



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Vesa Saari

SMOKEVENT-MOOTTORIEN AKSIAA-
LIVÄLYKSEN VAIKUTUS LAAKE-
ROINNIN KESTÄVYYTEEN

ABB Oy

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Vesa Saari
Opinnäytetyön nimi	Smokevent-moottorien aksiaaliväläyksen vaikutus laakeroinnin kestävyys
Vuosi	2020
Kieli	Suomi
Sivumäärä	32 + 11 liitettä
Ohjaaja	Juha Hantula, Daniel Bärge & Timo Aro

Tässä tutkimuksessa tutkitaan tiettyjen Smokevent-moottorien aksiaaliväläystä ja laakeroinnin kestävyyttä. Osassa moottoreissa N-pään laakerointi on kriittinen onnettomuustilanteesta johtuvalle lämpölaajenemiselle. Smokevent-moottorien pitäisi kestää korkeimmillaan jopa 400°C kuumuus kahden tunnin ajan. Lämpölaajeneminen saattaa vaikuttaa siten, että laakeripohja alkaa pohjaamaan laakeriin kuormittaen laakeria ja tämä aiheuttaa lopulta laakerin rikkoontumisen. Pienin ja suurin moottorikoko on standardin mukaan testattu ja ne ovat läpäisseet testit, mutta välikokoja ei ole testattu ABB:n toimesta ja siksi tämä tutkimus tehdään.

Asia on kokonaisuudessaan todella laaja ja aihetta oli pakko rajata sopivaksi. Tietoa täytyi etsiä paljon, mutta sitä oli helposti saatavilla. Tutkimus oli suuresti teoriapainotteinen ja keskittyi paljon omiin huomioihin ja asiantuntijoiden tietoihin. Apuna käytin Excel-taulukkoa, mihin pystyi sijoittamaan moottoreiden mittoja ja lämpötiloja.

Tutkittaessa vakiomoottoreita vakiolaakeroinnilla, eivät ne kestäneet korkeita lämpötiloja. Smokevent-moottoreissa käytettävät C4-väläyksiset laakerit kestävätkin korkeampia lämpötiloja suuremman säteittäisväläyksen ansiosta, mutta liikkuva N-pään laakerointi tarvitsee enemmän laajenemistilaa.

ABSTRACT

Author	Vesa Saari
Title	Effect of Axial Clearance of a Smokevent Motors on Bearing Durability
Year	2020
Language	Finnish
Pages	32 + 11 Appendices
Name of Supervisor	Juha Hantula, Daniel Bärög & Timo Aro

This research studies the axial clearance and bearing strength of certain motor sizes. In some motors, N-end bearings are critical for thermal expansion in an accident. Smokevent motors should withstand up to 400 degrees heat for two hours. Thermal expansion may cause the bearing to begin to bottom into the bearing base and put a strain on the bearing causing the bearing break. The smallest and the biggest motor sizes have been tested according to the standard and they have passed the tests but the intermediate sizes have not been tested by ABB. Hence, this research is done.

The issue as a whole is wide and the subject had to be limited. A lot of information was searched for but it was easily available. The research was largely theory-oriented and focused much on observations and information from experts. An Excel spreadsheet was made where the dimensions and temperatures of the engines were entered.

When investigating standard engines with standard bearings they did not withstand high temperatures. The C4 bearings of smokevent motors withstand higher temperatures because the bearings have higher radial clearance but movable N-head bearing will need more expansion area.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9
1.1	Tavoitteet ja työn rajausta	9
1.2	Menetelmät ja aineisto	9
1.3	Työntilaaja	9
1.3.1	ABB Suomessa	10
1.3.2	ABB Motors and Generators.....	10
2	SÄHKÖMOOTTORI	11
2.1	Oikosulkumoottori	11
2.2	Smokevent-moottorit	12
2.2.1	Laakeri.....	13
2.2.2	Laakerien asennus	14
2.2.3	Laakerivauriot	14
2.2.4	Laakerien esikuormitus	15
3	TUTKIMUKSEN TAUSTA	18
3.1	Tutkimusongelma	18
3.2	Tarkoitus ja tavoite	19
3.3	Välykset	19
3.4	Lämpölaajeneminen	20
3.4.1	Valurauta.....	21
3.5	Toleranssit.....	21
3.6	Sovite	22
3.6.1	Ahdistussovite	23
3.6.2	Välyssovite.....	23
3.6.3	Välisovite	23
3.7	Standardi	24
3.7.1	Standardien lukeminen.....	25
4	TOTEUTUS	26

4.1	Taulukon toiminta.....	26
5	TULOS	27
5.1	Vakiomoottorit.....	27
5.2	Smokevent-moottorit	27
6	JOHTOPÄÄTÖS	28
6.1	Tulosten tarkastelu	28
6.2	Luotettavuus.....	28
6.3	Yhteenveto	28
7	JATKOKEHITYS	29
	LÄHTEET.....	30

LIITTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne /7/	12
Kuva 2. Länsimetron savunpoistopuhallin /10/.....	13
Kuva 3. Laakerointi, normaaliratkaisu /12/.....	14
Kuva 4. M3BP, peruslaakerointi /13/.....	15
Kuva 5. Esikuormitukset /14/.....	16
Kuva 6. Aaltojousi /15/	17
Kuva 7. Puristusjousi /16/	17
Kuva 8. Laajenemistilat /17/	18
Kuva 9. Välykset /20/.....	20
Kuva 10. Lämpölaajeneminen /22/	21
Kuva 11. SFS-ISO 286-1 EN 20286-1:1990 perustoleranssitaulukko /25/.....	22
Kuva 12. Esimerkkejä suositeltujen sovitteiden käyttökohteista /30/.....	24
Kuva 13. M3BPW 450 ennen ja jälkeen 400°C testin /33/.....	25
Kuva 14. Standardien tunnus /35/	25

LIITELUETTELO

Liite 1. Excel-taulukko M3BP 280MLA 4

Liite 2. Excel-taulukko M3BP 280SMA 4

Liite 3. Excel-taulukko M3BP 315LKA 4

Liite 4. Excel-taulukko M3BP 315MLA 4

Liite 5. Excel-taulukko M3BP 315SMA 4

Liite 6. Excel-taulukko M3BP 355LKA 4

Liite 7. Excel-taulukko M3BP 355MLA 4

Liite 8. Excel-taulukko M3BP 355SMA 4

Liite 9. Excel-taulukko M3BP 400LA 4

Liite 10. Excel-taulukko M3BP 450LA 4

Liite 11. Excelin käyttö

Liitteitä ei julkaista liikesalaisuuksien vuoksi.

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ABB	Asea Brown Boveri
D-Pää	Moottorin asiakkaan pää, josta akselitappi tulee ulos (Drive end)
N-Pää	Moottorin vapaa pää, josta vakimoottoreissa ei tule akselitappia ulos (Non-Drive end)
Smokevent	Savukaasupoistomoottori
IEC	International Electrotechnical Commission
LV	Low voltage, alhainen jännite
BP	Moottorityypin määritelmä
280/315/355/400/450	Runkokoko
C3	Laakerin merkintä, säteittäisvällys suurempi kuin normaali
C4	Laakerin merkintä, säteittäisvällys suurempi kuin C3

1 JOHDANTO

Smokevent-moottorit ovat erikoismoottoreita, joita käytetään tunneleissa savukaasun ja lämmön poistoon. Moottoreita voidaan käyttää normaaliin ilmanvaihtoon, jolloin ne ovat toiminnassa koko ajan sekä vain hätätapauksissa, jolloin ne käynnistyvät, esimerkiksi jos tunnelissa syttyy tulipalo. Hätätilanteessa moottorit poistavat tunneleista savua ja lämpöä, jotta ihmisillä on aikaa pelastautua. Tästä syystä moottorien täytyy toimia aina ilman ongelmia ja standardissa määrätyn ajan. Tässä työssä tutkitaan kyseisten moottorien laakeroinnin kestävyyttä. Tutkimus on tehty Vaasan ABB Motors and Generators -yksikön tutkimus ja tuotekehitys osastolle.

1.1 Tavoitteet ja työn rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Smokevent-moottorien aksiaalivälyksen vaikutusta N-pään laakeroinnin kestävyteen ja mahdollisia parannusehdotuksia. Työssä keskitytään tutkimaan välyksiä, toleransseja, laakereita ja lämpölaajenemista. Tutkimuksen avulla pyritään löytämään vastaus ongelmaan.

1.2 Menetelmät ja aineisto

Opinnäytetyö tehdään tutkien välyksiä, toleransseja, laakereita ja lämpölaajenemista. Aineistona käytetään kirjallisuutta, verkosta löytyviä julkaisuja, tutkimuksia ja valmistajien asiantuntemusta.

1.3 Työntilaaja

Vuonna 1889 Gottfrid Strömberg perusti sähköliikkeen Strömberg Oy. 1980 Strömberg Oy myytiin ASEA-nimiselle ruotsalaiselle yritykselle ja ABB syntyi 1988, kun ASEA ja Brown Boveri yhdistyivät /1/. ABB on teknologiajohtaja, jonka innovointi on kestänyt jo yli 130 vuotta. ABB:llä on neljä johtavaa liiketoimintaa: Electrification, Industrial Automotion, Discrete Automation sekä Motion ja Robotics. Näitä tukee yhteinen ABB Ability -alusta. Power Grids -liiketoiminta divestoidaan Hitachille vuonna 2020. ABB työllistää noin 147 000 henkilöä yhteensä yli 100 maassa. Pääkonttori on Zurichissä, Sveitsissä /2/.

1.3.1 ABB Suomessa

ABB on Suomessa jatkanut menestyksekkäästi Strömbergin jalanjäljissä /3/. Suomessa ABB on yksi suurimmista työnantajista ja se työllistää noin 5 400 henkilöä. ABB toimii Suomessa noin 20 paikkakunnalla. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Porvoossa, Haminassa, Helsingissä ja Vaasassa /4/.

1.3.2 ABB Motors and Generators

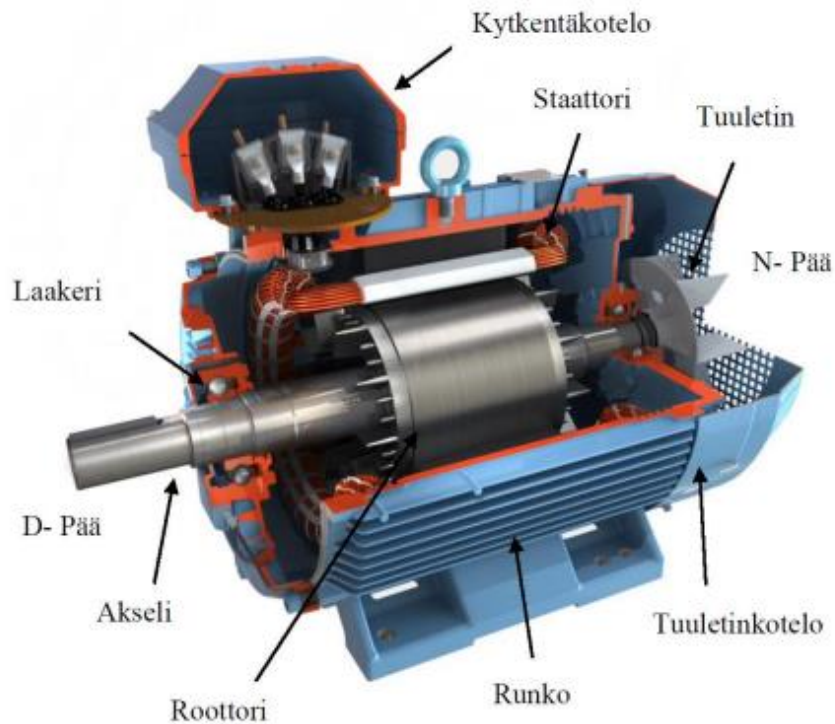
ABB:n Motors and Generators -liiketoimintalinja Suomessa panostaa korkean hyötysuhteen moottoreiden ja generaattoreiden tuotekehitykseen ja tutkimukseen. Suomessa liiketoimintalinja valmistaa ja kehittää moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuudenaloille ja sovelluksiin maailmanlaajuisesti. Tehtaat sijaitsevat Helsingissä ja Vaasassa. Helsingin tehtaassa kehitetään ja valmistetaan korkeajännitemoottoreita, kestopagneettimoottoreita ja dieselgeneraattoreita. Vaasan tehtaassa on vastuu pienjännitemoottoreiden valmistuksesta ja tuotekehityksestä vaativiin käyttöihin /5/.

2 SÄHKÖMOOTTORI

Sähkömoottoreissa sähköenergia muutetaan liike-energiaksi. Moottorit muuttavat sähköenergian mekaaniseksi energiaksi, kun taas generaattorit muuttavat mekaanista energiaa sähköenergiaksi. Useat moottorit voivat toimia joko moottorina tai generaattorina. Sähkömoottori sisältää paikallaan pysyvän staattorin ja akselin mukana pyörivän roottorin. Toiminta perustuu sähköisiin magneetteihin, jotka voidaan kytkeä päälle ja pois. Näiden avulla sähköinen magneettikenttä voidaan saada aikaiseksi roottorissa tai staattorissa. Moottoreita on eri tyyppisiä, mutta kaikissa on silti samat perusosat ja ABB:n moottorit soveltuvat käytettäväksi kaikissa sovelluksissa ja kaikilla teollisuuden aloilla.

2.1 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottorissa roottorin ympärille muodostuu pyörivä magneettikenttä. Kenttä aiheuttaa roottorin käämeihin virran, jolloin roottori pyrkii seuraamaan staattorin pyörivää magneettikenttää ja se saa aikaan roottorin pyörimisliikkeen. Roottorin navat ovat oikosuljettuja keskenään ja siksi sen nimi on oikosulkumoottori, mutta induktion hyödyntämisen takia oikosulkumoottoreita saatetaan myös kutsua induktiomootoreiksi /6/. Oikosulkumoottorit ovat helppokäyttöisiä ja ne ovat todella yksinkertaisia, mutta kestäviä. Tästä syystä niiden huollon tarve on todella vähäistä. Oikosulkumoottorissa on myös haittapuolia, mutta lähes kaikki niistä on helposti vältettävissä. (Kuva 1.)



Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne /7/.

2.2 Smokevent-moottorit

Smokevent-moottorit ovat savukaasujen poistoon tarkoitettuja erikoismoottoreita. Moottorit pyörittävät esimerkiksi metrotunneleiden tuulettimia, jotka huolehtivat tunneleiden tuuleuksesta ja poistavat savukaasua sekä lämpöä tunneleista tulipalon sattuessa /8/. Tulipalotilanteessa savu poistetaan kahta kuilua käyttämällä, toisesta kuilusta syötetään korvausilmaa tunneliin ja toisesta kuilusta poistetaan savua. Suomessa valmistettuja IEC LV M3BPW-moottoreita löytyy ympäri maailmaa juna-, metro- ja tietunneleiden savukaasujen poistoon tarkoitetuista isoista puhaltimista /9/. Moottoreilla on eri lämpötilaluokkia ja kestoajoja, F200 luokassa täytyy kestää 200°C astetta kahden tunnin ajan, F300 luokassa täytyy kestää 300°C astetta 60 minuutin ajan ja tiukin luokitus edellyttää, että puhallin-moottoriyhdistelmä toimii 400°C asteen kuumuudessa kahden tunnin ajan. ABB on testannut M3BPW-moottorit EN 12101-03-standardin mukaisesti. (Kuva 2.)



Kuva 2. Länsimetron savunpoistopuhallin /10/.

2.2.1 Laakeri

Laakereita on useita eri tyyppisiä, mutta yleisimmin käytetty laakerityyppi on urakuulalaakeri, sillä se pystyy ottamaan hyvin vastaan sekä aksiaali- että radiaalikuormaa ja siinä on parhaat voiteluominaisuudet. Moottorien kokoluokissa 280-450 on aina jälkivoidellut laakerit. ABB:n Smokevent-moottoreissa on hyväksytty vain urakuula- ja viistokuulalaakerit, jos käytetään muita laakerityyppejä, moottorit täytyy testata erikseen. (Kuva 3.)

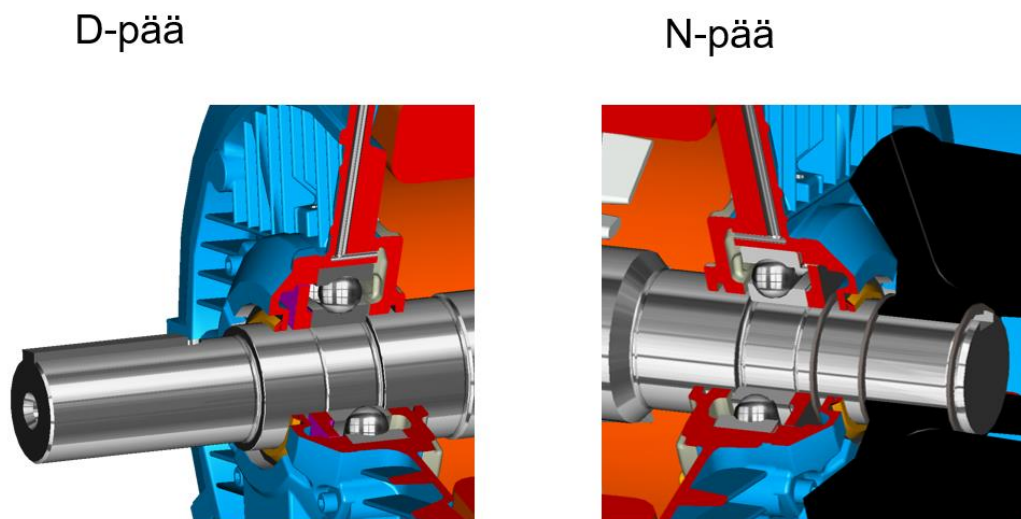
Vakiomoottoreissa laakereina käytetään C3-välyksellisiä urakuulalaakereita, joissa säteittäisvälyks on suurempi kuin normaaleissa laakereissa. Normaalisti Smokevent-moottoreissa laakereina käytetään C4-välyksellisiä urakuulalaakereita, niissä säteittäisvälyks on suurempi kuin C3:ssa ja ne kestävät paremmin lämpölaajenemisesta johtuvan välyksen pienenemisestä. M3-moottoreissa normaalisti D-pään laakeri on kiinteä ja N-pään laakeri on liikkuva. Laakerien esikuormitus tapahtuu N-pään laakerointiin sijoitetuilla aaltojousilla tai puristusjousilla. (Kuva 4.)

2.2.2 Laakerien asennus

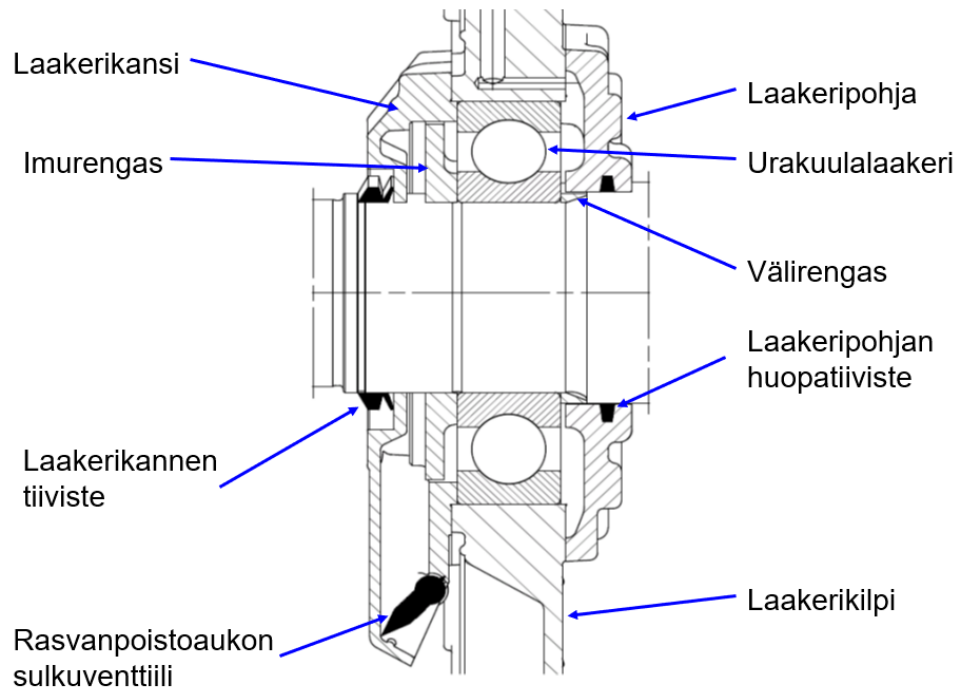
Yleisin asennustapa laakerille on puristamalla, se on nopea ja sitä voidaan käyttää urakuulalaakereiden asennukseen useimmilla normaalimoottoreilla. Mutta kokoluokissa 355–400 2-napaisissa ja kaikissa 450 kokoluokan moottoreissa laakerit asennetaan aina lämmittämällä. Myös erikoiset laakerityypit asennetaan aina lämmittämällä. Laakerit pitää lämmittää joko induktiolämmittimellä tai uunissa, sillä niitä ei saa lämmittää suoraan liekillä. Normaalisti 80–90 astetta akselia kuumempi lämpötila riittää, eli laakeri on lämmitettävä lämpötilaan 100–110 astetta. Liian suuri lämpötila saattaa vaurioittaa laakeria. Laakeri asennetaan akselille kuumana, mutta laakerikilpi asennetaan vasta sitten kun laakeri on jäähtynyt. Laakerikilven keskiosaa voidaan tarvittaessa lämmittää ennen asennusta.

2.2.3 Laakerivauriot

Sähkömoottoreissa yleisimmät vauriot ovat laakerivaurioita, yleisimmät laakerivauriot ovat ylikuorma, ylikuumeneminen, värinä, staattinen ylikuormitus, väsymisvauriot, vääränsuuntainen kuormitus, voiteluaineen epäpuhtaudet, voiteluainevika, korrosio, linjausvirhe, laakerin kehien liukuminen ja liian tiukat sovitteet. Sähkömoottoreissa erityisesti vaurioita aiheuttavat laakerivirrat /11/.



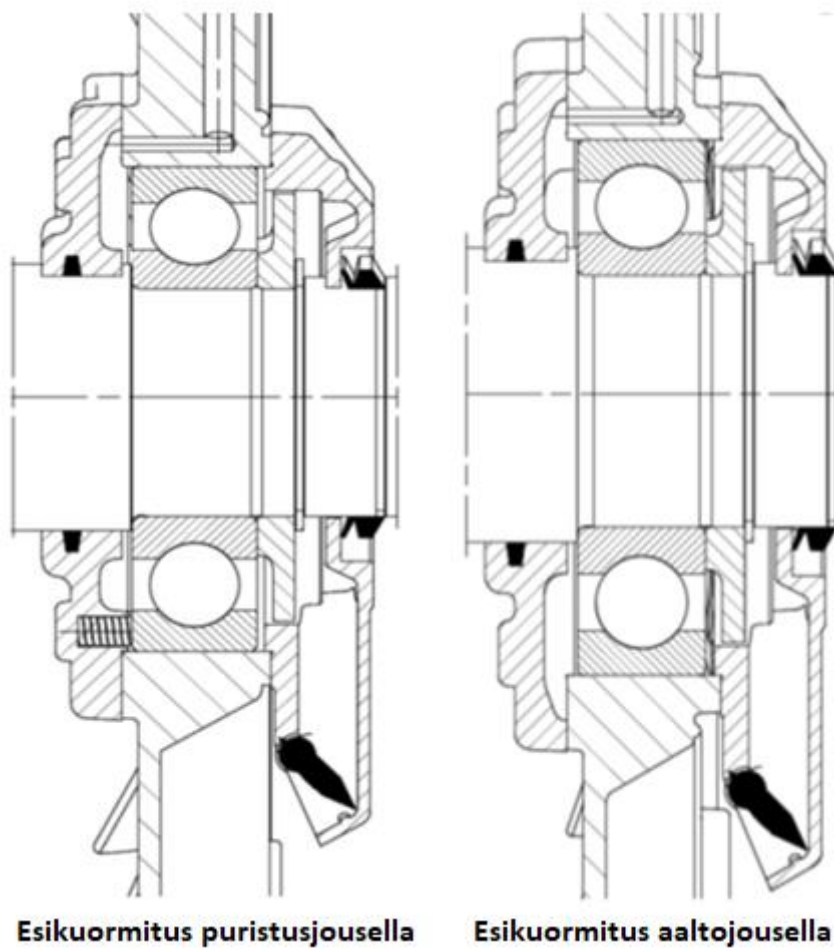
Kuva 3. Laakerointi, normaaliratkaisu /12/.



Kuva 4. M3BP, peruslaakerointi /13/.

2.2.4 Laakerien esikuormitus

Laakerien esikuormitus tapahtuu yleensä N-pään laakerointiin sijoitetuilla jousilla. Moottorissa on kokoluokasta ja sovelluksesta riippuen käytössä joko aaltojousi tai puristusjouset. Aaltojousi tarvitsee vähemmän tilaa kuin puristusjouset ja niitä käytetään usein, jos puristusjouset ei ole mahdollista sen pituuden takia. Aaltojousi on laakerikannen puolella, kun taas puristusjousi on laakeripohjan puolella. (Kuvat 5, 6 ja 7.)



Kuva 5. Esikuormitukset /14/.



Kuva 6. Aaltojousi /15/.

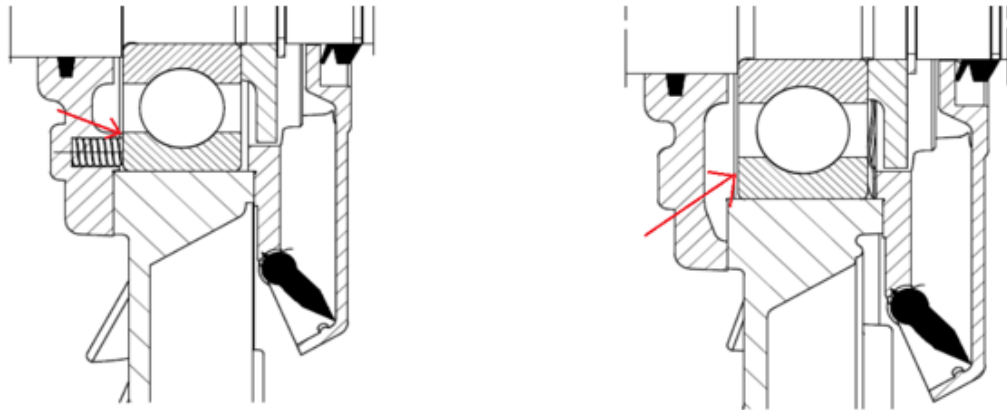


Kuva 7. Puristusjousi /16/.

3 TUTKIMUKSEN TAUSTA

3.1 Tutkimusongelma

Smokevent -moottorikokoja on monia eri kokoluokkia ja niistä pienin ja suurin on standardin mukaan testattu ja ne ovat läpäisseet testit. Standardin mukaan välikokoja ei ole tarvetta testata ja sen vuoksi tutkitaan välikoon moottoreiden laakeroinnin aksiaalivälystä ja laakereiden kestävyyttä tulipalotilanteessa. N-pään laakerointi on kriittinen tulipalosta johtuvan lämpölaajenemisen vuoksi. Staattori kuumenee huomattavasti nopeammin kuin roottori, ero voi olla jopa 300°C ja tämä aiheuttaa liikkuvassa N-pään laakeroinnissa kiinnileikkautumisen vaaran. Moottorien pitäisi korkeimman lämpötilaluokituksen mukaan kestää 400°C kuumuus kahden tunnin ajan. Laakeripohjan ja laakerin ulkorenaan välillä saattaa olla liian pieni laajenemistila ja lämpölaajenemisen seurauksena saattaa laakerin ulkorenaan ja laakeripohjan välys pienentyä ja tästä syystä laakeripohja alkaa pohjaamaan laakeriin kuormittaen laakerointia.



Kuva 8. Laajenemistilat /17/.

Kuvassa 8 on merkitty punaisilla nuolilla tämä laajenemistila, mikä pienentyy lämpölaajenemisen seurauksena. Laakerin sisärenas on lukittu akseliin kiinni lukko-renkaalla eikä se liiku lämmetessä ollenkaan. Laakerikansi, laakeripohja ja laakerikilpi liikkuvat staattorirungon mukana rungon laajetessa ja jossain vaiheessa

laajenemistila menee liian pieneksi ja laakeripohja alkaa pohjaamaan laakeriin, mikä voi pahimmassa tapauksessa rikkoa laakerin. (Kuva 8.)

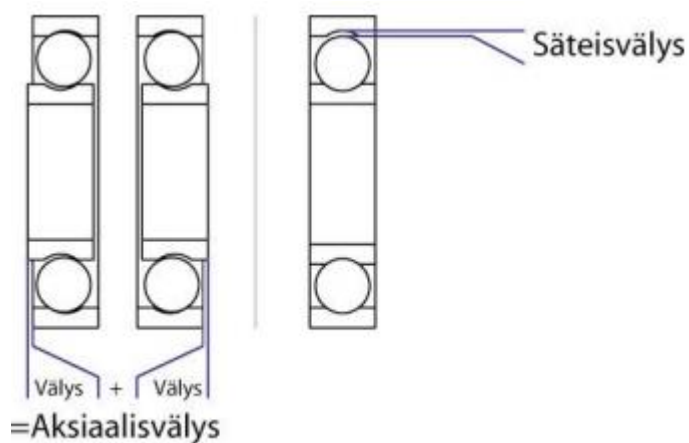
3.2 Tarkoitus ja tavoite

Tarkoitus on tutkia, että kuinka paljon kokoluokkien 280–450 moottoreissa on aksiaalivälystä ja mitenkä aksiaalivällys vaikuttaa laakeroinnin kestävyuteen ja kuinka kestävyyttä voisi mahdollisesti parantaa. Tavoite on löytää mahdollisia ratkaisuja sille, että mitenkä välyksestä saisi sopivan ja laakerit pysyisivät ehjänä ja kestäisivät onnettomuustilanteesta johtuvan kuumuuden ja lämpölaajenemisen.

3.3 Välykset

Välyksellä tarkoitetaan liikkuvien osien välissä olevaa rakoja. Laakerin välyys on laakerin sisähalkaisijan ja akselin halkaisijan väliin jäävä rako. Aksiaalivällys on akselin suuntaisesti sallittu liike ja säteisvällys on laakerin säteen suuntaisesti sallittu liike /18/. Mitä suurempi välyys on, sitä enemmän osat pääsevät liikkumaan. Jos välyys on pieni tai menee negatiiviseksi, sitä voidaan kutsua ahdistukseksi. Yksi välyksen tehtävistä on eliminoida geometriamuutokset. Akselin halkaisija kasvaa monesti lämpötilan noustessa ja tällöin kokonaisvälyys pienenee.

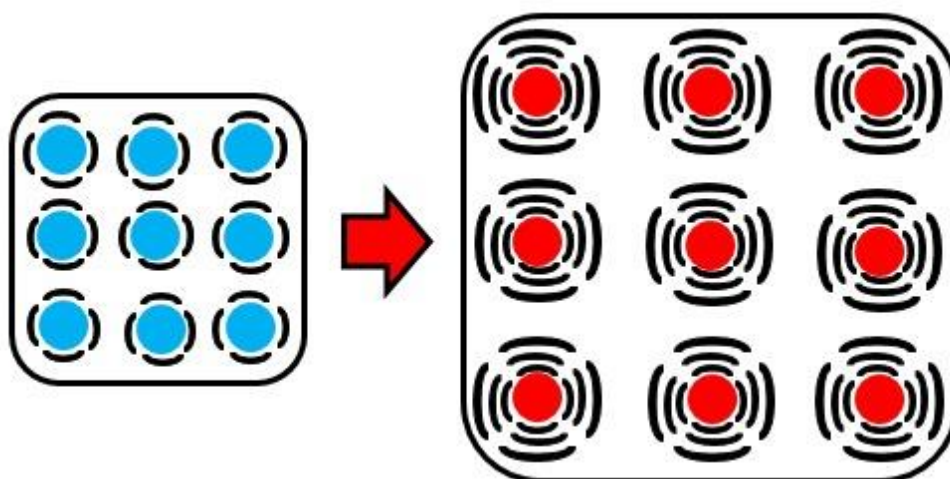
Usein korkeasti kuormitetut ja hitaasti liikkuvat laakeroinnit vaativat pienen välyksen ja pienet kuormitukset sekä nopeat laakeroinnit vaativat suuremman välyksen. On suositeltu, että kokonaisvälyys olisi noin 0,3–5 promillea akselin halkaisijasta. Kokonaisvälyys on riippuvainen kuormituksesta ja liukunopeudesta /19/. (Kuva 9.)



Kuva 9. Välykset /20/.

3.4 Lämpölaajeneminen

Kun kappaletta lämmitetään, sen rakenneosissa lisääntyvä liikehdintä kasvattaa tilavuutta ja sitä kutsutaan lämpölaajenemiseksi. Kappale voi myös pienentyä, kun lämpötilan laskiessa tilavuus pienenee ja silloin lämpölaajeneminen tapahtuu toiseen suuntaan. Jokaisella aineella on oma lämpölaajenemiskerroin ja se kertoo, kuinka paljon aine laajenee lämmitessään. Lämpölaajeneminen on syytä ottaa huomioon paikoissa, joissa lämpötilanvaihtelut ovat suuria /21/. Onnettomuustilanteissa moottorit saattavat altistua jopa 400°C kuumuudelle, mikä on todella korkea lämpötila jopa valuraudalle. (Kuva 10.)



Kuva 10. Lämpölaajeneminen /22/.

3.4.1 Valurauta

Valuraudassa on rautaa ja hiiltä sisältäviä seoksia ja sen käyttökelpoisuus on hyvä sen suhteellisen alhaisesta sulamislämpötilasta. Valuraudan hyviä ominaisuuksia alhaisen sulamispisteen lisäksi on myös hyvä juoksevuus, läpinäkyvyys, erinomainen työstettävyys, vastustuskyky muodonmuutokselle ja kulutuskestävyys. Valuraudalla lämpölaajeneminen on todella vähäistä ja se kestää hyvin lämpenemistä, mutta valuraudalla ei ole muodonmuutoskykyä ja suurissa yli 400 asteen lämpötiloissa sen tilavuus kasvaa mutta se ei palaudu jäähdyttyään /23/. Moottoreissa runko ja laakerointiosat ovat valurautaa, mutta akseli on terästä.

3.5 Toleranssit

Toleranssi on erotus ylemmästä ja alemmasta rajamittasta. Usein valmistuksessa ja tarkistuksissa syntyy aina jonkin verran virheitä, toleransseilla saadaan määritettyä, että kuinka suuri virhe saa olla ennen kuin osa hylätään. Ylempi rajamitta on kappaleen suurin sallittu mitta ja alempi rajamitta on kappaleen pienin sallittu mitta. Kappaleen toiminnan takaamiseksi riittää sen valmistaminen niin, että sen mitta on sallitun rajan eli toleranssin sisällä. Toleranssi kertoo sallittavan mittavaihtelun

valmistuksessa ja se kuvaa tuotteen tai työstön hyväksyttyä epätarkkuutta /24/.
(Kuva 11.)

Perusmitta Basic size mm		Perustoleranssiasteet/Standard tolerance grades																	
		IT1 ²⁾	IT2 ²⁾	IT3 ²⁾	IT4 ²⁾	IT5 ²⁾	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 ³⁾	IT15 ³⁾	IT16 ³⁾	IT17 ³⁾	IT18 ³⁾
>	≤	Toleranssit/Tolerances																	
		μm										mm							
—	3 ³⁾	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630 ²⁾	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800 ²⁾	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000 ²⁾	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250 ²⁾	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600 ²⁾	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000 ²⁾	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500 ²⁾	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150 ²⁾	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

Kuva 11. SFS-ISO 286-1 EN 20286-1:1990 perustoleranssitaulukko /25/.

3.6 Sovite

Sovitteita on erilaisia moneen eri tarkoitukseen, joidenkin sovitteiden tehtävänä on pitää osat paikoillaan tai sallia osien liukumisen toisiinsa nähden ja joidenkin sovitteiden tehtävänä on kiinnittää osat tiukasti toisiinsa. Kun kaksi kappaletta liitetään toisiinsa, sovite on niiden yhteen liitettävien kappaleiden mittojen erosta ennen asennusta riippuva ominaisuus. Laakeripesään painettu laakeri on esimerkki sovitteesta, jonka tavoitteena on kiinnittää osat toisiinsa. Sovitteita on erilaisia ja kerron seuraavaksi osasta tarkemmin käyttäen esimerkkinä reikää ja akselia, tavallisesti reiän toleranssi on yhtä astetta suurempi kuin akselin, koska akselin valmistaminen tarkasti on helpompaa kuin reiän valmistaminen. /26/. Moottorien D-päässä on tiukempi laakeripesän sovite, kuin liikkuvassa N-päässä. (Kuva 12.)

3.6.1 Ahdistusovite

Ahdistusovitteessa vällys on aina pienempi tai yhtä suuri kuin nolla ja ahdustusovitteessa on ahdistus akselin ja reiän asentamisen jälkeen. Ahdistus tulee reiän ja akselin koon erotuksesta ennen niiden yhteensovittamista, kun reiän halkaisija on pienempi kuin akselin halkaisija /27/.

3.6.2 Välysovite

Välysovitteessa vällys on aina vähintään nolla ja välysovitteessa on välystä akselin ja reiän asentamisen jälkeen. Välyys on reiän ja akselin mitan erotus, kun reiän halkaisija on pienempi kuin akselin halkaisija /28/.

3.6.3 Väliovite

Väliovitteessa vällys voi olla joko positiivinen tai negatiivinen. Väliovite voi olla ahdistus tai sitten vällys, se riippuu akselin ja reiän tosimitoista /29/.

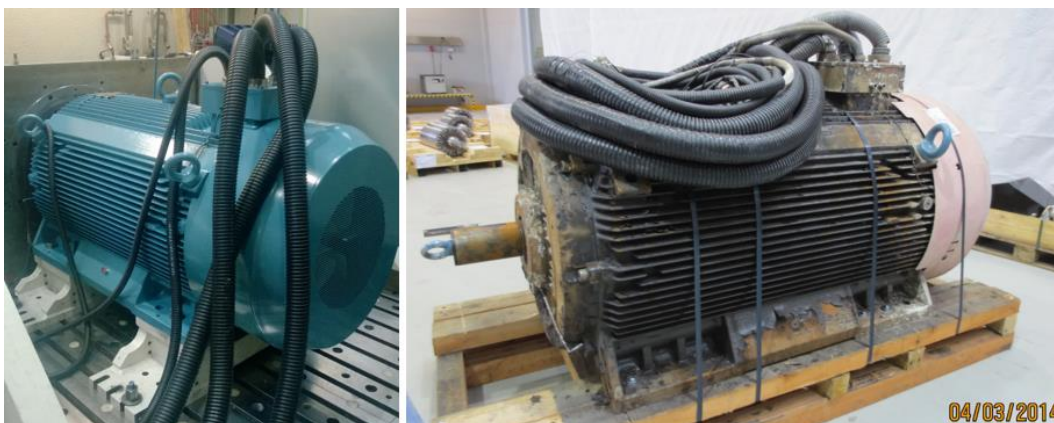
Reikäkanta (SFS 2231)				Käyttökohteita	Akselikanta (SFS 2232)				
H7	H8	H9	H11		h6	h7	h8	h9	h11
s6	u7			Luja ahdistusovite. Liittäminen kutistamalla tai paineöljyllä. Vääntömomentin siirtoon ilman kiilaa. Ahdistusovite. Liittäminen puristamalla tai kutistamalla. Siirtää pienehkön vääntömomentin. Helppo ahdistusovite. Kestää pienen vääntömomentin. Laakeriholkki pesässään, hihnapyörä ja vinohampainen hammaspyörä kiilaliitoksella akselillaan.	P7 P8	P7 P8			
m6				Pakotusovite. Koottava yleensä puristimella. Vaatii kiilavarmistuksen vääntömomenttia siirrettäessä. Helppo pakotusovite. Koottavissa vasaroimalla. Pysyvästi asennetut ketjupyörät ja suorahampaiset hammaspyörät akselillaan. Tartuntasovite. Liikutettavissa käsin tai kevyesti vasaroimalla. Purettavat hammas- ja käsipyörät akselilla.	M7				
k6					K7				
js6					JS7	JS8	JS8	JS8	
h6	h7 h8	h8	h11	Työntösovite. Liikutettavissa käsin. Pinolit, välirenkaat ja -holkit, sokalla varmistetut navat. Työstökoneen karan liukulaakerit, siirrettävät kytkimet, vaihdettavat hammaspyörät. Liukusovite. Hitaasti liikkuvat liukulaakerit, männät sylinterissä, aksiaalisesti siirrettävät pyörät. Liukulaakerit pitkissä tai monilaakerisissa akseleissa, kampiakseleissa, vivuissa. Suurivälkyksinen. Karkeat liukulaakeroinnit, suuret lämpötilaerot laakereissa.	H7	H8	H8	H9	H11
g6	f8	f8				F8	F8	F8	
	e9	e9					E9	E9	
		d10	d10				D10	D10	

Kuva 12. Esimerkkejä suositeltujen sovitteiden käyttökohteista /30/.

3.7 Standardi

Standardi on suositus siitä, miten jokin pitäisi tehdä. Se voi olla esimerkiksi jonkun tietyn esineen asennus, testaus tai mitoitus. Standardien takia voidaan aina luottaa siihen, että tietyt asiat ovat aina samoja tai oikein valmistettu. Standardien noudattaminen on tärkeää monilla aloilla ja se on heille itsestäänselvyys, että tietyt asiat tehdään täysin standardien mukaan ja niitä ei voi ohittaa tai kiertää /31/. Standardit helpottavat yhteisiä toimintatapoja ja niillä varmistetaan, että erilaiset järjestelmät ja tuotteet sopivat ja toimivat yhdessä /32/.

Smokevent-moottorit testataan EN-12101-3-standardin mukaan. Testit tehdään uunissa, joka lämmitetään esimerkiksi kaasupolttimilla haluttuun lämpötilaan enintään 10 minuutissa tai vähintään 5 minuutissa, eli lämpötila muuttuu todella nopeasti. Moottori pysäytetään kahdeksi minuutiksi 15 minuutin käytön jälkeen ja tämän jälkeen moottori käynnistetään uudelleen ja testi ajetaan loppuun. Testissä otetaan mittauksia lämpötilasta, virtauksista, paineesta, virroista ja jännitteistä. (Kuva 13.)



Kuva 13. M3BPW 450 ennen ja jälkeen 400°C testin /33/.

3.7.1 Standardien lukeminen

Standardeissa on erilaisia tunnuksia ja numeroita. Ensimmäinen tunnus kertoo organisaation, missä teksti on laadittu. Jos näitä kirjainyhdistelmiä on monta, silloin kyseinen standardi on voimassa kaikissa organisaation jäsenmaissa. Toinen ja kolmas tunnus kertoo kyseessä olevan Euroopan talousalueella vahvistettu kansainvälinen standardi. Lopussa on standardin numero ja sen vahvistamisvuosi /34/. (Kuva 14.)



Kuva 14. Standardien tunnus /35/.

4 TOTEUTUS

Ensimmäisenä tutkitaan kaikki runkopituudet vakiomoottoreista 280–450 ja tarkastellaan, kuinka suuri laajenemistila näissä moottoreissa on N-pään laakerin ja laakeripohjan välissä. Tämän jälkeen tutkitaan, mitä laajenemistilan pitäisi olla Smokevent-moottoreissa ja mitä parannuksia voisi mahdollisesti tehdä, että laajenemistila olisi sopiva. Esikuormituksen ollessa laakeripohjan puolella, pitää se laskea uudelleen laajenemistilan muuttuessa. Tutkimuksessa apuna käytetään Excel-taulukkoa, johon voi syöttää moottoreiden rakenteiden mittoja ja lämpötiloja. Näiden arvojen avulla taulukko laskee laajenemistilan mitat ja esikuormituksen.

4.1 Taulukon toiminta

Taulukkoon pystyy sijoittamaan rakenteellisia mittoja, kuten eri osien etäisyyksiä toisistaan, laakereiden tietoja ja toleransseja sekä lämpötiloja. Näiden arvojen perusteella taulukko laskee ja näyttää paljonko laajenemistila on laakerin ja laakeripohjan välissä ja kuinka paljon esikuormitus on. Jos välykset ja esikuormitus on hyvä niin taulukko näyttää sen vihreänä. Välyksen ja esikuormituksen ollessa huono, taulukko näyttää sen punaisena. Jos välykset ja esikuormitus on näiden kahden väliltä, silloin taulukko näyttää sen keltaisena. Taulukon toimintaa on käyty tarkemmin läpi erillisessä liitteessä, mutta sitä ei julkaista liikesalaisuuksien vuoksi.

5 TULOS

5.1 Vakiomoottorit

Vakiomoottoreista tehtiin kokoluokista 280–450 kaikista runkopituuksista oma Exceli ja niitä on yhteensä kymmenen kappaletta. Vakioita tutkittaessa laitettiin rungon lämpötilaksi 55 astetta ja akselin lämpötilaksi laitettiin 100 astetta, mitkä on Excelissä asetettu normaaliksi lämpötilaksi. Vakioissa seitsemässä kappaleessa Excelit näyttivät vihreää tai keltaista, kolmessa kappaleessa Excel näytti punaista. Nostettaessa rungon lämpötilan 400 asteeseen, kaikki vakiomoottorit näyttivät punaista.

5.2 Smokevent-moottorit

Smokevent-moottoreissa mekaaninen rakenne on melkein sama kuin vakiomoottoreissa, mutta laakerointi muuttuu. Vakiomoottoreissa laakeri on C3-välyksellinen laakeri. Smokevent-moottoreissa laakeri on C4-välyksellinen ja näissä erona on laakerivälitys, jolloin lämmönkestävyys on parempi C4-välyksellisissä laakereissa kuin C3-välyksellisissä laakereissa. Tästä syystä Smokevent-moottorien laakerit kestävät korkeassa lämpötilassa paremmin kuin vakiomoottorit. Excelissä ei ole tällä hetkellä mahdollisuutta laskea tuloksia C4-välyksellisellä laakeroinnilla, joten Excelissä käytettiin C3-välyksellisen laakerin arvoja. Rungon lämpötilaksi laitettiin 400°C ja akselin lämpötilaksi laitettiin 100°C, pahimman tapauksen mukaan lämpötilaeron ollessa 300°C. Näillä arvoilla Excel-taulukot näyttivät punaista. Tämä tarkoittaa sitä, että laajenemistila on liian pieni.

6 JOHTOPÄÄTÖS

6.1 Tulosten tarkastelu

Vakiomoottoreissa yllätti se, että osa niistä näytti punaista tai keltaista lämpötilojen ollessa normaaleja. Tämä johtuu siitä, että laskentatapa on muuttunut uuden laskenta-Excelin myötä. Se tiedettiin ja oli odotettavissa, että suuressa 400°C lämpötilassa vakiomoottorit C3-välyksellisillä laakereilla näyttävät punaista ja ne eivät sovellu onnettomuuskäyttöön tuollaisenaan vakiolaakereilla. C4-välyksellisillä laakereilla varustetut Smokevent-moottorit taas kestävät paremmin korkeita lämpötiloja, jopa 400°C lämpötilaa kahden tunnin ajan.

6.2 Luotettavuus

Valitettavasti moottorien testaaminen on todella kallista ja testejä ei ole mahdollista suorittaa niin usein ja siksi ei voi täysin varmistua heti, että toimiiko kaikki moottorit ongelmitta korkeissa lämpötiloissa. Tässä tutkimuksessa täytyi täysin luottaa Excel-taulukkoon ja omiin tutkimuksiin ja asiantuntijoiden tietoon. Joitakin lämpötiloja on myös vaikea arvioida, sillä aina ei ole täyttä varmuutta siitä, paljonko lämpötila on milloinkin tietyissä paikoissa. Esimerkiksi roottorin lämpötilaa on vaikeaa mitata, ellei jopa mahdotonta. Täysi varmistus tulee sitten kun tulevaisuudessa moottoreille suoritetaan viralliset testit ja mahdolliset muutokset on tehty.

6.3 Yhteenveto

Vakio-osilla kaikki kokoluokat eivät tule kestäämään tulipalotilanteessa. Liikkuvan N-pään laakerointi tarvitsee enemmän laajenemistilaa. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi tekemällä muutoksia N-pään laakerikilven pesän pituuteen. Myös laakeripohjan muutoksilla voisi saada enemmän laajenemistilaa. Jos laakerikilven pesän pituutta muutetaan, täytyy laskea uudestaan esikuormitusvoimat ja siksi laakeripohjastakin täytyy tehdä erikoiskoneistus.

7 JATKOKEHITYS

Tulevaisuudessa voitaisiin tutkia kaikki mahdolliset laakerivaihtoehdot läpi, että olisiko joillakin laakereilla parempi kestävyys lämmön tai liikkuvuuden suhteen, vai onko tällä hetkellä käytössä paras mahdollinen laakeri mikä löytyy. Voi myös olla, että vielä ei ole keksitty täydellistä laakerivaihtoehtoa tähän tarkoitukseen.

Laakeroinnin voiteluun liittyviä asioita ja erilaisia rasvoja voisi myös tutkia, olisiko mahdollista esimerkiksi voitelulla jäähdyttää laakeria ja laakeripesää siten, että lämpeneminen ei heti vaikuttaisi niin kriittisesti. Voisiko mahdollisesti joillakin rasvoilla saada hieman lisääikää lämpölaajenemiselle ja laakerin kestävyydelle.

Voitaisiin tutkia, että voiko laakerikanteen, laakeripohjaan ja laakerikilpeen tehdä jonkinlaisia muutoksia niin, että laakerilla olisi enemmän laajenemistilaa onnettomuustilanteessa ja voisiko tämän avulla välttää mahdollisesti laakerin pohjaamisen lämmitessä.

Tällä hetkellä Smokevent-moottorit ovat ilmajäähdytteisiä. Voisiko Smokevent-moottoreista tai vain laakerikilvistä/laakerikansista tehdä mahdollisesti vesijäähdytteisiä.

LÄHTEET

- /1/ Historia. ABB. Viitattu 16.1.2020.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>
- /2/ Lyhyesti. ABB. Viitattu 16.1.2020.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>
- /3/ Suomalaiset juuret. ABB. Viitattu 16.1.2020.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>
- /4/ Suomessa. ABB. Viitattu 16.1.2020.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- /5/ ABB Oy, Motors and Generators. Viitattu 16.1.2020.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/motors-and-generators>
- /6/ Sähkömoottori. Viitattu 16.1.2020.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit
- /7/ Oikosulkumoottorin rakenne. ABB:n sisäinen materiaali. Viitattu 16.1.2020.
- /8/ ABB. Erikoismoottorit. Viitattu 20.1.2020.
<https://www.stinfo.fi/tiedote/abbn-erikoismoottorit-lansimetron-savukaasujen-poistoon?publisherId=4270&releaseId=6436002>
- /9/ ABB. Länsimetro. Viitattu 20.1.2020.
<https://www.slideshare.net/ABBSuomi/power-32014-lansimetro>
- /10/ Länsimetron savunpoistopuhallin. ABB:n sisäinen materiaali Viitattu 20.1.2020.
- /11/ Laakerointi. ABB:n sisäinen materiaali. Viitattu 20.1.2020.
- /12/ D- ja N-pään laakerointi. ABB:n sisäinen materiaali. Viitattu 20.1.2020.
- /13/ Peruslaakerointi. ABB:n sisäinen materiaali. Viitattu 20.1.2020.
- /14/ Esikuormitukset. ABB:n sisäinen materiaali. Viitattu 15.4.2020.
- /15/ Aaltojousi. Viitattu 20.1.2020.
https://daemar.com/wave-springs_504/
- /16/ Puristusjousi. Viitattu 20.1.2020.

<https://www.jurvanjousi.com/puristusjousi/>

/17/ Laajenemistilat. ABB:n sisäinen materiaali. Viitattu 15.4.2020.

/18/ Laakeriasennuksien perussäännöt ja niiden tausta. Markus Aarniluoma. Viitattu 20.2.2020.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41258/aarniluoma_markus.pdf?sequence=1&isAllowed=y

/19/ Laakerin vällys. D&E Bearings. Viitattu 20.2.2020.

<https://debearings.fi/tekniset-suositukset/valys/>

/20/ Laakeriasennuksien perussäännöt ja niiden tausta. Markus Aarniluoma. Viitattu 20.2.2020.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41258/aarniluoma_markus.pdf?sequence=1&isAllowed=y

/21/ Lämpölaajeneminen. Viitattu 20.2.2020.

<https://peda.net/kotka/perusopetus/langinkosken-koulu/oppiaineet2/fysiikka/samun-ryhm%C3%A4t/8-lk/lejoy/21/1%C3%A4mp%C3%B6laajeneminen>

/22/ Havainnollistava kuva lämpölaajenemisesta. Viitattu 20.2.2020.

<https://peda.net/kotka/perusopetus/langinkosken-koulu/oppiaineet2/fysiikka/samun-ryhm%C3%A4t/8-lk/lejoy/21/1%C3%A4mp%C3%B6laajeneminen>

/23/ Valurauta. Viitattu 20.2.2020.

http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf

/24/ Toleranssit ja pinnankarheus. Seppo Kivioja. Viitattu 20.2.2020.

<https://docplayer.fi/3003431-Toleranssit-ja-pinnankarheus-seppo-kivioja.html>

/25/ ISO-toleranssit. Perustoleranssiastetaulukko. Viitattu 20.2.2020.

<https://slideplayer.fi/slide/1971708/>

/26/ Sovitteet. Seppo Kivioja. Viitattu 20.2.2020.

<https://docplayer.fi/3003431-Toleranssit-ja-pinnankarheus-seppo-kivioja.html>

/27/ Ahdistusovite. Seppo Kivioja. Viitattu 20.2.2020.

<https://docplayer.fi/3003431-Toleranssit-ja-pinnankarheus-seppo-kivioja.html>

/28/ Välyssovite. Seppo Kivioja. Viitattu 20.2.2020.

<https://docplayer.fi/3003431-Toleranssit-ja-pinnankarheus-seppo-kivioja.html>

/29/ Välisovite. Seppo Kivioja. Viitattu 20.2.2020.

<https://docplayer.fi/3003431-Toleranssit-ja-pinnankarheus-seppo-kivioja.html>

/30/ Sovitteiden käyttökohteita. Seppo Kivioja. Viitattu 20.2.2020.

<https://docplayer.fi/3003431-Toleranssit-ja-pinnankarheus-seppo-kivioja.html>

/31/ Standardi. J. Korpela. Viitattu 21.2.2020.

<http://jkorpela.fi/stand.html>

/32/ SFS. Standardi tutuksi. Viitattu 21.2.2020.

https://www.sfs.fi/julkaisut_ ja_ palvelut/standardi_ tutuksi

/33/ M3BPW 450 ennen ja jälkeen testin. ABB:n sisäinen materiaali. Viitattu 15.4.2020.

/34/ SFS. Standardien lukeminen. Viitattu 21.2.2020.

https://www.sfs.fi/julkaisut_ ja_ palvelut/standardi_ tutuksi

/35/ SFS. Standardien tunnus. Viitattu 21.2.2020.

https://www.sfs.fi/julkaisut_ ja_ palvelut/standardi_ tutuksi

