



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

MIKKO HAAVISTO

Roottorin valmistuksen prosessiku- vaus

TUOTANTOTALOUS JA -TEKNIikka
2024

TIIVISTELMÄ

Haavisto, Mikko: Roottorin valmistuksen prosessikuvaus
Opinnäytetyö, AMK
Tuotantotalous ja -tekniikka
Toukokuu 2024
Sivumäärä: 99

Tämä opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona ABB Oy, Large Motors and Generators -divisioonalle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia AMI800-1000 roottorityypin valmistusprosessia. Tutkimuksen tarkoituksena oli kehityskohteiden tunnistaminen ja kehitysehdotuksien esittäminen. Kehitysehdotusten toteuttaminen rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Opinnäytetyön teoriaosuus on muodostettu Lean Six Sigman ja DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmän pohjalta. Menetelmän nimitys tulee sen vaiheiden englanninkielisistä alkukirjaimista. Vaiheet ovat määrittely, mittaus, analyysi, parannus ja valvonta. Valvontavaihetta ei toteutettu tässä tutkimuksessa.

Opinnäytetyössä käytettiin kvalitatiivista tutkimusmenetelmää, jossa tutkijan havainnoinnin tukena käytettiin avointa haastattelua. Tutkimus toteutettiin soveltamalla DMAIC-menetelmää. Tutkimukseen sisältyi kaikki roottorin valmistuksen työvaiheet. Nykytilan kuvauksessa jokaisesta työvaiheesta tehtiin prosessikuvaus. Prosessikuvausten pohjalta löydettiin kehityskohteita.

Tämän tutkimuksen tulokset ovat kehitysehdotuksia. Kehitysehdotukset jaettiin työvaiheittain ja ne perustuvat tutkimuksessa tunnistettuihin kehityskohteisiin. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää tulevien kehitysprojektien suunnittelussa.

Avainsanat: Lean, Six Sigma, DMAIC, roottori, valmistus

ABSTRACT

Haavisto, Mikko: Rotor manufacturing process description
Bachelor's thesis
Industrial management and technology
May 2024
Number of pages: 99

This thesis was carried out as an assignment for ABB Oy, Large Motors and Generators. The aim of the thesis was to investigate the manufacturing process of the AMI800-1000 type rotors. The purpose of the study was to identify development targets and present development proposals. The implementation of the development proposals was excluded from the study.

The theory part of the thesis is based on Lean Six Sigma and the DMAIC problem solving method. The name of the method comes from the initial letters of its steps, which are define, measure, analyze, improve, and control. The control phase was not implemented in this study.

The thesis used a qualitative research method, where an open interview was used to support the researcher's observation. The study was carried out by applying the DMAIC method. The study included every step of the rotor manufacturing process. In the description of the current state, a process description was made of each work phase. Based on the process descriptions, development targets were found.

As a result of this study development proposals were identified. The development proposals were divided by work phase, and they are based on the development targets identified in the study. The results of the thesis can be used in the planning of future development projects.

Keywords: Lean, Six Sigma, DMAIC, rotor, manufacturing

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
1.1 Työn taustaa	6
1.2 ABB Ltd	6
1.3 ABB Suomessa.....	7
1.4 Opinnäytetyön tavoitteet	7
1.5 Opinnäytetyön tutkimusote	8
1.6 Sähkökone	8
1.7 Modulaarinen korkeajännitemoottori	9
2 LEAN-AJATTELU	11
2.1 Lean johtamisfilosofia	11
2.1.1 Lean historiaa	11
2.1.2 Tarkoitus	11
2.1.3 Hukka	13
2.1.4 Epätasapaino	13
2.1.5 Ylikuormitus	13
2.1.6 5S-menetelmä	13
2.2 Six Sigma	15
2.2.1 SIPOC-malli.....	16
2.2.2 Juurisyyanalyysi.....	17
2.2.3 Prosessikuvaus	18
2.3 Lean Six Sigma	18
2.4 DMAIC.....	19
2.4.1 Määrittely	21
2.4.2 Mittaus	22
2.4.3 Analyysi	23
2.4.4 Parannus	24
2.4.5 Valvonta.....	25
3 NYKYTILAN KUVAUS	26
3.1 Valmistelu	26
3.2 Valmistelu uudella puolella	27
3.3 Akselin valmistelu	30
3.4 Ladonta	33
3.5 Ladonta uudella puolella	36
3.6 Puristus	37
3.7 Puristus uudella puolella	39

3.8 Akselin asennus	43
3.9 Akselin asennus uudella puolella	48
3.10 Hitsaus	49
3.11 Tangotus	51
3.12 Tuukkaus	54
3.13 Tangotus ja tuukkaus uudella puolella	57
3.14 Sorvaus	58
3.15 Kovajuotos.....	61
3.16 Loppukoneistus	66
3.17 Tasapainotus	67
4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	69
4.1 Tutkimusmenetelmät	69
4.1.1 Haastattelu.....	69
4.1.2 Havainnointi.....	70
4.2 Tutkimusmenetelmien käyttö	71
4.3 Tutkimuksen määrittelyvaihe	72
4.4 Tutkimuksen mittausvaihe	73
4.5 Tutkimuksen analyysivaihe	76
4.6 Tutkimuksen parannusvaihe ja kehitysehdotukset	83
4.6.1 Yleinen.....	88
4.6.2 Valmistelut.....	89
4.6.3 Ladonta	90
4.6.4 Puristus.....	91
4.6.5 Tangotus.....	91
4.6.6 Tankojen lukitseminen.....	91
4.6.7 Sorvaus.....	92
4.6.8 Kovajuotos	92
4.7 Valvontavaihe.....	92
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	93
5.1 Tulosten arviointi	93
5.2 Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys	94
5.3 Toteutuksen arviointi.....	94
5.4 Jatkotutkimusaiheet	95
5.5 Yhteenveto.....	96

LÄHTEET

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustaa

Tämä opinnäytetyö tehdään ABB Oy:n Helsingin Pitäjänmäen konetehtaalle. Kone-
tehtaalla valmistetaan tilauskohtaisia induktio- ja tahtimoottoreita. Työn tarkoituksena
on tutkia AMI800-1000 tyyppin roottoreiden valmistusprosessia etsien ja tunnistuen
mahdollisia kehityskohteita. Tyyppin roottoreiden valmistus siirtyi strategisella päätök-
sellä yrityksen sisällä muutama vuosi sitten Ruotsista Helsinkiin.

Opinnäytetyössä roottorilla tarkoitetaan induktiomootorin pyörivää osaa. Valmis
roottori muodostuu sähköteräksestä, akselist, roottoritangoista, oikosulkurenkaista ja
mahdollisista tuulettimista. Roottorit eroavat aikaisemmin Helsingissä valmistetuista
roottoreista suuren kokonsa puolesta. Suurempi koko vaikuttaa valmistusprosessiin
vaatien aikaisemmasta eriäviä työvälineitä ja -menetelmiä. Työssä ongelmanratkai-
sussa sovelletaan Lean Six Sigma DMAIC-mallia.

1.2 ABB Ltd

ABB Oy on osa sveitsiläistä ABB-yhtymää. ABB-yhtymä on sähköistämisen ja auto-
maation teknologiajohtaja. Liiketoiminta on jaettu neljään asiakaskeskeiseen alue-
eseen, jotka ovat: Electrification, Process Automation, Motion ja Robotics & Discrete
Automation. Liiketoiminta-alueiden tukena on koko portfolion kattava ABB Ability -
alusta mahdollistaen asiakkaiden reaaliaikaiset datapohjaiset päätökset tehostamaan
resurssien hallintaa, turvallisuutta ja älykkäämpää toimintaa. (ABB:n [www-sivut](http://www.abb.com)
2024.)

ABB muodostettiin vuonna 1988 sulauttamalla ruotsalaisen Asea ja sveitsiläisen
Brown Boverin sähkötekniset liiketoiminnot. Sulauttaminen tehtiin 50:50-omistuspe-
riaatteella, joten uusi nimi on yhdistelmä sulautuneiden yhtiöiden nimistä. Nykyään
ABB työllistää maailmanlaajuisesti noin 105 000 henkilöä yli sadassa maassa ja liike-
vaihto vuonna 2023 oli 30 miljardia euroa. (ABB:n [www-sivut](http://www.abb.com) 2024.)

1.3 ABB Suomessa

Suomen ABB:n ydin on suomalaisen insinöörin Gottfrid Strömbergin vuonna 1889 perustama sähköliike. Strömbergin kehittämät sähkökoneet olivat aikaansa edellä ja 1940-luvulla alkujaan neljän miehen konepaja oli noussut Suomen suurempien teollisuusyritysten joukkoon. Strömberg siirtyi Asealle 1986 ja ABB Suomessa jatkaa toimintaa Strömbergin jalanjäljillä. (ABB:n www-sivut 2024.)

ABB toimii Suomessa noin 20 paikkakunnalla työllistäen noin 5000 henkilöä. Tehdas-keskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Porvoossa ja Haminassa. Opinnäytetyö tehdään Motion liiketoiminta-alueen Large Motors and Generators -divisioonan Helsingin Pitäjänmäen tehtaalle. Tehdas työllistää noin 900 henkilöä ja tehtaalla valmistetaan muun muassa korkeajännitemoottoreita, dieselgeneraattoreita ja kestopagneetitmoottoreita. (ABB:n www-sivut 2024.)

1.4 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tarkoituksena on DMAIC-mallia soveltaen kehittää roottorin valmistusprosessia ja löytää prosessista omina projekteinaan toteutettavia kehitystoimenpiteitä. Opinnäytetyön tutkimuskysymykset ovat:

1. Miten roottorin valmistusprosessia voidaan kehittää?
2. Mitä toimenpiteitä on tehtävissä nykyisillä resursseilla?

Vastaamalla kysymyksiin saadaan tietoa nopeasti käyttöön otettavista parannuksista ja myös tunnistettuja mahdollisia laajempia kehitysprojekteja. Kehitysprojektien toteuttaminen on rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle.

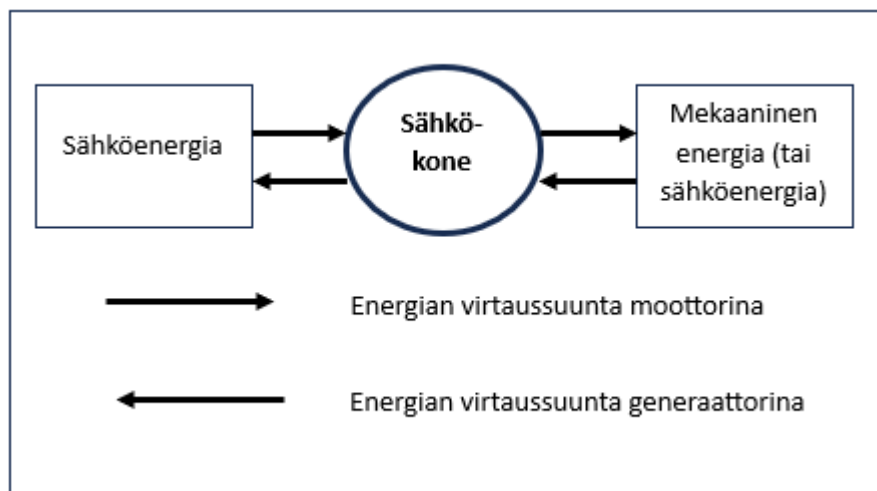
1.5 Opinnäytetyön tutkimusote

Opinnäytetyö on toiminnallinen ja etsii ratkaisuja roottorin valmistuksen kehittämiseen. Toiminnallisessa opinnäytetyössä etsitään ratkaisua konkreettiseen tehtävään. Tavoitteena käytännön toiminnan kehittäminen, ohjeistaminen, järjestäminen tai tehostaminen. Toiminnallinen opinnäytetyö tehdään usein ulkopuoliselle toimeksiantajalle ja tuloksena voi syntyä esimerkiksi ohjeistus, mallinnus tai konkreettinen tuote. Raportin tulee esittää toiminnallisen osuuden kuvaus ja arviointi suhteessa tietoperustaan. Tuotoksen valmistusvaiheet eli toiminnallinen osuus on myös esitettävä johdonmukaisesti. (Satakunnan ammattikorkeakoulun [www-sivut 2024](#).)

Opinnäytetyön toteutusosa etenee vaihe vaiheelta ja ensimmäisessä eli määrittelyvaiheessa (Define) määritellään parannusta vaativa kohde ja halutut tavoitteet. Kohteena on AMI800-1000 roottorityypin valmistus ja tavoitteena valmistusprosessin kehittäminen. Mittausvaiheessa (Measure) tarkastellaan prosessin nykytilaa havainnoimalla valmistuslinjaston suorituskykyä. Analysointivaiheessa (Analyze) perehdytään halutusta lopputuloksesta poikkeavien asioiden juurisyihin. Parannusvaiheessa (Improve) määritetään toimenpiteitä, joiden avulla prosessin suorituskykyä saadaan kasvatettua. Valvontavaiheessa (Control) valvotaan tehtyjen muutosten olevan riittäviä halutun lopputuloksen saavuttamiseksi ja muutosten vakiinnuttamiseksi toiminnassa. (Arterin [www-sivut 2021](#).)

1.6 Sähkökone

Sähkökoneella tarkoitetaan sähkömagneettisina energianmuuntimina toimivia laitteita. Sähkömoottori on sähkökone, jonka käytön pääasiallinen tarkoitus on muuntaa sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi. Generaattori puolestaan muuntaa mekaanista energiaa sähköenergiaksi. Sähkökoneiksi lasketaan myös toiminnaltaan kahden sähköverkon välillä energiaa välittävät muuntajat. Kuviossa 1 on kuvattu sähkömoottorin ja -generaattorin eroa. (Luomi, J., Niiranen, J., Niemenmaa, A. 2004, 7.)



Kuvio 1. Sähkökoneen määritelmä (mukaillen (Luomi, J., Niiranen, J., Niemenmaa, A. 2004, 7)

Moottorit ja generaattorit ovat useimmiten rakenteeltaan hyvin samankaltaisia ja jarrutettaessa myös sähkömoottori muuntaa mekaanista energiaa sähköiseksi. Merkittävien ero löytyy koneiden arvokilvistä, missä ilmoitetut nimellistehot eroavat suunnittelun käytön mukaan. Sähkömoottorin nimellisteho tarkoittaa akselilta saatavaa mekaanista tehoa ja generaattorin puolestaan liittimistä saatava sähköinen teho. (Niiranen 1999, 17.)

1.7 Modulaarinen korkeajännitemoottori

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltava moottorin valmistusprosessi tuottaa roottoreita AMI800-1000 tyyppin sähkömoottoreihin (kuva 1). Moottorit ovat korkeajännitteisiä modulaarisia induktio-moottoreita. Akselin korkeus on valittavissa 800, 900 ja 1000 millimetrin väliltä ja kyseinen korkeus näkyy myös moottorin nimessä. Moottorit toimivat jännitealueella 575 V – 13,8 kV ja 50 Hz tai 60 Hz taajuudella. Moottorit tuottavat maksimissaan tehoa 23 MW tai 30 000 hevosvoimaa. Nelinapaisena pyörimisnopeudet ovat nollan ja 1800 rpm (kierrosta minuutissa) välillä. Moottori on mahdollista asentaa pysty- tai vaakasuoraan. Yleisimpiä käyttökohteita ovat: kompressorit, pumput ja vesikulkuneuvojen työntövoima.



Kuva 1. AMI800

AMI:n standardoitu alusta sisältää erilaisia vaihtoehtoja tuotannon tehokkuuden mahdollistamiseksi kaikilla toimialoilla, sovelluksissa ja ympäristöolosuhteissa. Vähäinen tärinä, matala melutaso ja korkea modulaarisuus mahdollistaa AMI-moottorin suunnittelemisen täyttämään lähes kaikki asiakkaan erityisvaatimukset.

2 LEAN-AJATTELU

2.1 Lean johtamisfilosofia

2.1.1 Lean historiaa

Lean pohjautuu japanilaisen Toyota Motor Corporationin Toyota Production Systemiin (TPS). Taiichi Ohnon (1912–1990) piti kehittää tuotantoa suuntaan, jossa saatiin enemmän aikaiseksi vähemmällä. Tämä onnistui yhdistelemällä olemassa olevia konsepteja mm. Fordin 1900-luvun tuotantoideasta ja amerikkalaisesta supermarketista sekä kehittämällä niitä itse. (Six Sigma, Leanin historiaa 2024.)

Vuonna 1945 Toyotalla esitettiin kunnianhimoinen tavoite saavuttaa amerikkalaiset kilpailijat tuottavuudessa kolmessa vuodessa. Kilpailijoiden tuottavuuden arvioitiin olevan noin kymmenen kertaa suurempi ja tavoite oli liian korkealla saavutettavaksi. Toyota onnistui kuitenkin kymmenkertaistamaan tuottavuutensa osassa ydintoimintojaan vuoteen 1955 mennessä. Kilpailijat oli jo ohitettu, mutta kuvitteellinen täydellinen altavastaajan asema tehosti toimintaa vielä paremmaksi. (Fujimoto 1999, 64.)

Lean (suom. ohut, hoikka) ei nimestään huolimatta viittaa ohueen tai laihaan tuotantoon. MIT:ssä työskennellyt tutkija John Krafcik, joka oli osana autotehtaiden tuottavuutta tutkivaa ryhmää vuonna 1987. Hän totesi Toyotan mallin tuottavan saman määrän arvoa kuluttaen vähemmän kaikkea ja päätti nimetä tätä LEAN:ksi. Yleiseen tietoisuuteen lean tuli vuonna 1990 James Womackin ja Daniel Roosin *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production* kirjan myötä. (Six Sigma, Leanin historiaa 2024.)

2.1.2 Tarkoitus

Lean on johtamisfilosofia, jonka perimmäinen tarkoitus on korostaa virtaustehokkuutta ja tuottaa asiakkaalle mahdollisimman paljon arvoa huomioiden tuottajan tar-

peet, eli toimimalla kustannustehokkaasti. Tavoitteeseen pyritään vähentämällä hukkaa, jota on kaikki asiakkaalle arvoa tuottamaton toiminta. (Vuorinen 2023, 72.)

Leanin viisi peruseriaatetta ovat:

- 1) Asiakkaan arvon määrittäminen
- 2) Arvoketjun tunnistaminen
- 3) Tuotannon virtaus
- 4) Imuohjauksen toteutuminen
- 5) Täydellisyyteen pyrkiminen

1. Asiakas määrittää jokaisen tuotteen tai palvelun arvon. Tuottajan on tärkeä tietää mitä ominaisuuksia asiakas haluaa ja mistä on valmis maksamaan. Arvo määräytyy asiakkaan halusta käyttää tuotteen tai palvelun hankintaan aikaa, rahaa ja energiaa. Asiakkaan kokemaan arvoon vaikuttavia tekijöitä ovat muutkin kuin hinta, ja tämä tulee ottaa huomioon kehitystyössä. (Vuorinen 2023, 73.)

2. Arvovirran kartoittamisessa kuvataan kokonainen prosessi yhdelle paperille. Ideana tiivistetyssä kuvauksessa on helpompi tulkittavuus ja ymmärrys prosessista. Prosessin nykytila selvitetään ja sitä verrataan haluttuun tilanteeseen. Nykytilanteen kuvauksesta määritellään millä työkaluilla optimaalista tilannetta lähdetään tavoittelemaan. Arvovirran kartoittaminen mahdollistaa hukan tunnistamisen ja vähentämisen materiaali- ja informaatiovirtauksesta. (Cudney 2009, 45.)

3. Tuotannon virtauksen tulee olla jatkuvaa ja selkeää. Odottaminen, arvoa tuottamaton siirtely sekä prosessointi tulee karsia pois. Kunnossapitoon ja käytettävien laitteiden toimintavarmuuteen tulee kiinnittää huomiota tuotannon pysähtymisen välttämiseksi. Materiaalivirtojen lisäksi informaation tulee virrata sujuvasti ja virheettömästi. (Vuorinen 2023, 73.)

4. Imuohjauksen toteuttamisessa määriteltyään asiakasarvoa parhaiten lisäävän arvoketjun on mahdollista siirtyä valmistamaan tuotteita vasta asiakkaalta tilauksen perusteella. Asiakas saa juuri sitä mitä haluaa riittävän nopeasti ja välttyään turhalta varastoinnilta ja siitä koituvista kustannuksista. (Vuorinen 2023, 73.)

5. Täydellisyyteen pyrkiminen on hyvä lähtökohta loppumattomalle prosessien kehitystyölle ja jatkuvalla parantamisella. Laadun ja tuottavuuden kehittämisessä työntekijät ovat merkittävässä roolissa. (Vuorinen 2023, 74.)

2.1.3 Hukka

Toyota Production Systemin seitsemän alkuperäistä hukan muotoa ovat: ylituotanto, varasto, kuljetus, liike, yliprosessointi, odotus, ja laatuongelmista johtuva uudelleen tekeminen. Seitsemän alkuperäisen hukan lisäksi listaan on lisätty myöhemmin osamisen vajaa käyttö. Puhuttaessa arvoa tuottamattomista toiminnoista on hukka (muda) usein korostettuna selvästi epätasapainoa (mura) ja ylikuormitusta (muri) enemmän. Hukka ei ole kuitenkaan epätasapainoa tai ylikuormitusta merkittävämpi tekijä, mutta esiteltiin ensimmäisenä aiheen helpon ymmärrettävyyden takia. (Piirainen 2014.)

2.1.4 Epätasapaino

Epätasapaino (mura) tarkoittaa missä tahansa toiminnassa havaittua epätasapainoa. Tasapainoa on mahdotonta saavuttaa koska systeemissä on aina vaihtelua. Epätasapainon tarkastelu auttaa paljastamaan läpimenoa estävät pullonkaulat. (Piirainen 2014.)

2.1.5 Ylikuormitus

Ylikuormituksella (muri) tarkoitetaan työsuoritusta tekevään kohteeseen kohdistuvaa ylikuormitusta. Ylikuormitus voi kohdistua ihmisiin tai koneisiin. Kestämätön työskentelytapa johtaa lopulta ihmisten sairastumiseen ja koneiden hajoamiseen. (Do 2017.)

2.1.6 5S-menetelmä

5S on japanilainen viisiportainen työympäristön organisointimenetelmä. Menetelmälle on ominaista poistaa työympäristöstä kaikki virtausta estävät asiat.

Ainoastaan työtehtävän suorittamisen kannalta olennaiset asiat jätetään ympäristöön ja ne niille määritetään omat paikat. Menetelmän nimi tulee portaan toimintaa kuvaavasta japaninkielisestä nimityksestä. Portaiden vaiheet on listattu alla.

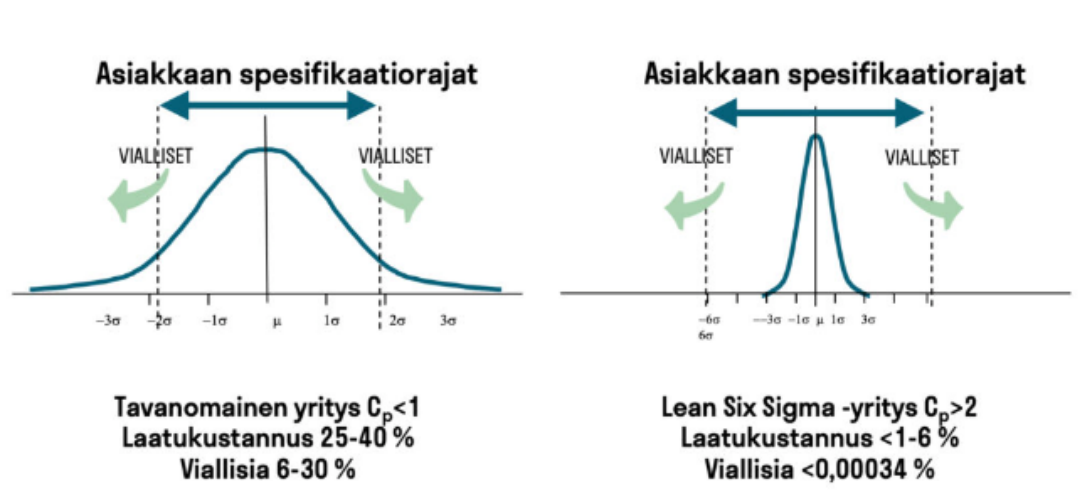
- 1) Lajittelu (Seiri)
- 2) Järjestäminen (Seiton)
- 3) Puhdistaminen (Seiso)
- 4) Standardointi (Seiketsu)
- 5) Sitoutuminen (Shitsuke)

Lajittelun tarkoituksena on hankkiutua eroon kaikesta työsuorittamisen kannalta tarpeettomasta. Toisessa portaassa on tarkoitus määrittää tarvittaville asioille omat paikat, jotta ne ovat mahdollisimman hyvin saatavilla tarvittaessa ja kaikki tietävät mistä ne löytyvät. Puhdistamisella haetaan yleistä siisteyttä. Standardointi liittyy kolmen ensimmäisen kohdan ylläpitoon. Sitoutuminen on osioista haastavin, mutta myös kaikin tärkein. Sitoutumisen idea on tehdä menettelystä rutiini. Onnistunut sitoutuminen vähentää työpaikalta vaaratekijöitä ja ongelmatilanteet tulevat helpommin havaittaviksi. Turvallisuus onkin menetelmän käytön myötä ilman erillisiä toimia saavutettava kuudes S. (Väisänen 2013.)

Ottamalla 5S käyttöön saavutetaan useita hyötyjä. Nykyiset toiminnot pystytään suorittamaan pienemmässä tilassa. Työkalujen ja materiaalien järjestäminen omille paikoilleen vähentää etsimisen tarvetta, jonka seurauksena toiminnot tehostuvat. Menetelmä säästää myös resursseja, koska välttyään esimerkiksi uuden kemikaalin tarpeettomalta avaamiselta. Kulkuväylien merkitseminen ja esteettömän kulkemisen turvaaminen vähentävät onnettomuusriskejä. Siistissä ympäristössä koneiden viat huomataan helpommin ja ehditään todennäköisemmin korjaamaan ennen vakavampia vaurioita. Visuaalisten merkintöjen avulla työntekijöiden ymmärrys mahdollisista vaaroista ja tarvittavista hätätoimenpiteistä kasvaa. 5S auttaa ylläpitämään järjestystä rutiinimaisesti ja tarjoaa pohjan muiden lean-menetelmien käyttöönottamiselle. (Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviraston www-sivut 2023.)

2.2 Six Sigma

Six Sigma (6σ) on Motorolan 1980-luvulla kehittämä menetelmä, joka pitää sisällään tekniikoita ja työkaluja liiketoimintaprosessien parantamiseen. Menetelmä keskittyy vaihtelun vähentämiseen ja laadun kasvattamiseen. Six Sigma käyttää tilastoteoriaa olettaen, että jokaista prosessitekijää voidaan luonnehtia tilastollisella jakaumakäyrällä. Tarkoituksena on poistaa kaikki viat jokaisesta prosessista. Six Sigman tarjoamilla työkaluilla on mahdollista päästä lähes kokonaan eroon virheistä tuotteissa tai palveluissa. Tavoitetilassa virheitä esiintyy alle neljä miljoonasta. Yrityksen soveltaessa Six Sigmaa kaikkiin toimintoihinsa on sen mahdollista kasvattaa kannattavuutta merkittävästi. (Taghizadegan 2006, 3–4.) Kuvioista 2 havaitaan vaihtelun vähentämisen merkitystä virheellisissä tuotteissa ja laatuksissa tavanomaisen ja kuuden sigman tasolla toimivan yrityksen välillä. Weren (2018) mukaan suurin osa yrityksistä toimii kahden ja kolmen sigman välillä.



Kuvio 2. Vaikutuksia suorituskyvyn parantamisesta. (Six Sigma, Yleistä Lean Six Sig-masta 2024.)

Six Sigman avulla voidaan ennustaa prosessin kykyä tuottaa asiakasodotukset täyttäviä tai muiden asetettujen tavoitteiden mukaisia lopputuloksia. Kreikkalainen kirjain Sigma (σ) ilmaisee keskihajontaa. Sigma-tasot kertovat vaihtelun määrästä ja suurempi taso ilmaisee pienempää vaihtelua. Käyttämällä Sigmaa yhteisenä mittarina on mahdollista vertailla tuotteiden, palveluiden ja prosessien laatutasoja. Taulukko 1 havainnollistaa Sigma-tason vaikutusta virheisiin miljoonaa mahdollisuutta kohden (Defects per million opportunities) ja virheistä aiheutuvia kustannuksia. Taulukon lukemat

on johdettu käyttäen 1,5 Sigman siirtymää lyhyen aikavälin arvoksi Sigmalle. Toimenpide lisää tarkkuutta tarkasteltaessa eroavaisuuksia lyhyt- ja pitkäkestoisten prosessien suorituskyvyn välillä. (Watson 2004, 2).

Taulukko 1. Sigma-tasot 1–6. (Mukaillen Watson 2004)

Sigma taso	Virheitä miljoonassa	Prosessin tuotto %	Virheiden arvioitu kustannus % tuloista
1 σ	670 000	33	>40
2 σ	308 537	69,2	30–40
3 σ	66 807	93,32	20–30
4 σ	6 210	99,38	15–20
5 σ	233	99,9767	10–15
6 σ	3,4	99,99966	<10

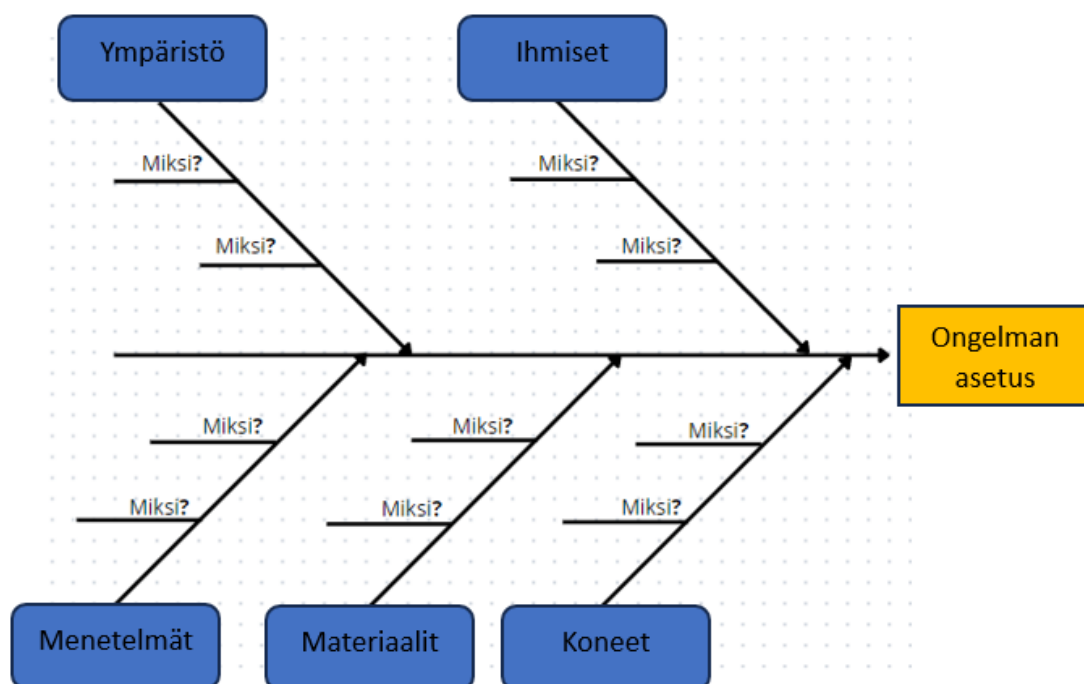
2.2.1 SIPOC-malli

SIPOC on työkalu, jota käytetään tunnistamaan kaikki avaintekijät ennen prosessin kehittämisprojektin aloittamista. Avaintekijöiden tunnistaminen auttaa projektin suunnittelussa ja sen laajuuden hallitsemisessa. SIPOC tulee sanoista Suppliers eli toimittajat, Inputs eli syötteet, Process eli kehitettävä prosessi, Outputs eli ulostulo ja Customers eli asiakkaat, jotka vastaanottavat ulostulot. (Baker 2007, 187)

SIPOC:n luominen tapahtuu kahdeksan vaiheen kautta. Aluksi kuvattava prosessi tunnistetaan ja nimetään. Toisessa vaiheessa määritetään prosessin aloitus ja lopetuskohdat sekä laajuus. Kolmanneksi listataan tärkeät ulostulot vaatimuksineen sekä miten vaatimuksia mitataan. Neljänneksi listataan prosessin jokaiselle ulostulolle asiakkaat. Viidenneksi dokumentoidaan ulostulojen asiakasvaatimukset ja vaatimukset prosessin syötteille. Kuudennessa vaiheessa listataan prosessin vaatimat inputit ja niiden mittaminen. Vaiheessa seitsemän listataan prosessin toimittajat. Viimeisessä vaiheessa tunnistetaan, nimetään ja määritetään prosessin keskeiset vaiheet. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 101.)

2.2.2 Juurisyyanalyysi

Syy- ja seurauskaavio, tunnetaan myös nimillä kalanruotokaavio, juurisyyanalyysi ja Ishikawan diagrammi. Kaavio auttaa ongelman juurisyyden selvittämisessä ja tarjoaa perustan mahdollisten ongelman aiheuttajien analysoimiseen. Kaaviossa listataan jäsennellisesti kaikki lopputuotteeseen vaikuttavat tekijät. Tekijöitä pohditaan kriittisesti oikeiden ongelmien vahvistamiseksi (Strong 2014, 119.) Kuviossa 3 on esitettyä analyysikaavion perusmalli.



Kuvio 3. Syy- ja seurauskaavio (mukaillen Karjalainen & Karjalainen 2002, 130.)

Syy- ja seurauskaaviossa on pitkä nuoli (selkäruoto) vaakatasossa, jonka päähän sijoitetaan tutkittava ongelma. Selkäruotoon yhdistyy lyhyempiä nuolia, joiden päähän sijoitetaan keskeiset ongelman aiheuttajat tai syyt. Yleisesti käytetään materiaaleja, koneita, ihmisiä ja menetelmiä. Näiden lisäksi voidaan lisätä vielä ympäristö. Aivoriihitekniikan avulla mietitään jokaisen edellä mainitun kategorian alle mahdollisia ongelman aiheuttavia syitä. Valmis syy- seurauskaavio antaa selkeän graafisen kuvan sisältäen vähäpätöisempien syiden lisäksi todennäköisesti myös merkittäviä syitä. Analysoimalla kaaviota pyritään erottelemaan eri syiden joukosta juurisyyt. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 130–131.)

2.2.3 Prosessikuvaus

Prosessikartta on graafinen esitys prosessin virtauksista. Yksityiskohtainen prosessikuvaus sisältää informaatiota jaksoajasta, laadusta, kustannuksista, syötteistä ja ulostuloista. Prosessikuvauksen informaatiota voidaan hyödyntää prosessin parantamisessa. Prosessikuvaus esittää visuaalisesti prosessin monimutkaisuuden ja tunnistaa arvoa lisäämättömien toimintojen lähteet. Prosessikuvaus tunnistaa keskeiset prosessin syötemuuttujat (x), jotka liittyvät keskeisiin prosessivaiheisiin tuottaen keskeiset ulostulomuuttujat (Y). Prosessikuvaus luokittelee kaikki syötemuuttujat (x:t) prosessivaiheissa joko kriittiseksi avaintekijäksi, ohjattavaksi tekijäksi, häiriötekijäksi tai vaikiotoimintamenettelyksi. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 103.)

Prosessikuvauksen tulee dokumentoida prosessi sen todellisen toiminnan mukaan, eikä tavoitetilan. Vääristynyt alkutilanne piilottaa ongelmia ja hankaloittaa kehitystarpeiden huomaamista. Prosessikuvauksen tulisi sisältää mm. pääaktiviteetit, alaproces- sit, prosessien rajapinnat, syötteet, ulostulot, parametrit tuotteille ja prosessille, asiak- kaat ja toimittajat ja prosessin omistajan. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 104.)

Prosessikuvauksen luominen alkaa prosessin laajuuden määrittämisestä. Seuraavaksi dokumentoidaan prosessin kaikki vaiheet. Dokumentoinnin jälkeen listataan ulostulot kaikista prosessivaiheista tämän jälkeen syötteet. Lopuksi luokitellaan kaikki syötteet ja mikäli tarpeellista listataan kaikille ohjattaville syötteille toimintaspesifikaatiot ja prosessitavoitteet. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 105.)

2.3 Lean Six Sigma

Lean Six Sigma on (ISO 13053-1/2:2014) standardoitu laatutekniikan menetelmä (Pii- rainen 2023). Leanin yhdistäminen Six Sigmaan tuli yleiseen tietoisuuteen ja alkoi le- vitä laajemmin liike-elämään Michael L. Georgen vuoden 2002 ”Lean Six Sigma – Combining Six Sigma Quality with Lean Speed” kirjan myötä. (Karjalainen 2011.)

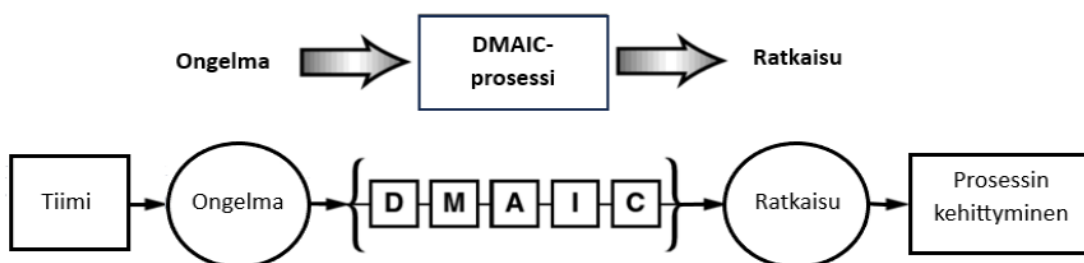
Breyfogle, Cupellon & Meadowsin (2001, 21) mukaan Pyzdek (2000) toteaa Leanin ja Six Sigman olevan vaihtoehtoisten tai kilpailevien menetelmien sijasta kuin saman

ketjun kaksi eri lenkkiä. Kummatkin vähentävät vaihtelua, mutta lähestyvät ongelmaa eri näkökulmista.

Lean ja Six Sigma yhdessä muodostavat tehokkaimman työkalun prosessien vaihtelun vähentämiseksi. Six Sigma käyttää ongelmanratkaisumenetelmiä määrittämään prosessien toimintaa ja keinoja vaihtelun vähentämiseen. Lean luo standardin ja Six Sigma tutkii sekä ratkaisee poikkeamat. Lean Six Sigma yhdistää Six Sigman laadun Leanin nopeuteen. (Breyfogle, Cupello & Meadows 2001, 23; George 2002.)

2.4 DMAIC

Motorolan voittaessa vuonna 1987 laatupalkinnon Six Sigmalla tunnettiin se vielä toiselta nimitykseltään MAIC menetelmänä. DMAIC syntyi mm. ABB:n ja General Electricin muotoillessa 1990-luvulla virheiden ja vikojen poistoon keskittyvästä Six Sigmasta kustannuksiin ja pääoman tuottoon kohdentuvan menetelmän. Lisättiin määrittelyosuus (Define), josta selviää projektille sovellettava kohde ja projektin arvioitu tuotto. (Karjalainen 2011.) Kuvio 4 esittää DMAIC-prosessia.



Kuvio 4. DMAIC-prosessi (mukaiillen Shankar 2009, johdanto, 18.)

DMAIC on viisivaiheinen ongelmanratkaisumenetelmä, jonka nimi tulee vaiheiden englanninkielisten nimien ensimmäisistä kirjaimista (Define, Measure, Analyze, Improve & Control). Vaiheiden järjestys ja suomenkieliset nimitykset on määritelty alla.

- 1) Määrittely
- 2) Mittaus

- 3) Analysointi
- 4) Parannus
- 5) Valvonta

”DMAIC on Lean Six Sigma -menetelmän keskeinen viitekehys ja vaiheittainen lähestymistapa projektien toteuttamiseen ja suorituskykyongelmaratkaisuun” (Piirainen 2023). Lean Six Sigma sisältää toistasataa työkalua ja käytettyjen työkalujen hallitsemisen lisäksi on tärkeää käyttää niitä oikeassa paikassa. DMAIC ryhmittää työkalut osakokonaisuuksiksi helpottaen niiden käyttöä oikeassa vaiheessa. Taulukossa 2 osa mahdollisista työkaluista ja käyttöajankohta DMAIC-prosessissa. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 120.)

Taulukko 2. Työkaluja vaiheittain (mukaiillen Karjalainen & Karjalainen 2002, 120.)

Työkalu	D	M	A	I	C	Työkalu	D	M	A	I	C
Affility Diagrammi	•	•	•	•		Parannuskohteen arviointi	•				
Aikasarjat		•				Pareto		•	•	•	
ANOVA			•			Priorisointi matriisit		•		•	
ANOM			•			Projektsuunnitelma	•				•
Benchmarking	•			•		Prosessin kuvaus	•	•	•	•	•
Brainstorming	•		•	•		Prosessin kyvykkyys		•		•	
CTQ-puu	•					Prosessin sigma		•		•	
CT-matriisi	•					Perustamisasiakirja	•				
Datan keräyssuunnitelma		•	•	•	•	QFD				•	
DoE			•	•		Regressio			•		
DoE Advanced					•	Residuaalianalyysi				•	
FMEA		•		•		Robusti prosessi					•
Frequency kuvat		•	•	•		RSM					•
Gage R&R		•				RTY	•				
GLM				•		SIPOC	•				
Hajontakuvat			•			SPC		•	•	•	•
Histogrammi			•	•		Suorituskykyanalyysi		•		•	•
Hypoteesitestaus			•			Standardointi					•
Jaksoaika analyysi	•	•	•	•		Stratifiointi		•	•	•	•
Kano-malli		•				Suunnittelutyökalut				•	•
Luottamusväli			•			Syy&Seuraus Diagrammi			•		
Raja-arvolause			•			Taguchi menetelmä			•	•	
Korrelaatio	•		•			Toimintasuunnitelma	•				•
MSA		•				Toleranssisuunnittelu					•
Multi-Vari			•			TPM					•
Näytteenotto		•	•			VOC	•				
Ohjauskortit		•	•	•	•	Vuokaaviot	•	•	•	•	•
Ohjaussuunnitelma	•				•	XY-matriisi	•	•	•		
Ongelman asettaminen	•					5 S					•
						5 Miksi					•

2.4.1 Määrittely

Määrittelyvaihe aloittaa prosessin ja sen tarkoituksena on ongelmien ja asiakasvaatimusten pohjalta määrittellä projektin tarkoitus ja laajuus. Määrittelyvaiheessa kerätään taustainformaation lähtötilanteen selvittämiseksi. Kuvaamalla prosessin nykytila ja selvittämällä asiakastyytyvyydelle kriittiset tekijät saadaan tietoon mistä kehitys aloitetaan ja mihin asioihin kehityksessä tulee keskittyä. Määrittelyvaiheessa selvitetään myös käytettävissä olevat resurssit ja asetetaan projektille aikataulu. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 46.)

Määrittelyvaiheessa on tärkeää esittää oikeanlaisia kysymyksiä, jotta projekti ei lähde ajautumaan väärään suuntaan. Määrittelyvaihetta ohjaavia kysymyksiä ovat esimerkiksi:

- Miksi osa-alue vaatii parannusta?
- Kuinka paljon ongelma maksaa yritykselle?
- Kuinka määritellään poikkeamat suorituskyvyssä?
- Ketkä ovat asiakkaita ja mitkä ovat keskeiset asiakasvaatimukset?
- Onko vastaavia projekteja tehty aikaisemmin?
- Kuinka onnistuminen määritellään?

Määrittelyvaiheessa käytettäviä työkaluja ovat esimerkiksi SIPOC-kaavio, Kano-malli asiakastyytyväisyydestä, Juurisyyanalyysi ja Riskiin perustuva päätöksenteko. (Watson 2004, 99–102)

Onnistuneen määrittelyvaiheen jälkeen on selvillä kehityksen selkeä tavoite, ylätasoinen prosessikuvaus ja asiakastyytyväisyyden kannalta kriittiset tekijät. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 46.)

2.4.2 Mittaus

Mittausvaiheessa kerätään tietoa valitun prosessin suorituskyvystä. Informaation pohjalta pystytään paremmin ymmärtämään mitä prosessissa tapahtuu ja missä kohdataan ongelmia. Prosessin nykytilan selvittämiseksi tehdään prosessikaavio ja riskien ymmärtämiseksi ja tunnistamiseksi riskianalyysi eli FMEA (Failure Mode Effect Analysis). Määritetään prosessin kyky vastata asiakasodotuksiin laskemalla prosessin suorituskyky. Arvioidaan mittausjärjestelmän tarkkuus kerätyn datan laadun varmistamiseksi ja vaihtelun vähentämiseksi. (Shankar 2009, 11.)

Mittausvaiheessa voidaan esittää seuraavia kysymyksiä ja työkaluja (Watson 2004):

- Mikä on ongelman toiminnallinen määritelmä?
- Toimitammeko sitä mitä asiakas haluaa?
- Mikä on todellinen suorituskyky?
- Mikä on maksimaalinen suorituskyky?
- Kuinka paljon eroa on todellisen ja maksimaalisen suorituskyvyn välillä?
- Paljonko on huonon laadun hinta?

- Missä prosessi voi mennä pieleen ja kuinka, miten se vaikuttaa asiakkaaseen?

Mittausvaiheessa mahdollisia työkaluja: asiakastyytyväisyyskysely, ajatuskartta, $y=f(x)$ analyysi.

Mittausvaiheen tavoitteena on todentaa ongelman olemassaolo keräämällä informaatiota ongelmasta tai mahdollisuudesta. Mittausvaihe aloittaa juurisyiden etsinnän. Mittausvaiheessa syntyvän datan pohjalta saadaan selvyttä ongelman yleisyydestä, laajuudesta tai paikasta. Mittausvaiheessa määritellään prosessin suorituskykyyn ja vaihteluun vaikuttavat tärkeimmät tekijät ($y=f(x)$). (Karjalainen & Karjalainen 2002, 48; Watson 2004, 105.)

2.4.3 Analyysi

Analyysivaiheessa prosessin suorituskyvystä kerättyä tietoa analysoidaan hallittavissa olevien vaihtelun aiheuttajien löytämiseksi ja ongelman juurisyiden määrittämiseksi. Mitatun tiedon pohjalta määritetään myös alueet jotka ovat mahdollisia kohteita prosessin kehittämisen kannalta. (Watson 2004, 111–114.) Analyysivaiheessa tehdään prosessi- ja datanalyysia. Prosessianalyysi tutkii asiakkaan vaatimuksia täyttäviä olemassa olevia ydin ja avainprosesseja. Tarkoituksena on tunnistaa jakso- ja läpimenoajat sekä asiakasarvoa lisäämättömät korjaukset, uusintatyöt ja prosessien alhaalla olo ajat. Data-analyysissä kerättyä dataa käytetään kuvioiden, trendien ja muiden erojen etsimiseen. Erojen pohjalta voidaan saada vihjeitä ongelmaa tai mahdollisuutta koskevasta teoriasta. Erot voivat myös tukea teoriaa tai hylätä sen. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 49.)

Watsonin (2004) mukaan analyysivaiheessa voidaan hyödyntää seuraavia ohjaavia kysymyksiä ja työkaluja:

- Mittausten laatu?
- Mitkä ovat tunnistettavia vaihtelun lähteitä?
- Mitkä tekijät tukevat tietyn tekijän merkittävyyttä tilastoissa ja käytännössä?

- Käytetäänkö projektissa loogisia menetelmiä ja onko se helposti ymmärrettävissä?
- Mitkä muutokset ovat kehittymisen kannalta tarvittavia?
- Miten tiedämme mitä olemme kehittäneet?
- Mitä on mahdollista säästää kehityksen myötä?

Käytettäviä työkaluja:

Pullonkaula-analyysi, regressioanalyysi ja juurisyysanalyysi

Määrittely- ja mittausvaihe keskittyvät ratkaistavan ongelman tunnistamiseen. Analyysivaiheessa luodaan mittausvaiheen tulosten pohjalta hypoteesit joiden avulla pyritään todistamaan muutosta tapahtuneeksi. Hypoteesi hyväksytään kun muutosta on testauksessa havaittu tai sitä on riittävästi. (Shankar 2009, 41.)

2.4.4 Parannus

Parannusvaiheessa kokeillaan ja sovelletaan analyysivaiheen perusteella juurisyihin vaikuttavia ratkaisuja. Parannusvaiheessa on tarkoitus saada aikaiseksi ongelman ratkaisevat suunnitelmat ja testatut toimenpiteet. Prosessin suorituskyvyn kasvattamisessa vaihtelun juurisyitä vähentävät ratkaisut ovat avainasemassa. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 51–52.)

Parannusvaiheessa esitettäviä kysymyksiä:

- Mikä mahdollisista ratkaisuista on toistaiseksi paras ja toteuttamiskelpoisin?
- Mitä oletuksia potentiaalsiin ratkaisuihin liittyy?
- Mitä mahdollisia ongelmia ratkaisuehdotus pitää sisällään? (Watson 2004, 116.)

Prosessia parannetaan tutkimalla ja testaamalla ratkaisuja jotka vähentävät prosessin vaihtelua ja tekevät siitä varmatoimisemman. (Mukaillen ISO 13053-1)

2.4.5 Valvonta

Valvontavaiheen tavoitteena on tuottaa projektille ohjaussuunnitelma joka:

1. Tarjoaa jatkuvan optimaalisen suorituskyvyn.
2. Tekee koko organisaation tietoiseksi kehityksen tuloksista.
3. Sisällyttää parannukset osaksi päivittäistä työrutiinia.
4. Mittaa suorituskykyä ja osoittaa korjaustoimenpiteiden tarpeellisuuden, mikäli suorituskyky laskee alle tavoitteen.

Valvontavaiheessa esitettäviä kysymyksiä:

Kuinka varmistetaan saavutettujen parannusten ylläpitäminen?

Voidaanko jotain projektista opittua hyödyntää muualla organisaatiossa?

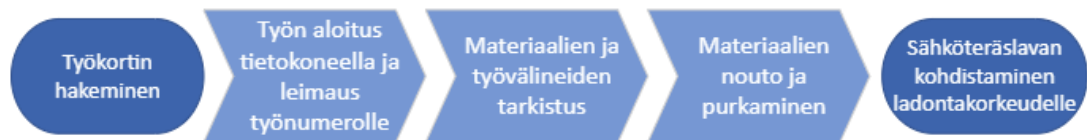
Kattaako loppuraportti kaiken projektissa tehdyn työn?

Valvontavaihe on projektin viimeinen vaihe ja sen tehtävänä on estää kehityksen kohteena olleen prosessin taantumisen takaisin kehitystä edeltävälle tasolle. Kehitettävän prosessin kanssa työskentelevien ihmisten sitouttaminen muutokseen on tärkeää suorituskyvyn säilyttämiseksi pitkällä aikavälillä. (Watson 2004, 119–122.)

3 NYKYTILAN KUVAUS

3.1 Valmistelu

Ennen roottorin valmistuksen aloittamista on tehtävä tarvittavat valmistelut. Lähtökohtaisesti jokainen valmistettava roottori on erilainen pois lukien satunnaiset useamman samanlaisen roottorin sarjat. Kaikki roottorit vaativat tietyn määrän valmisteluja ja saman halkaisijan roottorit pyritään mahdollisuuksien mukaan tekemään aina peräkkäin. Valmistelun tarkoituksena on tehdä tarvittavat toimenpiteet, jotta roottorin valmistus voidaan aloittaa. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 5 mukaisessa järjestyksessä.



Kuvio 5. Valmistelun prosessikaavio

AMI800-1000 tyyppin roottoreita tulee valmistettavaksi selvästi muita roottoreita harvemmin, ja ne sitovat useampia työntekijöitä pidemmäksi aikaa. Näistä syistä työjohto usein erikseen mainitsee milloin seuraava GAMI:n valmistus aloitetaan. Aloitusluvan jälkeen haetaan roottorin työkortti, josta selviää valmistuksen kannalta kriittiset mitat ja roottorin työnumero. Mittojen perusteella päätetään, missä roottori valmistetaan. Roottorit tehdään ensisijaisesti vanhalla puolella, mutta rajoitettu nostokorkeus pakottaa osan valmistamisen uudella puolella.

Valmistuspaikan päättämisen jälkeen etsitään kaikki tarvittavat materiaalit. Lähes poikkeuksetta kaikki materiaalit mahtuvat kuudelle trukkilavalle. Paikannetut materiaalit kuljetetaan trukilla ladontapaikalle, jonka jälkeen avataan peltivanteet, poistetaan muovit ja siirretään puiset kehikot lavojen päältä pinoon. Ladontaveitselle tuleva ura merkataan samaan kohtaan kaikkien sähköteräslevyjen ulkoreunaan. Tuurna nostetaan lähemmäs ladontapaikkaa ja tuurnalle nostetaan sopiva pohja. Tuurna on ladonnassa käytettävä työväline, jonka tarkoitus on varmistaa sähköteräslevyjen akselin reikien oikea asemoituminen. Tuurna pitää myös sähköteräslevyt yhdessä ennen puristusta ja lukitusta. Tuurna ja pohja kohdistetaan nosturilla ladontaveitsen keskelle ja tuurnan

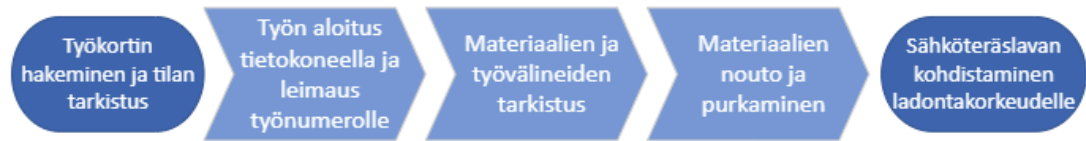
päästä poistetaan nostolenkki. Pohja harjataan ja puristusrenkas nostetaan magneettien avulla tuurnalle. Yhden merkityn sähköteräslevyn avulla määritetään puristusrenkaan oikea kohta suhteessa sähköteräslevyyn ja ladontaveitseen. Tuurnan ripojen tasaisuus tarkistetaan ja epätasaisuudet hiotaan pois. Valmistuksessa tarvittavat materiaalit sijoitellaan optimaalisesti. Ohjaustikut sijoitetaan sähköteräslevyjen urien väliin ja latojat siirtävät työskentelytasot haluamalleen etäisyydelle. Kuva 2 havainnollistaa valmista valmisteluvaihetta.



Kuva 2. Valmis valmisteluvaihe

3.2 Valmistelu uudella puolella

Roottori valmistetaan uudella puolella, mikäli vanhan puolen työvälineet ovat sopimattomia tai nostokorkeus on riittämätön. Valmistuspaikan määrittää ainoastaan roottorin koko. Uuden puolen valmistelut eroavat vanhasta puolesta, koska valmistusmenetelmät ovat erilaisia. Valmistuksen perusidea on kuitenkin molemmilla puolilla samanlainen. Vanhalla puolella valmistettavan roottorin pystyy valmistamaan myös uudella puolella. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 6 mukaisessa järjestyksessä.



Kuvio 6. Valmistelun prosessikuvaus uudella puolella

Työkortin hakemisen jälkeen paikannetaan materiaalit ja varmistetaan, että työskentely ympäristössä on riittävästi tilaa. Tuurnan alusta harjataan ja tuurna nostetaan paikoilleen. Ladontapaikassa on tuurnalle osoitettu kohta ja tuurna asettuu automaattisesti oikeaan paikkaan. Tuurnasta ruuvataan nostolenkki irti ja tuurnalle nostetaan pohja. Pohjan nostoa varten haetaan vanhalta paikalta nostokorvat ja nostoliinat. Kun pohja on riittävän suuri, ei ladontaveitsi pääse liikkumaan sähköteräslevyjen uraan asti. Tässä tapauksessa ladontaveitsi irrotetaan, väliin lisätään jatkopalat ja veitsi kiinnitetään takaisin.

Materiaalit kuljetetaan trukilla lähistölle. Sijoitettaessa materiaaleja huomioidaan vieressä kulkevan käytävän henkilö- ja trukkiliikennettä. Juotoskopista haetaan porakone, jolla poistetaan lavojen kulmiin ruuvatut puiset tuet (kuva 4). Sähköteräslavoista poistetaan myös metallivanteet. Kuvassa 3 on nähtävissä materiaalien optimaalinen sijoittelu ennen valmistuksen aloittamista.



Kuva 3. Sähköteräslavojen sijoittelu.



Kuva 4. Sähköterästen tuki.

Rajallisen tilan vuoksi sähköteräslavat sijoitetaan kuvanmukaisesti. Muovit poistetaan uudesta lavasta ladonnan edetessä. Ladontaveitselle tuleva kohta pelleistä merkataan huomioiden veitsen sijainti oikealla suhteessa pinontavaunuun. Lavan vaihtuessa varmistetaan oikea paikka merkille. Vanhalta ladontapaikalta haetaan työskentelytaso ja sijoitetaan se tuurnan ja sähköteräslavojen väliin (kuva 6). Puristusrenkaista poikkeuksetta joko alimmainen tai päällimmäinen on väärin päin. Ensimmäinen puristusrenkas nostetaan tuurnalle kupera puoli ylöspäin. Puristusrenkas käännetään sorvilta haettavan nostoliinan avulla ja nostetaan magneeteilla paikoilleen. Puristusrenkaan oikea paikka tarkastetaan yhden sähköteräslevyn avulla. Ohjaustikut haetaan vanhalta puolelta ja asetetaan paikoilleen. Kuvassa 5 havainnollistetaan puristusrenkaan kääntämistä.



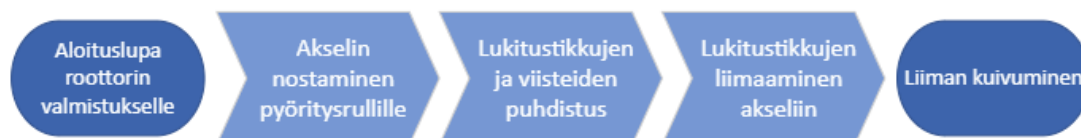
Kuva 5. Puristusrenkaan kääntäminen.



Kuva 6. Liikutettava työskentelytaso

3.3 Akselin valmistelu

Akselin valmistelun tarkoituksena on laittaa akseli valmiiksi pakettiin asennusta varten. Muista roottoreista lähes kaikissa perinteisellä menetelmällä valmistettavissa GAMI:n akseleissa on urat lukitustikuille. Poikkeuksena matalalla kierrosluvulla toimivat roottorit, jotka ovat kuitenkin harvinaisia. Lukitustikut liimataan akseliin ennen akselin asentamista pakettiin ja liimauksen on annettava kuivua vähintään 24 tuntia ennen käyttöä. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 7 mukaisessa järjestyksessä.



Kuvio 7. Akselin valmistelun prosessikaavio

Akselin valmistelu aloitetaan selvittämällä halutun akselin sijainti lipalla. Sijainti tai ympärillä oleva muu tavara saattaa hankaloittaa nostoa tai tehdä siitä mahdotonta. Tarvittaessa akseli ja ympärillä oleva materiaali sijoitellaan noston mahdollistavaan paikkaan. Uudelleen järjestely ei ole aina mahdollista, jolloin materiaalit täytyy siirtää hetkellisesti pois edestä ja noston jälkeen takaisin. Nostoa varten haetaan tarkoituksenmukaiset nostoliinat ja lipan oman nosturin radio-ohjain. Akseli pyritään nostamaan mahdollisimman suorassa säätämällä nostoliinojen paikkaa. Akselin suuren koon takia nostoliinojen pitäminen halutussa kohdassa yksin on haasteellista. Akseli ja akselissa kiinni oleva alusta nostetaan alakerran lattialle. Ennen akselin nostamista on huomioitava toisen nosturin sijainti ja tarvittaessa siirrettävä pois tieltä. Akselin alakertaan laskeamisen jälkeen se vapautetaan alustasta katkaisemalla peltivanteet ja poistamalla suojamuovit. Pyöritysruulat kohdistetaan keskenään suoraan linjaan ja oikealle etäisyydelle. Akseli nostetaan pyöritysruulien päälle – ei koskaan tukilaakeripintojen varaan. Kuva 7 havainnollistaa pyöritysruulille nostettua akselia.

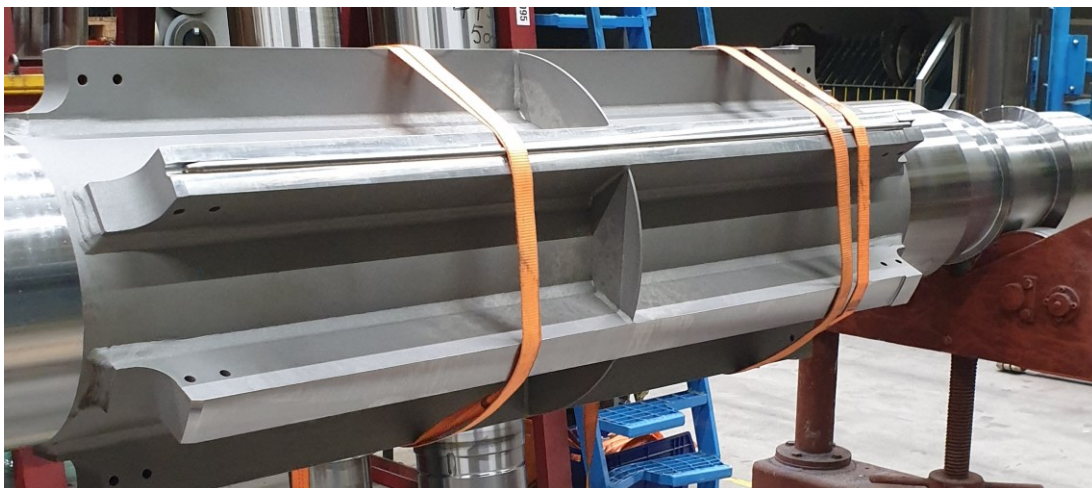


Kuva 7. Akseli pyöritysruulien päällä.

Pyöritysruulat mahdollistavat akselin kääntämisen ja akselin yleiskunnon sekä koneistusjäljen silmämääräisen tarkastamisen. Akselissa on kuusi ripaa, joista kolmessa on ura lukitustikuille. Urat ja lukitustikut puhdistetaan jarrukliinerillä liiman pitämisen varmistamiseksi. Akselin ympärille laitetaan tasaisesti vähintään kaksi kuormaliinaa, jotka pitävät liimauksen aikana lukitustikut paikoillaan. Uraan levitetään liimaa ja asetetaan lukitustikut yksi kerrallaan kuormaliinan alle haluttuun kohtaan. Kuva 8 havainnollistaa tilannetta ennen lukitustikkuja. Kuva 9 havainnollistaa akselin ulkonäköä liiman kuivussa.



Kuva 8. Kuormaliinat ja liima ennen lukitustikkuja.



Kuva 9. Lukitustikut kuivumassa.

Lukitustikkujen paikoituksen jälkeen kuormaliinat kiristetään mahdollisimman kireälle. Kuormaliinan metallisten osien osumista akseliin tulee välttää. Tarkoitukseen soveltuu parhaiten kuormaliina ilman metallista koukkua sen päässä. Liimavalumat pyyhitään pois. Akselin mukana tulleet peltivanteet, muovit ja pahvit siivotaan ja viedään keräyspisteisiin. Akselin alusta toimitetaan yläkerran käytävälle ulko-oven viereen. Kuormaliinojen tulee antaa olla paikallaan vähintään 24 tuntia, jonka jälkeen ne voidaan purkaa ja akseli on valmis käytettäväksi.

3.4 Ladonta

Roottoripaketti ladotaan työkortin osoittamaan mittaan. Työparin kanssa latominen on tehokkaampaa ja vähemmän kuormittavaa. Suuria roottoreita ei ladota yksin, kuin poikkeustapauksissa. Ladonnassa toinen vastaa osapakettien mittauksesta ja ilmasolan lisäämisestä oikeaan aikaan. Toinen auttaa sähköteräslevyjen nostamisessa tuurnalle. Alussa osapaketteja mittaavan työntekijän on laskeuduttava toistuvasti työskentelytasolta mittauksia varten. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 8 mukaisessa järjestyksessä.



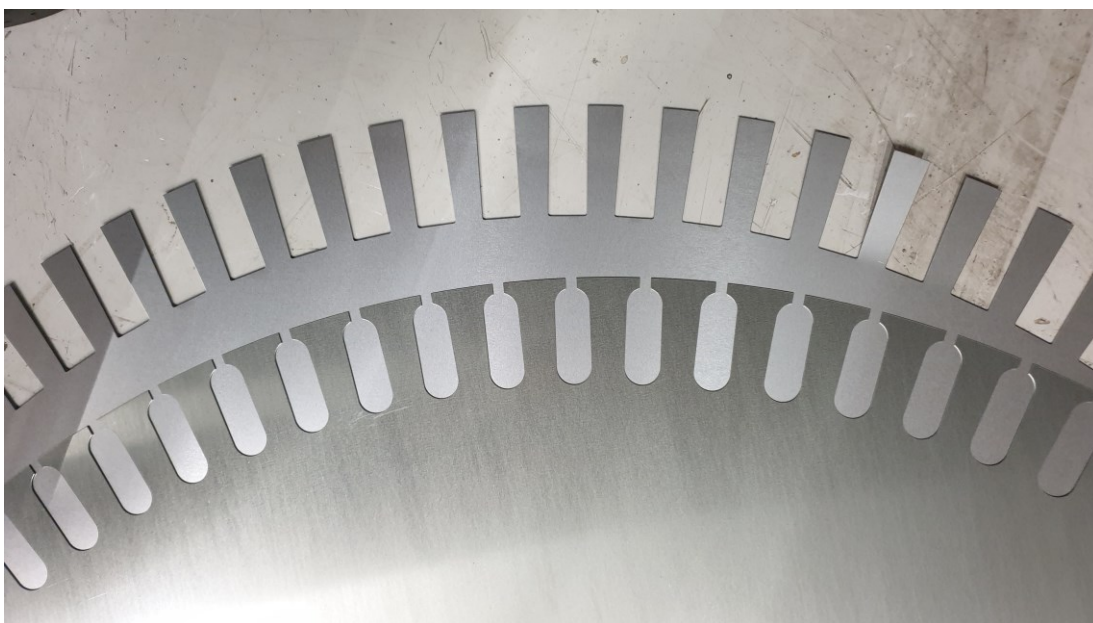
Kuvio 8. Ladonnan prosessikaavio

Ladonta eroaa pienemmistä roottoreista hyvin vähän. Merkittävin ero on paketin sisäpuolelle jäävät urat, joilla ei muissa roottoreissa ole käyttötarkoitusta. Kuva 10 havainnollistaa lukitustikun uran muodostumisen onnistuneen ladonnan seurauksena.



Kuva 10. Urat oikeassa linjassa.

Paketin ladonnassa varmistetaan urien oikea paikka. Urat muodostavat paikan akseliin liimatuille lukitustikuille. Urien asettumista oikein seurataan ladonnan aikana ja virheen sattuessa se korjataan. Tavoitteena on, ettei yhtäkään sähköteräslevyä tarvitse ottaa pois ja kohdistaa uudelleen. Suuren halkaisijan peltejä on vaikea ottaa pois ja vahingoittumisriski on merkittävä. Valmistusmateriaalit sisältävät kuitenkin reilusti ylimääräistä sähköterästä ja yhden ylimääräisen ilmasolan. Toinen huomioitava asia on ilmasolien profiili. Kuva 11 havainnollistaa eroa sähköteräslevyn ja ilmasolan välillä.



Kuva 11. Sähköteräslevy ilmasolan päällä lattialla.

Eroavaisuus ilmasolan ja sähköteräksen profiilissa mahdollistaa ilmasolan asettumisen uran päälle ladontaveitselle valitusta oikeasta urasta huolimatta. Ilmasola kohdistetaan tuurnalle pudottamisen jälkeen keskelle sähköterästä. Kuva 12 havainnollistaa väärin asettuneen ilmasolan. Kuva 13 havainnollistaa ilmasolan oikean kohdan.



Kuva 12. Ilmasola vinossa.



Kuva 13. Ilmasola keskellä.

Paketin kokonaismittaa seurataan jo ladonnan aikana. Usein paketin edistyessä mittaan kertyy muutamia millejä ylimääräistä. Osapakettien avulla säädellään kokonaismittaa laittamalla yksi sähköteräslevy enemmän tai vähemmän. Puristusta varten paketin on ladonnan jälkeen tarkoituskin jäädä muutamia millejä pidemmäksi. Tarvittavaa puristusvaraa arvioidaan sähköteräksen laadun ja paketin pituuden perusteella. Kun on päästy haluttuun mittaan, asetetaan pakettiin kiilat ja poistetaan ohjaustikut. Ladonta-veitsi ruuvataan irti paketista ja puristusrenkas kohdistetaan paketin päälle. Nostolenkki kiinnitetään takaisin tuurnaan. Kuva 14 havainnollistaa roottoripakettia ladonnan valmistuttua.



Kuva 14. Ladottu paketti.

3.5 Ladonta uudella puolella

Merkittävin ero ladonnassa uudella puolella on ympäristön huomiointi. Ladonnassa tarvittavat apuvälineet ovat myös vanhalla puolella optimaalisemmin saatavilla. Suuren halkaisijan sähköteräsniiput menevät helposti epätasapainoon ja niiden liukumista pohjalle joutuu usein auttamaan. Suurimmissa roottoreissa sähköteräksen poikittaista aaltoilua pyritään korjaamaan muovivasaralla.

Tilanpuutteen takia myöhemmin tarvittavat sähköteräslavat toimivat ilmasolien korokkeena. Ladonnan edetessä täysiä lavoja korvataan tyhjillä ja lopulta ilmasolat laskevat liian alas saavutettaviksi työskentelytasolta. Ilmasolia korottamaan haetaan lisää tyhjiä kuormalavoja. Kuva 15 havainnollistaa tyhjien kuormalevyjen käyttämistä ilmasolien korottamiseen.



Kuva 15. Tyhjät lavat korottamassa ilmasolia.

Ladonnan aikana tai päätteeksi asetettavat kiilat haetaan vanhalta puolelta. Ladonta uudella puolella päättyy puristusrenkaan kohdistamiseen, koska puristusta varten pakettia ei siirretä.

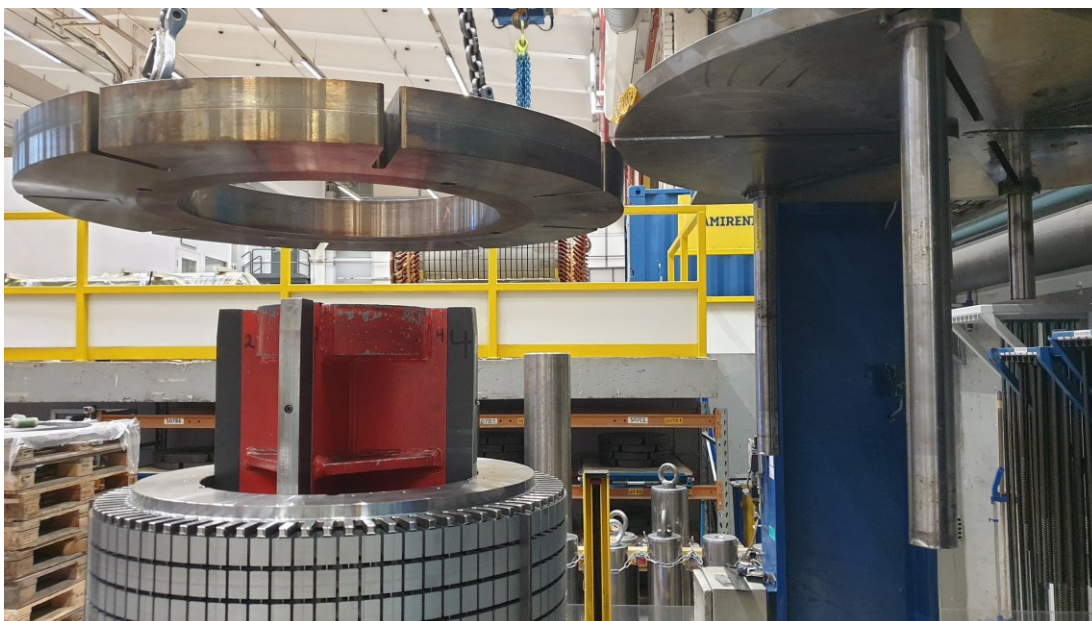
3.6 Puristus

Puristaminen tapahtuu täysin samalla tavalla, kuin muidenkin roottoreiden kyseisellä puristimella. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 9 mukaisessa järjestyksessä.



Kuvio 9. Puristuksen prosessikaavio

Paketti nostetaan puristimen vaunuun ja kansi kohdistetaan paikalleen lukitustangon avulla. Kaikkiin uriin asetetaan lukitustangot ja -mutterit. Vaunu ajetaan puristimen alle ja paketti puristetaan ohjeiden mukaisella voimalla. Paketti mitataan puristuksen alla. Hyväksytty mitta on yhden millin alle tai yli ohjemitan. Hyväksytyt mittaustuloksen jälkeen paketti lukitaan. Mahdollisen hylätyn tuloksen jälkeen paketti ajetaan ulos ja puretaan tai lisätään sähköterästä. Mikäli joudutaan käyttämään vanhan puolen suurimpia työvälineitä (kansi ja pohja). Kohdataan puristuksessa samoja haasteita, kuin pienemmän kokoluokan painavampien roottoreiden kanssa. Pohja ei mahdu kunnolla puristimen vaunuun ja puristimen aputappeja ei saa siirrettyä riittävän kauas. Vaunu ei kykene ilman auttamista liikkumaan sisään tai ulos. Ongelmia esiintyy 6500 kg kuormalla ja aikaisemminkin. Kuva 16 havainnollistaa ongelmia roottoripaketin nostamisessa tuurnalta.



Kuva 16. Paketti ei mahdu nousemaan pois tuurnalta.

Pakettia ei mahdu nostamaan pois tuurnalta suoraan puristimen vaunusta. Tästä seuraa ylimääräinen nosto. Paketti nostetaan pois tuurnalta ja tuurna nostetaan takaisin paikalleen.

3.7 Puristus uudella puolella

Puristaminen uudella puolella eroaa työvaiheena kaikkien muiden roottoripakettien puristamisesta. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 10 mukaisessa järjestyksessä.



Kuvio 10. Uuden puolen puristamisen prosessikaavio

Paketti pysyy paikallaan ja sen päälle nostetaan kansi. Kannen kohdistamisen avuksi haetaan lukitussauva tuukkauskopin toiselta puolelta. Tuukkaus on työvaihe, jossa alustaan kiinnitetyllä paineilmavasaralla muovataan roottoritankoa sähköteräslevyn urassa. Tuukkauksen seurauksena tanko laajenee ja lukittuu tiukasti paikoilleen. Tuukkaus tehdään tuukkauskopissa tuukkauskoneella. Kuvassa 17 kansi kohdistetaan roottoripaketin päälle lukitussauvan avulla.



Kuva 17. Kannen kohdistaminen lukitussauvan avulla.

Kannen laskemisen jälkeen haetaan samasta paikasta kuusi kappaletta lyhyempiä lukitussauvoja ja toiset kuusi pidempiä. Lyhyemmissä riittää, että aluslevy ja mutteri mahtuvat kannen yläpuolelle. Pitkiin lukitussauvoihin on mahdollista lisäksi hydraulisylinteri kannen ja aluslevyn väliin. Joka toiseen uraan asetetaan pidempi lukitussauva ja joka toiseen lyhyempi. Pidemmistä sauvoista poistetaan mutterit ja aluslevyt. Lukitussauvat tarkistetaan auki kiertymisen varalta. Käytävän toiselta puolelta haetaan pinontavaunulla hydraulisylinterit ja pumppu (kuva 18). Kuormalavalle laitetaan myös viisi kappaletta lyhyitä hydraulikkaletkuja ja pidempi järjestelmän pumppuun liittävä letku.



Kuva 18. Sylinterit ja pumppu.

Pidempien lukitussauvojen päihin asetetaan sylinterit, aluslevyt ja mutterit. Sylinterit kytetään kiinni toisiinsa letkuilla ja letkut lukitaan paikalleen. Lukitussauvat painetaan kiinni pakettiin ja sylinterien päällä olevat mutterit kiristetään kevyesti. Pidempi

letku kiinnitetään pumppuun ja pumpun sähköjohto laitetaan pistorasiaan. Kuva 19 havainnollistaa hydraulijärjestelmää käyttövalmiudessa. Kuvassa 20 on pumpun kytkin, jonka avulla puristusvoima säädetään.



Kuva 19. Hydraulijärjestelmä paikoillaan.



Kuva 20. Pumpun kytkin.

Työkortin ilmoittama puristusvoima muunnetaan vastaamaan pumpun ilmoittamia lukemia. Lukitustankojen oikea asento tarkastetaan ja pumppu käynnistetään. Mittarista seurataan painetta ja lisätään sitä laskettuun arvoon asti. Paketti mitataan ja tarvittaessa puretaan järjestelmä, kansi ja puristusrenkas. Sähköteräslevyjä lisätään tai vähennetään ja vaihe toistetaan.

Hyväksytyyn mittauksen jälkeen lyhyemmät lukitussauvat kiristetään ristiin normaalilla kiintoavaimella. Pumpusta poistetaan paineet ja sylinterien päistä ruuvataan mutterit irti. Letkut irrotetaan ja aluslevyt ja sylinterit nostetaan pois lukitussauvoilta. Sylinterien tilalle asetetaan jatkopala ja aluslevy (kuva 21). Mutterit kiristetään ristiin jatkopalojen ja aluslevyjen päälle. Hydrauliikkajärjestelmä siirretään takaisin paikoilleen.



Kuva 21. Paketti lukittu.

Tuurnan päähän kiinnitetään nostolenkki ja tuurna nostetaan pois paketin sisältä takaisin omalle paikalleen. Tyhjät lavat, muovit, peltivanteet ja puiset tuet viedään puujätteeseen. Ylimääräinen sähköteräs ja yksi ylimääräinen ilmasola hävitetään. Suuren halkaisijan sähköteräslevy vaatii taittamisen ennen keräysastiaan laittamista. Vanhalta puolelta lainatut välineet palautetaan.

3.8 Akselin asennus

Akselin asennuksen päämääränä on akselin kiinnittäminen ladottuun pakettiin. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 11 mukaisessa järjestyksessä.



Kuvio 11. Akselin asennuksen prosessikaavio

Puristuksen jälkeen paketti nostetaan terästolppien varaan (kuva 22). Tarkoituksena on päästä alakautta paketin sisälle suorittamaan hiontaa. Hiomalla vähennetään suurta riskiä akselin jumittumisesta väärään kohtaan kutistusliittämisen aikana.



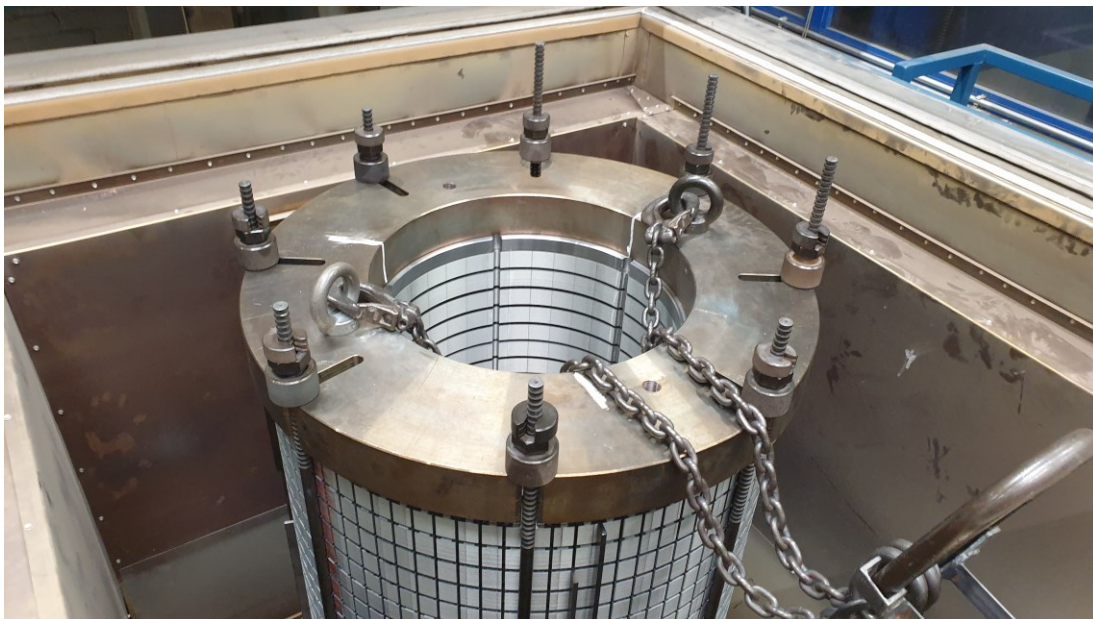
Kuva 22. Paketti teräspukeilla.

Paketista hiotaan joka toisen uran reunat molemmilta puolilta koko matkalta. Ilman hiontaa akselin lukitustikut leikkaavat kiinni uran teräviin reunoihin lähes poikkeuksetta. Kuvassa 23 havainnollistetaan lukitustikkujen uraa hionnan jälkeen.



Kuva 23. Urien reunat hiottu.

Hionnan jälkeen paketin kanteen merkataan liidulla hiottujen urien paikat. Nosturiin vaihdetaan uuniketjut ja paketti nostetaan uuniin (kuva 24). Ketjut jätetään paketin mukana uuniin ja lenkki asetetaan sille tarkoitettuun telineeseen. Paketti on uunissa vähintään viisi tuntia.



Kuva 24. Paketti uunissa hiotut urat merkattuna.

Paketin oltua riittävän pitkään uunissa, tehdään kaikki mahdollinen valmiiksi ennen uunin avaamista ja paketin nostoa jälkipuristimeen. Akseli nostetaan pyöritysruuilta roottoripukin päälle lattialle ja sen D-päähän asennetaan nostolenkki. N-pään puolelle tulee kääntöalusta, jonka tehtävä on suojata akselin päätä pystyyn nostamisessa. Mikäli jälkipuristimessa on lisälevy, nostetaan se pois tieltä säilytyspaikalleen. Nosturista otetaan ketjut irti ja ohjataan se valmiiksi lähelle uunin kannen etupuolelle linjaan uuniketjujen nostolenkin kanssa. Uunin kansi avataan ja nosturin koukku kiinnitetään uuniketjuihin. Paketti nostetaan jälkipuristimen alle käyttäen keskittämässä apuna lattian ohjausviivoja (kuva 25). Kuumaa pakettia tulee varoa ja kohdistamisessa on apua kuumasuojakäsineen käytöstä. Kohdistuksen jälkeen nosturi irrotetaan ketjuista ja ketjut siirretään pois akselinreiän tieltä. Kuvassa 26 havainnollistetaan akselin nostamista pystyyn.

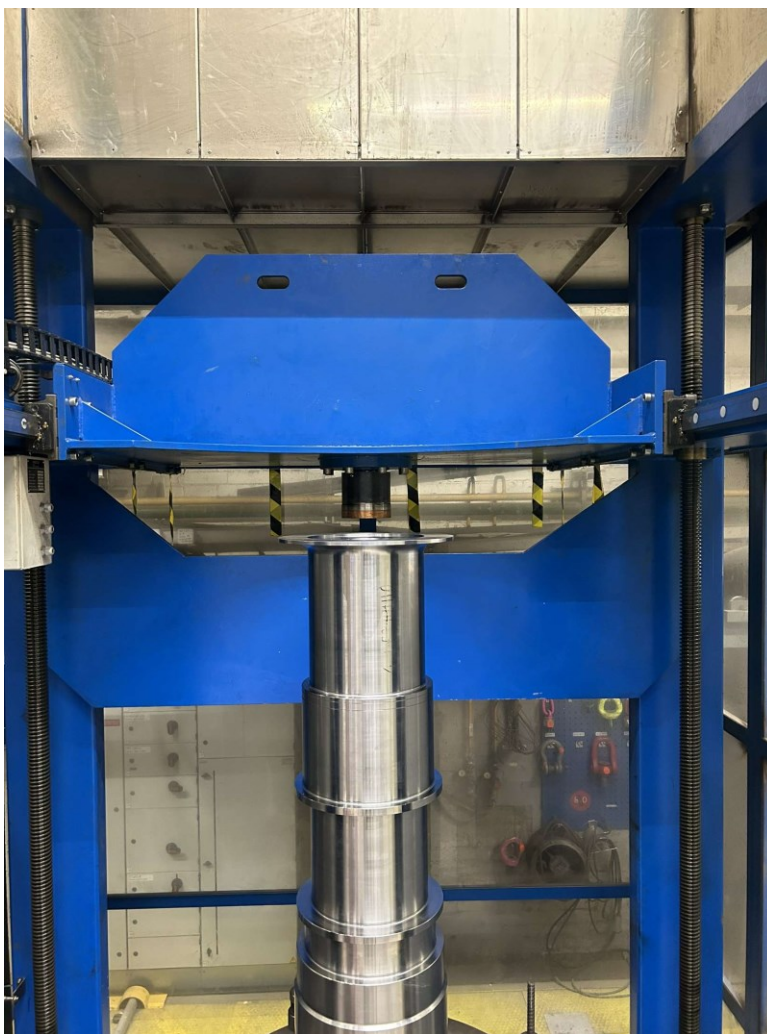


Kuva 25. Paketti jälkipuristimessa valmiina akselin asennukseen.



Kuva 26. Akseli nostetaan pystyyn.

Nosturin koukku kiinnitetään akselin nostolenkkiin ja akseli nostetaan pystyyn. Akseli kuljetetaan paketin yläpuolelle ja alumiiniportaat siirretään lähes kiinni pakettiin. Nosturin ohjaaja kiipeää portaille ja kohdistaa akselin keskelle akselinreikää. Akselia pyörittämällä kohdistetaan lukitustikut hiottujen urien kohdalle käyttäen apuna kannen liittumerkintöjä. Akselia lasketaan ensin varovasti ja oikean kohdan varmistumisen jälkeen nopeammin. Akselin vapaata laskeutumista tarkkaillaan ja mikäli sen laskeutuminen on vaarassa pysähtyä ennen olakkeiden osumista puristusrenkaaseen, on akseli pyrittävä välittömästi nostamaan ulos paketista. Pohjaan asti laskemisen jälkeen nostolenkki irrotetaan akselin päästä ja nosturi ajetaan pois tieltä. Jälkipuristimen sylinteri säädetään akselin pituuden määrittämälle korkeudelle ja aktivoidaan jälkipuristus. Puristuksen aktivoituminen tarkastetaan ja jälkipuristimen rullaovi lasketaan alas eristämään kuuma paketti muusta tilasta. Kuvassa 27 havainnollistetaan jälkipuristimen sylinterin kohdistaminen riittävän lähelle akselia.



Kuva 27. Jälkipuristimen kohdistaminen.

Jälkipuristin lopettaa määritetyn ajan päätteeksi itsestään puristamisen ja vetäytyy pois nosturin tieltä. Paketin annetaan jäähtyä huoneenlämpöiseksi jälkipuristimessa tai siirretään jäähdytysuraan, jos jälkipuristinta tarvitaan ennen paketin jäähtymistä.

3.9 Akselin asennus uudella puolella

Uudella puolella akselin kutistusliittäminen suoritetaan samassa kohdassa, kuin ladonta, puristus ja hionta. Merkittävä ero vanhaan puoleen on kiinteän jälkipuristimen puuttuminen. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 12 mukaisessa järjestyksessä. Kuva 28 havainnollistaa uuden puolen työskentelytiloja.



Kuvio 12. Akselin liittäminen uudella puolella



Kuva 28. Ladonta-asema ja uuni.

Valmis paketti nostetaan suoraan ylöspäin ja teräspukit sijoitetaan sen alle. Paketille suoritetaan hionta ja se siirretään uuniin. Ennen paketin nostamista uunista ladontaseaman pohjan kansi poistetaan akselin tieltä (kuva 29). Akseli siirretään vanhalta puolelta uuden puolen nosturin ulottuville.

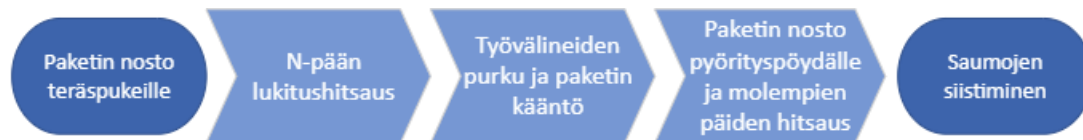


Kuva 29. Kansi ja ladontaveitsi irrotettu.

Paketti nostetaan uunista ja kohdistetaan keskelle ladonta-aseman pohjalla sijaitsevaa reikää. Akseli nostetaan pystyyn ja viedään paketin yläpuolelle. Henkilönostin säädetään sopivalle etäisyydelle. Akseli lasketaan paketin sisään kohdistuen lukitustikut hiottuihin uriin. Nosturi irrotetaan akselistä ja paketin annetaan jäähtyä ilman jälkipuristusta.

3.10 Hitsaus

Muista roottoreista poiketen GAMI:n puristusrenkaissa ei ole kutistusliitosta. Hitsauksen tarkoitus on lukita puristusrenkas akseliin. Hitsaukset tehdään hitsausohjeiden (WPS) mukaisesti ja hitsauksia suorittavalla henkilöllä tulee olla voimassa erillinen koulutus. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 13 mukaisessa järjestyksessä.



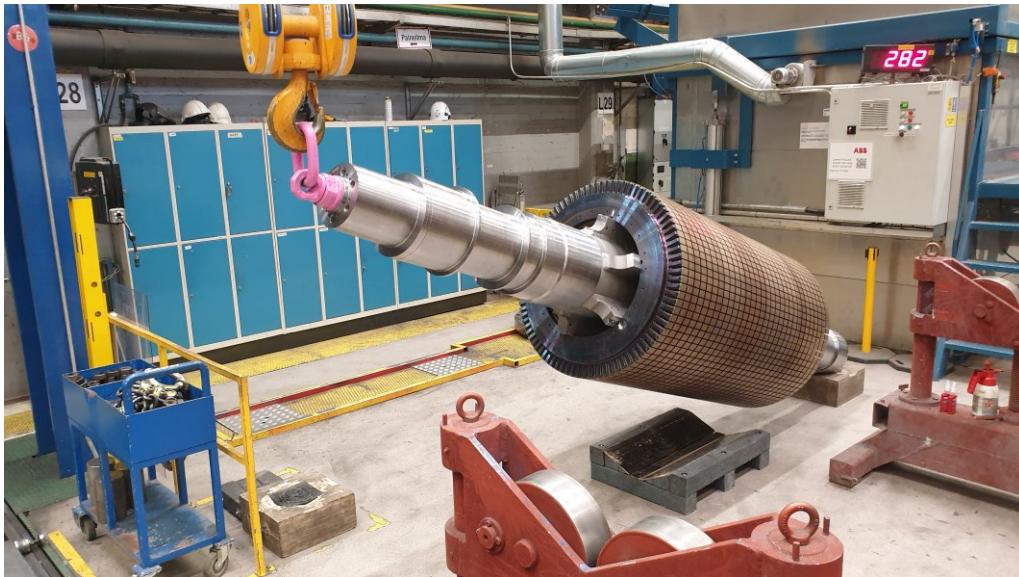
Kuvio 13. Hitsauksen prosessikaavio

Jäähtynyt paketti nostetaan teräspukeille (ks. hionta). Haetaan hitsauslaite ja suojataan pintoja hitsaussprayllä. AMI800 ja -900 hitsataan akseli lukitustikuttomien ripojen kohdalta kiinni puristusrenkaaseen paketin sisäpuolelta (kuva 30). AMI1000 hitsataan jokainen. Maalattu akseli hiotaan puhtaaksi ennen hitsausta.



Kuva 30. Puristusrenkas hitsattu kiinni akseliin.

Hitsauksen jälkeen paketti nostetaan jäähdytysuraan ja avataan lukitusmutterit. Lukitusmutterit ja -sauvat viedään takaisin paikoilleen ja nostetaan kansi pois paketin päältä. Ladonnan aikana asetetut kiilat poistetaan. Varmistetaan kääntämistä varten sopiva tila ja asetetaan roottoripukki ja kääntösuoja valmiiksi. Roottori nostetaan akselin päästä ja käännetään alustalle (kuva 31). Kääntämisen jälkeen nostetaan jäähdytysuraan jäänyt pohja kuormalavalle kannen päälle.



Kuva 31. Roottorin kääntäminen.

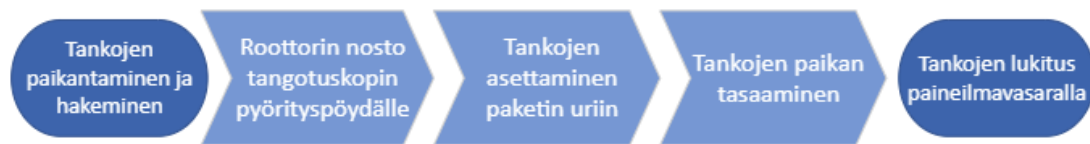
Nostolenkki ruuvataan irti akselistä ja roottori nostetaan liinoilla pyörityspöydälle. Pyörityspöydällä roottoria suojataan hitsaussprayllä ja suojapeitteellä. Akselin jokainen ripa hitsataan kiinni puristusrenkaaseen paketin ulkopuolelta molemmilta puolilta. Lopuksi hitsausseamat siistitään ja hitsausspray pyyhitään pois. Kuva 32 havainnollistaa lukitushitsauksia työvaiheen valmistuttua.



Kuva 32. Valmis hitsaus.

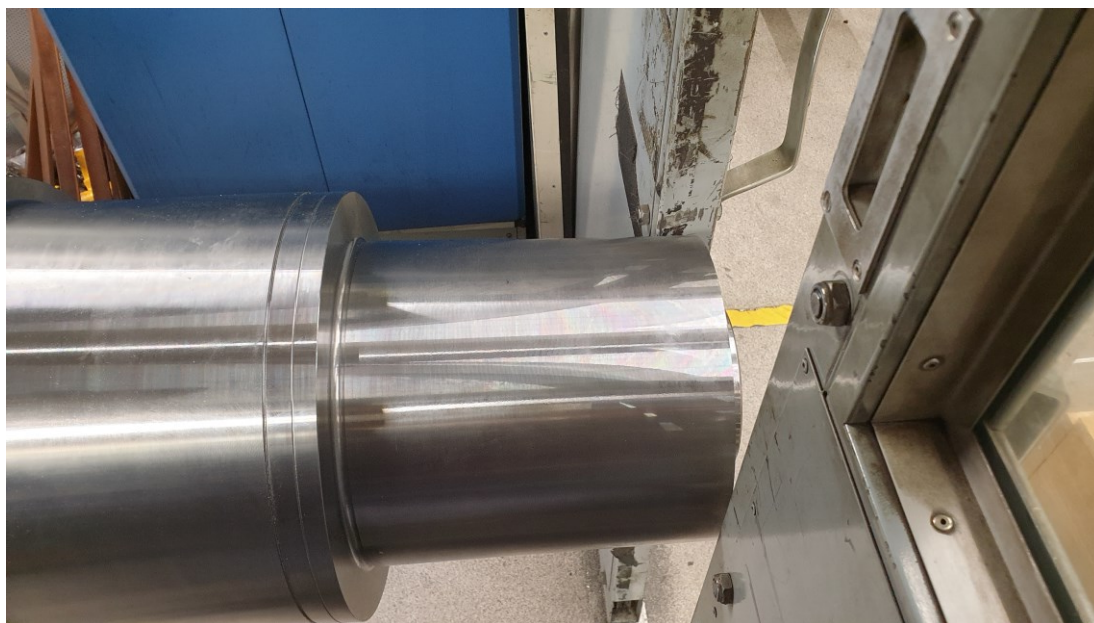
3.11 Tangotus

Tankojen asennuksessa roottorin tangot asennetaan paketin sisälle viiste ylöspäin. Tangot tasataan ylittämään paketti yhtä paljon kummaltakin puolelta. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 14 mukaisessa järjestyksessä.



Kuvio 14. Tangotuksen prosessikaavio

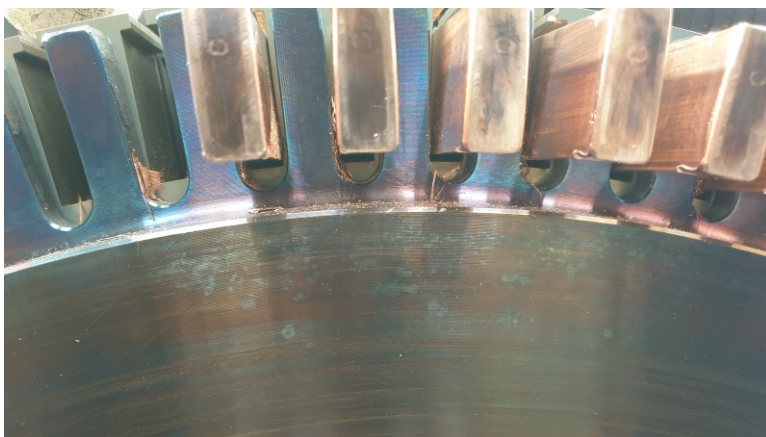
Tankojen asentaminen alkaa tankojen sijainnin selvittämisestä. Työnumeron mukaiset tankolaatikot haetaan trukilla tangotuskopin lähetyville. Tankolaatikko avataan ja tangot tarkastetaan. Pyörityspöydän rullat asetetaan sopivalle etäisyydelle toisistaan ja roottoripaketti nostetaan mahdollisimman keskelle pöytää, akselin D-pää kohti ovea. Roottorin suuren koon vuoksi akselin N-pää on laitettava niin lähelle seinää kuin mahdollista. Tästä huolimatta akseli ei mahdu kokonaan kopin sisälle eikä roottorin ympäri pääse kulkemaan (kuva 33).



Kuva 33. Roottori tangotuskopissa, akselin pää jää oven väliin.

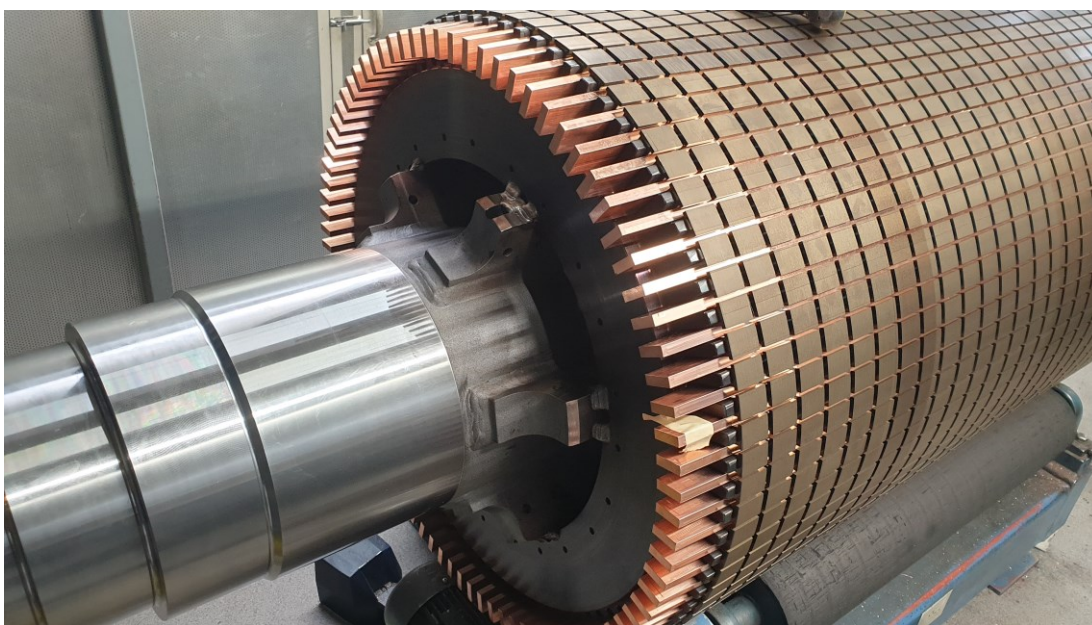
Tangon ja roottoripaketin pituus mitataan. Näiden erotuksena saatu luku jaetaan kahdella, josta saadaan laskennallinen arvo näkyviin jäävästä tangosta kummassakin päässä. Tangot asetetaan roottoripaketin uriin yksi kerrallaan. Mikäli tangot eivät mene sisälle työntämällä, tarkastetaan paketin suoruuus ja koitetaan etsiä syitä tangon heikolle etenemiselle. Löydettyihin syihin pyritään vaikuttamaan mahdollisuuksien

mukaan. Aina yksiselitteisiä tai korjattavissa olevia syitä ei löydy ja tankojen sisään asettamiseksi on käytettävä voimakeinoja. Tarkoitus on saada kaikki tangot pakettin sisälle karkeasti arvioiden keskelle. Kuva 34 havainnollistaa roottoripakettiin asetettuja tankoja.



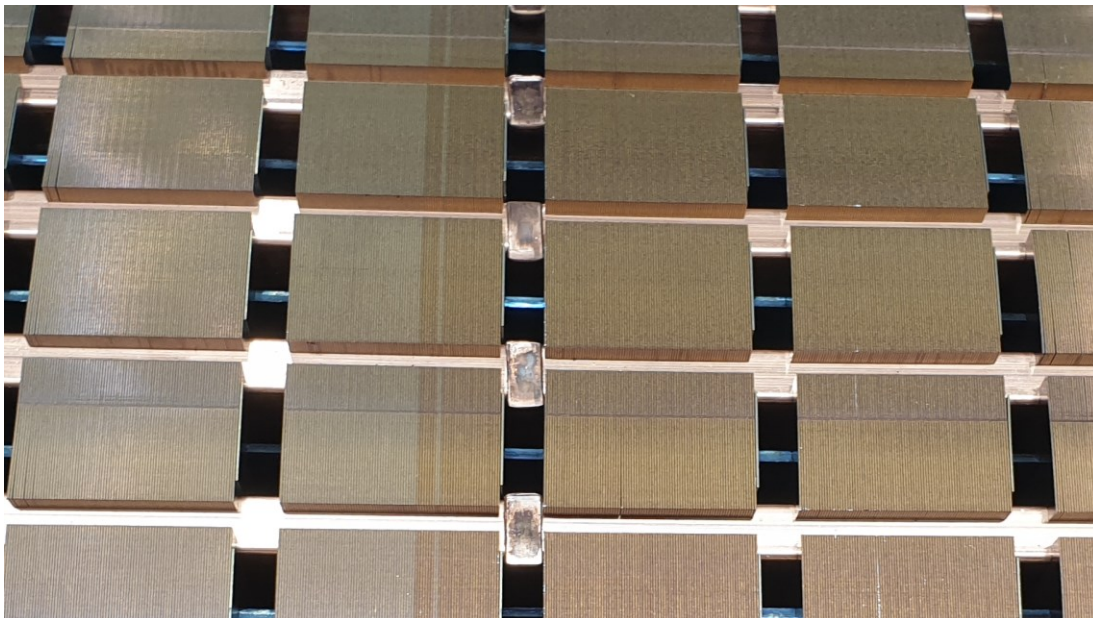
Kuva 34. Tangot asetettu pakettiin paineilmavasaralla.

Viimeisen tangon sisään asettamisen jälkeen merkitään maalarinteipillä yksi tanko, josta paikoitus aloitetaan. Tanko paikoitetaan laskennalliseen mittaan muovipäävasaralla ja mittaamalla mittatikulla. Mitta tarkistetaan kummaltakin puolelta ja hyväksytyyn tuloksen jälkeen kaikki tangot asetetaan samaan mittaan yksi kerrallaan. Kuva 35 havainnollistaa roottoria tankojen sisään asettamisen ja tasaamisen jälkeen.



Kuva 35. Kaikki tangot asetettu sisään ja paikoitettu mittaamalla.

Tankojen paikoittamisen jälkeen valitaan sopivan kokoinen terä paineilmavasaraan keskilukitusta varten. Lasketaan paketin keskikohta ja lukitaan tangot paikoilleen (kuva 36). Lukittaessa varotaan vasaran osumista paketin muihin osiin ja tarkkaillaan tankojen pysymistä paikallaan lukitsemisen aikana.

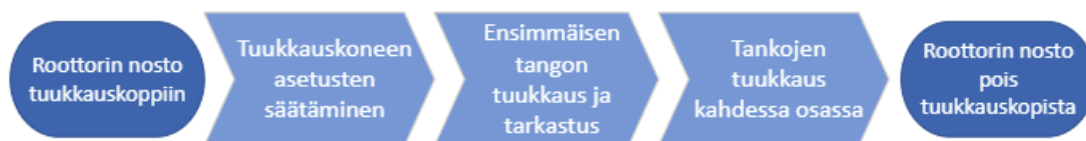


Kuva 36. Tangot keskilukittu.

Tankojen sisään asettamisen aikana mahdollisesti vääntyneet osapakat suoristetaan ja tyhjät tankolaatikot vietään pois tieltä.

3.12 Tuukkaus

Tuukkauksessa jokaisen tangon pinta käydään läpi viisteestä viisteeseen paineilmavasarella. Tuukkauksen tarkoituksena on aiheuttaa levenemää, lukiten tangot lopullisesti roottoripakettiin. Tuukkaus suoritetaan tuukkauskoneella. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 15 mukaisessa järjestyksessä.

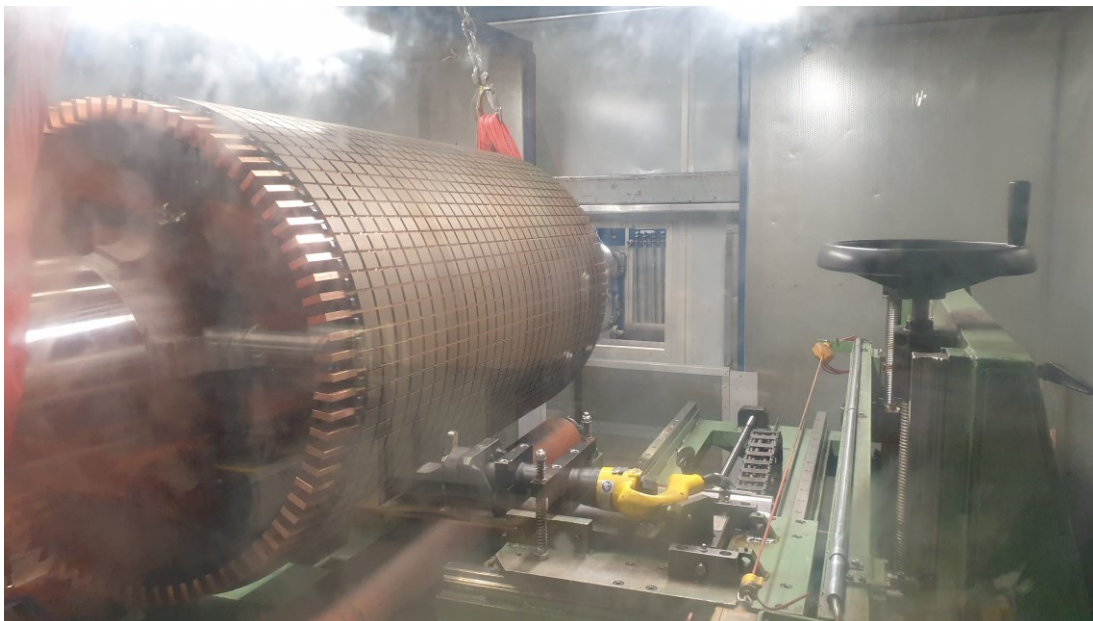


Kuvio 15. Tuukkauksen prosessikaavio

Roottori nostetaan liinoilla ilmaan ja viedään tuukkauskoppiin yläkautta (kuva 37). Tuukkauskopin ovea avataan mahdollisimman paljon. Suuren halkaisijan roottorin nostaminen tuukkauskoppiin vaatii erityistä tarkkuutta, koska roottoripaketin ja kopin katon välissä saattaa olla tilaa vain noin 1 cm. Tangotuskopin seinäluukku avataan ja akselin pää ohjataan ulos luukusta. Ennen roottorin laskemista pyöritysrollille ne asetetaan riittävälle etäisyydelle toisistaan ja roottori lasketaan keskelle rullia. Akseli ei saa ottaa kiinni mihinkään. Kuva 38 havainnollistaa tuukkauskoppiin asetettua roottoria.

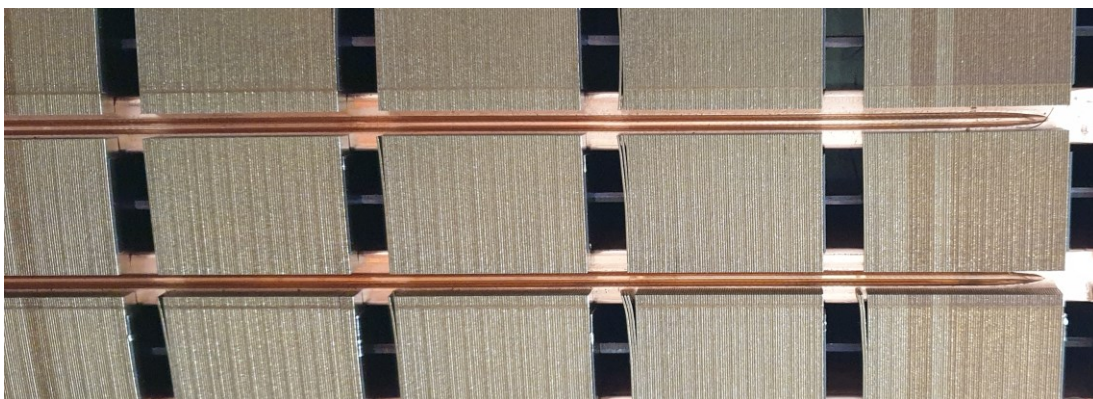


Kuva 37. Roottorin nosto tuukkauskoppiin.

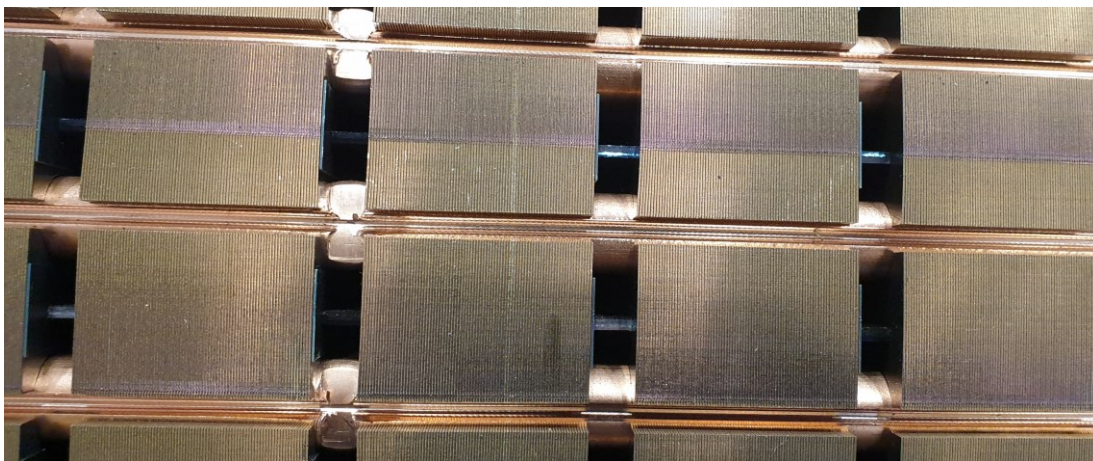


Kuva 38. Roottori tuukkauskopissa suojalasin läpi kuvattuna.

Tuukkauskoppiin paikoittamisen jälkeen merkataan tussilla ensimmäinen tuukattava tanko. Valitaan sopiva terä, asetetaan valosilmä paikalleen ja määritetään tuukkauskoneen asetukset. Ensimmäisen tangon tuukkaamisen jälkeen kone pysäytetään ja matka sekä levenemä tarkistetaan. Asetuksia muutetaan tarvittaessa, kunnes saavutetaan hyväksyttävä tulos. Tuukkauskoneen käyttö vaihdetaan automaatille ja tuukataan joka toinen tanko. Kierroksen jälkeen muutetaan asetuksia ja tuukataan loput tangot samalla periaatteella. Kaikkien tankojen tuukkauksen jälkeen roottori nostetaan pois kopista vapaaseen tilaan roottoripukin päälle. Kuva 39 havainnollistaa tuukkausjälkeä tasaiseen tankoon. Kuva 40 havainnollistaa tuukkausjälkeä pyöreään tankoon.



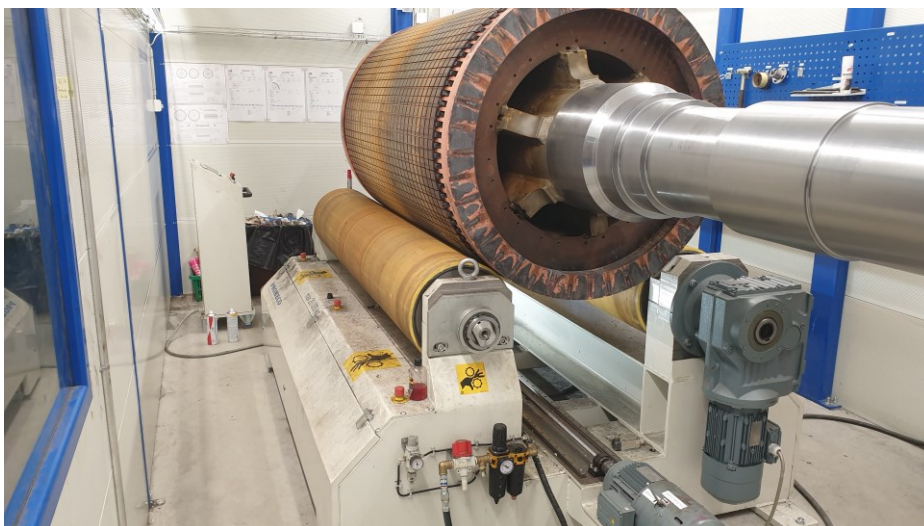
Kuva 39. Tuukattu tasainen tanko.



Kuva 40. Tuukattu pyöreä tanko.

3.13 Tangotus ja tuukkaus uudella puolella

Uudella puolella valmistettava kone tangotetaan ja tuukataan uuden puolen tuukkauskopissa. Tuukkauskoppi on mitoitettu suuremmille koneille ja sinne on hyvin tilaa nostaa isoja roottoreita. Rajallisen lattiatilan takia tuukkauskopissa saattaa olla roottori pidempiäkin aikoja odottamassa seuraavaa työvaihetta. Koppiin varastoidulle roottorille on etsittävä uusi paikka ja siirrettävä se pois tieltä ennen uuden aloittamista. Kuva 41 havainnollistaa roottoria uuden puolen tuukkauskopissa.



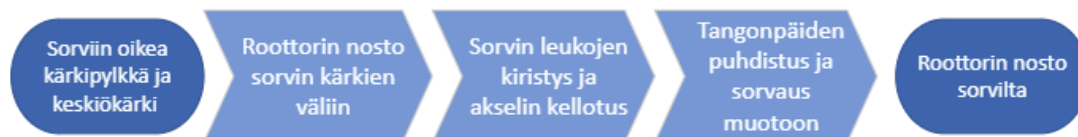
Kuva 41. GAMI odottamassa loppukoneistusta uuden puolen tuukkauskopissa.

Uuden puolen tuukkauskopin rullien päällä roottori on selvästi vanhaa puolta korkeammalla lattiasta. Korkeampi sijainti hankaloittaa tankojen sisään asettamista lyömätyökaluilla.

Tuukkauskone pyörittää roottoria liian pitkälle ja lopulta paineilmasasaran terä osuu pakettiin keskeyttäen tuukkauksen. Asetukset joudutaan silloin asettamaan uudestaan saman ongelman kuitenkin todennäköisesti toistuessa. Tuukkauskonetta käytetään vain pakon edestä. Yhden työntekijän on vaihdettava tuukkausta ja asetettava asetukset uudelleen noin kahden tuukatun tangon välein.

3.14 Sorvaus

Tangonpäiden sorvauksen tarkoituksena on muotoilla tanko oikosulkurenkään uraan sopivaksi. Tangonpäihin ajetaan myös puhdas pinta juotosliitosta varten ja samalla tangot tasataan lopulliseen mittaansa. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 16 mukaisessa järjestyksessä.



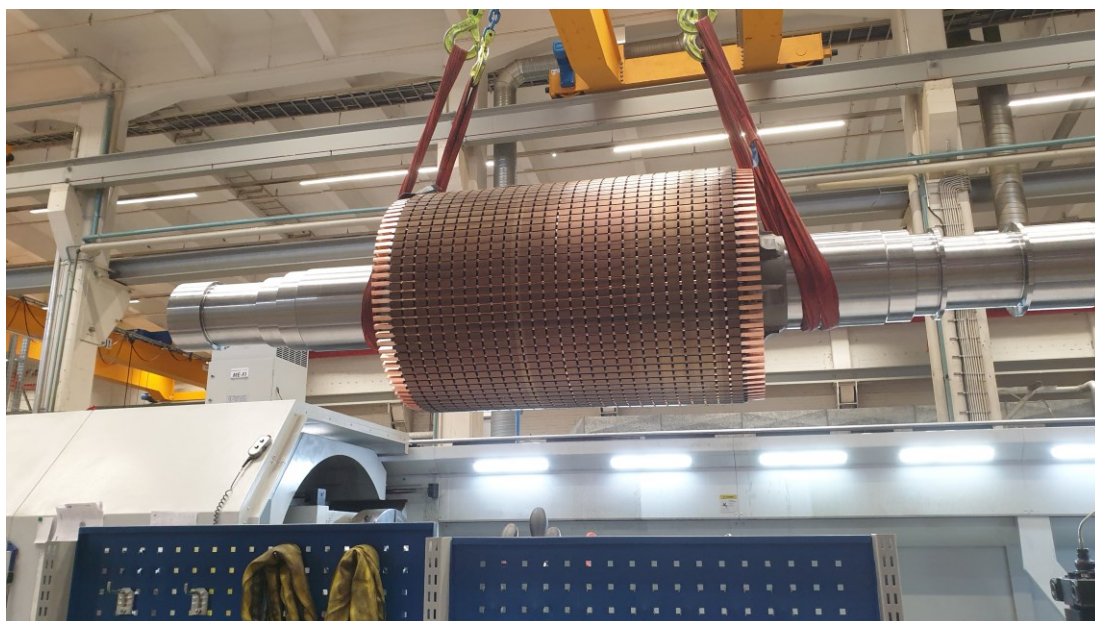
Kuva 16. Sorvauksen prosessikaavio

GAMI:en sorvaus tehdään painorajojen vuoksi aina uudella sorvilla. Sorvissa tulee olla kiinni suurille roottoreille tarkoitettu keskiökärki ja kärkipylkkä (kuva 42.) Nämä tulee vaihtaa paikalleen, mikäli sorvilla on viimeksi sorvattu pienempiä koneita.



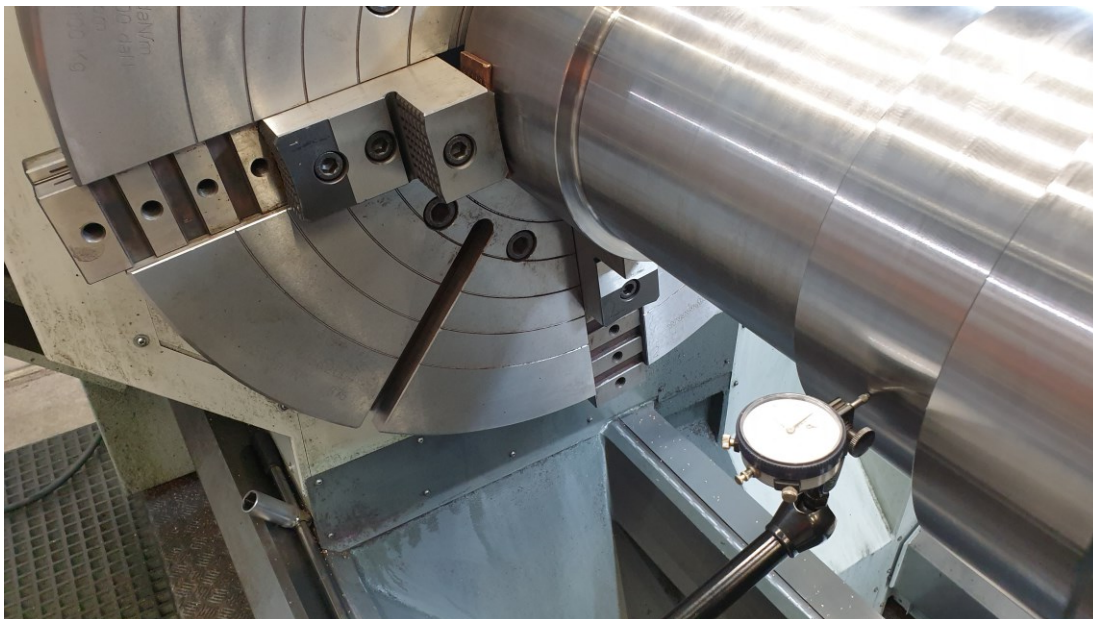
Kuva 42. Vasemmalla keskiökärki sorvin leukojen keskellä ja oikealla kärkipylkkä.

Vanhalla puolella ladottu roottori täytyy siirtää uuden puolen nosturin ulottuville. Roottori painaa liian paljon käytettävissä olevalle lavansiirtovaunulle ja siirtoa varten on tilattava muutaman metrin kuljetus alihankkijalta. Roottori nostetaan liinoilla ylös mahdollisimman lähellä vaakatasoa. Nostoliinujen optimaalista paikkaa haetaan niin kauan, että roottori nousee riittävän suorassa (kuva 43). Akselin olakkeet vaikuttavat nostoliinujen mahdollisiin paikkoihin. Nostoliinan osuessa tangonpäihin, tai muihin teräviin reunoihin asetetaan väliin kulmasuojat.



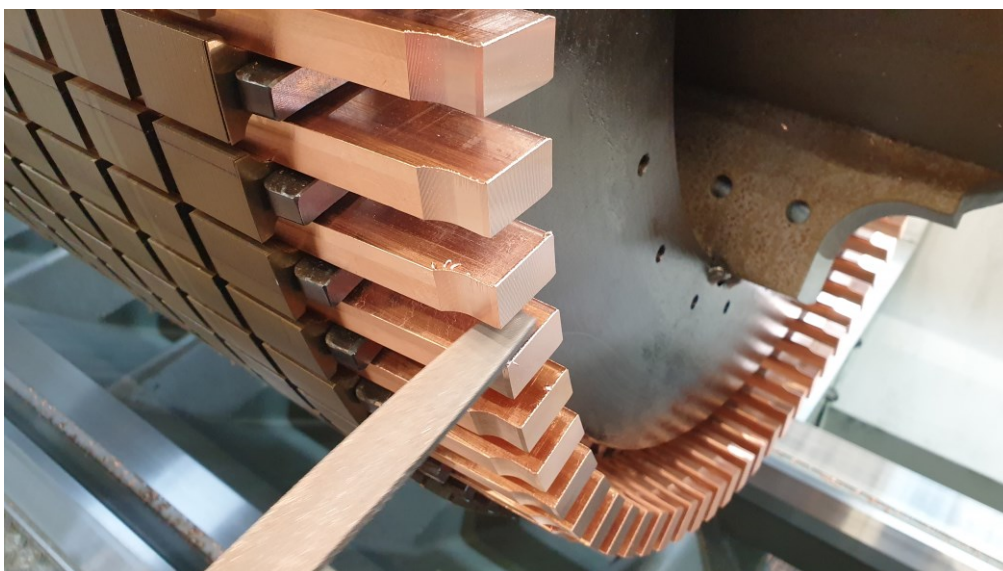
Kuva 43. Roottorin nostaminen sorville. Vasemmalla kulmasuoja, oikealla nostoliina ei osu tankoihin.

Erityistä tarkkaavaisuutta vaativan noston jälkeen kärkipylkkä ajetaan kiinni akseliin ja nostoliinat otetaan pois. Sorvin leukojen ja akselin väliin asetetaan kuparipalat ja leuat suljetaan. Akseli kelloitetaan suoraksi kiristämällä leukoja vasaran avulla. Leuat kiristetään erityisen kireäksi painavan roottorin pyörähdysriskin poistamiseksi. Kuva 44 havainnollistaa akselin kelloitusta.



Kuva 44. Akselin kellotus.

Tangonpäistä sorvataan materiaalia pois, jolloin oikosulkurengasta vasten tulee puhdas pinta. Tangotuksessa mahdollisesti käytetyillä voimakkeinoilla on vaikutusta poistettavan materiaalin määrään. Seuraavaksi sorvataan tankojen ulko- ja sisäreunat työkortin mukaiseksi. Ulkoreunojen jälkeen sisäreunoja varten vaihdetaan käyttöön sisäterä. Sorvauksen jälkeen poistetaan jäysteet käsiviilalla (kuva 45.)



Kuva 45. Jäysteiden poisto sorvauksen jälkeen.

Samat työvaiheet tehdään roottorin toiseen päähän. Roottorille etsitään sopiva paikka ja se nostetaan pois sorvilta odottamaan kovajuotosta.

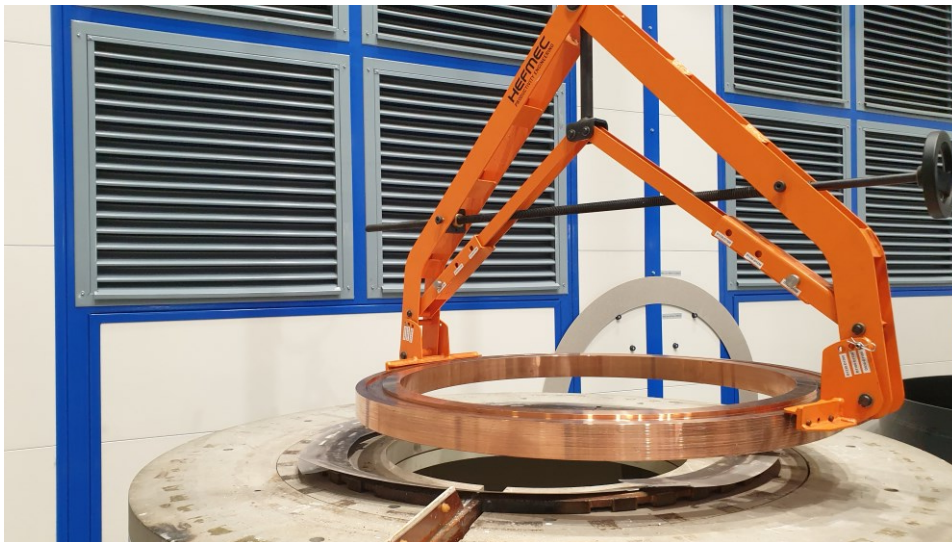
3.15 Kovajuotos

Kovajuotoksessa viimeistellään häkkikäänitys juottamalla roottoritankojen päihin kupariset oikosulkurenkaat. GAMI:en juottaminen tehdään nykyään muista roottoreista poiketen induktiokuumentimella. Uuden menetelmän käyttökoulutus ja optimointi on vielä kesken, mutta se on todistettu toimivaksi ja sillä on saavutettu hyviä tuloksia. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 17 mukaisessa järjestyksessä.



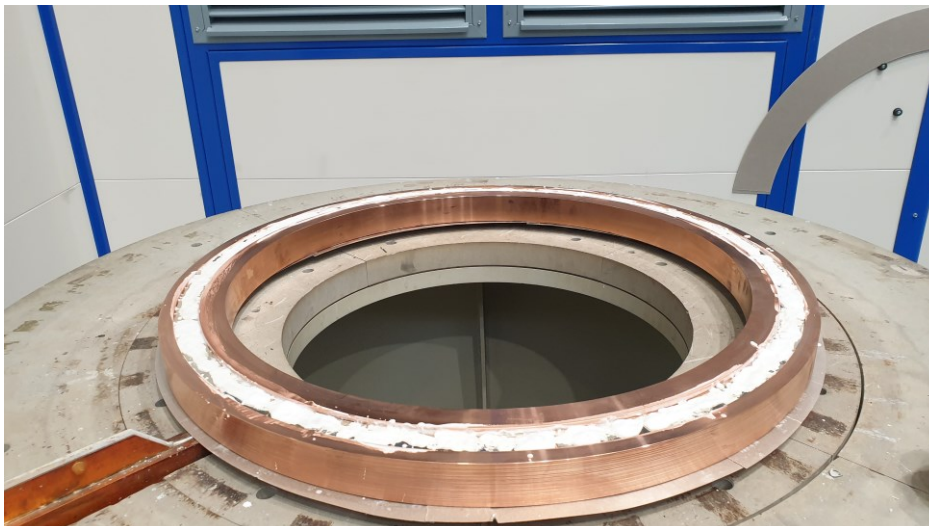
Kuvio 17. Kovajuotoksen prosessikaavio

Ennen juotosprosessin aloittamista etsitään ja tarkistetaan oikosulkurenkaiden mitat. Oikosulkurenkaan urapuolen tulee osoittaa ylöspäin ja renkaat käännetään tarvittaessa. Induktiokuumentimeen asetetaan roottorin mittojen mukaan sopiva induktiokela ja sen päälle asetetaan suojalaminaatti. Oikosulkurengas nostetaan nostovälineellä ja kohdistetaan induktiokelan päälle (kuva 46.)



Kuva 46. Oikosulkurenkaan kohdistaminen suojatulle induktiokelalle.

Oikosulkurenkaan ura puhdistetaan jarrukliinerillä tai tislatusvedellä. Puhdistuksen jälkeen uraan laitetaan juotospastaa ja sen päälle juotoshopeaa. Juotoshopean päälle valellaan juoksevampaa juotospastaa, jota tehdään laimentamalla alkuperäistä tislatusvedellä. Kuva 47 havainnollistaa juotosta varten valmistettua oikosulkurengasta.



Kuva 47. Kohdistettu ja valmistettu oikosulkurengas induktiokelalla.

Juotettava roottori ja kääntöväline sijoitetaan kuumentimen läheisyyteen. Nostovälineen liikkuvaan osaan kiinnitetään nostolenkki ja nostetaan kapean nostoliinan avulla akselin juotettavan puolen lähetyville. Nostoväline kiinnitetään akseliin ja kiristetään tahtipuolelta haetulla kiintoavaimella. Roottori nostetaan nostoliinoilla ja lasketaan maahan kohdistuen nostovälineen osat takaisin yhteen. Kuva 48 havainnollistaa kääntönivelen kiinnitystä akseliin. Kuva 49 havainnollistaa kääntövalmistusta roottoria.

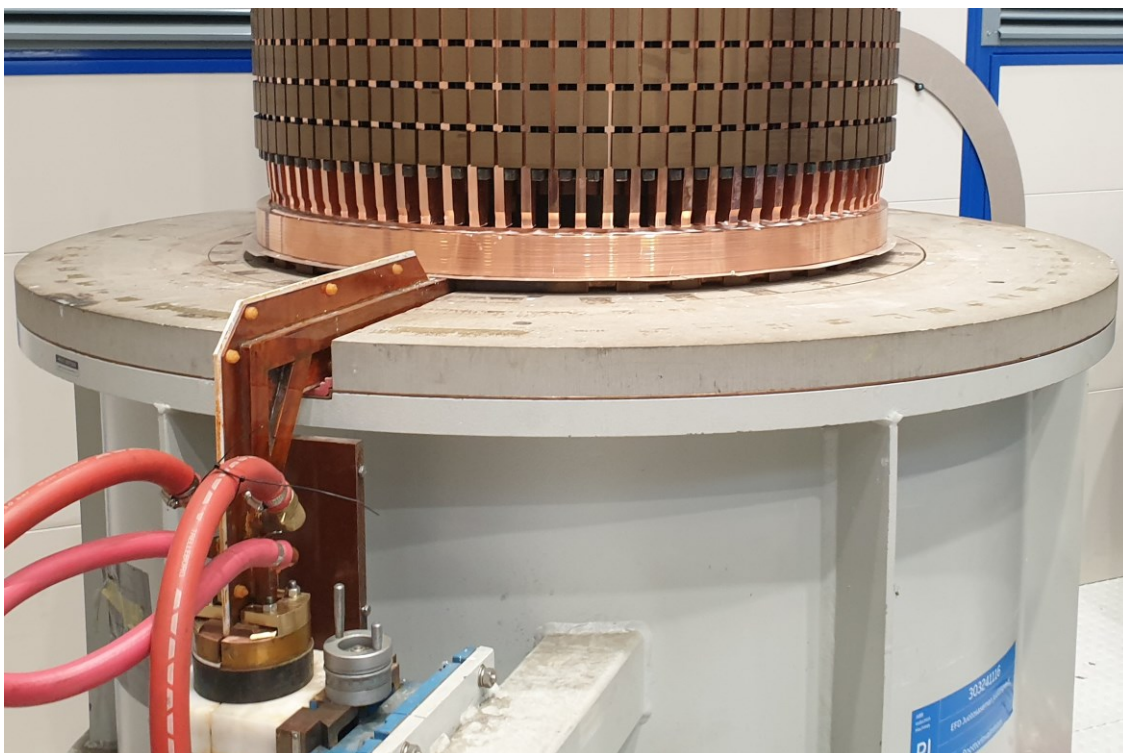


Kuva 48. Kääntönivelen kiinnitys.



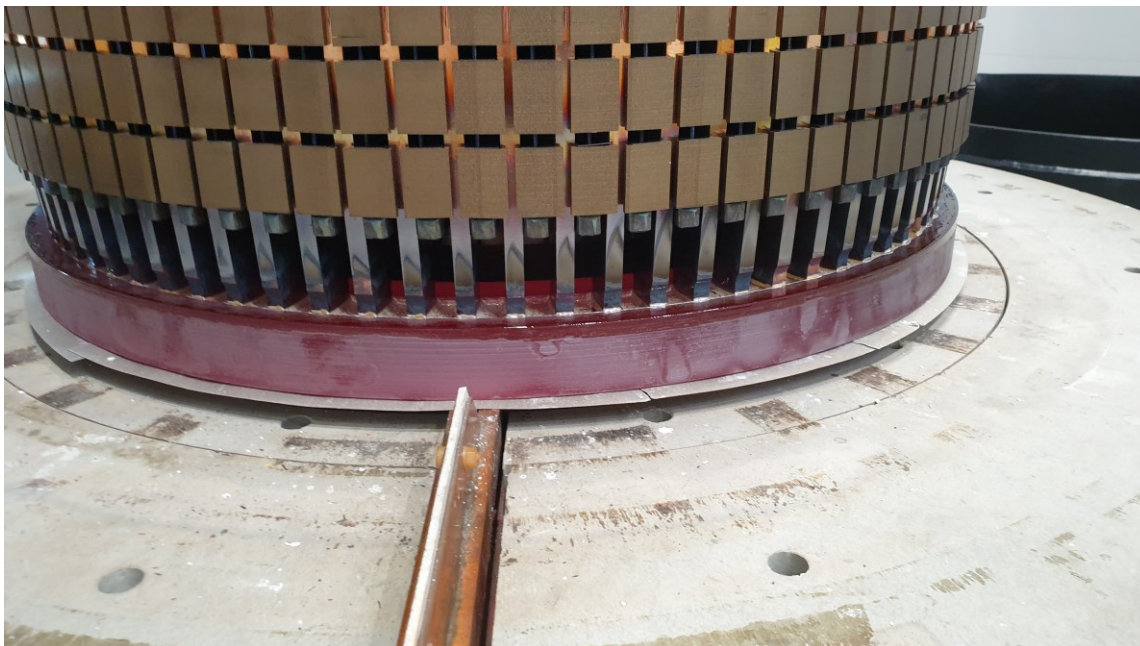
Kuva 49. Roottori kääntövalmiina.

Akselin päähän kiinnitetään nostolenkki ja sen läpi riittävän kestävä nostoliina. Tangonpäihin ruiskutetaan puhdistusainetta. Nostoliina kiinnitetään nosturin koukkuun ja roottori nostetaan pystyyn. Akseliin sivellään öljyä suojaksi. Lattialle asetetaan suoja-
peite valumien varalta. Roottori nostetaan kuumentimelle ja akselin päässä oleva kääntöväline lasketaan induktiokelan alapuolella sijaitsevalle keventimelle. Oikosulkurenkaan kohdistus tarkastetaan ja tangonpäihin sivellään juotospastaa. Näköyhteyden puuttumisen takia nosturin käyttäjä ei näe kääntövälineen etäisyyttä keventimestä. Roottorin kohdistamisessa ja laskemisessa tarvitaan useampi työntekijä. Kuva 50 havainnollistaa oikosulkurenkaalle kohdistettua roottoria.



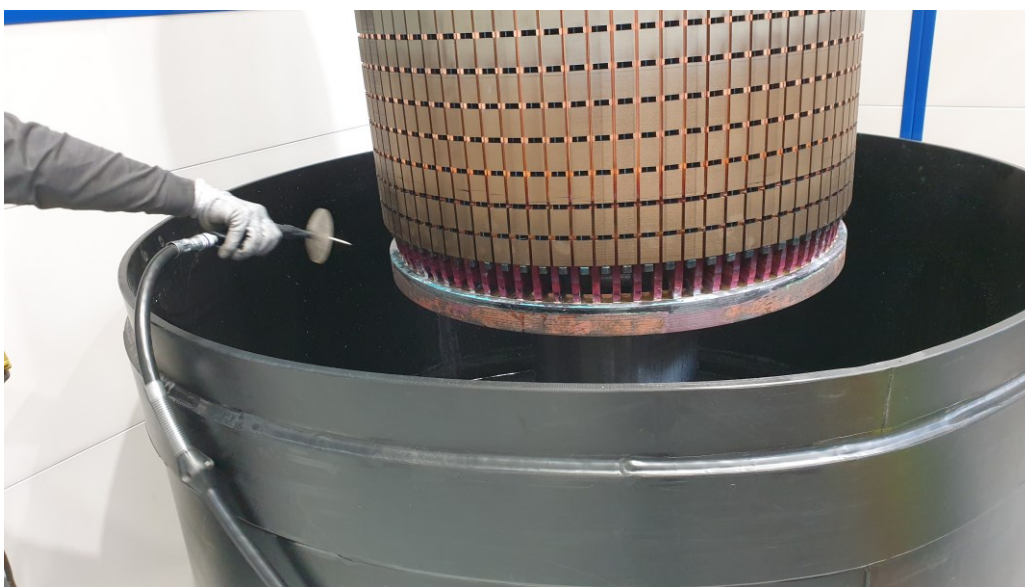
Kuva 50. Roottori kohdistettu oikosulkurenkaalle, kääntöväline keventäjällä.

Lämpötilan tarkkailua varten kiinnitetään juotospöytään väliaikaisella kiinnityksellä lainassa oleva pyrometri. Ylätasolta kirjaudutaan induktiokuumentimelle manuaalijolle. Kirjautumisen jälkeen siirrytään alatasolle kytkemään virta ja vesi. Palataan takaisin ylätasolle ja kytketään imuri päälle. Aloitetaan kuumentaminen pienellä teholla (noin 20–30 %). Pyrometrillä tarkkaillaan lämpötilaa ja lämpötilan tasaantuessa tehoa nostetaan noin 10 % kerrallaan. Kuumentamisen aikana tarkkaillaan hopean sulamista ja rikotaan mahdolliset pintajännityksen muodostamat kuplat. Tarkkaillaan myös hopean nousemista tangonpäihin ja hopeaa lisätään tarvittaessa. Keventimen avulla lasketaan roottoria alaspäin oikosulkurenkaan lämpölaajentuessa. Tankojen asettuminen uraan varmistetaan ja keventimen ilmoittamia lukemia seurataan. Tavoitelämpötila on noin 700 °C ja rengasta ei kuumenneta yli 750 °C. Kuva 51 havainnollistaa kovajuotoksen tavoitetilaa.



Kuva 51. Hopea sulanut ja noussut tangonpäille.

Tavoitelämpötilan saavuttamisen ja juotoksen tarkistamisen jälkeen kuumentaminen lopetetaan. Teho säädetään alas seuraavaa kertaa varten ja virta katkaistaan. Juotoksen annetaan jäähtyä paikallaan ja lämpötilan laskettua noin 300 celsiusasteeseen nostetaan roottori viereisen vesialtaan yläpuolelle. Roottori lasketaan altaaseen hieman yli oikosulkurengas ja nostetaan ylös. Tämä toistetaan muutamia kertoja veden jäähtyessä välillä. Lopulta oikosulkurengas jätetään veden alle. Muutaman minuutin jälkeen roottori nostetaan ylös altaasta ja puhalletaan vesi pois urasta paineilmalla (kuva 52).

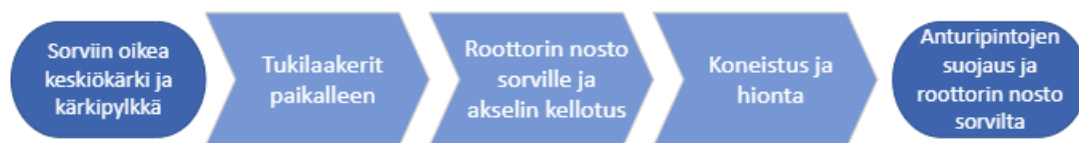


Kuva 52. Oikosulkurengas puhaltaminen paineilmalla.

Roottori nostetaan takaisin kääntövälineelle ja lasketaan maahan roottoripukille. Akseli puhdistetaan öljystä. Roottori ja akseliin kiinnitetty osa kääntövälinettä nostetaan pois maassa olevalta kääntövälineeltä. Samalla käännetään roottoria horisontaalisesti, jotta akselin toinen pää osoittaa kohti maassa olevaa kääntövälinettä. Samat työvaiheet suoritetaan roottorin toiselle puolelle ja lopuksi kääntöväline irrotetaan akselistä.

3.16 Loppukoneistus

Tarkempien tärinä- ja suoruusvaatimusten roottoreille tehdään loppukoneistus. Akselissa oleva työvara mahdollistaa koneistuksen lopullisiin mittoihin lämmitystä vaativien työvaiheiden jälkeen. Arviolta joka toinen GAMI loppukoneistetaan. Ilman loppukoneistusta valmistettavat roottorit siirtyvät kovajuotoksesta suoraan tasapainotukseen. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 18 mukaisessa järjestyksessä.



Kuvio 18. Loppukoneistuksen prosessikaavio

Loppukoneistus tehdään samalla sorvilla, kuin tangonpäiden sorvaus. Ennen roottorin nostamista sorville tukilaakerit asetetaan paikalleen. Tukilaakereiden käyttäminen mahdollistaa tarkemman koneistuksen. Painavien roottorien kanssa käytetään kahta tukilaakeria. Roottori nostetaan kärkien väliin ja tukilaakerit kohdistetaan roottorin tukilaakeripinnoille. Akseli kellotetaan kärkien väliin ja tukilaakerit kiristetään. Akseli kellotetaan uudestaan tukilaakereiden kanssa. Yksi heittokello asetetaan akselin yläpuolelle ja toinen sivulle. Sorvin kärjet irrotetaan ja akseli kellotetaan tukilaakereiden varaan, jonka jälkeen kärjet kiinnitetään kappaleeseen. Tukilaakeri pinnoille lisätään öljyä.

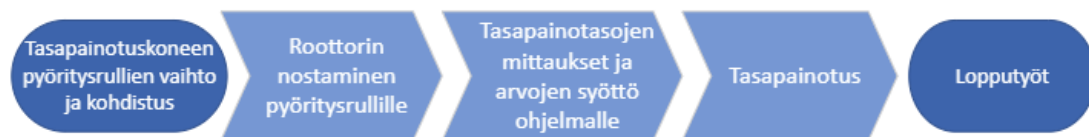
Kohdistamisen jälkeen akselin pinta sorvataan lähelle nimellismittaa. Työkalupidin nostetaan pois sorvilta ja vaihdetaan hiomakone tilalle. Hiomakoneen hiomakivi oi-

kaistaan, jonka seurauksena hiomakivi myös puhdistuu. Akselin pinnat hiotaan toleranssiin. Hiomisen jälkeen työkalupidin vaihdetaan takaisin hiomakoneen tilalle. Akseliin kylmävalssataan anturipinta ja pinta suojataan.

Roottori käännetään, kellotukset tehdään uudestaan ja samat työvaiheet toistetaan toiselle puolelle. Roottori nostetaan sorvilta vapaaseen tilaan odottamaan tasapainotusta.

3.17 Tasapainotus

Ennen lähettämistä loppukokoonpanoon roottori tasapainotetaan ja tasapainotuksen yhteydessä tehdään viimeistelevät työt. Tasapainotuksen tarkoitus on pienentää valmiin moottorin värinätasoa ja pidentää sen elinkaarta. Tasapainotus tehdään bunkkerissa sijaitsevalla tasapainotuskoneella. Koneen pyöriessä kulku bunkkeriin on estetty sähkölukollisella ovella. Prosessin vaiheet etenevät kuvion 19 mukaisessa järjestyksessä.



Kuvio 19. Tasapainotuksen prosessikaavio

Tasapainotuskoneeseen vaihdetaan nosturilla kattoluukun kautta suuremmat pyöritysrullat. Tasapainotettava roottori tulee sijoittaa bunkkerin nosturin ulottuville. Akselin päähän kiinnitetään tasapainotus kytky. Normaalisti kytky asetetaan akselin D-päähän, mutta mikäli työväline ei ole yhteensopiva, käytetään akselin N-päätä. Roottori nostetaan nostoliinoilla ylös mahdollisimman suorassa kulmassa ja varmistetaan roottorin olevan oikein päin tasapainotuskoneeseen nähden. Roottori nostetaan bunkkerin kattoluukusta pyöritysrullien läheisyyteen ja kohdistetaan pyöritysrullat pienemmistä roottoreista poiketen akselin tiivistepintojen kohdalle. Pyöritysrullien korkeus säädetään ja lukitaan roottorin halkaisijan mukaan. Roottori lasketaan suorassa rullien varaan. Kardaani kiinnitetään akseliin aikaisemmin kiinnitettyyn kytkyyn. Tasapainotuspukkien liikkuminen sivuttaissuunnassa estetään kiristämällä jalustat ohjauskiskoon.

Turvarajat lasketaan alas. Turvarajojen tarkoitus on varmistaa roottorin pysyminen pyöritysrullilla virhetilanteen sattuessa, eikä niitä lasketa kiinni akseliin.

Mitataan molemmilta puolilta etäisyydet pyöritysrullien keskipisteestä tasapainopalojen kiinnityspinnalle. Mitataan myös tasapainopalojen kiinnityspintojen etäisyys toisistaan. Anturipintojen suojaukset poistetaan, pyörityspinnoille laitetaan öljyä ja poistetaan bunkkerista. Mittaustulokset syötetään tasapainotusohjelmalle. Työkortista katsotaan puuttuvat arvot ja toleranssit, jotka syötetään myös tasapainotusohjelmaan. Kaikki roottorit tasapainotetaan aluksi hitaammalla nopeudella.

Bunkkerin kattoluukku ja ovi suljetaan. Käyttölaitteelta asetetaan pyörimisnopeus ja momentti. Pyörittäminen aloitetaan pienellä momentilla ja sitä nostetaan roottorin pyöriessä. Odotetaan asetetun pyörimisnopeuden saavuttamista, jonka jälkeen tasapainotuskone pysähtyy ja ilmoittaa havaitun epätasapainon tasakohtaisesti. Mennään takaisin bunkkerin sisälle ja käännetään roottori tasapainotuspukeilla tasapainotusohjelmaa vastaavaan kulmaan. Ohjelma ilmaisee lisättävien tasapainopalojen paikan ja tarvittavan määrän grammoina. Tasapainopalojen ja niiden kiinnittämiseen käytettävien pulttien massa punnitaan ja lisätään ohjelman osoittamaan paikkaan. Pultit lukitaan paikoilleen kierrelukitteella. Työvaiheet toistetaan, kunnes roottori täyttää toleranssit valitulla nopeudella.

Roottorin tasapainotuksen jälkeen tarkastetaan työkortista mahdolliset tuulettimet. Tuulettimen liitoskohtaa lämmitetään kaasupillillä ja tuuletin kutistusliitetään akseliin. Liitos viimeistellään lukitusrenkaalla. Roottori tasapainotetaan uudelleen haluttuun nopeuteen tuulettimien kanssa. Suurin osa tyyppin roottoreista tasapainotetaan ilman lisättäviä tuulettimia. Tasapainotuksen jälkeen anturipinnat suojataan ja roottoripaketti maalataan telalla. Turvarajat nostetaan ylös ja roottori irrotetaan tasapainotuskoneesta. Roottori nostetaan kattoluukun kautta ulos bunkkerista ja irrotetaan kytky. Hyväksytty tasapainotus merkitään roottoriin irrotettavalla lapulla ja roottori siirretään vapaaseen tilaan odottamaan siirtoa loppukokoonpanoon.

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

4.1 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen aineiston hankinnassa käytettiin avointa haastattelua ja osallistuvaa havainnointia. Tutkimus eteni DMAIC-mallin mukaisesti.

Tässä kappaleessa käsitellään tutkimuksessa käytettyjä tutkimusmenetelmiä. Kappaleesta selviää myös missä vaiheessa eri tutkimusmenetelmiä on käytetty.

4.1.1 Haastattelu

Haastattelussa tutkija ja haastateltava keskustelevat haastattelutyypin mukaan strukturoidusti (järjestelmällisesti) tai labeasti asioista, jotka kuuluvat tutkimusaiheeseen. Haastattelua käytetään tutkimusaineiston saamiseksi, ja aineistoa puolestaan on tarkoitus analysoida ja tulkita tieteellisen tutkimustehtävän selvittämiseksi. Tutkimushaastattelun päämäärä on tutkimustehtävän suorittaminen. Haastattelujen voidaan ajatella jakautuvan strukturoituihin sekä puolistrukturoituihin ja strukturoimattomiin haastatteluihin. Strukturoidussa haastattelussa kysymykset ja vastausvaihtoehdot on määritelty ennalta. Puolistrukturoiduissa ja strukturoimattomissa (avoimissa) haastatteluissa kysymysten esitystavat vaihtelevat eikä vastausvaihtoehdot ole ennalta määritelty. Haastattelun muodollisuus perustuu tavoiteltuun tietoon. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.)

Avointa haastattelua käytetään kokonaisvaltaisen ymmärryksen saamiseksi haastateltavan ajatuksista ja tunteista. Avointa haastattelua käytetään usein tutkimusten alkuvaiheissa keskeisten lisätutkimusta vaativien kysymysten löytämiseksi. Avoin haastattelu muistuttaa tavallista keskustelua, jossa keskustelun etenemistä ei ole ennalta määritelty vaan se etenee tietyn aihepiirin sisällä vapaasti ja paljolti haastateltavan ehdoilla. Avoin haastattelu on avoin kaikille mahdollisuuksille. Avoimessa haastattelussa haastateltavan annetaan puhua aiheesta vapaasti antaen tilaa haastateltavan kokemuksille, tuntemuksille, muistoille, mielipiteille ja perusteluille. Asiaa lähestytään

haastateltavan näkökulmasta. Haastattelija toimii keskustelukumppanina, joka tarvittaessa ohjaa keskustelua takaisin varsinaiseen aiheeseen. Tutkija voi myös pyytää tarkennuksia vastauksiin. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006; Pickard 2013, 199.)

4.1.2 Havainnointi

Tieteellinen havainnointi on systemaattista tarkkailua, jonka avulla saadaan välitöntä ja suoraa tietoa toiminnasta. Lähes kaikki tutkimukset sisältävät jonkinlaista havainnointia. Havainnointia voidaan käyttää itsenäisesti tai haastatteluiden lisänä ja tukena, mahdollistaen pääsyn tapahtumien luonnollisiin ympäristöihin. Havainnointi voidaan jakaa osallistuvaan ja ei-osallistuvaan havainnointiin. Osallistuvassa havainnoinnissa tutkijalla on aktiivinen rooli havainnoitavassa toiminnassa. Ei-osallistuvassa havainnoinnissa tutkija ei osallistu toimintaan vaan keskittyy vain havaintojen tekemiseen. Ihmisen muisti on hyvin valikoiva ja kokeneimmatkin tutkijat tarvitsevat apuvälineitä valikoivan muistin vaikutusten hillitsemiseksi. Havainnointi voi olla strukturoitua eli pitkälle jäsenneiltyä ja yksityiskohtaista tai strukturoimatonta eli joustavaa ja väljää. Havainnoijan läsnäolo saattaa häiritä tai muuttaa tutkittavaa tilannetta. Ongelmaa voidaan lievittää tekemällä havainnoitsijan läsnäolosta mahdollisimman normaalia. Tutkimuksen objektiivisuus saattaa häiriintyä tutkijan emotionaalisen sitoutumisen seurauksena. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006; Pickard 2013, 225.)

Osallistuva havainnointi voi olla aktiivista, jossa tutkija vaikuttaa läsnäolollaan tutkittavaan ilmiöön. Osallistuva havainnointi voi olla myös passiivista, jossa tutkija osallistuu tutkittavaan tilanteeseen vaikuttamatta tilanteiden kulkuun. Kummassakin tapauksessa tutkijan on pystyttävä erittelemään oma roolinsa ja sen mahdollinen vaikutus tutkimustilanteeseen. Tutkija ei voi olla havainnointitilanteessa täysin ulkopuolinen, koska hänen läsnäolonsa on kaikkien tiedossa. Tutkijan tulee kunnioittaa tutkittavien kohteidensa käytäntöjä ja pyrkiä olemaan sekaantumatta niihin millään tavalla. Havainnointi on subjektiivista ja hyvin valikoivaa toimintaa. Tulokset samasta toiminnasta saattavat poiketa eri havainnoitsijoiden välillä. Havainnoitsijoiden ennako-ole-tusten, aikaisempien kokemusten, mielialan ja aktivaatiotason vaikuttaessa havaintojen tekemiseen. Havaintojen valikointi on kuitenkin ehdotonta tutkimuksen kannalta,

koska rajattomasta havaintomäärästä on mahdotonta kerätä tarkoituksenmukaista aineistoa. Nykytekniikka tarjoaa tutkimuksen tekemistä helpottavia apuvälineitä. Aineiston käsittely helpottuu siihen tarkoitettuun tietokoneohjelmalla ja tallentamalla toimintaa videokameralla voidaan aineistoon palata myöhemmin.

(Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.)

4.2 Tutkimusmenetelmien käyttö

Aineistoa kerättiin havainnoimalla, haastattelemalla ja näiden yhdistelmällä. Aktiivinen osallistuva havainnointi oli perusteltu tiedonkeruumenetelmä, koska työtehtävien myötä insinööriopiskelija oli perehtynyt osaan tutkittavan valmistusprosessin vaiheisiin ennen tutkimuksen aloittamista. Tutkimuksen aikana aloitettiin prosessin vaiheiden dokumentoiminen käyttämällä apuvälineinä tietokonetta, kameraa, kynää ja paperia. Havainnointi keskittyi valmistusprosessiin ja mahdollisiin laatuun ja läpimenoaikaan vaikuttaviin tekijöihin. Havainnointi oli valmistusprosessien sisällä laajaa ja pyrki ottamaan huomioon kaikkia todennäköisiä laatuun ja läpimenoon vaikuttavia tekijöitä. Passiivista osallistuvaa havainnointia käytettiin seurattessa muiden suorittamia työvaiheita. Seuraamisen aikana käytettiin avointa haastattelua tukemaan tapahtumien ymmärtämistä ja dokumentoinnin oikeellisuutta. Taulukossa 3 on esitettyä haastatellut ja osallistuvan havainnoinnin tyyppi prosessin eri vaiheissa.

Taulukko 3. Prosessin vaihe ja tiedonkeruumenetelmät

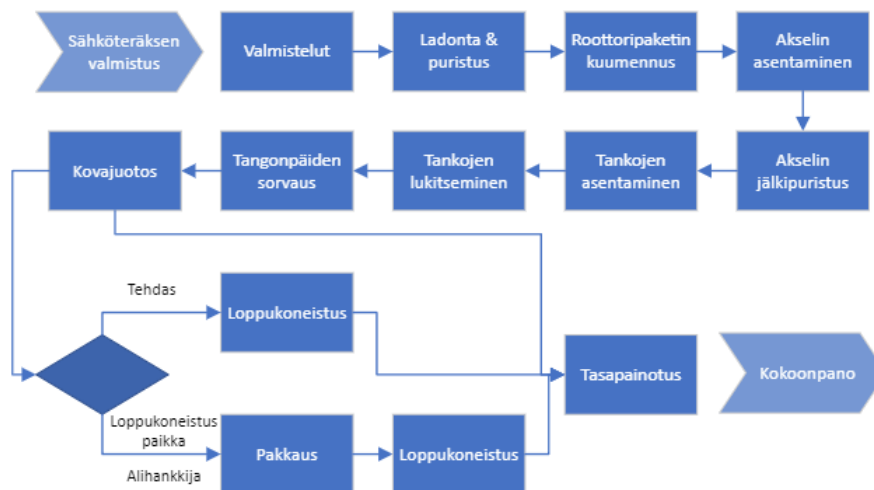
Prosessin vaihe	Avoin haastattelu	Aktiivinen	Passiivinen
Valmistelut	•	•	
Ladonta & puristus	•	•	
Roottoripaketin kuumennus	•	•	
Akselin asentaminen	•	•	
Akselin jälkipuristus	•	•	
Tankojen asentaminen	•	•	
Tankojen lukitseminen	•	•	•
Tangonpäiden sorvaus	•		•
Kovajuotos	•		•
Loppukoneistus	•		•
Tasapainotus	•		•

4.3 Tutkimuksen määrittelyvaihe

AMI800-1000 roottorityypin valmistus valikoitui tutkimuksen kohteeksi, koska roottoreiden valmistuksessa on muihin sarjoihin nähden eroavia työvaiheita. Tutkittavia roottoreita on myös valmistettu tehtaassa verrattain vähän aikaa eikä aikaisempaa vastaavaa tutkimusta ole tehty. Aihe oli myös tutkijalle mieleinen työtehtävien myötä saadun käytännön kokemuksen takia.

Projektin aloituspalaveri pidettiin insinööriopiskelijan, ohjaavan opettajan ja yrityksen edustajan kesken joulukuussa 2023. Projektin valmistumisajankohdaksi määritettiin toukokuu 2024. Insinööriopiskelija ja yrityksen edustaja sopivat pidettäväksi säännöllisiä aihetta koskevia palavereja kahden viikon välein. Opiskelija teki tutkimusta pääsääntöisesti yksin, mutta hänellä oli tukena kattava projektitiimi.

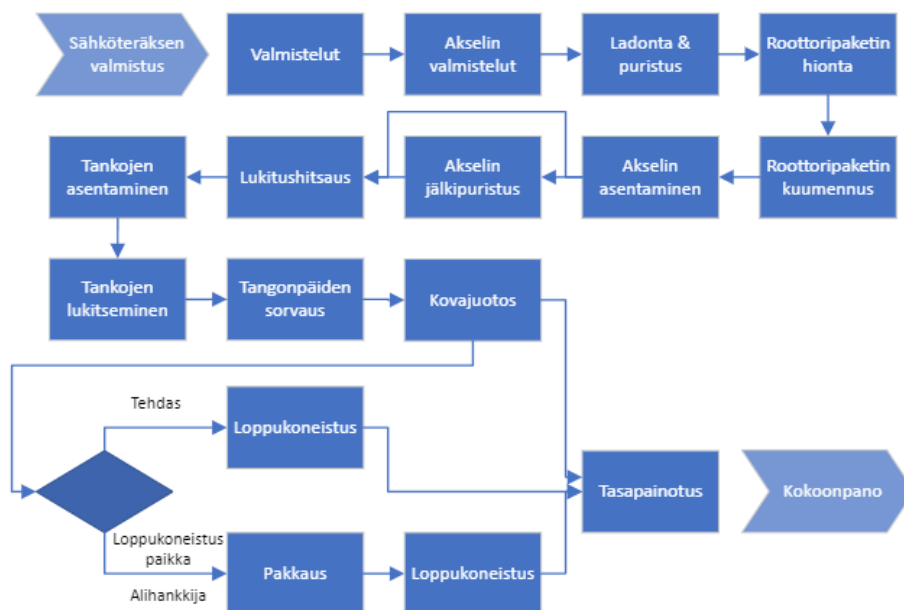
Roottorin valmistus katsottiin onnistuneeksi, kun roottori oli valmistettu toleranssien mukaiseksi ja se oli läpäissyt tasapainotuksen. Kehityksen kohteeksi valikoitui läpimenoaika, koska mahdolliset laadulliset haasteet vaikuttivat vain työvaiheiden keston. Valmiita roottoreita ei jouduttu purkamaan tai tekemään uudestaan. Roottorityypin suunniteltu läpimenoaika oli selvästi muita suurempi, jonka myötä läpimenoajan lyhentäminen oli kehityskohteenä perusteltua. Merkittävin ero muihin valmistettaviin roottoreihin oli suurempi koko. AMI800-1000 roottorityypin valmistus piti sisällään myös täysin omia työvaiheita. Muiden roottoreiden valmistuksen ollessa valmiiksi pitkälle optimoituja, todettiin tutkittavan roottorityypin läpimenon lyhenevän tuomalla valmistusmenetelmiä lähemmäs toisiaan. Asiakkaina valmistuksessa olivat seuraavat työvaiheet, jotka edellisten työvaiheiden oli mahdollistettava. Onnistunut projekti määriteltiin kehitysehdotusten pohjalta. Kuviossa 20 on esitettyä roottorin valmistuksen teoreettiset vaiheet. Tutkimus alkoi valmisteluista ja päättyi tasapainotukseen.



Kuvio 20. Roottorin valmistuksen prosessikaavio

4.4 Tutkimuksen mittausvaihe

Tutkimuksen mittausvaiheessa mitattiin prosessin suorituskykyä sen luonnollisessa ympäristössä. Valmistusprosessin vaiheet pilkottiin omiksi prosessikaavioiksi ja suoritettavista työvaiheista tehtiin yksityiskohtainen kuvaus. Prosessien tehokkuutta mitattiin vertaamalla työvaiheita ja niiden suorittamista suurimpiin perinteisellä menetelmällä valmistettaviin muiden sarjojen rottoreihin (Taulukko 4). Mittareina käytettiin myös GAMI:n valmistuksen eroja vanhan ja uuden puolen välillä ja työntekijöiden kokemuksia. Tuloksia dokumentoitiin työntekijöiden havainnoinnin pohjalta. Havainnot kirjattiin prosessin aikana käyttämällä kynää ja paperia, sekä ottamalla valokuvia. Havainnoinnin tukena käytettiin haastattelua. Kirjatun informaation oikeellisuutta varmistettiin keskustelemalla työnjohton kanssa. Valmistuksen toteutuneista prosesseista tehtiin ylätasoinen prosessikaavio (kuvio 21).



Kuvio 21. AMI800-1000 valmistusprosessi

Taulukko 4. Erojen merkitys ja esiintyvyys

Työvaihe	Erot muihin roottoreihin valmistettaessa vanhalla puolella	Erot muihin roottoreihin valmistettaessa uudella puolella
Valmistelut	Vähäisiä	Kohtalaisia
Akselin valmistelut	Merkittäviä	Merkittäviä
Ladonta	Vähäisiä	Vähäisiä
Puristus	-	Merkittäviä
Roottoripaketin hionta	Merkittäviä	Merkittäviä
Akselin asentaminen	Vähäisiä	Vähäisiä
Akselin jälkipuristus	-	Merkittäviä
Lukitushitsaus	Merkittäviä	Merkittäviä
Tankojen asentaminen	-	-
Tankojen lukitseminen	Vähäisiä	Merkittäviä
Tangonpäiden sorvaus	Vähäisiä	Vähäisiä
Kovajuotos	Merkittäviä	Merkittäviä
Loppukoneistus	-	-
Tasapainotus	-	-

Valmistelut sisälsivät useasti tarpeen ympäröivän tilan tyhjentämiselle. Valmistelut keskeytyivät käytävän liikenteen takia. Ladontaveitsi jouduttiin irrottamaan. Työkaluja jouduttiin hakemaan kauempaa ja trukilla siirrettiin materiaaleja pidempi matka.

Akselin valmistelu suoritettiin samalla tavalla riippumatta valmistuspaikasta. Akselin valmistelua ei myöskään tehty muille roottoreille, joten mittaus perustui työntekijöiden ajatuksiin prosessin toimivuudesta. Akselin valmistelu tarvitsi runsaasti lattiatilaa ja ylimääräisen noston. Pyöritysrullien kohdistaminen täytyi tehdä toistuvasti uudestaan. Lukitustikkujen kiinnitysmenetelmää ei koettu optimaaliseksi.

Ladonta ei sähköteräksen halkaisijaa lukuun ottamatta eronnut minkään muun roottorin ladonnasta. Ohjaustikkujen käytettävyyttä parannettiin soveltavalla ratkaisulla samoin, kuin muillakin roottoreilla.

Hionta oli välttämätöntä akselin asentamisen onnistumisen kannalta. Työvaiheen ei valmistamisen kannalta tarvitse olla tarpeellinen ja on prosessia hidastava tekijä.

Puristaminen vanhalla puolella onnistui vaunun liikkumiseen liittyviä haasteita lukuun ottamatta täysin muita roottoreita vastaavasti. Uudella puolella työvaihe kesti selvästi pidempään hydraulijärjestelmän kokoamisen takia.

Roottoripaketin kuumennus ja akselin asentaminen onnistuivat yhtäläisesti kummallakin puolella. Uudella puolella ei tehty jälkipuristusta.

Lukitushitsaus oli oma työvaiheensa, jota ei samassa mittakaavassa muille roottoreille tarvitse tehdä.

Tankojen asennus ja lukitseminen suoritettiin vanhalla puolella täysin samalla tavalla, kuin muihinkin roottoreihin. Poikkeavia haasteita aiheutti roottoreiden suuri koko ja koppien ahtaus. Uudella puolella ongelmia aiheutui tuukkauskoneen toiminnasta.

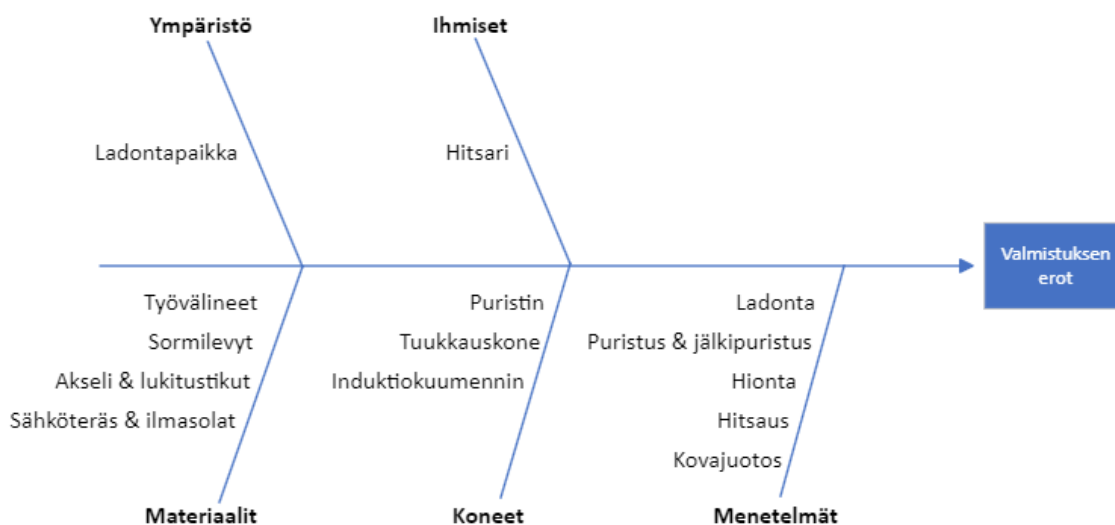
Tangonpäiden sorvaus ei työvaiheena eronnut muista roottoreista mitenkään. Ainoastaan painavan roottorin nosto sorville vaati vain erityistä tarkkuutta.

Kovajuotos induktiokuumentimella oli hiljattain käyttöön otettu prosessin kehitystoimenpide, joka selvästi myös paransi prosessia. Kuumentimen kevennin ei vielä toiminut toivotulla tavalla ja näköyhteyden puuttuminen ylätasolta hankaloitti juotosta. Juottamisen yhteydessä käytettävän kääntönivelen kohdistamisessa todettiin haasteita.

Loppukoneistus ja tasapainotus toimivat GAMI:en kohdalla täysin muita suuria roottoreita vastaavasti.

4.5 Tutkimuksen analyysivaihe

Analyysivaiheessa tarkasteltiin mittausvaiheessa todettujen haasteiden vaikutuksia. Valmistusmenetelmien eroihin perustuvan juurisyyanalyysin (kuvio 22) pohjalta haasteet jaettiin kahteen ryhmään. Haasteita tarkasteltiin GAMI:en valmistuksen kannalta mutta osalla niistä oli vaikutusta myös muiden roottoreiden valmistukseen. Ensimmäisen ryhmän haasteet vaikuttivat ainoastaan GAMI:en valmistukseen. Toisessa ryhmässä haasteilla oli GAMI:en lisäksi vaikutusta myös muihin roottoreihin.



Kuvio 22. Juurisyyanalyysi valmistusmenetelmien eroavaisuuksista

Juurisyyanalyysi laadittiin prosessin havainnoinnista tehtyjen muistiinpanojen perusteella. Analyysin pohjalta saatiin selville roottorisarjojen valmistuksen eroihin vaikuttavia tekijöitä. Taulukossa 5 on jaoteltu läpimenoaikaan vaikuttavia tekijöitä. Jaottelun perustana oli haasteiden vaikutukset tutkittavan roottorityypin lisäksi muiden roottoreiden valmistukseen.

Taulukko 5. Kehityskohteet ja vaikutuksen alaiset roottorit.

Kehityskohde	Vaikutuksen alaiset roottorit
Akselin valmistelu	gAMI
Työvälineiden sijainti	
Ladontaveitsi	
Puristusrenkaat	
Hionta	
Puristus	
Jälkipuristus	
Uuden puolen tuukkauskone	
Uusi juotosteknologia	
Valmistaminen vanhalla puolella	
Sorvaus, loppukoneistus ja tasapainotus	
Tuurnan halkaisijan vaihto	gAMI + muut
Materiaalien hakeminen	
Valmiiden roottoreiden siirtely	
Ohjaustikut	
Ilmasolan kohdistaminen	
Tangotus	
Tangonpäiden jäyste	

Mittauksen pohjalta löydettyjen kehityskohteiden vaikutuksia arvioitiin havaintojen ja haastatteluiden pohjalta. Kehityskohteilla havaittiin olevan seuraavia vaikutuksia:

- Akselin valmistelu:** Akselin valmistelua varten käytettävät pyöritysrollat varastoitiin kiinni toisissaan ja mahdollisimman paljon poissa tieltä. Tästä syystä rullien kohdistus sivuttaissuunnassa piti tehdä useamman kerran uudestaan. Pitkään käyttämättä olleita pyöritysrollia jouduttiin myös puhdistamaan. Akselin nostaminen pyöritysrollille ja niiltä käyttövalmiiksi vaati useamman noston lisää ja yhdistelmä vie paljon tilaa. Lukitustikkujen kiinnitysmenetelmänä käytettävän liiman kuivumisaika teki akselin käyttämisen mahdottomaksi samana päivänä.
- Työvälineiden sijainti:** Pohjat ja kannet löytyivät sorvin takaa kuormalavalta. Koska kannessa oli nostolenkit kiinni, oli kansi lavalla pohjan päällä. Välineitä tarvitaan ensin käänteisessä järjestyksessä ja kansi oli ensin nostettava pois tieltä. Ahtaan tilan takia oli kansi nostettava osittain sorvin yli vapaaseen tilaan, jonka jälkeen palattiin hakemaan pohja nosturilla.

- **Ladontaveitsi:** Ladontaveitsi todettiin työvälineenä tuunaan kiinnitettyä ohjaustikkua paremmaksi. Suurimmalla pohjalla valmistettavan roottorin kanssa ladontaveitsi ei kuitenkaan riittänyt kulkemaan kiskoillaan sähköteräksen uraan asti. Ladontaveitsi irrotettiin ja väliin lisättiin jatkopalat. Jatkopaloilla varustettua ladontaveistä ei kuitenkaan saanut ruuvattua riittävän kauas pohjasta, joten se täytyy suurimpien roottoreiden kohdalla irrottaa ja asentaa aina uudelleen.
- **Puristusrengas:** Puristusrenkaiden pakettiin osoittavat puolet olivat kuperia myös selvästi ohuempaa metallia ulkoreunoista. Puristamalla ei onnistuttu suoristamaan levyä paketin pinnalle, koska puristusvoima jäi paksumpaan keski-kohtaan. Akselin asentamisen jälkeen havaittiin useassa tapauksessa päällimmäisen osapakan jääneen löysäksi. Puristusrenkaan ja osapakan välillä oli havaittavissa selvä rako ja raot suljettiin tangotuksen yhteydessä manuaalisesti. Puristusrenkaissa ei myöskään ole kutistusliitosta, joten valmistuksessa vaadittiin lukitushitsaus omana työvaiheenaan.
- **Työvälineiden hakeminen:** Valmistettaessa roottoria uudella puolella täytyi erinäisiä työvälineitä ja tarvikkeita hakea vanhalta puolelta. Näihin kuuluivat esimerkiksi kiilat, ohjaustikut, työskentelytaso, peltisakset, liinat ja nostokorvat.
- **Hionta:** Puristuksen jälkeen tehtävä hionta oli tarpeellista akselin asennuksen onnistumisen kannalta. Epäonnistunut akselin asentaminen vaati paketin jäähdyttämisen, hiomisen ja uudelleen lämmittämisen. Toimenpiteet veivät huomattavasti aikaa ja akselin onnistunut asentaminen vielä saman päivän aikana muuttui mahdottomaksi. Urien pohja oli lukitustikuille selvästi riittävän kaukana, mutta reunojen väliin ei jäänyt tilaa juuri ollenkaan. Hiomisen myötä tarvittavat nostot lisääntyivät. Nostokoukkujen irrottaminen teräspukkien päälle nostetun paketin kannesta vaati rappusia. Koukkujen jättäminen kiinni olisi

poistanut paketin mahdollisuuden kaatua. Riski nosturin uudesta käyttöön-otosta ja paketin liikkumisesta työntekijän työskennellessä sen sisällä katsottiin kuitenkin suuremmaksi.

- **Puristus:** Puristaminen sylintereillä kiinteän puristimen sijasta oli toimiva ja liikuteltava ratkaisu. Menetelmän käyttäminen oli kuitenkin perinteistä puristinta selvästi työläämpää ja hitaampaa. Paketin pituuden muuttaminen puristuksen jälkeen kesti erittäin kauan, koska koko puristusjärjestelmä (mutterit, aluslevyt, sylinterit, letkut, lukitussauvat ja kansi) piti purkaa ja kasata uudelleen. Ilman uudelleen tekemistäkin menetelmän käyttäminen kesti kahdestaan kauemmin, kuin perinteisellä puristimella yksin puristaminen.

Paketin lukituksessa ei ollut käytössä momenttiavainta. Pelkän arvioinnin varassa oli lähes mahdotonta kiristää kaikki mutterit samalla voimalla.

Vanhalla puolella ongelmia havaittiin puristimen vaunun mahdollisuuksissa liikuttaa painavia roottoreita puristimen alle. Vaunun kulkemista jouduttiin auttamaan, jonka jälkeen puristus onnistui tehokkaasti. (Ongelmia vaunun kulkemisessa on havaittu myös muiden sarjojen roottoreiden kohdalla.)

- **Jälkipuristus:** Jälkipuristus siihen soveltuvin työkaluin oli jo ennen tutkimuksen aloittamista todettu liian hankalakäyttöiseksi. Järjestelmän kasaaminen aiheutti turvallisuusriskin ja kesti niin kauan, että akselin asema oli jo määräyty-nyt ennen puristusta. Uudella puolella valmistettavien roottoreiden akselit oli- vat myös niin painavia, että samaan lopputulokseen päästiin toistuvasti ilman jälkipuristusta.
- **Uuden puolen tuukkauskone:** Tuukkauskoneen toiminta poikkesi optimaali- sesta. Työstöjälki oli kuitenkin hyvää ja prosessi oli mahdollista suorittaa laa- dullisesti täydellisesti. Tuukkauskoneen virheellisen toiminnan takia prosessin keskeytyminen satoi työntekijän seuraamaan tuukkausta ja käynnistämään sen uudelleen.

- **Uusi juotosteknologia:** Induktiokuumentimen keventimen toiminnassa oli puutteita ja se ilmoitti vääriä kilomääriä. Juottajan täytyi arvioida induktiokelalle asetettu paino, joka vaikeutti toimenpidettä tehden siitä vaikeammin vakioidavan. Induktiokelan kestävä kilomäärää ei tunnettu, joten roottorin laskeamisen kanssa oli oltava erityisen tarkkana. Mahdollisesti induktiokela olisi kestänyt roottorin koko painon ja vielä enemmänkin. Tällä hetkellä nosturia ylätasolla käyttävä työntekijä ei näe akselin etäisyyttä keventimestä.

Induktiokuumentimella ei ollut juotoshopean pintajännityksen rikkomisessa kaasunpainetta apuna. Pintajännitystä rikottiin lisäämällä hopeaa jälkikäteen samalla varmistaen hopean nouseminen tangonpäille.

Roottorin pakollinen kääntäminen ennen kuumentimelle nostamista vaati lattiatilaa. Käytettäväksi suunniteltu tila oli kuitenkin täytetty muilla materiaaleilla ja ennen juotosta jouduttiin käyttämään aikaa roottoreiden siirtelemiseen.

Kääntöniveleen kiinnittäminen akseliin vaati enemmän aikaa, koska roottorin sijoittaminen suorassa kääntöniveleen nähden täytyi arvioida silmämääräisesti.

- **Valmistaminen vanhalla puolella:** Vanhalla puolella roottoria valmistettaessa huomattiin, että tiloja ja laitteita ei ole suunniteltu näin suurille roottoreille. Tangotus- ja tuukkauskoppiin roottorit oli mahdollista laittaa, mutta nostot olivat erityisen tarkkoja rajallisen tilan takia. Hankalat nostot vaativat enemmän aikaa ja lisäsivät työntekijöiden henkistä kuormitusta.
- **Sorvaus, loppukoneistus ja tasapainotus:** Loppukoneistuksessa roottori jouduttiin kääntämään ja kellottamaan uudelleen. Kääntämisen tarve lisäsi koneistukseen kuluvaa aikaa. Uudelleen kellottaminen nosti mahdollisuutta epätasaisuuksiin puolten välillä. Toimenpiteet eivät kuitenkaan aiheuttaneet laadullisia ongelmia, niiden suorittaminen vain kesti kauemmin.

Sorvaus, loppukoneistus ja tasapainotus erosivat työvaiheina muiden sarjojen roottoreista selvästi vähiten. Suuremman painon ja halkaisijan takia koneisiin

jouduttiin vaihtamaan suurempia työvälineitä, mutta työvaiheet pystyttiin tekemään samoilla koneilla. Merkittävin ero oli suuren painon edellyttämä erityinen tarkkuus koneille nostamisessa. Mahdollisten virheiden vaikutukset olivat suurempia, kuin kevyemmissä roottoreissa.

- **Tuurnan halkaisijan vaihto:** Tuurnan lisäpalat oikean halkaisijan määrittämiseksi kiinnitettiin kuudella pultilla. Pulttien lisäksi jokaisessa lisäpalassa oli kaksi ohjaustappia. Suuremman halkaisijan paloissa pulttien kannat katosivat kokonaan näkyvistä palan sisälle. Halkaisijaa vaihdettaessa useiden pulttien avaaminen ja kiristäminen teki vaihtamisesta työläämpää.
- **Materiaalien hakeminen:** Varastojärjestelmä ilmaisi materiaalien sijainnin katuosoitteen tarkkuudella. Tästä syystä välillä niiden etsimiseen meni huomattava määrä aikaa. Joissakin tapauksissa järjestelmä osoitti virheellisen sijainnin ja valmistuksen aloittamisen sijasta etsittiin löytämättömissä olevia materiaaleja.
- **Valmiiden roottoreiden siirtely:** Uuden puolen ladontapaikan lähettyville ja uunin ritilälle oli useasti varastoitu valmiita roottoreita. Ennen valmistuksen aloittamista täytyi valmiille roottoreille etsiä uusi paikka ja suorittaa tarvittavat nostot. Roottorit olivat usein varastoitu hyvin lähelle toisiaan ja nostot vaativat aikaa ja erityistä tarkkuutta. Valmiiden roottoreiden siirtely altisti kolhiintumisen riskille ja nostaminen ahtaista väleistä kasvatti myös henkilövahinkojen mahdollisuutta.

Valmiiden roottoreiden varastointi työskentelytilojen läheisyyteen hankaloitti valmistettavien roottoreiden siirtelyä. Hankalammalla siirtelyllä oli negatiivista vaikutusta akselin asentamisen jälkeen kaikkiin työvaiheisiin.

- **Ohjaustikut:** Pienen halkaisijan roottoreissa on mahdollista latoa ensimmäinen osapakka ja vasta tämän jälkeen suoristaa sähköteräslevyt kiilalla ja asettaa

ohjaustikut paikalleen. Suuren halkaisijan roottoreissa (kaikki GAMI:t) ei pystytty käyttämään samaa menetelmää osapakkojen suuren painon takia. Ohjaustikut tuli asettaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, koska jälkeinpäin korjaaminen on käytännössä mahdotonta. Ohjaustikut pysyivät huonosti paikallaan ladonnan alussa. Ohjaustikkujen paikallaan pitämiseksi käytettiin puristusrenkaiden nostamiseen tarkoitettuja magneetteja. Laajentumat ja epäsuoruus ohjaustikuissa hankaloitti käyttöä merkittävästi, koska ohjaustikut jumituivat sähköteräksen uriin.

- **Ilmasolat:** Eroavaisuudet sähköteräksen ja ilmasolan profiileissa mahdollisti ilmasolan asettumisen uran päälle. Tämän takia jokainen ilmasola piti asetella erikseen oikeaan kohtaan. Työvaihe ei ladonnan aikana ollut erityisen vaativa, mutta aiheutti riskin hankalalle korjaustoimenpiteelle. Pienempi ilmasola mahdollisti virheen ladonnassa mutta onnistuneen ladonnan jäljiltä helpotti tangotusta.

Merkinnät ilmasolissa olivat välillä vaikeasti havaittavia ja vaihtoivat myös satunnaisesti paikkaa. Paikan vaihtuminen ei ollut yleistä, mutta lisäsi tapahtuessaan merkittävästi riskiä ilmasolan asettumisesta väärään uraan. Tämä johti ilmasolan nostamiseen ylös, jonka jälkeen se oli asetettava uudelleen. Ilmasolan nostaminen pois tuurnalta oli hankalaa ja se lisäsi ilmasolan vaurioitumisen riskiä.

- **Tangotus:** Tankojen pakettiin asettaminen havaittiin tarkoitustaan haasteellisemmaksi. Ongelmia ilmeni erityisesti tangon profiilin ollessa tasainen. Paketissa ei ollut näkyviä virheitä, eikä havaittua epäsuoruutta. Tangot ottivat kiinni epäsäännöllisesti eri kohdista, joten ongelmaa ei pystynyt tehokkaasti ratkaisemaan viilaamalla. Tankojen asettamiseen jouduttiin käyttämään huomattavasti voimaa. Prosessi kulutti työntekijältä paljon enemmän aikaa ja energiaa.
- **Tangonpäiden jäyste:** Sorvauksen jälkeen tangonpäiden reunaan jäi terän jäljiltä jäystettä. Jäyste hankaloitti juotoshopean nousemista tankoja pitkin ja oli yhtenä todennäköisenä vaikuttava tekijänä epätäydellisessä juotoksessa.

Haasteista suurimman osan havaittiin sijaitsevan valmistusprosessin alkuvaiheissa. Samoin myös merkittävimmät erot muiden roottoreiden valmistukseen nähden. Tästä syystä valmistuksen eroja vähentävien muutoksien todettiin kehittävän prosessia.

4.6 Tutkimuksen parannusvaihe ja kehitysehdotukset

Parannusvaiheessa esitettiin mahdollisia ratkaisuja analysoituihin ongelma-kohtiin. Toteuttamalla kehitysehdotuksia voidaan kehittää roottorin valmistusta. Kehitysehdotukset toimivat vastauksina tutkimuskysymykseen: Miten roottorin valmistusta voidaan kehittää? Kehitysehdotuksissa pyrittiin tutkimuksen tekijän oman harkinnan mukaan ottamaan huomioon kehitysehdotusten toteutuskelpoisuus ja kannattavuus. Yrityksen olemassaolon tarkoituksen sisältäessä muitakin asioita, kuin GAMI roottoreiden mahdollisimman nopean valmistuksen. Tästä syystä kehitysehdotuksiin ei sisällytetty mainintaa esimerkiksi jokaiselle variaatiolle hankittavista omista työvälineistä. Taulukossa 6 on listattuna kehitysehdotukset.

Taulukko 6. Kehitysehdotukset

Työvaihe	Kohde	Ongelma	Kehitysehdotus	Parannus	
Yleinen	Varasto	Materiaalien etsimiseen kuluu paljon aikaa	Varastojärjestelmän päivitys	Materiaalien nopeampi paikantaminen Tuloksettomman etsinnän loppuminen	
	Ladontapaikan ympäristö	Pinontavaunun jumittuminen kuorman kanssa	Betonilattian taasoitus	Sähköteräslavojen parempi liikuttavuus	
	Layout		Kannet ja pohjat väärässä järjestyksessä toistensa päällä	Työvälineiden esteetön sijoittelu	Nopeammat valmistelut
			Valmiit roottorit vievät runsaasti latti tilaa aiheuttaen ahtautta	Sijoituspaikka valmiille roottoreille	Ylimääräisten siirtojen väheneminen valmistuksen mahdollistamiseksi
			Lukitussauvojen sijainti kaukana ja hankalassa välissä	Sijoitus toiselle puolelle tuukauskoppia	Nopeammin käytettävissä
	Siirtovaunu	Roottorin siirtämiseen täytyy tilata kuljetus	Suuremman kapasiteetin siirtovaunun hankinta	Roottoreiden siirtäminen nostureiden välillä ilman alihankkijoita	
	Pyöritysruulat & kääntönivel	Silmämääräistä kohdistusta joudutaan säätämään usein	Pysyvät kohdistusmerkit lattiaan	Kohdistaminen nopeutuu ja korjaustarve poistuu	

Taulukko 6 jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko 6 jatkuu edelliseltä sivulta

Työvaihe	Kohde	Ongelma	Kehitysehdotus	Parannus
Valmistelut	Akselin lukitustikut	Kiinnitysvaihe tarvitsee paljon lattiatilaa ja liiman kuivumista ei voida nopeuttaa	Vaihtoehtoinen kiinnitys menetelmä	Työvaihe vaatii vähemmän nostoja ja lattiatilaa. Akselin valmistelun suorittaminen osaksi asennusprosessia
		Roottoripaketti vaatii hiomisen ennen akselin asentamista	Lukitustikkujen mittojen muutos	Akselin asentaminen ilman paketin hiontaa
	Tuurna	Pultin avaamisessa ja kiristämisessä riski pultin tai kierteiden vaurioitumiselle	Kiinnityspulttien lukumäärään muuttaminen	Nopeampi halkaisijan vaihtaminen
		Pulttien kannat häviävät kiinnitettävän osan sisään	Pidemmät kiinnityspultit	Kiristäminen ja avaaminen helpottuu
	Ladontaveitsi	Veitsestä ei saa kunnonollista otetta, joka hankaloittaa siirtelyä	Nostolenkki ladontaveitseen	Kiinnittäminen ja irrottaminen helpottuu ja onnistuu yksin
		Veitsi täytyy irrottaa ennen ja jälkeen ladonnan	Veitsen liikkuvuuden lisääminen	Tarve irrottamiselle ja kiinnittämiseksi poistuu
	Ohjaustikut	Ohjaustikut eivät pysy paikallaan ladonnan alkuvaiheessa	Apuväline ohjaustikkujen asemointiin	Ladonnan alkuvaiheet helpottuvat ja roottoripaketista tulee suurempi

Taulukko 6 jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko 6 jatkuu edelliseltä sivulta

Työvaihe	Kohde	Ongelma	Kehitysehdotus	Parannus
Ladonta	Puristusrenkas	Tarve lukitushitsausk-selle	Mittojen muut-taminen kutis-tusliitoksen muodosta-miseksi	Lukitushitsauksen laskeminen alem-paan pätevyys-luokkaan tai pois-tuminen kokonaan
		Puristusrenkaan kyn-sien kääntyminen läm-mityksessä	Vahvemmat ul-koreunat	Roottoripaketin ja puristusrenkaan väliin ei muodostu sulkemista vaati-vaa rakoa
	Sähköteräs	Suuren halkaisijan sähköteräslevyt eivät pysy suorassa	Nostoväline sähköteräkselle	Mahdollistaa la-dontavaiheen suo-rittamisen yksin
	Ilmasolat	Ilmasolan keskelle asettuminen varmis-tettava	Ilmasolan muuttaminen sähköteräslevyä pienemmäksi	Mahdollistaa pa-remmin tangotet-tavien pakettien latomisen
Merkintöjen havaitta-vuudessa ja paikoituk-nessa vaihtelua		Yhdenmukainen helposti havait-tava merkintä-tapa	Oikean kohdan no-peampi löytymi-nen ja virheiden väheneminen	
Puristus	Puristin van-halla puolella	Vaunun liikkuminen pysähtyy suuren kuor-man alla ennenai-kaisesti	Vaunun kapasi-teetin kasvatta-minen	Roottoripaketin siirtäminen puris-timen alle helpot-tuu
Tangotus	Roottoritangot	Tankojen hankala asettaminen silmä-määräisesti suoraan pakettiin	Toleranssien tarkastus	Tangotuksen suo-ritettavuudessa il-menevän vaihte-lun väheneminen

Taulukko 6 jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko 6 jatkuu edelliseltä sivulta

Työvaihe	Kohde	Ongelma	Kehitysehdotus	Parannus
Tankojen lukitseminen	Vanhan puolen tangotus- ja tuukkauskoppi	Roottori asetettava optimaalisesta poikkeavalla tavalla	Tilavuuden kasvattaminen	Roottorin helppompi sijoittaminen ja äänieristykseen parempi hyödynnettävyys
	Tuukkauskone uudella puolella	Tuukkauskone edistää ja pysähtyy vasaran osuessa väärään kohtaan	Pyörimisnopeuden tai paketin aseman tunnistimen säätäminen	Uudelleenkäynnistysten väheneminen
Sorvaus	Roottoritangot	Jäysteen muodostama kynsi haittaa juotosaineen toimintaa	Jäysteen täydellinen poisto	Helpottaa juottamista ja laskee epäonnistuneen juotosprosessin todennäköisyyttä
Kova-juotos	Induktiokuumennin	Roottorin asettaminen juotospöydälle vaatii kaksi työntekijää tai edestakaista kulkeamista	Näköyhteys keventimeen	Roottorin sijoittaminen juotospöydälle helpottuu
		Oikosulkurenkaan juotoksessa käytetyt lämpötilatiedot häviävät	Pyrometrin hankinta ja kiinteä asennus	Mahdollistaa työstölämpötilan tarkemman seuramisen ja datan tallentamisen
		Roottorin paino keventimellä arvioinnin varassa	Keventimen kalibrointi	Kevennettyjen kilogrammien yhdenmukaisempi seuranta
		Roottorin laskemista kelalle varotaan mahdollisesti turhaan	Induktiokelojen painorajojen selvittäminen	Roottorin nostaminen kuumentimelle yksinkertaistuu

4.6.1 Yleinen

- **Varastojärjestelmän päivitys:** Materiaalien etsimiseen käytetty aika on roottorin valmistuksen kannalta hukkaa. Tarkempi varastojärjestelmä vähentäisi tähän kulutettua aikaa. Erityisen suuri merkitys olisi mahdollisesti tuloksettoman etsinnän lopettamisella.
- **Betonilattian tasoitus:** Ladontapaikan läheisyydessä sijaitsevan betonilattian tasoittamisella helpotettaisiin painavien sähköteräslavojen siirtämistä pinontavaunulla.
- **Layout muutokset:** GAMI:en tuotantolayout on toimiva mutta siinä on vielä varaa optimoinnille. Vanhalta puolelta haettavat välineet ovat vanhaa puolta ajatellen optimaalisessa paikassa, joten niiden sijaintia ei ole tarkoituksenmukaista muuttaa. Uudella puolella myös valmistetaan selvästi vähemmän roottoreita, joten kaikkien samojen välineiden hankkiminen ei ole perusteltua. Puristuksessa käytettävät lukitussauvat voisivat olla toisella puolella tuukkauskoppia. Pohjat ja kannet tulisi sijoittaa uudelleen, jotta niitä ei tarvitsisi siirtää pois halutun työvälineen tieltä.
- **Valmiiden roottoreiden sijoituspaikka:** Valmistuksessa saavutettaisiin merkittävää etua siirtämällä valmiit roottorit tarpeeksi kauas tuotantolinjasta. Valmiiden roottoreiden lisäksi menetelmää tulisi soveltaa myös sellaisille roottoreille, joiden valmistuksen eteneminen odottaa esimerkiksi pidemmän aikaa osia.
- **Järeämmän lavansiirtovaunun hankinta:** Roottoreiden siirtäminen tolppien välistä toisen puolen nosturin alle vaati suuremman kapasiteetin lavansiirtovaunun. Valmiiden roottoreiden sijoittaminen pois valmistuksen tieltä helpotaisi selvästi tarvittavien roottoreiden siirtelyä ja kaikkia muita materiaalikuljetuksia. Väljempi tila vähentäisi myös kolhiintumisen riskiä ja yksinkertaistaisi käytettävän nosturin vaihtoa.

- **Kohdistuksia helpottavat merkinnät:** Nykyisellä menetelmällä akselin valmistelussa käytettävät pyöritysrullat on kohdistettava aina uudelleen. Pyöritysrullien kohdistaminen pitkittäin akselin pituuden mukaan on selvästi sivuttain tehtävää kohdistusta helpompaa. Pyöritysrullien asema toisiinsa nähden on myös sivuttaissuunnassa aina sama. Lattiassa voisi olla kohdistusta helpottavia merkintöjä. Kohdistusta helpottavat merkinnät auttaisivat myös kovajuotoksen yhteydessä käytettävän kääntönivelen kiinnittämisessä.

4.6.2 Valmistelut

- **Akselin lukitustikut:** Akselin lukitustikkujen liimaamisen sijasta prosessi saataisiin suoritettua selvästi nopeammin, mikäli lukitustikut kiinnitettäisiin esimerkiksi pulteilla ja kierrelukitteella. Lukitustikkujen asennus voitaisiin tehdä ilman pyöritysrullien viemää tilaa ja säästettäisiin liiman kuivumiseen kuluva aika. Toimenpide vaatisi myös vähemmän nostoja, koska lukitustikut voitaisiin asentaa ennen akselin liittämistä pakettiin. Lukitustikut voisivat olla myös vähän kapeampia, jotta välttyttäisiin kokonaan paketin hiomisen tarpeelta. Pelkästään kiinnitysmenetelmää vaihtamalla voitaisiin hiominen suorittaa lukitustikkuihin ennen niiden kiinnittämistä. Tuloksena poistuisi tarve paketin nostamisesta teräspukeille.
- **Tuurnan halkaisijan vaihtaminen:** Tuurnan halkaisijaa säättävät osat tulevat kiinni tuurnaun huomattavan monella pultilla. Näihin kuitenkin kohdistuu voimia ainoastaan nostettaessa tuurna pois valmiin paketin sisältä. Tuurnan halkaisijan vaihtaminen nopeutuisi, jos pienempi määrä pultteja todettaisiin riittäväksi. Samalla vähentyisi riski pultin katkeamisen aiheuttamista korjaustoimenpiteistä. Pultit voisivat myös olla pidempiä, jolloin pultin kanta jäisi näkyville.
- **Uuden puolen ladontaveitsi:** Ladontaveitsen muokkaaminen muotoon, jossa veistä ei tarvitse välissä irrottaa nopeuttaisi prosessia ja vähentäisi riskiä ladontaveitsen epäsuorasta asettumisesta pakettiin nähden. Vaihtoehtoisesti ladontaveitsessä voisi olla nostolenkki helpottamaan irrotusta ja kiinnitystä.

- **Apuvälineet ohjaustikuille:** Apuvälineellä saavutettaisiin huomattavaa hyötyä ohjaustikkujen paikallaan pitämisessä ladonnan alkuvaiheessa. Apuväline voisi toimia esimerkiksi magneetilla ja sisältää uran ohjaustikkua varten. Yksinkertainen helppokäyttöinen apuväline laskisi kynnystä ohjaustikkujen käyttöön heti alusta, jonka tuloksena saataisiin helpommin tangotettavia paketteja. Ohjaustikkujen yleisimmin käytettäviä kokoja voisi olla saatavilla enemmän.

4.6.3 Ladonta

- **Puristusrenkaiden mittojen muutos:** Mikäli ratkaisu todetaan mahdolliseksi, kutistusliitoksen lisääminen sormilevyihin voisi poistaa tarpeen lukitushitsaukselle. Yhdistettynä lukitustikkujen vaihtoehtoiseen kiinnitykseen ei pakettia tarvitsisi nostaa ollenkaan teräspukkien päälle ja valmistus saataisiin lähemmäksi tarkemmin optimoitujen roottoreiden valmistusta.

Puristusrenkaiden kuperuuden välttämättömyyden kyseenalaistaminen, levyjä ei nykyisellään pystytä puristamaan suoraksi kiinni pakettiin ja kutistusliitoksen jälkeen välissä on havaittava rako. Reunoilta vahvemmillä puristusrenkailla voisi myös olla positiivisia vaikutuksia.

- **Ladontaa avustavat työkalut:** Suurimpien halkaisijoiden roottoreiden ladonnassa voitaisiin hyötyä esimerkiksi nosturilla käytettävästä tarttujasta. Onnistuneen apuvälineen myötä sähköteräslevyt saataisiin laskettua enemmän suorassa ja ladonta ei tarvitsisi kahta työntekijää.
- **Ilmasolien profiilin ja merkintätavan muutos:** Ilmasolat voisivat olla vielä pienempiä sähköteräkseen verrattuna. Ilmasolan asema joudutaan ladonnassa tarkastamaan joka tapauksessa. Suurempi ero ilmasolan ja sähköteräksen välillä poistaisi mahdollisuuden tangon osumisesta ilmasolaan tangotuksessa.

Ilmasolien merkinnät tulisi olla selvästi havaittavissa ja aina samassa paikassa. Sähköteräslevyt eivät tarvitse merkintöjä ollenkaan. Ilmasolan merkintä luki-

tustikkujen uran mukaan on riittävä. Merkintä on myös vaikeampi havaita ulkoreunasta. Usein käytetty kirjain keskellä ilmasolaa olisi hyvä vakioitu merkintätapa.

4.6.4 Puristus

- **Vanhan puolen puristimen päivitys:** Vanhan puolen puristimen vaunun liikumisen varmistaminen suuren kuorman alla helpottaisi valmistusta. Tulevaisuudessa puristimen uusinnan yhteydessä tulee ottaa huomioon käytön soveltuvuus painaville roottoreille ja vaunun siirtyminen riittävän kauas puristimen alta. Ylimääräinen nosto ennen paketin nostamista tuurnalta voitaisiin myös välttää.

4.6.5 Tangotus

- **Roottoritangot:** Varmistamalla roottoritankojen olevan toleranssissa ja mahdollisesti muuttamalla niitä saavutettaisiin tangotukseen kuluvan ajan vaihtelun väheneminen. Lisäksi tangotuksessa tarvittavan voimankäytön seurauksilta vältyttäisiin.

4.6.6 Tankojen lukitseminen

- **Uuden puolen tuukkauskoneen toiminnan selvitys:** Uuden puolen tuukkauskoneen suunnitellun toiminnan varmistaminen tehostaisi tuukkausta merkittävästi. Kyseessä on haastava ongelma, koska syitä tuukkauskoneen virheelliseen toimintaan on jo yritetty selvittää tuloksettomasti. Tuukkauskoneen toiminta on kuitenkin merkittävin parannusta vaativa kohde AMI800-1000 omalla valmistuslinjalla ja sen optimaalisen toiminnan saavuttamiseksi tulisi suunnata riittävästi aikaa ja resursseja.

4.6.7 Sorvaus

- **Jäysteen tarkempi poistaminen sorvauksen jälkeen:** Poistamalla jäyste tangonpäistä kokonaan veitsellä tai hiomakoneella juotosaine pääsisi paremmin nousemaan tangonpäille vähentäen epätäydellisen juottumisen mahdollisuutta.

4.6.8 Kovajuotos

- **Näköyhteys ylätasolta keventimelle:** Mahdollistamalla näköyhteyden ylätasolta keventimelle roottorin asemointi induktiokelan päälle helpottuisi. Yksi työntekijä pystyisi tekemään vaiheen tehokkaasti ilman portaissa kulkemista.
- **Pyrometrin hankinta:** Pyrometrin hankinta ja kiinteä asennus mahdollistaisi mitta-alueen kohdistamisen lähemmäksi oikosulkurenkään uraa. Menetelmä olisi nykyistä nopeampi ja tarkempi. Lisäksi juotoksessa käytettävät lämpötilat pystyttäisiin tallentamaan.
- **Keventimen kalibrointi:** Keventimen ilmoittaessa tarkempia arvoja sen käyttäminen yksinkertaistuisi ja käyttäjävirheen mahdollisuus laskisi.
- **Induktiokelojen painorajojen selvittäminen:** Selvittämällä induktiokelojen painorajat saataisiin selville keventimen käytössä vaadittu tarkkuus. Roottorin kohdistaminen oikosulkurenkäälle yksinkertaistuisi, mikäli induktiokelan todettaisiin kestävän roottorin koko painon.

4.7 Valvontavaihe

Tutkimuksen tarkoituksena oli kuvata prosessin nykytila ja etsiä siitä kehityskohteita. Mahdollinen kehitysehdotuksien toteuttaminen päätettiin jättää suoritettaviksi tutkimuksen ulkopuolisina kehitysprojekteina. Tästä syystä tutkimuksessa ei päästy seuraamaan kehitysehdotuksien toteuttamista ja niiden vaikutuksia.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

5.1 Tulosten arviointi

Tutkimuksessa selvitettiin roottorin valmistusprosessia ja etsittiin siitä läpimenoaikaa lyhentäviä kehityskohteita. Tutkimuksessa käsiteltiin kaikkia tehtaalla suoritettavia roottorin valmistuksen vaiheita. Tuotteiden suunniteltu läpimenoaika oli pitkä ja valmistettavat kappalemäärät muiden sarjojen roottoreita pienemmät. Tästä syystä valmistuksen mittareina käytettiin työntekijöiden kokemuksia. Alkuvaiheissa todettiin selvästi eniten eroavaisuuksia ja näin ollen sinne kohdistuvat merkittävimmät kehitysehdotukset. Tulosten objektiivisuuteen on voinut vaikuttaa tutkimuksen tekijän aikaisemmat sekä tutkimuksen aikaiset työtehtävät, jotka keskittyivät valmistuksen alkuvaiheisiin. Tämä myös vaikutti tutkimuskohteen valikoitumiseen. Toisaalta on myös perusteltua ja tarkoituksenmukaista, että tutkijan työkokemus ja intressit vaikuttivat tutkimuskohteen valintaan. Valmistuksen ensimmäisten työvaiheiden dokumentointi perustui pääasiallisesti tutkimuksen tekijän oman tekemisen pohjalta tehtyihin havaintoihin. Havaintojen oikeellisuudesta on kuitenkin keskusteltu myös muiden vaiheita tuntevien henkilöiden kanssa, jotka osaltaan vahvistivat havaintojen merkityksen. Aiheesta täysin samanlaisten tulosten saaminen ja tulosten yhtäläinen priorisointi eri tutkijan toimesta on kuitenkin epätodennäköistä.

Tutkimuksen alaisen roottorityypin valmistus siirtyi Helsinkiin tehtaasta, jossa ei ollut vastaavanlaista pitkää historiaa muiden roottoreiden valmistuksesta. Tästä syystä kehitysehdotuksilla pyrittiin muokkaamaan GAMI:en valmistusta mahdollisimman samanlaiseksi muiden roottoreiden kanssa. Tämä oli myös perusteltua, koska rakenteet olivat pitkälti samanlaisia ja merkittävin erottava tekijä oli suurempi koko.

Roottoreiden nopeampi valmistaminen vanhalla puolella todisti valmistuksen samankaltaistuksen tuottavan haluttuja tuloksia. Vanhalla puolella valmistuksen perusteella voidaan myös todeta, etteivät GAMI:t vaadi valmistamiseen eriäviä työkaluja ja suurimmatkin AMI800-1000 tyyppin roottorit pystyttäisiin valmistamaan samoilla työkaluilla kuin pienemmätkin roottorit. Työkalujen tulisi vain olla suuremmat.

5.2 Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys

Opinnäytetyön suorittamisesta tehtiin yrityksen kanssa opinnäytetyösopimus. Opinnäytetyönä tehdyn tutkimuksen sisällössä huomioitiin sopimuksen mukaiset salassapitovelvollisuudet. Yrityksen luovuttamaa materiaalia käytettiin ainoastaan tutkimuksen edellyttämiin tarkoituksiin. Materiaalia ei myöskään jaettu kolmansille osapuolille. Tietoturvan varmistamiseksi osa materiaalista oli tutkijan käytössä pelkästään tulostettuna kopiona, joiden säilyttämisestä huolehdittiin tarkasti.

Valokuvaaminen yrityksen tuotantotiloissa on kiellettyä mutta sallittiin tutkimuksen tarkoituksiin. Yrityksen tiloista otettiin ainoastaan tutkimukseen liittyviä valokuvia, jotka myös tarkistettiin ennen julkaisua. Valokuvia tietyistä tuotannon vaiheista päädyttiin myös poistamaan tutkimuksesta mahdollisten liikesalaisuuksien säilymisen varmistamiseksi.

Haastatelluille kerrottiin, että saatua haastattelumateriaalia käytetään ainoastaan tutkimuksessa. Haastattelujen pohjalta kirjattu materiaali käytiin myös haastateltujen kanssa läpi. Materiaalin läpikäymisessä haastateltavat varmistivat tutkijan kirjanneen asiayhteydet oikein. Haastateltujen anonymiteetti säilytettiin eikä tutkimuksesta ole tunnistettavissa yksittäisiä henkilöitä tai heidän mielipiteitään. Anonymiteetin säilyminen varmistettiin myös tutkimuksessa käytettyjen valokuvien osalta. Haastattelujen käyttäminen havainnoinnin tukena turvasi tutkijan objektiivisuutta ja lisäsi tutkimuksen luotettavuutta.

5.3 Toteutuksen arviointi

Tutkimuksessa käytetty toteutustapa oli toimiva ja tuloksena löydettiin useita tapoja roottorin valmistuksen kehittämiseksi. Tutkimuskysymys oli todella laaja ja mahdollisesti lähes loputtomat vastausvaihtoehdot. DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmän soveltaminen oli toimiva lähestymistapa. Menetelmän tehokkaampaa hyödyntämistä olisi voitu tukea määrittelemällä mitattavat kohteet tarkemmin. Tutkimuksen tekemistä olisi helpottanut mitattavien kohteiden tarkempi määrittely. Kaikkien valmistuk-

sen työvaiheiden sisällyttäminen tutkimukseen laajensi mahdollisten kehitysehdotusten määrää. Valmistuksen samankaltaisuuden takia osa löytyneistä kehitysehdotuksista koski myös kaikkia muita valmistettavia roottoreita.

Materiaalin keräämiseen käytetyt menetelmät haastattelu ja havainnointi olivat toteutuksen kannalta toimivia. Tutkimuksen tekijän aikaisempi työskentely tutkittavien kohteiden parissa lisäsi selvästi lähtötason ymmärrystä valmistusprosessista. Aiheen tarkastelu useammasta näkökulmasta auttoi keskittymään olennaiseen realiteetteja hukkaamatta.

5.4 Jatkotutkimusaiheet

Mahdollisia jatkotutkimusaiheita havaittiin tutkimuksen yhteydessä paljon. Myös osa tässä tutkimuksessa ilmenneistä kehitysehdotuksista vaatii lisätutkimusta ennen toteuttamista. Lisätutkimusta vaativia kohteita olisivat:

1. Puristusrenkaan lämmityksen jälkeiset muutokset
2. Tuukkauskoneen toiminta
3. Jälkipuristuksen vaikutukset valmiiseen roottoriin
4. Ladonnan avustaminen nostimella
5. Induktiokelan painorajat
6. Lukitushitsauksen korvaaminen kutistusliitoksella

Mielenkiintoinen tutkimuskohde olisi myös kustannusarvio vanhan puolen mukauttamisesta siten, että kaikki roottorit kykenisivät läpäisemään valmistuslinjaston. Menetelmällä olisi selviä hyötyjä mutta toteuttaminen olisi hankalaa ja kallista. Tulevaisuuden tuotantomäärien tulisi kasvaa merkittävästi ja tutkimuksessa voitaisiin ottaa kantaa siihen, kuinka suurella tuotantomäärällä mittava kehitysprojekti maksaisi itsensä takaisin riittävän lyhyessä ajassa.

5.5 Yhteenveto

Tutkimuksen tarkoituksena oli kuvata ABB Oy:n AMI800-1000 roottorityypin valmistuksen nykytila ja etsiä siitä omina projekteinaan toteutettavia kehityskohteita. Roottorityyppiä valmistettiin aikaisemmin Ruotsissa, josta se siirtyi yrityksen sisällä strategisella päätöksellä Helsinkiin. Tutkimukselle oli tarvetta, koska aiheesta ei ole tehty vastaavaa aikaisemmin. Tutkimuksessa sovellettiin Lean Six Sigman DMAIC-mallia.

Tämän opinnäytetyön tekeminen oli hieno tilaisuus oppia lisää Lean Six Sigmasta ja sen työkaluista. Työkalujen hyödyntäminen oikeassa projektissa vahvisti edellytyksiä niiden käyttämiseen tulevaisuudessa. Tutkimuksen edetessä kirjoittaja koki kehittyneensä tutkimuksen tekemisessä merkittävästi. Tiedon kerääminen havainnoimalla opetti keskittymään olennaiseen, koska havainnoinnin kohde oli hyvin laaja. Opittavaa jäi kuitenkin vielä paljon. Tutkimuksen tekijälle muodostui myös kattavampi kokonaiskuva roottorin valmistuksesta ja työvaiheiden vaikutuksista toisiinsa.

Tutkimuksessa havaittiin, että mikäli roottorin mitat ovat tietyissä rajoissa, voidaan se valmistaa vanhalla tuotantolinjalla tehokkaasti. Tästä syystä kehitysehdotuksilla pyrittiin tekemään roottorin valmistuksesta mahdollisimman samankaltaista muiden sarjojen roottoreiden kanssa. Menettely mahdollisti aikaisemmin optimoidun tuotantolinjan hyödyntämisen.

Tärkeimmät esitetyt kehityskohteet olivat roottoreille erityisten työvaiheiden läpimeinoajan vähentäminen tai poistaminen. Näitä työvaiheita olivat askelin lukitustikkujen kiinnittäminen, roottoripaketin hionta ja lukitushitsaus. Tutkimuksessa esitettiin vaiheille vaihtoehtoisia menetelmiä, jotka toteutettuna muokkaavat roottorin valmistuksen lähemmäksi pienempiä roottoreita.

AMI800-1000 tyyppin oma valmistuslinjasto oli toimiva kokonaisuus, jota oli kuitenkin vielä mahdollista optimoida paremmaksi. Tärkein kehityskohde linjastolla oli uuden puolen tuukkauskoneen toiminta. Lisäksi riittäväällä lattiatilalla havaittiin olevan positiivisia vaikutuksia lähes kaikkiin työvaiheisiin.

Tutkimus tarjoaa yritykselle mahdollisuuden tarkastella kootusti toteutunutta roottorin valmistusprosessia ja siinä ilmenneitä kehityskohteita. Tätä tutkimusta voidaan käyttää tulevien kehitysprojektien suunnittelussa. Tutkimus on hyödyllinen, koska samasta aiheesta ei ole tehty vastaavaa aiemmin.

LÄHTEET

ABB:n www-sivut. Viitattu 07.02.2024. <https://global.abb/group/en>

Arterin www-sivut. Viitattu 22.01.2024. <https://www.arter.fi>

Baker, D. 2007. Strategic Change Management in Public Sector Organisations. San Diego: Elsevier Science & Technology. Saatavissa: ProQuest Ebook Central. Viitattu 7.2.2024

Breyfogle, F. W., Cupello, J. M. & Meadows, B. 2001. Managing Six Sigma, A Practical Guide To Understanding, Assessing, and implementing the Strategy That Yields Bottom-Line Success. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Cudney, EA. 2009. Using Hoshin Kanri to Improve the Value Stream. Oxford: Productivity Press. Saatavissa: ProQuest Ebook Central. Viitattu 21.2.2024.

Do, Doanh. 'What is Muda, Mura and Muri?'. The lean way blog. 5.8.2017 Viitattu 26.2.2024. <https://theleanway.net/muda-mura-muri>

Fujimoto, T. 1999. The Evolution of a Manufacturing System at Toyota. Cary: Oxford University Press, Incorporated. Saatavissa: ProQuest Ebook Central. Viitattu 21.2.2024

Karjalainen, E. 2011. Kolmannen generaation Six Sigma 3.0. Six Sigma:n www-sivut. Viitattu 5.3.2024. <https://sixsigma.fi/>

Karjalainen, T. & Karjalainen, E. 2002. Six Sigma uuden sukupolven johtamis- ja laatu- menetelmä. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Luomi, J., Niiranen, J., Niemenmaa, A. 2004. Sähkömekaniikka ja Sähkökäytöt Osa 1, Opintojakson S-17.102 luentomoniste. Espoo: Teknillisen korkeakoulun Te-hoelektroniikan laboratorion ja Sähkömekaniikan laboratorion luentomonisteita.

Niiranen, J, 1999. Sähkömoottorikäytön Digitaalinen Ohjaus. Helsinki: Oy Yliopistokustannus/Otatieto.

Pickard, A, J. 2013, Research Methods in Information. London: Facet Publishing. Saatavissa: ProQuest Ebook Central. Viitattu 16.5.2024

Piirainen, A. 2014. Lean ja Hukka – Muda, Mura ja Muri. Quality Knowhow Karjalainen www-sivut. Viitattu 22.2.2024. <https://qkk.fi>

Piirainen, A. 2023. Lean Six Sigma.Six Sigman-www sivut. <https://sixsigma.fi/>

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka A. 2006. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto [verkkajulkaisu]. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. Viitattu 25.04.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>

Satakunnan ammattikorkeakoulun www-sivut. Viitattu 22.01.2024.
<https://www.samk.fi>

Shankar, R. 2009. Process improvement using Six Sigma: a DMAIC guide. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.

Six Sigma. (2024). Leanin historia. Viitattu 26.2.2024. <https://sixsigma.fi/leanin-historia/>

Six Sigma. (2024). Yleistä Lean Six Sigmasta. Viitattu 7.3.2024.
<https://sixsigma.fi/leansixsigmasta/>

Six Sigma. 2024. Quality Knowhow Karjalainen Oy:n www-sivut. Viitattu 26.2.2024. <https://sixsigma.fi>

Strong, H. & Strong, H. 2014. Marketing and Management Models: A Guide to Understanding and Using Business Models. New York: Business Expert Press. Saatavissa: ProQuest Ebook Central. Viitattu 7.2.2024.

Taghizadegan, S. & Taghizadegan, S. 2006. Essentials of Lean Six Sigma. Oxford: Elsevier Science & Technology. Saatavissa: ProQuest Ebook Central. Viitattu 28.2.2024.

Yhdysvaltain ympäristösuojeluviraston www-sivut. Viitattu 17.5.2024.
<https://epa.gov>

Vuorinen, T. 2013. Strategiakirja: 20 työkalua. Helsinki: Talentum. Viitattu 7.2.2024. <https://samk.finna.fi/Record/samk.991183796605968?sid=4156550045>

Väisänen, J. 2013. Viiden ässän kehitystyökalu. Quality Knowhow Karjalainen www-sivut. Viitattu 7.2.2024. <https://qkk.fi>

Watson, G. H. 2004. Six Sigma for Business Leaders: A Guide to Implementation. Salem: Goal/QPC.

Were, E. 2018. World Class or Average. What is your sigma level? Viitattu 7.2.2024. Sortagile:n www-sivut. <https://sortagile.com/>