



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tommi Jalonen

# COMBI-TUULETTIMEN TUTKIMUS- JA KEHITYSTYÖ

Tekniikka ja liikenne  
2014

## **ALKUSANAT**

Tämä opinnäytetyö on tehty syksyllä, talvella ja keväällä 2013-2014 osana Vaasan ammattikorkeakoulun Tekniikan ja liikenteen yksikön kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmaa. Työ tehtiin ABB Oy:n Motors and Generators -yksikölle Vaasassa.

Työnohjaajina ja valvojina toimivat lehtori Timo Gröndahl Vaasan ammattikorkeakoulun tekniikan ja liikenteen yksiköstä ja tuotekehitysinsinööri Kari Heikfolk ABB Oy:n Motors and Generatorsilta. Kiitokset erityisesti Kari Heikfolkille suuresta avusta projektissa, sekä kaikille jotka ovat osaltansa tukeneet ja neuvoneet opinnäytetyön teossa.

Tämä työ ei vastaa sisällöltään alkuperäistä työtä, koska työstä on jouduttu poistamaan salassa pidettävää sisältöä. Sisällysluettelosta on hahmoteltavissa alkuperäisen työn kokonaisuus. Alkuperäinen työ on luettavissa Vaasan ABB Oy Motors and Generatorssilla luvan kanssa.

Vaasassa 4.5.2014

Tommi Jalonen

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Tommi Jalonen
Opinnäytetyön nimi	Combituulettimen tutkimus- ja kehitystyö
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	92 + 4 liitettä
Ohjaaja	Timo Gröndahl

---

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB Oy:n Motors and Generatorssin tuotekehitysosastolle. Työn tavoitteena oli kehittää aiemmin suunniteltuja pyörimissuunnaltaan vastapäivään pyöriä taaksepäin kaartuvasiipisiä keskipakopuhaltimia melutasoiltaan matalammiksi ja ilmavirtaukseltaan tehokkaimmiksi.

Nämä uudet tuulettimet tulisivat korvaamaan nykyisin käytössä olevat radiaalituulettimet. Tuulettimien melutaso täytyisi saada enintään 80 dB(A) suuruiseksi. Ensisijaiset käyttökohteet tuulettimilla olisivat open deck -moottorit, joita käytetään laivojen avoimilla kansilla.

Työn pääpainona oli tuulettimien mallinnus 4-napaisille 280- ja 315-moottorikokoluokille, koska nämä ovat yleisimpiä moottorikokoluokkia ja näitä ajetaan myös laajalla nopeusalueella. Myös asiakkaan tarve näille kokoluokille oli ajankohtainen. 280-kokoluokan moottoria ajetaan jopa 3600 rpm, josta johtuen melutaso on korkea. Tuuletin mallinnettiin kokoluokalle 280 ja lähetettiin tämän jälkeen virtaussimulointiin geometriamuokkauksia ja laskentoja varten.

Virtaussimuloinnista saatujen tulosten perusteella päädyttiin valmistamaan vain yksi tuuletinkoko, joka kävisi molemmille moottorin kokoluokille. Tuuletin valmistettiin yhdestä alumiinivalusta.

Prototyypituuletinta ei 315-kokoluokan moottorille ehditty testata, joten testaus tapahtui kokoluokalle 280. Testaustuloksissa havaittiin ilmanohjainlevyn resonointia ja, että kokoluokalle 280 siipihalkaisijan 334 mm prototyypituuletin oli turhan tehokas. 280-kokoluokalle prototuulettimen siipihalkaisija pienennettiin koneistamalla halkaisijaan 313 mm, jolloin tavoite saavutettiin.

## ABSTRACT

Author	Tommi Jalonen
Title	Research and Development Work for Combi Fan
Year	2014
Language	Finnish
Pages	92 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Timo Gröndahl

---

This thesis was made for ABB Motors and Generators, Product Development department. The purpose of this thesis was to develop previously designed counter-rotating centrifugal fans with backwards curved blades. The aim was to lower the noise level of the fans and make the air flow more effective.

These new fans would replace the current radial fans. The noise level of fans should be a maximum of 80 dB(a). The primary use of these fans would be open deck –motors which are used on open decks of ships.

The main focus was to model fans for 280- and 315-sized 4-pole motors, because these are the most common motor sizes and these sizes are run with wide range. Also the customers need for these sizes of motors was topical. The fan was modeled with NX-modeling software for motor size 280 and then sent to the CFD-simulation for the geometry modifications and calculations.

Based on the results from the CFD-simulations, it was decided to manufacture only one fan size, which would be suitable for both motor sizes. The fan was made out of one aluminum cast.

There was not enough time to test the 315-sized motor, so the testing was made for the motor size 280. From the test results it was discovered that there was some resonance from the air guide plate and that the prototype fan with blade diameter 334 mm was too effective for the motor size 280. The blade diameter of the prototype fan was decreased to diameter 313 mm with machining, when the goal was reached.

## SISÄLLYS

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

KUVAAJALUETTELO

LIITELUETTELO

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO .....	13
2	TAVOITTEET .....	14
3	ALKUTILANNE JA ONGELMAT .....	16
4	TUTKIMUSAINEISTOT JA MENETELMÄT .....	18
5	ABB OY YRITYKSENÄ .....	19
	5.1 ABB Oy Suomessa .....	19
	5.2 ABB Oy, Motors and Generators Suomessa .....	19
6	SÄHKÖMOOTTORI .....	21
	6.1 Rakenne .....	21
	6.2 Ryhmittely .....	22
	6.3 Open deck -moottorit.....	23
7	TUULETIN.....	24
	7.1 Käyttötarkoitus.....	24
	7.2 Eristys.....	25
	7.3 Vakiotuulettimet.....	26
	7.4 Kaartuvasiipiset tuulettimet .....	26
8	VALMISTUSMENETELMÄT .....	28
	8.1 Valettu tuuletin.....	28
	8.1.1 Kaavaus .....	28
	8.1.2 Valuseosten seosaineet.....	29
	8.1.3 Yleisimmät valuseokset .....	29
	8.1.4 Valumenetelmän valinta.....	31

8.2	Ohutlevytuuletin.....	32
8.3	Kaupallinen tuuletin .....	33
8.4	Johtopäätökset.....	33
9	VIRTAUSMALLINNUS JA -SIMULOINTI.....	34
9.1	Simuloitavan moottorin valinta.....	34
9.1.1	Lähtökohdat.....	34
9.1.2	Tuulettimen mallinnus .....	34
9.1.3	Valamisen mahdollistaminen .....	34
9.1.4	Tuulettimensuojan muokkaus ja mallinnus.....	34
9.1.5	Rungon muokkaus .....	34
9.1.6	Kokoonpanon teko.....	34
9.1.7	Kokoonpanon lähetys Elomaticille.....	34
9.2	Ensimmäinen palaveri .....	34
9.2.1	Johtopäätöksiä .....	34
9.2.2	Eteneminen.....	34
9.3	Toinen palaveri .....	34
9.3.1	Johtopäätöksiä .....	34
9.3.2	Eteneminen.....	34
9.4	Kolmas palaveri .....	34
9.4.1	Johtopäätöksiä .....	34
9.4.2	Eteneminen.....	34
9.5	Yhteenveto.....	35
10	FEM -ANALYYSIT VALITULLE MALLILLE .....	36
10.1	Ongelmat ja ongelmanratkaisut .....	36
11	LOPULLINEN MALLINNUS .....	37
11.1	Valun mallinnus .....	37
11.2	Koneistuksen mallinnus.....	37
11.3	Ilmanohjausrenkaan mallinnus .....	37
11.4	Akselin lyhennys.....	37
11.5	Kokoonpano.....	37
11.6	Prototyypin mallinnus .....	37
12	PROTOTYYPIN TESTAUS .....	38

12.1 Ripavälinopeusmittaukset.....	38
12.2 Ilmamäärämittaukset .....	38
12.3 Desibelimitaukset.....	38
12.4 Tärinämittaukset.....	38
12.5 Lämpenemä mittaukset.....	38
13 TULOSTEN ANALYYSINTI.....	39
14 YHTEENVETO .....	40
LÄHDELUETTELO.....	42

**KUVALUETTELO**

<b>Kuva 1.</b> Poikkileikkaus ABB:n oikosulkumoottorista .....	22
<b>Kuva 2.</b> Jäähdytysmenetelmien merkitseminen Standardin IEC 60035-6 mukaisesti /12, 7/ .....	24
<b>Kuva 3.</b> Eristysluokkien turvallisuusmarginaalit /12, 8/ .....	26
<b>Kuva 4.</b> Kaartuvasiipinen tuuletin /13, 126/ .....	27

Osa kuvista poistettu salassa pidettävän sisällön johdosta



**TAULUKKOLUETTELO**

Taulokot poistettu salalassa pidettävän sisällön johdosta

**KUVAAJALUETTELO**

Kuvaajat poistettu salalassa pidettävän sisällön johdosta

**LIITELUETTELO**

LIITE 1 Asennusasennot

Osa liitteistä poistettu salassa pidettävän sisällön johdosta.

**KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET**

VSD	Variable speed drive
ABB	Asea Brown Boveri
3D	Kolmiulotteinen
Open deck	Määritelmä avoimella laivankannella toimiville kohteille
FEM	Finite element method
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
STEP	Standard for the exchange of product model data
I-DEAS	3D-suunnitteluohjelmisto
NX	3D-suunnitteluohjelmisto
Natiivi ohjelmisto	3D-suunnitteluohjelmisto, joka ei ole sidoksissa teamcenterin kanssa.
Hotspot	Käämityksen kuumin piste
Part	3D-osa
SPL	Sound pressure level

## 1 JOHDANTO

Työnä oli jatkokehittää uudenmallisia alumiinisia taaksepäinkaartuvasiipisiä ja pyörimissuunnaltaan vastapäivään pyöriviä keskipakopuhaltimia, joihin on integroitu N-pään tiivistys ja kiinnitys akselille on toteutettu pulttikiinnityksellä. Nämä nk. combi-tuulettimet suunnitellaan korvaamaan nykyiset käytössä olevat tuulettimet open deck -moottoreille. Työ jatkaa vuonna 2012 tehtyä opinnäytetyötä Oikosulkumoottorin tuuletinjärjestelmän suunnittelu. Kyseisessä opinnäytetyössä tuulettimet saatiin valmiiksi, mutta tavoitteita ei saavutettu.

Yhden kesän aikana ja opintojen ohella kartuttamani työkokemus ABB Oy:n Motors and Generatorsin tehtaan puolelta ja yhden kesän kokemukseni Motors and Generatorsin tuotekehityksestä ovat antaneet hyvää tietoa moottoreista niin käytännössä kuin teoriassa. Kiinnostukseni tuotekehitystä ja suunnittelua kohtaan teki työn erittäin mielenkiintoiseksi ja tärkeäksi. Työn tilaajalla oli myös työlle todellinen tarve. Tarkoituksena oli saada tuuletin tuotantoon asti.

Työ vaikutti haasteelliselta koska ko. tuuletinmalli oli jo aiemmin ollut työn alla, mutta tällöin tuuletin testeissä todettiin värinäongelma ja riittämätön tuuletusteho. Tuuletinta ei tuolloin jatkokehitetty. Lähdin työhön avoimin mielin ja erittäin suurella mielenkiinnolla, koska tämänlaista mahdollisuutta tuotteenkehitykseen ei ole vielä aiemmin vastaan tullut.

## 2 TAVOITTEET

Lähtökohtana oli saada VSD-käytössä, eli taajuusmuuntaja käytössä olevat 4-napaiset pyörimisnopeudeltaan 1500-3600 rpm ja kokoluokkien 280 ja 315 moottorien äänitaso alle 80 dB(A). Tämä perustuu asiakkaiden open deck -moottoreille asettamiin vaatimuksiin. Ratkaisua äänitasojen alentamiseen suuremmilla nopeuksilla haettiin muuttamalla aiemmin kehitetyn tuulettimen geometriaa. Aiemmin kehitelty tuuletin on taaksepäinakaartuvillasiivillä varustettu keskikapohallin, joka pyörii vastapäivään.

Aiemmin kehiteltyyn tuulettimeen oli yhdistetty open deck -tiivistysosat, eli N-pään tiivistys oli integroitu tuulettimeen, jolloin tiettyjä osia voitiin vähentää. Integroitu N-pään tiivistyksen integrointi tuulettimiin on ollut käytössä jo kolme vuotta moottorikokoluokkien 200-250 tuulettimilla. Näin saadaan vähemmän koneistettavia, pinnoitettavia ja tasapainotettavia osia eli työvaiheissa säästetään, jolloin myös saadaan mahdollisia kustannussäästöjä aikaan.

Aimmen kehitetyssä tuulettimessa oli akselinpää suojattu ruostumiselta, jonka avulla mahdollistettiin tuulettimen normaali ulosveto. Ratkaisuna tuulettimen kiinnitys akselille oli toteutettu pultilla lukkorenkkaan sijaan, jolloin saatiin korroosiosuojaa paremmaksi. Nämä geometriamuutokset yhdessä tekivät tuulettimesta nk. combi-tuulettimen.

Tähän aiemmin kehiteltyyn combi-tuulettimeen tulisi lisätä siipien päälle ilmanohjauslevy, joka vahvistaisi tuulettimen rakennetta ja aikaansaisi ilmasolan, joka on vastapaineen muodostamiselle tärkeää. Tuuletinsuojana käytettäisiin jo olemassa olevaa tuuletinsuojaa, johon liitettäisiin myös ilmanohjausrenkas, jonka tarkoitus olisi lähteä tuulettimensuojan roiskesuojasta suppilomaisesti kohti tuuletinta ja näin auttaa omalta osaltaan vastapaineen muodostumisessa ja ilmankulkeutumisessa tuuletinsiiville.

Olisi myös tärkeää tehdä virtaussimulointi geometriamuutoksineen kyseiselle tuulettinratkaisulle, jolloin ei tarvitsisi kalliiden prototyyppien kanssa etsiä oikeaa tuuletingeometriaa, siinä välttämättä onnistumatta. Virtaussimulointia ei

aiemmassa opinnäytetyössä tehty. Virtaussimuloinnin tulisi tehdä jokin tarvittavan osaamisen omaava insinööritoimisto.

Tuuletingeometrian muutos tulisi tehdä ensiksi 280- ja 315-kokoluokan moottoreille, koska nämä ovat yleisimmät käytössä olevat kokoluokat. Muiden moottorikokoluokkien tuuletingeometria tulisi myös kehittää myöhemmin. Aluksi ei vielä oltu varmoja siitä, että kehitetäänkö muiden kokoluokkien tuulettimet tämän opinnäytetyön yhteydessä, koska tilanne oli riippuvainen aiheen laajuudesta ja aikarajoitteista.

3D-mallien ja piirustusten tekoon käytetään NX ja I-DEAS -suunnitteluohjelmistoja, joiden perusteella tilataan myös prototyypimallit testejä varten. Suurin osa nykyisistä moottorikokoonpanoon kytköksissä olevista osista on suunniteltu I-DEAS 3D -mallinnusohjelmalla. Uudet tuulettimet mallinnetaan NX-mallinnusohjelmalla ja tulevista NX-malleista tehdään IGES- tai STEP-tiedostot, jotka voidaan lähettää I-DEAS 3D -mallinnusohjelmaan ja liittää osaksi moottorikokoonpanoa.

### 3 ALKUTILANNE JA ONGELMAT

Alkutilanteena ja ongelmana oli nykyisin käytössä olevien open deck -moottorituulettimien aiheuttama melu. Tuulettimista syntyvä melu häiritsee ympäristöä ja laivan miehistön jäseniä. Tavoitteena on saada melutaso enintään 80dB(A) suuruiseksi.

Open deck -moottorit sijaitsevat laivan kansilla ja joutuvat ankarien sää- ja meriolosuhteiden kohteiksi. Tuulettimien tulee kestää kylmiä ja kosteita olosuhteita ja niiden tulee olla myös tiiviitä ja ympäristöystävällisiä. Open deck -moottoreita käytetään laivojen kansilla esimerkiksi kraanoissa, ankkurivinsseissä ja lastipumpuissa. Niiden ongelmana on nykyisin tuulettimen ja tiivistyksen huono huoltomahdollisuus, sillä ne ovat usein ruostuneet akseliin kiinni tämän vaikeuttaen niiden irrottamista.

Opinnäytetyössä vuonna 2012 suunnitelluilla nk. combi-tuulettimilla open deck -moottoreille oli tarkoitus ratkaista meluongelma, parantaa tiivistystä, suojata akselinpäättä korroosiolta ja tuottaa riittävästi ilmavirtausta moottorin jäähdytysrivoille. Tuulettimeen integroitiin moottorin N-pään tiivistys ja akselinpää suojattiin paremmin korroosiolta. Akselinpää saatiin suojattua suunnittelemalla tuulettimen kiinnitys pultilla akselin päähän, kun aikaisemmin tuulettimet on kiinnitetty lukkorenkaalla, joka jättää akselinpään avoimeksi ja suojattomaksi korroosiota vastaan.

Edellisistä tuulettimista tehtiin prototyypit ja testeissä kävi ilmi, että tuuletin resonoi liikaa aiheuttaen metallisen sirinän, josta johtuen melu kasvoi suureksi. Myöskään virtaamassa ei päästy tavoitteisiin. Ratkaisuksi resonointiin ja virtaamisen lisäämiseen on mietitty ilmanohjauslevyn liittämistä tuulettimen tuuletinsiipien päälle. Ilmanohjauslevyn avulla päästäisiin todennäköisesti eroon resonoinnista. Tuuletinsiipien ollessa tuettuna alhaalta tuuletinlautasesta sekä ylhäältä ilmanohjauslevystä saataisiin myös imutehoa tehostettua ilmanohjauslevyn aiheuttaman ilmavirtaussolan avulla.



Tehtävänä oli eri vaihtoehtojen ja valmistusmenetelmien tutkiminen. Tarkoituksena oli selvittää, kannattaako tuuletin valmistaa osittain ohutlevystä hitsaamalla vai kokonaan alumiinivalusta tai voisiko kaupallinen tuuletin olla vaihtoehtona.

Työ tulisi aloittaa ilmanohjainlevyn mallinnuksesta tuulettimeen. Ilmanohjuslevy tulisi mallintaa ja liitettää vuonna 2012 valmistuneen opinnäytetyön tuuletinmalleihin, joihin myös muut tarvittavat muutokset voitaisiin tehdä. Myös tuuletinsuojan roiskesuojan tulisi mallintaa ilmanohjausrenkas yhtenäiseksi osaksi roiskesuojan kanssa. Tuuletin ja tuuletinsuojakokonaisuus tulisi liittää osaksi moottorikokoonpanoa virtauslaskelmia varten, sen ollessa pääpiirteissään halutunlainen. Näin saadaan heti aluksi testituloksia ja pohja sille, mihin suuntaan tuuletinta lähdetään kehittämään.

## **4 TUTKIMUSAINEISTOT JA MENETELMÄT**

Tutkimusaineistona käytettiin haastatteluja ja aineistopohjaista tutkintaa. ABB Oy:ltä löytyi yleistä kirjallisuutta tuulettimista ja sähkömoottoreista sekä työhön liittyvästä taaksepäinikaartuvasiipisestä tuulettimesta. Motors and Generatorssin sisäisestä tietokannasta saadut kuvat ja piirustukset moottoreista sekä niiden komponenteista olivat arvokkaita tietokantoja tuuletinta suunniteltaessa ja mitoituksia pohtiessa. Tärkeimmäksi lähteeksi osoittautui projektista ennestään tietävien henkilöiden kanssa keskustelu.

Työn rakenne alkoi hahmottua sisällysluettelon teon ja pääotsikoiden kirjaamisen yhteydessä. Työn ja keskustelujen edetessä sisällysluettelo muokkaantui, tarkentui ja sai täydennystä. Näin myös kokonaiskuva hahmottui paremmin.

## **5 ABB OY YRITYKSENÄ**

ABB Oy on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka tuotteet, palvelut ja järjestelmät parantavat asiakkaiden kilpailukykyä ympäristömyönteisesti. ABB Oy:n palveluksessa on noin 150 000 henkilöä noin 100 maassa, joista Suomessa noin 5500. ABB Oy:llä on viisi divisioonaa: sähkövoimatuotteet, sähköjärjestelmät, sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio, pienjännitetuotteet ja prosessiautomaatio. /1/

ABB Oy -yhtymä on perustettu vuonna 1988, jolloin ruotsalainen ASEA ja sveitsiläinen Brown Boveri & Cie yhdistyivät 50:50 -omistusperiaatteella /2/. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Zurichissä Sveitsissä /1/. Yhtiön pääjohtajana toimii Ulrich Spiesshofer /3/.

### **5.1 ABB Oy Suomessa**

Suomessa ABB Oy toimii yli 30 paikkakunnalla. ABB Oy on Suomen suurin teollisuuden kunnossapitäjä. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa.

ABB Oy on Suomessa yksi suurimmista teollisista työnantajista, pääkaupunkiseudulla suurin. Liikevaihto on noin 2,3 miljardia euroa, josta tuotekehitykseen käytetään vuosittain noin 184 miljoonaa euroa. /4/

### **5.2 ABB Oy, Motors and Generators Suomessa**

Motors and Generators -yksiköllä on kokoonpanotehtaat sekä Helsingissä että Vaasassa /5/. Motors and Generators -yksikkö kuuluu sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatiodivisioonaan. Moottoreiden ja generaattoreiden valmistus alkoi vuonna 1889 /2/ ja Vaasassa vuonna 1944 /6, 4/. Vaasan Motors and Generators -yksikkö työllisti 525 henkilöä vuonna 2013 ja tuotantoa oli 36 310 moottorin edestä. Vaasan tehtaalla on maailmanlaajuinen vastuu yhtiön valmistamista räjähdysvaarallisten tilojen pienjännitemoottoreista. /7/

ABB Oy:n Motors and Generatorsin vahvuuksia ovat: laaja-alainen tietotaito perustuen 100 vuoden kokemukseen moottoreista, viimeisimmän teknologian ja materiaalien käyttö jatkuvan tutkimus- ja kehitysohjelman johdosta, maailmanlaajuiset tuotevastuut, EU:n hyötysuhdeluokitusten ja standardien mukaiset energiaa säästävät moottorit, online-tilaukset ja elinikäinen asiakastuki. ABB Oy:llä on lisäksi laaja tuotetarjonta: oikea moottori riippumatta koosta, virrasta tai sovelluksesta. /8/

ABB:n moottoreilla on hyvä suorituskyky ja hyvällä suorituskyvyllä asiakas säästää niin energiaa kuin rahaakin. Myös ekologisuutta on mietitty materiaalien kierrätyksen kannalta, koska yli 90 prosenttia sähkömoottorin komponenteista on kierrätettävissä. Vihreitä arvoja on pidetty silmällä erityisesti moottoreiden kehityksessä. Tuotevalikoimasta löytyy nykyään IE2- ja IE3-luokan moottoreita. /8/

## 6 SÄHKÖMOOTTORI

Sähkömoottori muuttaa sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi. Generaattoreiden ja sähkömoottoreiden yhteinen nimitys on sähkökoneet ja useimmat koneet voivat toimia sekä moottorina että generaattorina. Tärkeimmät konetyypit ovat tahti-, epätahti- ja tasavirtakoneet. Tahti- ja epätahtikoneiden, eli vaihtosähkökoneiden, toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään koneen sisällä, joissa napaisuus vaihtuu seuraavan vaihtosähkön taajuudella. Tasavirtamoottorissa magneettikentän pyörivä liike muodostetaan roottorissa kommunikaattorin avulla, jossa roottoriakselin pyörimisliike saa aikaan napaisuuden vaihtelun. Magneettikenttä saadaan aikaan sähköjohtimen avulla, joka magnetisoituu, kun johtimessa kulkee virta. /9/

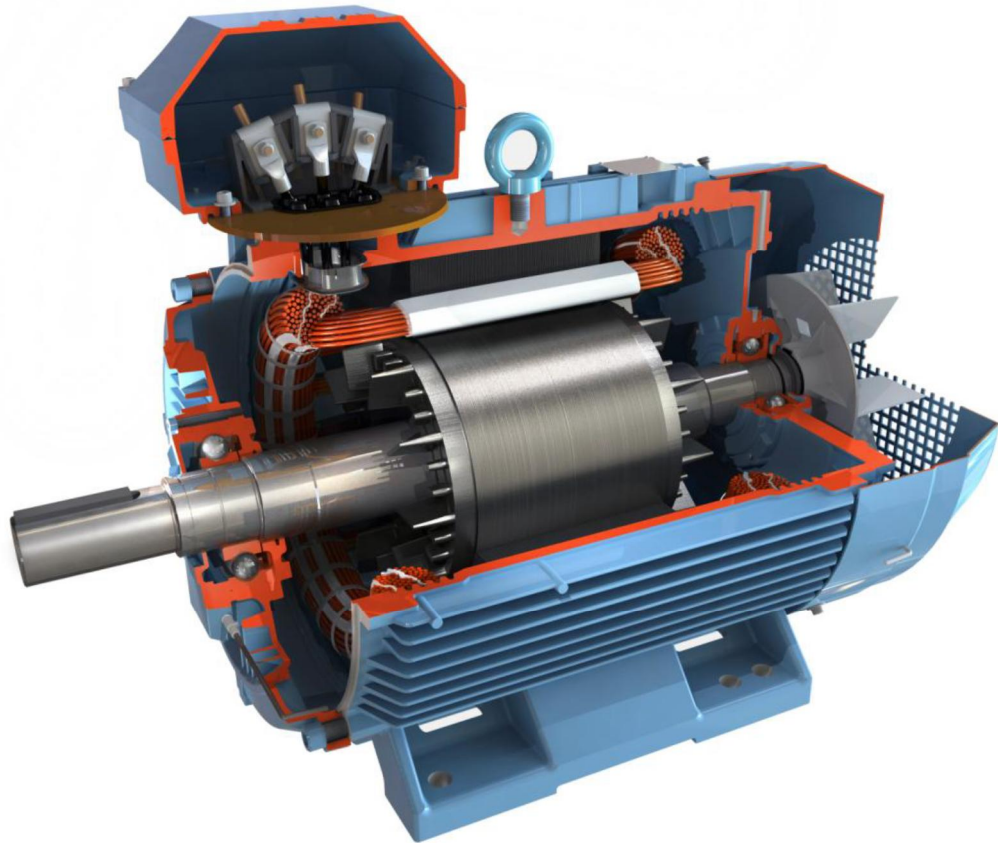
Erikoistapauksia lukuun ottamatta kaikkien sähkömoottorien toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen välisiin voimavaikutuksiin. Magneettikenttä syntyy, kun johtimen läpi kulkee virta. Jos johdin on kierretty käämiksi, syntyvä voima keskittyy pienemmälle alalle, mikä vahvistaa magneettikenttää. /10, 2/

Sähkömoottoreita löytyy eri käyttötarkoituksiin lukuisia, kuten räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitetut Ex-moottorit. Ex-moottoreita valmistetaan eri käyttökohteille, kuten savunkaasujen poistoon. Näiden savunpoistomoottoreiden tulee kestää 400-asteen kuumuudessa vähintään kaksi tuntia. Näitä moottoreita käytetään pitkissä metrotunneleissa, joista on saatava myrkylliset savukaasut pois esim. tulipalon sattuessa. /7/

### 6.1 Rakenne

Kaikista normaalirakenteisista sähkömoottoreista voidaan erottaa seuraavat osat: roottori, staattori, laakerikilvet (isoilla koneilla myös laakeripukit) ja laakerit. Roottori toimii pyörijänä joka makaa laakereiden varassa staattoriaukossa. Roottorin ja staattorin välissä on ilmarako, joka mahdollistaa moottorin pyörimisen. Laakerikilvet on kiinnitetty staattoriin ja laakerit on kiinnitetty laakerikilpiin, jotka kannattelevat roottoria. Laakerikilvet kiinnitettyinä staattoriin

muodostavat yhdessä koneen rungon. Moottorin leikkauskuvasta nähdään osien sijoittelua moottorissa (**Kuva 1.**). /11/



**Kuva 1.** Poikkileikkaus ABB:n oikosulkumoottorista

## 6.2 Ryhmittely

Moottorit ryhmitellään ryhmiin akselikorkeuden eli kokoluokan, käyttökohteen ja asennustavan ja -asennon mukaisesti. Akselikorkeuden mukaan ryhmittelyllä tarkoitetaan etäisyyttä millimetreinä akselikeskipisteestä maahan. Laivoista löytyy seuraavien kokoluokkien moottoreita: 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400 ja 450. /11/

Käyttökohteen mukaan ryhmittelyssä pienjännitemoottorit jaetaan seuraavasti: prosessi-, vakio-, Ex-, laiva- ja teollisuusmoottorit sekä lukuisia muita moottoreita erilaisiin käyttötarkoituksiin. Asennustavan ja -asennon mukaan ryhmittelyssä moottorin asennustapa määrää onko siinä jalka- tai laippakiinnitys, vai molemmat. Moottoreiden asennusasennot on nähtävissä liitteessä 1. /11/

Tässä työssä tutkitut, suunnitellut ja mallinnetut tuulettimet tulevat valurautamoottoreihin. Nämä moottorit kuuluvat laiva- ja Ex-moottoriluokkaan, joiden kokoluokat ovat 280 ja 315.

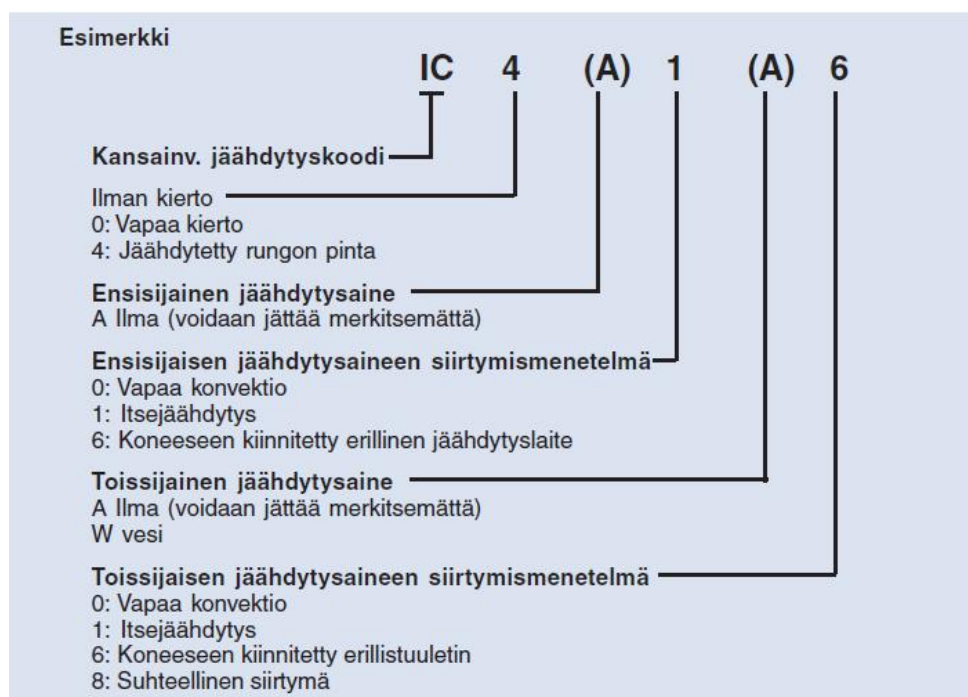
### **6.3 Open deck -moottorit**

Nykyisin vakinaistunut määritelmä open deck tarkoittaa avoimilla laivojen kansilla toimivia kohteita. Laivojen kansilla käytettävät moottorit, eli open deck -moottorit poikkeavat vakiomoottoreista rakenteeltaan, koska ne joutuvat kestävämmään vaativia olosuhteita. Open deck -moottoreissa käytetään metallituulettimia, joiden N-pään laakeritiivistystä sekä D- ja N-pään korroosiosuojausta on parannettu. Näissä käytetään myös erikoista tuuletinsuojusta, jossa on roiskesuoja sekä niin kutsuttu hattu, joka suojaa tuuletinta aallon iskuilta sekä jään kertymiseltä tuuletinsuojuksen sisään. Moottoreiden korroosiosuojaa on parannettu maalauksella sekä laakeroinnin tiivistysosien sinkkihiutalekäsittelyllä (DELTA MKS). Kaikki ruuvit, nipat sekä liitântäkotelon laipat ja holkit ovat haponkestävää terästä. Parannuksia on tehty myös liitântäkoteloon, läpivientireikien tiivistykseen, rasvalaatikon tiiveyden varmistamiseen sekä kondensio- ja lämpöpoiston lämmitykseen.

## 7 TUULETIN

Tuulettimen koko määräytyy moottorin napaluvun, runkokoon, rungonpituuden, eristysluokan ja lämpötilaluokan mukaan. Sähkömoottorin jäähdytysmenetelmien määrittelyä varten käytetään kansainvälistä IC -luokitusjärjestelmää. Luokituksen sisältö on esitetty standardissa IEC 60034-6, joka on kansainvälisen sähköalan standardointiorganisaation laatima. Tämä ko. standardi on myös ABB Oy:n käytössä oleva standardi. Jäähdytysmenetelmät merkitään standardin mukaisesti (**Kuva 2.**). /12, 7/

Jäähdytystapoja sähkömoottoreille on olemassa lukuisia. ABB Oy:n moottoreissa yleisin jäähdytystapa on normaali-jäähdytys, joka pitää sisällään aksiaalipuhaltimen, erillispuhaltimen, läpituuletuksen ja vesijäähdytyksen.



1

**Kuva 2.** Jäähdytysmenetelmien merkitseminen Standardin IEC 60035-6 mukaisesti /12, 7/

### 7.1 Käyttötarkoitus

Jäähdytysjärjestelmän pääasiallinen tehtävä on moottorin lämpötilan pitäminen toiminnan edellyttämällä tasolla. Sähkökoneen käydessä syntyvät häviöt



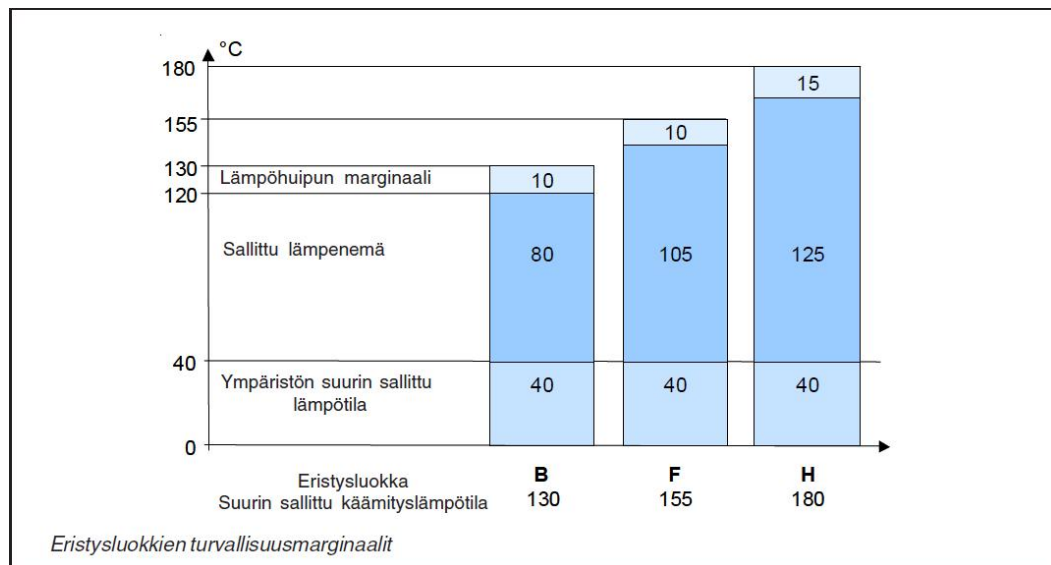
käämityksissä ja rautaosissa lämmittävät konetta. Nämä häviöt on saatava poistettua, ettei koneen lämpötila nousisi yli suurimman sallitun ja aiheuttaisi mahdollisesti moottorin rikkoutumisen. Lämmönsiirtoa tehostetaan yleensä tuulettimen tai puhaltimen avulla, koska luonnollinen lämmönsiirtyminen ympäristöön ei yleensä riitä pitämään moottorin lämpötilaa tarpeeksi alhaisena. /9/

Tuuletin voi olla sijoitettuna koneen akselille, jolloin koneen pyöriessä tuuletin pyörii mukana kierrättäen ilmaa. Jäähdytys voidaan hoitaa myös erillisellä puhaltimella, jota apumoottori pyörittää. Jäähdytys voidaan toteuttaa myös ns. suljetulla ilmankierrolla, jossa ilma ei pääse kosketuksiin ilmansaasteiden, savukaasujen ym. lian kanssa. Suurissa generaattoreissa on esimerkiksi jäähdytykseen käytössä erillispuhaltimet ja suljettu ilmankierto, jotta käämitykset eivät likaantuisi. /9/

## 7.2 Eristys

Mahdollinen tuuletustapa ja tuulettimen koko määritellään eristysluokan lämpötilaluokan mukaan. Eristysluokkia ovat F 155 °C, B 130 °C ja H 180 °C. ABB Oy käyttää F-luokan eristystä, joka yhdessä B-luokan lämpenemän kanssa on yleisin teollisuudessa eristykselle asetettu vaatimus. F-luokan eristysjärjestelmässä ympäristön suurin sallittu lämpötila on 40 °C, suurin sallittu lämpenemä 105K ja lämpöhuipun marginaali, ns. hotspot marginaali +10 K. B-luokan lämpenemässä ympäristön suurin sallittu lämpötila on 40 °C, suurin sallittu lämpenemä 80 K ja lämpöhuipun marginaali, nk. hotspot marginaali +10 K (**Kuva 3.**). /12, 8/

Tämä antaa ABB:n tuotteille 25 °C:n turvallisuusmarginaalin, jonka avulla kuormitusta voidaan nostaa tietyin väliajoin jopa 12 % tai laitetta voidaan käyttää korkeammissa lämpötiloissa, suuremmissa korkeuksissa, suuremmalla jännitteellä tai taajuudella. Lisäksi tämän marginaalin avulla voidaan pidentää eristyksen kestoja, esim. 10 K:n lasku lämpötilassa parantaa kestoja. /12, 8/.



**Kuva 3.** Eristysluokkien turvallisuusmarginaalit /12, 8/

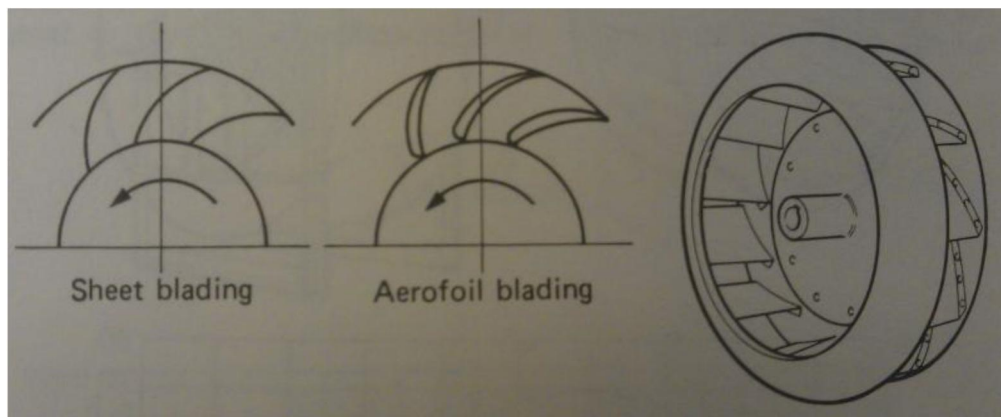
### 7.3 Vakiotuulettimet

Nykyisin käytössä olevat vakiotuulettimet ovat joko muovisia tai alumiinisia. Alumiinituuletin on kestävämpi muovituulettimeen nähden, jonka johdosta alumiinisia tuulettimia käytetään open deck -moottoreissa. Vakiotuuletin eroaa taaksepäinakaartuvasiipisistä tuulettimista tuuletinsiipien muodon osalta. Vakiotuulettimissa siivet ovat suorat ja pidemmät.

### 7.4 Kaartuvasiipiset tuulettimet

Taaksepäinakaartuvasiipisissä (**Kuva 4.**) tuulettimissa rasitus siipien päässä on pienempi kuin vakiotuulettimissa, eli ilmannopeus siipien päässä ei ole yhtä suuri. Tämän johdosta myös kitkahäviö on pienempi. Kitkahäviön ollessa pienempi kaartuvasiipinen tuuletin on jopa 80 – 85 % tehokkaampi kuin vakiotuulettimet. Rasituksen ollessa pienempi siipien päissä voidaan tuuletinta myös pyörittää nopeammin, joten kaartuvasiipinen tuuletin voi saavuttaa 90 %:sen hyötysuhteen.

/13, 125-126/



**Kuva 4.** Kaartuväsiipinen tuuletin /13, 126/

## 8 VALMISTUSMENETELMÄT

Valmistusmenetelmät voidaan jakaa muovaaviin, liittäviin tai materiaalia poistaviin menetelmiin. Muovaavia menetelmiä ovat kiinteän tai juoksevan materiaalin pakottaminen muotoonsa, kuten takominen, valaminen ja levyntaivutus. Liittäviä menetelmiä käytetään yhteen saatettujen kappaleiden valmistamiseen, käyttäen hitsausta, niittausta, sintrausta ja pikamallinnusmenetelmiä. /14, 1/

Menetelmän valinnassa on otettava huomioon

- materiaalin ominaisuudet
- kappaleen koko ja muoto
- sallitut toleranssit kohdasta riippuen
- laatuvaatimukset
- sarjasuuruus. /14, 1/

### 8.1 Valettu tuuletin

Valaminen sopii lähes kaikille materiaaleille. Sellaisiakin materiaaleja, joita ei voida koneistaa, takoa tai hitsata, voidaan useimmiten valaa. Valaminen sopii sekä yksittäis- että sarjatuotantoon. Menetelmää valittaessa sarjasuuruuden vaikutus on merkittävä. /14, 2-3/ Tuulettimen valaminen vaikutti erittäin varteenotettavalta menetelmältä sarjasuuruuden ja työvaiheissa säästämisen johdosta.

#### 8.1.1 Kaavaus

Kaavaus on työvaihe, jossa valumallien avulla muotoillaan kaavaushiekasta kertamuotti kappaleen valamista varten (kestomuottimenetelmissä muotti valmistetaan ilman mallia, koneistusta ym. menetelmiä käyttäen). Kaavaus tehdään ns. kaavauskehiin, joihin valumallin puolikas sijoitetaan ja jonka ympärille kaavaushiekka kasataan joko käsin (käsinkaavaus) tai koneellisesti (konekaavaus). Kaavauksen jälkeen muotti jälkikäsitellään ennen sen sulkemista ja valua, mikäli tämä on tarpeellista. /15, 3/

Muotit peitostetaan eli muotin sisäpinnat peitetään ohuella tulenkestävällä kerroksella. Tulenkestävä aine sekoitetaan lietteeksi joko vesi- tai alkoholipohjaiseen nesteeseen. Levityksen jälkeen peitoste kuivataan, esimerkiksi uunissa tai polttamalla. Peitostuksen jälkeen muottiin asetetaan onttojen kappaleiden sisäonteloiden valmistamiseen tarvittavat keernat. Lopullinen muotti kootaan asettamalla kehät päällekkäin. /15, 3/

Kaavaus jaetaan käsin- ja konekaavaukseen riippuen tapahtuuko kaavaus käsityönä tai kaavauskoneilla tehtynä työnä. Nykyisin on käsinkaavauksen useimpia työvaiheita koneellistettu, joten ero ei ole yksiselitteinen. /15, 3/

### **8.1.2 Valuseosten seosaineet**

Alumiinin seostaminen muilla metalleilla auttaa saavuttamaan tiettyjä ominaisuuksia. Valua varten useimmiten käytetään seostamiseen piitä (Si), mutta käytössä on myös magnesiumia (Mg), kuparia (Cu), nikkeliä (Ni) ja sinkkiä (Zn). Alumiinin seostus voidaan toteuttaa yhdellä tai useammalla näistä metalleista samanaikaisesti. Tärkeimmät seostusaineiden tehtävät ovat:

- Pii alentaa sulamislämpötilaa ja parantaa ratkaisevasti valuominaisuuksia.
- Lisäämällä vielä magnesiumia saadaan karkenevia seoksia, joiden korroosionkestävyys on hyvä.
- Kupari tekee seokset karkeneviksi ja lisää lujuutta ja kovuutta.
- Magnesium lisää lujuutta ja kovuutta sekä korroosionkestävyyttä esim. merivedessä, parantaa lastuttavuutta ja hitsattavuutta sekä aikaansaa hyvän ulkonäön anodisoitaessa.
- Sinkki lisää lujuutta ja kovuutta ja yhdessä magnesiumin kanssa käytettäessä saadaan itsekarkenevia, lujia seoksia. /16, 1/

### **8.1.3 Yleisimmät valuseokset**

Alumiinivaluseoksien jako perustuu seoksen koostumukseen ja ne jaetaan seuraaviin ryhmiin:

- AlSi
- AlSiMg
- AlSiCu
- AlMg
- AlCuTi
- AlZnMg.

AlSi-seosten valettavuus on erinomainen, ja tästä syystä niitä käytetään eniten. Ne sopivat erityisen hyvin monimutkaisiin, ohutseinämäisiin tai painetiiviisiin kappaleisiin. Seos omaa keskinkertaisen lujuuden ja venymän. Korroosionkestävyys, hitsattavuus ja työstettävyys ovat myös hyviä. AlSi-seoksille käytetään myös jalostamista, eli erikoiskäsittelyä, jolla rakennetta "modifioidaan", jotta saavutettaisiin paremmat lujuusominaisuudet. Natriumin käyttö tämän saavuttamiseksi on hyvin yleistä. Natriumia käytettäessä vaikutusaika on suhteellisen lyhyt. Strontiumia käyttämällä saadaan aikaan sama tulos, mutta vaikutusaika on huomattavasti pidempi. /16, 1/

AlSiMg-seoksissa lujuusominaisuuksia voidaan parantaa lämpökäsittelyllä, koska 0,3-0,5 % magnesiumia tekee seokset karkeneviksi. Saavutettu suurempi kovuus tekee työstettävydestä erinomaisen tällä seoksella. Muutoin seoksella on samat hyvät ominaisuudet kuin AlSi-seoksilla. /16, 1/

AlSiCu-seokset omaavat keskinkertaiset lujuusominaisuudet. Ne ovat hyvin valettavia ja lastuttavuus on hyvä. Suojaava pintakäsittely on välttämätön, mikäli seoksia käytetään syövyttävissä olosuhteissa. /16, 1/

AlMg-seokset edellyttävät korkeatasoista sulatus- ja valutekniikkaa. Näillä seoksilla on erittäin hyvä korroosion kestävyys meri-ilmastossa ja tämä erottaa ne muista seoksista. Lastuttavuus on hyvä ja seoksia voidaan käyttää koriste-anodisointiin. /16, 1/

AlCuTi-seoksilla on suuri jähmettymisalue ja ne ovat alttiita kuumahalkeamille, joten nämä seokset edellyttävät korkeatasoista valutekniikkaa. Näillä seoksilla saavutetaan lujuuden ja venymän edullisin yhdistelmä. Seoksia käytetään kun

asetetaan suuria mekaanisia vaatimuksia erityisesti pyöriville ja iskumaisille kuormituksille alttiina oleville kappaleille. /16, 1-2/

AlZnMg-seokset ovat karkenevia ja ne omaavat poikkeuksellisen suuren lujuuden. Niiden käyttöalue on laaja. Seokset ovat itse karkenevia, joten ne saavuttavat täyden lujuutensa vaikkei niitä jäädytetäisikään nopeasti vedessä. Hitsatuissa rakenteissa tämä on erityinen etu silloin, kun rakenteet ovat liian suuria lämpökäsiteltäviksi hitsaamisen jälkeen. Hitsikohdat ovat näin yhtä lujia kuin muukin rakenne. Seosten mekaaniset ominaisuudet paranevat, jos seosten kiderakenne on hienojakoinen. Alttius lämpöhalkeamien syntymiseen pienenee samalla. Tällainen rakenne saadaan lisäämällä esim. titaania ja titaanidiboraattia. /16, 2/

#### **8.1.4 Valumenetelmän valinta**

Valettavien kappaleiden määrä ja käytettävä seos vaikuttavat lähinnä valumenetelmän valintaan, joita ovat hiekka-, kokilli-, matalapaine- ja painevalu. Jos valettavia kappaleita on muutamia satoja, on hiekkavalu varteenotettava vaihtoehto. Puumallia ja käsinkaavausta käytetään muutaman kappaleen valuun. Suurien määrien kaavaamiseen käytetään kaavauskonetta, jossa malli kiinnitetään ns. mallilaattaan, eli metallilevyyn. Suurissa sarjoissa saattaa kokillin, eli ns. kestopuotin valmistus olla kannattavaa. /16, 2/

Painevalu on suositeltava menetelmä suuria määriä valettaessa, mikäli kappaleelle voidaan valmistaa painevalumuotti. Kappaleen seinämien ollessa ohuet ja muotojen ollessa monimutkaiset on painevalu yleensä edullisin ratkaisu. Jos taas seinämät ovat paksuja ja muodot yksinkertaisia, on matalapainevalu parempi ratkaisu. /16, 2/

Hiekkavalulla saadaan tavallisesti karkeampi pinta kuin kokilli- tai painevalulla, mutta hiekkavalulla saatua pinnanlaatua voidaan kuitenkin parantaa käyttämällä erikoishiekkalaatuja ja -sidosaineita. /16, 2/

Tarkimmat valukappaleet saadaan painevalulla. Tätä menetelmää käyttäessä ovat mittapoikkeamat vain muutama kymmenesosa mm /100 mm. Mittatarkkuuteen vaikuttavista tekijöistä valukappaleilla voidaan mainita

- muotin laatu
- valukappaleen muoto ja koko
- keernojen kiinnitystapa
- mittaushetken sijainti muotissa. /16, 2-3/

Työstövarat ovat riippuvaisia valumenetelmästä, ja tämä tulee valumallin suunnittelussa ottaa huomioon. Koska työstövarojen ollessa liian suuret nousevat työstökustannukset, myös lisääntynyt ainemäärä voi aiheuttaa valuvikoja eli ns. huokosia valurakenteessa. Työstövaran keskimääräisiksi arvoiksi tulee valita hiekkavalussa 2-3 mm, kokillivalussa 1-2 mm ja painevalussa 0,3-0,5 mm. /16, 3/

## 8.2 Ohutlevytuuletin

Ohutlevyt ovat ohuita metallilevyjä, joita käytetään muun muassa rakentamisessa sekä erilaisten esineiden valmistamisessa. Ohutlevyistä valmistetaan tuotteita leikkaamalla, liittämällä ja muovaamalla sitä. Ohutlevyjä voidaan liittää toisiinsa esimerkiksi hitsaamalla, niittaamalla tai ruuvien avulla.

Hitsaus sopii vain tietyille materiaaleille. Eräiden materiaalien hitsattavuus on rajoitettua joko niiden karmenemistaipumuksen ja haurastumisvaaran tai suuren reaktiivisuuden vuoksi. Samassa hitsatussa konstruktiossa on mahdollista käyttää useita eri materiaaleja ja valettuja osia. Hitsausta käytetään yleensä yksittäis- tai piensarjavalmistuksessa, eräitä vastushitsausmenetelmiä käytetään suursarjatuotannossa. Suursarjatuotanto vaatii kalliita laiteinvestointeja /14, 2/.

Ohutlevytuuletinvaihtoehtoa miettiessä tuuletinlautanen ja -siivet olisi pitänyt valmistaa valusta sen koon ja työstettävyyden tarpeesta johtuen. Tähän valumalliin pitäisi erillisenä työvaiheena jälkikäteen lisätä esimerkiksi hitsaamalla ilmanohjauslevy siipien päälle.



Tämä vaihtoehto oli mietinnässä koska ei ollut varmaa tietoa, onko mahdollista valmistaa koko tuuletinta yhdestä alumiinivalusta. Suurin ongelma tämän menetelmän kohdalla oli ylimääräinen työvaihe, jossa kartio ja alumiinivalu pitäisi vielä yhdistää toisiinsa hitsaamalla. Tämä hidastaisi myös tuotantoa.

### **8.3 Kaupallinen tuuletin**

Kaupallisella tuotteella tarkoitetaan jo markkinoilla olevaa tuotetta, tässä tapauksessa jo markkinoilla olevaa tuuletinta. Koska kyseessä oleva tuuletin olisi tarkoitus saattaa sarjatuotantoon asti, ei kaupallisen tuulettimen hankinta tullut kysymykseenkään.

### **8.4 Johtopäätökset**

Tuulettimen oli tarkoitus tulla sarjatuotantoon. Tuulettimen valmistus yhdestä alumiinivalusta karsii pois työvaiheita ja helpottaa tuotantoa. Tuulettimen valmistus ohutlevystä hitsaamalla tai niittaamalla toisi ylimääräisiä kasaus- ja työvaiheita ja siten hidastaisi tuotantoa. Sarjatuotantoa ajateltaessa tämä vaihtoehto vaatisi myös kalliita laiteinvestointeja. Kaupallista tuuletinta ei suuremmin edes harkittu, koska tästä oli tarkoitus kehittää ABB:n oma tuote.

Valettu tuuletin oli vartenotettava vaihtoehto ylimääräisten työvaiheiden karsimisen ja sarjasuuruuden kannalta. Menetelmän osalta mietitytti valmistettavuus, koska valumuottia tehtäessä pitää ottaa huomioon materiaalivahvuudet ja päästöt, jotta valukappaleesta ei tulisi liian haurasta, rakenteen sisään ei jäisi ilmataskuja eikä muottia tarvitsisi rikkoa valmista tuotetta otettaessa muotista pois. Valmistettavuutta tutkiessa todettiin, että valu on mahdollinen toteuttaa.

Työssä lähdettiin liikkeelle valumallin suunnittelusta ja toteutus tapahtuisi hiekkavaluna. Valumallin valmistuttua varmistettaisiin vielä valimolta mallin valettavuus.

## **9 VIRTAUSMALLINNUS JA -SIMULOINTI**

Sisältö poistettu salassa pidettävän materiaalin johdosta.

### **9.1 Simuloitavan moottorin valinta**

#### **9.1.1 Lähtökohdat**

#### **9.1.2 Tuulettimen mallinnus**

#### **9.1.3 Valamisen mahdollistaminen**

#### **9.1.4 Tuulettimensuojan muokkaus ja mallinnus**

#### **9.1.5 Rungon muokkaus**

#### **9.1.6 Kokoonpanon teko**

#### **9.1.7 Kokoonpanon lähetys Elomaticille**

### **9.2 Ensimmäinen palaveri**

#### **9.2.1 Johtopäätöksiä**

#### **9.2.2 Eteneminen**

### **9.3 Toinen palaveri**

#### **9.3.1 Johtopäätöksiä**

#### **9.3.2 Eteneminen**

### **9.4 Kolmas palaveri**

#### **9.4.1 Johtopäätöksiä**

#### **9.4.2 Eteneminen**

## 9.5 Yhteenveto

## **10 FEM -ANALYYSIT VALITULLE MALLILLE**

Sisältö poistettu salassa pidettävän materiaalin johdosta.

### **10.1 Ongelmat ja ongelmanratkaisut**

## **11 LOPULLINEN MALLINNUS**

Sisältö poistettu salassa pidettävän materiaalin johdosta.

### **11.1 Valun mallinnus**

### **11.2 Koneistuksen mallinnus**

### **11.3 Ilmanohjausrenkaan mallinnus**

### **11.4 Akselin lyhennys**

### **11.5 Kokoonpano**

### **11.6 Prototyypin mallinnus**

## **12 PROTOTYYPIN TESTAUS**

Sisältö poistettu salassa pidettävän materiaalin johdosta.

### **12.1 Ripavälinopeusmittaukset**

### **12.2 Ilmamäärämittaukset**

### **12.3 Desibelimitaukset**

### **12.4 Tärinämittaukset**

### **12.5 Lämpenemä mittaukset**

## **13 TULOSTEN ANALYSOINTI**

Sisältö poistettu salassa pidettävän materiaalin johdosta.

## 14 YHTEENVETO

Opinnäytetyö tehtiin ABB Oy:n Motors and Generatorssin tuotekehitysosastolle. Opinnäytetyön päätarkoituksena oli kehittää jo aiemmin suunniteltujen uudenmallisten taaksepäinkaartuvasiipisten tuulettimien pohjalta uudet combi-tuulettimet korvaamaan nykyiset open deck -moottoreissa käytettävät suoralapaiset radiaalituulettimet. Tärkein tavoite oli saada pienennetyksi tuulettimista aiheutuvaa melua moottoreiden käydessä, melutaso tavoite oli enintään 80 dB(A). Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada 280- ja 315-moottorikokoluokkien tuulettimet tehdyiksi. Opinnäytetyön edetessä päätettiin yrittää saada molempien moottorikokoluokkien jäähdytys toteutumaan yhdellä tuulettin kokoluokalla.

Tuulettinmallin valettavuuden varmistuminen oikeanlaiselle tuuletingeometrialle oli työn kannalta tärkeässä roolissa. Myös saatu tieto siitä, että mitä tuuletingeometriassa voidaan muokata, sen vaikuttamatta oleellisesti valettavuuteen oli tärkeä. Valettavuuden varmistuminen mahdollisti virtaussimuloinnin aloittamisen ja täten koko työn edistymisen.

Erittäin tärkeässä roolissa työn kannalta oli virtaussimulointi, vaikka virtaussimuloinnin tulokset eivät olleet suoraan verrannollisia todellisiin tuloksiin oli se erittäin tärkeä osa työtä tavoitteen saavuttamisen kannalta. Virtaussimuloinnin ansiosta tuuletingeometriassa päästiin oikeaan suuntaan ja täten tavoite saavutettiin.

Prototyypin testaukseen ei ehditty 315-moottorikokoluokkaa saada, mutta tämä kokoluokka tullaan testaamaan tulevaisuudessa. 280-kokoluokan moottorilla prototyypituulettimen testauksessa tavoitteeseen ei päästy, tuulettimen siipihalkaisijan ollessa 334 mm. Tuulettin oli turhan tehokas, josta johtuen melutasot myös kasvoivat. 280-kokoluokan moottoritettiin koneistettiin prototyypituulettin halkaisijaan 313 mm ja näin moottorista saatiin hiljaisempi, kun turhan tehokas ilmavirtaus pienentyi. Tuulettinsiipihalkaisijalla 313 mm meluarvot eivät kokonaisuudessa nousseet yli 80 dB(A) ja tavoite saavutettiin.



Muilla kokoluokan moottoreille tullaan myös kehittämään vastaavanlaiset tuulettimet tulevaisuudessa, koska myös muilla moottorikokoluokilla on sama meluongelma. Muut kokoluokat jäivät pois opinnäytetyöstä, koska nämä eivät ole yhtä yleisiä käytössä olevia moottoreita kuin 280- ja 315-kokoluokan moottorit. Haluttiin myös pitää aihe rajattuna, jottei se kasvaisi liian laajaksi. Aiheen rajauksen ansiosta pystyttiin myös keskittymään tarkemmin tuulettimen kehitykseen yleisimpien moottorikokoluokkien osalta.

Työn aihe oli mielenkiintoinen ja opettavainen. Koska sain työn hyvissä ajoin, oli aikaa riittävästi niin mallintamiseen kuin kirjoittamiseenkin. Tämän asian johdosta pystyin keskittymään mallintamiseen syksyllä ja kirjoitusosuuden jätin pääpiirteissään keväälle.

Työn haastavin osuus oli mielestäni työstä kirjoittaminen. 3D-mallintaminen ei ongelmaksi tullut, koska olin kartuttanut kokemusta aiemmin koulun kursseilla ja opinnäytetyötä edeltävänä kesänä työskennellessäni ABB Oy:n Motors and Generatorsin tuotekehityksessä. Joitakin ongelmia myös mallintamisen osalta ilmeni, koska välillä täytyi mallit saada heti eteenpäin toimittajalle. Kiireellisten mallinnus- ja piirustusasioiden kanssa oli Kari heikfolkin apu tärkeää. Kari Heikfolk hoiti myös yhteydenpidon alihankkijoihin ja Elomaticiin, koska itse en aina ABB Oy:lla paikanpäällä ollut kouluasioiden johdosta.

Kaiken kaikkiaan työ oli erittäin innostava, mutta kuitenkin hieman liian haasteellinen aikatauluun nähden. Aikarajoitteista johtuen joutui kari heikfolk avustamaan työssä ja tästä oli suuri apu työn valmistumiselle. Erittäin palkitsevaa työssä oli, kun sain nähdä työni tulokset konkreettisesti. Tuotteen kehittäminen, ideointi, suunnittelu, mallinnus sekä valmistus ovat aina mielenkiintoisia aiheita.



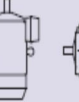
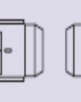
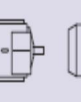

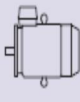
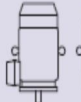
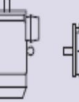
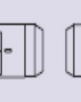
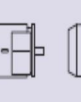
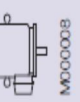
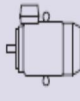
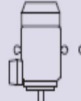
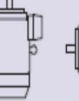
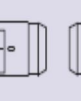
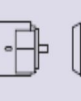
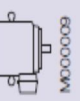
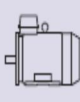
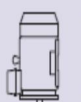
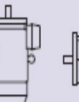
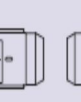
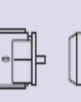

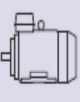

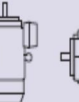
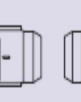
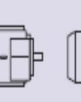



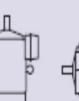



## LÄHDELUETTELO

- /7/ ABB. 2013. ABB:n erikoismoottorit länsimetron savukaasujen poistoon. Media. ABB Suomessa. Viitattu 3.2.2014. <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/1de93272e1a56a39c1257ba400230176.aspx>
- /8/ ABB. 2012. ABB Oy, Motors and Generators. ABB Oy Motors and Generators yleis-esittely. Viitattu 3.2.2014. <http://fi.inside.abb.com/cawp/gad00195/7f3f0f93f68dcc97c22570050018e347.aspx>
- /5/ ABB. 2014. Abb Oy, Motors and Generators. Yksiköt. ABB Suomessa. ABB lyhyesti. Viitattu 10.1.2014. <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/motors-and-generators>
- /1/ ABB. 2014. ABB-yhtymä. ABB lyhyesti. Viitattu 02.01.2014. <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/yhtyma>
- /12/ ABB. 2004. Drive Pienijänteiset moottorit. Esite BU/Vakiomoottorit. Motors & Drivers. Viitattu 4.3.2014. [http://auser09.onet.tehonetti.fi/data/attachments/M2000\\_vakiomoottorit.pdf](http://auser09.onet.tehonetti.fi/data/attachments/M2000_vakiomoottorit.pdf)
- /2/ ABB. 2014. History. ABB in brief. Viitattu 02.01.2014. <http://new.abb.com/about/abb-in-brief/history>
- /4/ ABB. 2014. ABB Suomessa. ABB lyhyesti. Viitattu 02.01.2014. <http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/0b5e2755355c156dc12579bb003910a4.aspx>
- /11/ ABB. 2005. The Motor Guide- basic technical information about low voltage standard motors. The Motor Guide, Second edition 2005. LV Motors.
- /13/ Daly, B. B. 1985. Woods Practical Guide to Fan Engineering. Third Edition. Ipswich. Woods of Colchester Limited
- /6/ Haapalainen, P., Kattelus, M., Markku, S., Olander, R., Rosenblad, L., Söderlund, A. Valkama, A. & Vartiainen, M. 2013. Näin syntyi Pohjoismaiden suurin energiateknologian keskittymä. Energia Vaasa. Vaasa. Vaasan seudun kehitys Oy VASEK.
- /15/ Höök, T. & Meskanen, S. 2013. Kertamuottimenetelmät. Valimotekniikan perusteet. ValuAtlas. Viitattu 10.3.2014. [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp\\_menet\\_kertamuotti.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_menet_kertamuotti.pdf)
- /10/ Konetekniikan osasto. 2007. Sähkökäytöt. Mekatroniikan peruskurssi. Lappeenrannan yliopisto. Viitattu 5.3.2014. <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk60a0001/lisatty/sahkokaytot.pdf>
- /9/ Korpinen, L. Sähkökoneet, osa 1. Shkvoimatekniikkaopus. Viitattu 3.2.2014. [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_1osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf)

/16/ Meskanen, S. Alumiinin valaminen. Scan Alunium – Alumiinin valaminen. Valimotekniikan perusteet. ValuAtlas. Viitattu 16.3.2014. [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp\\_mat\\_alumiinit.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_mat_alumiinit.pdf)

/3/ Porkkala, T. ABB:lle uusi pääjohtaja. Organisaatio-Sanomat. Viitattu 6.1.2014. <http://www.organisaatio-sanomat.fi/abbille-uusi-paajohta/>

/14/ Orkas, J. Valmistusmenetelmän valinta. Valimotekniikan laboratorio. Teknillinen korkeakoulu. Viitattu 4.3.2014. [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/10048/materiaali/10048\\_juhani\\_orkas\\_\\_valmistusmenetelman\\_valinta.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/10048/materiaali/10048_juhani_orkas__valmistusmenetelman_valinta.pdf)

Code I/Code II							Product code pos. 12
Foot-mounted motor	IM B3 IM 1001	IM V5 IM 1011	IM V6 IM 1031	IM B6 IM 1051	IM B7 IM 1061	IM B8 IM 1071	A = foot-mounted, term.box top R = foot-mounted, term.box RHS L = foot-mounted, term.box LHS
							M000007
Flange-mounted motor, large flange	IM B5 IM 3001	IM V1 IM 3011	IM V3 IM 3031	*) IM 3051	*) IM 3061	*) IM 3071	B = flange mounted, large flange
							M000008
Flange-mounted motor, small flange	IM B14 IM 3601	IM V18 IM 3611	IM V19 IM 3631	*) IM 3651	*) IM 3661	*) IM 3671	C = flange mounted, small flange
							M000009
Foot- and flange-mounted motor with feet, large flange	M B35 IM 2001	IM V15 IM 2011	IM V38 IM 2031	*) IM 2051	*) IM 2061	*) IM 2071	H = foot/flange- mounted, term. box top
							M000010
Foot- and flange-mounted motor with feet, small flange	IM B34 IM 2101	IM V17 IM 2111	IM 2131	IM 2151	IM 2161	IM 2171	T = foot/flange- mounted, term. box RHS
							M000011
Foot-mounted motor, shaft with free extensions	IM 1002	IM 1012	IM 1032	IM 1052	IM 1062	IM 1072	J = foot/flange- mounted, small flange
							M000012
*) Not stated in IEC 60034-7.							