



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jesse Helin

M3BP-JARRUMOOTTOREIDEN N-PÄÄN LAAKERIKILVEN KEHITYS

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jesse Helin
Opinnäytetyön nimi	M3BP-jarrumoottoreiden N-pään laakerikilven kehitys
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	45 + 8 liitettä
Ohjaaja	Jani Leppämäki

Tämä työ on tehty ABB Motors Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella uusi N-pään laakerikilpi ABB:n valmistamiin M3BP-sarjan jarrumoottoreihin. Nykyinen laakerikilpi koostuu kahdesta eri osasta: valurautaisesta laakerikilvestä ja koneistetusta jarrun adapterilaipasta. Uuden ratkaisun tulisi yhdistää nämä kaksi osaa sen ollessa samalla myös monipuolisempi ja kustannustehokkaampi ratkaisu.

Työn teoriaosuudessa on käyty läpi sähkö- ja jarrumoottorin rakenne sekä toimintaperiaate. Näiden lisäksi teoriaosuus sisältää myös tietoa suunnitteluprosessista, valukappaleiden suunnittelusta sekä modulaarisuuden ja kustannustehokkuuden vaikutuksista näihin prosesseihin. Tietolähteenä teoriaosuudessa on käytetty tarkasti valittuja sähkömoottorikatalogeja, aiheeseen liittyviä verkkojulkaisuja sekä raportteja.

Työn aikana luotu 3D-malli laakerikilven valusta on mallinnettu ABB Motorsin käytämällä CAD-ohjelmistolla käyttäen apuna PLM-järjestelmää.

Opinnäytetyölle annetut tavoitteet ja ehdot täyttyivät, sillä työn aikana saatiin suunniteltua toimiva, monipuolinen ja kustannustehokas ratkaisu uudelle laakerikilvälle. Työn aikana tuotetulle laakerikilven valumallille tullaan suunnittelemaan koneistukset ABB Motorsin tuotekehitysosaston toimesta.

ABSTRACT

Author	Jesse Helin
Title	Development of the N-end Shield for M3BP-Brakemotor
Year	2021
Language	Finnish
Pages	45 + 8 Appendices
Name of Supervisor	Jani Leppämäki

This thesis was made for ABB Motors Oy. The purpose of this thesis was to design a new N-end shield for M3BP-series brake motors manufactured by ABB. The current N-end shield contains two separate parts: cast iron end shield and machined brake adapter flange. The new solution should integrate these two parts, while time being more a cost-efficient and versatile solution.

The theoretical part of thesis describes the structure and operating principle of the electric motor and brake motor. In addition to these the theoretical part also contains knowledge about design process, designing of cast-products and effects of cost-efficiency and modular design to these processes. The used sources were carefully selected electric motor catalogs, online publications, and reports.

The 3D-model of end shields cast created during the thesis was modelled with CAD-software used by ABB Motors using the PLM-system.

The aims and requirements given for this thesis were achieved, as during the thesis a versatile, cost-efficient, working solution was designed for the new N-end shield. The R&D department of ABB Motors will design needed machining for the 3D-model of end shield cast created during the thesis

Keywords electric motor, designing, modular design and cost-efficiency

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
1.1	Työn taustat ja rajaukset	9
1.2	ABB	10
1.2.1	ABB suomessa	10
1.2.2	ABB Oy, Motors and Generators Vaasa	11
1.3	Oikosulkumoottori	11
1.3.1	Yleisesti.....	11
1.3.2	Rakenne.....	11
1.3.3	Ryhmittely.....	12
1.3.4	M3BP-moottorit	13
1.4	M3BP-jarrumoottoreiden käyttötarkoitus ja toiminta.....	13
1.4.1	Nykyinen rakenne	14
1.5	Jarrut	15
1.5.1	Pintsch Bubenzer – KFB & SFB.....	16
1.5.2	Precima – FDW & FDX.....	18
1.5.3	Stromag – NFF	20
2	SUUNNITELUPROSESSI.....	21
2.1	Suunnittelun eri vaiheet	21
2.1.1	Kysy	22
2.1.2	Tutki	22
2.1.3	Kuvittele.....	22
2.1.4	Suunnittele	22
2.1.5	Luo	23
2.1.6	Testaa	23
2.1.7	Kehitä	23
2.2	Valukappaleiden suunnitteluprosessi.....	23
2.2.1	Hahmottelu	24

2.2.2	Jakotaso	24
2.2.3	Mallinnus	25
2.2.4	Toleranssit ja työvarat	25
2.2.5	Hellitykset	25
2.2.6	Pyöritykset	26
2.2.7	Analyysi	26
2.3	FEM-laskenta	26
2.4	Modulaarisuus	26
2.4.1	Modulaarisuuden vaikutus kustannustehokkuuteen	27
3	KUSTANNUSLASKENTA	28
3.1	Yksikkökustannukset	28
4	KILPAILIJAT	30
4.1	Benchmarking	30
4.2	Kilpailijoiden tarjoamat jarrumoottorit	31
4.2.1	Hoyer	31
4.2.2	Siemens	32
4.2.3	WEG	33
5	TYÖN TULOKSET	35
5.1	Suunnitteluprosessi	35
5.2	FEM-laskenta	37
5.3	Työn lopputulos	38
5.4	Kustannuslaskenta	38
5.5	Modulaarisuus	40
6	YHTEENVETO	41
6.1	Tavoitteiden saavuttaminen	41
6.2	Kehitysideat ja jatkotoimenpiteet	42
	LÄHTEET	44
	LIITTEET	47

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Oikosulkumoottorin perusrakenne. /1/	12
Kuva 2. H-mitta kertoo moottorin kokoluokan. /7/.....	12
Kuva 3. M3BP-moottorisarja. /10/	13
Kuva 4. Jarrullinen sähkömoottori laivan kansivinssin voimanlähteenä. /9/	14
Kuva 5. Jarrukokoonpanon perusrakenne. /7/	15
Kuva 6. Pintsch Bubenzer KFB-jarru. /19/	16
Kuva 7. Pintsch Bubenzer SFB-jarru. /19/	17
Kuva 8. Precima FDW-jarru. /20/	18
Kuva 9. Precima FDX-jarru. /20/	19
Kuva 10. Poikkileikkaus Stromag NFF-jarrusta. /18/	20
Kuva 11. Suunnittelu prosessin eri vaiheet kuvattuna. /12/	21
Kuva 12. Valukappaleiden suunnitteluprosessi. /17/	24
Kuva 13. Esimerkki vertailukehittämisen prosessista. /16/.....	30
Kuva 14. Hoyerin jarrumoottorin N-pään rakenne. /22/	31
Kuva 15. Siemensin valmistama Simotics DP-jarrumoottori. /23/	32
Kuva 16. Räjätys WEG:in valmistamasta jarrumoottorista. /24/	33

LIITELUETTELO

(Liitteet on poistettu julkisesta versiosta salassapito velvollisuuden vuoksi)

Liite 1 Jarrujen koneistukset mallinnettuna yksinkertaiseen laippaan.	47
Liite 2 Laakerikilven päämuodot mallinnettuna.....	47
Liite 3 Laakerikilven moottorin puolen tuet ja rasvakanavat mallinnettuna.	47
Liite 4 Valmis laakerikilven valumalli. Pyöritykset ja päästöt tehtynä.	47
Liite 5 Valmiin laakerikilven moottorin puoli.....	47
Liite 6 Laakerikilven simulaatiomallin 3D Mesh-verkko ja vaikuttavat voimat..	47
Liite 7 FEM-raportti.	47
Liite 8 Laakerikilven valumallin mittapiirustus.	47

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ABB	Asea Brown Boveri
ASEA	Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget
BBC	Brown, Boveri & Cie
M3BP	Valurautarunkoinen prosessimoottori
BP	Kipinäsuojattu moottorirakenne
N-Pää	Moottorin käyttöpään vastainen pää (Non-Drive end)
D-Pää	Moottorin käyttöpää (Drive end)
CAD	Tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto
FEM	Finite Element Method
Benchmarking	Vertailukehittäminen

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat ja rajaukset

ABB Motors and Generators valmistaa asiakkaan toiveen mukaan räätälöityjä sähkömoottoreita ja -generaattoreita erilaisiin sovelluksiin sopiviksi. Moottoreita voidaan käyttää myös erittäin vaativissa olosuhteissa /2/. Vaativiin olosuhteisiin mukaan luetaan myös marine-käyttöön valmistettavat moottorit. Marine-käyttöön valmistettavia moottoreita käytetään laivoissa tai muissa meriteollisuuden sovelluksissa. Kyseisiä moottoreita voidaan käyttää esimerkiksi laivojen vinssien voimälähteenä. Tällöin usein moottori varustetaan jarrulla. Jotta jarrun kiinnittäminen moottorin on mahdollista, täytyy moottorin N-päässä olla erikoislaakerikilpi, jossa on laippa jarrun kiinnittämistä varten. Nykyinen ratkaisu on koneistamalla valmistettu kilpi, joka on kallis valmistaa ja näin ollen on kustannustehokkuudeltaan heikko. Työn tarkoituksena on suunnitella jarrumoottoreihin uusi laakerikilpi, joka olisi valuraudasta valmistettava. Tällöin sen kustannukset laskisivat merkittävästi. Lisäksi kilven tulisi olla modulaarinen, eli yhteensopiva useiden eri jarrujen sekä jäähdytysratkaisujen kanssa. Uusi laakerikilpi suunnitellaan ainoastaan yhdelle moottorikoolle, jotta aikataulu ja työmäärä pysyisivät kohtuullisena. Kuitenkin, jos uusi ratkaisu todetaan toimivaksi, voidaan sitä hyödyntää myös muissa moottori kokoluokissa.

Työstä rajataan pois kokonaan tuotteistaminen, prototyyppien valmistus sekä tuotteen testaaminen. Aikataulun kannalta näitä ei olisi mahdollista suorittaa.

1.2 ABB

ABB konserni syntyi vuonna 1988, kun kaksi Euroopan tunnetuinta sähkötekniikan alan yritystä, ASEA ja BBC yhdistyivät. Yrityksistä ASEA oli ruotsalainen ja BBC sveitsiläinen. Yritysten yhdistyessä päätettiin, että pääkonttori pysyy Sveitsin Zurichissa, ja siellä se on ollut siitä lähtien /3/.

Nykyään ABB on maailmanlaajuinen konserni, joka työllistää yli 110 000 henkilöä yli 100 eri maassa. Yritys on jaettu neljään eri Business Areaan, jotka on jaettu eri teknologioihin keskittyvien yksiköiden mukaan /6/:

- Electrification: Distribution Solutions, Smart Buildings, Smart Power
- Process Automation: Marine and Ports, Process Industries, Measurements and Analytics, Energy Industries, Turbocharging
- Motion: Drives, Motors and Generators
- Robotics and Discrete Automation: Robotics.

1.2.1 ABB suomessa

ABB:n suomalaiset juuret ulottuvat yli 200 vuoden päähän, kun suomalainen sähkötekniikan uranuurtaja Gottfrid Strömberg perusti vuonna 1889 oman yrityksen Helsinkiin. Hänen suunnittelemansa sähkökoneet olivat aikansa huippua ja niillä hän myös niitti kansainvälistä menestystä. Yrityksen toiminta laajeni koko ajan ja 1940-luvulla Strömberg oli jo Suomen kymmenen suurimman teollisuusyrityksen joukossa, samoihin aikoihin myös Vaasan tehtaiden toiminta alkoi. /4/

Strömberg siirtyi ruotsalaisen ASEA:n omistukseen vuonna 1986, ja kahden vuoden päästä tästä ASEA:n ja BBC:n yhdistyessä muodostui ABB konserni, sekä suomeen konsernin tytäryhtiö ABB Oy /4/.

Tänä päivänä ABB toimii Suomessa 20 eri paikkakunnalla. Tehdasalueet sijaitsevat Haminassa, Helsingissä, Porvoossa ja Vaasassa. Yritys on yksi Suomen suurimmista teollisista työnantajista, ja työllistää Suomessa noin 5 300 henkilöä. /5/

1.2.2 ABB Oy, Motors and Generators Vaasa

Suomessa on kaksi Motors and Generators -yksikköä, näistä toinen sijaitsee Vaasassa ja toinen Helsingissä. Molemmat kuuluvat ABB:n Motion-Business Areaan. Helsingin yksikkö vastaa korkeajännitemoottoreiden, dieselgeneraattorien ja kestopagneettimoottorien kehittämisestä, sekä valmistamisesta, kun taas Vaasan yksikkö vastaa pienjännitemoottorien tuotekehityksestä, sekä valmistuksesta. Yhteensä yksiköt työllistävät noin 1 500 henkilöä, Vaasassa 600 ja Helsingissä 900.
/8/

1.3 Oikosulkumoottori

1.3.1 Yleisesti

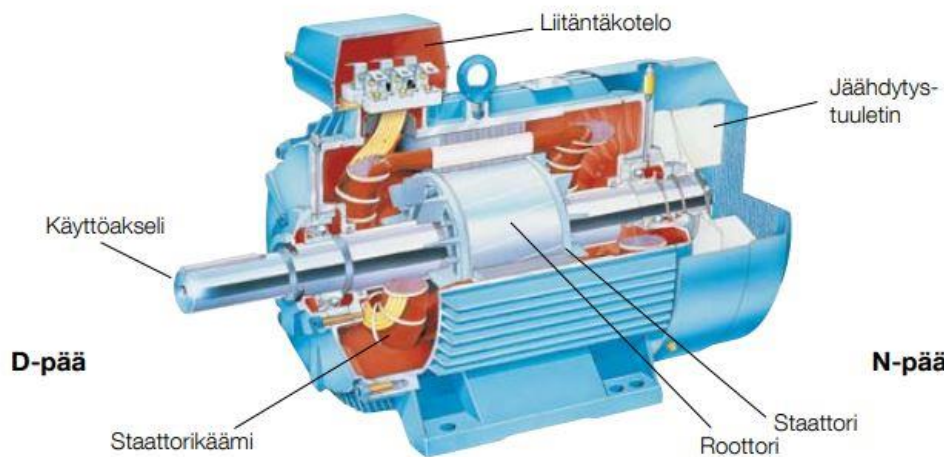
Sähkömoottoriksi voidaan kutsua moottoria, joka muuttaa sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi. Tietyissä tapauksissa se voi toimia myös päinvastoin, eli muuttaa mekaanista energiaa sähköenergiaksi. Tällöin sitä kutsutaan generaattoriksi.

Sähkömoottorien perustoimintaperiaate perustuu siihen, kun luodaan käämien väliseen magneitoituvaan metalliin sähköä avulla magneettikenttä, jonka napaisuutta vaihdellaan sopivalla taajuudella. Tämä saa moottorin pyörimisliikkeen aikaiseksi.

Yleisesti ottaen sähkökoneet voidaan jakaa kahteen eri luokkaan: vaihtosähkö- ja tasavirta koneisiin. Vaihtosähkökoneet voidaan jakaa tämän lisäksi myös kahteen eri alaluokkaan: tahti- ja epätahtikoneisiin. Tässä työssä tarkasteltava oikosulkumoottori lukeutuu epätahtikoneisiin, ja se on yksi yleisimmistä käytetyistä moottorirakenteista.

1.3.2 Rakenne

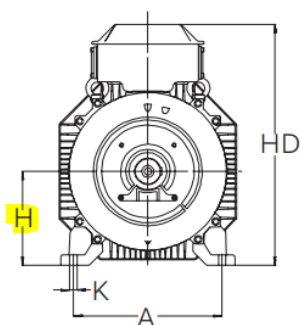
Oikosulkumoottorit ovat mekaaniselta rakenteeltaan melko yksinkertaisia. Tämä on yksi syy siihen, miksi tämä moottorityyppi on varsin suosittu muihin nähden. Moottorin huollon tarve on myös melko vähäinen. Moottorin perusrakenne sisältää staattorirungon, liitäntäkotelon, laakerikilvet molemmissa päissä, roottorin, staattorin sekä moottorin käyttöakselin.



Kuva 1. Oikosulkumoottorin perusrakenne. /1/

1.3.3 Ryhmittely

ABB ryhmittelee moottorinsa moottorin käyttöakselin (kuva 1) korkeuden mukaan. Korkeus mitataan staattorirungon jalkojen pohjasta käyttöakselin keskipisteeseen. Moottori voidaan asentaa myös laippaliitoksella D-pään laakerikilvestä, tällöin rungossa ei välttämättä ole jalkoja laisinkaan. Tässä tilanteessa moottori luokitellaan samaan kokoluokkaan, kuin samanlainen jalallinen moottori. Tällä hetkellä M3BP-moottoreita on saatavilla seuraavissa kokoluokissa: 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400 ja 450. /7/



Kuva 2. H-mitta kertoo moottorin kokoluokan. /7/

1.3.4 M3BP-moottorit

ABB on tunnettu maailmanlaajuisesti M3BP-sarjan moottoreista (kuva 3). Moottorisarja on suunniteltu prosessiteollisuuden koviin vaatimuksiin, sekä vaativiin ympäristöolosuhteisiin. Moottori on myös hyvin pitkälle kustomoitavissa asiakkaan toiveiden mukaan. Jo moottorikatalogista pelkästään löytyy yli 200 lisäoptiota hahvuttaville muutoksille. Tämän lisäksi M3BP-moottorit pystytään täysin suunnitella asiakkaan erityistoiveiden ja -tarpeiden mukaan. Moottoria on saatavilla 71–450 –runkokoolla tehon ollessa 0,09–1 000 kW. Suunnittelussa voidaan käyttää useita eri jännitevariaatiota, että se täyttää kohdemaan asettamat vaatimukset, myös hyötysuhteen kohdalla. /11/

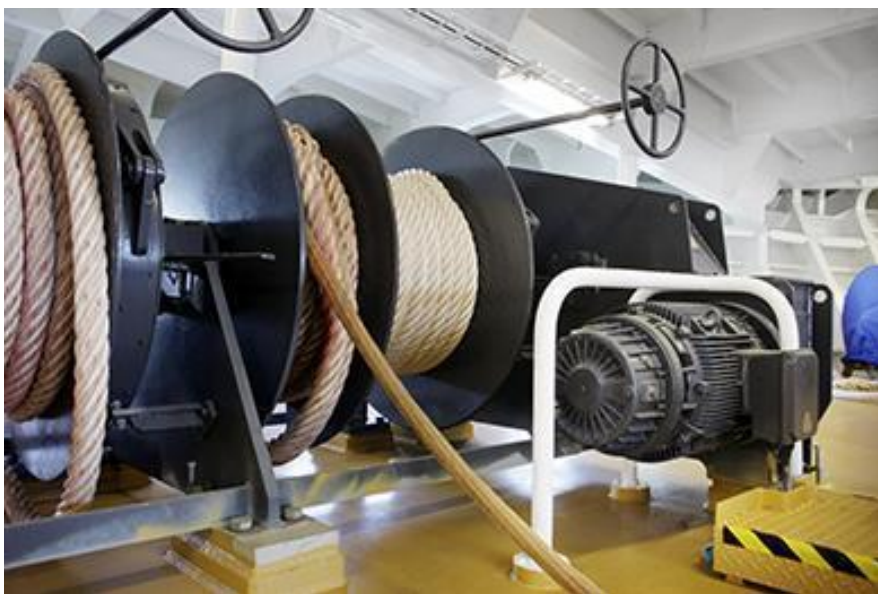


Kuva 3. M3BP-moottorisarja. /10/

1.4 M3BP-jarrumoottoreiden käyttötarkoitus ja toiminta

Jarrullisten sähkömoottoreiden suurin käyttöympäristö on satamat ja merialukset. Kyseisiä moottoreita käytetään yleensä vinsseissä sekä nostokraanoissa. Tällä hetkellä n.70 % maailman merialuksista on varustettu hydraulisella vinsijärjestelmällä, mutta sähkömoottorit ovat koko ajan yleistymässä tässä käyttötarkoituksessa, niiden omatessa tarkan ohjausjärjestelmän ja tarjotessa täyden väännön koko nopeusalueelle. /9/

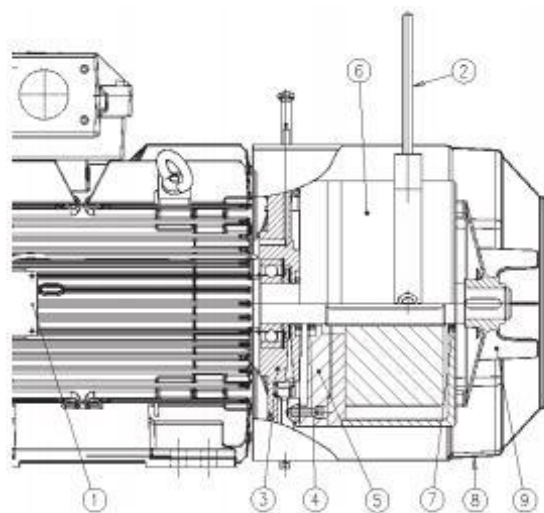
Normaali sähkömoottori on rakenteeltaan sellainen, että se pystyy tuottamaan vain liike-energiaa. Moottori pysähtyy vain, kun moottorista katkaistaan virta, eikä moottori itsestään pysty vastustamaan pyörimisliikettä. Esimerkiksi vinssaus käytössä (kts. kuva 4) moottori vaati jarrun, jotta vinssin kela ei pääse vapaana pyörimään, kun sähkömoottorin virta on kytketty pois. Yleisesti voidaan siis sanoa, että jarrujen yhtenä tehtävänä on varmistaa turvallisuutta toimintaympäristössään. Jarrut eivät kuitenkaan kykene kuitenkaan äkkinäisiin jarrutustilanteisiin. Niiden tehtävänä on vain taata se, että moottori ei pääse pyörimään vapaana.



Kuva 4. Jarrullinen sähkömoottori laivan kansivinssin voimanlähteenä. /9/

1.4.1 Nykyinen rakenne

Nykyisessä M3BP-jarrumoottorien rakenteessa moottorin N-päähän asennetaan laipallinen erikoislaakerikilpi. Tämän laakerikilven ja itse jarrun väliin kiinnitetään vielä erillinen sovituslaippa. Sovituslaippoja on erilaisia ja ne vaihtelevat jarrun mukaan. Työn tavoitteena on suunnitella kyseinen N-pään laakerikilpi, niin että rakenne ei vaatisi erillistä jarrun sovitelaippaa (kts. kuva 5, adapter flange for brake). Kilven lisäkoneistuksilla olisi mahdollista sovittaa erilaisia jarruja. Tässä tapauksessa riittäisi, kun kolme eniten käytettyä jarrumallia olisi mahdollista sovittaa suoraan laakerikilpeen, ilman välilaippoja.



- 1 Connection box, (with rectifier, optional)
- 2 Manual release (optional)
- 3 Modified N-end shield
- 4 V-ring seal
- 5 Adapter flange for brake
- 6 Brake
- 7 V-ring seal
- 8 Fan cover
- 9 Fan

Kuva 5. Jarrukokoonpanon perusrakenne. /7/

1.5 Jarrut

ABB käyttää valmistamissaan moottoreissa usean eri valmistajan jarruja. Asiakas saa päättää tilatessaan minkä valmistajan jarrun haluaa moottoriin. Jarruja on myös erikokoisia. Jarrun koko riippuu siitä, että kuinka paljon voimaa siltä vaaditaan. Kaikki työssä mukana olevat jarrut toimivat samalla toimintaperiaatteella, jarru vapautetaan sähköisesti ja jarrutus tapahtuu jousivoiman avulla. Jos virrat katkeavat jarru kytkeytyy automaattisesti päälle. Optiona jarruihin on myös saatavilla manuaalivapautusvipu, valmius takometrille ja jarrun ohjaukselle oma erilliskotelo. Manuaalivapautusvivulla jarru on mahdollista vapauttaa ilman sähkövirtaa ja takometrillä mitataan moottorin pyörimisnopeutta. Tässä työssä on mukana kolmen yleisimmin käytetyn valmistajan jarruja.

1.5.1 Pintsch Bubenzer – KFB & SFB

Pintsch Bubenzer syntyi Saksassa vuonna 2007, kun kaksi menestyntä jarruvalmistajaa, Pintsch Bamag ja Bubenzer Bremsen yhdistyivät. Bubenzer Bremsen:in juuret ulottuvat 1958-vuoteen, kun taas Pintsch Bamag:in alku voidaan jäljittää 1843 vuoteen tai vastaavasti vuoteen 1870. /19/

Nykyään Pintsch Bubenzer on keskittynyt korkealaatuisten jarrujärjestelmien suunnitteluun, tuotantoon ja huoltoon, sekä dynaamisten sovellusten kineettisten energiamäärien tarkkaan hallintaan. Pintsch Bubenzer on maailman johtava jarrujärjestelmien valmistaja satama, laivanrakennus, terästeollisuus, kaivos ja meriteollisuuden aloilla. /19/

Pintsch Bubenzer KFB-sarjan jarrut ovat sähkömagneettisia jousikuormitettuja turvajarruja. KFB-sarjan jarruja käytetään pääasiassa nostolaitteissa, satamanostureissa, koneenrakennuksessa, terästehtaissa, hiilikaivoksissa, tuulivoimajärjestelmissä sekä moottoroiduissa vaunuissa. Kaikki KFB-sarjan jarrut ovat luokiteltu IP67-suojaustasoon, eli ne ovat täysin pölytiivitä, meriveden kestäviä ja kestävät hetkellisen jopa hetkellisen upotuksen veteen. KFB-sarjasta on saatavilla yhdeksää eri kokoa ja jarrutusmomentti näillä on 50–1 600 Nm. /19/



Kuva 6. Pintsch Bubenzer KFB-jarru. /19/

Pintsch Bubenzer:in SFB-sarjan jarrut muistuttavat hyvin paljon KFB-sarjan jarruja, mutta ovat ne ovat suunniteltu vielä raskaampaan käyttöön. Ne ovat myös sähkömagneettisia jousikuormitettuja jarruja, joilla IP67-luokitus. Erona näillä jarrusarjoilla on se, että SFB-sarjan jarrut ovat kooltaan suurempia ja niiden jarrutusmomentti on säädettävissä. Lisäksi SFB-sarja on suunniteltu kestävämpään enemmän kulutusta. SFB-sarjasta on saatavilla 12 eri kokoa, joissa jarrutusmomentti on 45–10 000 Nm. Kaikista SFB-sarjan jarruista on saatavilla myös SFB-SH-versiota. SFB-SH-jarrut ovat muuten samanlaisia, kuin vastaavat SFB-jarrut, mutta jarrutusmomentti on suurempi. SFB-SH-jarruja on saatavilla 69–13 000 Nm jarrutusmomenttivälille. /19/



Kuva 7. Pintsch Bubenzer SFB-jarru. /19/

1.5.2 Precima – FDW & FDX

Vuonna 1981 perustettu saksalainen Precima on jarrujen ja kytkimien valmistukseen keskittyvä yritys. Yritys työllistää yli 200 henkilöä. Jarruja on tarjolla 0.5–1 600 Nm jarrutusmomenttivälille.

Precima FDW-jarrusarjan jarrut ovat pölyn- ja vedenpitäviä sähkömagneettisia jarruja, jotka on suunniteltu ulkoasennuksiin tai muihin vaikeisiin olosuhteisiin. Jarrua on saatavilla kymmenessä eri koossa, jarrutusmomentin ollessa 5–1 500 Nm. /20/



Kuva 8. Precima FDW-jarru. /20/

Precima FDX-jarrusarja on suunniteltu vielä vaikeimpiin olosuhteisiin, kuin FDW-jarrusarja. FDX-jarrut ovat valmistettu kovemmista ja vahvemmissa materiaaleista, sekä jarrut ovat täysin tiiviitä meriveden vaikutuksille. FDX-jarrua valmistetaan kolmessa eri koossa. Jarrutusmomentti 250–1 500 Nm. /20/



Kuva 9. Precima FDX-jarru. /20/

1.5.3 Stromag – NFF

Stromag on vuonna 1932 perustettu saksalainen yritys, joka valmistaa teollisuuskäyttöön soveltuvia jarruja, kytkimiä, akseliliitoksia sekä ylikuormakytkimiä. Stromagin valmistama NFF-jarru on yleisesti käytössä myös ABB:n jarrumoottoreissa.

Stromag NFF-jarrut ovat jousikuormitettuja sähkömagneettisia jarruja. NFF-jarrut jarruttavat ilman sähkövirtaa ja vapautuvat sähkömagneettisesti. Jarrusarja täyttää korkeimmat kestävyysvaatimukset. NFF-jarrujen ulkokuori on valmistettu meriveden kestävästä alumiinista ja tiivistetty täyttämään korkeat suojausluokitukset. Saatavilla 14:ssä eri kokoluokassa. Jarrutusmomentti 20–10 000 Nm. /18/

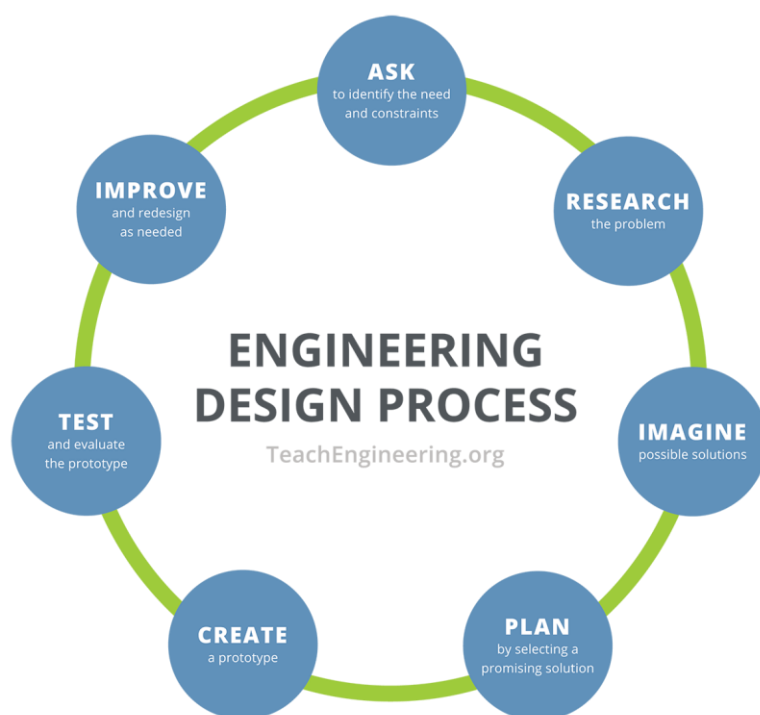


Kuva 10. Poikkileikkaus Stromag NFF-jarrusta. /18/

2 SUUNNITELUPROSESSI

Suunnitteluprosessi on iteratiivinen sarja erilaisia vaiheita, jotka ohjaavat suunnittelutiimejä ongelmanratkaisussa. Iteratiivisella tarkoitetaan sitä, että vaikka prosessi on lineaarinen, käydään vaiheita läpi usein hieman päällekkäin. Tämä mahdollistaa sen, että aikaisempiin vaiheisiin voidaan aina palata ja tehdä parannuksia niihin koko prosessin ajan oppimalla virheistä ja paljastamalla uusia suunnittelu-mahdollisuuksia. /12/

2.1 Suunnittelun eri vaiheet



Kuva 11. Suunnittelu prosessin eri vaiheet kuvattuna. /12/

Suunnitteluprosessin alussa tulisi prosessi jakaa eri vaiheisiin. Alussa tulisi tunnistaa tarve suunnittelulle sekä sen rajoituksille, minkä jälkeen prosessissa aletaan eteenpäin vaihevaiheelta eteenpäin.

2.1.1 Kysy

Ensimmäisessä vaiheessa on työn tilaajalta selvitettävä työn kuva. On varmistettava, kenelle työ tehdään, ja mikä on työn laatu ja luonne. Lisäksi prosessin alussa on hyvä rajata työn tavoitteet ja selvittää mahdolliset rajoitteet. /12/

2.1.2 Tutki

Toisessa vaiheessa suunnitteluprosessia perehdytään itse ongelmaan syvemmin. Tällöin voidaan keskustella esimerkiksi alan ammattilaisten kanssa. Näin voidaan saada tietoa siitä, että minkälaisia tuotteita, ratkaisuja tai teknologioita on olemassa. Saatuja tietoja voidaan hyödyntää omassa suunnittelun kohteessa. /12/

2.1.3 Kuvittele

Seuraava vaihe on niin sanottu ”aivoriihi”-vaihe. Tässä vaiheessa tulisi yhdessä suunnittelutiimin kanssa keksiä mahdollisia ratkaisuja ongelmaan. Ideat saavat vielä tässä vaiheessa olla hulluja ja sellaisia, joita ei välttämättä ole mahdollistakaan toteuttaa. Mitään ideaa ei tulisi tyrmätä täysin, vaan ideoita yhdistelemällä saattaa löytyä oikea ratkaisu. /12/

2.1.4 Suunnittele

Suunnitteluvaiheessa valitaan edeltävistä vaiheista lupaavimmat ideat ja päätetään, että mitä niistä lähdetään viemään eteenpäin. Tässä vaiheessa tulisi suorittaa vertailua parhaiden visioiden välillä, sekä perehtyä uudelleen suunniteltavan kohteen tavoitteisiin ja rajoitteisiin. Jos yhtä selkeästi muita parempaa ideaa ei löydy, niin voidaan tässä vaiheessa vielä valita useampikin hyvä idea ja tehdä myöhemmin päätös siitä, että mikä on oikea ratkaisu omaan kohteeseen. Valinnan jälkeen tehdään suunnitelma siitä, miten ideaa lähdetään viemään eteenpäin. /12/

2.1.5 Luo

Luomisvaiheessa aletaan käytännössä toteuttamaan siihen mennessä saatuja ideoita. Ideoista luodaan ensimmäiset mallit ja piirustukset, minkä avulla varmistetaan se, että tehty suunnittelutyö vastaa asetettuja tavoitteita, sekä rajoitteita. Suunnittelutyössä tulisi muistaa aina käyttää luovuutta, mielikuvitusta ja hyödyntää koko osaamistaan. /12/

2.1.6 Testaa

Testausvaiheessa valmistetaan ensimmäinen prototyyppi suunniteltavasta kappaleesta. Prototyyppi testataan ja tuloksia analysoimalla tulisi saada selville, että toimiiko se ja täyttääkö se kaikki tarpeet. Testauksen jälkeen voidaan saada selville mahdollisia kehityskohtia, jotka on vielä mahdollista korjata lopulliseen tuotteeseen. /12/

2.1.7 Kehitä

Kehitysvaiheessa selvitetään yhdessä suunnittelutiimin kanssa mitä parannettavaa prototyypistä löytyy. Korjataan mahdolliset kehityskohdat, luodaan revisiota ja tehdään uudet piirustukset tai mallit. Tämän jälkeen suunnittelu toistetaan, jotta lopputuotteesta saadaan paras mahdollinen. /12/

2.2 Valukappaleiden suunnitteluprosessi

Valamisella yleisesti tarkoitetaan kiinteän materiaalin sulattamista nestemäiseen olomuotoon. Nestemäinen materiaali kaadetaan muottiin, jossa materiaali jähmettyy haluttuun muotoon. Valmistusmenetelmänä valaminen on tapa, jolla pystytään kustannustehokkaasti valmistamaan monimutkaisia kappaleita. Suunnitteluprosessin alusta asti tulisi huomioida valmistusmenetelmän rajoitteet, sekä mahdollisuudet parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. /17/



Kuva 12. Valukappaleiden suunnitteluprosessi. /17/

2.2.1 Hahmottelu

Valukappaleiden suunnitteluprosessin alussa tulisi kappaletta hieman hahmotella ennen mallintamista. Hahmotelman avulla kokonaisuus saadaan pysymään paremmin kasassa koko prosessin ajan. Alussa tulisi myös valita kappaleelle sopiva materiaali, sekä valumenetelmä. Valinta tehdään vertailemalla materiaalien ominaisuuksia lopputuotteen vaatimuksiin. /17/

2.2.2 Jakotaso

Mallinnusprosessin heti alussa tulisi valutuotteelle sopiva jakotaso. Jakotaso tai -pinta on valumuottien välinen kosketuspinta. Valamisprosessin kannalta suora jakotaso on aina paras ratkaisu. Epäsuora jakotaso lisää tuotteen valmistuskustannuksia merkittävästi verrattuna tuotteeseen, jossa on suora jakotaso. Jakotason avulla

määritetään myös tuotteen valuasento, jolla tarkoitetaan valutuotteen asentoa muotissa suhteessa painovoiman suuntaan. Asennolla pystytään vaikuttamaan myös tuotteen eri osien laatuun. Tämän takia työstöä vaativat pinnat tulisi sijoittaa pystyasentoon tai työstettävä pinta alaspäin. Näin pintoihin saadaan paras mahdollinen laatu myöhempiä koneistuksia ajatellen. /17/

2.2.3 Mallinnus

Mallinnus on suorite, jossa kappaleelta vaaditut toiminnallisuudet yhdistetään toisiinsa erilaisia muotoja käyttäen. Muodot tulisi pitää mahdollisimman yksinkertaisena ja jokaisella muodolla tulisi olla tarkoitus. /17/

2.2.4 Toleranssit ja työvarat

Jo suunnitteluvaiheessa tulee huomioida toleranssit ja työvarat. Valukappaleet eroavat aina jossain määrin suunnitelluista muodoista sekä mitoista. Poikkeamat voivat johtua valettavan materiaalin kiteytymis- tai kutistumisominaisuuksista. Myös valumuotit voivat aiheuttaa poikkeamia muotoihin tai mittoihin. Suunniteltu kappale tulisi olla sellainen, että mittamuutokset toleranssiarvojen rajoissa ei vaikuta kappaleen ominaisuuksiin tai toimintaan. Mallintaessa kannattaa toleranssit sekä työvarat mallintaa omina piirteinään, jotta näitä on helppo muokata tarvittaessa ja työstetyn pinnan raja pysyy selvänä työstämättömään nähden. Yleisesti valukappaleisiin suositellaan valittavaksi väljä yleistoleranssi ja vain niille mitoille, jotka vaativat suurempaa tarkkuutta. /17/

2.2.5 Hellitykset

Hellityksillä tarkoitetaan jakopintaan nähden pystysuorassa olevien seinämien viistoamista. Hellityksiä tehdään kappaleeseen, että se saadaan irtoamaan muotista valamisen jälkeen. Jos kappaleessa ei ole hellityksiä, niin sitä ei voida valamalla valmistaa. Hellitykset ovat yleensä materiaalia lisääviä piirteitä. Tietyissä tapauksissa ne voivat kuitenkin olla myös materiaalia vähentäviä piirteitä, mutta tällöin kappale ei enää välttämättä täytä sille asetettuja mittavaatimuksia. Hellityksiä voidaan kutsua myös päästöiksi. /17/

2.2.6 Pyöritykset

Valukappaleita suunniteltaessa tulisi käyttää runsaasti pyörityksiä. Pyöritykset ehkäisevät suurten rasiusten aiheuttamia jännityshuippuja, joita saattaa ilmetä terävissä kulmissa. Tämän ansiosta myös riski halkeamiin, murtumiin ja materiaaliominaisuuksien vaihteluun pienenee käytettäessä pyörityksiä. Pyöristetyn kulman edesauttavat myös sitä, että valettu kappale jähmettyy tasaisesti valun jälkeen. Kappaleen mallintaessa pyöritykset tehdään viimeisinä piirteinä, koska ne voivat joskus aiheuttaa ongelmia. Mahdollisuuksien mukaan tulisi myös käyttää saman koluokan pyörityssäteitä. /17/

2.2.7 Analyysi

Valukappaleen suunnitteluprosessin loppupäässä tulisi mallinnettu kappale vielä analysoida ennen valu- ja koneistuspiirustusten tekoa. Analysoinnissa varmistetaan, että kappale soveltuu valettavaksi ja kaikki suunnitteluprosessin vaiheet on otettu huomioon kappaleessa. /17/

2.3 FEM-laskenta

Lujuusoppiin perustuva lujuuslaskenta tutkii kappaleiden käyttäytymistä kuormien vaikuttaessa niihin. Lujuuslaskentaa kutsutaan usein myös FEM-laskennaksi, joka tulee sanoista Finite Element Method, eli suomennettuna elementtimenetelmä. FEM-laskennan avulla voidaan tarkastella rakenteen kestävyyttä, optimoida kappaleen muotoa ja materiaalinkäyttöä ottaen huomioon siihen vaikuttavat sisäiset ja ulkoiset kuormat. /15/

2.4 Modulaarisuus

Modulaarisuudella tai modulaarisella suunnittelulla tarkoitetaan suunnitteluperiaatetta, joka jakaa osakokonaisuuden pienempiin osakokonaisuuksiin, eli moduuleihin. Moduuleja on mahdollista itsenäisesti luoda, korvata, muokata tai vaihtaa muiden moduulien kanssa tai eri järjestelmien välillä. Lisäksi modulaarisen kokoonpanon itsenäiset osat noudattavat vakioliitääntä, jotta ne sopivat helposti toisiinsa.

Modulaarista suunnittelua käytetään usein erilaisissa kuluttajatuotteissa, kuten ajoneuvoissa ja elektroniikkalaitteissa.

Hyvä esimerkki modulaarisuudesta on LEGO:n valmistamat lelut. LEGO-palikat ovat osia, jotka voidaan helposti kasata ja käyttää uudelleen erilaisten lopputuotteiden valmistamiseen. Osat myös käyttävät vakioliitääntää. Modulaarisen suunnittelun suurimmat hyödyt ovat helppo muokattavuus, kustannustehokkuus, kestävyys sekä se, että rakenne sallii asteittaiset päivitykset. Modulaarisen rakenteen ansiosta myös tuotteen toimintoja ja ominaisuuksia on mahdollista muokata vaihtamalla yksittäinen tai useampi moduuli. /13, 14/

2.4.1 Modulaarisuuden vaikutus kustannustehokkuuteen

Modulaarisella suunnittelulla on suora vaikutus lopputuotteen kustannustehokkuuteen. Modulaarisen suunnittelun käyttö pystyy vähentämään valmistajan tuotekehitys- sekä testauskustannuksia, mikä johtuu siitä, että modulaaristen komponenttien kehitysjaksot ovat yleensä lyhyempiä ja komponentteja pystytään uudelleen käyttämään tai hyödyntämään erilaisissa kohteissa. Modulaarisuus myös mahdollistaa suurille valmistajille komponenttivalmistuksen ulkoistamisen pienemmille yrityksille, mikä myös vähentää kustannuksia. /14/

3 KUSTANNUSLASKENTA

Kustannuslaskennan avulla pyritään selvittämään paljonko tuotteen valmistaminen aiheuttaa yritykselle kustannuksia. Kustannuksella tarkoitetaan sitä, paljonko yritys menettää rahaa toiminnasta tuotteiden aikaansaamiseksi. Maksut eivät kuitenkaan ole sama asia kuin kustannus. Jos esimerkiksi yrityksen valmistusprosessissa käytämä kone kuluu käytössä, ja täten menettää arvoaan, aiheuttaa se yritykselle kustannuksen, joka merkitään poistoina jollekin aikavälille. Poistolla tarkoitetaan arvovähennystä, jolla otetaan huomioon koneiden tai muun omaisuuden kuluminen ja vanhentuminen. Rahaa ei kuitenkaan tässä vaiheessa siirry, sillä koneen tai muun omaisuuden hankinta on maksettu jo aiemmin. /21/

3.1 Yksikkökustannukset

Yksittäiseen tuotteeseen kohdistuvia kustannuksia kutsutaan kyseisen tuotteen yksikkökustannuksiksi. Yksikkökustannukset voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: muuttuviin ja kiinteisiin yksikkökustannuksiin. Muuttuvilla kustannuksilla tarkoitetaan valmistuksesta aiheutuvia kuluja, kuten materiaali- ja energiakustannuksia. Valmistusyrityksillä muuttuvat kustannukset syntyvät valmistukseen käytettävistä raaka-aineista, osista, tarvikkeista ja muusta vastaavasta valmistukseen tarvittavasta materiaalista. Nämä ovat muuttuvia kustannuksia, koska kustannukset ovat suuremmat, mitä enemmän tuotteita valmistetaan. Kaikkiin näihin kustannuksiin tulee myös ostohinnan lisäksi ottaa huomioon myös muut hankinnasta aiheutuvat kulut, kuten rahdit tai muut toimituksesta aiheutuvat kulut. Materiaali- ja ainekustannuksissa tulee myös ottaa hävikki huomioon, joka voi aiheutua valmistusvirheistä, rikkoontumisista ja varkauksista. Muuttuvat kustannukset yhdelle yksikölle voidaan laskea laskemalla ensin kaikki muuttuvat kustannukset yhteen ja jakamalla tämä luku tuotantomäärällä.

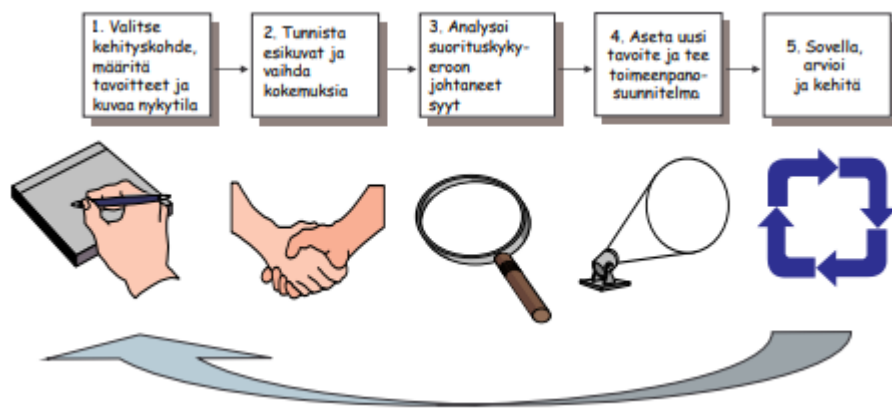
Kiinteät kustannukset ovat sellaisia kustannuksia, joiden määrä ei riipu myynnin määrästä, vaan ne syntyvät ajan kulumisen perusteella. Niiden voidaan katsoa syntyvän tuotantovalmiuden ylläpidosta. Kiinteät kustannukset pysyvät samansuuruisina, vaikka tuotanto ei olisi käynnissä laisinkaan, eli tuotannon määrän vaihtelut eivät myöskään vaikuta kiinteiden kustannusten suuruuteen laisinkaan. Kiinteitä

kuluja ovat yleensä työntekijöiden palkat, vuokrat, vakuutukset, hallinto- ja markkinointikustannukset yms. Kiinteät kustannukset pysyvät lyhyellä aikavälillä muuttumattomana, vaikka myynti ja tuotanto laskisi. Tästä syystä kiinteät kustannukset ovat yrityksille suurempi riski, kuin muuttuvat kustannukset. Yksikkökohtainen kiinteä kustannus voidaan laskea jakamalla kaikkien kiinteiden kustannusten yhteissumma tuotantomäärällä. /21/

4 KILPAILIJAT

4.1 Benchmarking

Benchmarking, eli vertailukehittäminen on menetelmä, jonka avulla verrataan omaa toimintaa vertailukumppanin vastaavaan toimintaan. Vertailukumppaniksi tulisi valita organisaatio, jonka toiminta on ollut esimerkillistä ja jonka tietojen sekä näkemyksien avulla koetaan pystyvän kehittämään omaa toimintaa. Menetelmän avulla voidaan tunnistaa omia heikkouksia, sekä saada parannuksia omaan toimintaan. Vertailukehittäminen on yleisesti yritysmaailman käytössä ja usein sitä käytetään laatujärjestelmien, sekä prosessikehittämisen työkaluna. /16/



Kuva 13. Esimerkki vertailukehittämisen prosessista. /16/

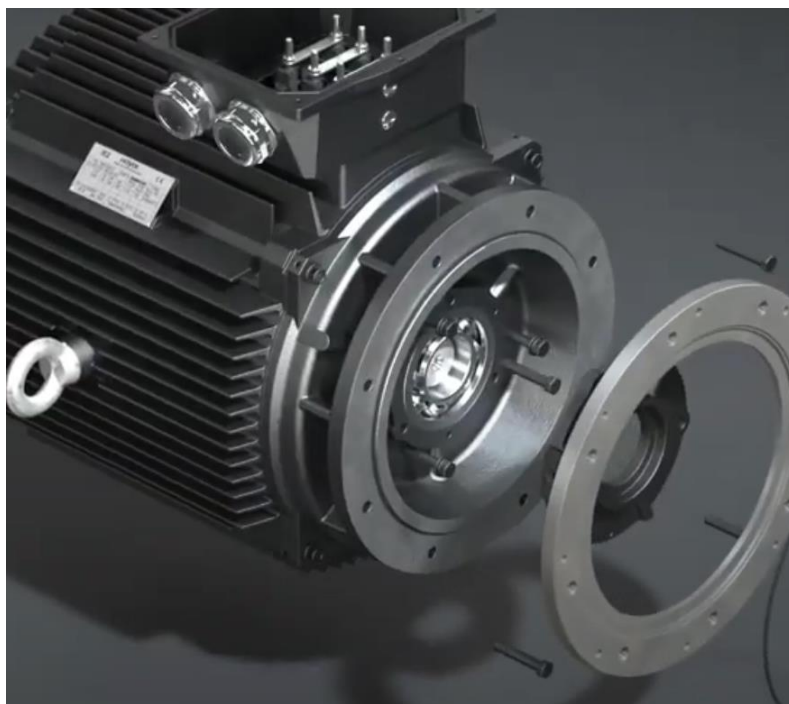
Tässä työssä tulemme soveltamaan benchmarking-menetelmää hieman eri tavalla, kuin sitä yleensä käytetään. Työn aikana tutkimme kilpailijoiden vastaavia jarrumoottoreita ja niiden N-pään laakerikilven toteutusta. Näitä muita toteutuksia analysoimalla voimme saada ideoita uuteen laakerikilpeen, sekä tunnistaa virheitä, joita vanhasta kilvestä tulisi poistaa. Käytössämme on kilpailun vuoksi vain julkisesti saatavilla oleva tieto ja kuvat.

4.2 Kilpailijoiden tarjoamat jarrumoottorit

Tässä kappaleessa tarkastellaan ABB:n kolmen suurimman kilpailijan moottorin rakennetta jarrumoottorien markkinoilla. Emme kuitenkaan tarkastele koko moottorin rakennetta, vaan keskitymme nimenomaan siihen, kuinka N-pään rakenne on toteutettu jarrua varten.

4.2.1 Hoyer

Tanskalainen Hoyer on yksi ABB Motorsin suurimmista kilpailijoista jarrumoottoreiden markkinoilla. Hoyerin jarrumoottoreiden valmistusprosessi eroaa ABB:n moottoreista paljon. Kaikki moottorit kokoonpannaan ensin vakio-osilla. Tulevat jarrumoottorit toimitetaan ensimmäisen kokoonpanon jälkeen erilliselle varustelupajalle, jossa niihin vaihdetaan N-pään laakerikilpi ja akseli jarrun kiinnittämisen mahdollistamiseksi.



Kuva 14. Hoyerin jarrumoottorin N-pään rakenne. /22/

Hoyerin valmistamissa jarrumoottoreissa N-pään rakenne sisältää laakerikilven, jarrun adapterilaipan sekä erillisen laakerikannen. Rakenteesta on onnistuttu tekemään melko kompaktin kokoinen, mikä on hyvä jarrun painon tuoman momentin

kannalta. Erillinen laakerikansi ei välttämättä ole hyvä ratkaisu, koska sen takia tulee yksi mahdollinen rasvan vuotosauma lisää. Rasva ei saa missään nimessä päästä laakerikilven ulkopuolelle, sillä kulkeutuessaan jarrun sisälle se voisi vahingoittaa jarrun toimintaa. Laakerikilven ulkoreunassa on myös paljon aukkoja tai taskuja. Tämä ei sovellu meriolosuhteissa käytettäviin jarrumootoreihin, sillä suolainen merivesi voi aukkoihin jäädessään altistaa moottorin korroosiolle. Myös Hoyerin jarrumootorin rakenne sisältää koneistetun jarrun adapterilaipan, kuten ABB:n nykyinen rakenne. Todennäköisesti myös tämä rakenne on kustannuksiltaan suuri.

4.2.2 Siemens

Siemens on suuri maailmanlaajuinen monialayritys, joka valmistaa myös sähkömoottoreita. Siemens on ABB:n suurin kilpailija koko sähkömoottoreiden markkina-alueella tunnettavuutensa ansiosta. Myös Siemens valmistaa jarrumootoreita meriteollisuuden käyttöön.



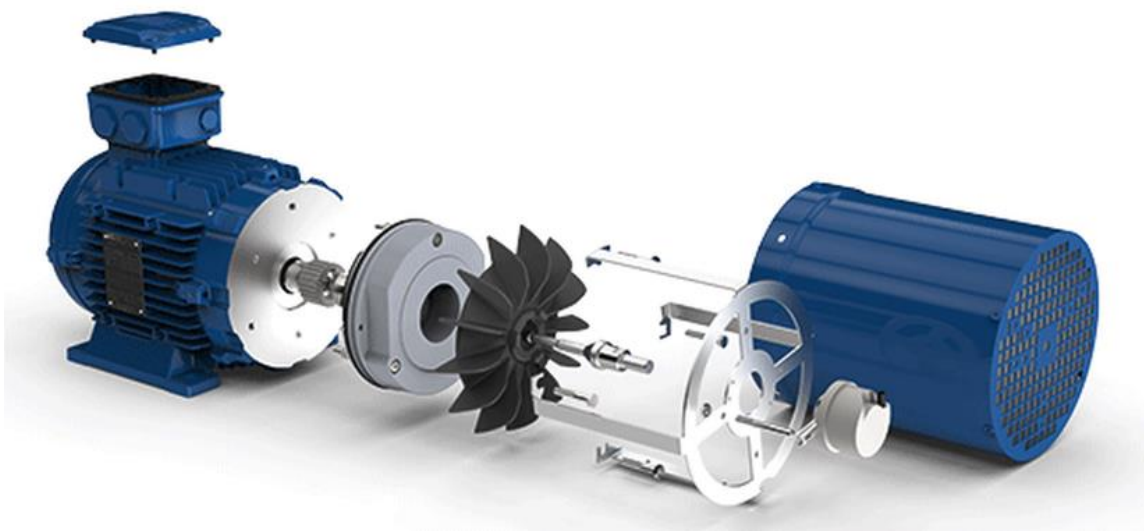
Kuva 15. Siemensin valmistama Simotics DP-jarrumootori. /23/

Siemensin jarrumootorin rakenne on kuvasta päätellen hyvin samankaltainen, kuin Hoyerin rakenne. Kuitenkin Siemensin ratkaisu on onnistuttu toteuttamaan ilman erillistä adapterilaippaa. Kuvassa näkyvä kirkas metallilaippa on mitä todennäköi-

simmin jarrun mukana tuleva asennuslaippa. Voidaan siis olettaa Siemensin ratkaisun olevan kustannuksiltaan maltillisempi. Kuvasta (kuva 15) voidaan huomata laakerikilven olevan melko pitkä, minkä johdosta moottorin painopiste siirtyy kauemmas keskipisteestä. Painopisteen ollessa kaukana moottorin keskipisteestä moottorin nosto ja asennus hankaloituu. Lisäksi se aiheuttaa vääntöä laakerikilpeen. Siemensin laakerikilvessä on myös potentiaalinen riski meriveden aiheuttamalle korroosiolle, kuten aiemmin tarkastellussa Hoyerin laakerikilvessä. Tätä emme halua ABB:n uuteen ratkaisuun, jonka tulee toimia moitteetta myös meriolosuhteissa.

4.2.3 WEG

Kolmanneksi kilpailijaksi jarrumoottoreiden saralla ABB luokittelee Brasilialaisen WEG:n.



Kuva 16. Räjätys WEG:in valmistamasta jarrumoottorista. /24/

WEG:in valmistaman jarrumoottorin rakenne on yksinkertainen, mutta samalla paras ratkaisu työssä tarkastelluista kolmesta vaihtoehdosta. Laakerikilpi ei vaadi erillistä laakerikantta tai adapterilaippaa jarrulle. Lisäksi se on kompaktin kokoinen. Suuri laippapinta-ala mahdollistaa useiden erilaisten jarrujen sovittamisen moottoriin erilaisin koneistuksin. Lisäksi kilpeen integroitu laippa mahdollistaa jarrujen

asentamisen mihin tahansa asentoon. Laakerikilpi on myös ulkopinnaltaan sileä eikä siinä ole kohtia, joihin merivesi voisi jumiutua.

Materiaalin käyttöön on kuitenkin syytä kiinnittää huomiota. Joistain kohdista olisi ehkä mahdollista hieman poistaa materiaalia, mikä tekisi laakerikilvestä kevyemmän ja entistä kustannustehokkaamman. Tämän tapaista ratkaisua lähdetään hakemaan myös ABB:n jarrumoottoreihin.

5 TYÖN TULOKSET

5.1 Suunnitteluprosessi

Varsinaiseen suunnittelutyöhön ryhdyttiin, kun työtä varten oli kerätty tarpeeksi teoriamateriaalia. Materiaali läpikäytiin ja pyrittiin sisäistämään mahdollisimman hyvin, että siihen olisi tarvittaessa hyvä tukeutua myös suunnitteluprosessin aikana.

Itse suunnitteluprosessi aloitettiin tutkimalla työssä käytettäviä jarrumalleja. Jokaisesta jarrumallista tuli ensin valita sopivat koot käytettäväksi tässä kyseisessä 180-moottorikoossa. Ensiksi jarruille tehtiin ”karkea pudotus”, eli poissuljettiin niiden jarrujen käyttö, jotka olivat selkeästi väärän kokoisia kyseiselle moottorille. Liian suuret jarrut saatiin helposti pudotettua pois vertailemalla niiden maksimihalkaisijaa laakerikilven halkaisijaan. Jarrun maksimihalkaisija ei saisi ylittää laakerikilven maksimihalkaisijaa. Tämä saattaisi haitata mahdollisen jäähdytyksen ilmavirran kulkua ja estää tuuletinsuojan käytön siten että, jarru ei enää mahtuisi sen sisään.

Kun selkeästi soveltumattomat jarrut oli suljettu pois kokohaarukasta, alettiin jarruihin tutustua vielä syvemmin. Läpikäymällä ABB Motorsilla kerättyä jarrumootoreiden tilausdataa vuosilta 2016–2020 päästiin käsiksi jo tilattujen moottoreiden rakenteisiin. Rakenteita tutkimalla pystyttiin selvittämään, mitä jarruja moottoreissa on käytetty ja minkälaisella rakenteella. Tilauksia tutkimalla huomattiin, että vanhoissa tilauksissa on ollut käytössä lähinnä KFB- tai SFB-jarruja. Tämän avulla saatiin käsitys siitä, minkä kokoluokan jarruja asiakkaat ovat halunneet tähän moottorikokoon. Tämän tiedon johdosta valittiin muilta valmistajilta vastaavan kokoluokan jarrut mukaan työssä käytettäväksi.

Jarrumallien ja -kokojen ollessa selvillä pyydettiin jarruvalmistajilta sähköpostin välityksellä mittapiirustuksia ja 3D-malleja. Kaikki valmistajat vastasivat melko nopeasti yhteydenottoihin ja lähettivät piirustukset sekä 3D-mallit kaikista pyydetystä jarruista. Lisäksi jokaiselle jarrumallille selvitettiin kiinnityspinnan materiaali- ja pinnanlaatuvaatimukset.

Jarrujen mittapiirustusten ja 3D-mallien avulla pystyttiin aloittaa uuden laakerikilven mallinnus. Aivan mallinnusprosessin alussa mallinnettiin yksinkertainen pyöreä laippa, johon tehtiin joka jarrulle sopivat koneistukset, eli pulttien reiät sekä jarrun keskitys (Liite 1). Tämän avulla pystyttiin määrittämään jarrun kiinnityspinnan koko uuteen laakerikilpeen. Ensimmäiset luonnokset koko laakerikilvestä piirrettiin käsin paperille. Luonnokseen merkittiin mittoihin määräävät tekijät, kuten laakerikilven kiinnitysreikien sijainti. Kaikissa staattorirungoissa kiinnityspulttien sijainti on vakio, joten myös suunniteltavan laakerikilven kiinnitysreikien on sovellettava niihin.

Luonnosvaiheen jälkeen aloitettiin itse kilven mallinnus. Ensimmäisenä mallinnettiin kilvelle pääpiirteet (Liite 2). Apuna käytettiin useita erilaisia jo olemassa olevia laakerikilpiä sen vuoksi, että vanhaan malliin nähden muutoksia tarvittiin lähinnä vain laakerikilven ulkopuolelle. Pääpiirteiden ollessa valmiina olisi laakerikilpeen myös helpompi hahmottaa se, kuinka kilpeen olisi järkevintä lisätä toivottuja lisäominaisuuksia.

Pääpiirteiden mallinnuksen jälkeen lähdettiin malliin lisäämään tarvittavia ominaisuuksia yksi kerrallaan. Ensimmäisenä lisättiin rasva- ja värinäanturin paikat laakerikilpeen. Kilven ulkopintaan tehtiin tasot vakiolaakerikilven paikkoihin, joihin on tarpeen vaatiessa mahdollista tehdä poraukset kyseisille nipoille. Molempien nippojen paikat tehtiin identtiseksi, että tarvittaessa niiden paikkaa voidaan vaihtaa keskenään. Laakereita rasvattaessa täytyy myös vanhan tai ylimääräisen rasvan päästä pois laakerista. Laakerikilven rasvanpoisto toteutettiin tekemällä kilven alareunaan tasopinta ja sisäpuolelle rasvakanava. Tasopinnasta voidaan porata laakereille ulottuvat kanavat, joita pitkin ylimääräinen rasva kulkeutuu ulos laakerikilvestä. Tasopinnasta oli tehtävä myös niin iso, että kanava on mahdollista tulpata tarvittaessa.

Rasvakanavien ollessa tehtynä laakerikilven sisäpuolelle mallinnettiin laakeripesän ja kilven ulkopinnan välille tukiripoja tasaisin välein. Näiden tarkoituksena oli tukea laakeripesää ja tasata laakerikilven lämpötiloja.

Mallinnusvaiheessa suurimmaksi haasteeksi osoittautui KFB- ja SFB-jarrujen kaapelointi. Kaikissa muissa jarrumalleissa jarrun kaapeli tulee jarrun ulkopinnasta ulos, jolloin se voidaan vapaasti vetää moottorin erilliskoteloon. KFB- ja SFB-jarruissa kaapeli tulee kuitenkin jarrun kiinnityslaipasta läpi, joten kaapeli pitäisi saada vedettyä säteissuunnassa laakerikilven laippaosuuden sisäpinnasta ulkopintaan, josta se voitaisiin edelleen vetää erilliskoteloon. Ongelma ratkaistiin siten että laakerikilven keskustaan tehtiin syvennys kaapelia varten ja ulkopintaan tasopinta, josta voidaan porata kanava jarrun kaapelin ulostuomista varten. Kanava ja tasopinta suunniteltiin riittävän isoksi, että kilven ulkopintaan voidaan asentaa kaapelin läpivientiholkki tiiveyden varmistamiseksi.

Koko mallinnusprosessin ajan käytiin aktiivista keskustelua kollegoiden ja työn ohjaajien kesken. Keskustelulla pyrittiin myös saamaan aikaan mahdollisimman monipuolisesti eri ominaisuuksilla ja optioilla varustettu laakerikilpi. Tässä vaiheessa suunnittelua hiottiin moneen kertaan siten, että lopputulos miellytti kaikkia osapuolia ja täytti mahdollisimman hyvin asetetut vaatimukset.

Vasta mallinnusprosessin lopussa alettiin vasta keskittymään enemmän laakerikilven valettavuuteen. Pystysuoriin seinämiin ja tasopintoihin tehtiin päästöt, eli ne laitettiin 2–3 astetta vinoon pystysuoraan nähden. Jakopinta kappaleelle oli järkevää sijoittaa laakerikilven kiinnityskorvakkeiden keskelle pystysuoraan laakerikilpeen nähden. Näin saadaan päästöt sijoitettua parhaiten ja paras pinnanlaatu saadaan kriittisille pinnoille. Päästöjen jälkeen reunoihin ja nurkkiin tehtiin eri kokoisia pyöristyksiä valukappaleen jännitysten vähentämiseksi, sekä valun tasaisen jäähtymisen edesauttamiseksi. Pyöristykset tehtiin mallinnusprosessissa viimeisenä enimpien ongelmien välttämiseksi. Kappaleen monimutkaisuuden takia joitain pyöristyksiä täytyi laittaa päällekkäin. Pyöristysten lisääminen onnistui kuitenkin, kun pyöristykset laittoi oikeassa järjestyksessä.

5.2 FEM-laskenta

Laakerikilven mallinnuksen valmistumisen jälkeen vuorossa oli sen kestävyuden varmistaminen FEM-laskennan avulla. Laskentaa varten laakerikilpeen tehtiin koneistus raskaimmalle jarrulle, eli tässä tapauksessa KFB-40-jarrulle. Tämän jälkeen

3D-mallista luotiin simulaatiomalli, jota käytettiin laskennan suorittamiseen. Simulaatiomallia pystyy muokata ilman, että se vaikuttaa alkuperäiseen 3D-malliin. Ensimmäiseksi mallista poistettiin pyöristykset ja viisteet, jotka eivät vaikuta kappaleen lujuuteen. Ylimääräiset pyöristykset poistettiin, että elementtiverkosta saataisiin siistimpi. Elementtiverkko jakaa kappaleen pinnan pisteisiin ja yhdistää pisteet toisiinsa. Verkko sisältää tiedon materiaalista ja rakenneominaisuuksista.

Laskentaa varten simulaatiomalliin asetettiin tarvittavat voimat ABB:n FEM-laskenta ohjeen mukaisesti. Laskennassa käytetyt voimat olivat laakerivoima radiaalisesti ja aksiaalisesti, jarrun momentti sekä jarrun painovoima. ABB:n ohjeen mukaan voimista tehtiin seitsemän erilaista kuormitustapausta, joissa voimat vaikuttivat eri suuntiin. Laakerikilpi läpäisi FEM-laskennan. Todisteeksi suoritettua laskennasta tehtiin FEM-raportti ABB:n omalle raporttipohjalle (Liite 7). FEM-laskennan jälkeen laakerikilven suunnitteluprosessi oli valmis.

5.3 Työn lopputulos

Työn lopputuloksena saatiin valmis 3D-malli uuden laakerikilven valulle. Valumallin valmistuttua projekti siirrettiin ABB Motorsin tuotekehitysosastolle jatkojalostettavaksi. Tuotekehitysosasto suunnittelee laakerikilvelle koneistukset ja teettää laakerikilvestä prototyyppejä, jotta sen toiminnasta voidaan varmistua ja korjata mahdolliset virheet.

Lopputuloksena saatua 3D-mallia olisi jatkossa tarkoitus käyttää apuna myös muiden moottorikokojen jarrukilven suunnitteluissa. Kun uusi laakerikilpi on todettu toimivaksi, toteutetaan sama projekti myös muille keskikokoluokan moottoreille ja mahdollisesti myöhemmin myös isommille moottoreille.

5.4 Kustannuslaskenta

Varmistuaksemme siitä, että M3BP-jarrumoottoreiden N-pään laakerikilven kehitysprojekti kannattaisi saattaa loppuun suoritettiin kustannuslaskenta. Mallinnuksen valmistuttua laakerikilvestä tehtiin mittapiirustus ABB Motorsin standardien mukaisesti. Lisäksi laakerikilvelle laskettiin massa CAD-mallinnusohjelmaa käyttäen. Ohjelma laskee kappaleen massan materiaalin ominaisuuksien perusteella.

Laakerikilven materiaalina laskennoissa käytettiin EN-GJL-200-valurautaa, sen ollessa edullista ja helposti koneistettavaa.

Laakerikilvelle laskettiin keskimääräinen vuosittainen ostomäärä käymällä läpi jarrumootoreiden tilausdataa vuosilta 2016–2020. Mittapiirustuksen ja vuosittaisen ostomäärän avulla pystyttiin arvioida laakerikilven valulle hinta. Koneistumäärän ja -hinnan arvioitiin olevan samaa luokkaa kuin laippa-asenteisen moottorin D-pään laakerikilvellä. Laippa-asenteisessa moottorissa D-pään laakerikilvessä on suurikokoinen laippa, jonka avulla moottori kiinnitetään käyttökohteeseensa.

N-pään rakenne pysyy muuttumattomana, mutta laakerikilpi vaihtuu uuteen ja jarrun välilaippa jää pois. Näin ollen kustannukset muuttuvat ainoastaan niiltä osin. Samalla N-pään muiden osien kustannukset pysyvät vakiona.

Vanhan rakenteen osille saatiin keskimääräiset ostohinnat hinnat suoraan ABB:n järjestelmistä. Summaamalla vanhan laakerikilven valun, koneistuksen ja välilaiipan kustannukset yhteen ja vertailemalla tätä summaa uuden rakenteen vastaavien kustannusten summaan pystyttiin rakenteiden kustannuksille laskea erotusprosentti, eli prosenttiluku, joka kertoo hintojen eron suuruuden. Näiden laskelmien mukaan uusi rakenne oli noin 83 % halvempi, kuin vanha rakenne. Säästö saatiin kokonaan siitä, että välilaippaa ei enää tarvita laakerikilven ja jarrun väliin.

Erotusprosentin avulla pystyttiin myös arvioida säästöjä myös erikokoisille moottoreille. Säästö tulisi luultavasti olemaan prosentuaalisesti samaa luokkaa myös muun kokoisissa moottoreissa.

Kaikkia säästöjä uudelle ratkaisulle on kuitenkin mahdotonta laskea tai arvioida, sillä uuden rakenteen toivotaan lisäävään ABB:n kilpailukykyä jarrumootoreiden markkinoilla. Uusien jarruratkaisujen tarjoamisen toivotaan hintansakin puolesta houkuttelevan uusia asiakkaita, sillä ennen valtaosassa ABB:n moottoreissa on käytetty korkeamman hintaluokan KFB- & SFB-jarruja. Myynnin lisääntyessä myös materiaali- ja koneistuskustannukset laskevat.

5.5 Modulaarisuus

Yksi työn päätavoitteista oli saada uudesta ratkaisusta mahdollisimman modulaarinen, eli laakerikilpeä voitaisiin käyttää mahdollisimman monessa erilaisessa moduulissa. Uuden laakerikilven modulaariset ominaisuudet luodaan pääasiassa tekemällä useita erilaisia koneistuksia laakerikilvelle. Koneistuksien suunnittelu rajattiin opinnäytetyöstä kokonaan pois, mutta niiden lisääminen suunniteltuun valumalliin myöhemmässä vaiheessa tuli mahdollista.

Koneistuksia ja niiden yhdistelmiä on uudelle laakerikilvelle useita erilaisia. Tässä kappaleessa on lueteltuna erilaisia ominaisuuksia, joita laakerikilpeen on mahdollista tehdä erilaisten koneistusten avulla:

- Jarrut: Uuden laakerikilven integroidun laippapinnan ansiosta laakerikilpeen on mahdollista sovittaa työssä mukana olleista jarruista 13 eri mallia. Lisäksi yhtenäisen laippapinnan ansiosta jarrut voidaan asentaa mihin tahansa asentoon.
- Rasva- ja tärinäanturinnipat: Rasva- ja tärinäanturinnipoille tehtiin paikat samoihin kohtiin, kuin vakiokilvessä. Nipponien paikkoja voidaan tarvittaessa vaihtaa keskenään tai jättää kokonaan asentamatta.
- KFB- & SFB-jarrujen kaapelien läpivienti: KFB- & SFB-jarrujen kaapelit täytyy saada tuotua laakerikilven sisäpuolelta laakerikilven ulkopintaan. Kaapeleille tehtiin läpivienti mahdollisuus kolmeen eri kohtaan 90 asteen jaolla. Läpivientiholkilla myös useita eri koko vaihtoehtoja.
- Rasvanpoisto: Normaalit rasvattavat laakerit vaativat myös rasvanpoisto kanavan. Laakerikilven alaosaan tehtiin tasopinta, josta voidaan porata rasvanpoistokanavat, joka voidaan tarvittaessa myös tulpata.

6 YHTEENVETO

6.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Meriteollisuus on enenevässä määrin siirtymässä käyttämään sähkömoottoreita voimanlähteenä hydraulijärjestelmien sijaan. Tästä johtuen myös meriteollisuuteen tarkoitetuilla sähkömoottoreilla kilpailu kovenee jatkuvasti. Meriteollisuus käyttää kaikista aloista eniten myös jarrulla varustettuja sähkömoottoreita. Yleensä asiakas myös tilaa kaikki moottorinsa samalta valmistajalta, oli ne jarrulla varustettuja tai ei. Työn päätavoitteena oli parantaa ABB Motorsin kilpailukykyä tällä markkina-alueella. Tavoite voitaisiin saavuttaa jarrumoottorien rakennetta muuttamalla halvemmaksi, monipuolisemmaksi ja järkevämmäksi.

Mielestäni työn aikana luotu valumalli uudesta jarrumoottorien N-pään laakerikilvestä täyttää kaikki uudelle ratkaisulle annetut tavoitteet, sekä hieman enemmänkin. Uusi ratkaisu on huomattavasti enemmän muokattavissa eri koneistuksin, kuin vanha. Moottoriin yhteensopivien jarrujen määrä moninkertaistui, mikä saattaa myös kasvattaa asiakaskuntaa. Suurin ongelma vanhassa ratkaisussa olivat sen kustannukset, sillä laakerikilven ja jarrun väliin vaadittiin koneistamalla valmistettu teräksinen adapterilaippa, joka on kallis valmistaa ja pintakäsitellä. Uusi laakerikilpi ei kuitenkaan välilaippaa tarvitse. Se voidaan valmistaa kokonaan valuraudasta, sekä pintakäsitellä samoin menetelmin kuin itse moottorikin. Tämän ansiosta uudesta rakenteesta saatiin arviolta 83 % halvempi, kuin vanhasta. Näissä summissa ja moottorien määrissä säästöt tulevat olemaan todella suuret, enemmän kuin työn edetessä saattoi odottaa.

Työ ei kuitenkaan missään nimessä ollut helppo, vaan työmäärä osoittautuikin jo heti alussa melko suureksi. Myös Covid-19 toi työn suorittamiseen joitain haasteita. Kaikki työ ja palaverit täytyi suorittaa etänä. Ensimmäistä kertaa näin suurta projektia suorittaneena olisi lähituki ollut enemmän kuin tarpeen useasti. Kollegoilta kuitenkin sai hyvää apua myös etävälityksen avulla. Työn suunniteltu aikataulu viivästyi edellä mainittujen syiden vuoksi. Kuitenkin uuden laakerikilven valumalli luovutettiin ABB Motorsille aikataulussaan loppukeväällä 2021. Kaikki sujui sen

suhteen hyvin, ja myös yrityksen edustajat vaikuttivat tyytyväisiltä työn lopputulokseen.

6.2 Kehitysideat ja jatkotoimenpiteet

Vaikka työ saatiin toteutettua hyvin ja valumalli valmistui, tulee kuitenkin muistaa, että tämä on vasta ensimmäinen prototyyppi uudesta laakerikilvestä. Tässä kappaleessa käydään läpi lyhyesti se, mitä mahdollisesti laakerikilvessä voitaisiin vielä kehittää tai parantaa.

Yksi kehitysideoista voisi olla materiaalmäärän tarkempi tutkiminen FEM-laskennan avulla. Kuten aiemmin mainittua uusi laakerikilpi läpäisi lujuuslaskelmat helposti, joten FEM-laskennan avulla voitaisiin tutkia, että voidaanko valumateriaalin käyttömääriä vähentää. Kuitenkin laakerikilven tulisi läpäistä lujuuslaskenta. Esimerkiksi laakerikilven sisäpuolella olevia tukirakenteita voisi mahdollisesti vähentää ja tutkia miten se vaikuttaisi FEM-laskennan tulokseen.

Vaikkakin uudesta laakerikilvestä saatiin tehtyä hyvin modulaarinen, tulisi vielä miettiä, olisiko laakerikilpeen mahdollista vielä helposti lisätä joitain ominaisuuksia, joita ei välttämättä huomioitu työn aikana. Esimerkiksi tulevaisuutta ajatellen voitaisiin tutkia muita laakeriratkaisuja, kuin vakioratkaisu. Kaikki vanhat N-pään rakenteet olivat tehty vakiolaakeriratkaisulla, mutta kuitenkin joissain erikoisasetuksissa saatetaan joskus tarvita erityyppistä tai erikokoista laakeria. Valumalliin jätettiin myös laakeripesään varaa, jolloin se pystytään tarvittaessa koneistamaan myös suuremmalle laakerille. Erilaisten laakeriratkaisujen toimivuus tulisi varmistaa myös FEM-laskennalla.

Laakerikilpeen integroitu jarrulaippa aiheutti sen, että valumalli jäi joistain kohdista hieman paksuksi. Laippa tuli jättää paksuksi, että siinä on riittävästi koneistusvaraa ja mahdollisuus tehdä reiät sekä kierteet jarrun kiinnityspulteille. Valuosissa paksuihin kohtiin saattaa muodostua huokosia, eli kohtia, joissa materiaali ei ole täysin tiivistä. Prototyyppinä valmistamalla tulisi tarkastella, että huokosia kohtia ei muodostu liikaa. Jos huokosia kohtia muodostuu liikaa, se tekee kilvestä heikomman ja

esimerkiksi kierteiden koneistus saattaa olla hankalaa. Jos huokosia muodostuu liikaa, tulisi valusta saada ohuempi.

LÄHTEET

/1/ ABB Oy, Pehmökäynnistinopas. 2011. Viitattu 14.1.2021

https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf

/2/ ABB Oy, Motors and Generators. Viitattu 14.1.2021

<https://new.abb.com/motors-generators/fi>

/3/ ABB Oy:n verkkosivut. ABB:n historia. Viitattu 14.01.2021.

<https://global.abb/group/en/about/history>

/4/ ABB Oy:n verkkosivut. ABB:n suomalaiset juuret. Viitattu 14.01.2021.

<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>

/5/ ABB Oy:n verkkosivut. ABB suomessa. Viitattu 14.01.2021

<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>

/6/ ABB Oy:n verkkosivut. ABB liiketoiminnat. Viitattu 14.01.2021.

<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat>

/7/ ABB. Low voltage process performance motors. Viitattu 14.01.2021.

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105944&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

/8/ ABB Oy:n verkkosivut. Motors and generators. Viitattu 15.01.21.

<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/motors-and-generators>

/9/ ABB. Winch control solutions. Viitattu 15.01.21.

<https://new.abb.com/drives/segments/winches/winch-control-solutions>

/10/ Sähkönumerot. Sähkömoottori. Viitattu 25.01.2021

<https://www.sahkonumerot.fi/8625434>

/11/ SLO. ABB:n valurautamoottoritarjonta. Viitattu 25.01.2021.

<https://ideat.slo.fi/abbn-valurautamoottoritarjonta-m3bp-ja-m2bax-sarjat/>

/12/ Teach engineering. Engineering design process. Viitattu 25.01.2021.

<https://www.teachengineering.org/design/designprocess>

/13/ Wikipedia. Modular design. Viitattu 01.02.2021.

https://en.wikipedia.org/wiki/Modular_design

/14/ Jigsaw academy. Modular design. Viitattu 01.02.2021.

<https://www.jigsawacademy.com/blogs/product-management/modular-design/>

/15/ Vertex. FEA-laskennan teoriaa. Viitattu 02.02.2021.

<https://kb.vertex.fi/fea2017fi/tutustu-tarkemmin-ominaisuuksiin/yleiset-aiheet/fea-laskennan-teoriaa>

/16/ Seppänen-Järvelä R. 2005. Vertaismenetelmät kehittävän arvioinnin välineinä. Viitattu 10.02.2021.

<https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/77163/vertaismenetelmat.pdf?sequence=1>

/17/ Honkavaara T. 2014. Valutuotteiden suunnitteluopas. Viitattu 11.02.2021.

https://svy.info/wp-content/uploads/2015/04/Valutuotteiden_suunnitteluopas.pdf

/18/ Stromag. Stromag:in verkkosivut. Viitattu 18.02.2021

<https://www.stromag.com/>

/19/ Pintsch Bubenzer. Products. Viitattu 24.02.2021

<https://pintschbubenz.de/products/>

/20/ Precima. Precima:n verkkosivut. Viitattu 24.02.2021.

<https://www.precima.de/en>

/21/ Yritystoiminta. Tuotot ja kustannukset. Viitattu 03.03.2021.

<http://www.tieto.osaavayrittaja.fi/tuotot-ja-kustannukset>

/22/ Youtube. Hoyer Motors – Marine brake motors. Viitattu 21.08.2021.

https://www.youtube.com/watch?v=oZVy5PtzkaY&ab_channel=HoyerMotors

/23/ Siemens. Simotics-DP. Viitattu 21.08.2021.

<https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/low-voltage-motors/simotics-dp.html>

/24/ Westin drives. World-class electric motors from WEG. Viitattu 21.08.2021

<https://www.westindrives.com/weg.html>

LIITTEET

Liite 1

(Liite on poistettu julkisesta versiosta salassapito velvollisuuden vuoksi)

Liite 2

(Liite on poistettu julkisesta versiosta salassapito velvollisuuden vuoksi)

Liite 3

(Liite on poistettu julkisesta versiosta salassapito velvollisuuden vuoksi)

Liite 4

(Liite on poistettu julkisesta versiosta salassapito velvollisuuden vuoksi)

Liite 5

(Liite on poistettu julkisesta versiosta salassapito velvollisuuden vuoksi)

Liite 6

(Liite on poistettu julkisesta versiosta salassapito velvollisuuden vuoksi)

Liite 7

(Liite on poistettu julkisesta versiosta salassapito velvollisuuden vuoksi)

Liite 8

(Liite on poistettu julkisesta versiosta salassapito velvollisuuden vuoksi)