



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Eero Tuppi

EX D -VÄLILAIPIAN KEHITYS- PROJEKTI

Tekniikka
2019

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty loppusyksyn 2018 ja alkutalven 2019 aikana osana Vaasan ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön konetekniikan koulutusohjelmaa. Työn tilaajana oli ABB Oy:n Motors and Generators -yksikön R&D -osasto Vaasassa.

Opinnäytetyön ohjaajana Vaasan ammattikorkeakoulun Tekniikan yksiköstä toimi Juha Hantula, sekä ABB Oy:n Motors and Generators -yksikön Project teamin R&D Manager Pasi Viitanen.

Opinnäytetyöprojektin ohessa kohdattiin haasteita, mutta opin matkalla paljon. Työ oli minulle erittäin mielenkiintoinen ja toivon saavani työelämässä kohdata paljon tuotekehitysprojekteja. Näillä alkusanoilla haluan kiittää kaikkia opinnäytetyössäni välillisesti ja välittömästi osallisena olleita henkilöitä. Erityiskiitokset ohjaajina toimineille Juha Hantulalle ja Pasi Viitaselle, projektin ydintyöryhmässä työskennelleille Hannu Majaniemelle ja Esa Kuntolalle, sekä standardien tutkimisessa opastaneelle Tuomo Ketolalle.

Vaasassa 21.2.2019

Eero Tuppi

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Eero Tuppi
Opinnäytetyön nimi	Ex d -välilaipan kehitysprojekti
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	48 + 1 liite
Ohjaaja	Juha Hantula + Pasi Viitanen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää ja tutkia räjähdysvaarallisiin tiloihin suunnatun sähkömoottorin staattorirungon ja liitäntäkotelon välistä kaapeliläpivientä. Samasta aiheesta on tehty aiemminkin projekteja ja tämä opinnäytetyö toimii osaksi jatkona niille.

Teoriaosuudessa käydään läpi lyhyesti oikosulkumoottorin perusrakenne ja toimintaperiaate, Ex-moottorin eroavaisuudet, sekä tarkastellaan räjähdysvaarallisiin tiloihin suunnattujen laitteiden ominaisuuksia ja hyväksyntävaatimuksia. Teoriaosuuden lähteenä käytin tärkeimpänä opinnäytetyössä kehitettävää komponenttia koskevia kansainvälisiä standardeja, aiheeseen liittyviä verkkojulkaisuja, sekä kollegoitani saatua tietoa edellisistä projekteista ja niissä tehdyistä havainnoista. Työn tekemisessä suurin rooli oli prototyypin suunnittelulla, testauksella ja niistä saatujen testituloksien sekä havaintojen tarkastelulla.

Työn aikana suunniteltiin, valmistettiin sekä teetettiin kaksi eri prototyyppiä, joista molemmista tehtiin useampia näytteitä. Prototyypeille tehtiin eri tyyppisiä testejä ja tutkimuksia. Työssä tutkittiin lisäksi myös prototyyppeihin liittyviä tuotteita ja ilmiöitä myös varsinaisista prototyypeistä erillään. Prototyypin testitulosten ja niiden arvioinnin perusteella saatiin arvokasta tietoa ja hyviä ideoita projektiin liittyvää jatkokehitystä varten. Opinnäytetyön osalle asetetut tavoitteet täyttyivät, sillä tehty tutkimus oli kokonaisuudessaan riittävän laaja ja tulokset kattavia, sekä toisella prototyypeistä saatiin lupaavia testituloksia. Koko projekti ei tullut opinnäytetyön aikana valmiiksi sen runsaasti aikaa vaativien hyväksyntäprosessien luonteiden sekä erittäin suuren työn määrän vuoksi, mutta opinnäytetyöstä saatujen tietojen valossa projektin jatkaminen on selkeämpää ja lähempänä onnistumista.

ABSTRACT

Author	Eero Tuppi
Title	Ex d -Intermediate Flange Development Project
Year	2019
Language	Finnish
Pages	48 + 1 Appendices
Name of Supervisor	Juha Hantula + Pasi Viitanen

The purpose of this was to conduct a development project considering a cable lead through component inside the ABBs electric motors to be operated in explosive (Ex) atmospheres. The developed component is an intermediate flange between the stator frame and terminal box. Its function is to pass through electric cables from the terminal box to the stator core winding located inside the stator frame and be pressure tight in extreme conditions at the same time.

The theory section of this thesis concludes the basic construction and operation of a three-phase squirrel cage motor briefly, main structural differences between normal and Ex-motors and requirements for components used in explosive atmospheres demanded by the international standards. References used are the international standards considering Ex-equipment, Ex-related internet pages and general knowledge and test data from previous projects. The main assignment in completing this thesis work was designing and testing the prototypes and analyzing test results.

Two kinds of different prototypes were designed and manufactured or made by order during this thesis. Multiple test samples of each prototype were made, and they underwent a series of test procedures and analysis to enable ABB to acquire a fair amount of test results and observations from those results. Results and observations provided a vast amount of quality information for the continuation of this project. Some test results were quite promising, thus the goals set by ABB and myself for this thesis were absolutely met. The cable lead through development project in its entirety did not finish during this thesis due to a very broad project scope and the nature of lengthy approval processes included in the project.

Keywords Ex-motor, development, design, prototype, testing

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	10
2	YRITYSESITTELY	11
	2.1 ABB:n yritys rakenne	11
	2.2 ABB:n historia lyhyesti	11
	2.3 ABB Suomessa	12
	2.4 ABB Motors & Generators	12
3	TEORIATAUSTA.....	13
	3.1 Oikosulkumoottorin toimintaperiaate	13
	3.2 Oikosulkumoottorin rakenne	15
	3.3 Räjähdyksenvaarallinen tila	18
	3.4 ATEX-direktiivit	19
	3.5 Ex-tila- ja laiteluokat	20
	3.6 Ex -luokitellut laitteet.....	21
	3.7 Ex d -luokitus ja -tyyppitestit.....	23
	3.7.1 Ex d -välilaipalle tehtävät tyyppitestit	24
	3.8 Ex d -moottori.....	27
4	SUUNNITTELU	30
	4.1 Lähtökohdat ja vaatimukset	30
	4.2 Nykyinen Ex d -välilaippa ja läpivienti.....	31
	4.3 Aiemmin tehdyt testit	33
	4.3.1 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta.....	34
	4.3.2 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta.....	34
	4.4 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta	34
	4.5 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta	34
	4.5.1 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta.....	34
	4.5.2 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta.....	34
	4.5.3 Lisäävän valmistuksen mahdollisuudet	34

4.5.4	Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta.....	35
4.5.5	Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta.....	35
4.6	Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta	35
4.7	Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta	35
5	TESTIT	36
5.1	Kaapelit ja tiivistysaineet.....	36
5.1.1	Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta.....	37
5.2	Vetokoenäytteiden valmistelu.....	37
5.3	Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta	38
5.4	Vetokoe.....	38
5.5	Lämpörasitus.....	39
5.6	Painetestaus.....	41
6	TESTITULOKSET.....	43
6.1	Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta	43
6.2	Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta	43
6.3	Tulosten arviointi	43
7	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT.....	44
7.1	Resurssiyhteenveto.....	44
7.2	Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta	46
7.3	Arvio omasta suorituksesta ja opinnäytetyöprojektin kulku	46
	LÄHTEET.....	47

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Motors & Generators -yksikön tuotteita.....	12
Kuva 2. Kolmivaihesähkö ja magneettivuon pyöriminen. /9/	14
Kuva 3. Roottorin häkkikäänitys. /8/	14
Kuva 4. Räjätyskuva. /10/.....	15
Kuva 5. Oikosulkumoottorin poikkileikkaus.....	16
Kuva 6. Moottorien kiinnityspisteet.....	17
Kuva 7. Moottorin IEC-kokoluokan määrittelevät mitat. /10/	17
Kuva 8. Tilaluokkien havainnollistus. /17/.....	21
Kuva 9. ATEX-direktiivin mukainen Ex-merkintä laitteessa. /15/.....	22
Kuva 10. Lämpörasitusprosessin lämpötilataulukko, IEC 60079-0. /16/.....	26
Kuva 11. Räjätyskuva Ex d -moottorista. /20/.....	27
Kuva 12. Tavallisen BP-moottorin poikkileikkaus.....	28
Kuva 13. Ex d -moottorin poikkileikkaus.	28
Kuva 14. IE-hyötysuhdeluokat. /20/	29
Kuva 15. Nykyisen Ex d -välilaitan 3D-malli.	32
Kuva 16. Nykyinen Ex d -välilaita.....	33
Kuva 17. Koneistettu prototyyppi testejä varten.....	35
Kuva 18. Vetokoenäytteitä.	37
Kuva 19. Lähikuva vetokoenäytteestä.....	38
Kuva 20. Vetokoelaitteisto.	39
Kuva 21. Technobothnian Lab Tester (vas.) ja ABB:n Espec ARS-1100 (oik.)..	40
Kuva 22. Painetestaussylinteri ja välilaitaprototyypin testaus.....	41
Kuva 23. Konseptin 2. prototyypin testaus.....	42
Kuva 24. Käsipumppu ja datalogger.	42
Kuva 25. Mahdollinen testikokoonpano.....	45
Taulukko 1. Vaatimuslista.	31
Taulukko 2. Kaapelit ja tiivistysaineet.	36

LIITELUETTELO

LIITE 1. Työn tilaaja on estänyt liitteen julkaisun.

LIITE 2. Työn tilaaja on estänyt liitteen julkaisun.

LIITE 3. Työn tilaaja on estänyt liitteen julkaisun.

LIITE 4. Työn tilaaja on estänyt liitteen julkaisun.

LIITE 5. Työn tilaaja on estänyt liitteen julkaisun.

LIITE 6. Työn tilaaja on estänyt liitteen julkaisun.

LIITE 7. Työn tilaaja on estänyt liitteen julkaisun.

LYHENTEET JA TERMIT

ABB	Asea Brown Boveri
M3JP	ABB:n räjähdyspaineen kestävien sähkömoottorien tunnus
ATEX	Ex-laitteita koskeva lainsäädäntö
Ex	Räjähdysvaarallisten tilojen luokitus yleisesti
Ex d	Räjähdyspaineen kestävä laitteen luokitustunnus
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
Olosuhdekaappi	Laite, jolla voidaan havainnoida äärimmäisten ympäristössä vallitsevien olosuhteiden vaikutusta testikappaleisiin
D-pää	Moottorin asiakkaan pää, josta akselitappi tulee ulos
N-pää	Moottorin vapaa pää, josta ei vakiomoottoreissa tule akselitappia ulos
Siemens NX 10	3D-suunnitteluohjelmisto
Teamcenter PLM	Siemensin tuotteen elinkaaren hallintaohjelmisto
°C	Celsius
K	Kelvin
Revisiointi	Uuden version tekeminen, tässä tapauksessa piirustuksen päivitys

1 JOHDANTO

ABB Motors & Generatorsin valmistamien räjähdysvaarallisiin tiloihin suunnattujen Ex d -luokiteltujen pienjännitesähkömoottoreiden staattorirungon ja liitäntäkotelon välistä kaapeliläpivientä on kehitettävä, sillä muun muassa niiden valmistettävyyttä yritetään parantaa. Tämä opinnäytetyö keskittyy kokoluokan 280-moottoriin.

280-kokoluokan Ex d -sähkömoottorissa liitäntäkotelon ja staattorirungon välissä käytetään nykyrakenteella valurautaista osaa nimeltään välilaippa, jonka pohjassa on reiät syöttö- ja lisälaitekaapeleille. Välilaipassa on tila, johon valetaan tiivistysainetta ja sen jähmettyessä se eristää moottorin sisäpuolisen ilmatilan liitäntäkotelon ilmatilasta. Tehtävänä on ideoida, kehittää ja testata erilaisia mahdollisia vaihtoehtoja edellä mainitulle ratkaisulle ja kerätä niistä testidataa projektin jatkamisen tueksi. Tehtävänä on myös tutkia uusia kaapelivaihtoehtoja käytöstä poistuvan tilalle. Kehitysprojekti kokonaisuudessaan alusta loppuun ei ehdi valmiiksi opinnäytetyön aikana, sillä se saattaa kestää jopa muutaman vuoden.

Opinnäytetyössä suunnitellaan ja tuotetaan kaksi eri prototyyppiä, joille tehdään sarja testejä. Lisäksi tehdään muitakin tutkimuksia tarjoamaan pohjatietoa prototyyppien testaukselle. Testitulokset analysoidaan ja niiden perusteella tehdään havaintoja ja esitetään ehdotuksia jatkokehitystä varten. Suunnitelmat perustuvat edellisten aiheeseen liittyvien projektien keskeisiin havaintoihin sekä tämän opinnäytetyön aikana saatuihin uusiin ideoihin.

2 YRITYSESITTELY

ABB on maailmanlaajuisesti yli 100 maassa noin 147 tuhatta työntekijää työllistävä sähkötekniikanalan yritys, joka toimii monella muullakin toimialalla. Näihin kuuluvat muun muassa metalli- ja metsäteollisuus, prosessiautomaatio, sähkönjakelu ja -siirto, sekä erilaiset tuuli- ja vesivoimalasovellukset. ABB on myös maailman johtava teollisuuskäyttöön tarkoitettujen sähkömoottorien toimittaja. /1–2/

2.1 ABB:n yritysrakenne

ABB itsessään jakaantuu neljään laajempaan divisioonaan, joiden alle sijoittuvat tarkemmin toiminnan kuvaa vastaavat yksiköt. Neljä päädivisioona ovat:

- Power Grids, käsittää sähköverkkoihin ja sähkönjakeluun liittyviä ratkaisuja, automaatiota, sekä laajan kirjon suurjännite- ja muuntajatuotteita.
- Electrification Products, tarjoaa muun muassa taloautomaatoratkaisuja sekä sähköasennustuotteita kuten johdotustarvikkeet, suojaustarvikkeet, erilaiset anturit ja kytkimet.
- Industrial Automation, toimittaa prosessiteollisuuden automaatoratkaisuja, hallintajärjestelmiä, mittalaitteita sekä elinkaaripalveluja
- Robotics and Motion, koostuu nimensä mukaisesti robottituotannosta, sekä liikkeen tuottamiseen liittyvien komponenttien valmistuksesta. Näitä komponentteja ovat muun muassa sähkömoottorit, generaattorit ja taajuusmuuttajat. /3/

2.2 ABB:n historia lyhyesti

ABB sai alkunsa vuonna 1988, kun Ruotsalainen ASEA ja Sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät. Ruotsalainen ASEA on perustettu vuonna 1883 ja se valmisti tuotteita laajalla kirjolla kuluttajaelektroniikasta sähköjuniin. Brown Boveri taas on perustettu vuonna 1891 ja se valmisti muun muassa AC/DC -sähkömoottoreita, generaattoreita, höyryturbiineja ja muuntajia. /4–6/

ABB:n historia Suomessa sai alkunsa sähkötekniikan uranuurtajan Axel Gottfrid Strömbergin perustamasta konepajasta. Vuonna 1889 perustettiin ensimmäinen

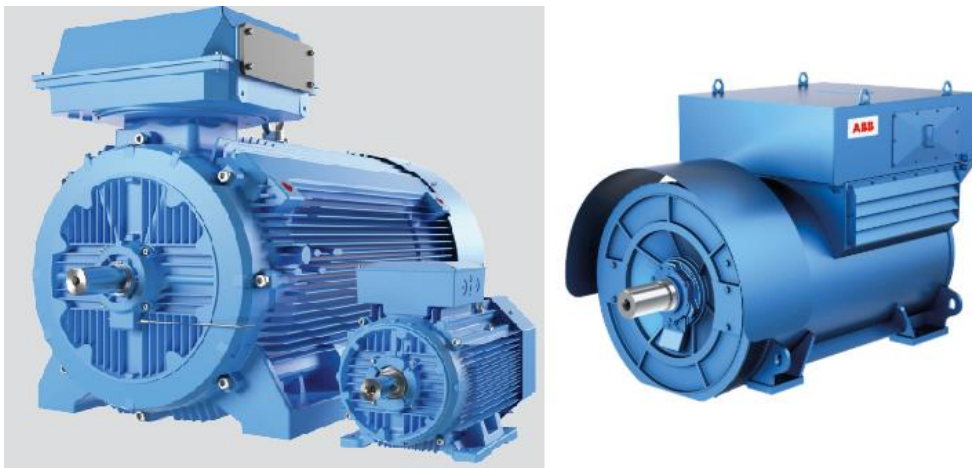
Strömbergin konepaja Helsinkiin. Strömberg ehti laajentua vuosisadan aikana monelle paikkakunnalle ennen ABB:n aikaa, kunnes myöhemmin Strömbergin konepaja siirtyi ASEA:n omistukseen ja vuonna 1988 yritysfuusion tapahduttua Strömbergistä tuli osa ABB:tä. /4–6/

2.3 ABB Suomessa

ABB työllistää kotimaassa noin 5300 työntekijää 22 eri paikkakunnalla, näistä Haminassa, Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa sijaitsevat ABB:n tehtaat. ABB kuuluu Suomen tasolla teollisten työnantajien kärkinimiin, lisäksi se on pääkaupunkiseudulla yksittäinen suurin teollinen työnantaja. Suomessa ABB:n vuosittainen liikevaihto on noin 2,3 miljardia. /2/

2.4 ABB Motors & Generators

Yksikkö tarjoaa laajan repertuaarin teollisuuskäyttöön tarkoitettuja sähkömoottoreita ja generaattoreita (**kuva 1.**). Näihin kuuluu korkea- ja matalajännitegeneraattoreita, sekä eri hyötysuhdeluokkien sähkömoottoreita kaikkiin teollisuuden tarpeisiin, sovelluksesta ja vaatimuksista riippumatta. Vaasan moottoritehtaalla valmistetaan räätälöityjä matalajännitemoottoreita prosessiteollisuuteen, eli moottoreita, joihin tehdään tiettyjä asiakkaan haluamia muutoksia.



Kuva 1. Motors & Generators -yksikön tuotteita.

3 TEORIATAUSTA

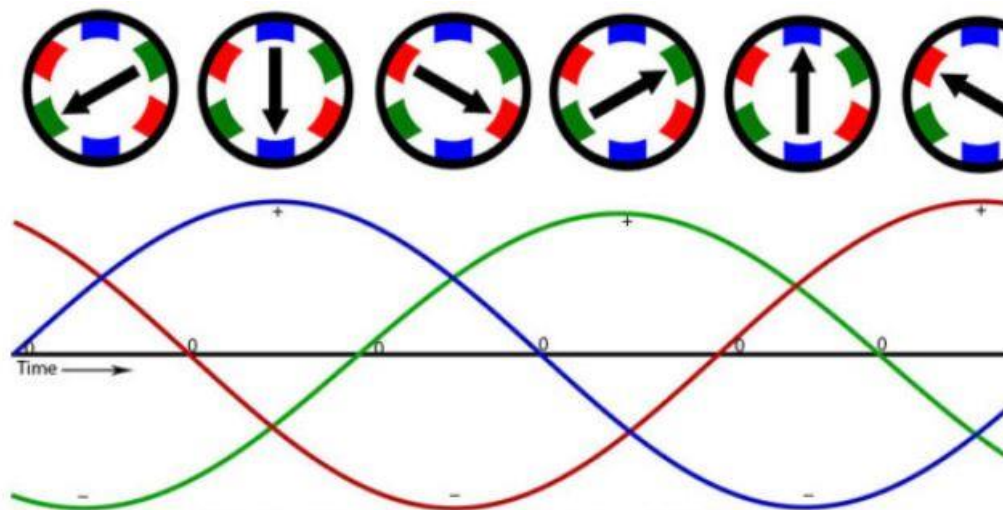
Tässä luvussa käsitellään perusteet opinnäytetyöhön liittyvien teoriatietojen osalta kuten oikosulkumoottorin toimintaperiaate ja räjähdysvaarallisiin tiloihin suunnattujen sähkölaitteiden määräykset. Käydään läpi oikosulkumoottorin tärkeimmät komponentit, sekä tarkastellaan Ex d -luokitettujen sähkömoottorien ominaisuuksia. Tarkastellaan myös kansainvälisten standardien määrittämiä vaatimuksia Ex-komponenttien hyväksymiselle. Teoriaosuuteen tietoja on kerätty internetistä, standardeista, ABB:n työntekijöiltä sekä tämän opinnäytetyön aihetta sivuten aiemmin ABB:llä tehdystä opinnäytetyöstä /7/.

3.1 Oikosulkumoottorin toimintaperiaate

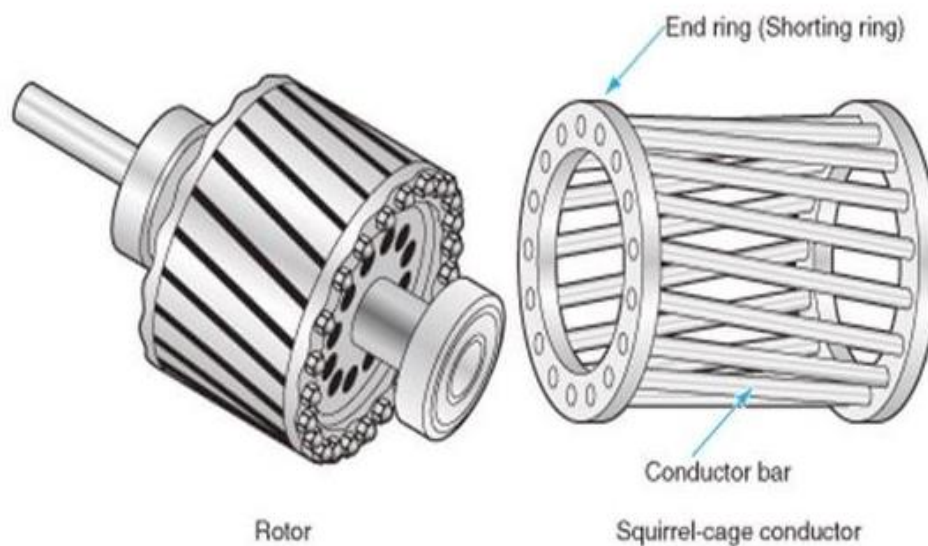
Oikosulkumoottori on laite, jolla muutetaan sähköenergiaa mekaaniseksi liikeenergiaksi. Sen toiminta perustuu kolmivaiheisen vaihtosähkön (**Kuva 2.**) johtamiseen staattorikäämiin halutun muotoisen magneettivuon aikaansaamiseksi, joka puolestaan lävistäessään roottorin indusoi virtaa roottoriin magnetoiden sen. Roottorissa on oikosuljettu häkkikäänitys (**Kuva 3.**), joka muodostuu tyypillisesti kuparisista tai alumiinisista roottorisauvoista ja sen molemmissa päissä on oikosulkurenkaat.

Moottorin käydessä staattoriin muodostuva magneettivuo pyörii aksiaalisesti moottorin akselin ympäri kolmivaiheiseksi käänitetyn staattorikäämin ansiosta, tällöin magnetoitunut roottori alkaa seuraamaan staattorin magneettivuon pyörimisliikettä ja vääntömomenttia voidaan ottaa moottorin akselilta ulos. Oikosulkumoottorin selkeitä etuja ovat sen yksinkertainen rakenne, sekä siinä ei ole laakerien lisäksi kovin montaa kuluva osaa. Huonoiksi puoliksi voidaan puolestaan lukea esimerkiksi korkeat käynnistysvirrat ja matala käynnistysvääntömomentti.

/8/



Kuva 2. Kolmivaihesähkö ja magneettivuon pyöriminen. /9/

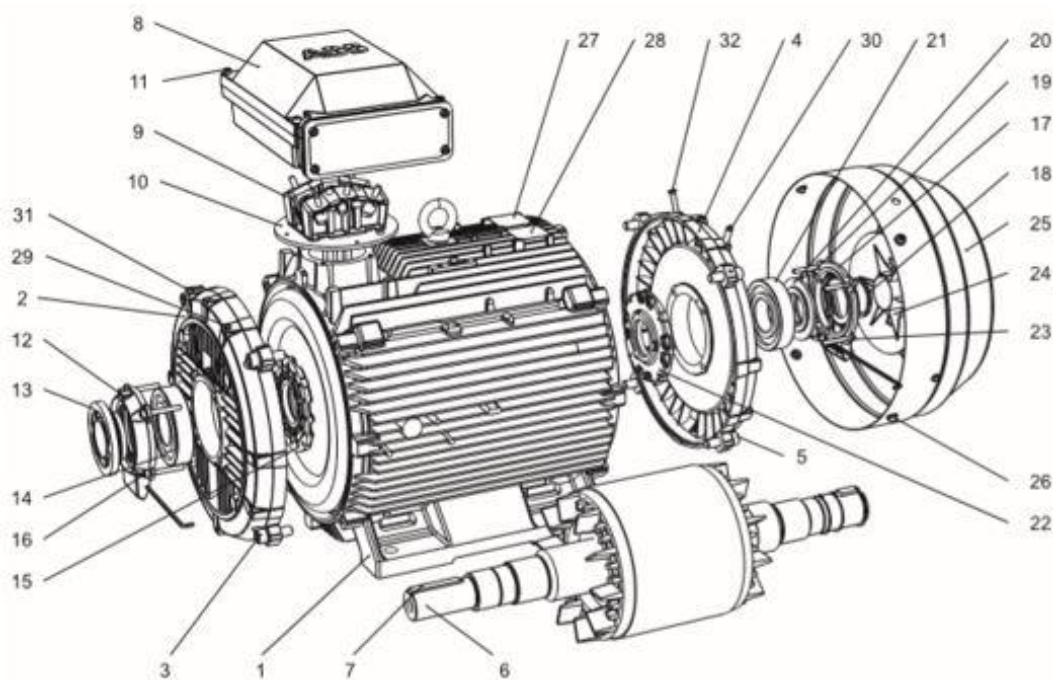


Kuva 3. Roottorin häkkikäänitys. /8/

Kolmivaihesähkö on yksinkertaisuudessaan kolmeen johtimeen johdettua siniaal-
toista sähkövirtaa, joilla on 120° vaihe-ero toisiinsa nähden. **Kuvasta 2.** Nähdään,
kuinka kolmivaihesähkö johtuu vuorotellen staattorin käämityksen vaiheisiin kier-
tävässä järjestyksessä saaden aikaan roottoria pyörittävän magneettivuon. Mootto-
rin pyörimisnopeus taas riippuu siitä, kuinka moninapainen staattorin käämitys
on.

3.2 Oikosulkumoottorin rakenne

Oikosulkumoottorin rakenne (**kuva 4.**) koostuu yksinkertaisimmillaan seuraavista keskeisimmistä komponenteista: staattorirunko, staattoripaketti käämityksineen (näkyvät paremmin **kuvasssa 5.**), roottoripaketti akselineen, laakerikilvet ja laakerit. Lisäksi moottorissa on vielä mm. liitäntäkotelo varsinaisine liittimineen, laakerikannet ja akselin tiivisteet. Tärkeimmät komponentit ovat staattori- ja roottoripaketti, nämä ovat niin kutsuttuja aktiiviosia eli toiminnallisia komponentteja, joilla on vaikutusta moottorin sähköisiin ominaisuuksiin. Passiiviosat eli esimerkiksi staattorirunko ja laakerikilvet toimivat kotelona ja runkona aktiiviosille. Laakerikilvissä on koneistetut laakeripesät, joihin asennetut laakerit kannattelevat akselia ja sen ympärille puristettua roottoripakettia.

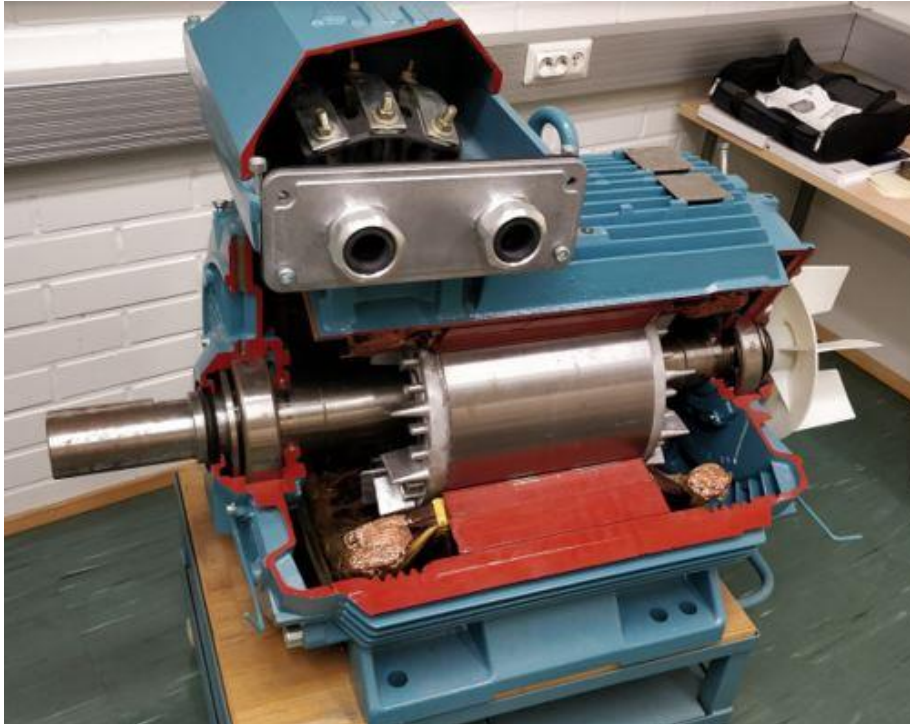


Kuva 4. Räjätyskuva. /10/

Sähkömoottorin tärkeimmät komponentit:

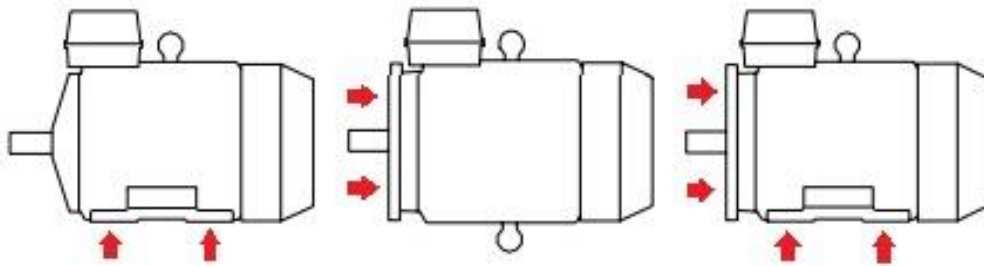
- 1. Staattorirunko (sisältää staattorin)
- 3. D-pään laakerikilpi
- 4. N-pään laakerikilpi
- 6. Roottorikokoonpano (akseli ja roottori)

- 8. Liitäntäkotelo
- 14. D-pään laakeri
- 21. N-pään laakeri.



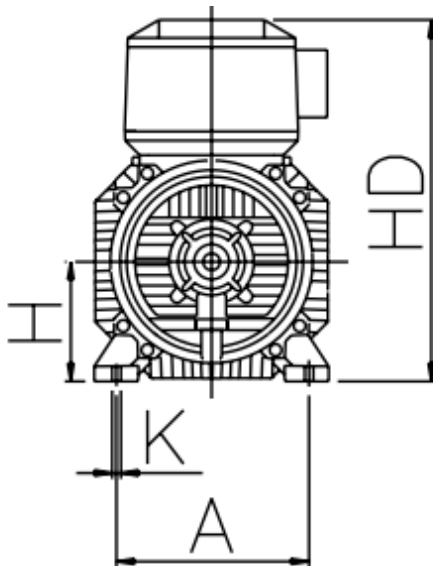
Kuva 5. Oikosulkumoottorin poikkileikkaus

Moottoreita on mahdollista asentaa moneen eri asentoon, sekä on mahdollista käyttää erilaisia kiinnityspisteitä. Asennusasentoja on joka kiinnityspistemallilla useampia, sillä jokainen orientaatiovaihtoehto on oma asennusasentonsa. Kiinnityspistevaihtoehdot (**kuva 6.**) ovat jalkakiinnitys (staattorirungossa on jalat, jotka pultataan kiinni moottorin asennuspaikan lattiaan tai alustaan), laippakiinnitys (D-pään laakerikilpi vaihdetaan laippakilpeen, jossa kiinnitysruuvit ovat kehällä mahdollistaen moottorin kiinnityksen esimerkiksi levyyn tehtyyn pyöreään aukkoon) sekä yhdistelmä näistä kahdesta, josta löytyvät molemmat kiinnityspisteet (jalkakiinnitys + laippakiinnitys).



Kuva 6. Moottorien kiinnityspisteet.

Moottorien kokoluokka määritellään mittaamalla mitta H, eli korkeus staattorirungon jalan pohjasta akselin keskipisteeseen (**Kuva 7**). Tämä mitoitus on standardin IEC 60072 mukainen, ja suurin osa valmistajista noudattaa sitä. Lisäksi kiinnityspisteiden mitat, esimerkiksi mitta A eli staattorirungon jalkojen kiinnityspisteiden leveys, on määritetty samassa standardissa. Opinnäytetyössä käsiteltävä moottori on tyypiltään M3JP280, joten tässä moottorissa edellä mainittu mitta on 280 millimetriä. ABB tarjoaa tavallisia (BP) Ex-luokittamattomia prosessiteollisuuden sähkömoottoreita kattaen kokoluokat 71–450.



Kuva 7. Moottorin IEC-kokoluokan määrittelevät mitat. /10/

3.3 Räjähdyksivaarallinen tila

Räjähdyksivaarallinen tila on Ex-tila, jossa jokin tulenarka kaasu, kemikaalihöyry tai pöly muodostaa ympäröivän ilman kanssa räjähdyskelpoisen seoksen. Räjähdykskelpoinen seos voi olla esimerkiksi bensiinihöyry. Pölyräjähdysvaara syntyy, kun ilmaan sekoittuu riittävän suuri määrä pienikokoisia partikkeleita tilassa esiintyvistä tai työstettävistä aineista. Pöly voi olla peräisin esimerkiksi hiomisesta, kiven poraamisesta tai viljan käsittelystä. Varsinainen aine, josta pöly on syntynyt ei välttämättä kiinteässä olomuodossaan ole kovinkaan tulenarkaa, mutta pölynä se saattaa aiheuttaa räjähdysvaaran (esim. metallipöly). Räjähdyksen palorintama vaatii syttyäkseen happea ja syttyvää ainetta riittävän pitoisuuden, näiden aineiden sekoittumisen ilmaseokseksi, sekä syttymiseen vaadittavan määrän lämpöenergiaa. Sytyttävä tekijä korkean lämpötilan lisäksi voi olla vaikkapa sähkölaitteen tuottama kipinä, mekaaninen kipinä, staattinen sähkö tai jopa ultraääni. Ilmaseoksen räjähdysherkkyys kasvaa hapen lisääntyessä ja se riippuu myös paljolti ilman sekoittuneesta kemikaalista. Edellä mainituissa olosuhteissa ei tavallisia suojamattomia koneita ja sähkölaitteita voi käyttää, vaan niiden pitää olla Ex-luokiteltuja. /11/

Suljettu ja huonosti tuuletettu tila vaikuttaa oleellisesti riskeihin, sillä se edistää räjähdyskelpoisen seoksen esiintymistä ympäröivässä ilmassa ja pidentää räjähdysaltiusaikaa. Eri seoksilla on erilaiset ominaisuudet ja toiset syttyvät herkemmin kuin toiset, siksi räjähdysvaaralliset tilat ja niiden vaatimukset on jaettu useaan luokkaan. Ennen laitteiden asennusta räjähdysvaaralliseen tilaan, on olosuhteet tutkittava huolellisesti ja tehtävä kattava riskikartoitus räjähdysuojausasiakirjaa varten. /11, 12/

Esimerkkinä mahdollisesti tapahtuvasta onnettomuudesta voidaan mainita CTA Acousticsin onnettomuus 2/2003 ja Imperial Sugarin onnettomuus 2/2008, näistä kummatkin ovat sattuneet Yhdysvalloissa. Ensin mainitussa tapauksessa lasikuitueristeitä autoteollisuuteen valmistavan yrityksen tiloissa vikaantunut uuni tuotti sähkökipinän ja aiheutti hartsipölyn räjähtämisen, aiheuttaen 7 ihmisen kuoleman. Jälkimmäisessä tapauksessa sokeritehtaalla tapahtui laaja 14 ihmishenkeä ja 38

loukkaantunutta vaatinut räjähdys, joka sai alkunsa sokerisiilojen alla olevien kuljettimien läheisyydessä sijainneen sokeripölyn syttymisestä. Räjähdys levisi soke-rikuljettimista pakkausrakennukseen tuhoten lähes koko tehtaan. Räjähdykset ovat aina vakavia tapaturmia ja erityisen vaarallisia tiloissa työskenteleville ihmisille, mahdollisimman perusteellinen ennaltaehkäisy on paras keino suojautua niiltä. /13, 14/

Vastuu Ex-tilojen ja niissä työskentelevien työntekijöiden turvallisuudesta, sekä tiloihin valittujen laitteiden sopivuudesta on viimekädessä aina työnantajalla. Tiloihin toimivat prosessit niiden ylläpitämiseen tarvittavine laitteineen, sekä raaka-aineineen pitää arvioida kokonaisvaltaisesti jokainen erikseen ja mahdollinen räjähdysvaara selvittää. Normaalin toiminnan lisäksi huomioon tulee ottaa myös esimerkiksi kunnossapitotöiden ja käyttöönotto sekä käytöstä poisto toimenpiteiden vaikutus räjähdysvaaraan ja lisäksi mahdollinen virheellinen laitteiden käyttö tahattomasti tai tahallisesti. /12/

3.4 ATEX-direktiivit

ATEX-laitedirektiivi on Euroopan unionin laatima säädös, jolla pyritään yhdenmukaistamaan EU:n jäsenmaissa räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettujen sähkölaitteiden ja koneiden turvallisuusmääräyksiä. Se on säädetty parantamaan potentiaalisesti räjähdysvaarallisissa tiloissa työskentelevien henkilöiden turvallisuutta ja velvoittaa työnantajan huolehtimaan siitä. ATEX-nimi juontuu ranskankielisestä sanaparista ”atmosphères explosibles”, eli vapaasti käännettynä räjähdysvaaralliset ympäröivät olosuhteet. /12/

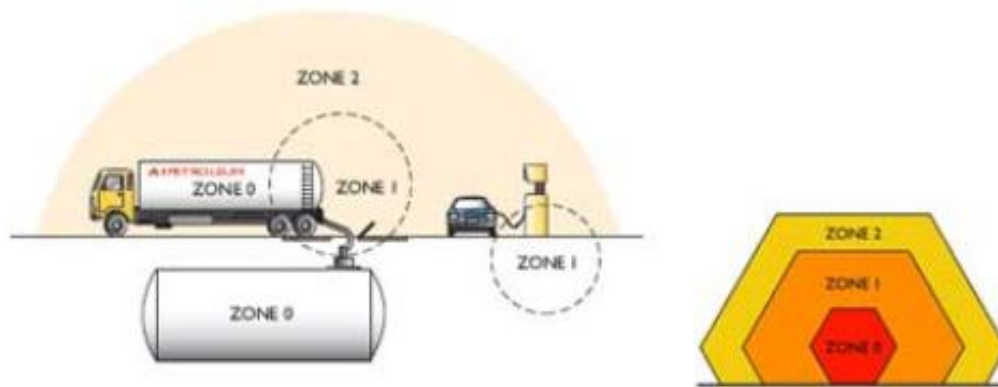
Esimerkkejä paikoista, joissa tällaisia olosuhteita saattaa ilmetä ovat muun muassa energiantuotantolaitokset, kaivokset, öljynjalostamot, kemikaalitehtaat, öljynpoorauslautat ja monet muut teollisuuden kohteet. ATEX-työolosuhdedirektiivi puolestaan pyrkii säätelemään räjähdysvaarallisissa tiloissa työskentelevien ihmisten suojelemista, mutta sillä ei ole suoraa viittausta standardeihin. /15/

3.5 Ex-tila- ja laiteluokat

Räjähdyksivaaralliset tilat luokitellaan tilaluokkiin, jotka ovat jaettuna kahtia kaasu, höyry ja sumutilojen sekä pölytilojen osalta. Kaasutilojen luokat ovat 0,1, ja 2, pölytilojen 20,21 ja 22. Luokan 0 ja 20 tiloissa olevat laitteet ovat aina erittäin korkein suojaustasoin varustettuja, sillä tämän luokituksen tiloissa räjähdysvaaralliset ilmaseokset ovat läsnä jatkuvasti, tai pitkiä ajanjaksoja kerrallaan. 1 ja 21 tiloissa räjähdysvaara ei ole läsnä koko aikaa, vaan on silti todennäköinen ja esiintyy satunnaisesti normaalin käytön aikana. Tiloissa 2 ja 22 räjähdysvaara ei todennäköisesti ole läsnä normaalissa käytössä ja jos näin tapahtuu, niin olosuhteet kestävät vain lyhyen aikaa. /15, 16/

Ex-laitteet jaetaan kahteen laiteryhmään, ryhmä I ja II. Laiteryhmän I laitteet ovat suunnattu ainoastaan kaivoksiin ja niihin kuuluviin maanpinnalla sijaitseviin tiloihin, joissa jatkuvan räjähdysriskin aiheuttaa kaivoksesta peräisin oleva herkästi syttyvä metaanikaasu tai hiilipöly. Ryhmässä I on kaksi laiteluokkaa M1 ja M2, joista M1 on korkeamman suojaustason luokka. Ryhmä II käsittää kaikki muut paitsi kaivoskäyttöön tarkoitetut Ex-laitteet, mukaan lukien tähän opinnäytetyöhön liittyvän sähkömoottorin. Ryhmän II laitteet ovat jaettu suojaustasonsa mukaan luokkiin 1,2 ja 3, joista korkein suojaustaso on luokassa 1 (erittäin korkea suojaustaso) ja matalin luokassa 3 (normaali suojaustaso). /15, 16/

Laiteryhmän II tiloihin sopivia laitteita valitessa on noudatettava tiettyä kaavaa. tilaluokkiin 0 ja 20 on valittava vain laiteluokan 1 laitteita, tilaluokkiin 1 ja 21 voidaan valita laiteluokkien 1 ja 2 laitteita ja tilaluokkiin 2 ja 22 voidaan valita laiteluokkien 1, 2 ja 3 laitteita. Korkealla suojaustasolla varustettuja laitteita voi siis asentaa vaarattomampiin tilaluokkiin, mutta ei toisinpäin. /12/



Kuva 8. Tilaluokkien havainnollistus. /17/

Yllä havainnollistava **Kuva 8.** kaasuräjähdyksvaarallisten tilojen tilaluokista. Tässä tilaluokka 0 toteutuu polttoainetta kuljettavan tankkiauton säiliössä, sekä maanalaisessa polttoainesäiliössä. Näissä molemmissa ilma on koko ajan kosketuksissa syttyvän aineen kanssa ja muodostaa räjähdyskelpoisen seoksen. Tilaluokka 1 toteutuu tankkiauton ja maanalaisen säiliön letkuliitosten läheisyydessä, sillä ilmaan saattaa päästä aina jonkin verran polttoainehöyryjä. Räjähdysvaaralliset olosuhteet ovat kuitenkin läsnä vain säiliötä täytettäessä. Myös polttoaineen jakelupumpun välitön läheisyys kuuluu tilaluokkaan 1, polttoainehöyryjä syntyy ja sitä saattaa roiskahtaa toisinaan maahankin kuluttajan tankatessa autoaan. Ympäröivä alue hieman etäämpänä polttoaineen välittömistä käsittelypaikoista kuuluu tilaluokkaan 2, sillä räjähdysvaarallisia olosuhteita ei normaalissa toiminnassa ilmene koskaan, vaan ainoastaan jonkinlaisen onnettomuuden sattuessa esimerkiksi maanalaisen säiliön täytössä tai auton tankkauksessa.

3.6 Ex -luokitellut laitteet

Ex-luokiteltu laite on räjähdysvaarallisissa ympäristöissä käytettäväksi tarkoitettu laite, joka ei saa aiheuttaa normaalisti toimiessaan tai vikaantuessaan räjähdyksen vaaraa. ATEX-säädökset koskevat kaikkia räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviä Ex-laitteita, laitekoonpanoja ja koneita. Erilaisia Ex-luokiteltuja rakennustyyppisiä on useampia, sekä niiden suojaustasot vaihtelevat käyttökohteen mukaan. Esimerkkejä eri Ex-rakenteista ovat d = räjähdyspaineen kestävä rakenne,

jota tässä opinnäytetyössä käsitellään, p = paineistettu rakenne, o = öljytäytteinen rakenne ja q = jauhetäytteinen rakenne. /12, 18/



Kuva 9. ATEX-direktiivin mukainen Ex-merkintä laitteessa. /15/

Kuvassa 9. on esitettyä ATEX-direktiivin mukainen kaasutiloihin suunnatun laitteen Ex-merkintä. CE-merkintä tarkoittaa sitä, että tuote täyttää sille asetetut vaatimukset EU:n alueella. CE-merkinnän vieressä on luokituksen myöntäneen laitoksen tunnusnumero. Kuusikulmainen räjähdys-suojaussymboli Ex on helppo tunnistaa ja merkitään laitteisiin, joita käytetään räjähdysvaarallisissa tiloissa. Seuraavana merkinnässä on laiteryhmä II, laiteluokka 2 ja merkintä G. Yhdessä nämä tarkoittavat laitteen olevan suunnattu muihin kuin kaivossovelluksiin, sopivuuden kaasutilaluokkiin 1 ja 2 sekä sillä on kaasuräjähdysluokitus G (engl. gas). Ex d -merkintä ilmaisee räjähdys-suojauksen ja Ex-rakenteen, joka tässä tapauksessa on ”d”, räjähdyspaineen kestävä (engl. flameproof). Lopuksi räjähdysryhmä IIC ja lämpötilaluokka T4. Räjähdysryhmämerkinnästä ilmenee laiteryhmä II ja ympäristössä esiintyvän kaasun tai höyryn alaluokka C (suojaus vetyä, asetyleenä ja hiilisulfidia vastaan). Lämpötilaluokamerkintä T4 sallii Ex -merkityn laitteen ulkokuoren lämpötilan nousemisen enimmillään 135 °C:een, sekä laitetta ympäröivän kaasun syttymislämpötila saa olla alimmillaan 135 °C. Lämpötilaluokat ovat väliltä T1–T6, T1-laitteen ulkokuoren sallitun lämpötilan ollessa 450 °C ja T6-laitteen vain 80 °C. /12, 15, 16/

3.7 Ex d -luokitus ja -tyypitestit

Opinnäytetyössä käsiteltävän sähkömoottorin luokituksen ”d” liite Ex -merkinnän perässä tarkoittaa sitä, että laitteen tai koneen rakenne on räjähdyspaineen kestävä. Tämä merkitsee sitä, että mikäli opinnäytetyön tapauksessa sähkömoottorin sisälle tunkeutuneen räjähtävää kaasua sisältävän ilmaseoksen syttymisestä aiheutuu räjähdys moottorin sisällä, räjähdyspaineesta leviävä kuuma kaasu ja liekki eivät saa päästä kosketuksiin moottorin ympärillä mahdollisesti vallitsevien räjähdysvaarallisten olosuhteiden kanssa. Laitetta ympäröivä räjähtävä ilmaseos saa siis tunkeutua Ex d -luokitellun laitteen koteloinnin sisään, mutta ilmaseoksen räjähtäessä koteloinnin sisällä se ei saa sytyttää laitteen ympärillä olevaa räjähdysherkkää ilmaseosta. Räjähdys voi sähkömoottorin sisällä syntyä esimerkiksi korkean lämpötilan tai sähkökipinän avustuksella. Ex d -rakenne ja sen vaatimukset on määritelty standardissa IEC 60079-1. /18, 19/

Ennen kuin Ex d -laitetta voidaan myydä asiakkaalle, täytyy sen vaatimustenmukaisuus osoittaa prototyyppivaiheessa valtuutetun luokituslaitoksen suorittamissa testeissä. Luokituslaitos testaa tuotteet ja myöntää hyväksytyjen tulosten perusteella sertifikaatin. Ex d -tyypitesteihin kuuluu kolme erilaista testiä, jotka suoritetaan seuraavassa järjestyksessä. /15, 19/ Nämä testit ovat:

1. Räjähdyspaineen määrittäminen (referenssipainetestit)

Referenssipainetestissä määritetään, paljonko painetta laitteen sisään kehittyvä sen sisällä tapahtuvan räjähdyspaineen myötä. Referenssipainetestissä sähkölaitteen koteloinnin sisään johdetaan räjähdyskelvoinen kaasuseosta, joka sytytetään yhdestä tai useammasta sytytyspisteestä. Sytytyspisteiden sijainnin räjähdyspaineen maksimoimiseksi määrittää luokituslaitos. Sytytyslähteenä on joko sytytys- tai hehkutulppa. /19/

Ex-laitteen räjähdysryhmän (I, IIA, IIB ja IIC) perusteella laitteelle tehdään eri määrä testejä eri kaasuseoksilla, joiden koostumus vastaa räjähdysryhmän edellyttämiä vaatimuksia. Testejä tehdään ryhmässä IIC kahdella eri kaasulla viisi kappaletta kumpaakin, muissa kolme testiä vain yhdellä kaasulla. Mikäli laite sisältää

pyöriviä osia kuten esimerkiksi sähkömoottorissa oleva roottori, laitetta on testattava myös käynnissä vähintään 90 %:lla laitteen maksimikierronnopeudesta. /19/

2. Ylipainetesti

Referenssipaineen määrittämisen jälkeen laitteen osia testataan erikseen staattisella vedellä tuotetulla ylipaineella. Ylipainetesti suoritetaan kiinnittämällä osa sille suunniteltuun ylipainetestilaippaan, jonka jälkeen osan ja laipan väliin pumpataan vettä standardin ja referenssipaineen määrittämällä kertoimellisella paineella vähintään 10 sekunniksi. Osan tulee kestää ylipaine ilman vuotamista, muuten testi hylätään. Ylipainetestille on standardissa määritelty staattisen testauksen lisäksi vaihtoehtoisesti dynaaminen tapa, mutta ABB ei käytä sitä. Ylipaineen testin tulee olla joko 1,5 kertaa referenssipaine, 3 kertaa referenssipaine osille, joista testataan tietty erä tai 4 kertainen referenssipaine osille, joita ei aina testata. Pienille laitteille, joille referenssipainetestin tekeminen on haastavaa, on laadittu erillinen tilavuuteen perustuva painetaulukko ylipainetestiä varten. /19/

3. Liekkipintojen toimivuustesti (non-transmissions test)

”Non-transmissions” -testissä varmistetaan laitteeseen suunniteltujen Ex d -rakenteen mukaisten liekkipintojen toimivuus. Tässä testissä räjähdyskelpoista kaasuseosta johdetaan laitteen koteloinnin sisään ja laite sijoitetaan kammioon, jossa sitä ympäröi samainen kaasuseos. Kaasuseos sytytetään jälleen moottorin sisällä kuten referenssipainetestissäkin ja tutkitaan, syttyykö moottoria ympäröivä kaasuseos laitteen sisäisen räjähdysseurauksena. Mikäli syttyy, testi on luonnollisesti hylätty. Kohdassa 1. mainituille eri räjähdysryhmille tehdään testit jälleen eri kaasuseoksilla. Ryhmälle IIC tehdään kolme erilaista testiä, muille vain yhtä. Kolme eri testimenetelmää ovat liekkipintojen välyksien suurentaminen, kaasuseoksen paineen kasvattaminen ja kaasuseoksen rikastaminen hapella. /19/

3.7.1 Ex d -välilaipalle tehtävät tyyppitestit

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä Ex d -välilaippa sertifioidaan erillisenä Ex-komponenttina, joka on määritelty standardissa IEC 60079-1 kohdassa C.2.1.4. (bushings). Sen on läpäistävä kohdassa 2. mainittu staattinen ylipainetesti ja väli-

laipan ollessa räjähdysryhmän II erillinen Ex-komponentti, sille erikseen standardissa määritelty testipaine on **3000 kPa** eli **30 Bar** ja paineenalainen testiaika sama 10 sekuntia kuin kohdassa 2. Opinnäytetyössä esitellylle konseptin 2. mukaiselle rakenteelle joudutaan mahdollisesti tekemään myös standardissa 19.4 kohdassa mainittu ”flame erosion test”. Testi tehdään kohdan 3. tyyliä sytyttämällä räjähtävää ilmaseosta moottorin sisäpuolella. Räjäytys toistetaan 50 kertaa ja sen jälkeen todetaan läpiviennin tiiveys. /19/

Ennen välilaipan tiiveyden toteamiseksi tehtävää ylipainetestiä välilaipalle täytyy kuitenkin tehdä IEC 60079-0 -standardissa kohdassa 26.8 ja 26.9 määritetty lämpörasitusprosessi, jossa pyritään varmistamaan komponenttien vaatimustenmukaisuus niille spesifioituille olosuhteille altistamisen jälkeen. Lämpörasitusprosessi tehdään olosuhdekaapissa altistamalla kohdekappaletta lämmölle ja kovalle kosteudelle tietyn määritellyn ajanjakson ajan, jonka jälkeen se altistetaan erittäin matalille pakkasasteille maksimaalisen rasituksen ja mahdollisten rakenteen turvallisuutta uhkaavien valmistusmateriaalien muodonmuutosten aikaansaamiseksi. Tämän opinnäytetyön tapauksessa lämpörasitusprosessi aiheuttaa haasteita valitun ratkaisun osalta melko paljon. Tilanteessa ovat läsnä lämpölaajeneminen, runsaan kosteuden imeytyminen komponentteihin, mikäli ne ovat sille alttiita sekä raju jäätyminen kosteusaltistuksen jälkeen. Yksinkertaisuudessaan prosessilla pyritään toteamaan komponentissa käytettyjen materiaalien ja rakenneratkaisujen olosuhdevaihtelujen sietokykyä. /16/

Moottorin maksimi asennusolosuhteiden lämpötila on 40 °C ja erikseen varianttikoodilla tilattava minimiasennuslämpötila on -55 °C, vakio Ex d -moottorissa alin asennuslämpötila on -20 °C. Sekä vakio moottorissa että varianttikoodilla tilattavassa käytetään samaa välilaippaa, joten lämpörasitustestin pakkasasteisuus on tehtävä -55 °C:n mukaan. Lämpörasitusprosessin ylin lämpötila määräytyy ABB:n määrittämän service temperature:n T_s mukaan, joka on lämpötilaluokka T4 135 °C ja siitä on vähennetty 5 K eli $T_s = 130$ °C. Tämä on lämpötila, johon jokin komponentin osa voi käytön aikana ylimmillään nousta. Alin lämpörasitusprosessin lämpötila taas määräytyy moottorin matalimman mahdollisen käyttölämpöti-

lan -55 °C sekä standardissa kohdassa 26.7.2 siitä vähennetyn $5\text{--}10\text{ K}$ mukaan, näin ollen lämpörasitusprosessin alimman lämpötilan on oltava -60 °C . /16/

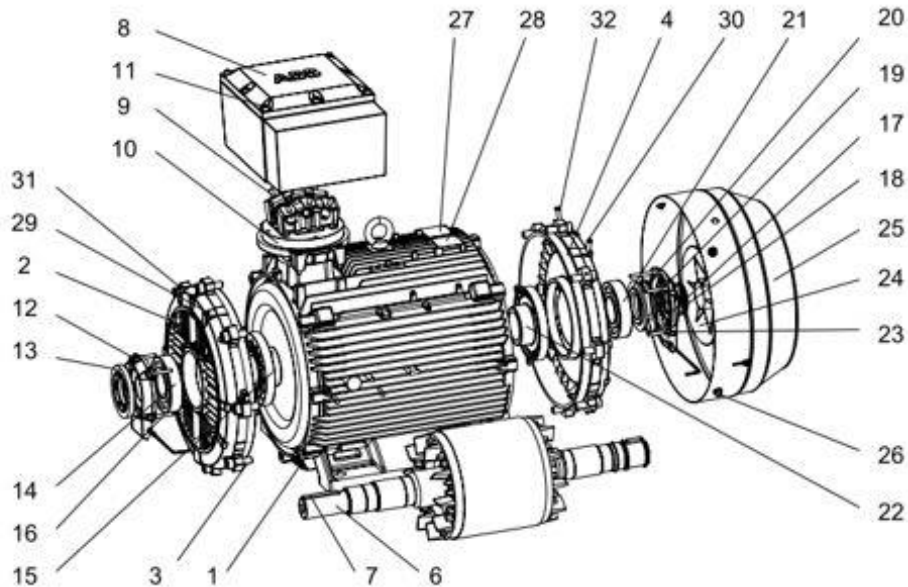
Service temperature T_s	Test condition	Alternative test condition
$T_s \leq 70\text{ °C}$	672 $\begin{smallmatrix} +30 \\ 0 \end{smallmatrix}$ h at $(90 \pm 5)\%$ RH, at $T_s + 20 \pm 2\text{ K}$ (but not less than 80 °C test temperature)	
$70\text{ °C} < T_s \leq 75\text{ °C}$	672 $\begin{smallmatrix} +30 \\ 0 \end{smallmatrix}$ h at $(90 \pm 5)\%$ RH at $T_s + 20 \pm 2\text{ K}$	504 $\begin{smallmatrix} +30 \\ 0 \end{smallmatrix}$ h at $(90 \pm 5)\%$ RH at $(90 \pm 2)\text{ °C}$ followed by 336 $\begin{smallmatrix} +30 \\ 0 \end{smallmatrix}$ h dry at $T_s + 20 \pm 2\text{ K}$
$T_s > 75\text{ °C}$	336 $\begin{smallmatrix} +30 \\ 0 \end{smallmatrix}$ h at $(90 \pm 5)\%$ RH at $(95 \pm 2)\text{ °C}$, followed by 336 $\begin{smallmatrix} +30 \\ 0 \end{smallmatrix}$ h dry at $T_s + 20 \pm 2\text{ K}$	504 $\begin{smallmatrix} +30 \\ 0 \end{smallmatrix}$ h at $(90 \pm 5)\%$ RH at $(90 \pm 2)\text{ °C}$ followed by 336 $\begin{smallmatrix} +30 \\ 0 \end{smallmatrix}$ h dry at $T_s + 20 \pm 2\text{ K}$

Kuva 10. Lämpörasitusprosessin lämpötilataulukko, IEC 60079-0. /16/

Kuvassa 10. näkyy IEC 60079-0 -standardin määrittämän lämpörasitusprosessin tarkemmat spesifikaatiot, punaisella rajattu on ABB:n käyttämä testi. Standardin määräämä lämpörasitusprosessi kestää yhteensä 30 vuorokautta. Testi alkaa 14 vuorokauden ajanjaksolla $95 \pm 2\text{ °C}$ lämpötilassa suhteellisen kosteuden (RH) ollessa $90 \pm 5\%$. Seuraavaksi 14 vuorokaudeksi lämpötila nostetaan $+150\text{ °C}$:een täysin kuivissa olosuhteissa. $+150\text{ °C}$ muodostuu määritetystä T_s (130 °C) lämpötilasta, johon lisätään taulukon mukaisesti 20 K . 28 vuorokautta kestäneen lämmitysosuuden jälkeen kappaleiden lämpötilan annetaan tasaantua yhden vuorokauden ajan huoneenlämpöiseksi $20 \pm 5\text{ °C}$ lämpötilassa ja $50 \pm 10\%$ suhteellisessa kosteudessa, myös tämä lämpötilatasaantuminen on määritelty standardin kohdassa 26.8. Lämpötilan tasaantumisen jälkeen suoritetaan lämpörasitusprosessin kylmä osuus, yksi vuorokausi -60 °C lämpötilassa, joka määriteltiin edellisessä kappaleessa. Tämän jälkeen prosessi on valmis, ja kappale on valmis painetestattavaksi. /16/

3.8 Ex d -moottori

Cast iron flameproof motors, Ex d

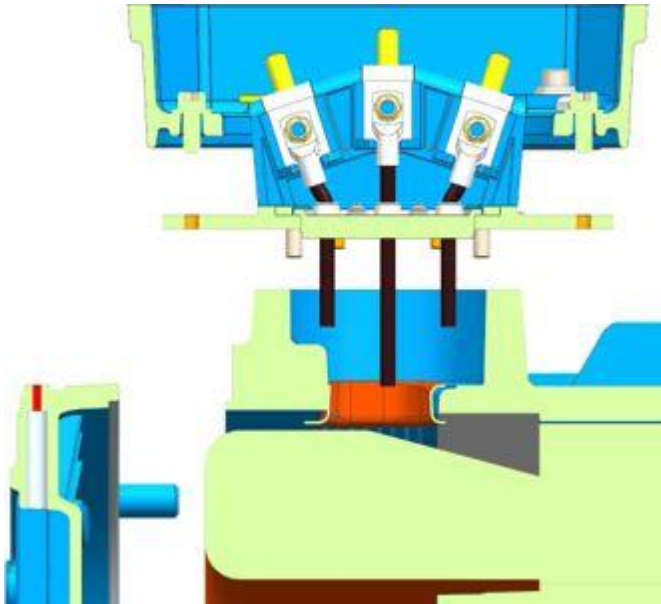


Kuva 11. Räjätyskuva Ex d -moottorista. /20/

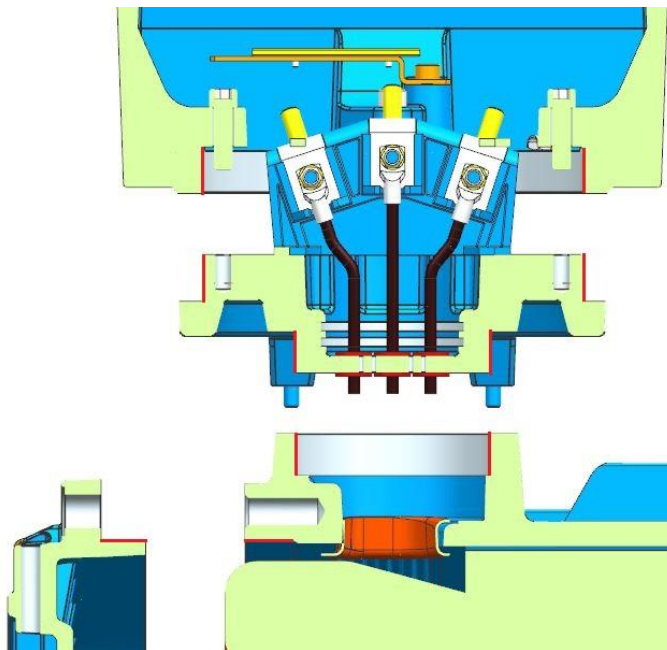
Osarakenteeltaan Ex d -moottori (**kuva 11.**) näyttää pikaisella silmäilyllä lähes samalta kuin tavallinen 280-kokoluokan moottori, mutta lähemmin tarkasteltaessa eroavaisuuksia löytyy. Näkyvimmit erot ovat laakerikilven kiinnitys staattorirunkoon kahdeksalla pultilla neljän sijaan (osa 2), erilainen liitäntäkotelo (osa 8) ja tätä opinnäytetyötä koskien tärkeimpänä kaapeliläpiviennissä käytettävä **välilaippa (osa 10)**.

Ex d -luokitettu sähkömoottori (**kuva 13.**) eroaa perinteisestä suojaamattomasta sähkömoottorista (**kuva 12.**) myös laakerikilpien ja liitäntäkotelon liitospintojen sekä staattorirungon läpivientien rakenteen osalta. Tavallisen sähkömoottorin laakerikilven ja staattorirungon välissä on vain lyhyellä ohjausolakkeella varustettu jakopinta. Ex d -luokitellussa sähkömoottorissa tämä sama ohjaava olake on aksiaalisessa suunnassa tavallista BP-moottorista löytyvää ohjauspintaa pidempi. Tätä pintaa kutsutaan liekkipinnaksi, jonka lävitse mahdollisesta moottorin sisällä tapahtuneesta räjähdyksestä syntynyt kaasuseoksen sytyttämiseen kykenevä liekki-rintama tai kuuma kaasu ei saa päästä. Liekkipinta on sorvattuna sekä staattori-

runkoon että laakerikilpeen, ja sisäkkäin asennettaessa ne muodostavat hyväksytyn räjähdysturvallisen rakenteen. Liekkipinta on myös laakerikilpien ja akselin välissä, staattorirungon ja välilaitan välissä, välilaitan ja liitäntäkotelon pohjan välissä sekä liitäntäkotelon ja sen kannen välissä.



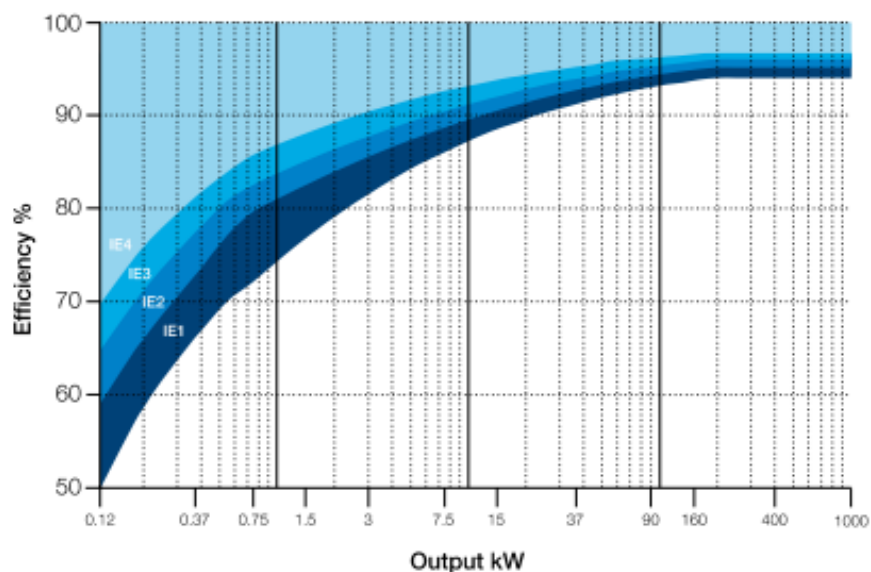
Kuva 12. Tavallisen BP-moottorin poikkileikkaus.



Kuva 13. Ex d -moottorin poikkileikkaus.

Kehityksen kohteena olevan moottorin staattorirungon ja liitäntäkotelon välissä olevan syöttö- ja lisälaitekaapeliläpiviennin osalta eroavaisuus tavalliseen moottoriin on se, että rungon ja liitäntäkotelon välissä on erillinen tiivistävä välilaippa, jonka läpi syöttökaapelit johdetaan staattorikäämille. Tavallisessa moottorissa läpivienniltä ei edellytetä kaasutiiveyttä, joten erillistä kaapeliläpivientirakennetta ei tarvita, vaan syöttökaapelit voidaan johtaa suoraan staattorikäämiltä rungon liitäntäaukon kautta liitäntäkoteloon. Ex d -luokitellussa laitteessa kaapeliläpiviennin täytyy olla täysin kaasutiivis, vaikka edellä mainittujen liekkipintojen ei tarvitse.

ABB tarjoaa Ex d -luokitettuja matalajännitesähkömoottoreita IEC-kokoluokista 80–450. Saatavilla oleva tehohaarukka on 0,55–710 kW ja hyötysuhdeluokat joko IE2 tai IE3. Ex-moottorit kattavat merkittävän osuuden ABB:n moottorimyynnistä. Energiatehokkuuden ja kaupankäynnin läpinäkyvyyden edistämiseksi on laadittu IEC/EN 60034-30-1 standardi, jossa määritellään hyötysuhdeluokat sähkömoottoreille (**kuva 14.**) /20/



Kuva 14. IE-hyötysuhdeluokat. /20/

4 SUUNNITTELU

Suunnittelutyön tavoitteena oli tutkia erilaisia vaihtoehtoja ja saada suunniteltua ja tuotettua prototyyppi rakenteesta, joka läpäisee luvuissa 3.7 ja 3.7.1 vaaditut testit. Pohdimme muutamaa eri vaihtoehtoa projektin alkuvaiheessa ja valitsimme, mikä kehitetään eteenpäin fyysiseksi prototyyppiksi. Pohjustuksena ideoinnille ja päätöksenteolle toimi ABB:n aiemmat löydökset ja tutkimukset.

Kustannukset ja aikataulu ovat projekteissa useimmiten keskeisessä roolissa ja kulkevat käsi kädessä, joten jonkin asteisia kompromisseja joudutaan aina tekemään. Tässä luvussa käydään läpi suunnittelutyön lähtötilanne ja alkutiedot, työn vaiheet ja kulku, sekä aikaansaadut testattavaksi saatetut lopputulokset. Tarkastellaan myös pohjatietoja ja testejä, joita tässä työssä on käytetty apuna.

Suunnittelun tueksi pidettiin palavereita, joissa käytiin läpi vaihtoehtoja ja mietittiin seuraavia vaiheita. Sainkin niistä paljon apua ja hyvää näkemystä työn tekemiseen. Varsinainen osien suunnittelu tehtiin Siemens NX 10 -ohjelmistolla Teamcenter PLM -ohjelmistoa apuna käyttäen.

4.1 Lähtökohdat ja vaatimukset

Suunnittelutyötä lähdettiin tekemään nykyisen rakenteen pohjalta ja pyrkimyksenä oli, että moottorin varsinaisia suurempia rakennemuutoksia vielä tässä kohtaa vältetään kustannusten vuoksi.

Läpiviennin pitäisi pysyä myös edelleenkin mahdollisimman yksinkertaisena sekä helposti ja nopeasti kokoonpantavana. Myös valmistettavuuden täytyisi pysyä edelleen kohtuullisen helppona ja valmistushinnan luonnollisesti mahdollisimman matalana. Isommat rakennemuutokset eivät ole kokonaan poissuljettuja, mutta ne eivät ole toivottuja. Tärkeimpänä vaatimuksena on luonnollisesti kuitenkin itse Ex d -luokituksen vaatiman tyyppitestin läpäiseminen. Kehitetyiltä ratkaisuilta vaaditut vaatimukset listattuna **Taulukossa 1**. Vähimmäisvaatimus tarkoittaa ominaisuutta, joka tuotteelta ehdottomasti vaaditaan. Kiinteä vaatimus tarkoittaa tärkeää

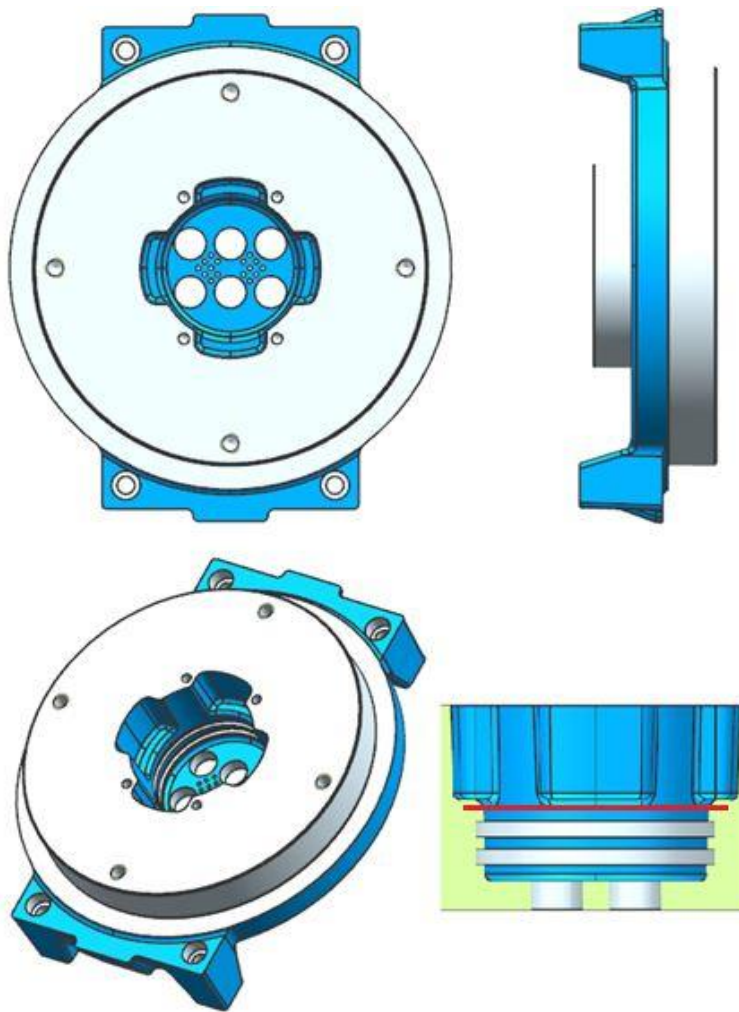
vaatimusta, jossa on kuitenkin enemmän liikkumavaraa ja toive tarkoittaa nimensä mukaisesti mahdollisuuksien mukaan tuotteelta vaadittavaa ominaisuutta.

Taulukko 1. Vaatimuslista.

VV = vähimmäisvaatimus, KV = kiinteä vaatimus, T = toive		
Tunnus	Vaatimustaso	Vaatimus
Toiminnallisuus	VV	Läpiviennin on läpäistävä painetesti
Rakenne 1	VV	Uuden kaapelin löytäminen
Rakenne 2	T	Kaikki kaapelit kerralla läpi samasta läpiviennistä
Rakenne 3	T	Ei muutoksia staattorirunkoon
Valmistettavuus	KV	Pitää voida valmistaa kustannustehokkaasti
Kokoonpano	KV	Kokoonpanon moottoriin onnistuttava helposti
Materiaalit	VV	Käytettävien materiaalien turvallisuus

4.2 Nykyinen Ex d -välilaippa ja läpivienti

Kuvassa 15. nähdään ABB:n nykydesignin mukainen JP280-moottorin Ex d -välilaippa. Se on valmistettu valuraudasta valamalla ja tarvittavat liitos- ja liekki-pinnat, kiinnityspulttien paikat sekä ”läpivientimaljan” kaapelireiät ja tiivistysaineen tarttumista helpottavat urat on tehty koneistamalla. Läpiviennin tiivistäminen toteutetaan johtamalla ensin syöttö- ja lisälaitekaapelit läpi kaapelirei’istä ja sen jälkeen kaatamalla ”malja” täyteen tiivistysainetta **Kuvassa 15.** alaoikealla näkyvään punaiseen rajaan asti.



Kuva 15. Nykyisen Ex d -väliläipan 3D-malli.

Kuvassa 16. on nähtävillä tuotannossa oleva valurautainen väliläippä kaapeleiden ja tiivistysaineineen.



Kuva 16. Nykyinen Ex d -välilaippa.

4.3 Aiemmin tehdyt testit

Tässä projektissa ei olla ensimmäistä kertaa ongelman äärellä, vaan tätä samaista 280-kokoluokan Ex d -välilaippaa ja läpivientä on tutkittu sekä kehitetty ennemminkin /21/. Tutkimuksissa on suunniteltu ja testattu muutamaa eri vaihtoehtoista rakennetta. Näiden tietojen perusteella jatkettiin tutkimuksia tässä projektissa ja opinnäytetyössä. Kahdessa seuraavassa luvussa käydään läpi edellisen tutkimuksen testatut ratkaisut ja keskeisimmät löydökset.

4.3.1 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

4.3.2 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

4.4 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

4.5 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

4.5.1 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

4.5.2 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

4.5.3 Lisäävän valmistuksen mahdollisuudet

Lisäävän valmistuksen menetelmien hyödyntämistä olisi myös syytä jonkin verran tutkia, sillä ne voisivat tuoda Ex d -läpiviennin suunnitteluun paljonkin etuja. Lisäävän valmistuksen tarkoittaessa tässä kohtaa 3D-tulostamista, esimerkiksi tulostamalla valmistettujen kappaleiden muotorajoitteet ovat perinteisiin menetelmiin kuten valaminen ja koneistaminen, verrattuna hyvin vapaat. Edellä mainittujen vapauksien varjolla läpivientiin voitaisiin suunnitella esimerkiksi kanavamaisia tai onkalomaisia muotoja, jotka edistäisivät paineen kestoja yhdistettynä johonkin toiseen tiivistysmenetelmään.

Hyödynnettävä 3D-tulostusteknologia olisi todennäköisesti SLM, eli Selective Laser Melting -jauhepetitulostus. Tällä menetelmällä erittäin hienojakoista metallijauhetta sulatetaan kerros kerrokselta lasersäteellä tulostuslaitteen jauhepetiin ja muodostetaan tulostettava kappale. SLM on erittäin tarkka menetelmä, sekä sillä saataisiin valmistettua tarkoitukseen riittävän luja kappale. Epäsuorana etuna olisi todennäköisesti myös tulosteen koneistusjälkeen verrattuna karheahko pinnanlaatu, joka opinnäytetyössä kehitettävän läpiviennin tapauksessa edistäisi tiivistysaineen tarttumista läpiviennin seinämiin.

Koko välilaiipan tulostaminen tällä menetelmällä olisi liian kallista, mutta modulaarisuutta voitaisiin hyödyntää 3D-tulostamalla pelkästään läpiviennin sisältävä osuus ja liittämällä se sitten välilaippaan esimerkiksi laippa- tai kierreliitoksella. Prototyypivaiheessa voitaisiin käyttää FFF-teknologiaa, eli fused filament fabri-

cation -muovitulostinta (tunnettu myös FDM -nimellä). Tällä menetelmällä tulostetut muoviset kappaleet eivät ole kovinkaan lujia, mutta fyysisen mallin käteen saaminen yleensä auttaa mahdollisten ongelmien näkemisessä esimerkiksi kokoonpanon kannalta.

4.5.4 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

4.5.5 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

4.6 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta



Kuva 17. Koneistettu prototyyppi testejä varten.

4.7 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

5 TESTIT

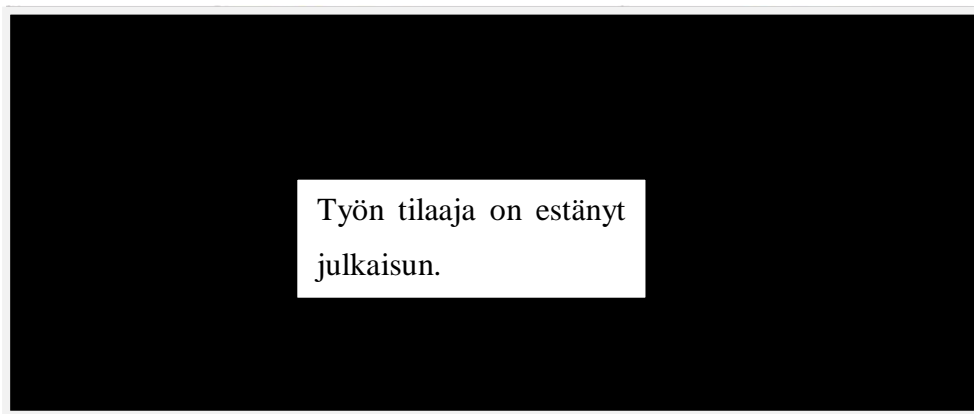
Tässä luvussa käydään läpi opinnäytetyössä kehitetyille prototyypeille tehtyjä testejä. Testausprosessi oli kolmivaiheinen. Ennen luvussa 3.7.1 mainittua lämpörasitusta ja luvussa 3.7 mainittua varsinaisten painetestien tekemistä tutkittiin kaapelien tarttumista eri tiivistearineisiin toimivan yhdistelmän löytämiseksi vetokokeilla. Vetokokeiden tulosten perusteella valittiin järjestyksessä parhaimmin suoriutuneita yhdistelmiä jatkotesteihin.

Jatkotesteissä testattiin ensin välilaippakonseptin mukaisia prototyyppejä. Veto-koetulosten pohjalta valittiin kerrallaan olosuhdekaapin kuormakapasiteetin mukainen määrä välilaippänäytteitä lämpörasitettavaksi, joissa oli eri tiivistearine ja kaapeliyhdistelmiä. Lämpörasitustestin jälkeen kappaleita tarkasteltiin ja tehtiin ylipainetestejä. Ylipainetestien tulosten perusteella suoritettiin seuraavien lämpörasitettavien näytteiden sekä myös konseptin 2. prototyyppeihin käytettyjen yhdistelmien valinta.

5.1 Kaapelit ja tiivistysaineet

Testeissä kaapelinäytteitä (**Taulukko 2.**) oli mukana eri valmistajilta yhteensä kymmenen kappaletta. Kaikkien syöttökaapelien johdinpinta-ala oli 35 mm^2 , ja lisälaitekaapelien $0,75 \text{ mm}^2$. Kaapelien eristeen läpimitta ja materiaali vaihtelivat, joista syntyikin selviä eroja vetokokeiden testituloksiin.

Taulukko 2. Kaapelit ja tiivistysaineet.



Tiivistysaineita oli testeissä mukana kahdelta eri valmistajalta yhteensä yksitoista kappaletta. Osa näistä aineista luokitellaan liimoiksi ja osa hartseiksi sekä mukana oli myös kaksi silikonipohjaista tuotetta. Kaikki liimat olivat 2-komponenttisia, tämän tarkoittaessa sitä, että liima kovettuu erillisen kovetusaineen aiheuttaman kemiallisen reaktion vaikutuksesta. Silikonituotteet olivat 1-komponenttisia, eli ne kovettuvat itsekseen joutuessaan kosketuksiin ilman kanssa. Hartsit vaativat myös kovettuakseen erillisen aineen, joten ne voidaan myös lukea 2-komponenttisiksi.

5.1.1 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

5.2 Vetokoenäytteiden valmistelu

Vetokoetta varten valmisteltiin jokaisesta kaapeli ja tiivistysaineyhdistelmästä kaksi näytettä (**kuva 18.**). Näytteet valmistettiin kertakäyttökahvikuppeihin niin, että kupin pohjaan tehdystä reiästä pujotettiin noin 100 mm. pitkä kaapelin pätkä lävitse. Kaapelia jätettiin kupin sisälle näkyviin 25 mm. ja ne valettiin täyteen tiivistysainetta kaapelin päähän asti, niin että kaapelin pää jäi näkyviin. Selvyuden vuoksi **kuvan 19.** vetokoenäytteestä on revitty kahvikupin pahvi pois, muista näytteistä sitä ei poistettu.



Kuva 18. Vetokoenäytteitä.



Kuva 19. Lähikuva vetokoenäytteestä.

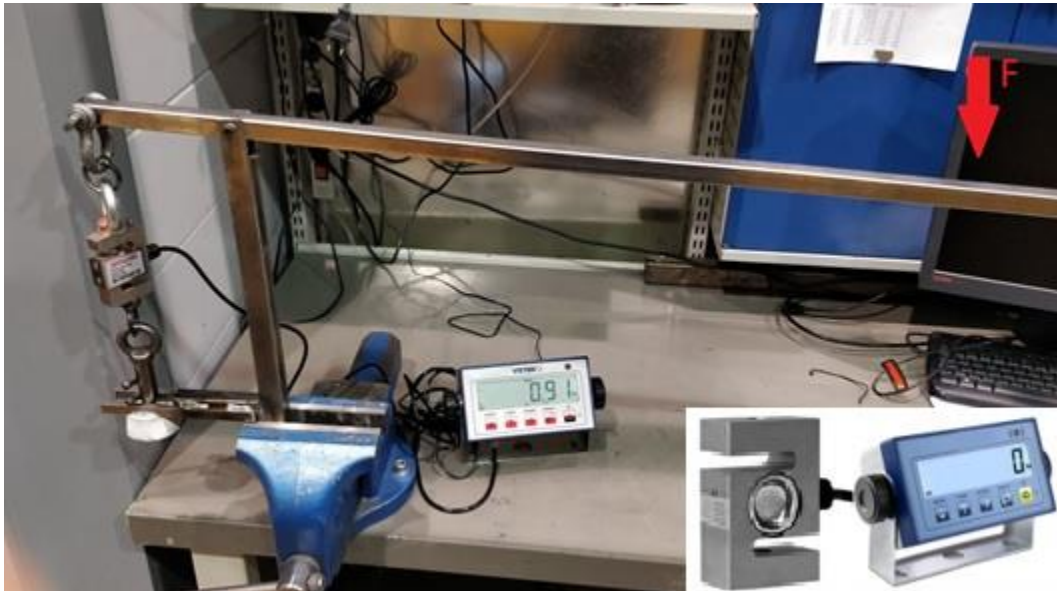
Näytteet pyrittiin valmistamaan mahdollisimman tasalaatuisesti, mutta tiivistysaineiden koostumuseroista johtuen tartuntapinnan pituudessa on pieniä vaihteluja. Muutamassa näytteessä kaapeli yritti valua läpi reiästään tiivistysaineen liukastassa eristeen pinnan ja niitä jouduttiin asettelemaan uudelleen. Todella paksut tiivistysaineet olivat hankalampia valaa tasaisesti kuin juoksevat ”self-leveling” -tiivistysaineet, joka on tällaista läpivientä ajatellen todella hyvä ominaisuus. Se mahdollistaa tiivistysaineen pursottamisen valutilanteessa yhteen kohtaan, josta se itseksensä leviää tasaisesti täyttäen kaikki muotin tai ”maljan” tyhjät tilat ja väliköt.

5.3 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

5.4 Vetokoe

Vetokokeet suoritettiin (**kuvan 20.**) kaltaisella testilaitteistolla, jossa neliskanttisesta teräsputkesta valmistetulla käsikäyttöisellä vipuvarrella yritetään vetää kaapeli irti tiivisteaineesta tartunnan toteamiseksi. Vetokoenäyte kiristetään kahdella kuusiokoloruuvilla kaapelistaan kiinni voima-anturissa roikkuvaan silmukkaan. Näytteen tiivisteainekiekkoo asetetaan haarukkaan ja väännetään käsivoimin kam-

pea alaspäin, kunnes joko kaapelista katkeaa eriste, tai eriste kaapeleineen irtoaa tiivisteaineesta. Tästä saatiin vaihtelevia tuloksia.



Kuva 20. Vetokoelaitteisto.

Käytettävä laitteisto valmistettiin ABB:n omassa erikoissolussa voima-anturia ja näyttölaitetta lukuun ottamatta. Voima-anturi ja näyttölaite ovat VETEK:n valmistamia, malliltaan VZ101BH 100 kg Load Cell ja DFWL (Digital Multifunction Weight Indicator). Voima-anturin kapasiteetti on 100 kiloa ja sillä voidaan mitata sekä vetoa että puristusta. Näyttölaitteessa oli varsin runsaasti toimintoja, mutta tarvitsimme testeissä ainoastaan huippuarvon tallennusta eli peak-toimintoa.

5.5 Lämpörasitus

Lämpörasitusprosessissa käytetään olosuhdekaappia (engl. environmental stress chamber), joka nimensä mukaisesti pystyy tuottamaan sisätiloihinsa erilaisia ”säätiloja”. Olosuhdekaapilla on mahdollista simuloida esimerkiksi rajujen lämpötila- ja kosteusvaihteluiden vaikutusta testikappaleeseen. Olosuhdekaappiin voidaan ohjelmoida usean eri olosuhdeaskeleen ohjelma, jolloin kaappi suorittaa halutun testiprofiilin automaattisesti.

Ajan säästämiseksi lämpörasitus suoritetaan molempien konseptien prototyypeille testien alkuvaiheessa lyhennettynä, niin että ensimmäinen ja toinen vaihe kestävät

48 tuntia, sekä kolmas ja neljäs molemmat 24 tuntia. Lyhennetty lämpörasitus kestää yhteensä 144 tuntia eli 6 vuorokautta. Tässä ajassa saadaan selville, onko testinäytteellä potentiaalia läpäistä painetestit. Mikäli painetestit läpäistään lyhennetyllä lämpörasituksella, testinäytteelle tehdään myöhemmin täysimittainen kapaleen 3.7.1. mukainen lämpörasitus ja painetestit suoritetaan uudelleen.

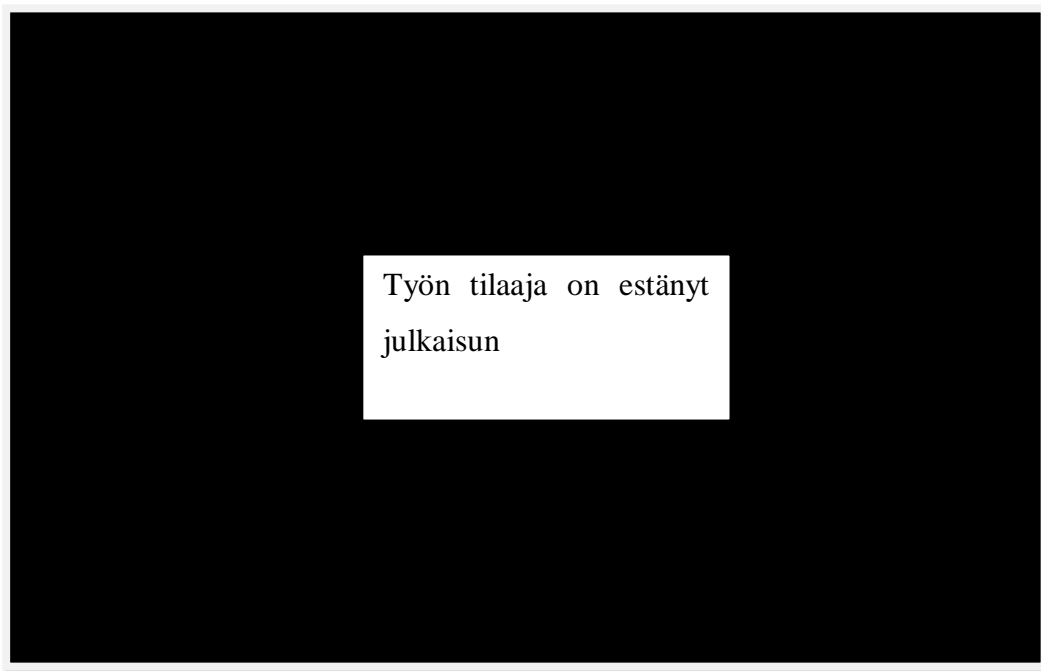
Lämpörasitukseen käytettiin kahta olosuhdekaappia, Technobothnian LabTesteria ja Especin valmistamaa ARS-1100:ta (**kuva 21.**). Ensimmäisessä testierässä käytimme Technobothnian kaappia siitä syystä, että Vaasan ABB:lla ei vielä tuolloin ollut omaa. ABB:n oman kaapin saapumisen ja käyttöönoton jälkeen siirryimme käyttämään pelkästään sitä. Technobothnian kaapin tilavuus on 380 litraa ja sinne saatiin mahtumaan 14 näytettä. Especin kaapissa sisätilat olivat huomattavasti isommat, 1100 litraa. Kuormakapasiteetti on tässä mallissa kuitenkin vain 150 kiloa, joka on melko vähän suhteutettuna suureen sisätilaan. Tämä rajoittaa kerralla ajettavien testinäytteiden määrän 15:een yhden näytteen painaessa 10 kiloa. Olosuhdekaapin suorituskyky on $-70-180\text{ }^{\circ}\text{C}$.



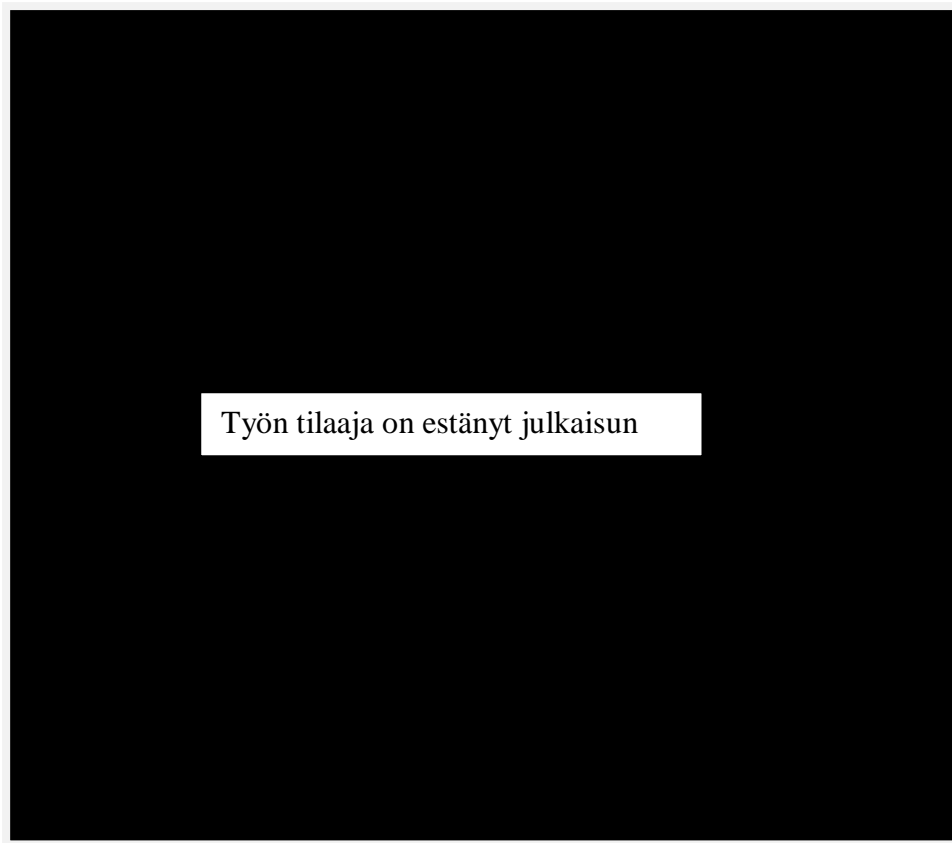
Kuva 21. Technobothnian Lab Tester (vas.) ja ABB:n Espec ARS-1100 (oik.).

5.6 Painetestausta

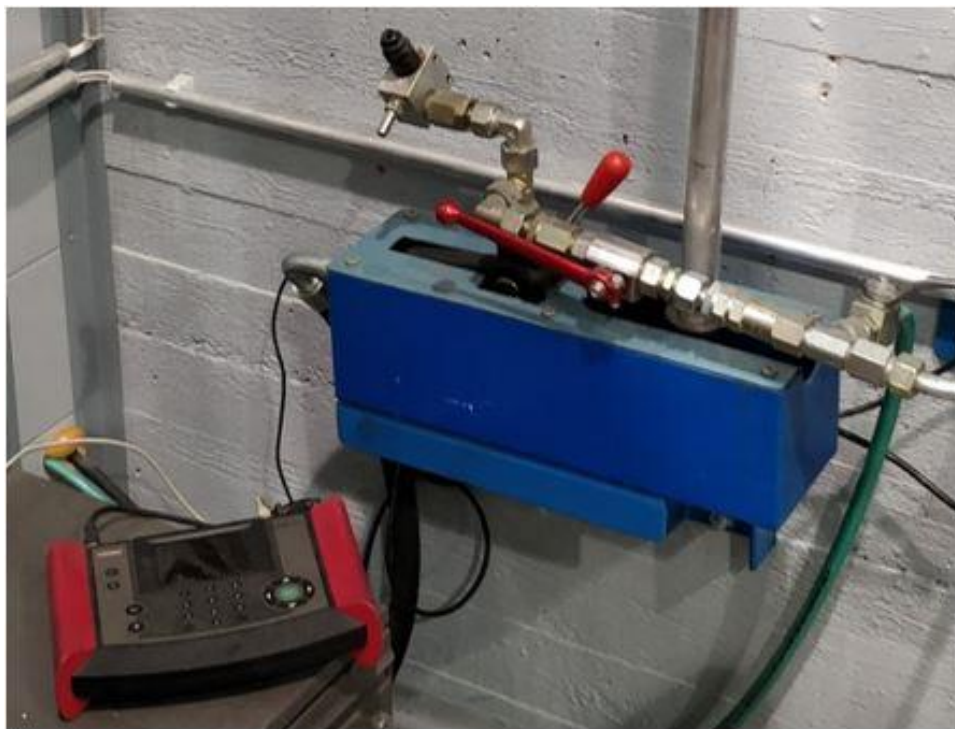
Ylipainetestaustuksissa käytettiin ABB:n omaa laitteistoa, jolla on ennenkin testattu samoja ja samankaltaisia sovelluksia. Ylipainetestausta varten prototyypit kiinnitetään pulteilla **kuvassa 22.** ja **kuvassa 23.** näkyvään suorakaiteen muotoiseen laippaan. Molempia prototyyppieitä testattiin samalla laitteistolla. Välilaipan liekipintaolake asettuu sisäkkäin sylinterin kanssa ja liitos on tiivistetty o-renkaalla. Tämän jälkeen sylinteri täytetään vedellä koneellisella täyttöpumpulla sen pohjassa olevien hydraulikkaliittimien kautta ja samalla poistetaan sylinteristä ilma ilmausletkulla. Varsinainen testipaineen pumppaus tapahtuu käsikäyttöisellä pumpulla (**kuva 24.**). Painearvojen tarkkailuun ja tulosten tallentamiseen käytetään HYDAC 3000 -dataloggeria. Dataloggerista voidaan halutessa tulostaa käyrä mitaustapahtuman kulusta lähempää vuotopaineiden tarkastelua varten.



Kuva 22. Painetestaussylinteri ja välilaippaprototyypin testaus.



Kuva 23. Konseptin 2. prototyypin testaus.



Kuva 24. Käsipumppu ja datalogger.

6 TESTITULOKSET

Luvussa käydään läpi tehtyjen testien tuloksia ja niistä saatuja havaintoja. Tulosten pohjalta esitetään päätelmiä sekä arvioidaan seikkoja, jotka ovat voineet vaikuttaa tuloksien laatuun ja oikeellisuuteen. Koska testituloksia tuotettiin niin suuri määrä, jokaisen näytteen tulokseen ei erikseen oteta kantaa tulosten luonteen vuoksi, vaan ainoastaan tärkeimpiä ja opinnäytetyön kulkuun oleellisin vaikuttaneita tuloksia tarkastellaan sekä kommentoidaan tarkemmin.

6.1 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

6.2 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

6.3 Tulosten arviointi

Vetokokeiden osalta tulokset eivät välttämättä ole absoluuttisen tasalaatuisia toisiinsa nähden, sillä ne suoritettiin käsivoimin eikä koneellisesti. Siitä saattaa mahdollisesti aiheutua vaihtelua tuloksiin, mikäli tuotettu vipuvoima ei ole ollut aina tasainen. Huomioitava on myös, että vetokokeiden tulokset eivät välttämättä olisi samanlaiset, jos vetokoenäytteitä olisi lämpörasitettu myös. Joten mikäli tulevaisuudessa tehdään lisää samankaltaisia vetokokeita, pitää näyte-eristä tehdä myös lämpörasitetut versiot asian varmistamiseksi.

Painetestausten osalta välilaippakonseptin prototyypeillä tiivistysainevaloksen paksuudessa saattoi esiintyä pientä vaihtelua, jolla voi olla vaikutusta tuloksiin. Silti kaikkien tulosten ollessa johdonmukaisesti epäonnistuneita, se ei todennäköisesti ollut tässä tapauksessa merkittävää. Konseptin 2. osalta testitulosten arviointi oli helppoa, sillä kolme näytettä kesti vaaditun painemäärän. Lisäksi saatiin todettua kolmen vuotavankin näytteen tapauksessa, että kaapeli oli hyvin tarttuneena tiivistysaineeseen. Jatkokehityksessä täytyy kuitenkin vielä selvittää konseptin 2. osalta luvussa 7.3 mainittujen testeihin liittyvien seikkojen vuoksi, jotka saattavat muuttaa tuloksia oleellisesti. Kaikkia mahdollisia tiivistysaine- ja kaapeliyhdistelmiä ei opinnäytetyön piirissä testattu, sillä lämpörasitus vei paljon aikaa lyhennettynäkin suoritettuna.

7 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Lopussa esitetään keskeiset päätelmät ja ehdotukset jatkokehityksen suhteen. Käydään myös läpi pääpiirteittäin työhön käytettyjä merkittävimpiä resursseja sekä arvioidaan opinnäytetyön onnistumista ja omaa suoriutumista. Tärkeimpänä seikkana on, että toisella kehitetyistä konsepteista saatiin lupaavia testituloksia. Testausta ja selvitystyötä on vielä kuitenkin paljon jäljellä, jota jatketaan opinnäytetyön ulkopuolella. Prototyypin saattaminen valmiiksi tuotteeksi asti olisi ollut liian pitkäkestoinen prosessi tähän aikaikkunaan, sillä viralliset hyväksyntään ynnä muuhun liittyvät asiat saattavat kestää jopa useita kuukausia.

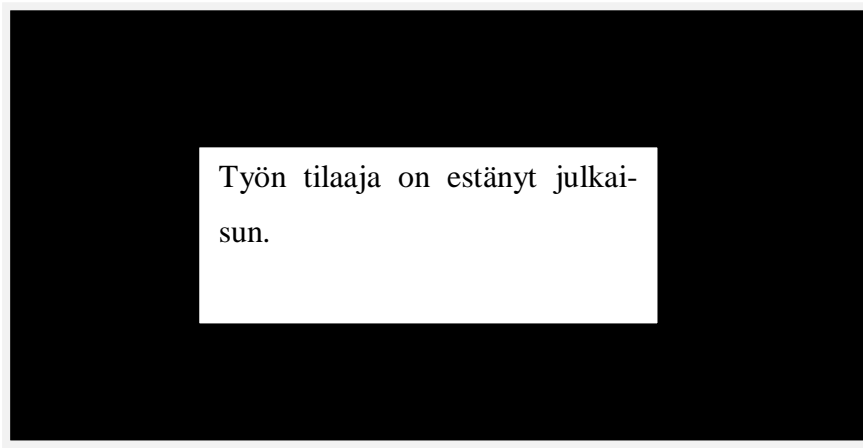
7.1 Resurssiyhteenveto

Opinnäytetyössä käsiteltyjen testitulosten tuottamiseen välittömästi osallistui itseni lisäksi kaksi henkilöä sekä lisäksi välillisesti muitakin henkilöitä, jotka ovat hankkineet työssä tarvittavia materiaaleja ABB:lle. Opinnäytetyöhön liittyvä suunnittelutyö tehtiin ABB:n omissa tiloissa ja muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kokonaan itseni toimesta. Vetokoelaitteisto jouduttiin hankkimaan ja teettämään testejä varten. Alihankkijoita käytettiin välilaippakonseptin prototyyppien valmistamiseen sekä hiekkapuhallukseen. Konseptin 2. prototyypin valmistamiseen vaadittavat osat tilattiin myös ABB:n sisältä.

Mainittava on tulevaisuutta varten oppimisenkin kannalta, että välilaippakonseptin prototyypin valmistuspiirustus täytyi kertaalleen revisioida ensimmäisen erän saatuttua projektin kustannusten vähentämiseksi. Raaka-ainetangon hinnan mietintä oli kiireessä jäänyt minulta vähemmälle huomiolle. Tilatun prototyypin alkuperäinen ulkohalkaisija oli 185 mm ja se sorvattiin 200 mm halkaisijaltaan olevasta raaka-ainetangosta. Huomattiin kappalehinnan olevan aika korkea ja että halkaisijaa on mahdollista pienentää 180 mm:iin niin, että se pystytään valmistamaan halkaisijaltaan 180 mm olevasta raaka-ainetangosta. Ensimmäisessä erässä näytteitä tilattiin 25 kappaletta ja toisessa 75 lisää.

Toinen mahdollinen kohta säästää olisi ollut valmistaa ensimmäisiä testejä varten pelkkiä irtonaisia välilaipan ”maljoja” (**kuva 25.**), jotka kiinnitetään laippakiinni-

tyksellä välilaippaan ja tiivistetään o-renkaalla. Liitinalustan kiinnityspaikkoja ei painetta pitävän kaapeli ja tiivisteaineyhdistelmän löytämisessä olisi tarvittu kuitenkin, joten pelkän ”maljan” valmistamisesta olisi saatu lisää materiaalisäästöjä. Myös ongelma olosuhdekaappien pienestä kuormakapasiteetista olisi poistunut, sillä painoa pelkillä ”maljoilla” olisi ollut kolme kertaa vähemmän verrattuna opinnäytetyössä tehtyjen testinäytteiden painoon, jotka painoivat 10 kiloa kappaletta. Tästä täytyy oppia tulevaa varten, jos vielä joskus tarvitsee testata suurta määrää näytteitä, niin on mietittävä, voisiko testattavaa kokonaisuutta moduloida kustannusten ja ajan säästämiseksi.



Kuva 25. Mahdollinen testikokoonpano.

Konseptin 2. prototyypin tuottamiseen käytetyt muotit saatiin valmistettua itse, sillä ABB:ltä löytyi jo valmiiksi 3D-tulostin. Testaukseen vaadittavia osia ei tilattu alihankkijalta pienestä eräkoosta johtuneen suhteellisen korkean hinnan vuoksi. Tiivistysaineita ja kaapeleita oli jo valmiiksi välilaippakonseptin prototyypin testausten jäljiltä hyllyssä. Opinnäytetyön testiprototyyppeihin käytettyjen kaapeleiden ja tiivistysaineiden hintoja ei käsitellä tässä opinnäytetyössä tarkemmin, sillä ne tilattiin valmistajilta näytteinä. Lisäksi opinnäytetyö keskittyi enimmäkseen teknisiin näkökulmiin.

7.2 Sisältöä poistettu salassa pidettävien tietojen johdosta

7.3 Arvio omasta suorituksesta ja opinnäytetyöprojektin kulku

Opinnäytetyön kulkua hidastavina tekijöinä voidaan mainita ABB:lle hankitun olosuhdekaapin, sekä kaapelien ja tiivistysaineiden toimitusaikataulut. Eniten etenemistä hidasti kuitenkin olosuhdekaappien pieni testikappaleiden painokapasiteetti. Omalta osalta pysyin aikataulussa erittäin hyvin, opinnäytetyön valmistumisen tavoitetakarajan ollessa 4/2019. Työn kulku sujui myös hyvin, ongelmakohtissa otin aktiivisesti ja oma-aloitteisesti asioista selvää niiden ratkaisemiseksi ja eteenpäin pääsemiseksi.

Opinnäytetyön suorittamisen aikana saatiin paljon hyvää tutkimustietoa projektiin liittyen ja mahdollisesti löydettiin myös suunta, johon kannattaa edetä. Saatujen havaintojen perusteella voidaan todeta, että opinnäytetyölle asetetut tavoitteet täyttyivät. Työn edetessä opin jatkuvasti uusia asioita, joista on varmasti hyötyä tulevaisuudessakin.

LÄHTEET

/1/ ABB. ABB:n suomenkielinen kotisivu. Viitattu 16.11.2018

<https://new.abb.com/fi>

/2/ ABB. ABB lyhyesti, ABB suomessa. Viitattu 16.11.2018

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

/3/ ABB. Our Businesses. Viitattu 16.11.2018

<https://new.abb.com/about/our-businesses>

/4/ ABB. Heritage Brands, Brown Boveri. Viitattu 22.11.2018

<https://new.abb.com/about/abb-in-brief/history/heritage-brands/brown-boveri>

/5/ ABB. Heritage Brands, ASEA. Viitattu 22.11.2018

<https://new.abb.com/about/abb-in-brief/history/heritage-brands/asea>

/6/ ABB. Strömbergin jalanjäljillä. Viitattu 22.11.2018

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

/7/ OPINNÄYTETYÖ, ABB Oy Motors and Generators. Räjähdyksvaarallisten tilojen moottoreiden suunnitteluohje. Peter Jakobsson. 2016.

/8/ Squirrel Cage Induction motor. Viitattu 27.12.2018

<https://pnpntransistor.com/squirrel-cage-induction-motor/>

/9/ 3-phase Induction Motor. Viitattu 27.12.2018

<https://cleantechnica.com/2016/05/30/nikola-teslas-19th-century-induction-motor-ideal-choice-21st-century-electric-car/> 18.12.2018

/10/ ABB Process Performance Catalog. Viitattu 20.12.2018

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

/11/ Extronics, What Is Potentially Explosive Atmosphere Certification and Why You May Need It. Viitattu 27.12.2018

https://www.extronics.com/wp-content/uploads/2017/02/324625_05-Explosive_Atmosphere.pdf

/12/ Tukes, ATEX-opas. Viitattu 30.11.2018

<https://tukes.fi/documents/5470659/8293726/ATEX-opas.pdf/73c4dc8f-edbd-4c25-8ef9-6cfdef86717d/ATEX-opas.pdf.pdf>

/13/ CTA Acoustics Dust Explosion and Fire. Viitattu 27.12.2018

<https://www.csb.gov/cta-acoustics-dust-explosion-and-fire/>

/14/ Imperial Sugar Company Dust Explosion and Fire. Viitattu 27.12.2018

<https://www.csb.gov/imperial-sugar-company-dust-explosion-and-fire/>

/15/ Tukes, ATEX Equipment for Potentially Explosive Atmospheres. Viitattu 29.11.2018

<https://tukes.fi/en/industry/potentially-explosive-atmospheres/atex-equipment-for-potentially-explosive-atmospheres>

/16/ INTERNATIONAL STANDARD IEC 60079-0 Explosive Atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements. 2017.

/17/ What is ATEX. Viitattu 13.12.2018

<http://www.atexshop.com/what-is-atex/>

/18/ Ex standardit, SESKO. Viitattu 29.11.2018

https://www.sesko.fi/files/84/ex-standardit_edu_kalvot.pdf

/19/ INTERNATIONAL STANDARD IEC 60079-1 Explosive Atmospheres – Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures “d”. 2014.

/20/ ABB Low Voltage Motors for Explosive Atmospheres. Viitattu 20.12.2018

https://library.e.abb.com/public/ea721d4cbd7840a19a94571cd092cc93/Ex_9AKK_104006_EN_02_2016_06042016_low.pdf

/21/ MASTER’S THESIS, Cable Lead-Trough Solutions for Explosive Atmosphere Low Voltage Motor. Nicklas Peltola. 2018.

LIITE 1. Työn tilaaja estää kaikkien liitteiden julkaisun.