



Paavo Sormunen

SÄHKÖMOOTTOREIDEN LAAKEREIDEN VI-
KAANTUMISTEN TUTKIMINEN TAGARNO-
VIDEOMIKROSKOOPIN AVULLA

Tekniikka
2022

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikka

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Paavo Sormunen
Opinnäytetyön nimi	Sähkömoottoreiden laakereiden vikaantumisten tutkiminen Tagarno-videomikroskoopin avulla
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	43 + 25 liitettä
Ohjaaja	Olli Tuovinen

Tämä opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona ABB Oy:lle Vaasan Motors & Generators -yksikölle. Tarkoituksena oli tehdä työohje ABB:n hankkimaan Tagarno-videomikroskooppiin, jolla pystytään tutkimaan ja todentamaan vikoja laakereista tarkemmin sekä kertoa laakereiden peruskäytöistä ja vioista.

Käyttöohjeen lisäksi Tagarno-videomikroskooppia käytettiin mukana käytännön tutkimuksissa, kun tutkittiin laakereiden vikaantumisia. Työssä perehdyttiin myös yleisesti laakereihin, niiden käyttöihin sekä vikaantumisiin.

Lopputulemana tutkimuksesta saatiin valmis helppokäyttöinen käyttöohje Tagarno-videomikroskoopille. Tämä tutkimus myös itsessään soveltuisi hyvin After Sales aloittavalle kesätyöntekijälle, jonka täytyisi oppia laakerivioista ja niiden tunnistamisesta sekä laakereiden voiteluaineista.

Avainsanat	laakerit, sähkömoottorit, videomikroskooppi, vikaantumiset, kunnossapito
------------	--

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikka

ABSTRACT

Author	Paavo Sormunen
Title	Inspection of Bearing Failures in Electric Motors with Tagarno Video Microscope
Year	2022
Language	Finnish
Pages	43 + 25 Appendices
Name of Supervisor	Olli Tuovinen

This thesis was done as an assignment for ABB Oy Motors & Generators unit in Vaasa. The aim was to make working instructions on how to use the Tagarno video microscope and to inform about bearing usages and failures. With the video microscope it is possible to identify bearing failures.

Tagarno was also included in bearing failure inspection in practice. The thesis guides through common things about bearings, their usages, and failures.

In the end, good working instructions for the video microscope were made. This thesis could also be useful for new After Sales summer interns, since bearing failures and grease knowledge are in huge role in warranty cases.

Keywords bearings, motors, video microscope, bearing failures, maintenance

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

1	JOHDANTO.....	9
2	SÄHKÖMOOTTOREIDEN LAAKERIT	10
	2.1 Sähkömoottorin rakenne	10
	2.1.1 Vierintälaakerit.....	12
	2.2 Oikean laakerityypin valinta ja laakereiden käytöt	13
	2.3 Laakereiden voitelu.....	14
	2.4 Voitelun väärinkäyttö tai laiminlyönti	16
3	LAAKEREIDEN VIKAANTUMISET	21
	3.1 Mekaaniset ja sähköiset vikaantumiset.....	22
	3.1.1 Laakerin pinnan väsyminen.....	25
	3.1.2 Kuluminen	26
	3.1.3 Laakerin syöpyminen.	27
	3.1.4 Sähköinen syöpyminen	28
	3.1.5 Epämuodostumat.....	30
	3.1.6 Murtumat ja halkeilut	32
	3.2 Laakereiden avaaminen	34
4	TAGARNO-VIDEOMIKROSKOOPPI	35
	4.1 Yleistä Tagarno-videomikroskoopista.....	35
	4.2 Tagarnon käyttäminen.....	36
	4.3 Tagarnolla vikojen tunnistaminen	37
	4.4 Tagarnon käyttöohjeen tekeminen	38

4.5 Vikaantuneen laakerin tutkiminen käytännössä	38
5 ANALYYSI	42
LÄHTEET	43
LIITTEET	44

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Valurautarunkoisen sähkömoottorin poikkileikkauskuva.	10
Kuva 2. Rullalaakeri.....	12
Kuva 3. Kuulalaakeri.....	12
Kuva 4. Kuulalaakerin poikkileikkauskuva.	13
Kuva 5. Pinnan sisäpuolelta purkautunut halkeama.	25
Kuva 6. Pinnan väsyminen	25
Kuva 7. Hankaamalla kulunut laakerin vierintärata.	26
Kuva 8. Tarttuvan kulumisen jälki.....	26
Kuva 9. Kosteudesta syntynyt syöpymisjälki.	27
Kuva 10. Soviteruoste.	27
Kuva 11. Kitkasta johtuva syöpyminen.....	28
Kuva 12. Siksakkuviota laakerin ulkokehällä sekä kuulassa.	29
Kuva 13. Nokeentuneet laakerin kuulat.	30
Kuva 14. Washboarding -kuvio laakerin kehällä.....	30
Kuva 15. Ylikuormituksesta aiheutuneet painaumat.	31
Kuva 16. Hiukkasten aiheuttama epämuodostuma zoomattuna lähietäisyydeltä.	31
Kuva 17. Rullalaakeriin muodostuneet painaumat, jotka ovat syntyneet väärästä asennustavasta.....	32
Kuva 18. Väkivaltaisen käsittelyn aiheuttamat murtumat.	32
Kuva 19. Väsymisestä aiheutuneet halkeamat.....	33
Kuva 20. Lämmöstä aiheutuneet halkeamat.	33
Kuva 21. Tagarno-videomikroskooppi.	36
Kuva 22. Tapauksen täysin vaurioitunut laakerin ulkorengas.	39
Kuva 23. Noin 10-kertaisella suurennuksella otettu kuva. Laakerista voidaan havaita vierintäjäljet, mutta ei sen tarkempia havaintoja.	40

Kuva 24. Noin 50-kertaisella suurennuksella otettu kuva. Lisää jälkiä havaittavissa sekä tässä vaiheessa huomio kiinnittyi mustiin pisteisiin.....	41
Kuva 25. Noin 100-kertaisella suurennuksella otettu kuva. Mustat pisteet ovat helposti havaittavissa, mikä kertoo laakerivirrasta.	41
Taulukko 1. Taulukko perusöljyjen yhteensopivuuteen.....	18
Taulukko 2. Taulukko saentimien yhteensopivuuteen.....	18
Taulukko 3. ISO 15243 -standardi.....	24

LIITELUETTELO

LIITE 1. Laakerien vianetsinnän ratkaisukoodit.

LIITE 2. Käyttöohje Tagarnon käyttämiseen.

1 JOHDANTO

Laakerit ovat yksi tärkeimmistä osista moottoreissa ja niiden vaatimukset laakereille tehdään kantokyvyn ja luotettavuuden mukaan. Sen vuoksi on luonnollista, että laakereista on tullut merkittävä osa moottoreiden toimintaa ja vuosien aikana ne ovat olleet laajamittaisen tutkimuksen aiheena. Näiden tutkimuksien avulla voidaan nykyään laskea laakerin elinikä varteenotettavalla tarkkuudella, yhdistäen eliniän vastaamaan moottorin elinikää.

Laakerit eivät kuitenkaan aina täytä laskettua elinikää. Tämä voi johtua monesta eri syystä. Syy voi olla liika kuorma, virheellinen rasvaus, laakerin väärinkäyttö, kolhut käsittelyvaiheessa, väärän kokoinen laakeri tai väärään käyttöön valittu laakeri. Kaikki viat aiheuttavat omanlaisensa kuluman tai jäljen laakeriin. Näitä kulumia voidaan kuvata tarkasti käyttäen mikroskooppia, jos jälkiä ei voi tarkasti havaita ihmissilmällä. /1/

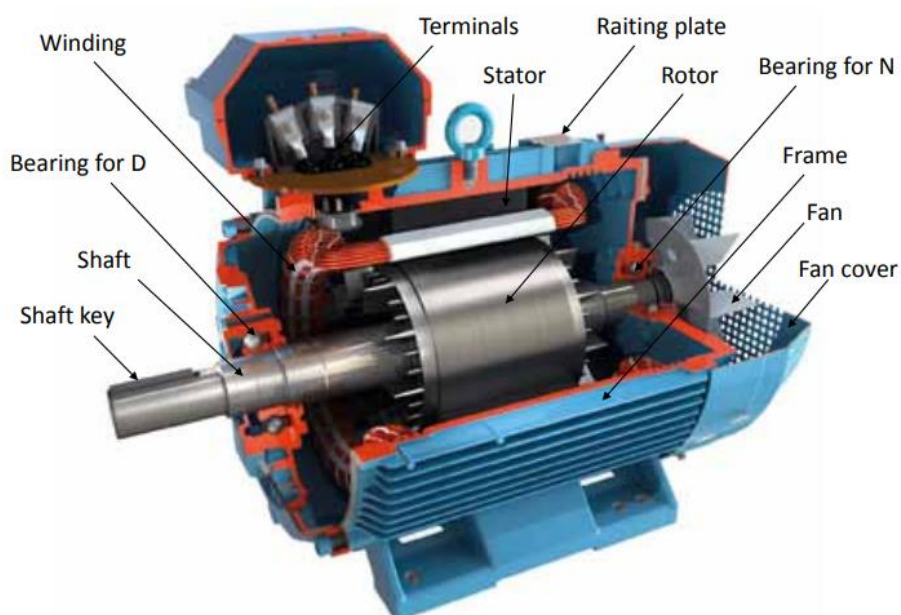
Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Asea Brown Boweri ABB Oy Vaasan Motors & Generators After Sales -yksikölle. After Sales tarvitsi ohjeet ja tutkimuksen Tagarno-mikroskoopin käyttöä varten. Työssä myös haluttiin saada selville laakereiden perusominaisuuksista, kuten käyttömahdollisuuksista, rasvojen käytöistä, laakereiden vioista ja laakereiden avaamisesta. Työn tarkoitus oli, että Tagarno voisi kuka tahansa työntekijä käyttää näiden ohjeiden avulla sekä saada perustietämystä laakereista.

2 SÄHKÖMOOTTOREIDEN LAAKERIT

Sähkömoottoreissa käytetään erilaisia vierintälaakereita riippuen moottorin käyttötarkoituksesta. ABB:llä käytetyt laakerit ovat yleisimmin joko kuulalaakereita tai rullalaakereita. Laakereiden valinta perustuu esimerkiksi sähkömoottorin käytön, asennustavan ja tarpeen mukaisesti. Laakereiden käyttöön liittyy myös oikeanlaisen laakerirasvan valinta laakerin ominaisuuksien mukaan. /2/

2.1 Sähkömoottorin rakenne

Kappaleessa kerrotaan hieman sähkömoottorin rakenteesta, jotta asian hahmottaminen lukijalle olisi helpompaa. ABB valmistaa omien vakiosarjojen mukaisia moottoreita sekä protoja, jotka ovat rakennettu asiakkaan erikoistoiveiden mukaisesti. Kappaleessa perehdytään valurautaisiin ABB:n vakiosarjan moottoreihin **(Kuva 1.)**. /3/



Kuva 1. Valurautarunkoisen sähkömoottorin poikkileikkauskuva.

ABB:n sähkömoottoreiden rungot ovat yleisimmin valurautaisia tai alumiinisia, mutta runkoja voidaan myös valmistaa teräksestä tai ruostumattomasta teräksestä. Rungon valitseminen pohjautuu käyttötärpeeseen. Valurautaiset rungot kestävät yleensä kovempaa käyttöä sekä kestävät ruostumista ja kemikaaleja paremmin kuin alumiinirungot. Alumiinirungot sopivat siis kevyempiin käyttöihin kuten esimerkiksi tuuletin- tai pumppukäyttöihin. Ruostumattomasta teräksestä valmistetut rungot sopivat hyvin pesua vaativiin olosuhteisiin, kuten elintarviketeollisuuteen.

Yleisesti moottorin kyljessä tai päällä on moottorin liitäntäkotelon, jossa on moottorin liitännät. Liitäntäkotelon sijainti vaihtelee asiakkaan tarpeen mukaan. Sijaintia voi vaihtaa, jotta moottorin kytkeminen verkkoon saadaan tehtyä mahdollisimman helpoksi asennuspaikassa. Moottorin voi myös tilata ilman liitäntäkoteloa.

Staattori on moottorin sisällä oleva kiinteä osa, joka ympäröi moottorin roottoria. Staattori koostuu käämityistä johtimista, joissa kulkee moottorin syöttövirta ja muodostaa pyörivän magneettisen kentän toimiakseen roottorin kanssa.

Roottori on moottorin kiinteä pyörivä osa, joka on tehty akselin ympärille. Roottori on ladottu ohuista tietyllä tavalla leikatuista ja uritetuista teräslevyistä sekä häkkikäämityksen johteista, jotka yhdistävät roottorin oikosulkurenkait. Häkkikäämitys toimii staattorin muodostaman magneettikentän kanssa ja täten tuottaa vääntöä pyörittääkseen moottoria.

Moottorin akseli on moottorin sisin osa, joka välittää moottorin pyörimisvoimaa haluttuun käyttöön. Moottorin akselissa on D- ja N-pää, jotka tulevat nimistä "Drive end" ja "Non-Drive end". D- pää on siis moottorin käyttöpää.

Moottorissa on myöskin tuuletin ja tuuletinsuoja, jotka on suunniteltu pitämään moottorin omaa käyttölämpötilaa oikeana. Isoissa moottoreissa voi myös olla erillinen puhallinmoottori, joka hallitsee tuuletinta. /3/

2.1.1 Vierintälaakerit

Moottorin laakerit ovat kiinni akselin D- ja N- puolilla. Laakerit koostuvat sisä- ja ulkorenkaista, kuulien tai rullien pitimistä, rullista tai kuulista ja laakerin kannesta.

/3/



Kuva 2. Rullalaakeri.



Kuva 3. Kuulalaakeri.

Avatun laakerin tunnistaa kuula- tai rullalaakeriksi nimiensä mukaisesti joko kuulista tai rullista. Kuulat tai rullat pyörivät laakerin sisä- ja ulkorenkaan välillä ja pitimet pitävät niitä paikallaan. /3/



Kuva 4. Kuulalaakerin poikkileikkauskuva.

2.2 Oikean laakerityypin valinta ja laakereiden käytöt

Oikean laakerityypin valitseminen mihin tahansa käyttöön perustuu laakerin käytön tarpeeseen ja parhaimpaan suorituskykyyn mahdollisimman kustannustehokkaasti. /1/

Yksiriviset urakuulalaakerit ovat moottoreiden tavallisimpia laakerimalleja. Laakerit voivat myös olla kaksirivisiä, eli tällöin laakerin sisä- ja ulkorenkaan välissä on kahdet pitimet ja kaksi riviä kuulia tai rullia. Kaksirivisiä laakereita voivat olla tarpeellisia, kun laakereihin kohdistuu todella suuria voimia. Laakerin tarkka malli on ilmoitettu yleisesti moottorin arvokilvessä. Moottorissa voi olla käytössä kaksi eri-

laista ja erikokoista laakeria tarpeen mukaan eli esimerkiksi moottorin D-pään laakeri voi olla rullalaakeri ja N-pään laakeri kuulalaakeri. Kyseisellä laakerivalintaa käytetään esimerkiksi hihnakäyttöihin, joissa syntyy paljon radiaalista voimaa (keskipakoisvoimaa). Korkeilla aksiaalisilla voimilla tulisi käyttää vain kuula- tai viistokuulalaakereita, sillä rullalaakerit eivät kestä aksiaalisia voimia samalla tavalla kuin nämä kuulalaakerit. Viistokuulalaakerit kestävätkin vielä paremmin raskaita aksiaalisia voimia kuin kuulalaakerit. Käytöissä, joissa moottori asennetaan pystysuoraan eli D-pää osoittaa ylös- tai alaspäin käytetään siis tarpeen mukaan kuula- tai viistokuulalaakereita korkeiden aksiaalisten voimien takia. Aina moottoria tilatessa on kerrottava moottorin asennustapa ja suunta, jotta oikeanlaiset laakerit saadaan valittua. /3/

2.3 Laakereiden voitelu

Laakerijärjestelmälle haetaan aina parasta mahdollista käyttöikä. Käyttöiän varmistamiseen voidaan vaikuttaa käyttämällä oikeanlaista voiteluainetta, oikeaan aikaan ja oikealla määrällä. Luonnollisesti liiallinen voiteluaineen käyttö voi heikentää laakerin suorituskykyä, niin kuin myös liian vähäinen voiteluaineen käyttö. Molemmat tapaukset johtaa laakerin käyttöiän lyhentymiseen ja mahdolliseen vikaantumiseen, joka taas puolestaan johtaa korjaustoimenpiteisiin. Korjaustoimenpiteet aiheuttavat sen, että moottoria ei voida ajaa. Tämä puolestaan aiheuttaa lisäkustannuksia tuotantokatkojen takia. Täten oikeat käytännöt voiteluaineen käytössä auttavat tehokkaasti vähentämään ennenaikaisia laakerivikoja. /1/

Laakereiden voitelemiseen voidaan käyttää monia erilaisia rasvoja ja öljyjä, joista rasvat ovat yleisimmin käytetty voiteluaine. Yli 80 % vierintälaakereista voidellaan rasvoilla. Rasvat ovat ”saennettua öljyä”, jotka koostuvat perusöljystä ja saenninaineesta sekä lisäaineista. Perusöljyn ja saenninaineen suhteella saadaan luotua rasvoja eri ominaisuuksilla eri käyttöihin. Yleisesti perusöljyn osuus on 70–95 %

rasvasta, kun taas saenninaineen osuus on 5–30 %. Perusöljyt on jaettu kolmeen päätyyppiin: Mineraaliöljyt, synteettiset öljyt ja luonnonöljyt. Luonnonpohjaisia öljyjä harvoin käytetään laakereiden voiteluun, sillä niiden ominaisuudet käyttöikänsä verrattuna mineraali- ja synteettisiin öljyihin on huomattavasti heikompi. Mineraalipohjaiset öljyt ovat raakaöljyjaloiteita ja ovatkin moneen käyttöön soveltuvia, kun taas synteettiset öljyt eivät ole raakaöljypohjaisia ja sopivat erikoisolosuhteisiin eli esimerkiksi kylmiin lämpötiloihin tai korkeisiin pyörimisnopeuksiin. Saenninaine toimii sidosaineena rasvan öljyn ja lisäaineiden sekoituksessa ja mahdollistaa rasvan toiminnan ja kiinteyttää rasvan, jotta rasva pysyy kohteessaan. Yleisimmissä voitelurasvoissa on käytetty saenninaineena kalsium- (Ca), natrium- (Na) tai litiumpohjaista (Li) saippuaa. Vierintälaakerien voiteluun soveltuvat erityisesti litiumsaippuarasvat. Kompleksisaippuarasvat sisältävät suolaa ja metallisaippuaa. Esimerkiksi Li-, Na-, Ba-, (barium) ja Al- (alumiini) yhdisteet ovat tällaisia. Nämä rasvat kestävät korkeampia lämpötiloja kuin vastaavat perinteiset rasvat. Saenninaineena voidaan myös käyttää ei-saippuoita, jotka sisältävät epäorgaanisia aineita, kuten savea, bentoniittiä tai piihappogeeliä. Nämä aineet ovat vedenkestäviä ja estävät kuumissa käyttöolosuhteissa voiteluaineen valumisen. Esimerkiksi polyurea on ei-saippuasaennin. Lisäksi voiteluaine seoksessa voi olla lisäaineita, joilla voidaan esimerkiksi ehkäistä ruostumista, hapettumista tai kulumista. Lisäaineet koostuvat erilaisista yhdisteistä, esimerkiksi rikki- tai fosforiyhdisteistä. /1,2/

Voiteluaineet toimivat varotoimenpiteinä laakerivaurioiden estämiseksi, ja väärän tyyppinen voiteluaine voi tehdä näistä toimenpiteistä turhia. On tärkeää valita voiteluaine, jonka perusöljyn viskositeetti turvaa riittävän voitelun vallitsevassa käyttölämpötilassa. Viskositeetti riippuu suuresti lämpötilasta ja alenee lämpötilan noustessa ja kasvaa lämpötilan laskiessa eli on siis tärkeää tietää perusöljyn viskositeetti vallitsevassa käyttölämpötilassa. Tärkeimmät tekijät oikeanlaisen voitelu-

rasvan valinnassa ovat koneen tyyppi, laakerimalli ja –koko, käyttölämpötila, käytön aikainen kuormitus, pyörimisnopeusalue, käyttöolosuhteet, kuten tärinä tai akselin vaakasuora tai pystysuora asento, jäähdytys, tiivistys ja ympäristöolosuhteet. /1/

Rasvojen toimintaa vierintälaakereissa voidaan kuvailla samalla tavalla kuin pesusieni toimii. Rasvan saenninaine sitoo perusöljyä, niin kuin pesusieni sitoo vettä. Vettä sitonutta pesusientä puristaessa vapautuu vettä sen mukaan, kuinka kovaa sitä puristaa eli kuormittaa. Saenninaine vapauttaa rasvasta perusöljyä, kun kuormitus kasvaa. Tätä reaktiota kutsutaan öljyn erottumiseksi. Normaalisti toimivan rasvan saenninaine sitoo perusöljyä takaisin, kun kuormitus rasvassa laskee. /2/

Rasvojen sekoitettavuus on mahdollista, mikäli rasvojen perusöljyt ja saenninaineet ovat sopivia keskenään. Sekoittamista ei silti kuitenkaan suositella moottorin peruskäyttöä varten vaan esimerkiksi voiteluaineen vaihdossa sekoitettavuutta voidaan hyödyntää siten, että laakerijärjestelmää ei tarvitse puhdistaa kokonaan vanhasta rasvasta pois, vaan voiteluainetoimenpiteiden mukaisesti vanhan rasvan voi valuttaa pois samanaikaisesti, kun uuden rasvan lisää tilalle. Sopimattomien rasvojen sekoittamista ei suositella missään tapauksessa, sillä jos kaksi toisiinsa sopimatonta rasvaa sekoitetaan keskenään, seos on yleensä joko kovempaa tai pehmeämpää, mikä johtaa vuotamisen aiheuttamaan laakerivaurioon. Jos rasvat eivät ole yhteensopivia ja rasvan vaihto pitäisi suorittaa, täytyisi laakerit kokonaan puhdistaa vanhasta rasvasta, ennen kuin uutta rasvaa voi lisätä. /1/

2.4 Voitelun väärinkäyttö tai laiminlyönti

SKF:n mukaan ”puutteellinen voitelutilanne on syynä noin 36 prosenttiin kaikista laakerivaurioista. Se sisältää seuraavat vikojen aiheuttajat:

- Virheellinen voiteluainevalinta

- puutteellinen voitelu
- liian paljon voiteluainetta
- virheelliset voiteluainevälit
- voiteluaine ei pääse laakerille huonosti suunnitellun laakerijärjestelmän rakenteen, koneen virheellisen kokoamisen tai voiteluputkien tukkeutumisen takia”

Näiden vikojen lisäksi myös SKF mainitsee, että ”kun huomioidaan lisäksi voiteluainejärjestelmän epäpuhtauksien aiheuttamat laakeriviat, voiteluaineisiin liittyvien laakerivaurioiden osuus on jopa 50 %.” /2/

Kun laakeria avataan tutkimusta varten, voiteluaineen koostumus kertoo paljon olosuhteista, jossa laakeri on ollut. Esimerkiksi liian suuri lämpötila laakerissa voi aiheuttaa voiteluaineen tummumisen ja koostumuksen muuttumisen riippuen voiteluaineen ominaisuuksista. Voiteluaine voi myös menettää ominaisuutensa olla juoksevaa yhteensopimattoman toisen voiteluaineen sekoituksen myötä. Eri valmistajien voiteluaineita ei suositella sekoitettavan, vaikka voiteluaine olisikin yhteensopiva. /2/

Voiteluaineiden sekoitettavuus perustui rasvojen perusöljyn ja saenninaineen yhteensopivuuteen (**Taulukot 1. ja 2.**). Jos perusöljy ja saenninaine ovat yhteensopivia, rasvoja voisi sekoittaa. Kuitenkin aina on riski, että eri valmistajien rasvojen käyttöolosuhteiden ominaisuuksissa on pieniä eroja, joka voi aiheuttaa ei-toivotun vikaantumistilan. Erilaisten rasvojen yhteensopivuutta voidaan testata pikatestillä, jossa kahta eri rasvaa laitetaan astiaan ja sekoitetaan. Seoksen annetaan olla ja seoksesta voidaan havaita, onko sen koostumus muuttunut pehmeämmäksi tai kovemmaksi. SKF kuitenkin kertoo testin olevan viitteellinen ja suosittelee tekemään rasvojen yhteensopivuustestit laboratoriotesteillä. /2/

Taulukko 1. Taulukko perusöljyjen yhteensopivuuteen.

Perusöljyjen yhteensopivuus							
	Mineraali/PAO Esteri		Polyglykoli	Silikoni: metyyli	Silikoni: fenyyl	Polyfenylee- nieetteri	PFPE
Mineraali/PAO	+	+	-	-	+	0	-
Esteri	+	+	+	-	+	0	-
Polyglykoli	-	+	+	-	-	-	-
Silikoni: metyyli	-	-	-	+	+	-	-
Silikoni: fenyyl	+	+	-	+	+	+	-
Polyfenyleenieetteri	0	0	-	-	+	+	-
PFPE	-	-	-	-	-	-	+

+ = voidaan käyttää 0 = testattava - = ei voida käyttää

Taulukko 2. Taulukko saentimien yhteensopivuuteen.

Saentimien yhteensopivuus											
	Litium	Kalsium	Natrium	Litium- kompleksi	Kalsium- kompleksi	Natrium- kompleksi	Barium- kompleksi	Alumiini- kompleksi	Savi	Tavallinen polyurea ¹⁾	Kalsium- sulfonaatti- kompleksi
Litium	+	0	-	+	-	0	0	-	0	0	+
Kalsium	0	+	0	+	-	0	0	-	0	0	+
Natrium	-	0	+	0	0	+	+	-	0	0	-
Litiumkompleksi	+	+	0	+	+	0	0	+	-	-	+
Kalsiumkompleksi	-	-	0	+	+	0	-	0	0	+	+
Natriumkompleksi	0	0	+	0	0	+	+	-	-	0	0
Bariumkompleksi	0	0	+	0	-	+	+	+	0	0	0
Alumiinikompleksi	-	-	-	+	0	-	+	+	-	0	-
Savi	0	0	0	-	0	-	0	-	+	0	-
Tavallinen polyurea ¹⁾	0	0	0	-	+	0	0	0	0	+	+
Kalsiumsulfonaattikompleksi	+	+	-	+	+	0	0	-	-	+	+

+ = voidaan käyttää 0 = testattava - = ei voida käyttää

Moottoreissa voidaan käyttää kestavoideltuja laakereita, jolloin laakereita ei voi voidella uudelleen, vaan ne on suunniteltu kestäväksi laakerien käyttöänsä mu-
kaan. ABB:n moottoreissa, joiden runkokoko, eli akselin keskiön korkeus maasta
mitattuna millimetreinä, on 71–132, on vakiona kestavoidellut laakerit. 160–250
runkokokoisissa moottoreissa on myös mahdollista tilata kestavoidellut laakerit.
Kestavoidelluissa laakereissa käytetään ABB:llä lähtökohtaisesti korkealuokkaista
polyurearasvaa, joka on kalliimpaa ja vaikeammin saatavilla, mutta kestää ja suo-
riutuu paremmin kuin ABB:llä yleisesti käytetyt litiumkompleksirasvat. 280 ja siitä
ylöspäin runkokoisissa moottoreissa käytetään yleisimmin laakereita, joita voi-
daan jälkivoidella. Näiden moottoreiden laakereissa käytetään litiumkomplek-
sirasvoja, jotka ovat suorituskyvyltään hyviä ja ovat maailmanlaajuisesti helposti
saatavilla sekä halvempia, kuin polyurearasvat. Kestavoidellut laakerit on silti
mahdollista saada yli 280 runkokokoisiin moottoreihin.

Lisäksi näihin moottoreihin tulee ABB:llä vakiona rasvakilpi, jossa on ilmoitettu ras-
vat, joita voidaan käyttää voiteluun. Kyseiset rasvat, joita ABB käyttää, ovat yh-
teensopivia, mutta niitä ei silti suositella sekoitettavan käyttöä varten, eli kuiten-
kaan kahden eri rasvan samanaikainen käyttö ei ole suositeltavaa. Rasvakilvessä
on myös ilmoitettu ABB:n tehtaalla moottoriin laitettu rasva.

Polyurearasvat siis kestävät ja suoriutuvat paremmin kuin litiumkompleksi rasvat,
mutta miksi polyurearasvoja ei käytetä kaikkiin moottoreihin? Polyurearasvat ovat
huomattavasti kalliimpia ja vaikeammin saatavia kuin litiumkompleksirasvat, jotka
ovat maailmanlaajuisia ja edullisempia. Hyvänä esimerkkinä voisi toimia suuri pa-
peritehdas, jossa on käytössä jopa tuhansia moottoreita. Jos joka ikiseen mootto-
riin täytyisi tehtaalla vaihtaa polyurearasvat, tulisi hinta todella kalliiksi ja täten ei-
kannattavaksi. /4/

ABB:n yli 280 runkokoisissa moottoreissa käytetään seuraavia litiumkompleksirasvoja, jotka löytyvät myös rasvakilven tiedoista:

- Esso Unirex N2 tai N3 (Litiumkompleksi, vihreä)
- Mobil Mobilith SHC 100 (Litiumkompleksi, punainen)
- Shell Albida EMS 2 (Litiumkompleksi, vaaleanruskea)
- Klüber Klüberplex BEM 41 – 132 (Spesiaali litium, keltainen)
- FAG Arcanol TEMP110 (Litiumkompleksi, ruskea)
- Lubcon Turmogrease L 802 EP PLUS (Spesiaali litium, vaalea beige)
- Total Multiplex S 2 A (Litiumkompleksi, sininen)

Seuraavia polyurearasvoja käytetään ABB:n moottoreissa:

- Klüber Quiet BQH 72-102 (Polyurea, beige)
- Lubcon Turmogrease PU703 (Polyurea, kirkas beige)

Moottorin käyttöönottilanteet ovat tärkeitä hetkiä moottorin käyttöiän tai huoltovälin kannalta. Jos moottori on ollut varastoituna pitkän aikaa, rasvan koostumus on ehtinyt muuttua ympäristön olosuhteiden mukaan. Riippuen kuinka kauan moottori on ollut varastoituna, voi käyttöönotossa riittää huolellinen sisäänajo, jonka aikana voiteluaine lämpenee suunnitellusti ominaisuuksiinsa. Toinen mahdollisuus on myös vaihtaa voiteluaine moottorista. /2/

3 LAAKEREIDEN VIKAANTUMISET

Laakereiden vikaantuminen ajossa voi johtua monesta eri syystä. Syy voi olla joko mekaaninen tai sähköinen vika. Mekaanisessa viassa laakeriin kohdistuu esimerkiksi liikaa voimaa, jonka vuoksi laakeriin muodostuu tietynlainen kuvio riippuen mistä suunnasta voima syntyy. Kuvion koosta ja paikasta voi suoraan päätellä voiman suunnan. Sähköinen vika johtuu nimensä mukaisesti moottorissa kulkevasta sähköstä. Esimerkiksi laakeri voi lämmetä sähkövirrasta, joka aiheuttaa laakerin kuulien väsymisen. Vian tyyppin voi tunnistaa sammuttamalla moottorin ajossa. Laakerin vikaantumistilanteessa laakereista usein syntyy ääntä. Mikäli laakereista kuuluu ääntä moottorin sammuttamisen jälkeen, on kyseessä mekaaninen vika. Jos ääni kuuluu ainoastaan moottorin ollessa käynnissä, on kyseessä sähköinen vika. /1/

”SKF Laakereiden kunnossapito” -kirjassa on rakennettu laakereiden vikaantumisille ratkaisukoodit, joiden avulla voidaan selvittää järjestelmällisesti, mistä laakerin vikaantuminen voi johtua, minkälainen vaurio laakeriin on tullut ja minkälaisia korjaustoimenpiteitä laakerille täytyy tehdä. Laakereiden vikaantumisten ratkaisukoodit ovat liitteessä 1. Kyseisiä taulukoita käytetään seuraavanlaisesti: Ensimmäisissä taulukoissa on kategorioitu viat A-, B-, C-, D- ja E-luokkiin. Näissä eri luokissa on numeroinnit ja seuraavaksi katsotaan mikä oire sopisi kyseiseen tapaukseen parhaiten. Jokaisella oireella tai tapauksella on siis oma numero. Kun numero on löydetty, siirrytään taulukoihin, joissa on vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet. Näistä taulukoista etsitään valitun numeron perusteella oikea kohta, jossa on selitetty mitä pitäisi mahdollisesti tehdä.

Sähkömoottorin viat liittyvät hyvin usein laakereihin ja laakerit ovat osa, joka moottorista vikaantuu mahdollisesti moottorissa aiheutuvien muiden vikojen yhteydessä. Esimerkiksi jos alusta, johon moottori on asennettu, ei ole tarpeeksi tu-

keva, aiheutuu moottoriin tärinää. Tärinä vaikuttaa laakereihin, josta syntyy laakereihin painaumia. Ennen pitkää laakerissa syntyy painaumien takia lisää kitkaa, joka aiheuttaa ei-haluttua lämpenemistä ja liika lämpeneminen aiheuttaa laakerin rasvan öljykalvon viskositeetin alenemista. Lopulta kalvo ei suoriudu enää erottamaan pintoja, laakerin pinnat joutuvat kosketukseen, eli esimerkiksi kuulat alkavat hankautua laakerin ulkorenaan vierimärataa. Luonnollisesti tämä johtaa kokonaan laakerin pintojen kulumisen sekä väsymisen ja laakeri on täten käyttökelvoton. /1/

Asiakkaan ilmoittaessa sähkömoottorin viasta ABB:lle, tulee asiakkaan kertoa yksityiskohtia, minkälaisesta viasta on kyse. Tärinä, äänet, lämpeneminen ja muut mittaukset ovat tärkeitä havaintoja. Yleensä vaikka vika ei suoraan liittyisi laakereihin, laakerit saatetaan ohjeistaa vaihtamaan korjauksen yhteydessä, koska niin moni asia vaikuttaa laakereiden eliniän keston. Laakerit ovat suhteellisen helposti ja edullisesti vaihdettavissa, joten täten asiakas sekä ABB säästävät ja moottorin käyttöikä on mahdollista säilyttää oletettuna. Lopullinen juurisyy moottorin vikaantumiselle tehdään, mikäli sille nähdään tarvetta, esimerkiksi, jos monta saman mallin moottoria on mennyt saman syyn vuoksi rikki, on syytä tehdä juurisyytutkimus. Tämä vaatii vikaantuneen moottorin taikka laakereiden toimittamisen ABB:lle, jossa niitä tutkitaan.

3.1 Mekaaniset ja sähköiset vikaantumiset

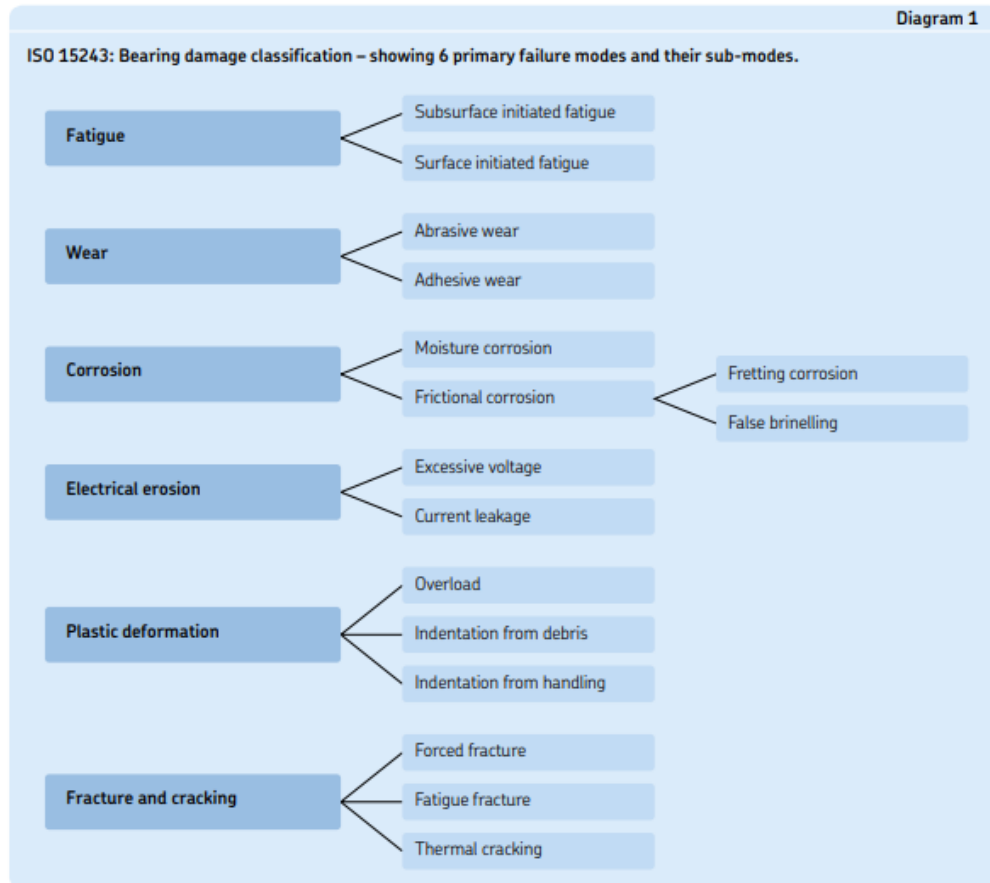
Laakerit voivat vikaantua mekaanisesti lukuisilla eri tavoilla. Laakeriin kohdistuva voima voi johtua vääränlaisesta käytöstä, asennustavasta tai kokonaan väärin mitoitettuun laakerista. Suunnalla, josta voima syntyy, on suuri merkitys siihen, miten laakeri vikaantuu ja minkälaisen kuvion se jättää laakeriin. Kuviot syntyvät laakerin sisä- tai ulkorenkaille, tai molempiin. Kuvio voi syntyä keskelle rengasta tai ren-

kaan reunaan. Kuviot syntyvät aina samalla tavalla laakeriin voiman suunnasta riipuen, jonka takia kuvioita on voitu tutkia. Tämä auttaa merkittävästi laakerin vikaantumisen tunnistamisessa. /7/

Mekaaninen vika voi myös johtua kuljetuksen aikana tapahtuneesta vahingosta moottoriin, puutteellisesta rasvan määrästä tai rasvaamisen laiminlyönnistä tai moottorin tärinästä. Jos moottori on esimerkiksi pudonnut tai kolhiintunut vietäessä moottoria käyttöpaikalleen, laakeriin voi tulla halkeama tai jokin muu kolhu, joka aiheuttaa laakerin vikaantumisen. Puutteellinen rasvan määrä aiheuttaa sen, että laakeri ei pääse pyörimään oikein, joka aiheuttaa laakeriin kulumaa ja kitkaa. Laakerin lämpötila voi nousta korkealle johtuen rasvan puutteesta, mikä aiheuttaa myös vian. Myös väärin asennettu tai aseteltu laakeri tietää vikaantumisen syntymistä. Epäpuhtaudet kuten pöly tai hiekka aiheuttavat myös vikoja laakereihin. /7/

Laakereiden sähköiset viat aiheutuvat eri tavalla kuin mekaaniset viat. Sähköisessä viassa esimerkiksi moottorissa pääsee syntymään laakerivirtaa, eli moottorissa kulkee akselissa sinne ei-kuulumatonta virtaa, joka aiheuttaa lämpenemistä laakerissa. Laakerivirran tunnistaa siitä, että laakerissa on tummanruskeita tai mustanharmaita uurteita tai vierintäradoilla ja vierintäelimissä on tummia pistesyöpymiä. /7/

2004 julkaistun ISO-standardin, ”ISO 15243”, mukaan laakerien vikaantumisten tyypit on jaettu kuuteen eri päätyyppiin, joiden alla on vikaantumisten alatyyppejä **(Taulukko 3.)**. /6,7/

Taulukko 3. ISO 15243 -standardi.

3.1.1 Laakerin pinnan väsyminen

Laakerin pinnan väsyminen tapahtuu, kun laakeriin kohdistuu liikaa säännöllistä voimaa, joka myös kasvaa käytössä. Pinnan väsyminen voi tapahtua laakerin materiaalin pinnan alta, jolloin syntyy halkeamia, jotka lopulta purkautuvat pinnalle **(Kuva 5.)**.



Kuva 5. Pinnan sisäpuolelta purkautunut halkeama.

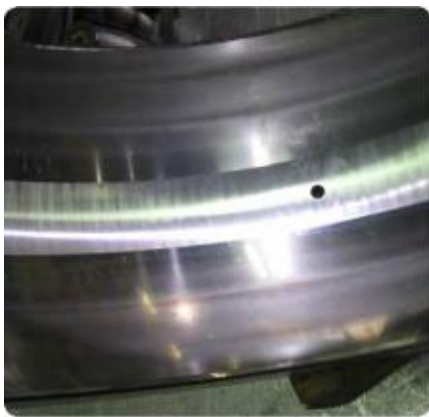
Väsyminen voi myös kohdistua suoraan laakerin pinnalle. Tämä ilmiö tapahtuu yleensä puutteellisen rasvauksen takia. Esimerkiksi rasvan öljykalvo pettää ja metalliset osat, tässä tapauksessa laakerin ulkorengaon vierintärata ja laakerin kuulat pääsevät kosketukseen, jolloin väsyminen tapahtuu **(Kuva 6.)**. /6,7/



Kuva 6. Pinnan väsyminen

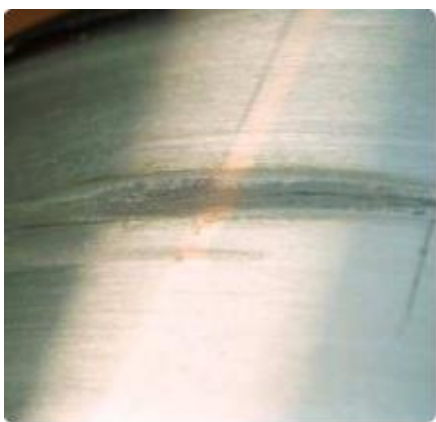
3.1.2 Kuluminen

Laakerin luonnollinen kuluminen on normaalia ja laakeri kuluu lasketun käyttöiän mukaan, mutta joskus laakerille voi tapahtua ylimääräistä kulumista, johtuen esimerkiksi asennuksesta. Kuluminen voi tapahtua laakeriin hankaavana tai ”tarttuvana”. Kun laakeri hankaantuu, sen pinnat kiillottuvat, ja täten pinta menettää ominaisuutensa (**Kuva 7.**).



Kuva 7. Hankaamalla kulunut laakerin vierintärata.

Tarttuva kuluminen tapahtuu liian pienillä kuormilla tai pyörimisnopeuden isojen vaihteluiden vuoksi (**Kuva 8.**). Pyörivät osat pääsevät liukumaan laakerin sisällä aiheuttaen korkeita lämpötiloja ja nokeentumista. /6,7/



Kuva 8. Tarttuvan kulumisen jälki.

3.1.3 Laakerin syöpyminen.

Laakerin erilaiset syöpymiset voidaan jakaa kolmeen eri alalajiin. Kosteudesta syöpyminen aiheutuu laakeriin, esimerkiksi veden, ilmankosteuden ja jopa sormenjäljistä laakerissa (**Kuva 9.**).



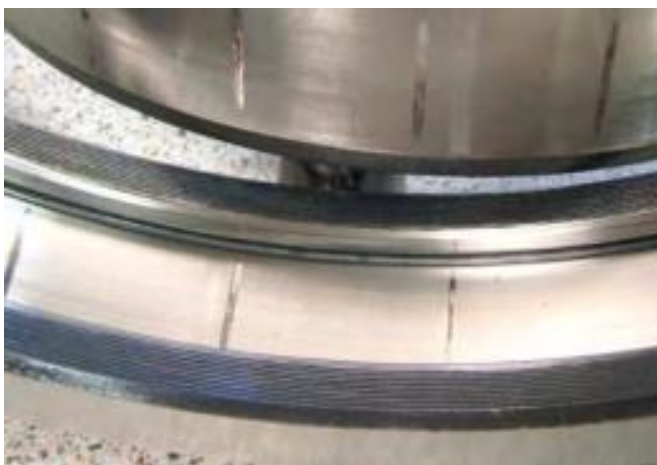
Kuva 9. Kosteudesta syntynyt syöpymisjälki.

Soviteruoste aiheutuu laakerin osien mikroliikkeistä (**Kuva 10.**). Laakeri on siinä päässyt liikkumaan esimerkiksi väärän koon, akselin taipumisen tai pintojen epäpuhtauksien takia.



Kuva 10. Soviteruoste.

Kitkasta johtuva syöpyminen aiheutuu tärinästä, jolloin laakerin vierintäradoille syntyy paikallisia kulumajälkiä (**Kuva 11.**). /6,7/



Kuva 11. Kitkasta johtuva syöpyminen.

3.1.4 Sähköinen syöpyminen

Sähköinen syöpyminen tapahtuu, kun laakerin pyörivien osien läpi kulkee sähkövirtaa. Sähköisen syöpmisen alalajit standardin mukaan ovat ylijännite ja vuotovirta. Laakerivirtojen juurisyyn selvittämistä täytyy tutkia tarkemmin verrattuna ylijännitteeseen, joka on yleinen ilmiö sähkötekniikassa. Laakerivirtojen juurisyitä voidaan jakaa kolmeen eri syyhyn, joista sähköstaattinen varautuminen ja magneettivuon epäsymmetrisyys ovat olleet kauan laakerivirtojen tekijöitä, mutta nykyaikaisten taajuusmuuttajien yhdistelmä nopeasti muuttuvissa käyttönopeuksissa aiheuttama epäsymmetrinen jännite on yleinen kolmas mahdollinen syy laakerivirroille. Kun kolmivaiheisen jännitteen vektorinen summa ei ole nolla, tämä ilmiö syntyy.

Sähköstaattinen varautuminen tapahtuu esimerkiksi tuuletinkäytöissä hihnaajossa. Hihna-ajosta johtuen syntyy hankaussähköä ja tasavirta varastoituu moottorin akselille, ja varauksen purkaessaan se purkautuu laakerin tai laakerien läpi aiheuttaen vikaantumisen.

Magneettivuon epäsymmetrisyys on yleistä isoissa moottoreissa, joiden napanumero on pieni. Magneettivuon täydellistä symmetrisyyttä on mahdotonta saavuttaa rakenteellisten tekijöiden vuoksi. Kuitenkin tämän magneettivuon symmetrisyyden häiriöt aiheuttavat matalilla taajuuksilla virtaavan jännitteen moottorin akselille, jolloin virta pääsee taas kulkemaan laakereihin.

Näiden vikaantumisten takia esiintyy sähköistä syöpymistä laakereissa. Ylijännitteen vuoksi esimerkiksi laakerin ulkokehälle ja kuuliin syntyy siksakkuviota (**Kuva 12.**) sekä yksittäisiä pieniä kraattereita vierintäradoille.



Kuva 12. Siksakkuviota laakerin ulkokehällä sekä kuulassa.

Laakerivirran jatkuva kulkeminen moottorin akselilla ja sitä kautta laakereissa aiheuttaa lämpenemistä, jonka vuoksi laakeri nokeentuu (**Kuva 13.**), ja muodostaa laakerin renkaille tuhansia yksittäisiä mikrokraattereita. Nämä kraatterit ovat kooltaan pienempiä halkaisijaltaan kuin ylijännitteestä muodostuvat kraatterit. Laakerivirran muodostamissa kraattereista syntyy kuviota, joka tunnetaan nimellä "Washboarding", nimismiehenkiharat (**Kuva 14.**). Tämä kuvio on helposti tunnistettavissa, jos laakeri on ollut laakerivirran aikana ajossa ja täten voidaan todeta myös ilman laajempaa tutkimista sähköisen vian syyksi laakerivirta. /6,7/



Kuva 13. Nokeentuneet laakerin kuulat.



Kuva 14. Washboarding -kuvio laakerin kehällä.

3.1.5 Epämuodostumat

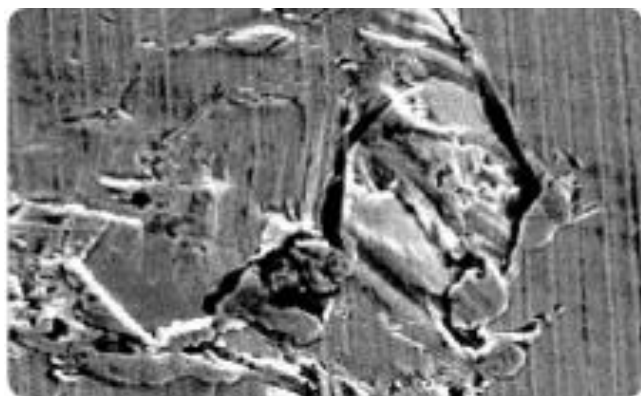
Epämuodostumia (plastinen muodonmuutos) tapahtuu, kun kappaleen materiaaliin kohdistuu voimaa, joka aiheuttaa laakerin materiaalin väsymisen.

Epämuodostumia voi tapahtua monella eri tavalla. Ylikuormituksessa laakeriin kohdistuu joko hetkellisistä tai iskeivistä kuormista, jotka yleensä johtuvat moottorin asennustavasta. Ylikuormituksen tunnistaa yleensä laakerin pinnalle muodostuneista painaumista (**Kuva 15.**).



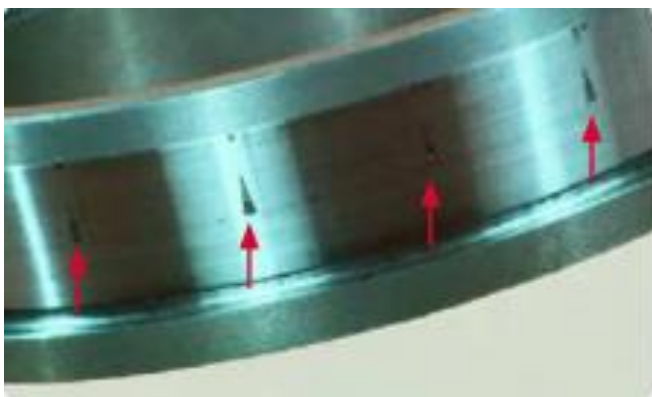
Kuva 15. Ylikuormituksesta aiheutuneet painaumat.

Hiukkasten aiheuttamat painaumat. Laakerin pinnoille voi myös tulla epämuodostumia ja painaumia epäpuhtauksien ja hiukkasten takia (**Kuva 16.**). Nämä epämuodostumat vaihtelevat paljon koostaan ja mallistaan, riippuen hiukkasten ominaisuuksista. Hiukkasten muodostamat painaumat aiheuttavat materiaalin väsymisen ja rikkovat vierintäratojen geometrian.



Kuva 16. Hiukkasten aiheuttama epämuodostuma zoomattuna lähietäisyydeltä.

Epämuodostumia voi myös luonnollisesti muodostua laakerin vääränlaisen käsittelyn takia (**Kuva 17.**). Esimerkiksi laakerin pudottaminen tai väärin työkalujen käyttö asennuksessa voi tehdä laakerin käyttökelvottomaksi, vaikka laakerit ovat tehty materiaaleista, jotka on suunniteltu kestämään kovia voimia. /6,7/



Kuva 17. Rullalaakeriin muodostuneet painaumat, jotka ovat syntyneet väärästä asennustavasta.

3.1.6 Murtumat ja halkeilut

Murtumat ja halkeamat aiheutuvat laakeriin, kun laakerin materiaalin vetolujuus ylittyy liiallisesti voimasta.

Laakerin väkivaltaisesta käsittelystä johtuen laakeriin voi syntyä murtumia. Yleisesti väkivaltaista laakerin käsittelyä voi tapahtua, kun sitä asennetaan tai irrotetaan moottorin akselista (**Kuva 18.**).



Kuva 18. Väkivaltaisen käsittelyn aiheuttamat murtumat.

Väsymisestä aiheutuvat murtumat ovat voineet alkaa toisesta viasta, jossa materiaali väsyi esimerkiksi liian tiukasti asennetusta laakerista. Laakerin materiaalin

pinta on väsynyt siihen pisteeseen, että siihen muodostuu murtumia ja halkeilua, eikä sen vierintäradoilta täten voida enää mahdollisesti tutkia tarkempaa juurisyytä (**Kuva 19.**).



Kuva 19. Väsymisestä aiheutuneet halkeamat.

Terminen halkeama/lämpöhalkeama tapahtuu, kun kaksi pintaa, esimerkiksi laakerin kuulat ja ulkorengas hankaavat toisiaan vasten aiheuttaen suuria lämpötiloja, jotka aiheuttavat laakerin halkeilun (**Kuva 20.**). /6,7/



Kuva 20. Lämmöstä aiheutuneet halkeamat.

3.2 Laakereiden avaaminen

Jotta laakerin vian juurisyyn voi tunnistaa, se täytyy avata. Laakerit avataan työhön sopivilla työkaluilla aiheuttamatta uutta tai lisää vahinkoa laakeriin. Moottorin laakerikilvet irrotetaan moottorista ja laakerit vedetään irti akselistä hydraulisen vetäjän avulla. Laakeria irti otettaessa rasvan väristä ja koostumuksesta voi myös päätellä, minkälainen vika saattaa olla kyseessä.

Kun laakerit on saatu irti, laakerit puhdistetaan ylimääräisestä rasvasta ja liasta puhdistusöljyn ja liinojen avulla. Laakerin puhdistuksen jälkeen laakerista porataan pitimien nitit porakoneen avulla, jotta laakerin kuulien pidikkeet saadaan irti. Kun kuulat ovat näkyvillä, ne siirretään yhteen ja sisärengas irrotetaan ulkorengasta. Kun kaikki laakerin osat ovat erillään, ne puhdistetaan, jonka jälkeen voidaan aloittaa laakerin osien tutkiminen.

Laakerit voidaan myös halkaista esimerkiksi kulmahiomakoneella, jos esimerkiksi laakerit ovat todella isot tai pienet, sillä niiden pitimien poraaminen voi olla haastavaa sekä työlästä. Laakeria tutkiessa on tärkeää erottaa kulmahiomakoneen aiheuttamat jäljet, jos laakeri on halkaistu. /1/

4 TAGARNO-VIDEOMIKROSKOOPPI

ABB:n After Sales -yksikölle hankittiin Tagarno-videomikroskooppi (**Kuva 21.**) kesällä 2021. Mikroskooppi hankittiin, jotta laakereiden pinnoille syntyviä vaurioita voitaisiin tarkemmin kuvata ja todentaa. Esimerkiksi ABB:n myyntiyhtiön kautta asiakkaalle voidaan Tagarnolla saatujen havaintojen avulla kertoa, mistä viasta laakerissa on kyse, kun käsitellään sähkömoottoreiden takuutilauksia.

4.1 Yleistä Tagarno-videomikroskoopista

Tagarno on digitaalinen suurennuslaite, joka hyödyntää Full HD-teknologian avulla saatavaa terävää ja tarkkaa kuvaa, myös tutkittavan kappaleen kuvaa suurennettaessa. Tagarnolla on monia eri laitevaihtoehtoja, jotka soveltuvat erilaisiin käyttöihin. Malli, joka hankittiin ABB:n After Sales -yksikölle on Tagarno Trend. Trend-mallissa on 30 kertainen optinen suurennus, joka pystyy 24 tuumaisen monitorin sekä +10 linssin kanssa 133 kertaiseen suurentamiseen. Kappaleita voi kuvata lähempää kuin mihin ihmissilmä pystyisi suoriutumaan. Trend toimii ilman viivettä, joten Trendiä voi hyödyntää esimerkiksi koulutuksissa, joissa tutkittavaa kappaletta voidaan esitellä reaaliajassa. Trendin omien sovelluksien avulla voidaan myös ottaa kuvia valmiiksi. /8/

Trend-mallissa, kuten muissakin Tagarnon videomikroskoopeissa, on sisäänrakennetut sovellukset, joita päivitetään Tagarno-yhtiön toimesta. Myös uusia tarvittavia sovelluksia voi ostaa tarpeen vaatiessa. Trend käyttää OSD-tekniikkaa (On-screen display), jolla saa suoraan monitoriin pysty-, vaaka-, tai molemmin suuntaisen viivoittimen, jolla kappaletta voi mitata reaaliajassa tai tallentaa kuvan siten, että viivoittimen grafiikka tallentuu mukana.



Kuva 21. Tagarno-videomikroskooppi.

4.2 Tagarnon käyttäminen

Tästä eteenpäin Tagarno Trendiä käsitellään nimellä Tagarno. Tagarnon peruskäyttäminen on loppujen lopuksi erittäin helppoa pienen ohjeistuksen avulla. Jos Trendiä käyttää ilman ohjeita, voi olla vaikeaa saada kuva tarkennettua niin, että 133-kertainen suurennus olisi tarkka. Tagarnon optimaalisen hyödyn saavuttamiseksi tämän opinnäytetyön tehtävänä oli luoda käyttöohje, jotta jokainen ABB:n yksikössä osaisi käyttää Tagarno tarpeen vaatiessa. Myös työohjeen luominen varmistaa sen, että Tagarnon oikeanlainen käyttäminen ei ole riippuvainen käyttäjästä. Käyttöohjeessa tulee ilmi Tagarnon säilyttämisen, käyttöön ottamisen, yleisen käytön sekä käytön lopettamisen ohjeet vaihe vaiheelta.

Tagarnon peruskäytön lisäksi mahdollisuuksia syventää Tagarnon käyttämistä on monia. Tagarnon sovelluksien avulla voidaan säätää kuvan ominaisuuksia lukuisin eri tavoin. Valaistus ja kappaleen materiaali ovat yksiä tärkeimmistä vaikuttavista tekijöistä kuvaa otettaessa. Kappaleen kiiltävästä pinnasta voi aiheutua heijastuksia ja valaistus voi aiheuttaa vielä lisää heijastumisia. Jos tutkittava kappale on mattapintainen ja tasainen, on kuvien ottaminen ja kappaleen tutkiminen huomattavasti helpompaa. Laakereita tutkittaessa kuitenkin pinnat ovat yleensä kuperia tai koveria ja laakerin pinta kiiltävä, ellei laakeri ole esimerkiksi lämpenemisen johdosta menettänyt ominaisuuksiaan. /8/

Huoneen oma valaistus voi riittää tietyissä tilanteissa, mutta vaikeiden kappaleiden takia Tagarnossa on lisävalo, jonka avulla valaistusta voidaan säätää huomattavasti tarkemmin esimerkiksi polarisaation avulla. Valaistuksen ominaisuuksia voi myös säätää digitaalisesti Tagarnon sovelluksista, muun muassa säätämällä kuvan syvyyttä, gammaa ja värejä. Näiden ominaisuuksien käyttäminen vaatii hieman syvempää osaamista ja tietämystä Tagarnon käytöstä.

4.3 Tagarnolla vikojen tunnistaminen

Kuten aikaisemmin työssä on kerrottu, laakereiden vikaantumisen syy voi tunnistaa laakerin sisä- tai ulkorenkaaseen ja laakerin kuuliin taikka rulliin muodostuviin vierintäjälkiin, jotka syntyvät erilaisissa olosuhteissa. Tagarnon suurennuksen avulla näihin vierintäjälkiin voidaan huomattavasti tarkemmin perehtyä ja löytää juurisyy vikaantumiselle. Ihmissilmällä voi paikallistaa vierintäjäljet, mutta kaikkea jäljistä ei voida tunnistaa, varsinkin jos jäljet ovat tuoreet eivätkä ole ehtineet muodostua selkeästi.

4.4 Tagarnon käyttöohjeen tekeminen

Tagarnon käyttöohjeen tekemisen prosessi oli sulava. Perehdyin Tagarnon tarjomiin materiaaleihin heidän nettisivuiltaan sekä Tagarnon ohjemanuaaliin. Työohjetta tehtäessä pidin mielessä koko ajan käyttöohjeen selkeyden ja helppokäyttöisyyden. Kun sain ensimmäisen version käyttöohjeesta valmiiksi, vein käyttöohjeeni käytäntöön ja annoin After Sales -toimihenkilöiden, joilla ei vielä ollut Tagarnosta kokemusta, kokeilla käyttöohjeen kanssa Tagarnon käynnistämistä. Saatujen palautteiden perusteella muovasini käyttöohjetta. Palautteet liittyivät esimerkiksi selkeyteen tai itse ohjeen rakenteeseen, mutta näillä ohjeilla todettiin toimivaksi, että kuka tahansa saisi käynnistettyä ja osaisi käyttää Tagarnon perusominaisuuksia. Tagarnon käyttöohje liitteessä 2.

4.5 Vikaantuneen laakerin tutkiminen käytännössä

Tässä työssä tutkin laakereita, jotka olivat olleet käytössä HDP-moottoreissa. HDP-moottorit ovat kompaktinkokoisia korkean suorituskyvyn moottoreita, joita käytetään taajuusmuuttajilla. Tutkimisessa mukana oli kokeneita ABB:n After Sales -toimihenkilöitä. Moottorit olivat olleet ABB:n tehtaalla testiajossa yön yli, jonka aikana vikaantuminen oli tapahtunut. Ensimmäisen HDP-moottorin molempien pään laakerit olivat vikaantuneet käyttökelvottomiksi. Moottorin avaamisen jälkeen pystyttiin heti silmämääräisesti huomaamaan, että vikaantumisessa oli ainakin ollut mukana lämpenemistä, sillä moottorin akseli sekä laakerit olivat nokeentuneet mustaksi. Moottorin N-pään laakeri saatiin irrotettua akselistasta, mutta D-pään laakeri jäi akseliin kiinni. Laakeria ei voinut sen enempää tutkia, sillä laakeri oli niin vaurioitunut, että laakerin kuulat ja laakerin sisä- ja ulkorenkaat olivat lämpenemisen takia muodottomat eikä niistä voitu havaita mitään tiettyjä vierintäjätkiä tai kuvioita (**Kuva 22.**). Yhdessä After Sales -toimihenkilöiden kanssa tehdyn analyysiin perusteella laakerin vikaantuminen oli tapahtunut seuraavanlaisesti: Moottorin akselilla on kulkenut virtaa, joka aiheuttaa lämpenemisen, jonka takia

akselin lämpölaajenemistila on loppunut kesken. Akselin lämpölaajenemisen takia laakeri myös itse lämpenee sekä laakeriin kohdistuu suuri aksiaalivoiman kuormitus. Lämpötilasta johtuen laakereiden voiteluaineen öljyn viskositeetti ei riitä öljykalvon selviytymiseen, jonka takia laakerin osat pääsevät hankautumaan toisiaan kohden, josta syntyy kaikkien näiden tekijöiden takia hyvin nopeat vauriot laakeriin.

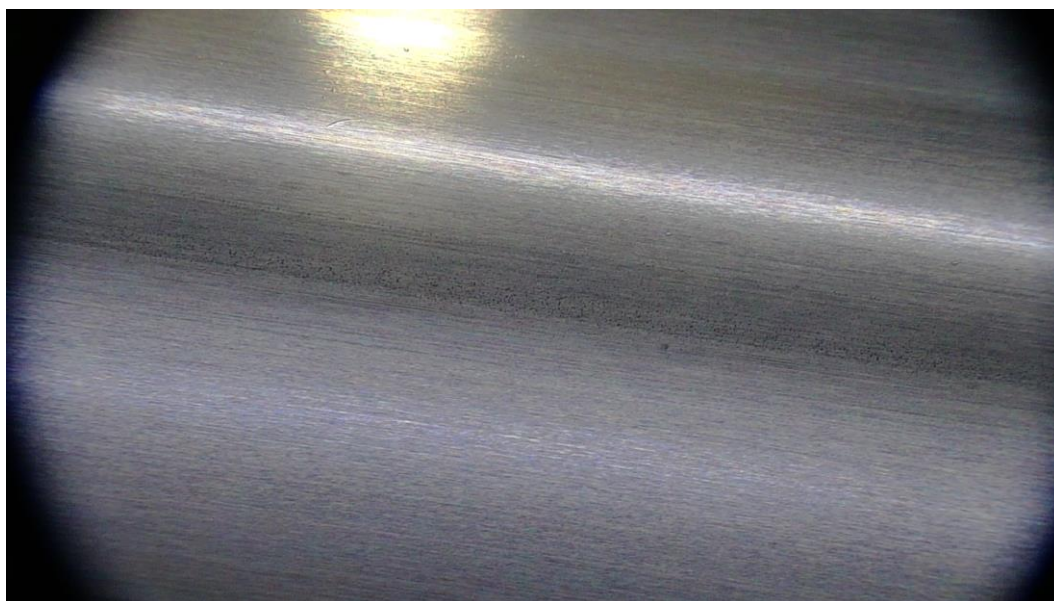


Kuva 22. Tapauksen täysin vaurioitunut laakerin sisärengas.

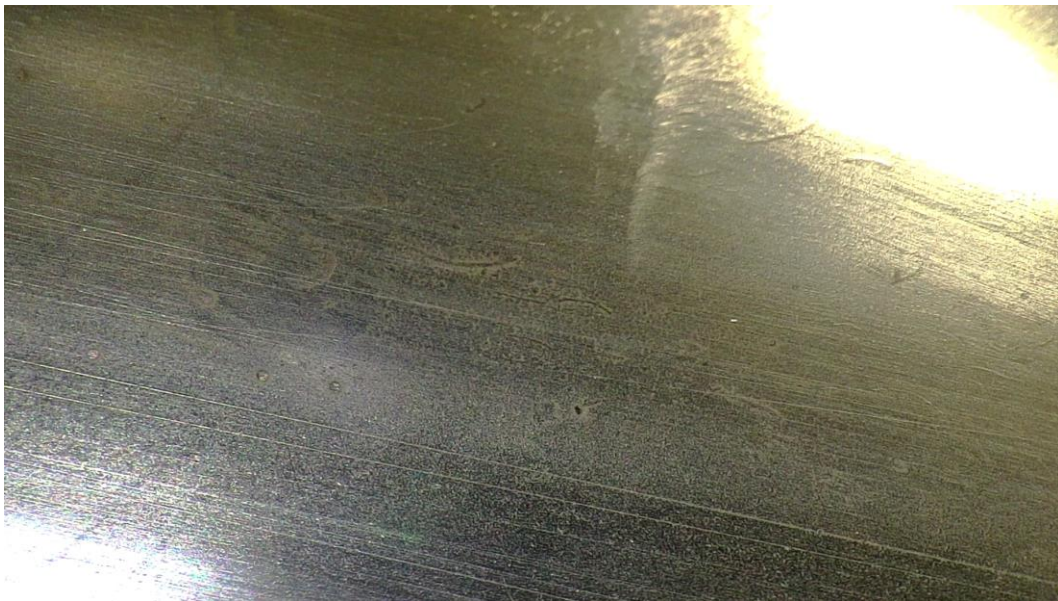
Toisen HDP-moottorin laakerit eivät olleet yhtä pahasti vikaantuneet silmämääräisesti. Vierintäjälkiä oli kuitenkin silmämääräisesti havaittavissa. Moottorin D-pään laakerissa ja kuulissa oli havaittavissa hieman mattamaisuutta lämpenemisen ta-

kia. Moottorin laakereista oli saatu lämpötiloja, jotka antavat ilmi minkä takia laakerit olivat pahasti vaurioituneet. N-pään laakerista oli ajon aikana saatu mitattua 360°C ja D-pään laakerista 170°C . Nämä lämpötilat jo itsessään kertovat, että laakerit eivät kauaa näitä lämpötiloja kestä. Tämä HDP-moottori oli kuitenkin vähemmän aikaa ajossa, jonka takia laakerit eivät kerenneet vaurioitua aivan kokonaan. Tagarnon käyttäminen auttoi huomattavasti tämän laakerin tutkimisessa. Silmämääräisesti laakerin osissa oli havaittavissa vierintäjälkiä, mutta muuta ei laakerista pystynyt tunnistamaan. Tagarnon avulla laakerin sisäkehältä pystyi selkeästi tunnistamaan mustia pisteitä, jotka ovat kraattereita. Nämä kraatterit kertovat suoraan, että laakerivirta on näiden laakereiden vikaantumisen juurisyy.

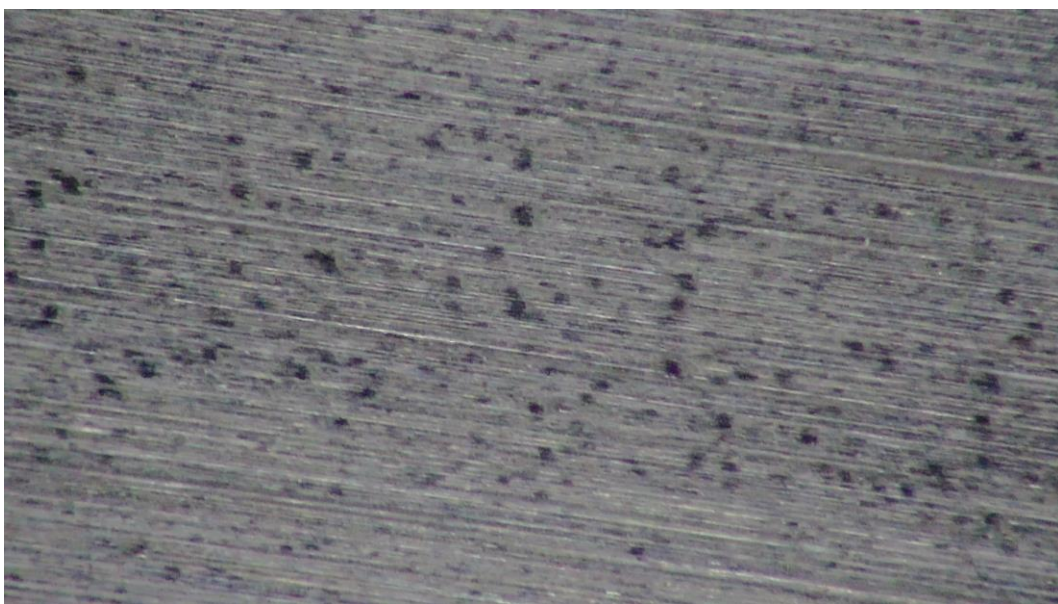
Tulokset havainnoista esitetään kuvilla, jotka on otettu Tagarnolla. Kuvat on otettu eri suurennuksilla.



Kuva 23. Noin 10-kertaisella suurennuksella otettu kuva. Laakerista voidaan havaita vierintäjäljet, mutta ei sen tarkempia havaintoja.



Kuva 24. Noin 50-kertaisella suurennuksella otettu kuva. Lisää jälkiä havaittavissa sekä tässä vaiheessa huomio kiinnittyi mustiin pisteisiin.



Kuva 25. Noin 100-kertaisella suurennuksella otettu kuva. Mustat pisteet ovat helposti havaittavissa, mikä kertoo laakerivirrasta.

5 ANALYYSI

Tagarnosta voi todellakin olla hyötyä laakereiden vikaantumisia tutkiessa, kappaleessa 4.5. tuli ilmi. Jokaisessa tapauksessa ei Tagarnoa kuitenkaan tarvitsisi, sillä silmämääräisesti vikoja voidaan hyvin tunnistaa jo olemassa olevien materiaalien ja oppien perusteella. Kuitenkin laakereita tutkivan henkilön on täytynyt olla perehtynyt laakereiden vikaantumisiin ennen kuin hän voi tunnistaa Tagarnolla vikoja. Mielestäni tämä opinnäytetyö antaa kokonaisvaltaisen kuvan laakereiden vikaantumiseen, mistä voi olla iso hyöty uusille ABB:n työntekijöille, joilla ei vielä ole kertynyt kovin paljoa tietoa vierintälaakereista, niiden vikaantumisista sekä voiteluaineiden käytöstä.

Tagarnon hyötyjä:

- Videomikroskoopin lähennys, jonka avulla pienimmätkin jäljet voidaan tunnistaa laakerista.
- Kuvien tallentaminen. Asiakkaalle voidaan tarjota tarkka kuva, josta voidaan todentaa laakerin vikaantumisen syy. Asiakas on näin tyytyväisempi sekä helpompi miellyttää vaikeissa takuutapauksissa.

Tagarnon haasteet:

- Aina Tagarnoa ei tarvitsisi tutkimuksissa, sillä osa vikaantumisista voidaan havaita silmämääräisesti hyvinkin nopeasti.
- Pöytä ja huone ovat suuressa merkityksessä, missä Tagarnoa käytetään.
- Käyttöohjeesta huolimatta videomikroskoopin tarkennus vaatii hieman säätämistä.

LÄHTEET

- /1/ SKF Laakereiden kunnossapito. Vanhempi fyysinen painos.
- /2/ SKF Laakereiden kunnossapito. Viitattu 10.10.2021. <https://docplayer.fi/57880858-Skf-laakerien-kunnossapito.html>
- /3/ ABB Low Voltage Motor Guide. Viitattu 10.01.2022. https://library.e.abb.com/public/1fd380f8ca8b4934ae3fa609d764fd33/21043_ABB_Motor_Guide_REV_D.pdf
- /4/ ABB Low Voltage Process Performance motors catalogue. 2018. Fyysinen painos.
- /5/ FAG Vierintälaakeriden voitelu, Julkaisu no. WL 81 115/4. Viitattu 15.9.2021 https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/publication/downloads/18/wl_81115_4_fi_fi.pdf
- /6/ SKF Rolling Bearings and seals in electric motors and generators. 2013. Viitattu 22.1.2022. https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802b0348-13459-EN-Rolling-bearings-and-seals-in-electric-motors-and-generators_tcm_12-134586.pdf
- /7/ SKF Bearing damage and failure analysis. Viitattu 22.1.2022. https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d1968064c148-Bearing-failures---14219_2-EN_tcm_12-297619.pdf
- /8/ Tagarno Trend manuaali. Viitattu 10.10.2021. <https://tagarno.com/wp-content/uploads/2021/12/TAGARNO-TREND-user-manual-2.8-UK-4.pdf>

LIITTEET

Liite 1. /5/

Laakerivikojen yleiset oireet

- A Liian korkea lämpötila → taulukko 1a
 B Liian korkea melutaso → taulukko 1b
 C Liian suuri värähtely → taulukko 1c, sivu 234
 D Liian suuri akselin liike → taulukko 1d, sivu 234
 E Liian suuri akselin pyörittämiseen tarvittava kitkamomentti → taulukko 1e, sivu 235

Oire: A. Liian korkea lämpötila

Ratkaisu- Mahdollinen aiheuttaja
 koodi

Ratkaisu- koodi	Mahdollinen aiheuttaja
	Voiteluongelma
1	Riittämätön voitelu – liian vähän rasvaa tai liian alhainen öljynpinnan taso
2	Liian paljon voiteluainetta – rasvaa on liikaa eikä vanha rasva ei pääse poistumaan tai öljyn pinnantasoo on liian korkea
3	Väärä voiteluaineen tyyppi – väärä koostumus, väärä viskositeetti, väärät lisäaineet
4	Vääräntyyppinen voitelujärjestelmä
	Tiivistys
5	Laakeripesän tiivisteet ovat liian tiukat tai muut osat rikkovat tiivisteet
6	Laakerijärjestelmässä (laakeripesässä) on useita tiivisteitä
7	Laakeripesän ulkopuolisten tiivisteiden linjausvirhe
8	Pyörimisnopeus on liian suuri laakerin hankaaville tiivisteille
9	Tiivisteiden voitelu ei ole riittävä
10	Tiivisteet ovat väärin päin
	Riittämätön välis käytön aikana
11	Väärä uuden laakerin sisäisen väljyksen valinta
12	Akselimateriaali (esimerkiksi ruostumaton teräs) laajenee enemmän kuin laakeriteräs
13	Suuri lämpötilaero akselin ja laakeripesän välillä (laakeripesän lämpötila on huomattavasti akselia alhaisempi)
14	Liian suuri aksiaalisiiirtymä asennuksessa kartiopinnalla
15	Akselin tai laakeripesän huomattava soikeus – laakeri puristuu soikeaan laakeripesään
16	Liian tiukka akselin ahdistussovite
17	Liian tiukka laakeripesän ahdistusovite
	Poikkeava laakerin kuormitus
18	Laakereiden ylikuormitus käyttöolosuhteiden muuttumisen seurauksena
19	Kahden laakeriyksikön välinen yhdensuuntaisuusvirhe
20	Kahden laakeriyksikön välinen kulmavirhe
21	Laakeri on asennettu väärin päin
22	Epätasapainotila
23	Väärä laakeri valittu ohjaavaksi laakeriksi
24	Liian suuri aksiaalikuormitus
25	Riittämätön kuormitus
26	Liian suuri esijännitys

Oire: B. Liian korkea melutaso

Ratkaisu- Mahdollinen aiheuttaja
 koodi

Ratkaisu- koodi	Mahdollinen aiheuttaja
	Metalli-metallikontakti
1	Puutteellinen voitelu
3	Öljykalvo on liian ohut kyseisiin käyttöolosuhteisiin
25	Vierintäelimet liukuvat
	Epäpuhtaudet
27	Kiinteiden epäpuhtauspartikkelien yli kulkemisesta aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien painaumata
28	Laakeripesässä on epäpuhtauspartikkeleita joko valmistuksen tai aiemman laakerivaurion jäljiltä
29	Voiteluaineen viskositeettia alentavat nestemäiset epäpuhtaudet
	Liian löysät sovitteet
30	Sisärenkas pyörii akselisovitteella
31	Ulkorenkas pyörii laakeripesässä
32	Laakerin lukitusmutteri on löysällä akselilla tai holkissa.
33	Laakeri ei ole tiukasti painettuna viereistä komponenttia tai olaketta vasten
34	Liian suuri säteittäinen tai aksiaalinen laakerin sisäinen välis
	Pintavaurio
1, 2, 3, 4	Puutteellisen voitelun aiheuttama kuluminen
25	Vierintäelimien liukumisen aiheuttama tahmautumisvaurio
27	Kiinteiden epäpuhtauspartikkelien yli kulkemisesta aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien painaumata
35	Osumasta tai iskukuormituksesta aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien painaumata
36	Staatista värähtelystä aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien tärinäjaljet
37	Materiaalin väsymisestä aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien kuoriumat
38	Pintavauriosta alkunsa saaneet vierintäpintojen ja/tai -elimien kuoriumat
39	Kemiallisien/nestemäisien epäpuhtauksien aiheuttama vierintäpintojen ja/tai -elimien etsaantuma
40	Kosteuden tai sähkövirran aiheuttamat vierintäpintojen ja/tai -elimien mikrokuoriumat
41	Sähkövirran aiheuttama vierintäpintojen ja/tai -elimien pyykkilautakuvio
	Hankaaminen
7	Laakeripesän tiivisteiden asennusvirhe
32	Kristys- tai vetoholkkia ei ole asennettu oikein
33	Väli- tai etäisyysrenkaita ei ole asennettu oikein
42	Lukituslevyn kielekkeet ovat taipuneet

Oire: C. Liian suuri värähtely	
Ratkaisu- koodi	Mahdollinen aiheuttaja
25	Metalli-metallikontakti Vierintäelimet liukuvat
27	Epäpuhtaudet Kiinteiden epäpuhtauspartikkelien yli kulkemisesta aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien painaumat
28	Laakeripesässä on epäpuhtauspartikkeleita joko valmistuksen tai aiemman laakerivaurion jäljiltä
30	Liian löysät sovitteet Sisärengas pyörii akselisovitteella
31	Ulkorengas pyörii laakeripesässä
1, 2, 3, 4 25	Pintavaurio Puutteellisen voitelun aiheuttama kuluminen Vierintäelimien liukumisen aiheuttama tahmautumisvaurio
27	Kiinteiden epäpuhtauspartikkelien yli kulkemisesta aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien painaumat
35	Osumasta tai iskuvoimasta aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien painaumat
36	Staattisesta värähtelystä aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien värinäjäljet
37	Materiaalin väsymisestä aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien kuoriumat
38	Pintavauriosta alkunsa saaneet vierintäpintojen ja/tai -elimien kuoriumat
39	Kemiallisien/nestemäisien epäpuhtauksien aiheuttama vierintäpintojen ja/tai -elimien etsaantuma
40	Kosteuden tai sähkövirran aiheuttamat vierintäpintojen ja/tai -elimien mikrokuoriumat
41	Sähkövirran aiheuttama vierintäpintojen ja/tai -elimien pyykkilautakuvio

Oire: D. Liian suuri akselin liike	
Ratkaisu- koodi	Mahdollinen aiheuttaja
30	Väljyys Liian löysä sovitte akselilla
31	Liian löysä ulkorengkaan sovitte pesässä
33	Laakeri ei ole painettuna paikalleen akselille tai laakeripesään
1, 2, 3, 4 37	Pintavaurio Puutteellisen voitelun aiheuttama kuluminen Väsymisestä aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien kuoriumat
38	Pintavauriosta alkunsa saaneet vierintäpintojen ja/tai -elimien kuoriumat
11	Väärä laakerin sisäinen vällys Asennetun laakerin vällys väärä
33	Laakeri ei ole painettuna paikalleen akselille tai laakeripesään, liian suuri aksiaalivällys

Oire: E. Liian suuri akselin pyörittämiseen tarvittava kitkamomentti

Ratkaisu- koodi	Mahdollinen aiheuttaja
	Esijännitetty laakeri
11	Väärävälyksinen laakeri valittu
12	Akselimateriaali (esimerkiksi ruostumaton teräs) laajenee enemmän kuin laakeriteräs
13	Suuri lämpötilaero akselin ja laakeripesän välillä
14	Liian suuri aksiaalisirtymä asennuksessa kartiopinnalla
15	Liian suuri akselin tai laakeripesän soikeus – laakeri on puristuneena
16, 17	Liian tiukat akselin ja/tai pesän ahdistusovitteet
26	Liian suuri esijännitys – virheellinen kokoaminen (esijännitys)
	Tiivisteiden laahaaminen
5	Laakeripesän tiivisteet ovat liian tiukat tai muut osat rikkovat tiivisteet
6	Laakerijärjestelmässä (laakeripesässä) on useita tiivisteitä
7	Laakeripesän ulkopuolisten tiivisteiden linjausvirhe
9	Tiivisteiden voitelu ei ole riittävä
	Pintavaurio
37	Väsymisestä aiheutuneet vierintäpintojen ja/tai -elimien kuoriumat
38	Pintavauriosta alkunsa saaneet vierintäpintojen ja/tai -elimien kuoriumat
41	Sähkövirran aiheuttama vierintäpintojen ja/tai -elimien pyykkilautakuvio
	Rakenne
43	Akselin ja/tai laakeripesän olakkeet vinossa laakerisijaan nähden
44	Akselin olake (halkaisija) on liian suuri, mikä rikkoo tiivisteet/suojalevyt

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisukoodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

1

Puutteellinen voitelu

Rasvavoitelu

Ensimmäisessä täytössä tai käynnistyksessä huomioitavaa:

- Rasvan on täytettävä laakeri 100-prosenttisesti ja pesätila akselin alaosaan saakka ($1/3-1/2$).
- Jos laakeria vieressä oleva laakeripesän vapaa tila on pieni, voiteluaineen määrää on mahdollisesti vähennettävä hieman, jotta vältetään kirnuuntumisen aiheuttamalta ylikuumentumiselta.
- → *Voitelu*, alkaen s. 178.

Toimenpiteet käytön aikana:

- Tarkista, ettei kuluneita, vaurioituneita tai vuotavia tiivisteitä ole. (Tarkasta rasvavuodot.)
- Rasvojen yhteensopimattomuudesta aiheutuva vuoto. (Tarkasta rasvavuodot.)

Toimenpiteet jälkivoitelun aikana:

- Varmista, että voiteluväli on oikea (ei liian pitkä).
- Varmista, että rasva pääsee laakerille.
- Varmista, että tuoretta rasvaa pääsee laakerin sisään.

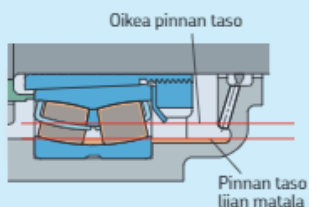
Öljykylpyvoitelu

Ensimmäisessä täytössä, voiteluaineen lisäämisessä ja seisokin aikana huomioitavaa:

- Öljykylpyvoitelussa pinnankorkeuden tulee olla laakerin alimman vierintäelimen keskikohdalla koneen ollessa pysäytettynä.

Toimenpiteet käytön aikana:

- Varmista, että laakeripesässä on asianmukaiset huohotusaukot, jotta paine ei aiheuta toimintahäiriötä automaattiseen voitelulaitteeseen.
- Tarkista, ettei tiivisteissä ole kulumia, vaurioita tai vuotoja.
- Tarkista, ettei kaksiosaisen laakeripesän liitoksessa ole vuotoja. Levitä pinnoille tarvittaessa ohut kerros tiivisteliimaa.



2

Liian paljon voiteluainetta

Liian suuri voiteluainemäärä voi aiheuttaa voiteluaineen kirnuuntumisen ja lämpötilan kohoamisen.

Rasvavoitelu

Ensimmäisessä täytössä tai käynnistyksessä huomioitavaa:

- Rasvan on täytettävä laakeri 100-prosenttisesti ja pesätila akselin alaosaan saakka ($1/3-1/2$).
- Jos laakerin vieressä oleva laakeripesän vapaa tila on pieni, voiteluaineen määrää on mahdollisesti vähennettävä hieman, jotta vältetään kirnuuntumisen aiheuttamalta ylikuumentumiselta.
- → *Voitelu*, alkaen s. 178.

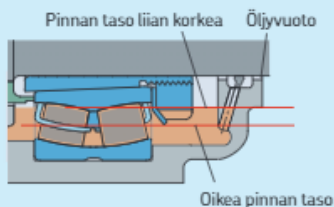
Toimenpiteet käytön aikana:

- Tarkista, että rasva pääsee poistumaan laakeripesästä joko tiivisteiden läpi tai tyhjennysaukosta. Rasvan poistoventtiili voi estää liian suuren voiteluainemäärän jäämisen laakerointiin.
- Tarkista, että tiivisteet ovat oikein päin, jotta ylimääräinen voiteluaine pääsee poistumaan ja epäpuhtaudet pysyvät järjestelmän ulkopuolella.
- Varmista, ettei voiteluväli ole liian lyhyt.
- Varmista, että jälkivoitelussa lisätään oikea määrä voiteluainetta.

Öljykylpyvoitelu

Toimenpiteet:

- Varmista, että öljykylpyvoitelussa pinnankorkeus on laakerin alimman vierintäelimen keskikohdalla koneen ollessa pysäytettynä.
- Tarkasta, ettei öljyn paluurei'issä ole tukoksia.
- Kun kaikkiin laakeripesiin asennetaan öljynkorkeuslasi, öljymäärä voidaan tarkistaa nopeasti ja helposti.



Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

3



Väärä voiteluaine

Toimenpiteet:

- Selvitä käyttökohteen ominaisuudet, jotta käyttöolosuhteiden edellyttämä oikea perusöljyn viskositeetti (koskee rasvoja ja öljyjä) ja koostumus (koskee rasvoja) voidaan määrittää (→ *Voitelu*, alkaen s. 178).
- Metall-metallikontaktit laakerilla voivat aiheuttaa ylikuumenemista ja ennen aikaista kulumista, mikä johtaa melutason nousuun.
- Tarkista rasvan tai öljyn sekoittuvuus, mikäli voiteluaineen tyyppiä on vaihdettu.
- Tarkista rasvan kovuusluokka.
- Tarkista käytönaikainen viskositeetti.

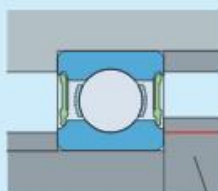
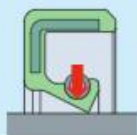
4

Vääräntyyppinen voitelujärjestelmä

Toimenpiteet:

- Tarkista pyörintänopeus ja mittaa käyttölämpötila.
- Määritä, onko käytössä oikean tyyppinen voiteluaine ja -järjestelmä.
- Rasvavoitelusta öljyvoiteluun siirtyminen voi ratkaista ongelman helposti.
- Öljykylpyvoitelusta kiertööljyvoiteluun siirtyminen voi ratkaista ongelman.
- Lisäjäähdyttimen lisääminen olemassa olevaan öljyvoitelujärjestelmään voi auttaa useissa kuumenemiseen liittyvissä ongelmissa.
- Erityisvaatimuksiin liittyvää teknistä tukea on saatavana SKF-edustajalta tai laitevalmistajalta.
- Tarkista nimellisnopeusarvot valmistajan tuoteoppaasta ennen yhteydenottoa. SKF:n viite- ja rajanopeudet löytyvät osoitteesta www.skf.com/bearings.

5



Oikea korkeus

Laakeripesän tiivisteet ovat liian tiukat

Toimenpiteet:

- Mittaa akselin halkaisija ja tarkista, sopiiko asennettu jousikuoritteinen tiiviste kyseiselle akselikoolle. Jos ei, kitkaa muodostuu liikaa ja tiiviste on vaihdettava oikealla jousen kireydellä varustettuun tiivisteeseen.
- Varmista, että tiivisteiden voitelu on riittävä.
- Tarkista tiivisteiden huulien kuluminen.
- Huopatiivisteitä on liotettava kuumassa öljyssä ennen asennusta.

Muut koneen osat rikkovat laakerin tiivisteet

Toimenpiteet:

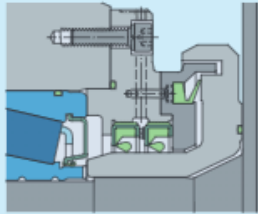
- Tarkista tiivisteiden vieressä olevat koneen osat:
 - olakkeiden korkeudet (→ www.skf.com/bearings)
 - mahdollisuus kompensoida aksiaalisirtymä, mikäli akseli lämpölaajenee.

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisukoodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

6

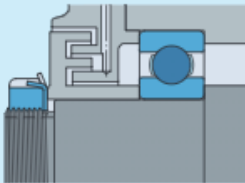


Laakerijärjestelmässä (laakeripesässä) on useita tiivisteitä

Huomioitavaa:

- Jos epäpuhtauksien pitämiseen laakerijärjestelmän ulkopuolella käytetään useita hankaavia tiivisteitä, kitka ja lämpötila nousevat.
- Lämpötilan vaikutus laakeriin ja voiteluaineeseen on huomioitava ennen tiivisteiden lisäämistä järjestelmään.
- Lisäksi on otettava huomioon koneen pyörittämiseen tarvittava lisäteho.

7



Laakeripesän ulkopuolisten tiivisteiden linjausvirhe

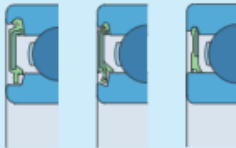
Kokoamisessa huomioitavaa:

- Akselin linjausvirhe suhteessa laakeripesään voi aiheuttaa tilanteen, jossa hankaamaton tiiviste tai rakotiviste hankaa akseliin. Tällainen tilanne voi aiheuttaa lämpötilan ja melutason nousua sekä liiallista kulumista sisäänajon aikana. Se myös heikentää tiivistystä.

Toimenpiteet:

- Tarkista linjaus ja tee tarvittavat korjaukset.
- Jos kulmavirheeltä ei voida välttyä, ulkoisien tiivisteiden välystä tai rakoja on ehkä lisättävä.

8



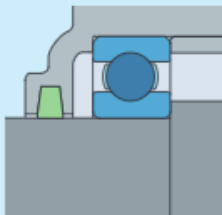
Hankaavat tiivisteet

Pyörimisnopeus on liian suuri laakerin hankaaville tiivisteille

Huomioitavaa:

- Tiivistehuuilla on määritetty maksimirajanopeus. Jos pyörimisnopeus on suurempi kuin kyseinen rajanopeus, tiivistehuuli vaurioituu, mikä aiheuttaa voiteluainevuodon.
- Jos pyörimisnopeutta on lisätty tai jos käytetään alkuperäisestä poikkeavan tyyppisellä tiivisteellä varustettua laakeria, tarkista että laakerin tiiviste toimii kyseisessä nopeudessa.
- Hankaavat tiivisteet muodostavat enemmän lämpöä kuin pienikokaiset tiivisteet, suojalevyt tai avoimet laakerit.

9



Tiivisteiden voitelu ei ole riittävä

Huomioitavaa:

- Hankaavien tiivisteiden käyttäminen kuivana muodostaa merkittävästi lämpöä järjestelmään.

Toimenpiteet kokoamisen aikana:

- Varmista, että tiivisteet on voideltu asianmukaisesti ennen käynnistystä uuden tai kunnostetun koneen ollessa kyseessä. (Huopatiivisteitä on liotettava kuumassa öljyssä ennen asennusta.)

Toimenpiteet käytön aikana:

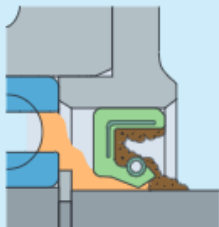
- Normaaliolosuhteissa laakeripesän sisällä oleva voiteluaine roiskuu ulospäin kohti tiivisteitä ja voitelee ne automaattisesti.
- Oikein voideltujen tiivisteiden käytön aikana lämpötila pysyy alhaisena ja ne ovat tiiviitä, sillä kaikilla kosketuspinoilla on voiteluainekerros.
- Asianmukainen voitelu vähentää myös ennen aikaista tiivisteiden kulumista.
- Tarkista, näkykö tiivisteissä kulumista tai vaurioita.

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

10



Väärin päin asennetut tiivisteet eivät mahdollista rasvan poistumista laakeripesästä

Kokoamisessa huomioitavaa:

- Käyttökohteesta riippuen hankaavien tiivisteiden asennussuunta on huomioitava, jotta joko voiteluaine pääsee poistumaan laakeripesästä tai voiteluainevuodot estetään.

Toimenpiteet:

- Tarkista tiivisteiden asennussuunta rakennepiirustuksista tai ota yhteyttä koneen valmistajaan, jotta varmistetaan oikea tiivisteiden asennusjärjestys.

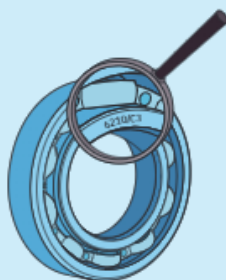
Käytön aikana huomioitavaa:

- Ulospäin osoittavat tiivistehuulet mahdollistavat yleensä ylimääräisen voiteluaineen poistumisen ja estävät epäpuhtauksien pääsyn laakeriin.

Toimenpiteet:

- Tiivisteet on asennettava oikein päin, jotta rasva pysyy laakeroinnissa ja epäpuhtaudet sen ulkopuolella.

11



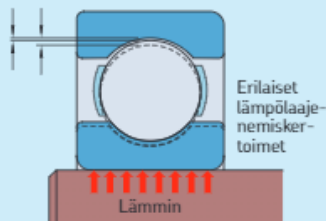
Väärä uuden laakerin sisäisen välyksen valinta

Toimenpiteet:

- Tarkista uuden laakerin pakkauksesta, että sen laakerin sisäinen välys vastaa rakenteen alkuperäisiä määrittämiä.
- Jos laakeri ylikuumentuu sen vaihtamisen jälkeen ja jos käyttökohteessa tarvitaan suurempaa välystä, ota yhteyttä SKF-edustajaan ja kysy, mitkä ovat suuremman välyksen käyttämisen vaikutukset koneeseen ja laakeriin.
- Suorita kaikkien osien tarkistusmittaus, sillä osien kuluminen voi vaikuttaa laakerin välykseen.

12

Pienentynyt
välys



Akselin (ja laakeripesän) materiaali laajenee enemmän kuin laakeriteräs

Rakenteen muuttamisessa tai kunnostuksessa huomioitavia seikkoja:

- Eräissä tapauksissa akselit ja laakeripesät voidaan valmistaa normaalista poikkeavista materiaaleista. Järjestelmässä saatetaan tarvita esimerkiksi elintarviketeollisuuden vaatimuksia vastaavaa, ruostumattomasta teräksestä valmistettua akselia tai koneen massaa keventävää alumiinista valmistettua laakeripesää.
- Jos akselin valmistusmateriaalin lämpölaajenemiskerroin on suurempi kuin laakeriteräksen, laakerin säteittäinen sisäinen välys pienenee. Sen vuoksi käytettäessä eräitä akselimateriaaleja (ruostumaton teräs, 300-sarja) on käytettävä hieman löysempää akselisovitetta tai normaalia suuremmalla säteittäisellä sisäisellä välyksellä (esimerkiksi CN-C3, C3-C4 jne.) varustettua laakeria.
- Jos laakeripesä on valmistettu materiaalista (esimerkiksi alumiinista), jonka lämpölaajenemiskerroin on suurempi kuin laakeriteräksen, on ehkä käytettävä hiukan tiukempaa sovitetta, jotta laakerin ulkorengas ei pääse pyörimään laakeripesän sovitteessa.

Toimenpiteet:

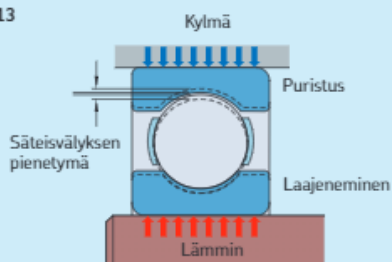
- Molemmissa edellä kuvatuissa tapauksissa uuden akseli- tai laakeripesämateriaalin vaikutus laakerin sisäiseen välykseen voi olla tarpeellista laskea. Laakeri on vaihdettava tarvittaessa.

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

13



Suuri lämpötilaero akselin ja laakeripesän välillä

Suunnittelussa huomioitavaa:

- Laakerijärjestelmien rakenteen vuoksi laakerin sisärenkaan lämpötila on usein korkeampi kuin ulkorenkaan. Esimerkiksi sähkömoottorin akselin lämpötila on suhteellisen korkea, minkä seurauksena laakerin sisärenka laajenee. Moottorin rungon, johon ulkorenkaat on kiinnitetty, pinta-ala on suhteellisen suuri, mikä edistää lämmön haihtumista. Sen vuoksi sisä- ja ulkorenkaiden välinen lämpötila-ero on huomattava.

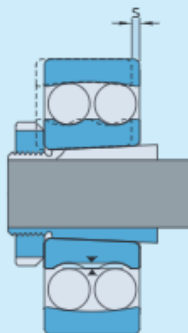
Käytön aikana huomioitavaa:

- Akselin ja laakeripesän välinen suuri lämpötilaero pienentää laakerin sisäistä välystä, mikä voi johtaa liian pieneen välykseen tai jopa esijännityksen muodostumiseen ja käyttölämpötilan kohoamiseen.

Toimenpiteet:

- Tarkista akselin ja laakeripesän lämpötila mahdollisimman läheltä laakeria.
- Käytä tarvittaessa esijännityksen muodostumisen estämiseksi laakeria, jonka sisäinen välyys on suurempi (esimerkiksi CN-C3, C3-C4 jne.)

14



Liian suuri aksiaalisieritymä asennuksessa kartiopinnalla

Asennuksessa huomioitavaa:

- Kartioreikäisen laakerin asentaminen (ahtaminen) kartiopinnalle (akselille tai holkille) pienentää laakerin säteittäistä laakerivällystä.

Käytön aikana huomioitavaa:

- Liian suuri aksiaalisieritymä (s) voi aiheuttaa suuren laakerin sisärenkaan jännitystilän, mikä voi johtaa sisärenkaan murtumiseen. Se aiheuttaa käyttölämpötilan kohoamisen.
- Liian suuri aksiaalisieritymä (s) voi aiheuttaa laakerin sisärenkaalle suuren vetojännityksen, mikä voi johtaa sisärenkaan säröilyyn tai katkeamiseen.

Toimenpiteet:

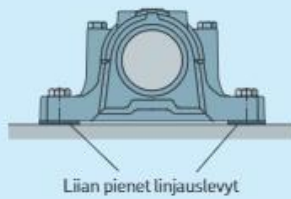
- Pienet pallomaiset kuulalaakerit: Tarkista akselin asentamisen jälkeen, että laakerin ulkorenkaas kääntyy helposti. Mikäli näin ei ole, irrota laakeri ja suorita asennus uudelleen.
- Suuret pallomaiset kuulalaakerit, pallomaiset rullalaakerit ja CARB-kaarirullalaakerit: Mittaa laakerivällyys ennen asennusta ja sen jälkeen. Katso säteisvällyksen pienentymän enimmäisarvot liitteestä F, alkaen s. 402. Mikäli asennuksen jälkeinen välyys ei ole riittävä, irrota laakeri ja suorita asennus uudelleen.
- Pallomaisien kuulalaakereiden asennuksessa on käytettävä SKF Drive-up- tai kiertymiskulmamenetelmää. Pallomaisien rullalaakereiden ja CARB-kaarirullalaakereiden asennuksessa on käytettävä SKF Drive-up -menetelmää tai säteisvällyksen pienentymämenetelmää. Käytössä hyväksi havaittu SKF Drive-up -menetelmä (→ sivu 57) on helppo tapa saavuttaa oikea laakerin käyntivällyys ilman toistuvia rakotulkimittauksia. Muista kuitenkin mitata loppuvällyys. Erittäin suurien laakereiden asennuksessa voidaan käyttää SensorMount -menetelmää (→ sivu 67).

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

15



Laakeri on asennettu soikealle akseli- tai pesäsovitteelle

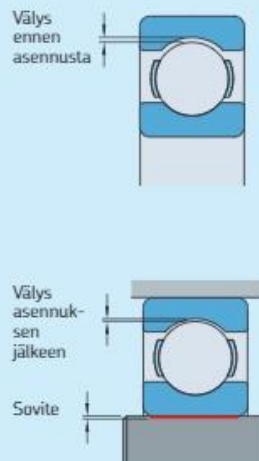
Käytön aikana huomioitavaa:

- Soikeaan tai vääntyneeseen laakeripesään asennetun laakerin ulkorengas aiheuttaa epätasaisen puristuksen, mikä johtaa välyksen pienentymiseen tai esijännityksen muodostumiseen ja käyttölämpötilan nousuun.
- Tämä näkyy usein kahtena 180 asteen välein olevana kuormitusalueena.
- Epätasainen puristus voi rajoittaa vapaan pään laakerin aksiaalista liikettä, mikä aiheuttaa suuren aksiaalikuormituksen.

Toimenpiteet:

- Tarkista, että koneen tukipinta on tasainen, jotta vältytään ns. pehmeältä jalalta. Linjauslevyjen on ulotuttava koko laakeripesän jalustan alueelle.
- Varmista, että laakeripesän tukipinta on riittävän jäykkä, ettei se pääse taipumaan.
- Tarkista akseli- ja laakeripesäsovitteen pyöreys (soikeus) (→ liite D-1, sivu 386).
- Koneista osat uudelleen tarvittaessa.

16



Liian tiukka akselin ahdistusovite

Suunnittelussa huomioitavaa:

- Laakerin sisärenkaan ja akselin välinen ahdistusovite laajentaa sisärenkasta ja pienentää laakerivälystä.
- Jos sovitte on liian tiukka, laakerin käytön aikana välys voi olla liian pieni tai laakeriin voi jopa muodostua esijännitys. Tämä johtaa laakerin kuumenemiseen käytön aikana.

Toimenpiteet:

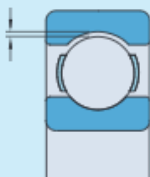
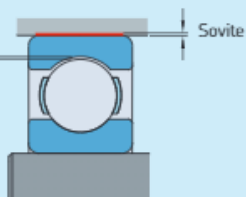
- Tarkista, että asennetun laakerin sisäinen välys on oikea.
- Jos akseli on uusi tai kunnostettu, tarkista molemmat laakerisijat huolellisesti. Tarkista sekä mitta- että muototoleranssit (→ liite D-1, sivu 386).
- Tarkista laakeripesän sovitteen mitat ennen korjaustoimenpiteiden suorittamista.
- Mikäli kaikki mitat ovat annettujen arvojen mukaiset, on ehkä käytettävä laakeria, jonka sisäinen välys on suurempi.
- Huomaa, että ahdustussovitteen käyttäminen sekä akselilla että laakeripesässä johtaa todennäköisesti liian pieneen käytön aikana välykseen (→ Laakerien säteittäinen aseointi, alkaen s. 31).

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

17

Vällys ennen
asennustaVällys
asennuk-
sen
jälkeen

Liian tiukka laakeripesän ahdistussovite

Suunnittelussa huomioitavaa:

- Laakerin ulkorenkkaan ja akselisolvitteen välinen ahdistusovite puristaa ulkorengasta ja pienentää laakerivälystä.
- Jos sovite on liian tiukka, laakerin käytönaikainen vällys voi olla liian pieni tai laakeriin voi jopa muodostua esijännitys. Tämä johtaa laakerin kuumenemiseen käytön aikana.

Toimenpiteet:

- Tarkista, että asennetun laakerin sisäinen vällys on oikea.
- Jos laakeripesä on uusi tai kunnostettu, tarkista molempien laakerisijojen mitat huolellisesti. Tarkista sekä mitta- että muototoleranssit (→ liite D-1, sivu 386). Hio laakeripesän solvitteen tiukkuus oikeaksi. Mikäli tämä ei ole mahdollista, käytä laakeria, jonka sisäinen vällys on suurempi.
- Huomaa, että ahdustussovitteen käyttäminen sekä akselilla että laakeripesässä johtaa todennäköisesti liian pieneen käytönaikaiseen välykseen (→ *Laakerien säteittäinen asemointi*, alkaen s. 31).
- Huomaa, että jos sisärenkaalla on pyörivä kuormitus, laakeripesän ahdistusovite aiheuttaa vapaan laakerin muuttumisen kiinteäksi, mikä aiheuttaa aksiaalista kuormitusta ja laakerin kuumenemisen.

18

Laakereiden ylikuormitus käyttöolosuhteiden muuttumisen seurauksena

Rakenteen muuttamisessa tai kunnostuksessa huomioitavia seikkoja:

- Laakeriin kohdistuvan ulkoisen kuormituksen lisääntyminen aiheuttaa laakerin suurempaa lämpenemistä.
- Raskaat kuormat lyhentävät laakerin käyttöikä.
- Sen vuoksi rakenteen muuttamisen yhteydessä on tarkistettava, ettei kuormitus ole lisääntynyt.

Esimerkkejä:

- Suorakäytöstä hihnäkäyttöön siirtyminen
- Suorakäytöstä väkipyöräkäyttöön siirtyminen
- Koneiston osan pyörintänopeuden kasvattaminen.

Toimenpiteet:

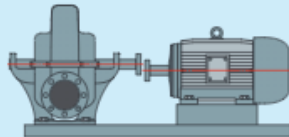
- Koneiston osan suorituskykyarvojen muutokset on tarkistettava yhdessä laitevalmistajan kanssa.

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

19



Kahden laakeriyksikön välinen yhdensuuntaisuusvirhe

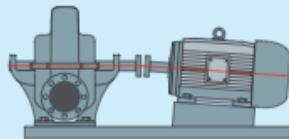
Kokoamisessa huomioitavaa:

- Kaksi laakeripesää eivät ole suorassa linjassa (pysty- tai vaakasuunnassa).
- Tämä aiheuttaa ylimääräistä kuormitusta laakereille ja tiivisteille, mikä lisää kitkaa ja lämpötilaa sekä vähentää laakereiden, tiivisteiden ja voiteluaineen käyttöikää.

Toimenpiteet:

- Suorita laakeripesien linjaus asianmukaisilla työkaluilla. Käytä linjauslevyjä pystysuuntaiseen linjaukseen (→ *Linjaus*, alkaen s. 158).

20



Kahden laakeriyksikön välinen kulmavirhe

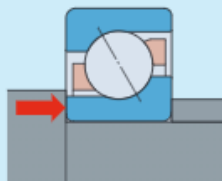
Kokoamisessa huomioitavaa:

- Kahden tukipinnan välillä on linjausvirhe: toinen on kulmassa toiseen nähden.
- Tämä aiheuttaa ylimääräistä kuormitusta laakereille ja tiivisteille, mikä lisää kitkaa ja lämpötilaa sekä vähentää laakereiden, tiivisteiden ja voiteluaineen käyttöikää.

Toimenpiteet:

- Suorita laakeripesien linjaus asianmukaisilla työkaluilla ja linjauslevyillä (→ *Linjaus*, alkaen s. 158).

21



Väärin päin asennettu laakeri aiheuttaa viistokuulalaakereiden kuormituksen epätasaisen kohdistumisen

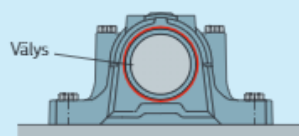
Kokoamisessa huomioitavaa:

- Laakerit, joiden asennussuunta on määrätty, eivät toimi väärin päin asennettuna oikealla tavalla.
- Esimerkki: Yksiriviset viistokuulalaakerit voivat ottaa vastaan aksiaalikuormitusta vain toisesta suunnasta. Mikäli laakeri on asennettu väärin päin, aksiaalikuormitus kohdistuu sisärenkaan väärälle puolelle vierintärataa, mikä vaurioittaa laakeria, aiheuttaa laakerin kuumenemisen ja johtaa ennenaikaiseen laakerivaurioon.

Toimenpiteet:

- Asennuksen tai kokoamisen aikana on varmistettava, että aksiaalinen kuormitus kohdistuu laakerin sisärenkaan oikealle puolelle vierintärataa.

22



Epätasapainotila

Käytön aikana huomioitavaa:

- Epätasapainotila (pyörivä epätasapaino) voi aiheuttaa pyörivän kuormituksen laakerin ulkorenkaalle, mikä kuumentaa laakeria merkittävästi ja lisää laakerin kokonaiskuormitusta.

Toimenpiteet:

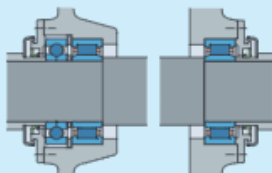
- Tarkista, ettei roottorissa ole likaa tai epäpuhtauksia.
- Suorita koneiston tasapainotus.
- Huomaa, että liian suuri laakeripesä aiheuttaa myös värähtelyä ja ulkorenkaan pyörimistä laakeripesässä.

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

23



Vääräntyyppinen laakeri on asennettu (säteittäisesti)

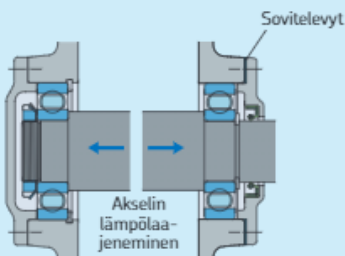
Suunnittelussa tai kokoamisessa huomioitavaa:

- Eräissä käyttökohteissa ohjaavan pään laakerijärjestelmä koostuu säteis- ja painelaakerista.
- Jos säteisvierintälaakeri on aksiaalisessa suunnassa kiinteä, siihen kohdistuu aksiaalinen kuormitus, jolloin kokonaiskuormitus on liian suuri. Tämä voi aiheuttaa ylikuumentumisen ja ennenaikaisen laakerivaurion.
- Jos aksiaalilaakeri on säteittäissuunnassa kiinteä, siihen kohdistuu säteittäinen kuormitus, jolloin kokonaiskuormitus on liian suuri. Tämä voi aiheuttaa ylikuumentumisen ja ennenaikaisen laakerivaurion.

Toimenpiteet:

- Varmista, että säteisvierintälaakeri on aksiaalisuunnassa vapaa, ja että painelaakeri on säteittäissuunnassa vapaa. Painelaakerin ulkorenkaan pyöriminen estetään kiilalla. Esimerkiksi nelipisteviistokuulalaakerin ulkorenkaassa on yleensä kiilaurat.

24



Laakerit ovat ristiinlukittuja, eikä akseli voi laajeta enempää

Suunnittelussa tai kokoamisessa huomioitavaa:

- Kun laakerit ovat ristiinlukittuja ja akseli ei pääse laajenemaan riittävästi, molempiin laakereihin kohdistuu sisäinen aksiaalinen kuormitus.
- Kuormitus voi aiheuttaa käyttölämpötilan ja sisäisen kitkan nousua.
- Kuormitus voi olla raskasta ja johtaa ennenaikaiseen väsymisen aiheuttamaan kuoriutumaa.

Toimenpiteet:

- Aseta sovitelevyjä laakeripesän ja kannen väliin siten, että kannen ja laakerin ulkorenkaan sivupinnan välissä on riittävä välyys eikä laakeriin kohdistu aksiaalista kuormitusta.
- Mikäli mahdollista, pienennä laakerijärjestelmän aksiaalivälystä kohdistamalla aksiaalinen jousikuorma laakerin ulkorenkaaseen.
- Määrittämällä odotettu akselin lämpölaajenema voidaan laskea, kuinka suuri laakerin ulkorenkaan sivupinnan ja laakeripesän kannen välisen välyksen on oltava.

25



Liian kevyesti kuormitettujen vierintäelimien liukumisen aiheuttama tahmautumisvaurio

Suunnittelussa huomioitavaa:

- Jotta laakerijärjestelmä toimii oikein ja tahmautumisvaurioita ei esiinny, kaikkiin kuula- ja rullalaakereihin on aina kohdistuttava tietty minimikuormitus (→ www.skf.com/bearings).
- Jos minimikuormitusta ei saavuteta, laakerin vierintäelimet voivat liukua koneen käydessä tai akselin pyöriessä. Tämä aiheuttaa kuumentumista ja melua. Erittäin jäykkien rasvojen käyttäminen voi edesauttaa tämän tilanteen muodostumista erityisesti erittäin kylmissä käyttöympäristöissä.

Toimenpiteet:

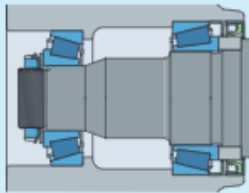
- Ulkoista kuormitusta on lisättävä tai on käytettävä jousikuormituslaitteita.
- On myös mahdollista, että on käytettävä eri laakerityyppiä tai laakeria, jossa on eri laakerivälitys.
- Myös pienemmän laakerin käyttö voi tulla kyseeseen.

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

26



Laakerin säätäminen aiheuttaa liian suuren esijännityksen

Asennuksessa tai kokoamisessa huomioitavaa:

- Laakerijärjestelmän aksiaalivälystä tai esijännitystä säädettäessä säätölaitteen (lukitusmutterin) ylikiristäminen voi johtaa liian suureen esijännitykseen ja käyttölämpötilan nousuun.
- Liian suuri esijännitys lisää myös laakereiden kitkamomenttia. Esimerkki: kartiorullalaakerit tai viistokuulalaakerit, yksi laakeri akselin kummassakin päässä.

Toimenpiteet:

- Kysy valmistajalta ohjeet järjestelmän aksiaalivälkyksen tai esijännityksen asettamiseen.
- Akselin liikkuminen aksiaalisuunnassa säätämisen (sen aikana ja sen) jälkeen voidaan mitata mittakellolla.

27



Kiinteitä epäpuhtauksia pääsee laakeriin ja vierintäpintaan muodostuu painauma

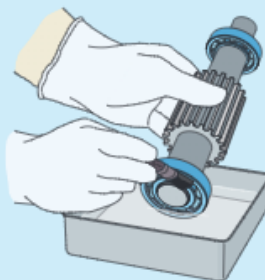
Käytön aikana huomioitavaa:

- Epäpuhtaudet voivat vaurioittaa laakerin vierintäpintoja, mikä aiheuttaa melu- ja värähtelytason kasvamista. Eräissä tapauksissa myös käyttölämpötila voi nousta.

Toimenpiteet:

- Tarkista tiivistejärjestelmä ja totea, onko
 - oikeaa tiivistettä käytetty
 - tiiviste asennettu oikein
 - tiiviste kulunut tai vaurioitunut ja onko voiteluainevuotoja.
- Voiteluväliä on mahdollisesti lyhennettävä. Kun järjestelmään annostellaan useammin pienempi määrä tuoretta rasvaa, likainen rasva pääsee poistumaan laakerista ja laakeripesän aukosta (→ *Jälkivoitelu*, alkaen s. 192).
- Harkitse, kannattaako avoimet laakerit vaihtaa tiivistettyihin.

28



Laakeripesässä on kiinteitä epäpuhtauspartikkeleita valmistuksen tai aiemman laakerivaurion jäljiltä

Puhdistamisessa ja kokoamisessa huomioitavaa asioita sekä tietoja voiteluaineiden puhtaudesta:

- Laakerin vierintäpinnoille voi tulla painaumia, kun kiinteitä epäpuhtauspartikkeleita jää laakeripesään edellisen laakerivaurion jälkeen, muiden osien, kuten hammasrattaiden, kulumisen vuoksi tai voiteluaineen epäpuhtauksien takia.
- Se voi aiheuttaa melu- ja värähtelytason sekä lämpötilan nousua.

Toimenpiteet:

- Poista jäysteet ja varmista, että kaikki koneistetut pinnat ovat tasaisia.
- Puhdista laakeripesä ja kaikki sen sisäpuolella olevat osat huolellisesti ennen uuden laakerin asentamista.
- Varmista, että käytettävä voiteluaine on puhdasta, ja ettei se sisällä epäpuhtauksia. (Rasva-astiat on suljettava ja varastoitava oikein.)

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

29



Nestemäiset epäpuhtaudet alentavat voiteluaineen viskositeettia

- Kokoamisessa ja voitelussa huomioitavaa sekä tietoja tiivistämisestä:
- Nestemäiset epäpuhtaudet alentavat voiteluaineen viskositeettia, mikä voi johtaa metalli-metallikontakteihin laakerin vierintäpinnoilla.
 - Lisäksi se voi aiheuttaa ruosteen muodostumisen laakereiden kosketuspinoille.
 - Nämä tilanteet aiheuttavat lämpötilan ja melutason nousua sekä kiihdyttävät kulumista.

Toimenpiteet:

- Tarkista, että laakeripesän tiivisteet estävät nestemäisien epäpuhtauksien pääsyn laakeripesään riittävän tehokkaasti.
- Voiteluväliä on mahdollisesti lyhennettävä. Kun järjestelmään annostellaan useammin pienempi määrä tuoretta rasvaa, likainen rasva pääsee poistumaan laakerista ja laakeripesän aukosta (→ *Jälkivoitelu*, alkaen s. 192).

30



Sisärenkas pyörii akselilla

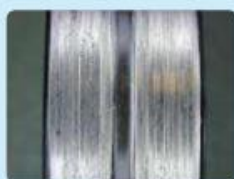
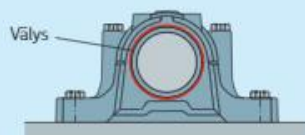
Huomioitavaa sovitteista ja laakerirenkaiden pyörimisestä sovitteilla:

- Useimmissa käyttökohteissa on pyörivä akseli, jossa kuormitus on yksisuuntaista. Tämä tarkoittaa, että sisärenkaalla on pyörivä kuormitus, jolloin akselin sovitteen on oltava tiukka, jotta laakerin ja akselin välistä liikkumista ei tapahdu. Laakereiden suorituskyky riippuu suuresti oikeanlaisen sovitteen käyttämisestä.
- Sisärenkas voi kuitenkin pyöriä akselilla, mikäli se on kulunut tai halkaisijaltaan liian pieni.
- Tämä aiheuttaa melun ja tärinän voimistumista sekä kulumista.

Toimenpiteet:

- Akselisoite on pinnoitettava ja hiottava oikean kokoiseksi (→ *Laakerien säteittäinen aseointi*, alkaen s. 31).

31



Ulkorenkas pyörii laakeripesässä

Kulunut tai halkaisijaltaan liian suuri laakerisija

Huomioitavaa sovitteista ja laakerirenkaiden pyörimisestä sovitteilla:

- Useimmissa käyttökohteissa on kiinteä laakeripesä, jossa kuormitus on yksisuuntaista. Tämä tarkoittaa, että ulkorenkaalla on tasainen kuormitus, ja että useimmissa käyttöolosuhteissa ulkorenkas pysyy paikallaan löysällä sovitteella.
- Ulkorenkas voi kuitenkin pyöriä laakeripesän sovitteella, mikäli sovitte on kulunut tai se on halkaisijaltaan liian suuri.
- Tämä aiheuttaa melun ja tärinän voimistumista sekä kulumista.

Toimenpiteet:

- Laakeripesän sovitte on pinnoitettava ja hiottava oikean kokoiseksi (→ *Laakerien säteittäinen aseointi*, alkaen s. 31).
- Suurissa laakeripesissä sovitte voidaan usein koneistaa läpimitaltaan suuremmaksi ja holkittaa tarvittaessa.

Epäsyyntäinen kuormitus

Huomioitavaa sovitteista ja laakerirenkaiden pyörimisestä sovitteilla:

- Pyörivän epätasapainoilan vallitessa akselilla kuormitus voi aiheuttaa ulkorenkaiden pyörimistä laakerisijoilla, vaikka sovitteet olisivatkin oikeat.

Toimenpiteet:

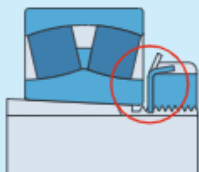
- Poista epätasapaino kohteesta.
- Suorita koneen tasapainotus.

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

32

**Laakerin lukitusmutteri on löysällä akselilla tai kiristysholkilla**

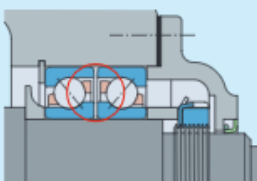
Asennuksessa tai kokoamisessa huomioitavaa:

- Löysällä oleva akselin tai kiristysholkin lukitusmutteri tai varmistinlaatta voi aiheuttaa laakerin irtoamisen laakerisijalta.
- Se voi johtaa sisärenkaan pyörimiseen laakerisijalla.
- Tämä voi lisätä laakerin muodostamaa melua ja lämpöä sekä johtaa laakerin virheeseen.

Toimenpiteet:

- Kiristä lukitusmutteri siten, että laakerin sisärenkas on oikeassa asemassa (ja laakerin sisäinen välys on oikea) (→ *Vierintälaakereiden asentaminen*, alkaen s. 44).
- Varmista, että lukitusmutteri on lukittu asennuksen jälkeen asianmukaisesti esimerkiksi varmistinlaatan kiekkeellä.

33

**Laakeri ei ole tiukasti painettuna viereistä komponenttia tai vastinpintaa vasten**

Asennuksessa tai kokoamisessa huomioitavaa:

- Jos laakeri ei ole asianmukaisesti painettuna viereistä komponenttia tai vastinpintaa vasten, laakerivälitys tai esijännitys ei ehkä ole oikea.
- Tämä tilanne voi aiheuttaa melutason nousua ja heikentää laakerin suorituskykyä.

Esimerkkejä:

- Pari yhteensovitettuja viistokuulalaakereita, joiden otsapinnat eivät ole asianmukaisesti toisiaan vasten.
- Tämä voi kasvattaa laakeriparin aksiaalivälystä, mikä voi johtaa kuulan liukumisen aiheuttamaan vaurioon (tahmautuminen), melutason nousuun ja voiteluongelmiin.
- Lisäksi laakereiden virheellinen asema vaikuttaa akselin asemaan.

Toimenpiteet:

- Varmista, että molemmat laakerit ovat lukittuneena akselin olaketta tai väliholkkia vasten.

**Kulmapyöröstys (pyöröstyssäde) on liian suuri**

Asennuksessa tai kokoamisessa huomioitavaa:

- Jos viereisen komponentin kulmapyöröstys on liian suuri, laakerin tuenta ei ole riittävä.
- Tämä voi johtaa laakerin renkaiden vääntymiseen.
- Laakeri ei saavuta oikeaa sisäistä välystä (esijännitystä).

Toimenpiteet:

- Koneista kulmapyöröstys siten, että tuenta on riittävä.

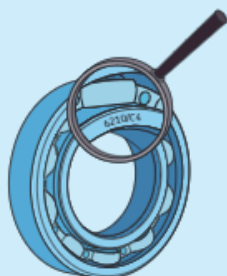


Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

34



Liian suuri säteittäinen tai aksiaalinen sisäinen välys

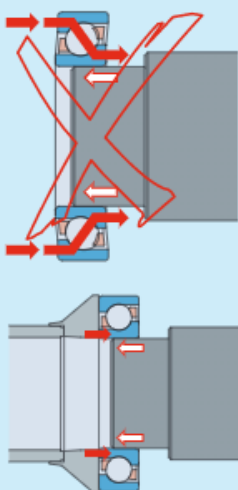
Käytön aikana huomioitavaa:

- Liian suuri säteittäinen tai aksiaalinen laakerivälys voi aiheuttaa melutason nousua, koska vierintäelimet pääsevät pyörimään vapaasti kuormitusalueen ulkopuolella.
- Lisäksi liian suuri välys voi heikentää laakerin suorituskykyä vierintäelimien liukumisen vuoksi.

Toimenpiteet:

- Käyttämällä jousia tai jousialuslevyjä voidaan saada aikaiseksi riittävä aksiaalikuormitus, jotta vierintäelimet pysyvät kuormitettuna koko ajan (tämä koskee yleensä kuulalaakereita).
- Tarkista tarvittava laakerin alkuvälys ja valitse eri välyksellä varustettu laakeri tarvittaessa.

35



Vierintäpinnoissa on osuman tai iskukuormituksen aiheuttamia painaumia (väärä asennustapa)

Suunnittelussa huomioitavaa:

- Useimmat laakerit asennetaan joko akselin tai laakeripesän ahdistussovitteella.

Asennuksessa huomioitavaa:

- Kohdistusta asennusvoima siihen laakerin renkaaseen, jolla ahdistusovite on. Jos asennusvoima kohdistetaan vierintäelimiin, vierintäpintoihin ja -elimiin voi tulla painaumia.
- Vauriot voivat aiheuttaa melu- ja värähtelytason sekä lämpötilan nousua.
- Laakeri todennäköisesti rikkoutuu ennen aikaisesti.

Toimenpiteet:

- Vaihda laakeri.
- Älä koskaan iske mitään laakerin osaa suoraan vasaralla asennuksen aikana. Käytä aina asennusholkia- tai tuunaa.
- Tarkista asennusohjeet ja varmista, ettei asennusvoimaa kohdisteta laakerin vierintäelimiin (→ *Asennus kylmänä*, alkaen s. 53).
- Käytä laakereiden asennustyökalua. (SKF:n laakereiden iskuholkkisarja on erittäin käyttökelpoinen työkalu pienille laakereille.)

36



Vierintäpinnoissa on värähtelyn aiheuttamia jälkiä

Käytön aikana huomioitavaa:

- Vierintäpinnoille voi muodostua värähtelyjälkiä, kun muiden koneiden aiheuttama värähtely kohdistuu laakeriin, joka ei pyöri. Tällainen vaurio muodostuu yleensä kuormitusalueelle. Se voidaan tunnistaa painumista, jotka vastaavat vierintäelimien jakoa.
- Tämä yleinen ongelma aiheuttaa melua koneessa, joka on pysäytetty (esimerkiksi varajärjestelmän kone) lähellä toista, pyörivää konetta pitkän aikaa.

Toimenpiteet:

- Pyöritä pysäytettyä olevan koneen akselia säännöllisesti, jotta värähtelyn vaikutukset ovat mahdollisimman pienet.
- Varsinainen ratkaisu olisi koneen eristäminen värähtelyltä, mutta se ei aina ole mahdollista.
- → *Laakerivauriot ja niiden syyt*, alkaen s. 288.

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

37



Vierintäpinnoilla on materiaalin väsymisen aiheuttamia kuoriutumia

Käytön aikana huomiotavaa:

- Laadukkaiden vierintälaakereiden puhdas materiaalin väsyminen on nykyään harvinaista.
- Väsymisestä aiheutuva kuoriuma on seurausta normaalista poikkeavista käyttöolosuhteista, jotka johtavat rasituksen kasvamiseen laakerissa. Syytä voivat olla linjausvirheet, soikea pesä/akseli tai materiaalivirheet, kuten sulkeumat tai heikkolaatuinen teräs.

Toimenpiteet:

- Käytä vain laadukkaita laakereita.
- Tarkista, onko vaurioituneessa laakerissa merkkejä linjausvirheestä. Suorita linjaus tarvittaessa.
- Tarkista, onko vaurioituneessa laakerissa merkkejä soikeasta pesä- tai akselisoitteesta. Korjaa ja koneista sovitteet tarvittaessa.
- → *Laakerivauriot ja niiden syyt*, alkaen s. 288.

38



Vierintäpinnoilla on materiaalin pinnasta alkaneen väsymisen aiheuttamia kuoriutumia

Käytön aikana huomiotavaa:

- Puutteellinen voitelu johtaa metalli-metallikontakteihin vierintäpinnoilla.
- Mahdollisia syytä ovat muun muassa: liian alhainen viskositeetti käyttölämpötilassa, osien kulumisen aiheuttamat epäpuhtauspartikkelit sekä ulkoisten epäpuhtauksien pääsy järjestelmään.

Toimenpiteet:

- Tarkista voiteluaineen käytönaikainen viskositeetti ja huomioi todelliset käyttöolosuhteet.
- Kulumisen aiheuttamien epäpuhtauspartikkelien vaikutusta voidaan vähentää käyttämällä tiheämpiä voiteluvälejä.
- Tarkista tiivistäjärjestelmän kunto.
- → *Laakerivauriot ja niiden syyt*, alkaen s. 288.



Vierintäpinnoilla on pinnan väsymisen aiheuttamia kuoriumia

Asennuksessa tai käytössä huomiotavaa:

- Pintalähtöisiä vaurioita ovat muun muassa iskun aiheuttamat painaumat, tärinävauriot, veden aiheuttama etsaantuma, epäpuhtauspartikkelien aiheuttamat painaumat sekä sähkövirran kulkeminen laakerin läpi.

Toimenpiteet:

- Määritä vaurion aiheuttaja ja suorita tarvittavat toimenpiteet: estä iskujen kohdistuminen vierintäelimiin asennuksen aikana, estä epäpuhtauksien joutuminen järjestelmään vaihtamalla tiivisteet, maadoita koneet asianmukaisesti jne.
- → *Laakerivauriot ja niiden syyt*, alkaen s. 288.

Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisukoodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

39



Kemiallisten tai nestemäisien epäpuhtauksien (veden, hapon, kaasujen tai muiden korroosiota aiheuttavien aineiden) aiheuttama vierintäpintojen syöpyminen

Seisokin aikana:

- Syöpymistä (korroosiota) tapahtuu, kun kone on pysäytettynä. Tämä on yleisintä rasvavoidelluissa laakereissa.
- Seisontakorrosio (etsaantumät, syöpyvät) ja vauriot ilmenevät yleensä vierintäelimiä kohdalla.

Toimenpiteet:

- Tarkista tiivistejärjestelmä.
- Tehosta tiivistejärjestelmän suojausta asentamalla suoja ja/tai roiskelevy.
- Kun järjestelmään annostellaan useammin pienempi määrä tuoretta rasvaa, liikainen rasva pääsee poistumaan laakerista ja laakeripesän aukosta (→ *Jälkivoitelu*, alkaen s. 192).
- Pyöritä akselia säännöllisesti, jotta seisontakorroosion vaikutukset ovat mahdollisimman pienet.
- → *Laakerivauriot ja niiden syyt*, alkaen s. 288.

40

Vierintäpinoissa ja/tai -elimissä on mikrokuoriumia

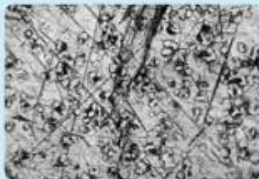
Käytön aikana:

- Vierintäpintojen mikrokuoriutumat johtuvat joko korroosiota aiheuttavista epäpuhtauksista tai sähkön läpivirtauksesta (sähköisestä eroosiosta).
- Aiheuttajasta riippumatta tuloksena on melu- ja värähtelytason nousu.

Toimenpiteet:

- → Ratkaisukoodit 39 ja 41.
- → *Laakerivauriot ja niiden syyt*, alkaen s. 288.

41



Vierintäpinoissa ja/tai -elimissä on mikrokraattereita

Käytön aikana:

- Vuotovirrat (sähköinen eroosio) eli laakerin läpi kulkeva sähköpurkaus voi aiheuttaa pienten kraattereiden muodostumisen vierintäpinnalle. Kraatterit ovat niin pieniä, että niiden erottaminen paljaalla silmällä on vaikeaa. SKF-sähköpurkausdetektorit auttaa havaitsemaan koneissa olevan purkausvirran. Detektoria voidaan käyttää koskettamatta mitattavaa kohdetta.

Toimenpiteet:

- Suurennusalue 500–1 000 x auttaa havaitsemaan vierintäpintojen kraatterit.
- → *Laakerivauriot ja niiden syyt*, alkaen s. 288.

Pyykkilautakuvio

Käytön aikana:

- Pyykkilautakuvion muodostuminen vierintäpinoille on yleensä sähkön läpivirtauksen aiheuttama toissijainen vaurio.
- Eräissä tapauksissa pinnoilla voi olla käytönaikaisen värähtelyn seurauksena pyykkilautakuvio.
- Laakerin läpi kulkeva sähköpurkaus voi aiheutua maadoitusongelmasta, taajuusmuuttajasta, kaapeloinnista, moottorin rakenteesta tai käytettävistä koneista.

Toimenpiteet:

- Varmista, että koneet on maadoitettu oikein.
- Mikäli asianmukainen maadoitus ei ratkaise ongelmaa, ratkaisuvaihtoehtoja ovat eristepinnoitetut INSOCOAT-laakerit, keraamisilla vierintäelimiä varustetut hybridilaakerit sekä eristysholkin käyttäminen laakeripesän reiässä.
- → *Laakerivauriot ja niiden syyt*, alkaen s. 288.

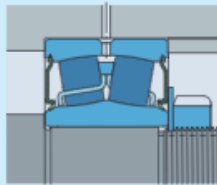


Vikatilanteet ja niiden korjaaminen

Ratkaisu-
koodi

Vaurio / käytännön korjaustoimenpiteet

42



Lukituslevyn kielekkeet ovat taipuneet ja ne osuvat laakerin pitimeen tai tiivisteisiin

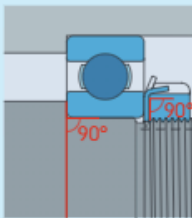
Asennuksessa tai kokoamisessa huomioitavaa:

- Eräissä lukituslevyissä on taivutettavat kielekkeet, jotka voivat rikkoa laakerin pitimen tai tiivisteet, aiheuttaa melua sekä kiihdyttää kulumista ja vaurioiden syntymistä.
- Käytettyjen lukituslevyjen lukituskieleke tai pyörimisen estävä kieleke voi olla vaurioitunut siten, että sitä ei voida havaita silmällä. Tällainen kieleke voi vaurioitua käytön aikana.

Toimenpiteet:

- Älä koskaan käytä lukituslevyjä tai muttereita uudelleen.
- Huomaa, että KMFE-lukitusmuttereissa on sisäänrakennettu välirengas, joka estää tällaiset vauriot. Vaihtoehtoisesti laakerin ja lukitusmutterin väliin voidaan asettaa välirengas.

43



Akselin ja/tai laakeripesän olakkeet vinossa laakerisijaan nähden

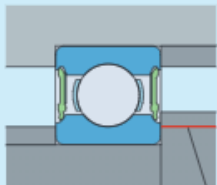
Huomioitavaa koneistetuista olakkeista asennuksen ja kokoamisen aikana:

- Vinossa olevat akselin ja/tai laakeripesän olakkeet voivat vääntää laakerin renkaita, mikä lisää laakerin kirkkamomenttia ja muodostaa lämpöä.
- → Ratkaisukoodit 19 ja 20.

Toimenpiteet:

- Koneista osat kohtisuoriksi.

44



Oikea korkeus

Akselin olake on liian korkea (halkaisija), mikä rikko tiivisteet/suojalevyt

Huomioitavaa koneistetuista olakkeista asennuksen aikana tai käytössä:

- Jos olake on liian korkea (halkaisija), se voi rikkoa tiivisteet/suojalevyt.

Toimenpiteet:

- Tarkista, että olakkeen halkaisija vastaa suosituksia, jotka ovat osoitteessa www.skf.com/bearings.
- Koneista akselin olake siten, että se ei osu tiivisteisiin/suojalevyihin.

Liite 2.

Käyttöohje: Tagarno-videomikroskooppi

1. Ohjeen sisältö

Tämä käyttöohje on tarkoitettu Tagarno-videomikroskoopin käyttäjälle. Tagarno-videomikroskooppia tulisi käyttää aina tämän käyttöohjeen mukaisesti.

Käyttöohje sisältää tietoa Tagarno-videomikroskoopin perusominaisuuksista sekä ohjeet videomikroskoopin käyttämisestä. Tästä eteenpäin ohjeessa käsitellään Tagarno-videomikroskooppia pelkästään nimellä Tagarno.

2. Yleistä Tagarnon käytöstä

Tagarno päällä pidetään läpinäkyvää suojahuppua, kun se ei ole käytössä. Suojahappu pitäisi olla edellisen käytön jäljiltä ohjeen mukaisesti videomikroskoopin päällä.

Tagarno ja Tagarnon monitori pysyvät niille määritetyissä paikoissa, ellei toisin mainita.

Tagarnon käsittely ja puhtaus

Tagarno käyttäessä on tärkeää, että työpöytä, tutkittavat osat sekä mahdolliset muut työvälineet ovat puhtaita. Mikäli tutkittavat osat ovat vielä likaisia, käy puhdistamassa ne tehtaan puolella.

Sekä Tagarno käyttäessä, että linssiä vaihtaessa on tärkeää, että käyttäjän käsistä ei aiheudu tahroja tai muita jälkiä Tagarnoon. Linssiä tai osia vaihtaessa on huomioitava oikeiden työkalujen käyttäminen. Ruuvit tulee kiristää niin, etteivät ne vahingoita runkoa, mutta ovat tarpeeksi tiukasti kiristetty. Näin osat eivät pääse putoamaan kesken käytön.

Tagarno tulee varastoida aina läpinäkyvän suojahupun kanssa.

3. Käyttöönotto

3.1. Ohjaussäätimet

Tagarnossa on kaksi eri säädintä. Toinen säädin on tarkoitettu Tagarnon kameran sekä eri ominaisuuksien säätämiseen (Kuva 1.). Toinen säädin on tarkoitettu Tagarnon valon säätämiseen (Kuva 2.).

3.1.1 Kameran ja ominaisuuksien säätäminen



Kuva 1. Kameran ja ominaisuuksien säädin.

Ohjaussäätimessä on keskellä harmaa painike, joka toimii valintanäppäimenä. Painamalla harmaata painiketta pohjassa 2 sekuntia pääsee Tagarnon asetuksiin.

Harmaan painikkeen ympärillä olevilla nuolipainikkeilla navigoidaan Tagarnon-asetuksissa.

Keskipainikkeen vasemmalla puolella olevalla painikkeella saa monitoriin näkyviin mittausasteikon. Painikkeen alapuolella on laatikon kuva.

Keskipainikkeen oikealla puolella olevalla painikkeella saa kohdistuslaserin käyttöön. Huomioithan, että Laser ei toimi kaikilla linssimalleilla. Tagarnon valon saa päälle/pois painamalla painiketta pohjassa parin sekunnin ajan.

Keskipainikkeen alapuolella ovat Zoom in (+) ja Zoom out (-) painikkeet. Näillä painikkeilla voi manuaalisesti säätää videomikroskooppiin haluttua zoomia, joko lähemmäksi tai kauemmaksi.

Oikealla ylhäällä olevalla kamerapainikkeella (kameran kuva) voidaan ottaa kuvia kuvattavasta kohteesta.

Kamerapainikkeen vieressä on P-painike, jota painamalla pääsee Tagarnon esiasetusvalikkoon. Esiasetusvalikko voi olla valmiiksi tallennettuja profiileja edistyneille Tagarnon käyttäjille.

3.1.2 Valon hienosäädin



Kuva 2. Valon hienosäädin.

Valoa ja sen hienosäädintä voi käyttää tarvittaessa. Tagarnoa käynnistäessä se on automaattisesti pois päältä. Virtanappia painamalla pohjaan saa valon päälle.

Valaisimessa on kolme eri säätöä. Ylin säädin säätää valon voimakkuutta. Keskimmäinen säädin säätää kuinka monta lediä valosta on käytössä. Alin säädin säätää mistä suunnasta varjo tulee valosta.

Valoa tulee käyttää, jos huoneen valaistus ei yksinään riitä kuvan ottamiseen tai huoneen valaistus heijastaa kuvattavan kappaleen kiiltävältä pinnalta liikaa valoa.

3.2. Käynnistäminen



Kuva 3. Tagarnon työpöytä kokonaisuudessaan.

Tarkista, että Tagarno sekä monitorointinäytön virtajohdot ovat pistorasioissa kiinni. Jos johdot eivät ole kiinni, laita ne. Poista suojahuppu Tagarnon päältä ennen käyttöä.

Ennen käynnistämistä mahdollisten kuvien ottamista varten tarkista, että Tagarnossa on sen oma USB-muistitikku valmiina kiinni. USB-muistitikulta kuvat voidaan siirtää ABB:n työtietokoneelle. USB-portit löytyvät Tagarnon takaosasta.

Käynnistä Tagarno painamalla virtanappia kerran pohjaan asti. Virtanappi löytyy Tagarnon varren päältä. Tagarno yhdistyy käynnissä olevaan monitorin automaattisesti. Seuraa monitorista, että Tagarno on ladannut itsensä käyttöä varten.

Kun Tagarno on ladannut itsensä valmiiksi, nosta Tagarnon varren korkeutta niin, että tutkittava kappale mahtuu reilusti linssin alle. Nosta tai laske Tagarnon varren korkeutta sopivalle tasolle tukemalla molemmilla käsillä Tagarnon vartta ja vetämällä kuvan 4. lukitusvipua molemmilla peukaloilla itseesi päin.



Kuva 4. Videomikroskoopin varsi ja lukitusvipu (musta)

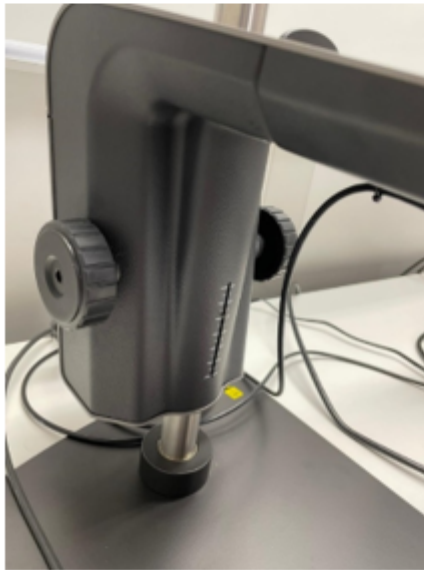
© Copyright 2022 ABB. All rights reserved.

Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden.

Tutkittavan kappaleen ollessa linssin alla, paina ohjaussäätimestä (kuva 1) harmaata ympyrän muotoista painiketta pohjassa, kunnes monitorin näytölle ilmestyy sovellusvalikko. Painike löytyy ohjaimen keskeltä. Navigoi harmaan painikkeen reunoilla olevilla nuolipainikkeilla kaksi kertaa alaspäin, jolloin saat valittua "optimal working distance". Valitse kyseinen sovellus painamalla kerran uudestaan harmaata painiketta.

Seuraavaksi sovellus pyytää säätämään linssin 78 mm päähän kuvattavasta kappaleesta. Säädä karkea korkeus nostamalla tai laskemalla Tagarnoa kuten aikaisemmin, kunnes kuva näyttää tarkentuvan.

Kun haluttu karkea korkeus on saatu säädettyä, käytetään Tagarnon hienosäätö korkeuden säädintä (kuva 5). Ennen säätämistä katso, että hienosäätimen asteikko on keskiasennossa. Säädä korkeutta rullaamalla joko myötä- tai vastapäivään rungon reunoilla olevia rullasäätimiä (kuva 3) ja katso monitorista, milloin kuva on tarkentunut teräväksi. Kun kuva on terävä, valitse sovelluksesta "OK" painamalla ohjaimen harmaata painiketta kerran.



Kuva 5. Videomikroskoopin hienosäädön rullasäätimet.

Seuraavaksi Tagarno zoomaa kuvan todella lähelle. Hienosäätimien avulla säädä kuva uudelleen tarkaksi. Kun kuva on tarkka, valitse uudestaan sovelluksesta "OK" painamalla ohjaimen harmaata painiketta kerran.

Optimaalinen etäisyys työskentelylle on nyt saatu säädettyä ja tutkittavaa kappaletta voidaan tarkastella.

3.3. Sammuttaminen

Tagarno tulee sammuttaa joka kerta seuraavalla tavalla:

Paina harmaata valintapainiketta pohjassa, jotta pääset Tagarnon asetuksiin. Navigoi kaikista oikeanpuoleiseen valikkoryhmään, jossa on vaihtoehtoina "Power Off" ja "Exit". Navigoi "Power Off" vaihtoehtoon ja paina harmaata valinta painiketta.

Tagarno sammuu seuraavaksi. Tarkista, että hienosäätimen asteikko on keskiasennossa ja aseta suojahuppu takaisin Tagarnon päälle.

3.4. Valokuvien ottaminen

Tagarnolla voi ottaa kuvattavasta kohteesta valokuvan. Valokuvaaminen tapahtuu seuraavanlaisesti:
Asettele kuvattava kohde haluamallasi tavalla ja käytä Zoomia tarpeen mukaan. Paina kamerapainiketta ja monitoriin ilmestyy ikkuna, kun kuva on tallennettu USB-muistitikulle.

Kun olet ottanut haluamasi kuvat, sammuta Tagarno ohjeiden mukaisesti ja poista USB-muistitikku Tagarnosta. Tagarnon USB-muistitikku tulee käyttää ainoastaan ABB:n työtietokoneissa. Avaa muistitikun tiedot tietokoneella ja siirrä ottamasi kuva haluamaasi kansioon. Poista ottamasi kuvat muistitikulta siirron jälkeen.

Poista muistitikku turvallisesti tietokoneesta ja kiinnitä USB-muistitikku takaisin Tagarnon monitorin taakse.