

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

MARINEKONEIDEN KOKOONPANOJEN AIKAISET MITTAUKSET JA
TARKISTUKSET

MEASUREMENTS AND ADJUSTMENTS OF MARINE MACHINES DURING
ASSEMBLY

Lappeenrannassa 28.5.2021

Martin Perälähti

Tarkastaja TkT Sami Matthews

Ohjaaja TkT Sami Matthews

TIIVISTELMÄ

LUT-yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Martin Perälähti

Marinekoneiden kokoonpanojen aikaiset mittaukset ja tarkistukset

Kandidaatintyö

2021

27 sivua, 10 kuva ja 1 taulukko

Tarkastaja: Sami Matthews

Ohjaaja: Sami Matthews

Hakusanat: kestromagneettigeneraattori, integraatio

Tiivistelmä

Kandidaatintyön tavoitteena oli kehittää laivan kestromagneettigeneraattorin integraatiokokoonpanovaihetta. Työssä tutkittiin tapoja kohdistaa generaattorin staattori ja roottori horisontaalisessa integraatiopukissa ja varmistaa kontaktiton integraatiotapahtuma. Työssä pohdittiin eri ratkaisuperiaatteiden mahdollisuuksia kohdistamiseen. Sopivan ratkaisuvaihtoehdon löytyessä tuotettiin tästä konseptisuunnitelma tietokoneavusteista suunnittelua hyödyntäen.

Suunnittelun tukena käytettiin systemaattisen koneensuunnittelun VDI 2221 standardia. Systemaattisen koneensuunnittelun käytöllä pyrittiin selkeään ja johdonmukaiseen työskentelyyn suunnitteluprosessin aikana sekä parantamaan työn dokumentoitavuutta. Työssä tuotettava suunnittelutyö vastasi VDI2221 standardin mukaista kehittälyvaiheen tulosta, jossa alustavarakenne varmistettiin. Tuotetun suunnitelman jälkeen arvioitiin sen toimivuutta sekä pohdittiin seuraavia työvaiheita ja jatkokehitysehdotuksia. Yhteenvedossa käytiin läpi lyhyesti, kuinka työssä esiteltyt asiat ratkaisisivat työn alussa esitetyt ongelmakohdat nykyisessä integraatiomenetelmässä.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Martin Perälähti

Measurements and adjustments of marine machines during assembly

Bachelor's thesis

2021

27 pages, 10 figures and 1 table

Examiner: Sami Mathews

Supervisor: Sami Mathews

Keywords: permanent magnet generator, integration

Summary

This bachelor's thesis main goal was to develop the integration assembly phase of a marine permanent magnet generator. Research was conducted to find alternative principle solutions for aligning the generator's stator and rotor in a horizontal integration stand without contact of the parts. After finding suitable principle solution, a concept design was created with the help of computer aided modeling software.

The design part of this thesis was done by applying the rules of systematic approach standard VDI 2221. Systematic approach was used for simplifying the design process and to make documenting the process consistent. The design work of this thesis was equivalent to the embodiment design phase of the systematic approach where the preliminary layout is confirmed. After the design process, the products of design were analyzed and next steps in the design process were discussed along with further development proposals. In overview the overall work was analyzed by answering the research questions

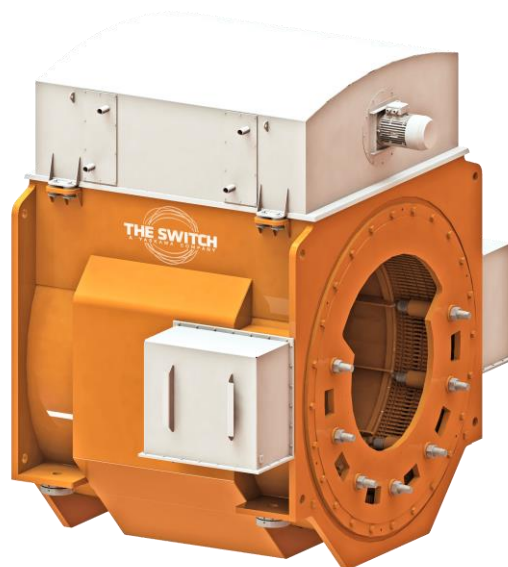
SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT.....	2
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO.....	5
1.1 Yrityksestä	6
1.2 Tutkimusongelma	6
1.3 Tutkimuksen tavoitteet	7
1.4 Tutkimusmenetelmät.....	7
1.5 Työn rajaus	7
2 TEORIA.....	8
2.1 Taustatietoa generaattoreista.....	8
2.2 Systemaattisen koneensuunnittelun standardi VDI 2221	9
2.3 Luova koneensuunnittelu	12
3 SUUNNITTELUN KULKU JA TULOKSET	13
3.1 Alkuseelvitys	13
3.2 Ideointivaihe	14
3.3 Kehittelyvaihe	18
4 POHDINTA.....	23
5 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	26

1 JOHDANTO

Nykypäivän meriteollisuus kehittyy jatkuvasti sopeutuakseen muuttuvaan taloudelliseen ja teknologiseen ympäristöön. Viime vuosina globaalisti otettu suunta kohti ympäristöystävällisempiä ratkaisuja ilmastonmuutoksen torjumiseksi on vaikuttanut myös suurelta osin meriteollisuuteen. Viime vuosien taloudellinen ja teknologinen kehitys on esimerkiksi sytyttänyt trendin kohti älykkäämpiä ja entistäkin suurempia laivoja suunnittelijoiden työpöydillä. Ympäristökysymykset ovat taas ajaneet suunnittelijat pohtimaan vaihtoehtoisia polttoaineita ja energiavarastoja meriteollisuuden tarpeisiin. (Marine-i, n.d.)

Kehitys vaatii tuekseen myös paljon erilaista edistynyttä teknologiaa. Isona osana tarvittavaa teknologiaa laivojen kehityksessä ovat laadukkaat ja varmatoimiset sähkölaitteet. Tärkeänä osana laivojen sähkölaitteiden kokonaisuutta ovat generaattorit, jotka tuottavat tarvittavan sähkön laivoihin. Tässä kandidaatintyössä tutkitaan erään Yaskawa Environmental / The Switch yrityksen generaattorin kokoonpanoprosessia. Laadunvarmistuksessa huolellinen kokoonpano on tärkeässä osassa. Tämän kandidaatintyön tavoitteena on kehittää generaattorin integraatio kokoonpanovaihetta. Kuvassa 1. on esitettynä generaattori.



Kuva 1. Kestomagneetti generaattori (The Switch)

Työn alkuun käydään läpi taustatietoa kohdeyrityksestä. Tämän jälkeen määritellään työn tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaus sekä työssä käytettävät menetelmät, jotka ohjaavat työn kulkua.

1.1 Yrityksestä

Tämä kandidaatintyö on tehty yritykselle Yaskawa Environmental / The Switch, lyhyesti The Switch. The Switch on edistyneeseen sähkökäyttöiseen voimasiirtotekniikkaan erikoistunut yritys, joka valmistaa kestopagneettisähkömoottoreita ja kestopagneettisähkögeneraattoreita erityisesti uusiutuvan energian tarpeisiin, meriteollisuuteen sekä muihin teollisiin sovelluksiin. Erikoisuutena The Switchillä on kestopagneettien käyttö sähkökoneissa, mikä on maailmanlaajuisesti vielä vähäistä. Kestopagneettigeneraattoreilla saavutetaan erityisesti parempi energiatehokkuus vaihtelevilla nopeuksilla sekä muita etuja kuten alhaisempi paino perinteisempään induktigeneraattoriin verrattuna. (The Switch, n.d.)

1.2 Tutkimusongelma

Kohdeyritys haki ratkaisua kestopagneettigeneraattorin pääosien staattorin ja roottorin yhdistys vaiheeseen eli integraatioon. Nykyisellä menetelmällä generaattorin staattorin ja roottorin integraatio on haastavaa ja aikaa vievää. Integraatiovaiheen aikana on pidettävä tarkasti huolta roottorin asemasta staattoriin nähden, etteivät osat pääse kosketuksiin toistensa kanssa, mikä voisi aiheuttaa suuria vahinkoja generaattorin komponentteihin. Erityisen haastavaa integraatiosta tekee generaattorin mitat, suuri paino sekä voimakkaat magneettisetvoimat staattorin ja roottorin välillä. Staattorin ja roottorin välissä on tilaa ainoastaan noin 5 mm ja osien suuren koon takia komponenttien tarkka asemointi on hankalaa. Nykyisellä menetelmällä asemointi tehdään kannattelemalla roottoria ja asennusakselia siltanosturilla ja säätämällä staattorin päätykilpeen kiinnitettyä asennusakselin tukipistettä. Nosturin käytön sekä tukipisteen säädön tarpeen takia integraatio vaatii työntekijältä paljon huomiota. Nykytilassa integraatiossa ei myöskään ole täysin vakioitua toimintatapaa.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tavoitteena tässä kandidaatintyössä on löytää ratkaisu, jolla staattori ja roottori saataisiin kohdistettua sujuvasti ja varmuudella integraatiota varten. Hyvässä ratkaisussa vaadittaisiin vähemmän osien säätämistä, mikä säästäisi aikaa sekä olisi helpompaa ja turvallisempaa työntekijälle. Suurten magneettivoimien takia roottori tulisi saada myös mahdollisimman keskelle staattoria, jolloin magneettisetvoimat kumoaisivat toisiaan. Tämän takia olisi hyvä löytää tapa, jolla voitaisiin varmistua staattorin ja roottorin saman keskisyydestä mahdollisimman tarkasti.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Kandidaatintyön suunnitteluosiota lähdetään tekemään systemaattisen koneensuunnittelun standardin VDI 2221 mukaisesti. Kirjallisuutta käsitellyistä asioista tutkitaan suunnittelutyötä tukien tarvittavilta osin. Tiedonhakuun käytetään LUT-tiedekirjaston LUT-Primo hakupalvelua sekä muita verkkolähteitä. Lisäksi työn aikana pidetään yhteyttä kohdeyritykseen tarvittavien tarkempien tietojen saamiseksi. Suunnitteluun käytetään tietokoneavusteista suunnitteluohjelmaa Solidworksia.

1.5 Työn rajaus

Työ on rajattu koskemaan ainoastaan staattorin ja roottorin integraatiiovaihetta eikä työssä oteta kantaa generaattorin muihin kokoonpanovaiheisiin. Samassa integraatiopukissa kootaan kahta eri generaattorimallia. Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan ainoastaan yhden mallin integraatiota. Tässä kandidaatintyössä tuotettava tieto on rajattu toimimaan konseptina kehitetylle integraatiomenetelmälle, jota voidaan käyttää pohjana jatkokehityksessä. Tarkemmat mitoitukselliset asiat jäävät tämän kandidaatintyön ulkopuolelle. Suunnittelua tehdessä pyritään säilyttämään mahdollisimman paljon olemassa olevia osia kokonaiskustannusten minimoimiseksi.

2 TEORIA

Tässä kappaleessa tutustutaan tarkemmin generaattorin rakenteeseen sekä työssä käytettäviin koneensuunnittelun metodeihin. Tarkasteluun otetaan erityisesti perinteisen koneensuunnittelun systemaattinen suunnittelustandardi VDI 2221 sekä luovan koneensuunnittelun näkökulmia, joita käytetään pohjana tämän kandidaatintyön suunnittelu osiossa.

2.1 Taustatietoa generaattoreista

Generaattori on kone, joka muuttaa akselin pyörimisestä saatavaa mekaanista energiaa sähkövirraksi liikkuvien magneettikenttien avulla. Generaattoreita on pääosin kahta eri tyyppiä, vaihtovirta- ja tasavirtageneraattoreita. Tämän pääluokittelun lisäksi toteutustapoja generaattoreille on useita. (Guru 2001, s. 285) The Switchin generaattorit ovat tyypiltään kestopagneettivaihtovirtageneraattoreita, joissa on neodyymimagneettikenoista koostuva pyörivä roottori ja virran tuotto tapahtuu paikoillaan olevalla staattorilla. Staattori ja roottori ovat generaattorin pääosat, joiden integraatiota tutkitaan tässä kandidaatintyössä. The Switchin generaattoreita on käytössä laajasti eri sovelluksissa. Tässä työssä tarkastelussa olevaa generaattoria käytetään meriteollisuuden sovelluksissa.

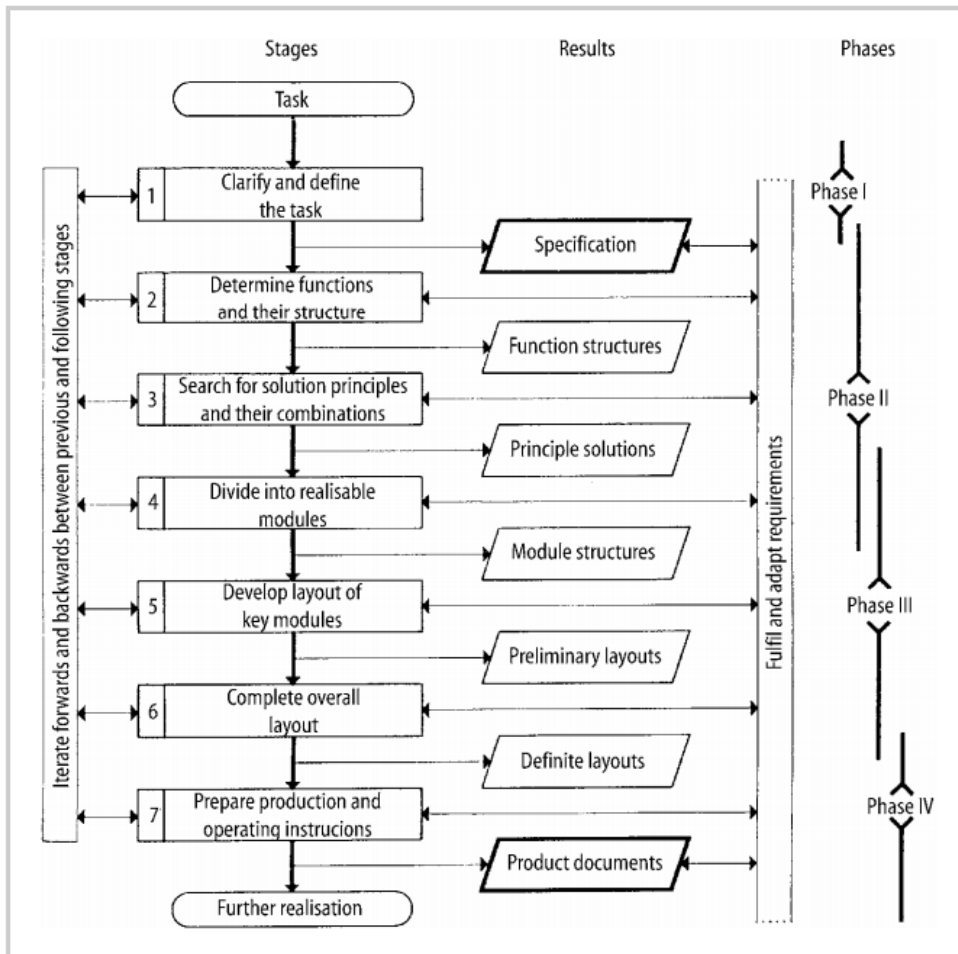
Laivoissa generaattorit ovat asennettu joko laivan päämoottorin akseliin, tai erillisiin sähkön tuotantoon käytettäviin moottoreihin. Käytettävät generaattoreiden asennustavat ja generaattorien määrä valitaan laivan sähkötehon tarpeen mukaan sekä päämoottorin mukaan. (Papanikolaou 2014 s. 403–404) Jatkuvan sähköntarpeen takia generaattoreita on laivoissa yleensä kolme tai neljä kappaletta. (Myund-II 2018 s. 208) Laivoissa käytettäviä generaattoreita ja niiden käyttövarmuutta ja turvallisuutta säätelee myös luokituslaitokset sekä useat kansainväliset sopimukset kuten SOLAS sopimus. (Pepliński 2019 s. 3-4) Kansainväliset sopimukset vaativat myös, että laivoissa tulee olla vähintään kaksi generaattoria, joista toisen tulee olla erillään päämoottorista mahdollisten vikatilanteiden varalta. (Electro-technical officer, n.d.) Yksi suurimmista eroista merenkulun generaattoreissa maalla käytettäviin generaattoreihin on vikatilojen hallinta. Vikatilat saavat aiheuttaa laajempia ongelmia laivoissa, koska sähkölaitteiden kokonaisuus on huomattavasti kompaktimpi laivoissa, kuin maalla ja laivojen sähköjärjestelmät ovat myös täysin omavaraisia, koska sähköä ei saada merellä laivan ulkopuolelta. (Electro-technical

officer, n.d.) Vaaratilanteiden minimoimiseksi vikatilanteet merellä tulisi saada selvitettyä mahdollisimman nopeasti ja turvallisesti. The Switchin generaattorit ovat esimerkiksi asennettu voimansiirtoakseliin erikoiskiinnikkein, jotka mahdollistavat nopean generaattorin irrotuksen akselista.

2.2 Systemaattisen koneensuunnittelun standardi VDI 2221

Nykyinen systemaattisen koneensuunnittelun standardi VDI 2221 on saanut alkunsa Saksassa 1970-luvulla. Aihetta erityisesti tutkivat Saksalaiset Gerhard Pahl ja Wolfgang Beitz kirjassa Konstruktionslehre eli suomeksi koneensuunnitteluoppi. Pahlin ja Beitzin koneensuunnitteluoppi kirjaa on käännetty useille eri kielille ja viimeisin englanninkielinen versio on vuodelta 2007. Pahlin ja Beitzin koneensuunnitteluoppi kirja kokoaa yhteen laajasti nykypäivänä käytössä olevat koneensuunnittelun käytännöt.

Systemaattisessa koneensuunnittelussa suunnitteluprosessi jaetaan usein neljään päävaiheeseen, joiden sisällä on tarkasti määrätyt tehtävät. Systemaattisessa suunnitteluprosessissa kuljetaan luonnollisesti abstraktimmasta tasosta kohti tarkempaa. Suunnitteluprosessin eri vaiheita voidaan toistaa tarpeen mukaan sopivimman ratkaisun löytämiseksi. Alla olevassa kuvassa on esitettynä koko suunnittelu prosessi VDI 2221 näkökulmasta.



Kuva 2. Työssä käytettävä VDI 2221 standardin mukainen suunnittelun kulku (Beitz et. al., 2007, s. 19).

VDI 2221 mukainen alkuselvitys alkaa suunnittelun tarpeesta. Suunnittelun tarve voi olla esimerkiksi tarve uudelle tuotteelle, tai kuten tässä kandidaatintyössä, tarve olemassa olevan tuotteen kehitykselle. Alkuseelvityksen tilanne voi olla vaihteleva. Selvitystä aloittaessa ei välttämättä vielä tiedetä mitä käytännössä lähdetään suunnittelemaan, mutta tietoa keräämällä ja tehtävää rajaamalla riittävästi päästään tilanteeseen, missä käytännön ideoita voidaan ruveta tuottamaan. Alkuseelvitysvaiheessa tärkeintä on kerätä mahdollisimman paljon tietoa ja tuottaa mahdollisimman tarkka vaatimuslista, jota voidaan käyttää suunnittelun pohjana. Tarkka vaatimuslista on suunnittelun kannalta erittäin tärkeä, koska tällä voidaan varmistua siitä mitä esimerkiksi asiakas oikeasti haluaa. (Pahl et al., 2007, s.131; Childs, 2014, s.25-31)

Alkuselvityksen jälkeen siirrytään ideointivaiheeseen, jossa vaatimuslistan pohjalta lähdetään ideoimaan vaatimukset täyttäviä mahdollisia ratkaisuperiaatteita. Samoin kuin alkuselvittelyvaihe myös ideointivaihe vaihtelee projektikohtaisesti. Mitä tarkempi ja yksityiskohtaisempi vaatimuslista on, sitä nopeammin päästään pohtimaan käytännön ratkaisuja. Ideointivaiheesta tekee suoraviivaisempaa esimerkiksi, jos vaatimuslistassa on tarkkaan määritelty käytettäviä materiaaleja tai teknologisia lähestymistapoja. Muussa tapauksessa ideointi aloitetaan peruslähestymistavat määrittämällä alkaen käytettävästä teknologiasta ja materiaaleista. Peruslähestymistapojen määrittämisen jälkeen päästään pohtimaan toimivia toimintorakenteita. Usein pyritään tuottamaan useita toimintorakenteita esimerkiksi niin sanottuun ideamatriisiin, josta voidaan valita sopivin ratkaisu tai yhdistää osaratkaisusta optimaalinen kokonaisuus. Tärkeintä ideointivaiheessa on löytää sopiva periaatteellinen ratkaisu. Sopivan ratkaisun löytyessä voidaan tuottaa esimerkiksi luonnostelupiirros, jota lähdetään kehittämään seuraavassa vaiheessa. (Pahl et al., 2007, s.131–132)

Kehittelyvaihe on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä pyritään vahvistamaan ideointivaiheen tulokset ja tarkentamaan niistä alustavarakenne. Toisessa vaiheessa alustavastarakenteesta kehitellään lopullinen rakenne. Tärkeintä kehittelyvaiheessa on arvioida rakennetta toimivuuden, valmistettavuuden ja taloudellisuuden näkökulmista. Rakennetta arvioitaessa voidaan vielä muuttaa heikkouksia rakenteesta tai jatkokehittää hyväksi todettuja ominaisuuksia. Kehittelyvaiheen ensimmäisen vaiheen tuloksena voi olla esimerkiksi yksi tai useampi karkea mallinnus rakenteesta. Toisessa vaiheessa tuotetusta mallista hiotaan vielä tarkempi kokonaisuus, joka on viimeistelyä vaille valmis tuote. (Pahl et al., 2007, s.132.)

Viimeistelyvaiheessa määritetään kaikki lopulliset mitat, muodot sekä asetellut valmistusta varten. Viimeistelyvaiheen tuloksena on lopulliset valmistuspiirustukset, joiden pohjalta suunniteltu tuote valmistetaan. Viimeistelyvaiheessa on edelleen erittäin tärkeää arvioida tuotettua tietoa, koska tämä on viimeinen vaihe missä tuotteeseen voidaan vaikuttaa ennen fyysisten osien valmistusta. Viimeistelyvaihe vaatii myös tarkkuutta mitoituksellisissa asioissa, jotta valmistetuista osista tulee oikean kokoisia ja osat toimivat yhdessä ja halutut ominaisuudet täyttyvät. (Pahl et al., 2007, s.132–133)

2.3 Luova koneensuunnittelu

Hyvä suunnittelutyö vaatii systemaattisuuden lisäksi luovaa ajattelua. Teknisessä suunnittelutyössä tällainen luova ajattelu vaatii suunnittelijalta tietoa erilaisista yleisistä kone-elimistä sekä tietoa ja kokemusta näiden soveltamisesta ongelmien ratkaisussa. Yleinen sanonta onkin, että suunnittelua oppii vain suunnittelemalla. Suunnittelun tueksi on kuitenkin kehitetty useita tukevia toimintatapoja. Erilaisia suosittuja toimintatapoja ovat esimerkiksi aivoriihi, sivuttainen ajattelu tai luova ajattelu, morfologinen analyysi ja TRIZ. Näiden toimintatapojen peruserä on sama eli erilaisia ideoita pyritään tuottamaan mahdollisimman paljon, joiden joukosta voidaan valita lupaavin. Esitettyjen toimintatapojen vaativuus ja tarkkuustaso vaihtelee kuitenkin huomattavasti. Esimerkiksi aivoriihessä ja sivuttaisajattelussa riittää erilaisten ideoiden ja ajatusten rajoittamaton tuottaminen ja näiden dokumentoiminen, kun taas morfologisessa analyysissä ja TRIZ metodissa ongelmaa puretaan ensin osiin ja näihin pyritään löytämään ratkaisuja, joiden kombinaatioilla tai joita mukauttamalla päästään haluttuihin ideoihin käsiksi. (Childs, 2014, s.52-117) Tämän kandidaatintyön suunnittelua osiossa ideointia pyritään tekemään juuri pilkkomalla alkuperäistä ongelmaa selkeämmin käsiteltäviin osiin.

3 SUUNNITTELUN KULKU JA TULOKSET

Tässä kappaleessa käydään läpi generaattorin integraation kehityksen vaiheita. Suunnittelu työ tehtiin vaiheittain VDI 2221 standardia soveltamalla. Tavoitteena oli kehittää konseptitason ratkaisu eli VDI 2221 mukaisesti kehittämissä vaiheiden ratkaisu integraation kehityksestä.

3.1 Alkuselvitys

Suunnittelun alussa oli selvitettävä tarkasti integraatiotyövaiheen nykytilanne ja tunnistaa ongelmakohdat, joiden pohjalta uutta ratkaisua voitaisiin lähteä kehittämään. Nykytilanteen selvittämiseksi työn alkuun käytiin vierailulla kohdeyrityksessä tutustumassa tarkemmin integraatiotyövaiheeseen. Selvityksessä tukena oli myös yrityksen henkilöstöä, jolta saatiin arvokasta tietoa nykyisen työvaiheen käytettävyydestä sekä alustavia kehitysehdotuksia. Yrityksen ehdotuksena ratkaisuksi oli mittausjärjestely, jolla varmistettaisiin staattorin ja roottorin yhteinen keskipiste ja mittaustiedon perusteella osat olisi säädetty oikeille kohdille integraatiota varten. Alkutilan tarkastelun sekä yrityksen antamien tietojen pohjalta laadittiin työille vaatimuslista, joka toimii kehittelyn pohjana. Vaatimuslista esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. vaatimuslista

vaatimuslista
roottorin paikoitus staattoriin
kontaktiton integraatio
maksimissaan 5 mm heitto (ilmarako staattorin ja roottorin välissä)
toimintavarmuus ja toistettavuus
turvallinen käyttää
helppo käyttöinen
vakioitotoimintatapa
asennussuunta horisontaalinen
skaalattavissa muille generaattori malleille

3.2 Ideointivaihe

Vaatimuslistan keräämisen jälkeen lähdettiin pohtimaan ideoita, joilla vaatimukset saataisiin täytettyä. Kehitysideoita pohtiessa huomioitiin myös yritykseltä saadut ehdotukset mittausjärjestelyistä, joiden mahdollisuuksia lähdettiin työn alkuun selvittämään.

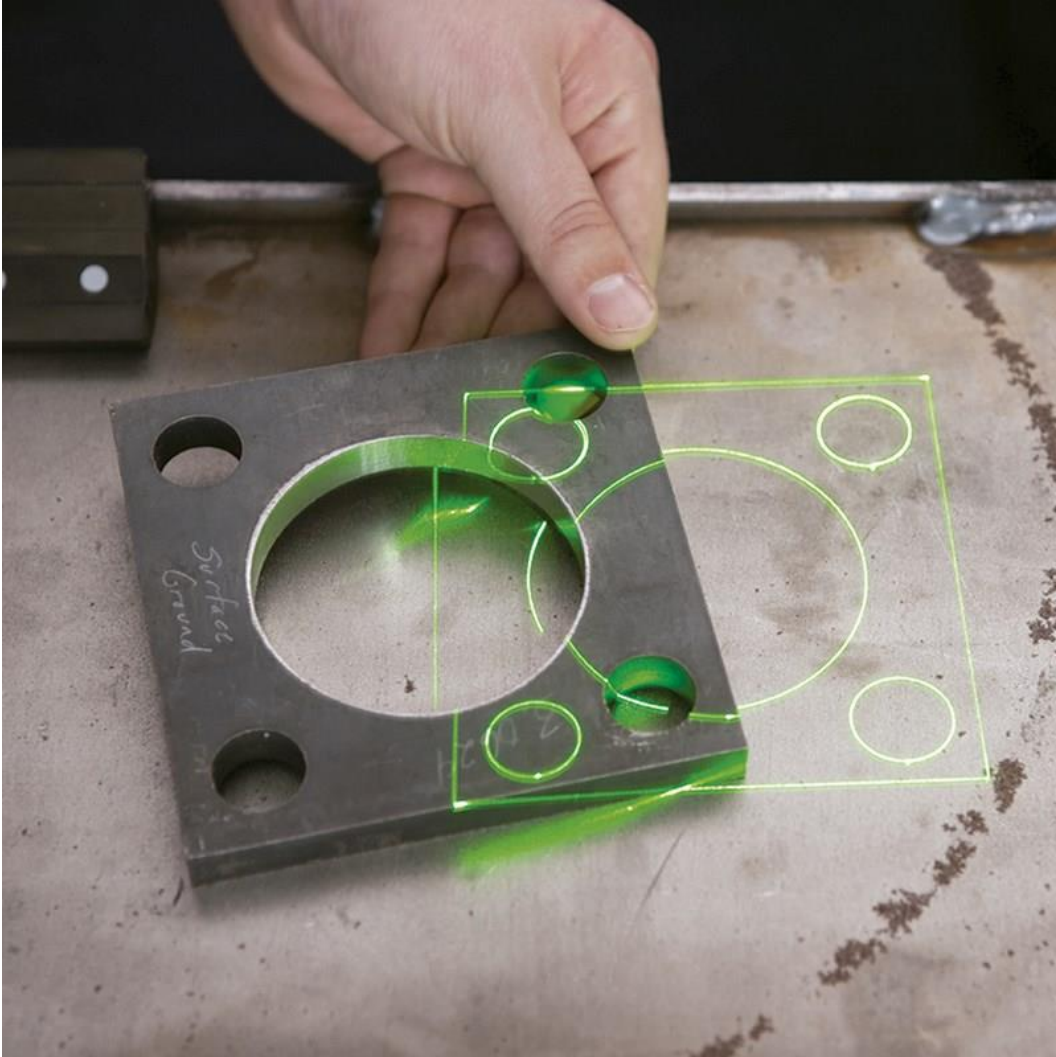
Erilaisista mittaustavoiista selvitettiin erityisesti kosketuksettomien mittaustapojen mahdollisuuksia, koska näiden arvioitiin olevan paras vaihtoehto mittausjärjestelyn toteutukseen. Kaupallisia mittauslaitteita tutkittaessa selvisi, että kosketuksettomia mittauslaitteita eri sovelluskohteisiin on monenlaisia. Kosketuksettomien mittauslaitteiden pääkategoriat ovat: optinen vertailija tai profiiliprojektori, konenäkö, tietokonekerroskuvaus tai tomografia, fotogrammetria, laser ja pitkäkantamanlaser, strukturoituvalo sekä konfokaaliset anturit. Mittaustapojen tarkempia toimintaperiaatteita ei käydä läpi tässä kandidaatintyössä. Pääpiirteittäin kaikkien kosketuksettomien mittareiden toimintaperiaate on sama eli kappaletta valaistaan ja heijastunut valo kerätään mittauslaitteessa olevalla sensorilla ja siitä tulkitaan haluttuja ominaisuuksia (3D Engineering Solutions, 2019). Esimerkiksi laserkeilaimissa mitattavaan kohteeseen pulssitetaan miljoonittain lasersäteitä tiheänä pilvenä. Heijastuvista säteistä voidaan mitata kohteen etäisyys sekä säteiden intensiteetti. Näin saadaan selville yhden pisteen kolmiulotteiset koordinaatit. Pisteitä keräämällä riittävästi voidaan muodostaa pistepilvi, josta selviää kohteen geometria (Geotrim / Matterport n.d.). Koska useimpien kosketuksettomienmittauslaitteiden toiminta perustuu kolmiulotteisen mallin luontiin kohteesta ja kohteen geometrian varmentamiseen, voitiin huomata nopeasti, että tällaiset mittauslaitteet eivät välttämättä soveltuisi integraation kehitykseen.

Kosketuksettomista mittaustavoista lupaavin vaihtoehto oli konenäkö. Konenäköteknologiaa soveltamalla voitaisiin kehittää järjestelmä, joka tunnistaisi staattorin ja roottorin ympyrämäisen muodon ja tällä informaatiolla hahmottelisi kuvaan kummankin muodon keskipisteen. Konenäköä tutkiessa vastaan tuli kuitenkin vaadittava tarkkuus. Koska staattori ja roottori ovat kooltaan suuria ja ilmarako on verraten hyvin pieni, kameran tuottama resoluutio ei välttämättä riittäisi tunnistamaan riittävän tarkasti staattorin ja roottorin muotoja.

Toinen mahdollinen kosketuksettomia mittaustapoja sivuava teknologia oli laserpaikoitus tai laserprojektio, jossa näkyvän valon lasersäteillä tuotetaan muoto oikeaan kohtaan kohdetta esimerkiksi osan asennusta varten. Laserpaikoitusjärjestelmistä yleisesti oli saatavilla vain vähän tietoa. Tällaisia järjestelmiä tuottaa maailmassa esimerkiksi yritykset LAP ja Virtek. Laserpaikoitusjärjestelmiä on käytössä esimerkiksi konepajoilla, joissa paikoitusjärjestelmiä käytetään esimerkiksi hitsaamalla liitettävien osien asetteluun. (Virtek) Kuvassa 3 on esitettyä Virtekin laserpaikoitusjärjestelmän laitteisto. Kuvassa 4 on esitettyä paikoitusjärjestelmän tuottama projektio työkappaleeseen.

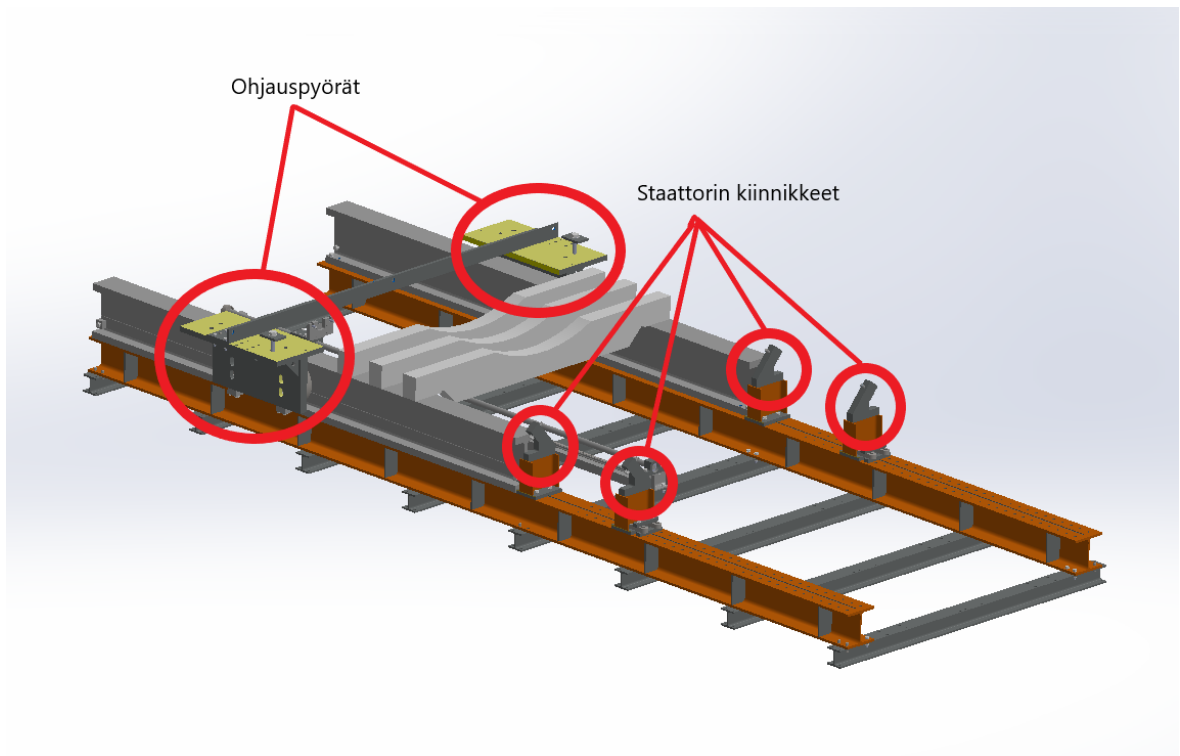


Kuva 3. Virtek SPS laserpaikoitusjärjestelmän kaksi eri mallia. (Virtek)

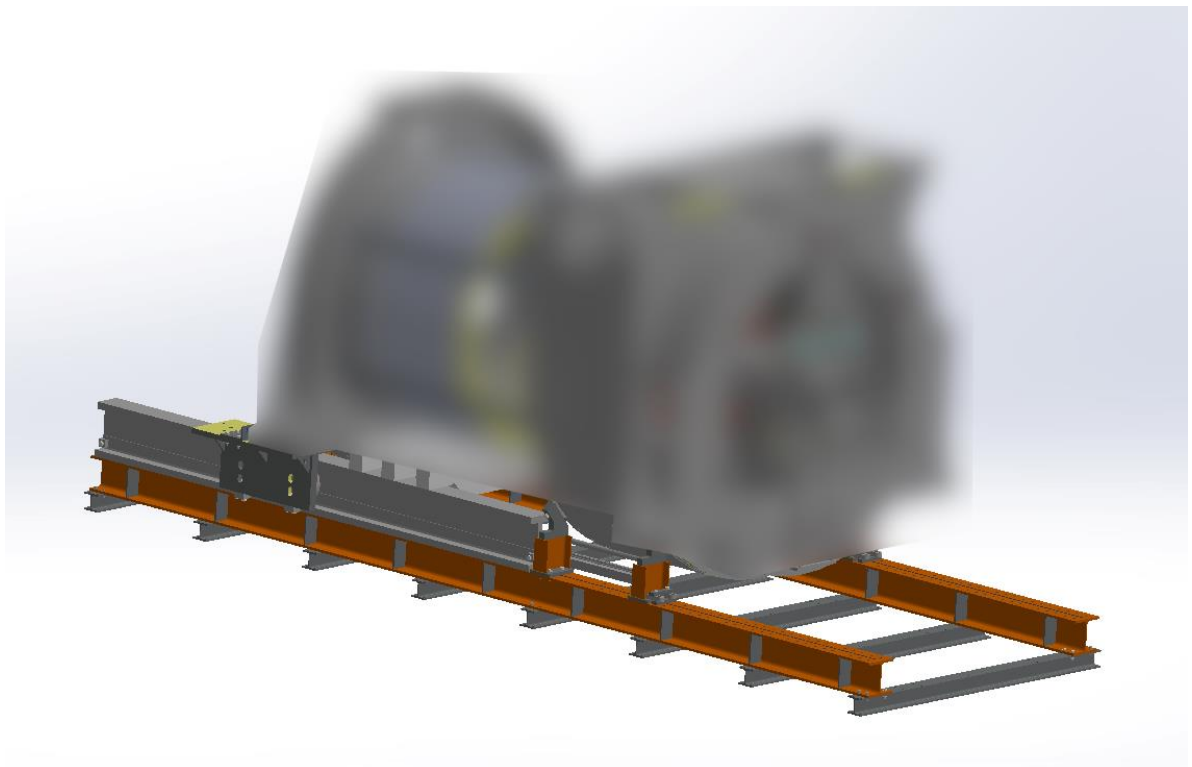


Kuva 4. Virtek SPS laserpaikoitusjärjestelmän tuottama projektio työkappaleeseen (Virtek)

Ratkaisuja pohtiessa vastaan tulivat myös ongelmat nykyisen integraatiopukin rakenteessa. Vierailulla yrityksen tiloissa työn alkupuolella selvisi, että pelkällä mittausjärjestelyllä ei saataisi aikaseksi haluttuja tuloksia, vaan integraatiopukin rakennetta tulisi myös muuttaa tukevammaksi. Työn alkuun rakenteen ongelmat rajattiin työn ulkopuolelle, mutta näiden vaikuttaessa työn tavoitteisiin, myös rakenteen muuttaminen otettiin tarkasteluun. Kuvassa 5 on esitettyä nykyinen integraatio pukki ilman generaattoria ja kuvassa 6 integraatiopukki generaattorin kanssa integraation alkutilassa.



Kuva 5. 3D-malli alkuperäisestä integraatiopukista



Kuva 6. Alkuperäinen integraatiopukki generaattorin kanssa

Suurimpana haasteena nykyisessä integraatiopukissa on roottorin kiinnitys pukkiin. Nykyisessä pukissa roottorin toinen pää asennetaan päätykilvestä pukkiin kiskojen päälle ja toista päätä kannatellaan roottorin alle asetettavalla tuella ennen integraatiota tai siltanosturilla integraation aikana. Kun roottori on saatu tuotua tarpeeksi lähelle staattoria, asennusakseli tuetaan staattorin päädyssä olevan työkalun avulla. Työkalua säätämällä roottori haetaan oikealle kohdalle. Haastavaa tästä tekee se, että kiinnityspisteet eivät ole tarpeeksi tukevia ja akselin tukipisteen säätäminen on haastavaa, kun tukeen kohdistuu suuri kuorma roottorin ja asennusakselin painosta. Lisäksi akselin täytyy liukua tuen lävitse, mikä myös aiheuttaa ongelmia akselin laahatessa tukea vasten sekä tukipisteen paikan muuttuessa roottoria liikuttaessa.

Integraatiopukin rakenteen rajoitteet havaitessa alettiin kehittää ongelmakohtia korjaavia muutoksia, jotka täyttäisivät myös vaatimuslistassa määritetyt vaatimukset. Tarkasteluun otettiin erityisesti roottorin tuennat. Alkuun pohdittiin, kuinka asennusakselin kannatin voitaisiin muuttaa kiinteäksi ilman säätöjen tarvetta ja erilleen staattorista tarkemmin tiedettyyn pisteeseen. Pikaisesti tämän pohdinnan yhteydessä syntyi idea staattorin ja roottorin paikkojen vaihtamisesta. Ideassa uudesta rakenteesta roottori olisi kiinnitettynä tukevasti pukin runkorakenteeseen ja staattori kiinnitettäisiin kiskojen päälle, joiden avulla staattori liikutettaisiin paikoilleen. Etuna tässä ratkaisussa olisi, että asennusakselin ei tarvitsisi liukua tuen lävitse eikä akselia tarvitse kannatella nosturilla ennen kiinnittämistä. Myös ohjauspyörien ja kiskojen arvioitiin olevan tukevampia muokkauksen jälkeen, koska massaa saataisiin jaettua tasaisemmin ohjauspyörien päälle. Tätä ideaa lähdettiin kehittää ensin paperilla piirtämällä, jonka jälkeen siirryttiin Solidworks ohjelmaan tekemään ensimmäisiä 3D-malleja.

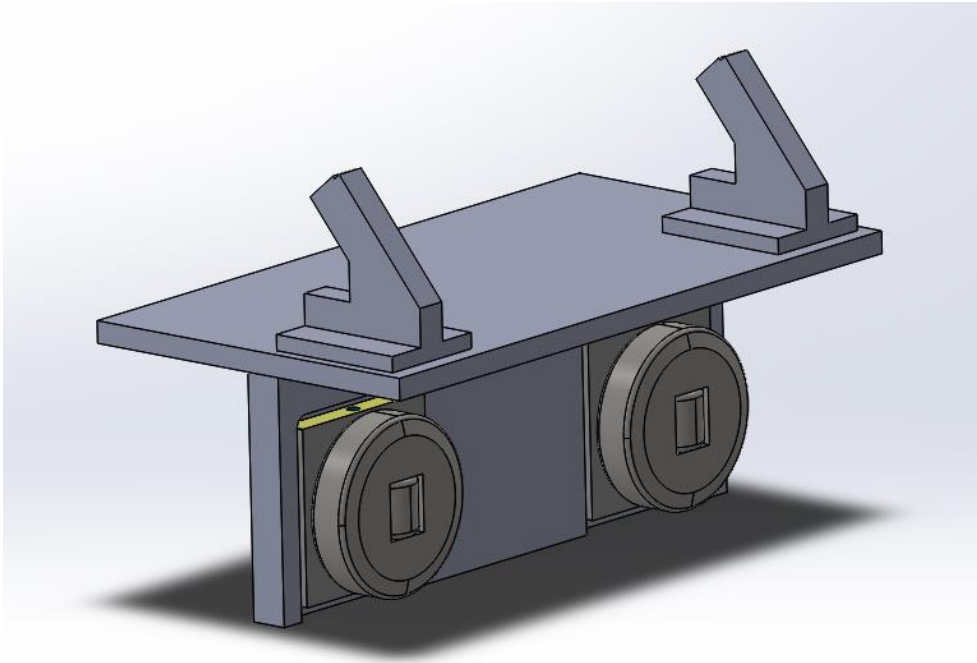
3.3 Kehittelyvaihe

Kehittelyvaiheen alkuun luotiin karkea 3D-malli, jonka avulla pystyttiin arvioimaan idean toimivuutta kaikki suunnat huomioiden. Mallin ensimmäiseen versioon luotiin yksinkertaistukset staattorista ja roottorista sekä nykyisen pukin runkorakenteesta näiden tärkeimmät ulkomitat huomioiden. Tärkeimpänä tässä vaiheessa oli selvittää, että staattori ja roottori pystyttäisiin fyysisesti sovittamaan uusille paikoille ilman esteitä. Mallista selvisi, että osat pääsivät liikkumaan esteettä halutulla tavalla. Lisäksi ensimmäisen mallin pohjalta

voitiin päätellä, minkälaisia kiinnikkeitä tarvittaisiin osien kiinnittämiseksi halutuille paikoille.

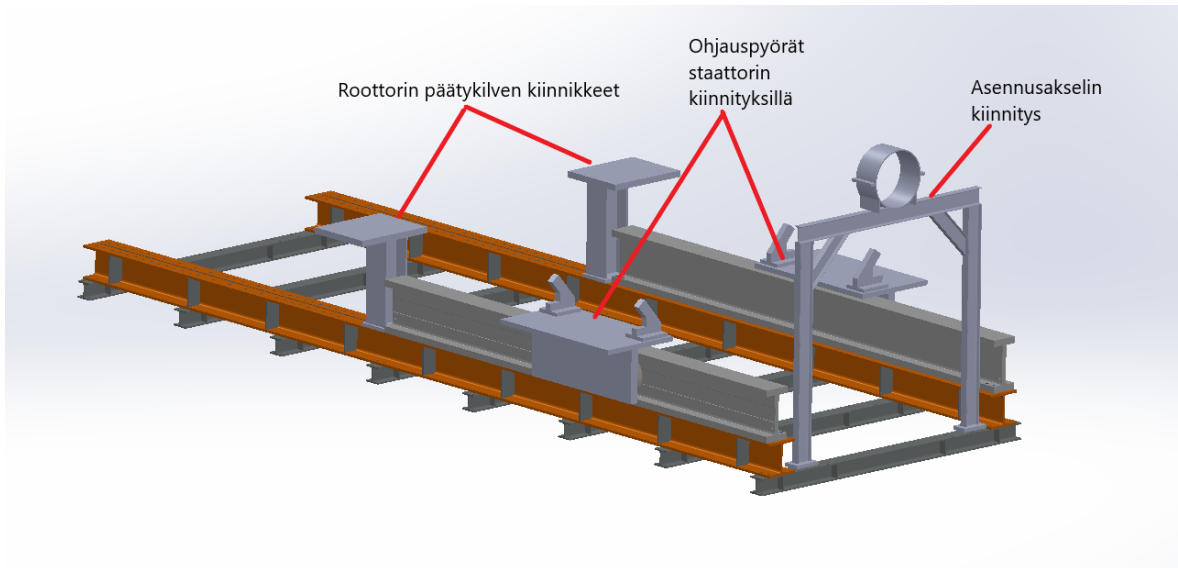
Tulosten ollessa järkeviä ensimmäisessä karkeassa mallissa, siirryttiin tekemään yksityiskohtaisempaa mallia. Tähän malliin otettiin pohjaksi nykyisen integraatiopukin 3D-malli, josta voitiin selvittää tarkemmin mitä osia voitaisiin käyttää uudelleen ja mitä pitäisi suunnitella. Tavoitteena oli säilyttää mahdollisimman paljon alkuperäistä rakennetta kustannusten minimoimiseksi. Myös uudelleensuunniteltavat kiinnikkeet pyrittiin suunnittelemaan alkuperäisiä kiinnikkeitä mukaillen. Nykyisen pukin mallista huomattiin, että uusia osia täytyisi suunnitella kiskojen ohjauspyöriin, roottorin päätykilven tueksi sekä akselinkannattimeksi.

Uusista osista ensimmäisenä tarkasteluun otettiin kiskojen ohjauspyörät, joiden päälle staattori asennettaisiin uudessa integraatiomenetelmässä. Ongelmana nykyisissä ohjauspyörissä oli niiden leveys, koska alkuperäiset ohjauspyörät olivat suunniteltu roottorin päätykilpeen kiinnitettäväksi. Lisäksi ohjauspyöriin piti suunnitella staattoriin sopivat kiinnikkeet. Uudet ohjauspyörät suunniteltiin nykyisiä mukaillen uusilla mitoilla ja tarvittavilla kiinnityskohdilla. Nykyisiä ohjauspyöriä mukaillen pystyttiin säilyttämään nykyisin käytettävät kiskoa vasten tulevat pyörät. Uusien ohjauspyörien rakenne tehtiin myös samoilla materiaalivahvuuksilla, kuin nykyisten. Staattoriin sopiviin kiinnikkeisiin otettiin mallia nykyisistä staattorin kiinnikkeistä, jotka muokattiin sopiviksi ohjauspyöriä varten. Alla olevassa kuvassa on esitettyä konseptitason suunnitelma uusista ohjauspyöristä.



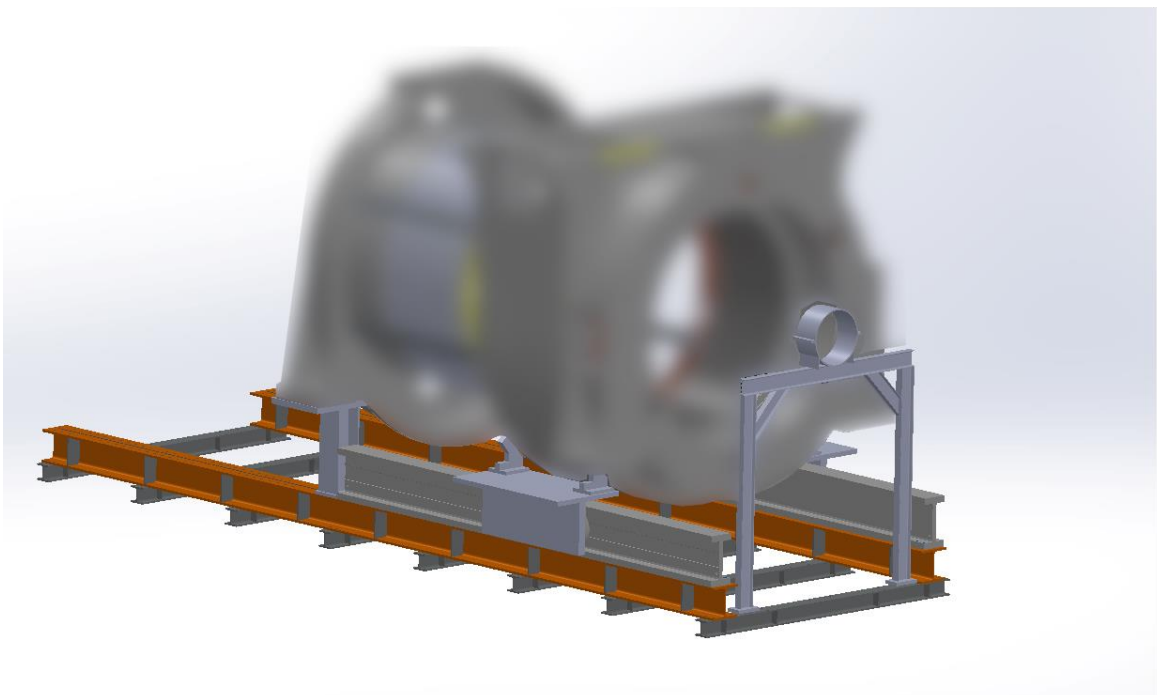
Kuva 7. Uusien ohjauspyörien kehittelyvaiheen 3D-malli.

Roottorin kiinnittämiseksi tuli suunnitella täysin uudet kiinnikkeet. Kiinnikkeet pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman yksinkertaisesti. Toteutustavaksi kiinnikkeille valittiin yksinkertaiset teräspalkit, jotka sovitettiin nykyisen integraatiopukin runkoon. Roottorin päätykilven kiinnikkeeksi tehtiin pukin runkoon kiinnitettävät teräspalkit, joiden päälle tulisi päätykilven sopiva asennuslevy. Asennusakselin päähän tehtiin myös palkkirakenne, jonka päälle kiinnitettäisiin putkikannaketta muistuttava rakenne. Asennusakseli kiinnitettäisiin kannakkeeseen tukevasti ennen integraatiota. Kannakkeen päälle tuleva panta vastustaisi magneettivoimia ylöspäin. Roottorin kiinnikkeet tulisi mitoittaa tarkkoihin mittatoleransseihin, kun staattorin keskipisteen paikka tiedetään suunnitteluvaiheessa. Kun kiinnikkeet valmistettaisiin tarpeeksi tarkkojen toleranssien mukaisesti, osien voitaisiin olettaa olevan oikeilla kohdilla joka integraatiossa. Alla olevassa kuvassa on esitetty uusi integraatiopukki kokonaisuudessaan. Vaaleanharmaalla näkyvät osat ovat tämän kandidaatintyön suunnitteluosuuden tuloksia.

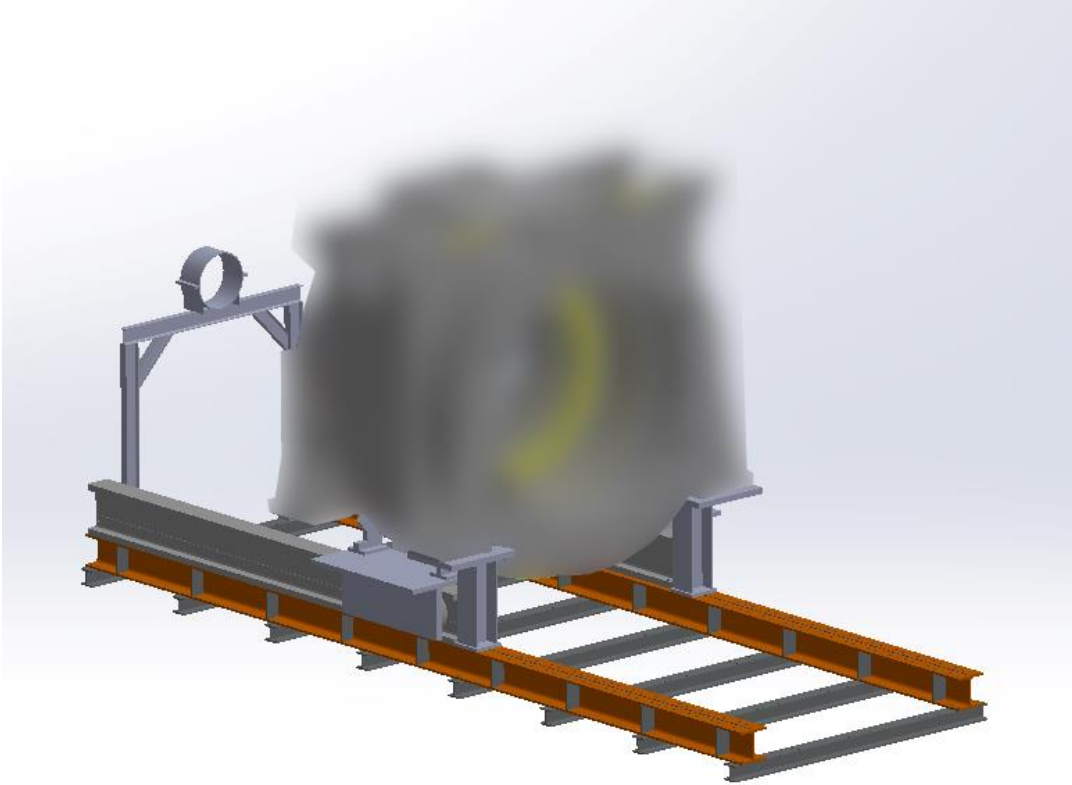


Kuva 8. Suunniteltu integraatiopukki

Kuvassa 8 esitetystä integraatiopukin rakenteesta nähdään, kuinka uudet kiinnikkeet liitettäisiin osaksi nykyistä integraatiopukin runkoa. Kuvasta voidaan myös huomata, että uudessa pukissa roottorin taakse jäisi runsaasti tilaa eli runkoa voitaisiin tarvittaessa lyhentää. Kuvissa 9 ja 10 on vielä esitettyä, kuinka staattori ja roottori asettuvat pukkiin integraatiotapahtuman alkutilassa, kun generaattori ja roottori ovat erillään ja lopputilassa, kun osat ovat integroitu.



Kuva 9. Uusi integraatiopukki ja generaattori integraation alussa



Kuva 10. Uusi integraatiopukki integraation lopussa

4 POHDINTA

Työssä päädyttiin muokkaamaan koko integraatiopukin rakennetta alkuperäisen mittausjärjestely suunnitelman sijasta. Pukin modifiointiin päädyttiin ideointivaiheen pohdintojen sekä tiedonhaun perusteella. Alkuperäiseen ideaan mittausjärjestelystä ei löytynyt tarpeeksi sovellettavaa tietoa ja rakenteen puutteet havaitessa arvioitiin rakenteen modifioinnin olevan paras ratkaisu integraation alkutilanteen ongelmiin, jotka esiteltiin työn alussa. Tässä kandidaatintyössä tuotettiin modifioidulle rakenteelle konseptisuunnitelma, jota voitaisiin käyttää jatkokehityksen pohjana.

Suunnittelutyön tuloksiin päästiin soveltaen systemaattista koneensuunnittelun standardia. Erityisesti systemaattinen alkutilan selvitys ja ratkaisuperiaatteiden ideoinnin avaus laajemmaksi ja ongelmanratkaisukeskeiseksi auttoivat löytämään sopivan ratkaisun ongelmaan. Työn alussa ideointivaiheesta teki haastavaa rajaus ainoastaan mittauksia koskeviin ratkaisuperiaatteisiin. Lisäksi ongelman luonne oli itsessään melko haastava ja tietoa muiden generaattoreiden integraatiovaiheista oli niukasti saatavilla, joten työssä jouduttiin käyttämään paljon omaa tietoa teknisten ongelmien ratkaisusta. Suunnittelutyön riittävä yksinkertaistus ja pureutuminen ongelmiin aiheuttaviin mekanismeihin tuotti kuitenkin tulosta. Sopivan ratkaisuperiaatteen löytyessä suunnittelutyö oli suoraviivaista hahmottelujen kautta mallinnukseen. Työstä rajattiin pois viimeistelyvaihe, koska tämä haluttiin tehdä kohdeyrityksessä sisäisesti.

Arvioiden mukaan tuotettu konseptisuunnitelma pukin rakenteen modifioinnista täyttäisi vaatimuslistassa määritellyt vaatimukset. Tärkeimpänä vaatimuksista oli kontaktin välttäminen integraation aikana, mikä täyttyy modifioidulla pukilla. Ominaisuuksista toivottua staattorin ja roottorin yhteisen keskipisteen määrittämistä ei lähdetty pohtimaan pidemmälle, koska tämän arvioitiin olevan vähemmän tärkeä ominaisuus muokatussa rakenteessa. Muokatussa rakenteessa staattori ja roottori olisivat toistensa suhteen aina oikeilla kohdilla, kun tukien viimeistelyvaiheen mitoitus tehdäisiin riittävien toleranssien mukaisesti. Skaalautuvuus eri generaattorimalleille tulisi tehdä suunnittelemalla eri malleille sopivat kiinnikkeet. Rakenteen modifiointi työssä ehdotetun konseptisuunnitelman mukaisesti toisi ilmaraon varmistamisen lisäksi myös muita etuja. Muun muassa säätötarpeen puuttumisen takia työ olisi helpompaa integraatiota tekeväälle työntekijälle ja

käyttövirheet säädössä saataisiin poistettua. Myöskään tarvetta kannatella roottoria integraation alussa ei olisi, mikä tekisi työvaiheesta turvallisempaa ja helpompaa. Kiinteiden osien kiinnityksien sekä säätötarpeen puuttumisen takia muokattu pukki mahdollistaisi suoraviivaisemman ja helpommin vakioitavissa olevan toiminnan integraation aikana, mikä oli myös vaatimuksena suunnittelun alussa.

Suunnitelman rajoittuessa konseptoinniksi tarkemmat mitoitukselliset asiat jäivät tämän kandidaatintyön ulkopuolelle. Suunnitellut rakenteet pyrittiin silmämääräisesti määrittämään profiileiltaan kestäviksi. Kannattimien profiileiksi valittiin 3D-malleissa i-profiilit, koska nämä ovat kestävyydeltään hyviä juuri normaali- ja taivutuskuormien kannattelussa. Rakenteiden kestävyudet sekä käytettävät profiilit mittoineen tulisi varmistaa ennen viimeistelyvaiheeseen siirtymistä tai viimeistelyvaiheen alussa. Myös kannattimiin suunnitellut levyosat tulisi mitoittaa tarkasti erityisesti staattorin ohjauspyörissä, koska niille kohdistuvat kuormat ovat uudessa suunnitelmassa huomattavasti suurempia. Profiileiden sekä muiden osien tarkempi mitoitus saattaisi muuttaa rakennetta huomattavasti esitetystä. Myöskään tarkkaa tietoa osien kuten asennusakselin ja roottorin päätykilven muodonmuutoksista ei selvitetty, koska näiden oletettiin olevan kohtuulliset verrattuna alkuperäiseen integraatiojärjestelyyn. Alkuperäisessä integraatiojärjestelyssä havaitut muodonmuutokset asennusakselissa ja roottorin päätykilvessä arvioitiin estyvän riittävältä osin asennusakselin tuennalla. Tuenta akselin päästä ja roottorin päätykilvestä saattaisi kuitenkin aiheuttaa tukipisteiden väliin muodonmuutoksia, jotka tulisi selvittää esimerkiksi FE-analyysillä. Mitoituksellisten asioiden lisäksi tulisi määrittää myös sopivat kiinnitykset uusille osille. Konseptoinnissa ajateltiin levyosien liittämisten tapahtuvat hitsaamalla ja kiinnikkeiden kiinnittämisen pulttiliitoksien. Kiinnityksiä ja liitoksia ei lähdetty miettimään pidemmälle, koska nämä ovat myös enimmäkseen viimeistelyvaiheen asioita.

5 YHTEENVETO

Kandidaatintyön tavoitteena oli kehittää laivan kestopagneettigeneraattorin staattorin ja roottorin integraatiokokoonpanovaihetta. Integraatioon oli suunniteltava järjestely, jolla osat saataisiin liikutettua sisäkkäin eli integroitua ilman kontaktia osien välillä. Lähtökohtana työhön oli olemassa oleva integraatiopukki, jonka muutoksilla pyrittiin pääsemään haluttuihin tuloksiin. Suunnitelma rajattiin toimimaan konseptina, jota voitaisiin käyttää uudistetun integraatiotyövaiheen jatkokehityksen pohjana.

Suunnittelutyötä lähdettiin tekemään systemaattisen koneensuunnittelun periaatteiden mukaisesti. Suunnittelutyön tekeminen systemaattista lähestymistapaa käyttäen toimi hyvin ja vaiheittain tekeminen osoittautui hyväksi työskentelytavaksi. Suunnittelun alkuun ideointivaiheessa pohdittavana olivat ideat alkuun ajatellusta mittausjärjestelystä ja myöhemmin kehitetty ajatus integraatiopukin rakenteen muokkaamisesta, joista jatkotarkasteluun otettiin rakenteen muokkaaminen.

Rakenteen muokkaukseen päädyttiin alkutilanteen selvitysten perusteella. Alkutilan ongelmat havaitessa todettiin rakenteen muuttamisen olevan paras tapa ongelmien ratkaisuun. Työssä esitetty suunnitelma tuotettiin intuitiivisesti omaa suunnitteluosaamista käyttäen. Suunnittelussa punaisenalankana pidettiin työssä määritettyä vaatimuslistaa, jonka kohtia pohdittiin ideointivaiheessa. Ideointivaiheen pohdintojen tuloksena oli ajatus staattorin ja roottorin paikkojen vaihtamisesta sekä roottorin ja sen asennusakselin kiinteästä tuennasta alkuperäisen säädettävän tilalle. Ideasta tehtiin alustavat 3D-mallit Solidworks ohjelmaa käyttämällä ja mallin toiminta todettiin järkeväksi. Tuotetulla ratkaisulla staattorin ja roottorin integraatio onnistuu ilman kontaktia ja työvaihe helpottuu alkuperäiseen verrattuna.

LÄHTEET

3D Engineering Solutions, Common Non-Contact Measurement Devices and Methods, [verkkosivu]. [Viitattu 28.4.2021]. Saatavilla: <https://www.3d-engineering.net/common-non-contact-devices-and-methods/>

Beitz, Wolfgang. Feldhusen, Jörg. Grote, Karl-Heinrich. Pahl, Gerhard (2006) Engineering Design: A Systematic Approach. Third edition. Lontoo: Springer London. 617 s.

Childs, Peter R.N.. (2014). Mechanical Design Engineering Handbook. Amsterdam;; Butterworth-Heinemann/Elsevier. 817 s.

Electro-technical officer, All About Generator – Ship Major Component, [verkkosivu]. [Viitattu 27.4.2021]. Saatavilla: <https://electrotechnical-officer.com/all-about-generator-ship-major-component/>

Electro-technical officer, The Main Differences Between the Ship's Power Systems and Land-based Power Systems, [verkkosivu]. [Viitattu 27.4.2021]. Saatavilla: <https://electrotechnical-officer.com/the-main-differences-between-the-ships-power-systems-and-land-based-power-systems/>

Gettrim / Matterport, pistepilvi tutuksi, [verkkosivu]. [Viitattu 28.4.2021]. Saatavilla: <https://3d-malli.fi/pistepilvi-tutuksi/>

Guru, Bhag S. Hiziroğlu, Hüseyin R. (2001). Electric Machinery and Transformers. Third edition. Oxford University Press. 692 s.

Marine-i, Five future trends in the shipping industry, [verkkosivu]. [Viitattu 5.5.2021]. Saatavilla: <https://www.marine-i.co.uk/news/article/4/five-future-trends-in-the-shipping-industry>

Myund-II, Roh. Kyu-Yeul Lee. (2018). Computational Ship Design. Singapore: Springer Singapore. 377 s.

Papanikolaou, Apostolos. (2014). Ship Design Methodologies of Preliminary Design. Dordrecht: Springer Netherlands. 628 s.

Pepliński, Henryk. (2019). Ship and Mobile Offshore Unit Automation - A Practical Guide. San Diego: Elsevier Science & Technology. 234 s.

The Switch, n.d. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.3.2021]. Saatavissa: <https://theswitch.com/>

Virtek, 2021, [Verkkosivu]. [Viitattu 28.4.2021]. Saatavilla:
<https://www.virtekvision.com/products/virtek-iris-sps/>