

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kone- ja tuotesuunnittelu

Juho Kallio

Kokoonpanolinjan apuvälineen konseptisuunnittelu

Opinnäytetyö 2019

Tiivistelmä

Juho Kallio

Kokoonpanolinjan apuvälineen konseptisuunnittelu, 35 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Kone- ja tuotesuunnittelu

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: lehtori Tuomo Liimatainen, Saimaan ammattikorkeakoulu, Senior Design Engineer Kari Pulkkinen, The Switch Drive Systems Oy

Tämän opinnäytetyön aiheena oli kehittää tuotannon apuvälineiden konsepti-ideoita The Switch Drive Systems Oy:lle. Työn tavoitteena oli laatia konseptitason ideoita kestopagneettigeneraattorin kokoonpanolinjan apuvälineistä ja tehdä niille pisteytys, jonka pohjalta yritys voi valita parhaan idean jatkokehittäväksi.

Opinnäytetyössä käsiteltiin yleisesti tuulivoiman tuottamista, tuulivoimaloiden rakennetta ja niissä esiintyvää tekniikkaa. Erikseen käytiin läpi myös pyörivien sähkökoneiden toiminta ja rakenne sekä nykyään yleisesti tuulivoimaloissa esiintyvä kestopagneettigeneraattorin toiminta, rakenne ja hyödyt. Työssä perehdyttiin myös tuotannon erilaisiin lay-out-ratkaisuihin sekä yleisiin suunnitteluprosessin vaiheisiin.

Osana konseptisuunnittelua esiteltiin myös The Switch Drive Systems Oy:n Vaasan toimipisteen generaattorin kokoonpanolinja ja sen suurin ongelmakohta. Työssä esitettiin konsepti-ideoihin johtanut prosessi ja ideoiden kehitys sen aikana.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi viisi erilaista konsepti-ideaa, joiden pohjalta valittiin paras idea jatkokehitykseen yrityksen toimesta.

Avainsanat: Konsepti, kestopagneettigeneraattori, kokoonpano

Abstract

Juho Kallio

Conceptual design of production tool for assembly line, 35 Pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology, Lappeenranta

Mechanical Engineering

Specialisation in Machine Design

Bachelor's Thesis 2019

Instructors: Mr. Tuomo Liimatainen, M.Sc., Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences

Mr. Kari Pulkkinen, Senior Design Engineer, The Switch Drive Systems

The purpose of the study was to design conceptual ideas of a production tool for a large permanent magnet generator's assembly line. The results of this study worked as a base for a further development. The work was commissioned by The Switch Drive Systems Oy.

This thesis contains basic information about the production of wind energy and the technology used in wind turbines. In addition, construction and action of rotating electrical machines and permanent magnet generators are explained. The information was gathered from literature, the internet and from the company. Also, a visit to the company's production unit in Vaasa was a part of the study. In Vaasa, information about the generator's assembly and operation of the assembly line was gathered.

As a result of this thesis five different conceptual ideas were made. These five ideas were evaluated with scoring matrix. The results of the matrix worked as a basis for the company to select the best idea for a further development.

Keywords: Concept, permanent magnet generator, assembly

Sisällys

1	Johdanto	5
1.1	The Switch Drive Systems Oy	5
1.2	Työn tausta ja tavoitteet	5
2	Tuulivoiman tuottaminen	5
2.1	Voimalatyypit	7
2.2	Tuuliturbiinin rakenne	8
3	Pyörivät sähkökoneet	11
3.1	Rakenne	12
3.2	Toiminta	13
3.3	Kestomagneettigeneraattori	13
4	Tuotannon layout-ratkaisut	15
4.1	Prosessilähtöinen layout	15
4.2	Tuotelähtöinen layout	16
5	Suunnitteluprosessi	17
6	Generaattorin kokoonpano	19
7	Kokoonpanolinjan ongelmakohta	20
8	Kehitysideat	24
8.1	Alustavat ideat	24
8.2	Jatkokehitys	26
8.2.1	Kääntöpöytä 1	26
8.2.2	Kääntöpöytä 2	27
8.2.3	Kääntöpukki	28
8.2.4	Vinssinostopalkki	29
8.2.5	Kääntörauta	30
9	Tulosten arviointi	30
10	Loppupäätelmät	33
	Lähteet	34

1 Johdanto

1.1 The Switch Drive Systems Oy

The Switch Drive Systems Oy on vuonna 2006 perustettu yritys, jonka toimialana on sähkömoottoreiden, generaattorien ja tajuusmuuttajien valmistus. Yhtiö valmistaa kestromagneettigeneraattoreita ja tehonmuokkaimia tuulivoimaloihin. Lisäksi yhtiö valmistaa myös erilaisia energiaa säästäviä sovelluksia käytettäväksi meriteollisuudessa, kuten akseligeneraattoreita laivoissa ja muita pyöriä sähkömoottoreita. Vuodesta 2014 alkaen The Switch on kuulunut osaksi suurta Yaskawa-konsernia (The Switch 2019). Yhtiön liikevaihto vuonna 2018 oli 66,4 Meur ja työllisti 123 henkilöä. Suomessa yhtiöllä on toimipisteitä Helsingissä, Vaasassa ja Lappeenrannassa (Kauppalehti 2019).

1.2 Työn tausta ja tavoitteet

Tämän työn taustalla on The Switch Drive Systems Oy:n erään tuulivoimageraattorin tuotantomäärän nouseminen, jonka johdosta generaattorin kokoonpanoa halutaan nopeuttaa. Kokoonpanolinjalla on hitaita työvaiheita, joita yritys haluaa saada nopeammiksi. Kokoonpanon nopeutuminen toisi yritykselle huomattavia rahallisia voittoja.

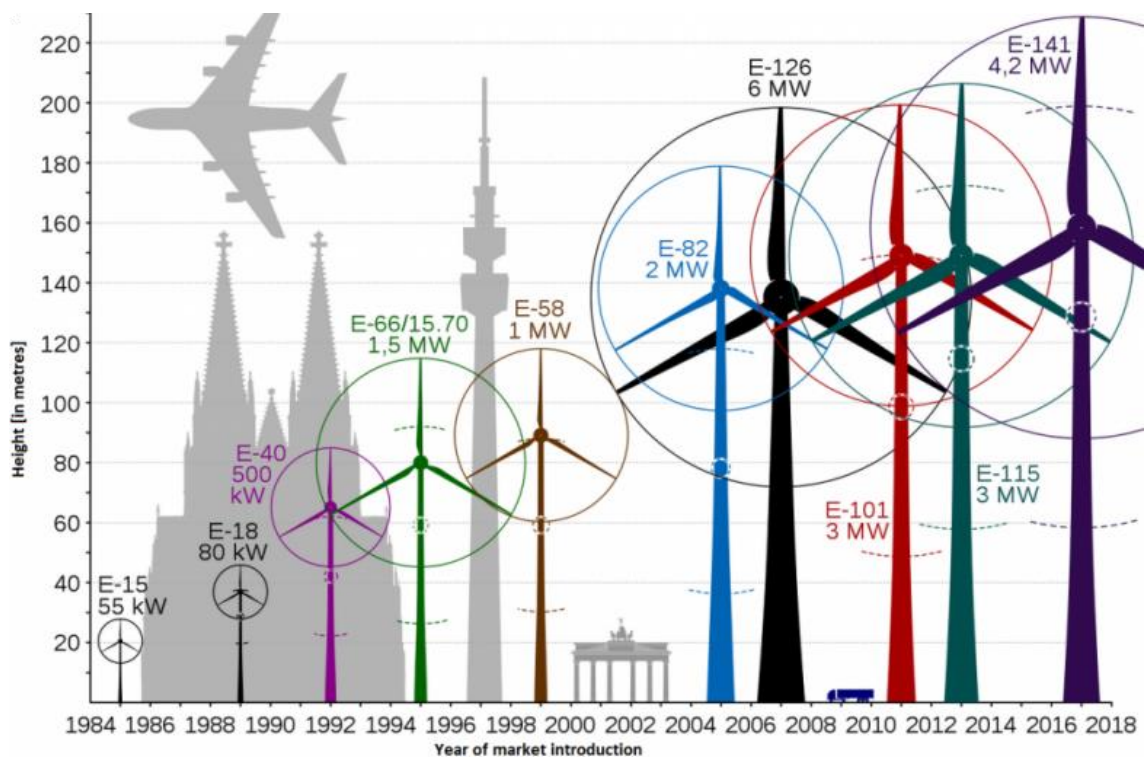
Työn tavoitteena on tehdä yritykselle kokoonpanon apuvälineestä erilaisia konsepti-ideoita, joilla generaattorin kokoonpanoa voidaan nopeuttaa. Konsepti-ideoista erotellaan pisteytysmatriisilla paras idea, jonka yritys voi ottaa myöhemmin jatkokehitykseen.

2 Tuulivoiman tuottaminen

Tuulivoimassa hyödynnetään ilman virtauksen liike-energia muuntamalla se sähköksi tuuliturbiineilla. Toimiakseen tuulivoimala tarvitsee vähintään 3,5 m/s tuulen. Kuitenkaan tuulivoimala ei yleensä pysty toimimaan yli 25 m/s tuulessa mahdollisten laitevaurioiden takia. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2019.)

Voimaloiden kokoa kuvataan niiden nimellisteholla (esim. MW), roottorin halkaisijalla, vuosituotolla tai napakorkeudella. Yleisimmin käytetty termi on nimellisteho, joka on voimalan enimmillään tuottama teho. Voimalan antama vuosituotto on sen yhdessä vuodessa tuottaman energian määrä. Vuosituoton yksikkönä käytetään esim. kWh/a, MWh/a tai GWh/a. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2019.)

Tuulivoimaloiden koko on kasvanut 25 viime vuoden aikana moninkertaiseksi ja niiden tekniikka on kehittynyt paljon. Kun ensimmäiset tuulivoimalat tehtiin vuonna 1981, niiden roottorin halkaisija oli noin 15 metriä. Nykyään suurimpien maatuulivoimaloiden roottorin halkaisija voi olla jopa 140 metriä. Ensimmäisten voimaloiden teho oli noin 55 kilowattia, kun nykyään suurten maatuulivoimaloiden teho on jopa 5000 kilowattia ja merituulivoimaloiden teho yli 10000 kilowattia. Kuvassa 1 on esitetty tuulivoimalavalmistajan Enerconin voimaloiden koon kasvu 80-luvulta alkaen. Ensimmäisiin tuulivoimaloihin verrattuna modernien voimaloiden vuosituotto on yli satakertaistunut. Suomessa vuoden 2017 lopussa oli toiminnassa noin 700 tuulivoimalaa, joiden kokonaiskapasiteetti oli 2044 MW. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2019.)

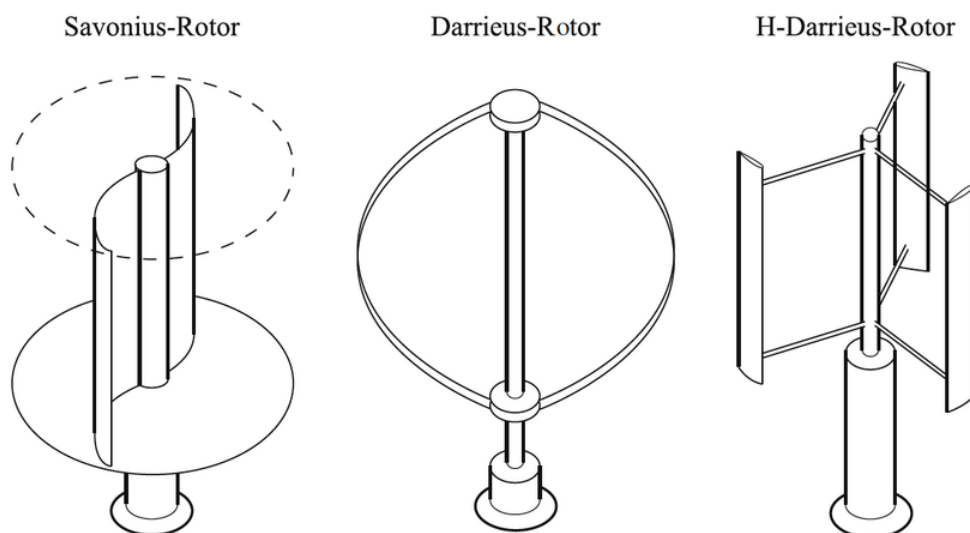


Kuva 1. Voimalavalmistaja Enerconin voimaloiden koon kasvu (Suomen Tuulivoimayhdistys 2019)

2.1 Voimalatyypit

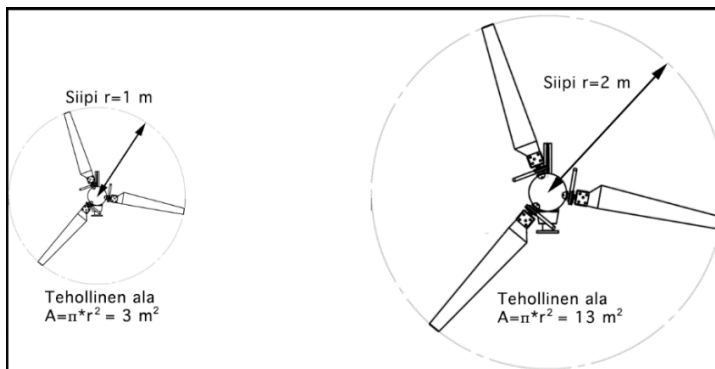
Tuulivoimalat voidaan yleisesti jakaa kahteen eri tyyppiin niiden akselin asennon mukaan: vaaka-akselisiin ja pystyakselisiin. Yleisimmät voimalat ovat vaaka-akselisiä, mutta esimerkiksi kaupunkiympäristössä kiinteistöjen katoilla käytetään pystyakselisiä voimaloita. Voimalasta saatava tuotto on suoraan verrannollinen sen pyyhkäisynta-alaan ja myös napakorkeuden kasvaessa tuotto kasvaa, sillä tuulen nopeus on suurempi mitä korkeammalla voimala on. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2019.)

Pystyakselisiä voimaloita on erilaisia, mutta yleisimmät ovat Savonius-, Wind-side- ja Darrieus-malliset voimalat. Kuvassa 2 on esitetty kolme erilaista pystyakselistä tuulivoimalamallia. Pystyakselisissä voimaloissa etuna on se, että ne toimivat tuulen suunnasta riippumatta, eli erillistä suuntausta ei tarvita. Pystyakselisien voimaloiden pyyhkäisynta-ala on pyörivän rottorin suurin tuulta vastaan olevan kohtisuora pinta-ala. Kuitenkin pystyakselisien voimaloiden antama teho on vaatimaton, sillä ne ovat yleensä lähellä maan pintaa, jolloin turbulentsit il-mavirtaukset vaikuttavat niiden toimintaan negatiivisesti. Myös tehon kasvattaminen on haastavaa, sillä pyyhkäisynta-alan lisääminen pystyakselisissä voimaloissa on vaikeaa. Pystyakselisiä tuulivoimaloita käytetään yleisesti kiinteistöjen katoilla kaupunkiympäristössä sekä telemastoissa. (Suomen Tuulivoimayhdistys.)



Kuva 2. Pystyakseliset voimalatyypit (Schaffarczyk 2014)

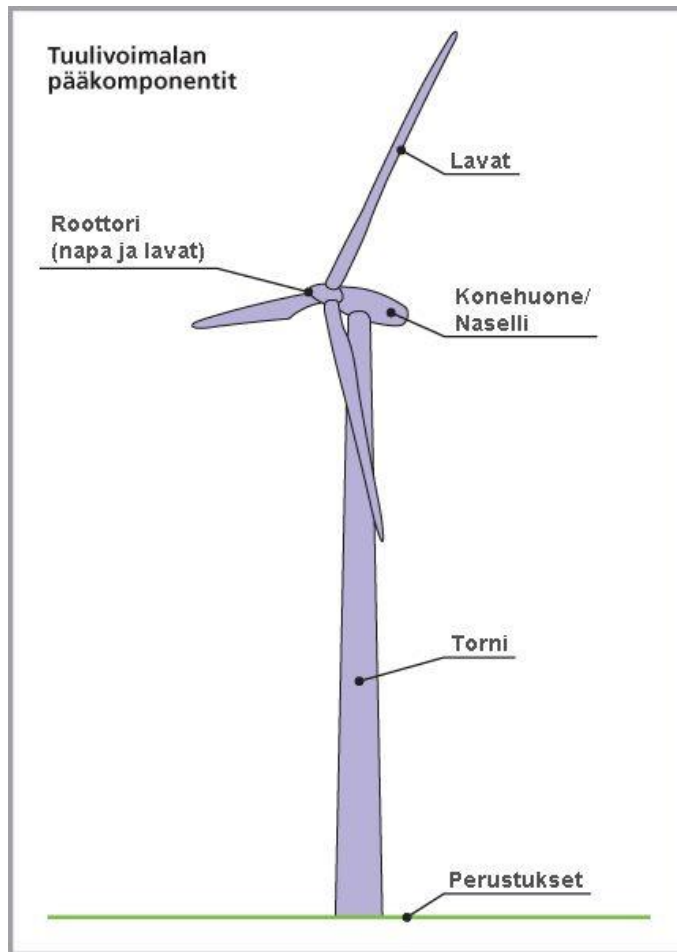
Nykyaikaiset vaaka-akseliset voimalat ovat huomattavasti tehokkaampia kuin pystyakseliset, sillä niiden pyyhkäisyypinta-ala on suurempi. Vaaka-akselisissa voimaloissa pyyhkäisyypinta-ala muodostuu lapojen kärkien piirtämästä ympyrän pinta-alasta. Vaaka-akselisen tuulivoimalan lavan pituuden vaikutus sen pyyhkäisyypinta-alaan on havainnollistettu kuvassa 3. Vaaka-akseliset voimalat jaetaan nykyisin myös onshore- ja offshore voimaloihin, eli maa- ja merituulivoimaloihin. Nimensä mukaisesti merituulivoimalat ovat rakennettu merelle, kun taas maatuulivoimalat ovat rakennettu maalle. (Suomen Tuulivoimayhdistys.)



Kuva 3. Lavan pituuden vaikutus pyyhkäisyypinta-alaan (Suomen Tuulivoimayhdistys 2011)

2.2 Tuuliturbiinin rakenne

Modernit tuulivoimalat, joilla sähköä tuotetaan, koostuvat roottorista, konehuoneesta eli nasellista, tornista ja perustuksista. Konehuoneesta löytyvät muun muassa vaihteisto ja generaattori, mutta suoravetoisessa voimalassa ei ole vaihteistoa. Roottori koostuu lavoista ja navasta. Modernin tuulivoimalan pääkomponentit ovat esitetty kuvassa 4.



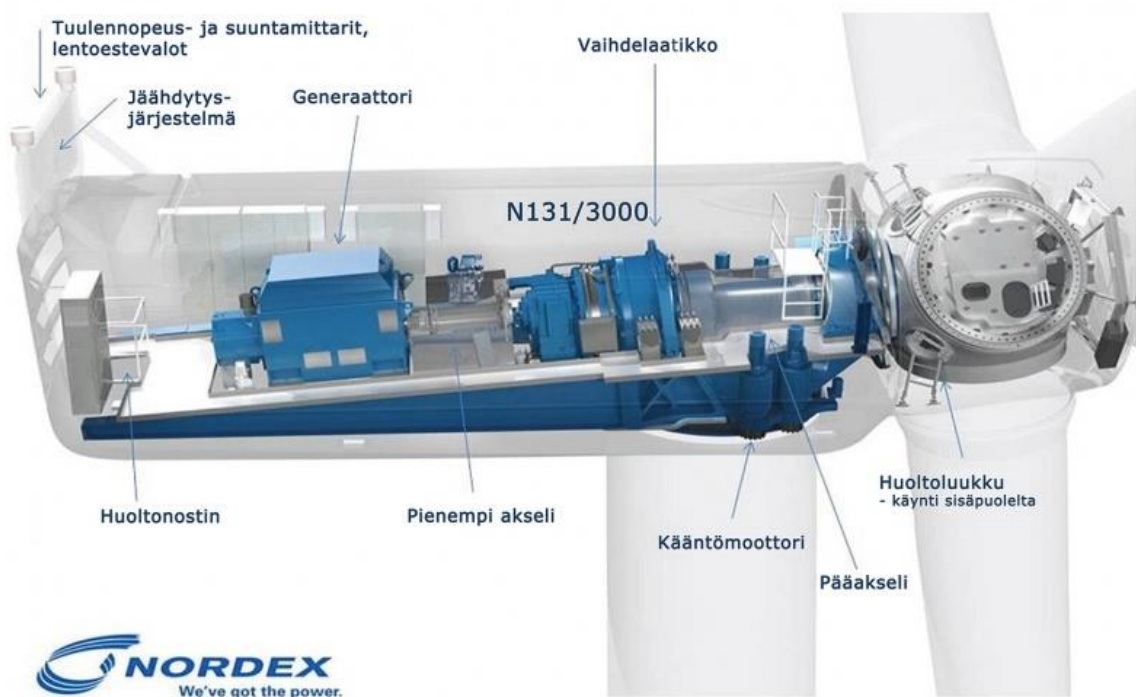
Kuva 4. Tuulivoimalan pääkomponentit (Suomen Tuulivoimayhdistys 2019)

Yleisin eurooppalainen tuulivoimalan torni on teräksinen putkirakenteinen torni, kun taas esimerkiksi USA:ssa käytetään myös ristikkorakenteisia torneja. Torni on yleensä kiinnitetty juurestaan betoniseen perustukseen. Voimaloiden kasvamisen myötä on myös nykyään ns. hybriditorneja, jotka ovat valmistettu osittain betonista ja teräksestä. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2019.)

Lähes kaikissa moderneissa tuulivoimaloissa on kolme lapaa, sillä kolmilapainen roottori on pyörähdyssymmetrisesti tasapainossa ja massahitusvoimat ovat tasapainossa kaikkien akselien suhteen. Kolmilapainen roottori on myös esteettisesti miellyttävän näköinen. Jos roottorissa on vain kaksi lapaa, aiheutuu koneistolle tuuleen kääntäessä epätoivottua tärinää. Myöskään lapojen määrä ei merkittävästi vaikuta saatavaan energian määrään, jonka takia kolmelapainen roottori on kaikista yleisin. Pisimmät Suomessa olevat lavat ovat noin 70 metriä

pitkiä. Lavat ovat valmistettu yleisesti komposiittimateriaaleista. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2019.)

Voimalan konehuoneessa sijaitsevat vaihteisto, generaattori, muuntaja sekä säätö- ja ohjausjärjestelmät (ks. kuva 5). Muuntaja ja ohjauskeskukset voivat sijaita joissakin voimaloissa myös tornin alaosassa painonsäästösyistä. Konehuoneen runko on tyypillisesti rakennettu teräksestä ja sen ympärillä oleva suojaava kuori on taas valmistettu lasikuidusta. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2019.)

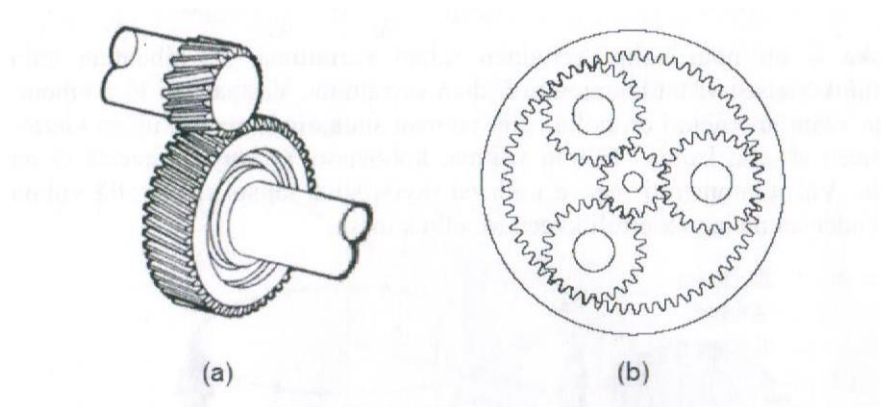


Kuva 5. Tuulivoimalan konehuoneen komponentit (Suomen Tuulivoimayhdistys 2019)

Osaa, johon tuulivoimalan lavat kiinnittyvät, kutsutaan navaksi. Sen tehtävänä on välittää lapojen tuottama energia generaattorille. Jos tuulivoimalassa on vaihteisto, niin keskiö on kytkettynä vaihdelaatikkoon, joka muuttaa pienemmän akselin pyörimisnopeutta. Jos tuulivoimala on suoravetoinen, keskiö välittää energian suoraan generaattorille. Keskiön sisällä jokaisella lavalla on kääntömoottorit, joiden avulla voidaan lapoja kääntää tuuleen päin tai poispäin. Tällä säädöllä voidaan vaikuttaa saatavan tehon suuruuteen. (Gizenergy 2019.)

Suurissa tuulivoimaloissa konehuoneen alaosassa on kääntömootori, jolla voimaa saadaan tarpeen vaatiessa käännettyä kohtisuoraan tuulta kohti. Pienemmissä voimaloissa ei tällaista kääntömootoria ole, vaan voimalan kääntö tapahtuu yleensä niissä olevan peräsimen avulla automaattisesti. Isojen voimaloiden kääntöä varten pitää tietenkin tietää tuulen suunta, jonka vuoksi voimaloissa on myös tarvittavat laitteistot tuulen suunnan mittaamiseen. (Korpela 2016, s.49, 51.)

Tuulivoimaloissa käytettyjen vaihteistojen avulla saadaan muutettua generaattorin roottorin pyörimisnopeus sille sopivaksi, jopa tuhansiin kierroksiin minuutissa, jonka ansiosta generaattorilta saadaan paras hyötysuhde. Nykyään vaihteettomat eli suoravetoiset voimalat ovat kasvattaneet suosiotaan, sillä vaihdelaatikon vikaantuminen on ollut yleisin syy tuulivoimalan pysähtymiselle. Vaihteettomien voimaloiden generaattorit ovat yleisesti kalliimpia kuin vaihteellisten, mutta vaihteettomuus lisää vastapainona voimalan luotettavuutta. Suomessa toimivien tuulivoimaloiden vika-ajasta vuonna 2010 peräti 23,7 prosenttia oli vaihdelaatikon aiheuttamia. Suurissa vaihteellisissa voimaloissa käytetään painonsäästö syistä planeettavaihteistoa (b), kun taas pienissä voimaloissa voidaan käyttää perinteisempää rinnakkaisvaihteistoa (a) (ks. kuva 6). (Korpela 2016, s. 50, 51, 97.)



Kuva 6. Tuulivoimalan vaihteistotyypit (Korpela 2016)

3 Pyörivät sähkökoneet

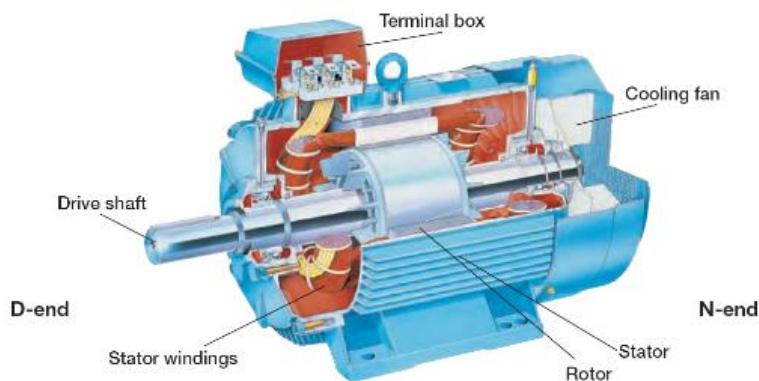
Pyörivät sähkökoneet ovat laitteita, joilla muutetaan mekaanisen pyörimisliikkeen energia sähköenergiaksi tai päinvastoin. Kun mekaaninen energia muutetaan

sähköksi, puhutaan generaattorista, ja kun sähköenergia muutetaan mekaaniseksi energiaksi, puhutaan sähkömoottoreista. (Aura & Tonteri 2009, s.304.)

Sähkökoneet voidaan jakaa vaihtosähkö- ja tasasähkökoneisiin. Yleisimmät sähkökonetyypit ovat vaihtovirtageneraattori ja tasasähkömoottori, ja etenkin tasasähkömoottoreita käytetään paljon eri teollisuuden aloilla niiden säätömahdollisuuksien takia. Vaihtosähkögeneraattoreita käytetään puolestaan, koska vaihtosähkön jännitettä voidaan muuttaa muuntajan avulla, jolloin siitä saatua sähköä voidaan siirtää pitkiäkin matkoja taloudellisesti. Vaihtosähkökoneiden, epätahtitai tahtikoneiden, toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään, ja nimensä ne ovat saaneet siitä, pyöriikö koneen osa tämän magneettikentän kanssa samalla tai eri nopeudella. Jos koneen magneettikenttä pyörii samalla nopeudella, puhutaan tahtikoneesta, ja jos se pyörii eri nopeudella, niin kyseessä on epätahtikone. (Aura & Tonteri 2009, s.304, 305.)

3.1 Rakenne

Pyörivä sähkökone muodostuu yleisesti staattorista, roottorista, laakerikilvistä, liukurenkaista ja rungosta. Staattorilla ja roottorilla on käämitys (eng. winding). Kuvassa 7 on esitetty oikosulkumoottorin rakenne ja siinä yleisesti esiintyvät osat.



Kuva 7. Oikosulkumoottorin perusrakenne (Listenlights University 2019)

Staattori on lieriömäinen teräslevypaketti, jonka sisäpinnalla oleviin uriin on asennettu käämitys. Staattori on kiinteä osa moottoria, eli se ei pyöri. Roottori on levyistä koottu napapyörä, joka pyörii staattorin sisällä. Roottori magnetisoidaan

oikosulkumoottorissa tasasähköllä. Roottorille tuleva virta tuodaan akselilla olevien liukurenkaiden kautta. (Halmemies 1981, s.28, 29.)

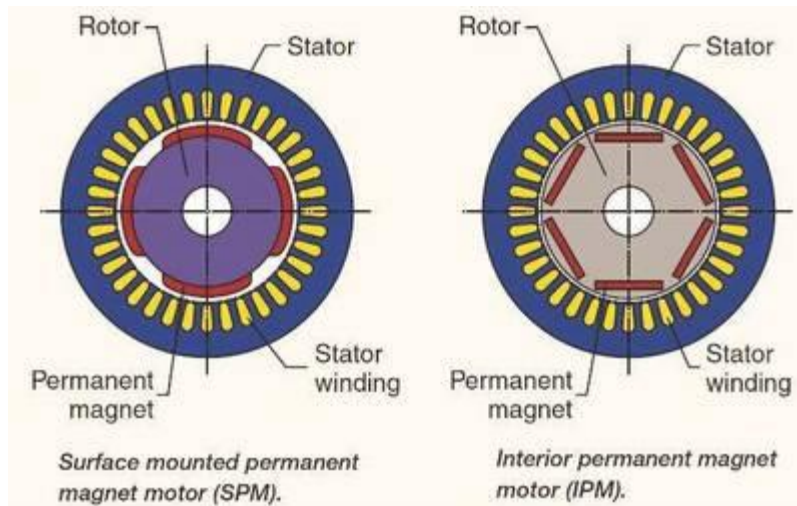
3.2 Toiminta

Roottoria pyöritettäessä sen magneettikenttä pyyhkii staattorilla olevaa käämistä, jonka takia syntyy sähkömotorinen voima. Voiman suuruus riippuu magneettivuon tiheydestä, johtimien pituudesta, kierroksien lukumäärästä ja pyörimisnopeudesta. Moottorin taajuus pidetään vakiona, jonka vuoksi myös pyörimisnopeus on pidettävä vakiona. Taajuus on tavallisesti 50 Hz. (Halmemies 1981, s.30.)

3.3 Kestomagneettigeneraattori

Kestomagneettigeneraattori on kone, jonka toimintaperiaate on sama kuin muissa generaattoreissa, mutta sen roottorissa ei ole käämistä. Nimensä mukaisesti, käämistyksen sijaan ketomagneettigeneraattorin roottoriin on kiinnitettyjä magneetteja, joiden avulla se magnetisoidaan. Kestomagneettigeneraattori edustaa tahtikoneita, eli sen magneettikenttä pyörii samalla nopeudella roottorin kanssa. (Control Engineering 2019.)

Kestomagneettigeneraattorit voidaan yleisesti jakaa kuvassa 8 esitettyihin kahteen eri ryhmään: pintamagneettigeneraattoreihin (Surface Permanent magnet Motors, SPM) ja sisämagneettigeneraattoreihin (Interior Permanent magnet Motors, IPM). Pintamagneettigeneraattoreissa magneetit ovat asennettu roottorin ulkopinnalle, kun taas sisämagneettigeneraattoreissa magneetit ovat asennettu roottorin sisälle. SPM-koneiden pyörimisnopeus on rajoitettu, sillä magneettien kiinnitystapa vähentää niiden mekaanista kestävyyttä. Suurissa nopeuksissa vaarana on siis magneettien irtoaminen roottorin ulkopinnalta. IPM-koneissa magneettien kiinnityksen mekaaninen kestävyys on vältetty asentamalla magneetit roottorin sisään, jolloin kone soveltuu myös suuriin pyörimisnopeuksiin. (Control Engineering 2019.)



Kuva 8. Magneettien kiinnitys roottoriin (Control Engineering 2019)

Kestomagneettigeneraattoreita käytetään yleensä vaihteettomissa tuulivoimaloissa, jolloin generaattorin roottori pyörii samalla nopeudella kuin tuulivoimalan keskiö. Kun generaattorin pyörimisnopeus on vaihteleva, ei siitä saatavaa sähköenergiaa voida syöttää suoraan sähköverkkoon, vaan se joudutaan muokkaamaan muuntajan avulla sähköverkon taajuudelle sopivaksi. Myös vaihteellisia kestomagneettigeneraattorisovelluksia käytetään tuulivoimaloissa. (Korpela 2016, s. 82.)

Verrattuna normaaliin sähkökoneeseen, voidaan kestomagneettikonella saada useita hyötyjä:

- Parempi hyötysuhde
- Suurempi vääntömomentin ja tehon suhde koneen tilavuuteen kuin tavallisessa sähkökoneessa
- Parempi dynaaminen suorituskyky
- Rakenteen ja huollon yksinkertaisuus
- Kustannusten alentuminen joillakin konetyypeillä. (Gieras, J & Wing, M. 1997, s.1.)

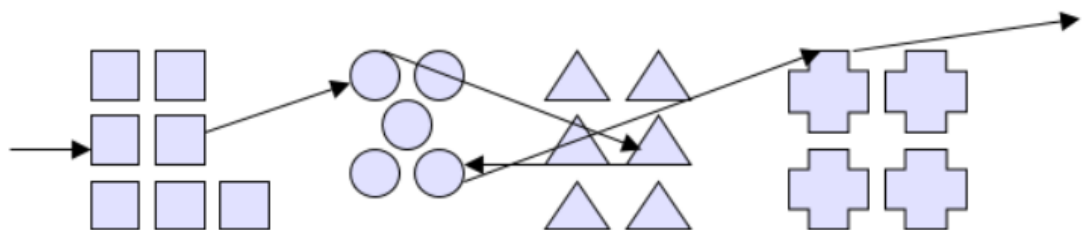
4 Tuotannon layout-ratkaisut

Layoutilla tarkoitetaan teollisuuden alalla, miten jokin tuotantotila on järjestelty. Järjestelyllä tarkoitetaan laitteiden, työpisteiden, varastojen ja muiden tarvittavien asioiden sijoittelua tuotantotilassa. Layout on merkittävä tekijä tuotannon sujuvuuden ja tehokkuuden kannalta. Hyvän layoutin piirteitä ovat: turvallisuus työntekijöille ja vieraille, sujuvat materiaalivirrat, minimaalinen läpimenoaika, minimaalinen työntekijöiden turha liikkuminen, hyvän laadun tuottaminen ja tehokas käytettävän tilan hyödyntäminen. Sujuvat materiaalivirrat ovat tärkeä osa hyvää layoutia, sillä tuotteita tai materiaaleja ei haluta kuljettaa pitkiä matkoja tai edestakaisin tuotantotilassa. Hyvä ja tehokas päämateriaalivirta on usein suora tai U:n muotoinen. Erilaiset layout-ratkaisut voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: prosessi- ja tuotelähtöisiin layouteihin. (Logistiikan Maailma 2019.)

4.1 Prosessilähtöinen layout

Prosessilähtöisessä layoutissa, joka tunnetaan myös nimellä funktionaalinen layout, kerätään keskenään samat resurssit yhteen ryhmiksi. Nämä ryhmät ovat resursseja kuvaavia, kuten hitsaamo ja sorvaamo. Tällaisessa järjestelyssä tuote ohjataan niille työpisteille, joita tuote tarvitsee. Kuvassa 9 on esitetty funktionaalisen layoutin toimintaperiaate, jossa erilaiset geometriat kuvaavat resurssiryhmiä ja nuolet tuotteen kulkureittiä. (Lapinleimu 1997, s. 79, 80.)

Funktionaalinen layout



Kuva 9. Funktionaalinen layout (Logistiikan maailma 2019)

Etuna funktionaalisella systeemillä on sen suuri tuotejoustavuus, sillä tällä systeemillä voidaan valmistaa kaikkea, mitä sen sisältämillä resursseilla on valmistettavissa. Etuna on myös kapasiteetin käytön tehokkuus, joka on helppo saada

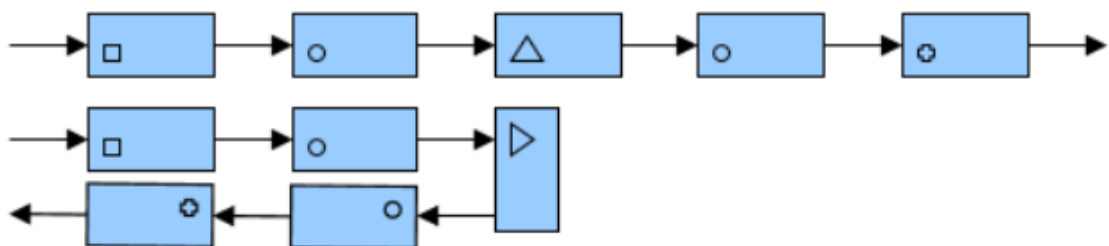
lähes 100-prosenttiseksi. Negatiivinen piirre funktionaalisessa systeemissä on tuotteiden huono ohjattavuus. Huono ohjattavuus tarkoittaa sitä, että tuotteet voivat kulkea erilaisia reittejä prosessin läpi, jolloin tuotteilla ei ole selvää kulkureittiä tuotantotilassa. (Lapinleimu 1997, s. 79, 80.)

4.2 Tuotelähtöinen layout

Tuotelähtöisiä layout-ratkaisuja on erilaisia, mutta niiden yhteisenä tekijänä on tuotteen luonnollinen valmistusjärjestys. Tuotelähtöisiä layout-ratkaisuja ovat esimerkiksi valmistuslinjat ja solulayoutit. (Lapinleimu 1997, s. 81.)

Valmistuslinjassa kaikilla tuotteilla on sama työnkulku. Valmistuslinjat voidaan jakaa tahtilinjoihin ja epätahtilinjoihin. Tahtilinjassa kaikki tuotteet liikkuvat linjastolla eteenpäin samanaikaisesti. Tahtilinjain kapasiteetti määräytyy pisimmän työvaiheen ajasta vaihtoaikoineen ja tämä aika on myös tahti, jolla valmiita tuotteita valmistuu. Esimerkkinä pakkotahtisesta valmistuslinjasta on tyypillinen autotehdas. Epätahtilinjain periaate on sama kuin tahtilinjain, mutta linjaston liike ei ole pakotettu. Työasemien välissä voi olla puskurivarastoja, jolloin yhden työpisteen toiminta ei ole riippuvainen edellisestä tai seuraavasta vaiheesta. Tuotantolinjain hyviä puolia on sen hyvä ohjattavuus, mutta huonona puolena on sen huono tuotejoustavuus. (Lapinleimu 1997, s. 83-85.)

Tuotantolinja

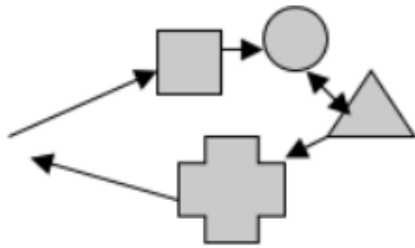


Kuva 10. Tuotantolinjain periaate (Logistiikan maailma 2019)

Solulayout on myös tuotelähtöinen ratkaisu, mutta nimensä mukaisesti se koostuu soluista. Solut ovat pieniä itsenäisiä valmistusyksiköjä, joissa isomman tuotteen osakokonaisuus valmistetaan yhdessä yksikössä. Jokaisella solulla on

oma tuote, alue, tuotantokalusto, henkilöstö ja vastuu solun toiminnasta. Kuvassa 11 on esitetty solulayoutin toimintaperiaate, jossa erilaiset geometriset kuviot kuvaavat yksittäistä solua. Solulayoutin hyviä puolia ovat sen selkeä ohjattavuus ja lyhyt läpäisy aika, mutta se soveltuu vain pienille tuotantomäärille. (Lapinleimu 1997, s. 85, 92.)

Solulayout



Kuva 11. Solulayoutin periaate (Logistiikan maailma 2019)

5 Suunnitteluprosessi

Mekaaninen suunnittelu tarkoittaa komponenttien ja systeemien mekaanisen luonteen suunnittelua, joita ovat muun muassa koneet, tuotteet, rakenteet, laitteet ja instrumentit. Mekaanisessa suunnittelussa käytetään pääosin apuna matemaattikkaa, materiaaleja ja konetekniisiä tieteen aloja. (University of Florida 2019.)

Suunnitteluprosessi on yleensä jaettu erilaisiin vaiheisiin. Kaikki vaiheet eivät ole pakollisia, mutta seuraavaksi on esitetty yleinen suunnitteluprosessin kulku vaihe kerrallaan.

Tarpeen huomioiminen

Ensimmäinen askel suunnitteluprosessissa on määrittää projektin tarkoitus. Yleensä tällainen tulee yleisenä toteamuksena asiakkaalta tai sisäisesti, kun jokin asia ei ole kuin sen kuuluisi olla. Tässä vaiheessa ei oteta vielä kantaa, siihen ongelma voitaisiin korjata suunnittelun keinoin, vaan kerrotaan, mitä pitää korjata. (University of Florida 2019.)

Ongelman määrittely

Ongelman määrittely on suunnitteluprosessin kriittisimpiä vaiheita. Ongelman määrittelyn ja tarpeen huomioimisen välillä on eroa, sillä yleensä todellinen ongelma ei ole sitä, miltä se alussa saattaa näyttää. Ongelman määrittely on paljon tarkempi vaihe kuin tarpeen huomioiminen, sillä jonkin tarpeen täyttämiseen voi olla useita eri ratkaisuja. Ongelman määrittelyn vaiheen tulee sisältää kaikki suunniteltavan asian määrittelyt, eli kaikki asiat, jotka voivat rajoittaa suunnittelun vapautta. Yleensä tässä vaiheessa kirjoitetaan asiakirja, jossa kerrotaan, mitä suunnittelulla halutaan saavuttaa. (University of Florida 2019.)

Informaation kerääminen

Informaation keräämisen vaiheessa kerätään tietoa ongelman ratkaisemista varten. Usein tietoa ei ole helposti saatavilla tai sitten sitä voi olla jopa liikaa. Tämä vaihe on loputon tehtävä suunnittelijoille. Tietoa voidaan kerätä erilaisista lähteistä kuten kirjoista, internetistä, yhtiön sisäisistä dokumenteista ja henkilöstöltä. (University of Florida 2019.)

Konseptien tuottaminen

Konseptien tuottaminen on kaikista luovien osa suunnitteluprosessista. Kaikki alkaa yleensä ideoiden kirjaamisesta vihkoon tai muuhun vastaavaan. Konsepteja voidaan tuottaa monella eri tavalla, mutta esimerkiksi ns. "aivomyrsky" tai brainstorming ovat tällaisia tapoja. Tällaisessa tapahtumassa joukko ihmisiä, jotka tuntevat ongelman, kertovat millaisia ehdotuksia heillä tulee mieleen arvioilematta niitä. Myös perinteinen keskustelu aiheesta voi tuottaa ideoita. (University of Florida 2019.)

Konseptin valinta

Konseptin valinnassa käytetään yleensä valintamatriisia, jonka tavoitteena on vertailla eri ideoita keskenään. Valintamatriisissa käytetään eri painoarvoilla olevia tavoitteita, jotka suunnitteluryhmä ovat katsoneet tärkeiksi ongelman ratkaisemisen kannalta. Eri ideat saavat matriisin perusteella pisteitä, joiden pohjalta konsepti valitaan. (University of Florida 2019.)

Detalji suunnittelu ja analyysi

Detalji suunnittelun tarkoituksena on luoda halutusta tuotteesta tarkka matemaattinen malli, joka vastaisi tuotetta myös todellisuudessa. Tälle mallille tehdään tässä vaiheessa erilaisia analyysejä, kuten lujjuustarkastelua. (University of Florida 2019.)

Prototyypin kehitys ja testaus

Prototyyppi on ensimmäinen versio halutusta tuotteesta, mutta se on yleensä vähemmän viimeistely. Prototyypeillä testataan halutun ratkaisun toimivuutta todellisuudessa, jonka ansiosta ne auttavat tuotteen jatkokehityksessä kohti lopullista tuotetta. Tämä vaihe voidaan toistaa tarvittaessa, jotta testauksessa päästään haluttuihin tuloksiin. (University of Florida 2019.)

Valmistus

Kun testauksessa on päästy haluttuihin tuloksiin ja viimeinen versio tuotteesta on tehty, voidaan tuotteen valmistus asiakaskäyttöön aloittaa. Verrattuna prototyyppiversioon, asiakasversio on enemmän viimeistely tuote. (University of Florida 2019.)

6 Generaattorin kokoonpano

Osaksi opinnäytetyön tekemistä kuului käynti The Switchin Vaasan toimipisteessä, jossa tutustuin tarkemmin generaattorin kokoonpanoon ja tehtaan muuhun toimintaan. Generaattorin kokoonpano toteutetaan Vaasan toimipisteessä, jossa koneen eri osat liitetään toisiinsa. Kokoonpano toteutetaan seitsemässä eri vaiheessa, jotka ovat esivalmistelu, integraatio 1, integraatio 2, kaapelointi, testaus, viimeistely ja pakkaus. Tuotantotila on toteutettu siten, että materiaalivirta ei kulje missään vaiheessa ristiin muiden vaiheiden välillä. Layout tyypiltään Vaasan tehtaan tuotantotila muistuttaa eniten epätahtista valmistuslinjaa.

Esivalmistelussa staattorin ja roottorin osat puhdistetaan ja tarkistetaan koneen kokoonpanoa varten. Integraatiossa koneen roottori asennetaan staattorin sisään

ja lisäksi myös muita koneen osia, kuten jäähdytysjärjestelmä, kiinnitetään koneeseen tässä vaiheessa. Integraation jälkeen kone siirretään kaapelointiin, jossa asennetaan koneeseen tarvittavat johdotukset. Kaapeloinnin jälkeen kone on valmis testattavaksi.

Testauksessa koneelle tehdään rutiinitesti ja tyyppitestit. Rutiinitestissä testataan koneen toimivuus ilman kuormaa, jolloin koneesta voidaan havaita esimerkiksi epätasapainot. Tyyppitestissä konetta pyöritetään testigeneraattorilla, jonka aikana testattavasta koneesta mitataan sen antama teho. Viimeistelyssä koneesta paikkamaalataan mahdolliset virheet, asetetaan kuljetustuet ja valmistellaan kone pakkausta varten. Pakkauksessa kone siirretään kuljetusalustalle ja se suojataan kuormapeitteellä. Kaikkien näiden vaiheiden jälkeen generaattori on valmis kuljetusta varten.

7 Kokoonpanolinjan ongelmakohta

Tuotantomäärän nousemisen takia generaattorin läpimenoaikaa kokoonpanolinjalla halutaan pienentää, jonka johdosta tiettyjä vaiheita halutaan muuttaa nopeammiksi. Etenkin integraatiovaiheen jälkeinen siirto kaapelointiin vie aikaa, sillä kone pitää kääntää vaaka-asennosta pystyasentoon. Kääntö tehdään käyttäen erityisvalmisteisia kääntöjalkoja (ks. kuva 13), jotka asennetaan koneeseen sen ollessa vaaka-asennossa. Kääntöjalat ovat isot ja painavat ja niiden kiinnitykseen sekä liikuttamiseen menee suurin osa kääntöprosessin ajasta.



Kuva 13. Kääntöjalka (Juho Kallio 2019)

Kokonaisuudessaan generaattorin kääntöön menee aikaa noin 70 minuuttia, mutta lisäksi aikaa kuluu myös kääntöjalkojen irrotukseen seuraavassa vaiheessa. Lisäksi käännön suorittamiseen tarvitaan tuotantotilan molempia siltanostimia (ks. kuva 14), jonka takia myös muiden työvaiheiden työt voivat keskeytyä käännön takia.



Kuva 14. Siltanosturi (KoneCranes 2019)

Seuraavaksi on kuvattu generaattorin nykyinen kääntö vaiheittain. Ensin kääntöjalka pitää nostaa pystyyn ja kiinnittää se nostimeen. Tämän jälkeen voidaan aloittaa kääntöjalan asemoiminen kiinnitystä varten. Kun jalka on asemoitu, kiinnitetään se generaattorissa oleviin laippoihin kymmenellä pultilla ja mutterilla, sekä kahdella kierretangolla, jotka tukevat generaattorin laippoja. Kääntöjalan valmis kiinnitys generaattoriin on näytetty kuvassa 15. Sama prosessi tehdään myös toiselle kääntöjalalle, joka kiinnitetään toiselle puolelle generaattoria. Etenkin jalkojen asemoiminen oikealle kohdalle ja jalkojen kiinnitys vie paljon aikaa, sillä pulttien kiinnitys ja kiristys on yllättävän paljon aikaa vievä prosessi.



Kuva 15: Kääntöjalan valmis kiinnitys (Juho Kallio 2019)

Molempien kääntöjalkojen kiinnittämisen jälkeen valmistellaan siltanosturit kääntöä varten kiinnittämällä vaaditut nostoapuvälineet, jonka jälkeen nostimet kiinnitetään generaattoriin ja nostojalkoihin. Tässä vaiheessa käytetään kahta siltanosturia. Kun nostimet ovat kiinnitetty, voidaan generaattori nostaa pois integraatiopisteeltä ja siirtää se seuraavalle paikalle. Kuvassa 16 generaattori on siirretty kaapelointipisteelle, jossa se on valmis käännettäväksi.



Kuva 16. Generaattori valmiina kääntö varten (Juho Kallio 2019)

Siirron jälkeen kääntö tehdään kahden nosturin avulla ja kun generaattori on pystyasennossa, lasketaan se maahan. Kuvassa 17 generaattori on vielä kääntövaiheessa. Generaattori irrotetaan jaloista vasta, kun se siirretään seuraavaan vaiheeseen. Nostimien käyttö vaatii työntekijöiltä tarkkuutta ja hyvää kommunikaatiota, sillä nostimia ohjataan kahdella eri ohjaimella samanaikaisesti.



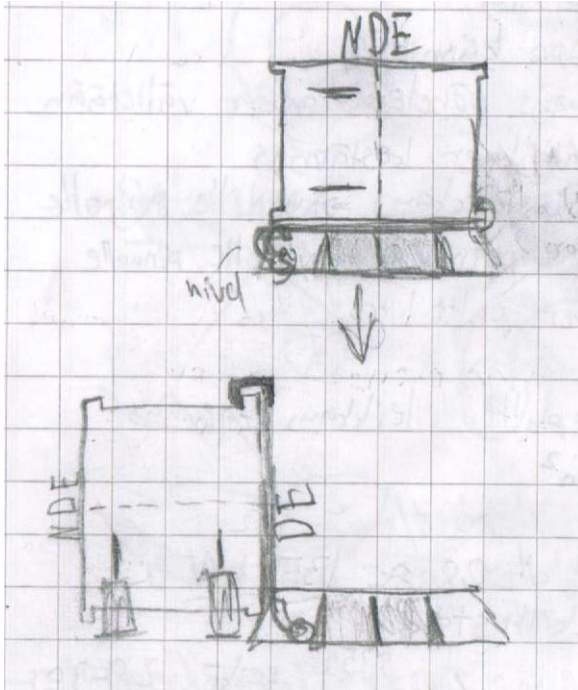
Kuva 17. Generaattori kääntövaiheessa (Juho Kallio 2019)

8 Kehitysideat

8.1 Alustavat ideat

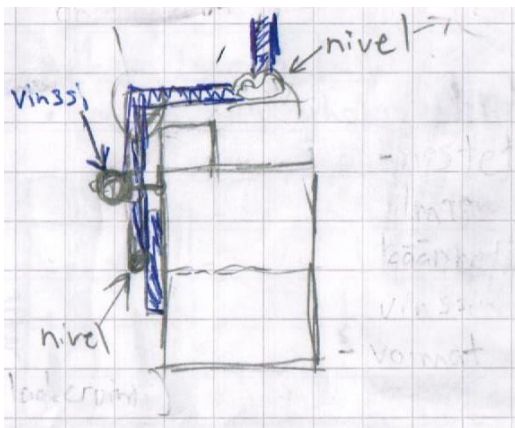
Generaattorin kääntöön haluttiin vaihtoehtoinen tapa, jolla generaattori käännetään. Suurimpana syynä uuden tavan kehittämiseksi oli käynnön nopeuttaminen, sillä nykyinen tapa on liian hidas etenkin, kun generaattorin tuotantomäärät nousevat.

Ensimmäisinä ideoina tehtaasta henkilöstöltä tuli jonkinlainen kääntöpöytä, jolla kääntö voitaisiin toteuttaa (ks. kuva 18). Integraatiovaiheessa generaattori on pyöreän pöydän päällä vaakasuorassa, jotta siihen tarvittavat komponentit voidaan asentaa. Alustavana ideana oli, että tämän pöydän ”kannen” voisi sarnoida jotenkin, jonka avulla generaattori voitaisiin nostaa pystyyn heti integraation jälkeen. Generaattori kiinnitetäisiin pöytään ja se nostamiseen käytettäisiin nykyiseen tapaan siltanosturia. Tästä ideasta kehittyi myös erillinen kääntöpukki, joka ei olisi kiinni integraatiopöydässä, vaan se olisi erillinen komponentti. Jokaiseen edellä mainittuun ideaan vaadittaisiin myös kaksi tukijalkaa, jotka tukevat generaattoria sen ollessa pystyasennossa käynnön jälkeen. Yritys oli aikaisemmin jo tutkinut hydraulisen kääntöpöydän mahdollisuutta, mutta tämä ajatus ei ollut kustannustehokas, joten mahdollisen kääntöpöydän täytyisi toimia ilman hydraulikkaa.



Kuva 18. Käsintehtyjä luonnoksia (Juho Kallio 2019)

Vaihtoehtoisena ideana tehtaan henkilöstöltä tuli myös eräänlainen saranoitunostopuväline, jonka avulla kääntö voitaisiin tehdä generaattorin ollessa ilmassa. Apuvälineessä olisi vinssi, jonka avulla generaattori saataisiin käännettyä. Nostopuvälineen luonnos on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Käsintehtyjä luonnostelmia (Juho Kallio 2019)

Alle on listattu laitteelle haluttuja vaatimuksia ja toiveita:

- Siltanostimella käytettävä
- Ei-hydraulinen

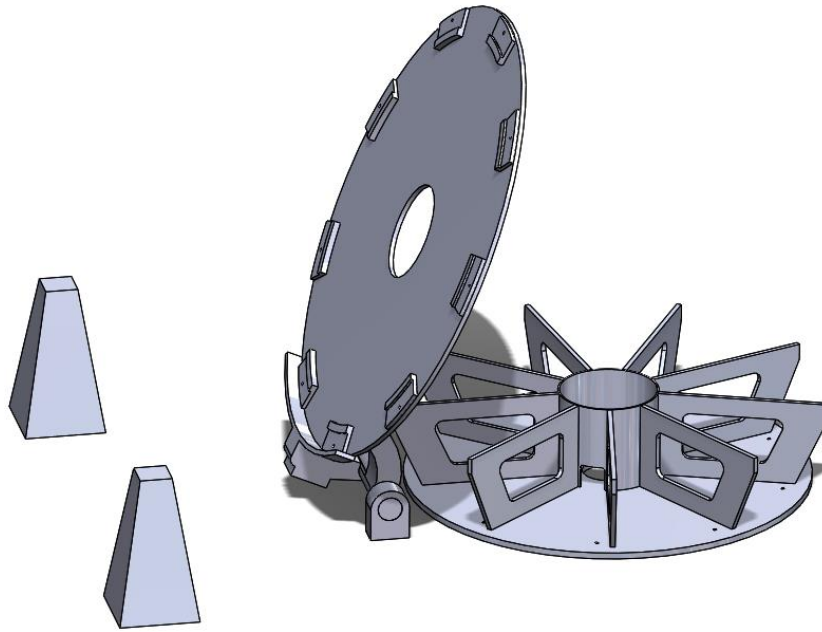
- Nopeampi käyttää
- Integraatiovaiheessa käytettävä
- Turvallinen
- Nykyisen integraatiopöytämallin hyödyntäminen.

8.2 Jatkokehitys

Luonnosvaiheesta jatkokehitysvaiheeseen otettiin alustavista ideoista kääntöpöytä, erillinen kääntöpukki ja vinssillä toimiva nostoapuväline. Näistä vaihtoehdoista kehitettiin muutama erilainen konsepti käyttämällä 3D-mallinusohjelmia. Myöhemmin kehittyi myös ajatus yksinkertaisemmasta nostoraudasta, jonka avulla generaattori voitaisiin kääntää. Tehdyt mallit eivät ole valmiita tuotteita, vaan ainoastaan konseptitason suunnitelmia. Konseptisuunnittelussa tavoitteena on mallintaa mahdollisen välineen toiminta ja alustava rakenne jatkokehitystä varten. Suunnittelun perusteena käytetään siltä haluttuja ominaisuuksia ja vaatimuksia. Konseptisuunnittelun apuna käytettiin generaattorin kokoonpanossa käytettävän integraatiopöydän 3D-mallia.

8.2.1 Kääntöpöytä 1

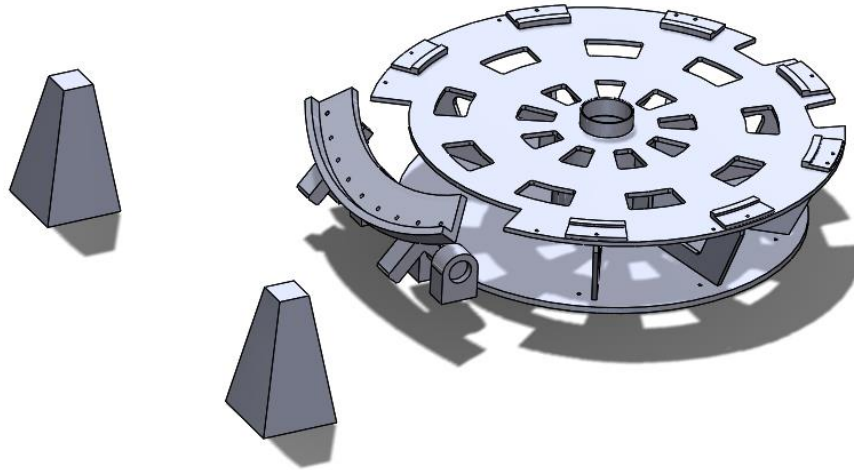
Ensimmäisen konsepti-idean ajatuksena oli integraatiopöydän päällimmäisen levyn kääntyminen generaattorin kääntämisen mukana. Integraatiopöydän päällimmäinen levy olisi erillinen osa, joka on saranoitu laakeripukkien avulla. Nosto tapahtuisi käytännössä siten, että siltanosturi kiinnitettäisiin generaattoriin ja nostinta käyttämällä generaattori saataisiin nostettua pystyyn. Generaattori olisi ennen nostoa kiinnitetty pöydän levyyn, jotta se pysyisi käännön aikana paikoillaan. Käännön jälkeen generaattori tuettaisiin erillisillä pukeilla, jotta mahdolliset valmistelut siirtoa varten voidaan tehdä turvallisesti. Generaattorin kiinnittäminen kääntöpöydän levyyn voi olla hankalaa riippuen kiinnityspisteiden sijainneista. Ensimmäisen kääntöpöydän rakenne on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Kääntöpöytä 1 (Juho Kallio 2019)

8.2.2 Kääntöpöytä 2

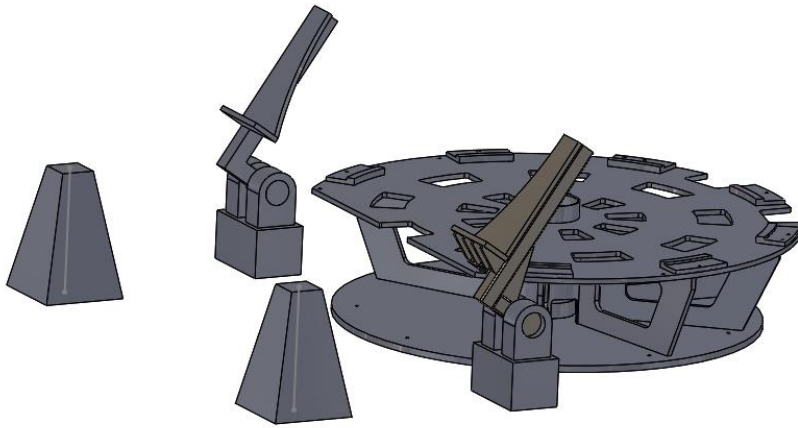
Toisen kääntöpöydän toimintaperiaate on samanlainen kuin ensimmäisen, mutta sen rakenne on erilainen. Kokonaisen kääntyvän pöytälevyn sijasta tässä konseptissa olisi vain pöydän reunassa oleva pienempi osa, joka kääntyy. Muu pöytälevy olisi siis kiinteästi asennettu, mutta vain pieni osa päällimmäistä levyä olisi erillinen osa. Generaattori saataisiin kiinnitettyä kääntölevyyn siinä oleviin laipoihin. Myös tässä vaihtoehdossa generaattori tuettaisiin käännön jälkeen erillisillä pukeilla. Tämä ratkaisu olisi rakenteellisesti vahvempi, mutta huonona puoleena on kiinnitysten paikka. Generaattori saataisiin kiinnitettyä suhteellisen helposti, mutta käännön jälkeen kiinnityspisteet ovat koneen alla, jonka takia irrottaminen voi olla vaikeampaa. Kuvassa 21 on esitetty toisen kääntöpöydän rakenne.



Kuva 21. Kääntöpöytä 2 (Juho Kallio 2019)

8.2.3 Kääntöpukki

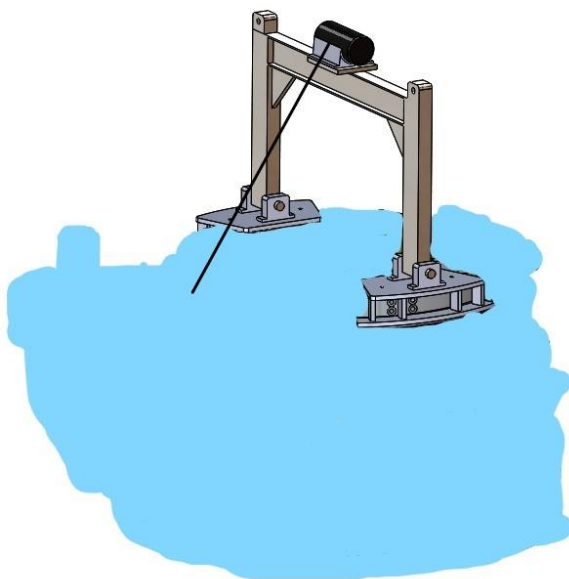
Erillisen kääntöpukin ideana olisi, että rakenne, jolla kääntö toteutettaisiin, olisi oma erillinen osa. Kääntöpukki ei siis olisi kiinni integraatiopöydässä, mutta se voisi olla sen yhteydessä tai vaihtoehtoisesti se olisi täysin sille varatussa paikassa. Kuvassa 21 kääntöpukit ovat muokatun kääntöpöydän yhteydessä. Erillisen kääntöpukin kiinnitettäisiin generaattorin kyljissä oleviin laippoihin. Tämän kiinnityksen toteuttaminen on helpompi toteuttaa kuin pöytämallisten kääntölaitteiden. Kuten aikaisemmissa ideoissa, myös tässä generaattori tuettaisiin pukeilla pystyasentoon. Kääntöpukit olisivat lujudellisesti vaikeampi toteuttaa kuin aikaisemmat vaihtoehdot. Jos kääntöpukit olisivat integraatiopöydän yhteydessä, jouduttaisiin myös pöytää hieman muokkaamaan, jotta generaattorin kääntö olisi mahdollista.



Kuva 22. Kääntöpukit (Juho Kallio 2019)

8.2.4 Vinssinostopalkki

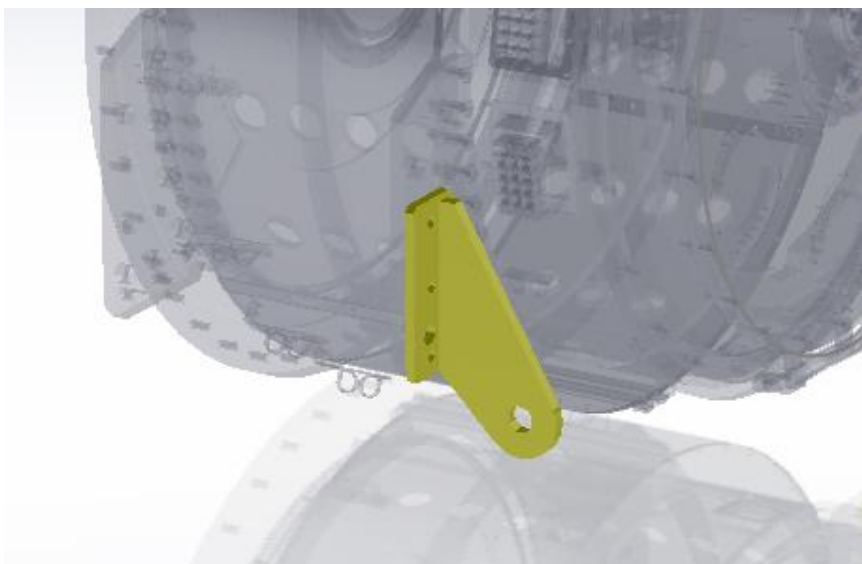
Vinssinostopalkin ideana olisi se, että generaattori nostettaisiin ilmaan erityisellä nostopalkilla, ja generaattori käännettäisiin pystyyn sen ollessa ilmassa palkissa olevan vinssin avulla. Vinssi olisi kiinnitettynä generaattorin ylälaitaan vaijerilla, jota käyttämällä generaattori saataisiin pystyasentoon. Nostopalkki voisi toimia myös ilman vinssiä, mutta silloin sen käyttämiseen vaadittaisiin kahta siltanosturia. Tämä idea olisi kiinnityksellisesti hankala toteuttaa, mutta lujuudellisesti helppo. Nostopalkin periaate on esitetty kuvassa 23. Kuvasta on poistettu generaattori tuotesuoja syistä.



Kuva 23. Vinssinostopalkki (Juho Kallio 2019)

8.2.5 Kääntörauta

Toisena vaihtoehtoisena ideana oli myös erillinen kääntörauta (ks. kuva 24). Tämän avulla kääntö jouduttaisiin tekemään nykyiseen tapaan käyttämällä kahta siltanosturia, mutta raskaiden kääntöjalkojen siirtelystä päästäisiin tässäkin vaihtoehdossa eroon. Kääntörauta olisi nopeampi kiinnittää kuin aikaisemmat kääntöjalat ja myös hyvin yksinkertainen ratkaisu, jonka ansiosta se olisi kaikista vaihtoehdoista kustannustehokkain. Kääntöraudan huonona puolena on se, että sen kanssa tarvitaan tehtaan molempia siltanostureita. Kuitenkin ne olisivat huomattavasti helpommat liikutella ja kiinnittää kuin nykyiset kääntöjalat, jonka ansiosta asennusaika lyhentyisi huomattavasti.



Kuva 24. Kääntörauta (Juho Kallio 2019)

9 Tulosten arviointi

Ideoiden jatkokehityksen jälkeen pidettiin yrityksen tiloissa kokous, jossa käytiin ideat läpi ja ne myös arvioitiin. Tulosten arvioimista varten tehtiin pisteytysmatriisi, jonka avulla saadaan määritettyä mahdollisesti paras ratkaisu ongelmaan. Pisteytysmatriisiin valittiin erilaisia kriteereitä, joiden pohjalta pisteytys eri vaihtoehdoille toteutetaan. Pisteytyksen arvoina käytettiin asteikkoa yhdestä viiteen, jossa huonoin arvo on yksi ja paras viisi. Eri osa-alueille määritettiin myös painoarvo, joilla vaihtoehdon osa-alueen pistemäärä kerrottiin. Painoarvon kertoimien asteikkona käytettiin arvoja yhdestä kolmeen.

Eri osa-alueiksi pisteytysmatriisiin valittiin käyttötapa, suunnittelun yksikertaisuus, käyttöergonomia- ja turvallisuus, implementointi tuotantolinjaan, käyttönopeus ja käytön selkeys ja toistettavuus. Käyttötavalla matriisissa tarkoitetaan, käytetäänkö vaihtoehdossa yhtä vai kahta siltanosturia. Käyttötavalla on suurin painoarvo, sillä tuotanto hyötyy, jos käännön aikana käytetään vain yhtä siltanosturia.

Suunnittelun yksinkertaisuudella tarkoitetaan kyseisen vaihtoehdon suunnitteluun käytettävää aikaa ja panosta. Kuitenkin tälle vaihtoehdolle on pieni painoarvo, sillä yksittäisissä kappaleissa suunnittelun panos kuluihin on suhteellisen pieni. Neljässä ensimmäisessä vaihtoehdossa on monimutkaisin suunnittelu, kun taas viimeisessä vaihtoehdossa suunnittelu olisi huomattavasti yksinkertaisempaa.

Käyttjäergonomialla ja-turvallisuudella tarkoitetaan laitteen käytön aikana tapahtuvia mahdollisia työasentoja ja tapoja. Esimerkiksi laitteen kiinnitys ja irrotus generaattorista käytön aikana ja sen jälkeen ovat tällaisia asioita. Turvallisuudella tarkoitetaan laitteen turvallisuutta sen käyttäjille ja myös muille henkilöille käytön aikana.

Implementointi tuotantolinjaan on myös tärkeä osa-alue, sillä laitteiden koko vaikuttaa koko linjaston toimivuuteen ja lay-outiin. Implementoinnilla tarkoitetaan, sitä, kuinka paljon toimenpiteitä vaihtoehdon käyttöönotto aiheuttaisi tuotantolinjaan ja kuinka nopeasti se voitaisiin toteuttaa. Suurempien pöytävaihtoehtojen valinta tarkoittasi, että integrointivaihe joutuisi olemaan uuden vaihtoehdon asennuksen ajan pois käytöstä, kun taas esimerkiksi kääntörautojen kanssa ei vastaavaa ongelmaa tulisi. Myös pöytävaihtoehdoissa tarvitaan enemmän tilaa, sillä käännön aikana tulisi laitteen ympärillä olla jonkinlainen suoja-aita tai nauha turvallisuuden vuoksi.

Käyttönopeus koostuu monesta eri asiasta, mutta suurimpina osina käännössä käytetystä ajasta koostuu kääntölaitteen valmistelusta ja kiinnityksestä generaattoriin. Pöytämalleissa etuna on, että niitä ei tarvitse erikseen valmistella kääntöä

varten, vaan ainoastaan generaattori tulee kiinnittää laitteeseen. Erillisissä kääntölaitteissa huonona puolena on, että ne pitää ensin siirtää generaattorin luokse, jonka jälkeen niiden kiinnitys voidaan aloittaa.

Käytön selkeys ja toistettavuus on tärkeä osa-alue pisteytyksessä, sillä käytön selkeys lisää myös nopeutta. Myös asentajien vaihtuminen työpisteellä vaikuttaa käännön nopeuteen, mutta selkeällä käyttötavalla uusien asentajien on helpompi käyttää laitetta. Toistettavuuden pitää olla myös laitteen käytössä hyvä, jotta käännöt tapahtuisivat joka kerta mahdollisimman samalla tavalla, jolloin riski väärin toimintatapoihin pienenee. Myös arvioitujen valmistuskustannusten lisäämistä pisteytysmatriisin osa-alueeksi mietittiin, mutta tulevaa laitetta valmistettaisiin vain yksi tai kaksi kappaletta, jolloin valmistuskustannusten merkitys olisi pieni verrattuna saatuun hyötyyn.

Pisteytysmatriisi

Edellä mainittujen osa-alueiden pohjalta laadittiin pisteytysmatriisi, jossa jokaisella vaihtoehdolla on oma sarakkeensa. Vaihtoehdot on numeroitu kappaleen 6.2 esitysjärjestyksen mukaisesti, jossa vaihtoehto 1 on ensimmäisenä esitelty idea. Pisteytysmatriisin viimeisellä rivillä on summa, jossa kunkin vaihtoehdon saamat pisteet ovat laskettu yhteen. Suurin summa on pisteytysmatriisissa paras vaihtoehto ja pienin summa huonoin. Pisteytysmatriisi on esitetty taulukossa 1.

Pisteytysmatriisi						
Osa-alue	Painoarvo	Vaihtoehto				
		1	2	3	4	5
Käyttötapa	3	5	5	5	5	2
Suunnittelun yksinkertaisuus	1	3	4	2	3	5
Käyttöergonomia- ja turvallisuus	2	4	2	4	1	3
Implementointituotantolinjaan	2	2	2	2	4	5
Käyttönopeus	3	5	3	4	2	1
Käytön selkeys ja toistettavuus	3	4	4	4	1	3
Summa		57	48	53	37	39

Taulukko 1. Ideoiden valintamatriisi

10 Loppupäätelmät

Tämän työn tavoitteena oli tehdä The Switch Drive Systems Oy:lle erilaisia konseptitason suunnitelmia suuren kestopagneettigeneraattorin kokoonpanon apuvälineestä. Työn tavoitteena oli myös pisteyttää nämä ideat, jonka pohjalta yritys voisi valita heidän katsoman parhaan idean jatkokehitykseen.

Työssä käsiteltiin tuulivoimantuottamisen perusteet ja erilaisten tuulivoimaloiden rakennetta ja niissä esiintyvää tekniikkaa. Osana tuulivoimaloiden tekniikkaan kuuluu erilaiset pyörivät sähkökoneet, joiden rakenne ja toiminta käytiin myös läpi. Myös nykyään yleisesti käytettävän kestopagneettigeneraattorin rakenne ja sen toimintaperiaate esiteltiin erikseen. Kestopagneettikoneen hyödyt perinteiseen sähkökoneeseen myös esiteltiin. Omana osiona esiteltiin tuotantotilan erilaisia järjestelyratkaisuja, eli layouteja, sekä suunnitteluprosessin päävaiheet. Työssä esiteltiin kestopagneettigeneraattorin kokoonpanolinjasto ja siinä oleva ongelmakohta, joka haluttiin korjata.

Työn tuloksena saatiin pisteytettyä viisi eri konsepti-idea paremmuusjärjestykseen, joiden pohjalta yritys voi jatkaa idean jatkokehitystä. Matriisin perusteella ensimmäinen vaihtoehto olisi paras ja kolmas huonoin. Matriisin pisteytys ei ole lopullinen päätös idean valintaan, vaan sen avulla saatiin viitteitä mahdollisesti parhaasta ideasta. Yrityksen on otettava jatkokehityksessä huomioon käytettävissä olevat resurssit suunnittelun suhteen. Tietyissä vaihtoehtoissa suunnitteluun kuluu paljon enemmän aikaa kuin esimerkiksi vaihtoehdossa neljä, jossa suunnitteluun kuluva aika olisi pienempi. Yritys voisi harkita suunnittelun ulkoistamista, jolloin omia resursseja tarvittaisiin huomattavasti vähemmän. Yrityksen tulisi myös tutkia tarkemmin nykyisen käynnön eri vaiheiden kustannukset, jotta mahdollinen apuväline saadaan optimoitua myös kokoonpanon kustannusten pienentämiseksi.

Lähteet

Schaffarczyk A. P. 2014. Introduction to Wind Turbine Aerodynamics. 1. painos. Berliini: Springer Verlag.

Aura, L. & Tonteri, A. 2009. Teoreettinen sähkötekniikka. 3.-4. painos. Helsinki: WSOY pro Oy.

Control Engineering 2019. Internet-sivut. Luettu 23.3.2019. Artikkelin nimi: Understanding permanent magnet motors. <https://www.controleng.com/>

Gieras, J & Wing, M. 1997. Permanent Magnet Motor Technology. 10. painos. New York: Marcel Dekker, Inc.

Gizenergy 2019. PDF-tiedosto. Luettu 9.4.2019. http://gizenergy.org.vn/media/app/media/PDF-Docs/Technical-Documents/The_Structure_of_a_Modern_Wind_Turbine.pdf

Halmemies, R. 1981. Sähkökoneet ja muuntajat. Helsinki: Käyttökirjat Oy.

Kauppalehti 2019. Yritykset. Internet-sivut. Luettu 5.2.2019. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/the+switch+drive+systems+oy/10547579>

KoneCranes 2019. Laitteet. Siltanosturit. Internet-sivut. Luettu 23.4.2019. <https://www.konecranes.com/fi/laitteet/siltanosturit>

Korpela, A. 2016. Tietoa tuulivoimasta 1. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka

Lapinleimu, I. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. 1. painos. Porvoo: WSOY.

Listenlights University 2019. Electrical machines. Induction motors. Internet-sivut. Luettu 25.3.2019. <https://university.listenlights.com/2017/08/03/induction-motors/>

Logistiikan Maailma 2019. Tuotanto. Tuotantostrategia. Internet-sivut. Luettu 27.3.2019. <http://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotannon-layout/>

Suomen Tuulivoimayhdistys 2011. Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön PDF-tiedosto. Luettu 25.3.2019. https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/759-Joka_miehen_opas_motiva.pdf

Suomen Tuulivoimayhdistys 2019. Tuulivoimayhdistys. Internet-sivut. Luettu 19.3.2019. <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/>

The Switch 2019. Company. Internet-sivut. Luettu 6.2.2019 <https://theswitch.com/company/>

University of Florida 2019. PDF-tiedosto. Luettu 2.5.2019 <http://www2.mae.ufl.edu/designlab/Lab%20Assignments/EML2322L-Design%20Process.pdf>