikuttaa olevan uuden monihaaraisen työkalun käyttäminen magneettien pohjaan painamisessa. Työkalu pitää kuitenkin ensin suunnitella ja valmistaa. Kuvassa 10 esitetty SolidWorksilla 3D-mallinnettu karkea hahmotelma uuden monihaaraisen työkalun mahdollisesta geometriasta. Monihaaraisen työkalun haarukat kiinnitettäisiin alustaan, josta on karsittu turha materiaali pois painon vähentämiseksi. Asennusrobotin koura tarttuisi kuvassa nähtävään sylinteriin. Yrityksen edustajien kanssa käytiin seurantapalavereja, joissa käytiin läpi tekemiäni 3D-malleja, ja edustajat pystyivät tuomaan esille uusia vaatimuksia työkalun osille.



Kuva 10, Hahmotelma monihaarisesta työkalusta

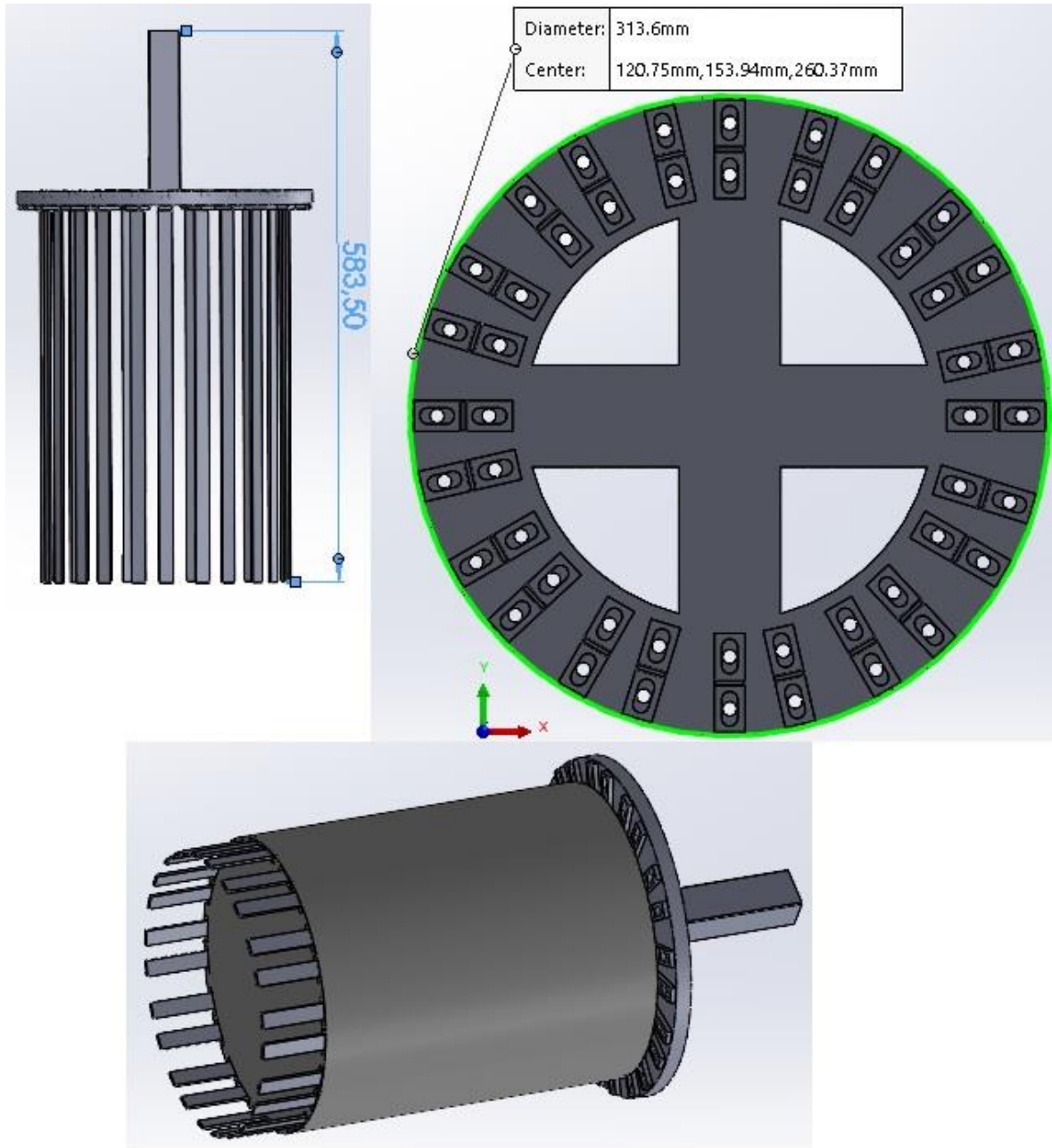
Yrityksen edustajat sanoivat olevansa tyytyväisiä kuvan 10, hahmotelman kaltaiseen kehitysratkaisuun, joka ylittää lähelle toivottua prosentuaalista parannusta taulukoinnin ja tarkastelun perusteella. He kuitenkin esittivät uusia spesifejä vaatimuksia ehdotetulle monihaariselle työkalulle:

- Mahdollisuus irrottaa haarukoita
- Säättövaraa haarukoiden kiinnityksissä
- Helposti koneistettavat osat
- Asennusrobotin kouralle tasainen tarttumapinta
- Tarpeeksi kevyt
- Materiaali ei saa tarttua magneetteihin

3.4 Toteutuskelpoinen rakenne monihaariselle työkalulle

Uusien yrityksen esittämien vaatimusten pohjalta luotiin ensimmäinen versio monihaarisesta työkalusta. Työkalun valmistusmateriaaliksi valittiin alumiini, joka on sama kuin aikaisemmalla kaksihaarisella työkalulla. Yritys toimitti minulle myös valmiin 3D-mallin roottorista, jonka geometrian pohjalle uusi työkalu tulisi 3D-mallintaa. Erityisesti tuli kiinnittää huomiota siihen, että työkalun haarukat painuvat oikein magneettikulujen lävitse.

Kuvasta 11 nähdään, mitä muutoksia hahmotelmaan on tehty. Haarukoiden kiinnitys on toteutettu kaksipuoleisella pultiliitoksella alustaan, ja kiinnityksiin on lisätty säätövaraa. Tähän versioon asennusrobotin kouran tarttumapinta on muutettu tasaiseksi, jotta robotti kykenisi saamaan hyvän otteen.

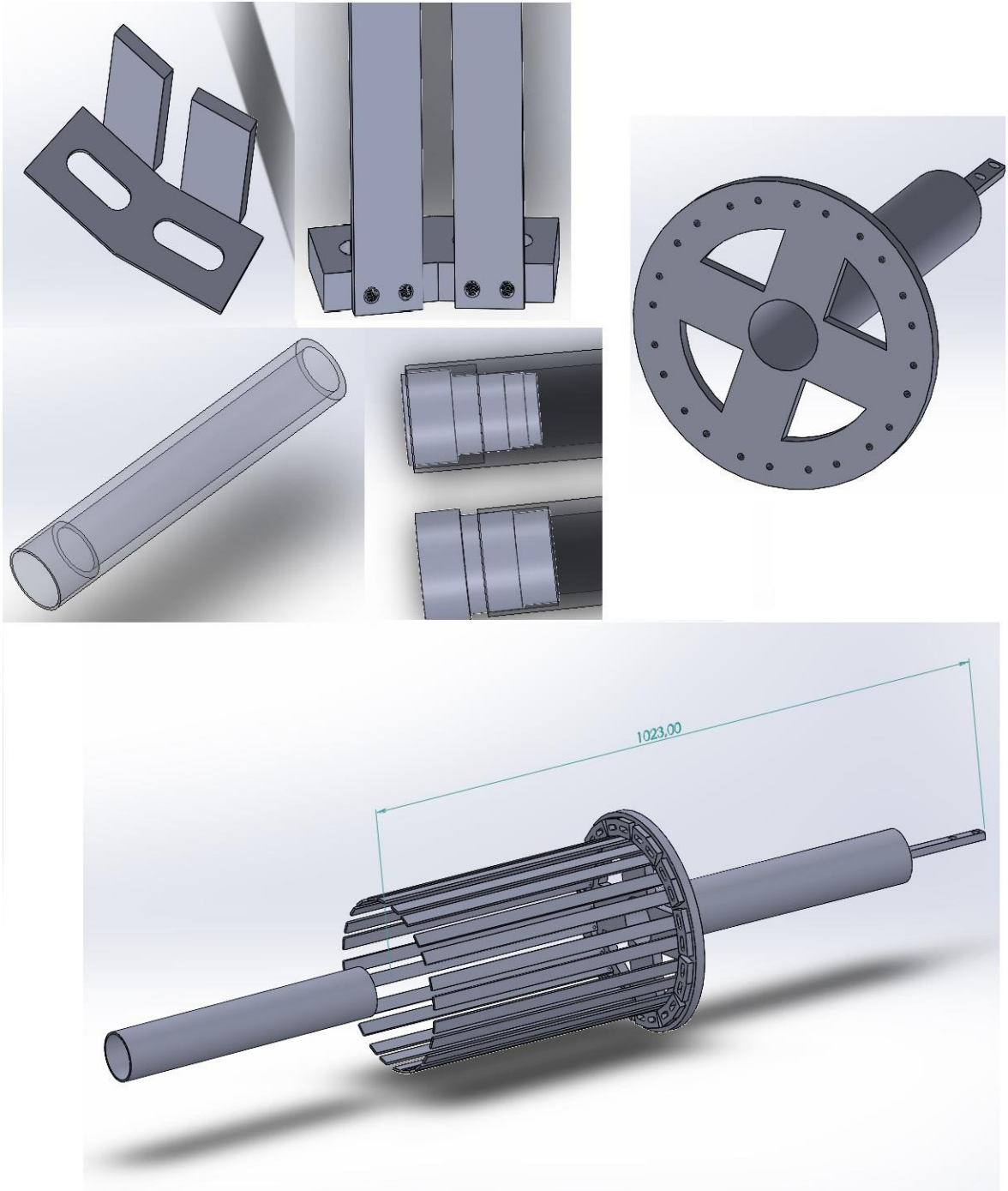


Kuva 11, Ensimmäinen versio monihaaraisesta työkalusta (Roottorin 3D-malli yritykseltä.)

Yrityksen kanssa käydyssä seurantalaverissa ensimmäistä versiota tutkittiin ja yrityksen edustajat esittivät, että työkalun haarukkaa kannattaisi muokata helpommin työstettäväksi, siten, että haarukan kiinnitys tehtäisiin myös pulttiliitoksella runkoon, joka sitten kiinnitetään itse alustalevyyn. Kävi myös ilmi, että työkalulle kannattaisi toteuttaa jokin ratkaisu, joka auttaa haarukoiden ohjaamista roottorin magneettikuiluihin. Seuraavaksi siis piti miettiä erilaisia keinoja toteuttaa ohjaamisen avustus:

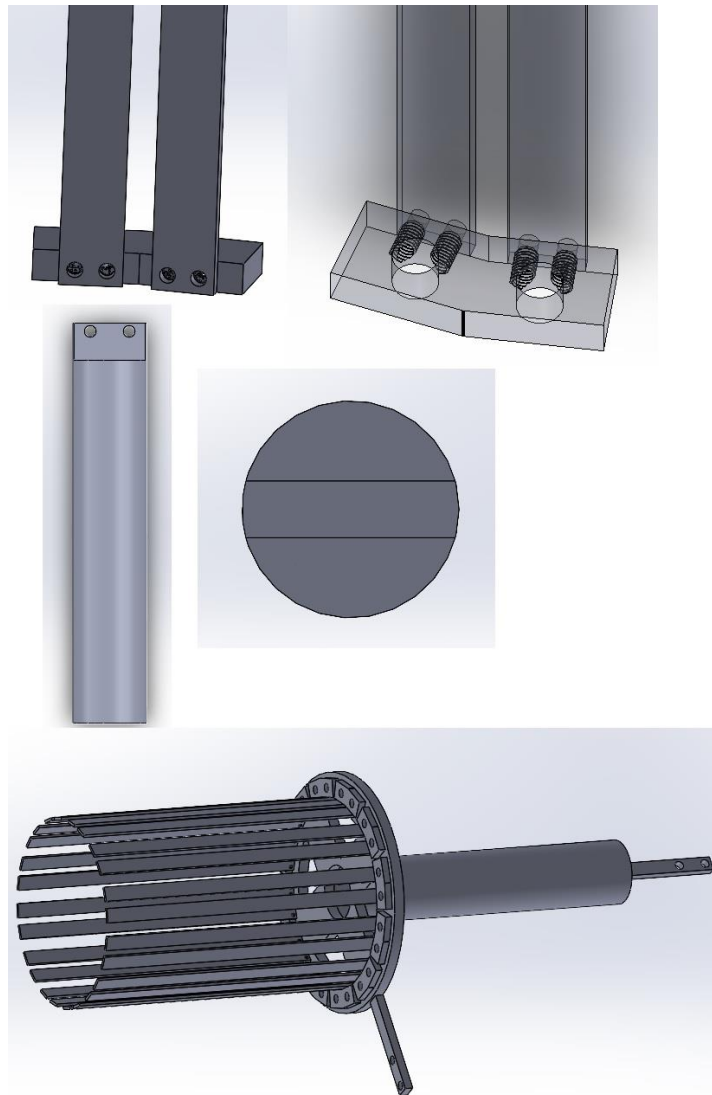
- Alustalevyyn kiinnitetty sylinteri, joka liukuu roottorin ulkohalkaisijaa pitkin
- Roottorin akseliin erikseen kiinnitettävä putki, joka liukuu haarukkatyökalun rungon sisään

Näistä ehdotuksista päädyttiin erikseen kiinnitettävään putkeen, koska sylinterin tapauksessa huomattiin olevan rakenteellisia ongelmia. Akselin ympärille erikseen kiinnitettävässä putkessa tulee kuitenkin huomioida se, että asennusaika lisääntyy jonkin verran aikaisempaan tarkasteluun nähden, koska asennusroboti joutuu ensiksi laittamaan putken paikoilleen, ja sen jälkeen nostamaan varsinaisen työkalun. Lisääntyneestä asennusvaiheesta huolimatta asennusajan lyheneminen pitäisi silti olla edelleen merkittävä. Yritys myös esitti putkelle vaatimuksen, että sen voisi kiinnittää kahdelle eri roottorin akselikoolle. Koska yrityksen toimittamassa roottorin 3D-mallissa ei ole nähtävissä akselia, juoduin mallintamaan molemmat akselit erikseen, jotta putken voisi sovittaa niille. Tätä varten yritys toimitti minulle piirustukset, joista pystyin ottamaan akseleiden mitat ja tekemään 3D-mallit näitä varten. Kuvassa 12, esitellään uusi versio, johon on muutettu haarukan kiinnitykset. Runkoon on tehty reikä keskelle, jonka sisään akseliin kiinnitettävä putki voi liukua. Työkaluun lisättiin myös erillinen kahva asennusrobotin kouralle, jonka geometria on sama, kuin tämänhetkiselällä kaksiharaisella työkalulla. Kuvassa näkyy myös läpinäkyvänä akseliin kiinnitettävä putki, jolla on kaksi sisähalkaisijaa erikokoisille akseleille.



Kuva 12. Toinen versio

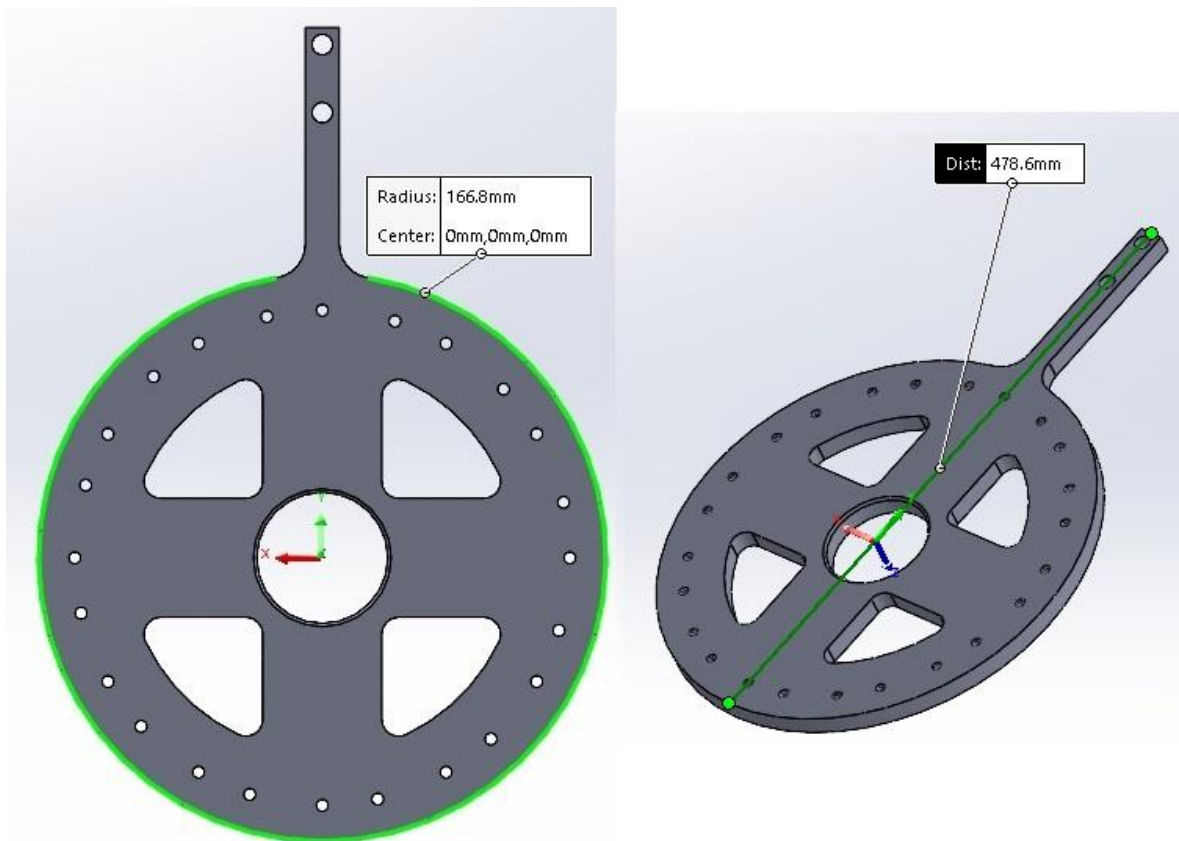
Seurantapalaverissa tarkasteltiin monihaaraisen työkalun uutta versiota. Viimeisen päivityksen seurauksena työkalun pituus on kuitenkin kasvanut sen verran, että aletaan olemaan asennusrobotin työalueen ulkopuolella nostaessa työkalua paikoilleen akselin ympärille kiinnitettävän putken päälle. Tämän seurauksena joudutaan lisäämään toinen kahva myös kiinnitysalustaan, jota asennusrobotti käyttää nostaessa monihaaraista työkalua paikoilleen. Akseliin kiinnitettävälle putkelle tehdään myös erityinen kohta, johon asennusrobotti pystyy helposti tarttumaan kourallaan. Ulkoputkelle laitetaan selkeästi suurempi halkaisija, kuin akseliin kiinnitettävälle sisäputkelle, jolloin ohjaaminen tapahtuu alustalevyn paksuudelta. Haarukan kiinnityksessä käytettävät ”slotit” vaihdetaan myös tavallisiksi rei’iksi ja kierteiden reiät tehdään kokonaan läpi aukkoon asti. Muutokset tehtiin 3D-malleihin ja ne ovat nähtävissä kuvassa 13.



Kuva 13. Tehdyt muutokset

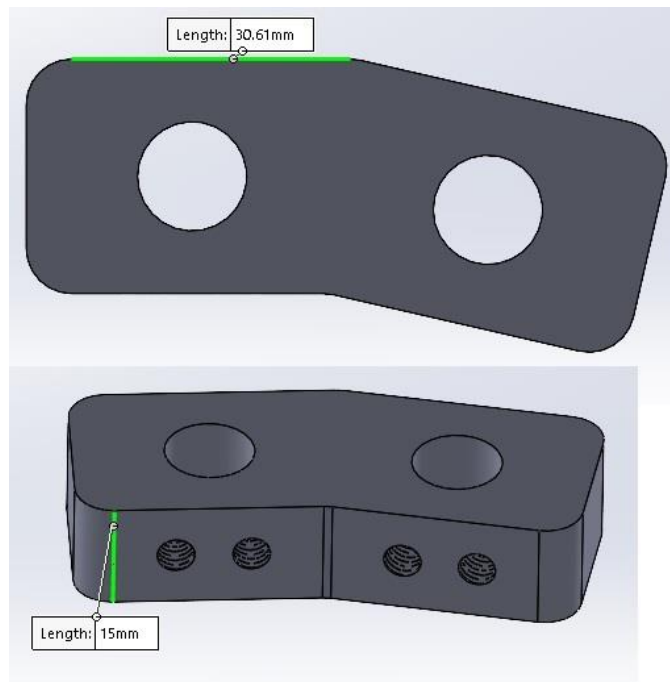
3.5 Asennustyökalun osien viimeistely ja tarkastelu

Viimeisessä vaiheessa suunnitellun monihaaraisen työkalun kaikki osat käydään yksi kerrallaan läpi. Ne viimeistellään ja laitetaan tarvittavat viisteet ja pyöristykset. Kuvassa 14 nähdään työkalun kiinnitysalusta, johon muut työkalun osat kiinnitetään. Pyöristykset on lisätty koneistamisen helpottamiseksi, ja viiste on lisätty keskelle, jotta putki painuisi helpommin sisään. Asennusrobotin tarttumiskahvasta on tehty myös alustan kanssa tasapaksu, jotta osan voi leikata suoraan levystä irti. Haarukat kiinnitetään levyyn M8-pulteilla, joten alustaan tehdään vastaavat kierteet.



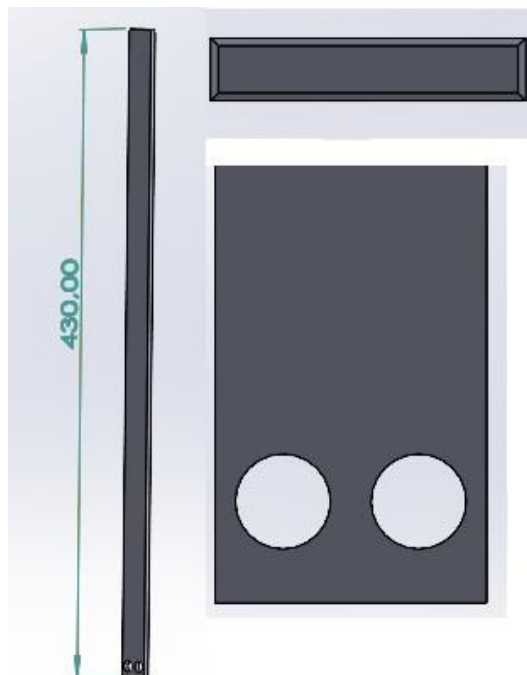
Kuva 14. Alusta

Työkalun haarukan runko esitellään kuvassa 15. Osaan on lisätty pyöristykset joka kulmaan, ja osa on yhtä paksu kuin alustalevy. Kuvassa näkyvät kierteet ovat M6-pulteille, joilla itse haarukat kiinnitetään runkoon.



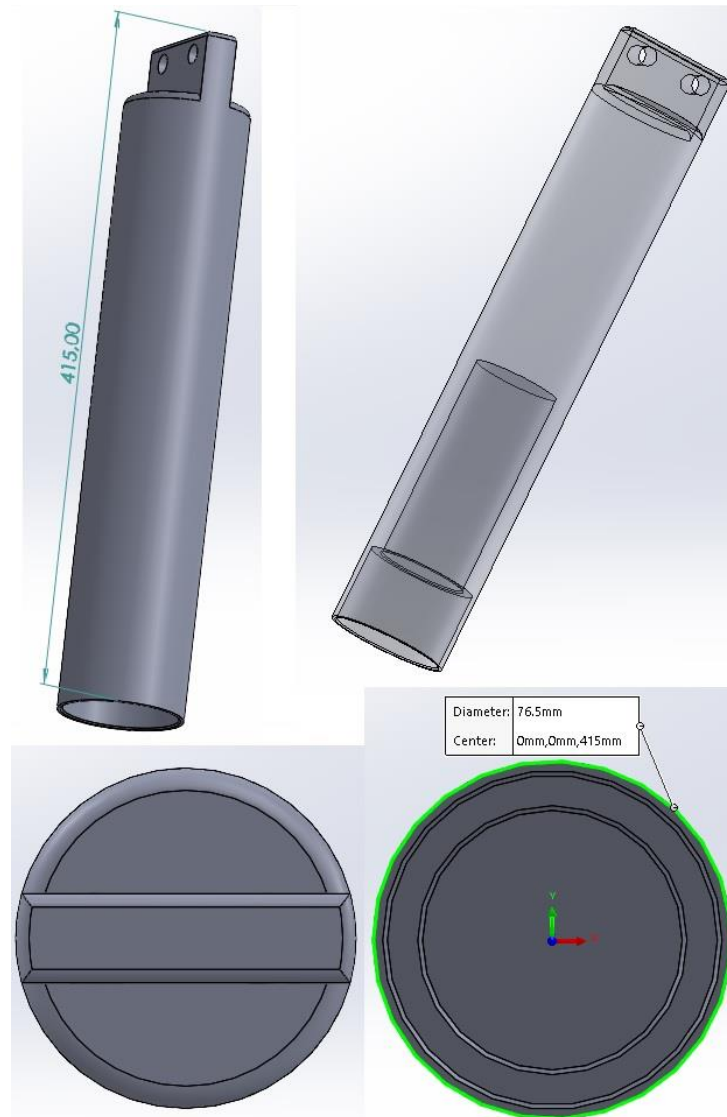
Kuva 15. Haarukan runko

Kuvassa 16, esitetään itse haarukka, joita kiinnitetään kaksi yhtä haarukan runkoa kohden. Kiinnitys tehdään M6-pulteilla. Haarukan kärkeen on tehty pienet viisteet, jotta haarukka painuisi helpommin magneettikuiluihin.



Kuva 16. Haarukka

Akselin ympärille kiinnitettävä ohjausputki näkyy kuvassa 17. Ohjausputkeen on lisätty pyöritykset ylälaitaan, ja sisäpuolelle viisteet. Tämän putken on tarkoitus ohjata monihaaraista työkalua, jotta haarukat osuisivat magneettikuiluihin ja magneetit saataisiin painettua pohjaan asti.



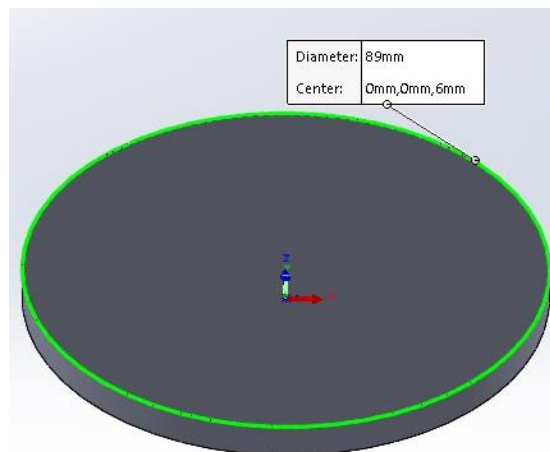
Kuva 17. Akselin ympärille kiinnitettävä ohjausputki

Ulkopotken sisään liukuu akselin ympärille kiinnitettävä putki, joka kiinnitetään alustaan hitsaamalla. Ulkoputki esitetään kuvassa 18.



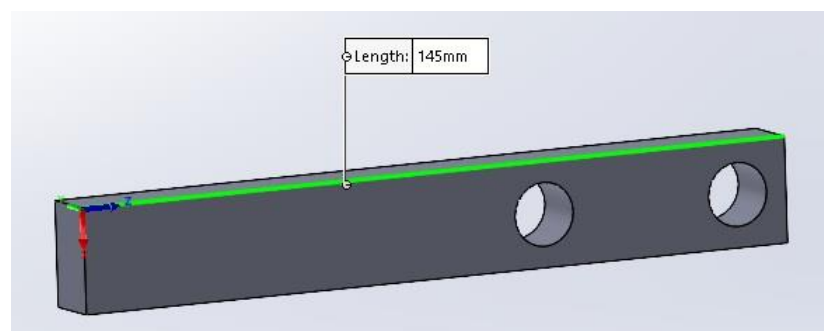
Kuva 18. Ulkoputki

Kuvassa 19 esitetään ”lappu”, joka hitsataan kiinni ulkoputkeen. Lappuun hitsataan kiinni kahva asennusrobotille.



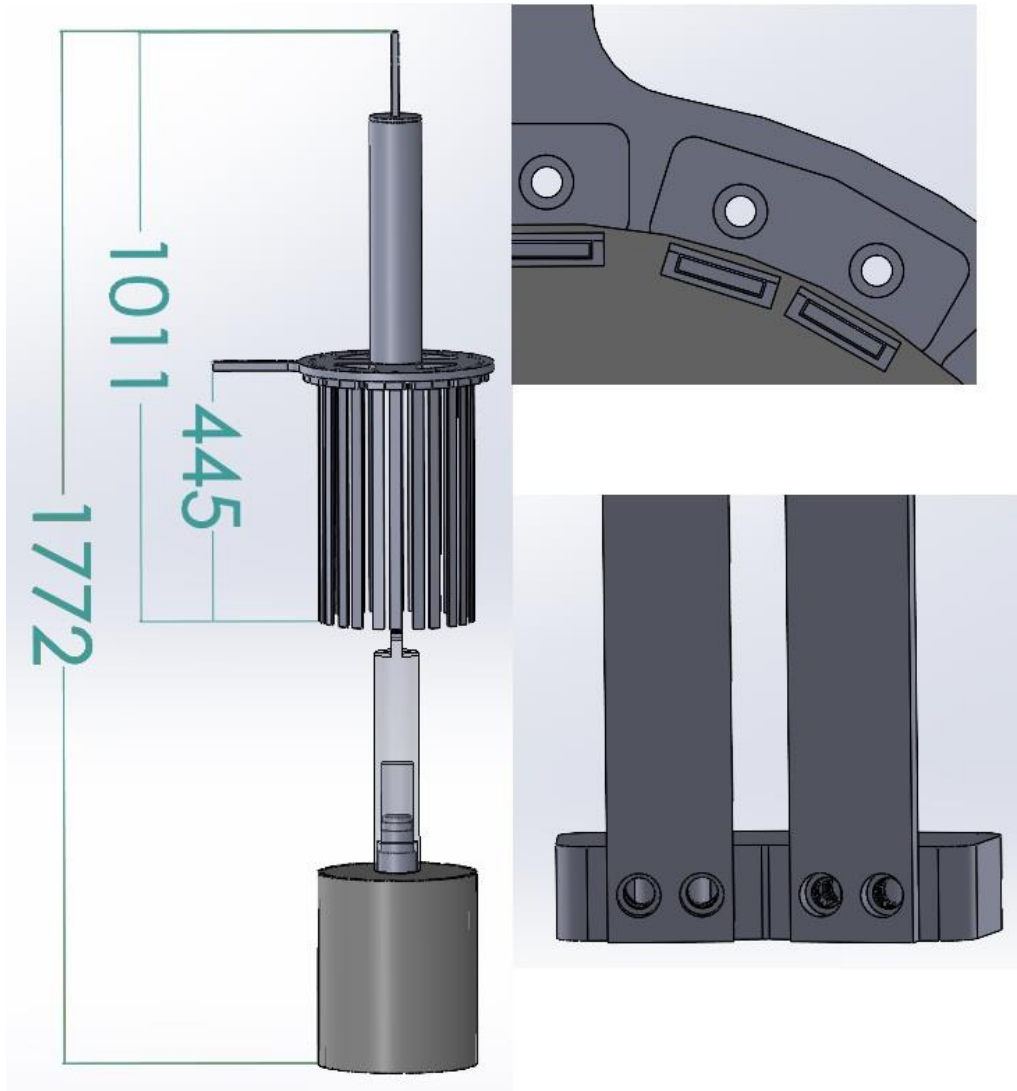
Kuva 19. Lappu

Kahva asennusrobotille esitetään kuvassa 20. Kahvan geometria on sama kuin alkuperäisellä kaksihaaraisella haarukalla, ja se hitsataan kiinni lappuun.



Kuva 20. Kahva asennusrobotille

Monihaaraisen työkalun valmis kokoonpano esitetään kuvassa 21. Kuvasta voidaan nähdä, kuinka haarukat osuvat täydellisesti magneettikuiluihin. Kuvasta voidaan myös nähdä vaatimuslistan mukainen säätövara alustassa ja haarukan rungossa.



Kuva 21. Valmis kokoonpano (Roottorin 3D-malli yritykseltä.)

3.6 Valmistuspiirustusten laatiminen

Osien tarkat valmistuspiirustukset on laadittu 3D-mallien pohjalta. Yritykselle toimitetaan 3D-mallit ja valmistuspiirustukset. Kandidaatintyössä käytetyn rajauksen takia yrityksen tekemää osien varsinaista testausta käytännössä ja sen tuloksia ei käsitellä tässä työssä.

4 POHDINTA

4.1 Järjestelmällinen asennustyökalun suunnitteluprosessi

Tämän kandidaatintyön järjestelmällinen tuotesuunnitteluprosessi toteutettiin käyttämällä VDI2221-menetelmää (Jänsch & Birkhofer 2006, s. 49). Järjestelmällisten suunnittelumetodien tehokkuutta verrattuna vapaampaan suunnitteluun on tutkittu. Motten (2015, s. 1-4, 8) tekemän tutkimuksen mukaan järjestelmällisten suunnittelumetodin käytön ei voida päätellä olevan tehokkaampaa kuin vapaamman suunnittelun, koska saadut tulokset ovat vaihtelevia, ja tutkimuksen tuloksien perusteella suunnittelijan motivaatio ja kokemus suunnittelutehtävistä vaikuttavat todella paljon suunnittelun lopputulokseen. Tutkimuksen mukaan ei kuitenkaan voida tehdä sellaista päätelmää, että järjestelmällisen metodin käyttö olisi huonompi valinta vapaamman suunnittelun sijaan. Järjestelmällistä suunnittelumetodia käyttäen on kuitenkin mahdollista saada erittäin hyviä suunnittelutuloksia ja se voi auttaa ohjaamaan suunnittelua oikeaan suuntaan, esittää tutkimus. (Motte, D., 2015, s. 1-4, 8.) Erilaisia järjestelmällisen suunnittelun metodeja on paljon, mutta ne kuitenkin muistuttavat paljon toisiaan perusvaiheiltaan, ja tarkoituksena on tehostaa suunnittelua. (Motte, D., Bjärnemo, R., Yannou, B., 2011, s. 2-3.)

Järjestelmällistä suunnittelumetodia noudattaen kykenin etenemään suunnittelussa johdonmukaisesti ja selkeästi, koska suunnittelun eri vaiheet on määritetty ohjeessa askel askeleelta. Kun aluksi tehdään ohjeen mukaan tarkka vaatimuslista, vältetään ikäviltä yllätyksiltä, joissa jotain asiaa ei olla otettukaan huomioon. VDI2221:n mukaan on myös tärkeää aktiivisesti tutkia aikaisempia vaiheita ja tarvittaessa täydentää vaatimuslistaa. Seuraamalla VDI2221-menetelmän vaiheita tarkasti onnistuin suunnittelemaan monihaaraisen työkalun, jonka pitäisi kyetä tehostamaan yrityksen kestomagneettien asennusprosessin tuottavuutta. Mielestäni VDI2221:n käyttäminen oli järkevää suunnittelussa, koska sen avulla suunnittelun eteneminen oli selkeää. Järjestelmällisellä suunnittelulla päätyväni ratkaisuun on kuitenkin mahdollista päästä myös vapaammalla suunnittelulla.

4.2 Asennustyökalun suunnitteluprosessin objektiivisuus ja luotettavuus

Kandidaatintyössä käsiteltiin yksityiskohtaisesti asennusprosessiin kuuluvia vaiheita ja analysoitiin eri mahdollisuuksia niiden tehostamiseksi. Suunnitteluprosessin tuloksena päädyin kehittämään monihaaraisen työkalun ratkaisuna asennusprosessin tuottavuuden tehostamiseksi. Kestomagneettien asennusprosessia olisi varmasti mahdollista tehostaa muullakin tavalla kuin suunnittelemani työkalulla. Lisäksi on mahdollista toteuttaa monihaarainen työkalu erilaisella geometrialla, kiinnityksillä tai osilla. Toinen paljon aikaa vievä asennusvaihe on kestopommitusten pudottaminen magneettikuiluihin ja esimerkiksi tähänkin vaiheeseen olisi varmasti myös mahdollista kohdentaa jokin parannusratkaisu. Parannusratkaisun suunnittelu ja kohdentaminen tähän asennusvaiheeseen olisi kuitenkin tarkasteluni mukaan kohtuullisen monimutkaista verrattuna monihaaraiseen työkaluun.

Parannusehdotukset perustuvat asennusvaiheiden keston, jotka olen taulukoinut käyttäen yritykseltä saatua videomateriaalia asennusprosessista. Kuitenkin videoiden käyttäminen sisälsi tiettyjä rajoituksia, koska videomateriaalissa ei näkynyt kaikkia asennusvaiheita yksityiskohtaisesti. Esimerkiksi magneettien erottimien täyttämistä magneettipakoilla ei olla otettu huomioon asennusajoissa. Lisäksi muutamassa kohtaa, kuten asennusrobotin paluu magneettien erottimelle, on käytetty arvioitua aikaa. Nämä syyt vaikuttavat laskettujen aikojen tarkkuuteen ja monihaaraisen työkalun laskettuun tuottavuuden tehostukseen. Pääsemällä itse seuraamaan asennusprosessia tarkemmin ja yksityiskohtaisemmin, voisi olla mahdollista laskea tarkemmat ajat eri asennusvaiheille. Paikan päällä saisi myös varmasti kokonaisvaltaisemman kuvan asennusprosessista. Tämän vuoksi on hyvä muistaa, että lasketut ajat ovat arviota.

Kandidaatintyön rajauksen vuoksi työssä suunnittelemani monihaaraista työkalua ei tarkastella lähemmin. Tällöin käsittelemättä jää myös se, että päästiinkö yrityksen tavoittelemaan tehostukseen asennusprosessin tuottavuudessa. 3D-mallien perusteella suunnittelemani monihaaraisen työkalun osat ovat ainakin yhteensopivia yritykseltä saamani roottorin 3D-mallin kanssa. Tämä tarkoittaa sitä, että 3D-mallien kokoonpanossa työkalun haarukat painuvat tasaisesti roottorin magneettikuiluihin. Aina on kuitenkin mahdollisuus suunnitteluvirheelle tai valmistusvirheelle, esimerkiksi siten, että antamillani toleransseilla osa ei toimi halutulla tavalla tai ei ole tarpeeksi kestävä. Kuitenkin on varmaa, että

jonkunlainen monihaarainen työkalu tehostaisi asennusprosessia, koska nykyinen työkalu kykenee painamaan vain 2 magneettia kerrallaan pohjaan asti, ja esimerkiksi yhdellä roottorihalkaisijalla painalluksia kertyy yhteensä 12.

4.3 Keskeiset johtopäätökset asennustyökalun suunnitteluprosessille

Tämän kandidaatintyön tarkoitus oli suunnitella yritykselle ratkaisu, jolla saavutettaisiin noin 30 %:n tehostus kestmagneettien asennusprosessin tuottavuuteen mahdollisimman kustannustehokkaasti. Tarkemmin sanottuna tavoite oli siis nopeuttaa asennusprosessia. Tarkoituksena oli erityisesti keskittyä asennusprosessin vaiheisiin, joihin kuluu paljon aikaa. Järjestelmällisen suunnitteluprosessin VDI2221:n tuloksena päädyttiin suunnittelemaan monihaarainen työkalu nykyisen kaksihaaraisen työkalun tilalle, joka pystyisi painamaan kokonaisen kierroksen kestmagneetteja pohjaan asti. Tämänkaltaiselle työkalulle laskettu arvio tuottavuuden tehostamiselle on noin 27 %, jonka yritys hyväksyi. Yritys myös esitti vaatimuksia tälle kyseiselle työkalulle, joihin pystyttiin vastaamaan. Haarukoiden piti olla irrotettavissa ja säädettävissä, jotta ne voitaisiin helposti asentaa oikeille kohdilleen. Haarukoiden piti olla irrotettavissa myös sen takia, että jos asennusroboti ei jaksakaan työntää kokonaista kierrosta pohjaan asti, voidaan ottaa esimerkiksi muutama haarukka pois. Kandidaatintyössä vastattiin näihin vaatimuksiin onnistuneesti.

Monihaaraiselle työkalulle piti myös suunnitella ohjauksen avustin, jolla haarukat osuisivat helpommin magneettikuiluihin. Tämä toteutettiin roottorin akselin ympärille kiinnitettävällä ohjausputkella, joka liukuu monihaaraisen työkalun sisään ja ottaa ohjausta työkalun alustasta. Akselin ympärille kiinnitettävä ohjausputki on suunniteltu vaatimusten mukaan siten, että sen voi asettaa kahdelle eri akselihalkaisijalle. Tästä ratkaisusta johtuen asennusprosessin tuottavuuden tehostus kuitenkin pienenee hieman laskettuun tehostukseen nähden, sillä asennusrobotin pitää ensiksi asettaa ohjausputki roottorin akselin ympärille, ja sen jälkeen nostaa itse työkalu sivukahvasta ohjausputken päälle. Tämä johtuu pitkästä työkalusta ja asennusrobotin työalueen rajoituksista. Kun ohjausputki on asetettu sivukahvalla roottorin akselin ympärille, asennusroboti tarttuu työkalun päälle olevaan kahvaan ja painaa kestmagneetit pohjaan saakka.

Monihaaraisella työkalulla on kuitenkin mahdollista kokeilla kestmagneettien pohjaan painamista ilman akseliin kiinnitettävää ohjausputkea. Jos tämä onnistuu, päästään

alkuperäiseen laskettuun noin 27 %:n tuottavuuden tehostamiseen. Tällöin ei siis tarvitsisi käyttää lainkaan ohjausputkea eikä sivukahvaa, koska monihaaraisen työkalun pituus lyhenisi huomattavasti. Tässä tapauksessa ohjausputken päällä oleva lappu ja siihen kiinnitetty asennusrobotin pääkahva kannattaa hitsata suoraan kiinni työkalun alustaan. Suunniteltujen osien pitäisi olla myös vaatimusten mukaisesti kohtuullisen helposti koneistettavissa ja kustannustehokkaita. Kandidaatintyön rajauksen vuoksi monihaaraisen työkalun konkreettisen testaamisen tuloksia ei käsitellä tässä työssä. Yritykselle kuitenkin toimitetaan suunnitellut 3D-mallit ja valmistuspiirustukset.

Kandidaatintyön lasketut ajat asennusvaiheille ja prosentuaalisille parannuksille eivät kuitenkaan ole täysin tarkat rajallisesta materiaalista johtuen, mikä tulee ottaa erityisesti huomioon. Parannusehdotus, joka keskittyy useamman kestopagneetin pohjaan painamiseen kuitenkin varmasti tehostaa asennusprosessia ja on yksinkertainen, sekä kustannustehokas. Tuottavuutta on varmasti mahdollista tehostaa muullakin tavalla, kuin suunnittelemani monihaaraisen työkalun kaltaisella keinolla. Suunnitteluvirheen mahdollisuus on myös syytä ottaa huomioon.

4.4 Asennustyökalun suunnitteluprosessin tulosten uutuusarvo ja hyödynnettävyys

Järjestelmällinen suunnitteluprosessin VDI2221:n tuloksena päädyttiin suunnittelemaan monihaarainen työkalu nykyisen kaksihaaraisen työkalun tilalle. Uusi työkalu on huomattavasti monimutkaisempi vanhaan verrattuna. Suunnitteluprosessissa käytiin yksityiskohtaisesti läpi eri asennusvaiheet, sekä niihin kohdistuvia mahdollisia parannuksia pohdittiin. Asennusvaiheisiin kulunut aika myös taulukoitiin ja sen pohjalta laskettiin mahdollinen tuottavuuden tehostus monihaaraiselle työkalulle, joka kykenee painamaan kokonaisen kierroksen pohjaan kerrallaan. Tuotettua materiaalia on mahdollista käyttää jatkokehityksessä. Suunnittelun tuloksena osat 3D-mallinnettiin ja niiden valmistuspiirustukset tehtiin. 3D-mallit ja valmistuspiirustukset on lähetetty yritykselle ja tarkoituksena on myös valmistaa osat, sekä toimittaa ne testattavaksi käytännössä. Työssä tuotettiin paljon kokonaan uutta materiaalia ja suunnitteluprosessin tuloksena kehiteltiin konkreettinen ratkaisu, jolla kestomagneettien asennusprosessin tuottavuutta voidaan tehostaa. Jos suunniteltu monihaarainen työkalu toimii kuten sen pitäisi, asennusprosessin magneettien pohjaan painamiseen kuluu aikaisempaan verrattuna vähemmän aikaa, jolloin tuottavuus paranee.

4.5 Jatkotutkimusaiheet

Kestomagneettien asennusprosessin tuottavuutta on mahdollista tehostaa myös muilla tavoilla kuin suunnittelemani monihaaraisella työkalulla, joka keskittyy asennusvaiheeseen, jossa kestomagneetit painetaan paikoilleen roottorin magneettikuiluihin. Monihaarainen työkalu on myös mahdollista toteuttaa eri tavalla, muokkaamalla täysin sen geometriaa tai kiinnityksiä. Jatkotutkimusaiheena voisi esimerkiksi olla toisenlaisen ratkaisun suunnitteleminen kestomagneettien asennusprosessin tuottavuuden tehostamiseksi, mikä kohdistuisi kokonaan eri asennusvaiheeseen. Jatkotutkimusaiheena voisi myös olla vaikkapa suunnittelemani monihaaraisen työkalun jatkokehitys. Monihaaraista työkalua voisi parannella ja sille voitaisiin esimerkiksi tehdä FE-analyysi ja topologinen optimointi. FE-analyysillä selvitetään tietokoneavusteisesti rakenteeseen kohdistuvat kuormitukset ja taipumat (Rosato, Dominick V. & Rosato, Donald V., 2003, s. 362). Topologisessa optimoinnissa hyödynnetään FE-analyysia ja rakenteesta karsitaan turha materiaali pois, kuitenkin säilyttämällä tärkeimmät kuormaa kantavat rakenteen osat (Zhang, X. & Zhu, B., 2018, s. 17-18).

5 YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli tuottaa yritykselle ratkaisu, jolla kestopagneettien asennusprosessin tuottavuutta pystyttäisiin tehostamaan noin 30 %:lla. Ratkaisun tuli myös olla helposti toteutettavissa ja kustannustehokas. Ratkaisua lähdettiin etsimään käyttämällä järjestelmällisen tuotesuunnitteluprosessin VDI2221-menetelmää. Noudattamalla menetelmää suunnitteluprosessi eteni vaihe vaiheelta. Ensimmäisessä vaiheessa määritettiin tehtävä ja vaatimukset tehtävän ratkaisulle. Seuraavassa vaiheessa perehdyttiin nykyiseen asennusprosessiin ja sen eri vaiheisiin. Asennusvaiheiden kestot taulukoitiin käyttämällä yritykseltä saatua videomateriaalia. Asennusvaiheisiin kuluneen ajan perusteella ratkaisu kohdennettiin yhteen eniten aikaavievistä asennusvaiheista, johon oli analyysin perusteella helpoin ja kustannustehokkain toteuttaa parannusratkaisu. Päädyttiin siis ratkaisuun, jossa keskitytään nopeuttamaan asennusvaihetta, jossa kestopagneetit painetaan roottorin magneettikuiluihin pohjaan asti. Ratkaisua varten jouduttiin suunnittelemaan uusi monihaarainen työkalu, jolla pystyttäisiin painamaan kokonainen kierros kerralla pohjaan asti. Taulukoinnin ja laskettujen aikojen perusteella tämänkaltainen ratkaisu, jolla painettaisiin kokonainen kierros kestopagneetteja pohjaan asti, tehostaisi eli nopeuttaisi asennusprosessia noin 27 %, jonka yritys hyväksyi. Aluksi monihaaraisesta työkalusta luotiin hahmotelma SolidWorksilla, ja sen jälkeen työkalulle tehtiin varsinainen toimiva 3D-malli.

Yrityksen edustajien kanssa käydyissä kehityspalavereissa tuottamiani monihaaraisen työkalun versioita analysoitiin, jonka jälkeen kehittelin osia paremmiksi. Palavereissa yrityksen edustajat esittivät, että monihaaraiselle työkalulle olisi myös hyvä kehitellä jokin keino, jolla työkalun haarukat saataisiin paremmin ohjautumaan roottorin magneettikuiluihin. Tämä toteutettiin suunnittelemalla työkalulle ohjausputki, jonka asennusrobotti kiinnittää roottorin akselin päälle. Ohjausputki liukuu monihaaraisen työkalun sisään ottaen ohjausta alustalevystä, kun työkalulla painetaan kestopagneetteja pohjaan. Ohjausputken lisäämisen takia työkalun pituus kuitenkin kasvoi ja työkalulle jouduttiin myös lisäämään sivukahva, jota asennusrobotti joutuu käyttämään asettaessaan monihaaraista työkalua ohjausputken päälle, joka on kiinnitetty roottorin akseliin.

Lisääntyneiden asennusvaiheiden johdosta luonnollisesti tuottavuuden tehostus alenee ensin laskettuun 27 %:n nähden, mutta sen ei pitäisi laskea tuottavuuden tehostusta liikaa perustuen arvioon. Kuitenkin on mahdollista kokeilla magneettien painamista pohjaan ilman ohjausputkea, jolloin laskettu arvio tuottavuuden tehostamisesta pysyy samana. Lopuksi päädyin monihaaraisen työkalun viimeiseen versioon, jonka osille laadin valmistuspiirustukset. Toimitin valmistuspiirustukset ja 3D-mallit yritykselle. Työssä siis onnistuttiin selvittämään ratkaisu ja kehittämään monihaarainen työkalu, jolla asennusprosessia on mahdollista tehostaa. Ratkaisu on myös työssä määritetyn vaatimuslistan mukainen, ja kehitysvaiheessa yrityksen tuomat ehdotukset ja vaatimukset, kuten haarukoiden irrotettavuus ja säätövara, on otettu huomioon.

Kandidaatintyössä taulukoidut ja lasketut ajat eri asennusvaiheille ja potentiaaliselle tuottavuuden tehostamiselle on tehty käyttäen yritykseltä saatua videomateriaalia. Kaikkiin asennusvaiheisiin kulunutta aikaa ei kuitenkaan pystynyt määrittellä videolta, ja osassa asennusvaiheista jouduttiin käyttämään myös arviota. Näistä seikoista johtuen lasketut ajat eivät ole täysin tarkkoja. Kuitenkin parannusratkaisu, jolla asennusprosessin pohjaan painaminen toteutetaan painamalla kierroksen kaikki kestomagneetit pohjaan kerralla, nopeuttaa selkeästi asennusprosessia. Nykyinen työkalu kykenee painamaan vain kaksi magneettia kerrallaan pohjaan asti ja tässä työssä käsitellyllä roottorihalkaisijalla on 24 magneettia yhtä kierrosta kohden. Parannus asennusprosessin nopeuteen on siis huomattava.

LÄHTEET

Jänsch, J., Birkhofer, H., 2006, THE DEVELOPMENT OF THE GUIDELINE VDI 2221 - THE CHANGE OF DIRECTION, INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE, s. 49, [Viitattu: 25.4.2021], Saatavissa: <http://docentes.uto.edu.bo/mruizo/wp-content/uploads/VDI2221.pdf>

Motte, D., 2015, Effectiveness of the systematic engineering design methodology, Lund University, Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design - ICED'15, s. 1-4, 8, [Viitattu 23.5.2021], Saatavissa: <https://portal.research.lu.se/portal/files/1950116/8146778.pdf>

Motte, D., Bjärnemo, R., Yannou, B., 2011, ON THE INTERACTION BETWEEN THE ENGINEERING DESIGN AND THE DEVELOPMENT PROCESS MODELS — PART I: ELABORATIONS ON THE GENERALLY ACCEPTED PROCESS MODELS, Lund university, Proceedings of the 3rd International Conference on Research into Design - ICoRD'11, s. 2-3, [Viitattu 23.5.2021], Saatavissa: <https://portal.research.lu.se/portal/files/5979294/1790425.pdf>

Pahl, G., Beitz, W., 1990, Koneensuunnitteluoppi, 2. painos, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, s. 64

Research and markets, 2020, Top Robotics Market with COVID-19 Impact Analysis by Top Industrial Robotics (Articulated, SCARA, Cartesian, Parallel, Collaborative), Top Service Robotics (Logistics, Domestic, Medical, Defense, Rescue, and Security)- Global Forecast to 2025, [Verkköjulkaisu], [Viitattu: 7.5.2021], Saatavissa: https://www.researchandmarkets.com/reports/5181582/top-robotics-market-with-covid-19-impact-analysis?utm_source=BW&utm_medium=PressRelease&utm_code=7klwp3&utm_campaign=1469613+-+Top+Robotics+Market+with+COVID-19+Impact+Analysis+by+Top+Industrial+Robotics%3a+Articulated%2c+SCARA%2c+C

artesian%2c+Parallel%2c+Collaborative+-
+Global+Forecast+to+2025&utm_exec=chdo54prd

Robotics Tomorrow, 2018, 7 Advantages of Robots in the Workplace, [Verkköjulkaisu],
[Viitattu 7.5.2021], Saatavissa: <https://www.roboticstomorrow.com/story/2018/08/7-advantages-of-robots-in-the-workplace/12342/>

Rosato, Dominick V., Rosato, Donald V., 2003, Plastics Engineered Product Design - 5.7.2
Designing, Elsevier, s. 362, [Viitattu 17.5.2021], Saatavissa:
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00TY2WIC/plastics-engineered-product/designing>

Zhang, X., Zhu, B., 2018, Topology Optimization of Compliant Mechanisms, Springer
Singapore, s. 17-18, [Viitattu 17.5.2021], Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/book/10.1007%2F978-981-13-0432-3>