

Johan Keränen

**KÄYTTÖOHJEIDEN TEKEMINEN LIUKULAAKEREIDEN
TUTKIMUSLAITTEISTOLLE**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2016**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Kokkola	Aika Maaliskuu 2016	Tekijä/tekijät Johan Keränen
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn nimi Käyttöohjeiden teko liukulaakereiden tutkimuslaitteistolle		
Työn ohjaaja Mika Kumara	Sivumäärä 23+2	
Työelämäohjaaja Mika Kumara		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua ja tehdä selvät käyttöohjeet Centria-ammattikorkeakoulun tekniikan yksikköön hankitusta Bently Nevada Rotor Kit RK-4 + Oil Whirl/Whip kit -laitteesta. Opinnäytetyö tehtiin ammattikorkeakoulun ehdotuksesta.</p> <p>Työ alkoi kuvaamalla laitetta ja tutustumalla siihen. Tämän jälkeen otettiin yhteyttä laitteen toimittajaan, joka lähetti oheismateriaalia käyttöohjeita varten. Kartoittaessa käyttöohjeiden lopullista muotoa tehtiin jatkuvaa käännoistyötä sekä laitteen toimintakunnon varmistamista käynnissäpidon laboratoriosta käsin.</p>		

Asiasanat

Käyttöohje, Liukulaakeri, Kunnossapito

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Kokkola	Date March 2016	Author Johan Keränen
Degree programme Machine- and production engineering		
Name of thesis Making of the operation manual for slide bearing research equipment		
Instructor Mika Kumara	Pages 23+2	
Supervisor Mika Kumara		
<p>The purpose of this thesis was to get familiar with and make a clear operation manual for Bently Nevada Rotor Kit RK-4+Oil Whirl/Whip kit bought for Centria's technical unit. The provider for this thesis was my own university of applied sciences.</p> <p>I started the work by describing the device and getting familiar with it. After that I contacted the device supplier and they delivered me additional material to work with. As I was mapping out the final form of the operation manual, I did constant translation from the material provided and securing the workability of the rotor kit within the operation and maintenance laboratory.</p>		

Key words

Operation manual, slide bearing, Turbine

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 TYÖN TILAAJA & LAITTEEN TOIMITTAJA.....	2
3 LAAKERIT	3
3.1 Liukulaakerit	3
3.2 Liukulaakerin rakenne	4
3.3 Liukulaakerin voiteluperiaate.....	4
3.4 Liukulaakerin voitelujärjestelmät	5
4 LIUKULAAKEREIDEN KUNNONVALVONTA	6
4.1 Syitä kunnonvalvontaan	6
4.2 Suureet	7
4.3 Värähtely.....	7
4.4 Öljykalvon kantokyvyn muodostuminen.....	8
4.5 Öljykalvon pyörteily	9
4.6 Ominaispyörteily	10
5 LIUKULAAKERIN VIOITTUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	11
5.1 Resonanssi.....	11
5.2 Roottorin hankaus.....	12
5.3 Kulumis- ja välilyöngelmat	12
5.4 Kavitaatioeroosio.....	12
5.5 Riittämätön voitelu.....	12
5.6 Akselin epäsymmetrinen lämpeneminen	13
6 VÄRÄHTELYVALVONTA	14
6.1 Siirtymäanturit.....	15
6.2 Bently Nevada Rotor Kit RK-4.....	16
6.3 Oil whirl/whip kit	17
7 OHJEEN MUODOSTAMINEN	18
7.1 Ohjeen sisällön rajausta.....	18
7.2 Käyttöohje-standardi.....	18
7.3 Laitteeseen tutustuminen.....	19
7.4 Muu materiaali	19
7.5 Käyttöohjeiden tekeminen.....	19
8 YHTEENVETO	20
LÄHTEET	21
LIITTEET	23

KUVIOT

KUVIO 1. Yleiset laakerityypit	3
KUVIO 2. Itsevoiteleva liukulaakeri	4
KUVIO 3. Värähtelyn voimakkuuden vaikutus kunnossapitoon.....	6
KUVIO 4. Värähtelyn suureet	7
KUVIO 5. Nopeusspektrin muodostuminen	8
KUVIO 6. Öljykiilan periaate	9
KUVIO 7. Liukulaakerin toimintaperiaate	10
KUVIO 8. Öljykalvon pyörteilyssä oleva akselin ratakäyrä ja värähtelyjen aaltomuodot.....	11
KUVIO 9. Siirtymäanturi.....	12
KUVIO 10. Roottoripakki osineen	15
KUVIO 11. Oil whirl/whip-pakki	16

1 JOHDANTO

Centria-ammattikorkeakoulussa Kokkolassa oli vuodesta 2007 lähtien ollut käyttämätön liukulaakereiden värähtelyjen tutkimislaite Bently Nevada Rotor Kit RK-4 + Oil Whirl/Whip kit. Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia laitetta perinpohjaisesti ja tehdä sille selvät käyttöohjeet. Laite tarkoitettiin alun perin käytettäväksi käynnissäpidon värähtelyn mittaukseen tutkimus- ja koulutuslaboratorioon. Laitteen toimittajana oli GE Energy/Bently Nevada Finland ja se hankittiin koululle 2007.

Työ koostui aineiston kokoamisesta, laitteen testauksista sekä käännostöistä. Suurin apu työhön saatiin GE Energyn toimittamasta aineistosta. Opinnäytetyön tuloksena muodostuivat käyttöohjeet, joiden avulla laitetta voidaan ajaa oikeaoppisesti

2 TYÖN TILAAJA & LAITTEEN TOIMITTAJA

Opinnäytetyön tilaaja oli Centria-ammattikorkeakoulu, ja laitteen toimittaja GE Energy/Bently Nevada. GE Energy (Nykyinen GE Energy Measurement & Controls) oli ainoa toimittaja, joka pystyi tarjoamaan halutun laitteen Centria-ammattikorkeakoulun opetuskäyttöön.

Centria-ammattikorkeakoulu toimii Keski-Pohjanmaalla, Pohjanmaalla sekä Pohjois-Pohjanmaalla keskuksinaan Kokkolan, Ylivieskan ja Pietarsaaren kaupungit. Centria-amk on perustettu vuonna 1995. Opiskelijoita vuonna 2014 oli yhteensä 3220. Tarjoaa mm. tekniikan, liiketalouden sekä humanistisia koulutusaloja (Centria-ammattikorkeakoulu 2016.)

Bently Nevada on kunnonvalvontainstrumentteihin erikoistunut yritys, joka tarjoaa palveluja sensoreihin, järjestelmiin sekä koneiden värinän valvontaan liittyen. Bently Nevada oli yksityisomistuksessa vuosien 1961–2002 ajan, jonka aikana se oli pioneeritekijä pyörrevirtaläheisyysanturissa. Yritys teki myös merkittävää tutkimusta mm. roottoridynamiikan saralla. Bently Nevada liitettiin osaksi GE Energyä vuonna 2012, ja he jatkavat tuotteiden suunnittelua, valmistusta, markkinointia ja palveluitaan käyttäen Bently Nevadan nimeä. (GE Measurement & Control 2016.)

Yritys on toiminut General Electricin nimellä Suomessa vuodesta 1990, jolloin GE osti unkarilaisen Tungstramin. Syyskuussa 2003 Euroopan komissio hyväksyi yrityskaupan Instrumentariumista, samaan aikaan GE:n liiketoiminta keskitettiin Helsinkiin. Tänä päivänä GE työllistää Suomessa lähes 700 työntekijää, joista pääosa työskentelee Helsingin päätoimipisteessä. GE:n liiketoiminta-alueista Suomessa toimii GE Lighting, GE Capital, GE Energy Connections, GE Oil & Gas jonka toimialaan opinnäytetyön aihe kuuluu, sekä GE Power. (General Electric 2016.)

3 LAAKERIT

Laakerit ovat koneenelimiä, joiden avulla sallitaan akselin pyörivä liike kannatusrakenteessa. Laakeri tehtävänä on siis tukea ja ohjata akselia tai muuta pyörivää laitetta ja kantaa koneen tai laitteen toiminnasta aiheutuva kuormitus. Laakereilta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia koneen rakenteen, toiminnan ja käyttöolojen mukaan. Laakerit ovat yleensä kahta päätyyppiä: liukulaakereita tai vierintälaakereita. Nämä eroavat toisistaan siten, että liukulaakerin akselin ja laakeriaineen pinnat liukuvat toisiaan vasten, kun taas vierintälaakerin laakerirenkaiden välissä on vierivä osa, mm. kuula tai rulla. Laakerit vaativat aina voitelua. (Ansaharju 2009, 135.)



KUVIO 1. Yleiset laakerityypit (Laakeriteam 2016)

3.1 Liukulaakerit

Kehitys on johtanut siihen, että monet kohteet jotka käyttivät ennen liukulaakereita, käyttävät nyt vierintälaakereita. Liukulaakerit omaavat silti selviä etuja vierintälaakereihin nähden, jonka takia niitä käytetään erittäinkin vaativissa kohteissa. Esimerkiksi liukulaakeri voidaan asentaa puolikkaina, joten se voidaan saada asennetuksi paikkoihin mihin vierintälaakeria on vaikea saada. Liukulaakereita voidaan valmistaa omakätisesti, mistä voi olla hyötyä erityistapauksissa. (Ansaharju 2009,135.)



KUVIO 2. Itsevoiteleva liukulaakeri (Kentso 2016)

3.2 Liukulaakerin rakenne

Liukulaakerin rakenne kuormitussuuntaisesti voi olla joko säteislaakeri tai aksiaalilaakeri. Säteislaakeri on yleisin liukulaakerityypeistä. On hyvin yleistä käyttää rakennetta, jossa koneen runkoon tai muuhun vastaavaan on tehty reikä laakerimetalliholkille, jossa akseli tai tappi pyörii. Aksiaalilaakeri on usein samaan rakenteeseen koneistettu laippa, jota vasten akselin olake liukuu. Laippa siis ottaa vastaan akselin suuntaisen kuormituksen. (Ansaharju 2009,136.)

3.3 Liukulaakerin voiteluperiaate

Liukulaakeroinnissa akseli ja laakerin sisäpinta liukuvat toisiinsa nähden aiheuttaen hankauskitkaa. Tätä kitkaa vähennetään käyttämällä sopivaa laakerimetallia, sekä voiteluainetta näiden pintojen välissä. Liukulaakereiden osalta voidaan kitkalajeja löytää 3 erilaista, jotka ovat:

- **Kuivakitka.** Syntyy, kun laite on pysähdyksissä tai juuri käynnistymässä, joten laakerin ja akselin välille syntyy pelkkä metallikosketus. Akseli sijaitsee silloin laakerin pohjaa vasten, voiteluainetta ei sijaitse näiden pintojen välissä. Kuluminen tässä tilanteessa on erittäin suurta.
- **Sekakitka.** Akselin pyörimisnopeuden kasvaessa voiteluainetta jää laakerin ja akselin väliin, jolloin akseli nousee laakerin pinnalta. Öljykalvo on silti epätäydellinen ja osittaista metallikosketusta löytyy.
- **Nestekitka.** Pyörimisnopeuden ollessa riittävän suuri voiteluaine muodostaa kantavan öljykalvon laakeripintojen väliin ja akseli pyörii lähestulkoon laakerin keskiössä. Tässä vaiheessa metallikosketusta ei ole, eikä laakeri sen vuoksi kulu. Laakerointiin on muodostunut nestekitka. Nestekitka on siis haluttu tila laakerissa, joka saavutetaan riittävällä voiteluaineen syötöllä siten että öljykalvo voi muodostua. Voiteluaine syötetään voitelu-uria pitkin laakeriin sen kuormattomalta puolelta. (Ansaharju 2009, 140.)

3.4 Liukulaakerin voitelujärjestelmät

Liukulaakerit käyttävät yleensä rasva- tai öljyvoitelua. Voitelutyypin valinta riippuu täysin koneen tai laitteen teknisistä vaatimuksista, rakenteesta, kuormituksesta ja pyörimisnopeudesta. On olemassa myös erikoislaakereita, jotka eivät vaadi voitelua lainkaan, vaan niiden pinnoitteet ovat itsestään liukuvia.

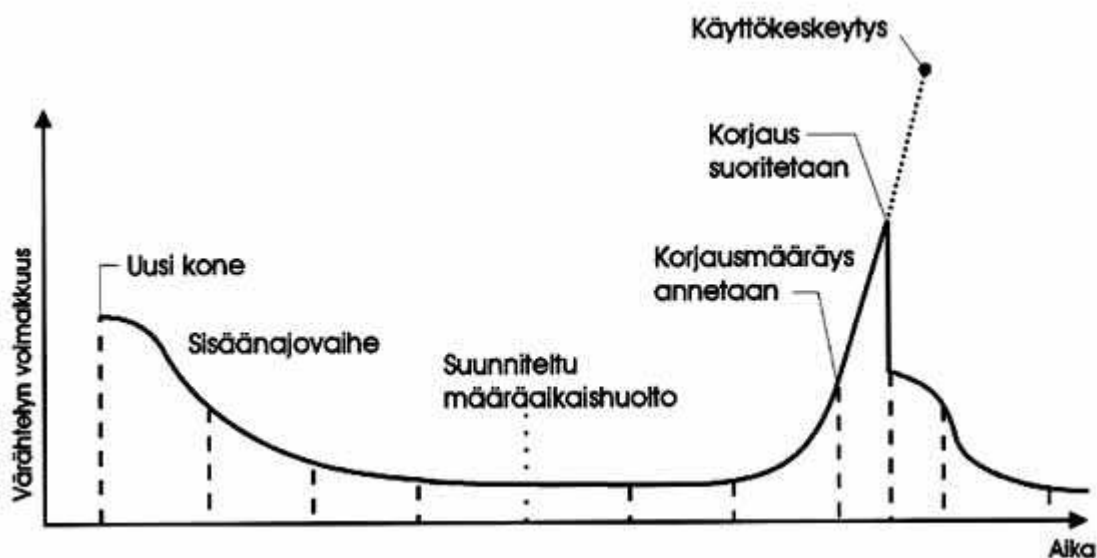
- **Rasvavoitelu.** Rasvaa käytetään voitelussa usein, kun pyörimisnopeudet sekä kuormitukset ovat pieniä. Laakerista ulos tunkeutuva rasva muodostaa laakerille suojakerroksen esim. lialta, pölyltä ja nesteiltä. Rasvavoitelussa laakerin käyntilämpötila tulisi kohota enintään 60 °C:een, sillä muuten rasvan voitelukyky heikkenee.
- **Öljyvoitelu.** Öljyvoitelua käytetään yleisesti ottaen nopeasti pyörivissä koneissa ja laitteissa ja kun kuormitukset ovat suuria. Voitelu on useasti öljypumpun avulla toimivaa kiertovoitelua, jossa pumppu kierrättää öljyn putkistoa pitkin laakereihin ylimääräisen öljyn valuessa takaisin säiliöön. Öljy siis jäähdyyttää voitelun lisäksi. Rengasvoitelussa akselilla on oma voitelurengas, joka pyöriessään kuljettaa öljyä akselin yläpinnalle, josta öljy valuu voitelu-uraa pitkin laakeriin. Rengasvoitelu on yleistä rakenteissa, joissa on vaakasuorassa sijaitsevat laakeripesät. (Ansaharju 2009, 141.)

4 LIUKULAAKEREIDEN KUNNONVALVONTA

Teollisuuden kunnonvalvonta sekä eritoten värähtelymittaukset ovat muodostuneet suureksi osaksi teollisuuden kunnossapitoa. Useat tuotantolaitokset ovat todenneet kunnonvalvonnan vaikuttavan myönteisesti koneiden käyttöasteisiin ja toiminnan kannattavuuteen yleensä. Suurena tekijänä tässä on tietokoneavusteinen kunnonvalvonta, minkä avulla tuotantolaitoksen koneiden kunto on ajan tasalla jatkuvasti. (Johdanto kunnonvalvontaan 2016.)

4.1 Syitä kunnonvalvontaan

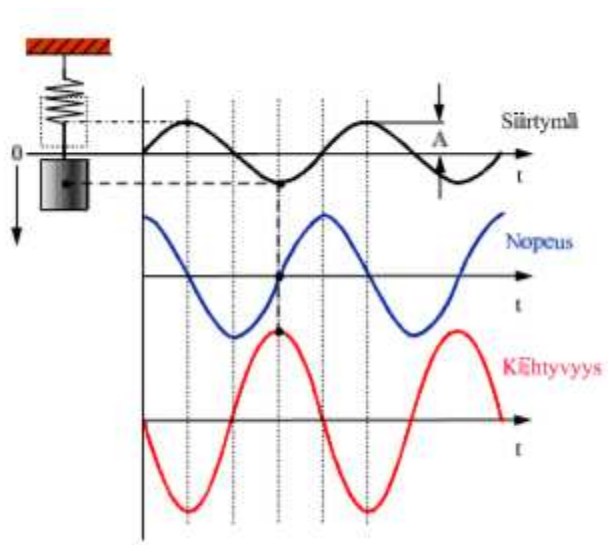
Ohjaamalla resursseja mittaustoimintaan miestyötunteina sekä pääomana, saadaan aikaan suurehkoja säästöjä tuotantolaitoksen kulueriltä. Oikeaoppinen kunnonvalvonta vähentää siis odottamattomia seisokkeja, välttää turhia koneiden avaamisia, vähentää varaosavaraa, sekä lyhentää suunniteltuja seisokkeja. Aiemmin kunnonvalvontaa suoritettiin aistihavaintojen perusteilla mm. kokeilemalla koneenosien lämpöä käsin tai kuuntelemalla laakereita puukepin avulla. Lopputuotteiden laadusta voitiin päätellä tuotantokoneiden kuntosuhteen. Näitä tapoja täydentämään ovat tulleet uudet mittaussuunnitelmat lähinnä uusien mittalaitteiden muodossa. (Johdanto kunnonvalvontaan 2016.)



KUVIO 3. Värähtelyn voimakkuuden vaikutus kunnossapitoon (Kunnossapidon toiminnot ennen vian ilmenemistä 2016.)

4.2 Suureet

Koneiden värähtelyä mitataan kolmena eri suureena, jotka ovat siirtymä (poikkeama), nopeus ja kiihtyvyys. Näitä suureita voidaan derivoida tai integroida, ja samoin on mahdollista myös saada uusia suureita, kuten kiihtyvyyden derivaatat. Värähtelyn mittaus siirtymänä kertoo pääkohteen sijainnin suhteessa vertailupisteeseen. Mittaus nopeutena taas ilmaisee kappaleen kulkeman siirtymän tietyn ajan kuluttua. Viimeisenä mittaus kiihtyvyytenä kertoo kappaleen nopeuden muutoksen tietyn ajan kuluessa. Näille kaikille mittaussuureille on omat anturit. Ne eroavat rakenteellisesti sekä toimintaperiaatteeltaan toisistaan selkeästi. (Nohynek & Lumme, 2004, 45.)

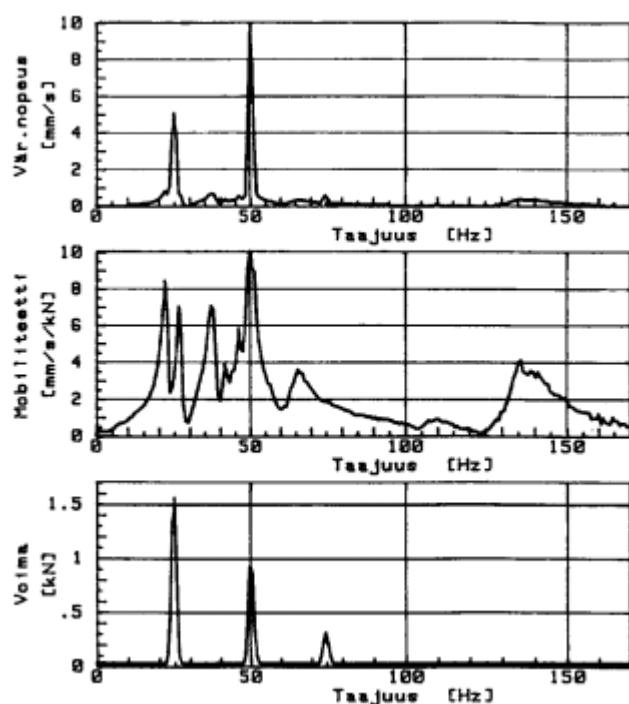


KUVIO 4. Värähtelyn suureet (Mukaiillen Villanen & Luukkanen, 1998)

4.3 Värähtely

Pyörivät laitteet värähtelevät käydessään. Rakenteen värähtelyä aiheuttavia voimia kutsutaan herätteiksi. Dynaamiset voimat toimivat herätteinä, jotka voivat aiheutua laitteen normaalista toiminnasta, erilaisista valmistuksen tai asennuksen epätarkkuuksista sekä vikaantumisista. Hyvänä esimerkkinä normaalin käynnin herätteistä toimii polttomoottoreissa tapahtuvat räjähdykset. Yleisimmät epätarkkuudet ja viat, jotka toimivat herätteinä värähtelyssä, ovat mm. epätasapaino ja valmistuksen tai asennuksen epätarkkuudet. Värähtelyä mitataan yleensä laitteen rungossa. Herätteen yleensä aiheuttaa liikkuva koneenosa, kuten roottori, mäntä tai akseli, josta sitä ei suoranaisesti voi mitata

Vianmääritys värähtelymittauksissa perustuu herätteiden ja eritoten niiden muutosten selvittämiseen. Voimakas värähtely voi aiheutua koneen suuresta liikkuvuudesta jollakin herätevoimataajuudella voimien ollessa suhteellisen pieniä. Tähän liittyy ominaistajuudesta johtuva resonanssi-ilmiö, jossa ominaistuustajuudet ilmaantuvat paikallisina huippuina liikkuvuuskäyrässä. Kuvassa 5 havainnollistetaan nopeusspektrin muodostumista, kun heräte on tunnettu voima ja pisteen dynaaminen liikkuvuus on tiedossa. (Mikkonen, 2009, 224.)



KUVIO 5. Nopeusspektrin muodostuminen (PSK 5708, 2003)

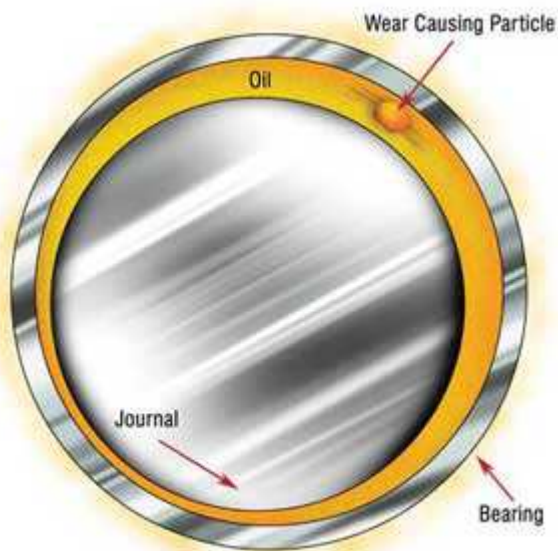
Pyörivissä koneissa voi esiintyä itseherätteistä värähtelyä, kun akseliin vaikuttaa rakenteen sisäinen tangentialinen voima suunnan ollessa sama kuin akselin kieppumisen suunta. Tämä voima siis vaikuttaa liikkeen suuntaan kasvattaen sitä, kunnes rakenteen epälineaarisuuksien tuoma lisävaimennus stabiloi sen johonkin tasoon.

Itseherätteisiä värähtelymekanismeja pyörivissä koneissa on useita, joista yleisimpiä ovat hydrodynaamisten liukulaakereiden öljykalvon pyörteily ja ominaispyörteily. Liukulaakereissa voi esiintyä itseherätteistä värähtelyä silloinkin, kun akseli hankaa laakeriin tai johonkin muuhun pyörimättömään osaan. (Villanen & Luukkanen, 1998, 6.)

4.4 Öljykalvon kantokyvyn muodostuminen

Akselin pyöriessä hydrodynaamisesti voidellussa laakerissa se vetää mukaansa voiteluöljyä, joka voitelee ja jäähdyttää laakeria. Laakerinpintojen välissä sijaitsevaan voiteluöljyyn muodostuu

hydrodynaaminen paine, joka samalla kannattelee akselia öljyn puristuessa kiilamaiseen rakoon. Tämä rako syntyy, kun pyörimisliike sekä yhdistetty radiaalinen voima kohdistuu akseliin. Nämä kaksi tekijää pakottavat akselin keskipisteen siirtymään pois laakerin keskipisteestä. Tämän kyseisen akselin keskipisteen poikkeaman suuruutta kutsutaan epäkeskisyydeksi. Tämän ilmiön suuruuteen vaikuttaa mm. radiaalivoiman suuruus, laakerin mitat, pyörimisnopeus. (Villanen & Luukkanen 1998, 6.)

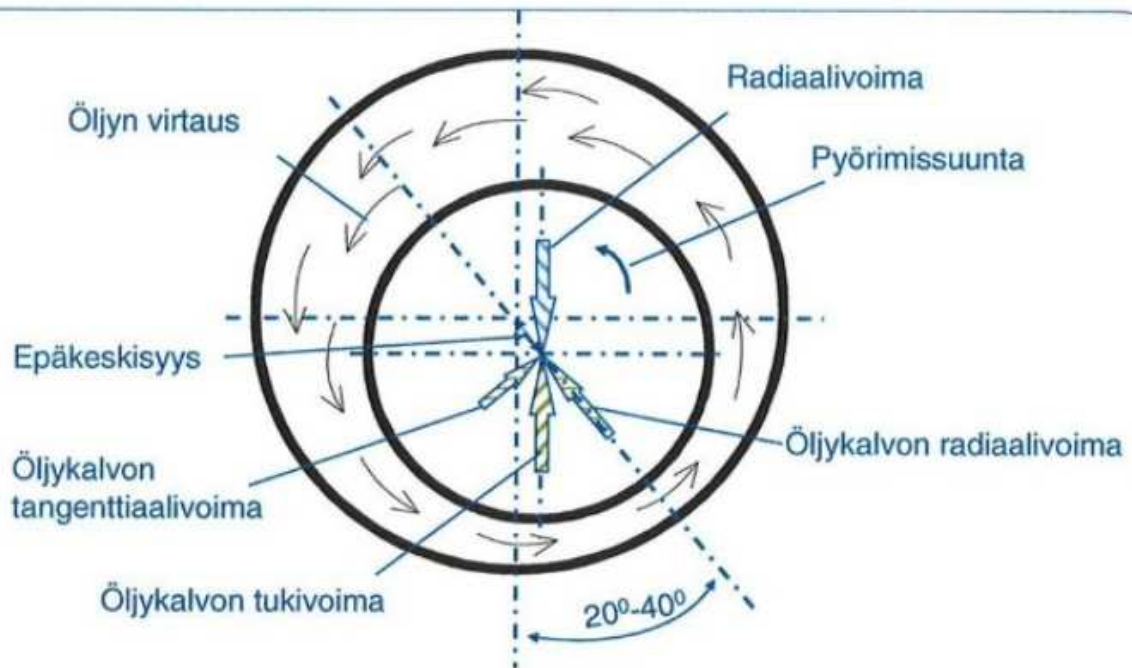


KUVIO 6. Öljykiilan periaate (Machinery Lubrication 2016)

4.5 Öljykalvon pyörteily

Öljykalvon pyörteilyn syntymekanismeja on useita, jossa toisella puolella järjestelmä on stabiili ja toisella puolella ei. Häiriövoiman kohdistuessa akseliin se siirtyy tasapainoasemastaan. Siirtymä aiheuttaa hydrodynaamisen paineen, joka omaa tangentialikomponentin. Nämä alkavat työntämään akselia. Radiaalivoiman ja epäkeskisyyden ollessa pieniä akseli ei pala tasapainoasemaansa, vaan ryhtyy kieppumaan öljyn keskimääräisellä kulmanopeudella pyörimissuuntaan. Radiaalivoiman ja epäkeskisyyden ollessa suuria, ei öljykalvon pyörteilyä esiinny normaalin pyörimisnopeuden alueella. (Villanen & Luukkanen 1998, 6-7.). Ilmiö on erittäin vaarallinen, sillä öljykalvon pyörteily voi johtaa liukupintojen kosketukseen. Pyörteilyn voimakkuuteen vaikutetaan muuttamalla öljyn viskositeettia, painetta, laakerin kuormitusta tai rakennetta. (Mikkonen 2009, 317.)

Liukulaakerin toimintaperiaate



KUVIO 7. Liukulaakerin toimintaperiaate (Villanen & Luukkanen 1998.)

4.6 Ominaispyörteily

Akselin pyörimistaajuuden kasvaessa hieman yli kaksinkertaisesti roottorin taivutusominaistaajuuden, tapahtuu öljykalvon pyörteilyn muutos ominaispyörteilyksi. Näin värähtelyn amplitudi kasvaa erittäin suureksi. Ominaispyörteilyn aikana taajuus on sama kuin roottorin ominaistaajuus sen ollessa lähes vakio. Voidaankin sanoa, että öljykalvon pyörteilyssä roottorin värähtely on jäykkää, ominaispyörteilyssä värähtely on pikemminkin taipunutta. (Villanen & Luukkanen 1998, 7.)

5 LIUKULAAKERIN VIOITTUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Lähtökohtaisesti jokaisessa laitteessa on valmistusepäätarkkuuksien vuoksi epätasapainoa jonkin verran. Yleisimmät syyt epätasapainoon ovat:

- Epätasainen likaantuminen
- Kiinnittyneen massan irtoaminen
- Epätasainen kuluminen
- Irronneet tasapainotusmassat
- Siiven katkeaminen
- Jännitysten laukeaminen
- Riittämätön tasapainotus
- Hydrauliset voimat juoksupyörässä
- Aerodynaamiset voimat siipipyörässä

Epätasapainon kehitys voi olla myös vaihtelevaa. Hyvänä esimerkkinä toimii likaantumisen aiheuttama epätasapaino, se voi hetkellisesti jopa laskea tasapainotilan tilapäisesti parantuessa. Epätasapainon aiheuttama voima kasvaa pyörimisnopeuden neliön funktiona. Pyörimistaajuudella sijaitsevan värähtelyn voimakkuus on täysin verrannollinen epätasavoimaan. Värähtelyn voimakkuuteen vaikuttavat suurentavat, tai pienentävät rakenteen ominaisuudet.

Epätasapainoisen koneen laakerista mitattujen pysty- ja vaakasuuntaisten värähtelyjen pyörimistaajuuden vaihe-ero on yleensä 90° astetta. Kahden eri laakerin vaihe-ero tehtyjen vaakasuuntaisten mittausten välillä on kutakuinkin yhtä suuri kuin pystysuunnassa. (PSK 5707, 2011.)

5.1 Resonanssi

Resonanssi on värähtelyn voimakkuutta lisäävää, lähellä rakenteen ominaistaajuutta ilmenevää herätteen taajuutta. Resonanssitaajuudessa värähtelyn voimakkuus saavuttaa huippuarvonsa, vaihekulman muutos tällöin 90° astetta. Resonoidessa kyseessä olevan rakenne on äärimmäisen herkkä ulkopuolisille herätteille. Resonanssin aiheuttamat viat ovat vahvasti kytköksissä pyörimisnopeuteen. Tämä vika voidaan poistaa muuttamalla pyörimistaajuutta tai rakenteen ominaisuuksia. (PSK 5707, 2011.)

5.2 Roottorin hankaus

Roottorin hankauksen aiheuttaa koneen osien väärä kokoonpano, väärä lämmitystapa tai linjausvirhe. Hankaus on joko osittaista tai jatkuvaa kierroksen aikana aiheuttaen yleensä taajuuskomponentteja, jotka taas voivat herättää useita ominaistajuuksia. Pyörimistaajuuden aliharmoniset komponentit esiintyvät useasti, niiden määrä on riippuvainen roottorin ominaistajuuksista. On myös mahdollista, että roottorin hankaus aiheuttaa yleensä pyörimissuuntaan nähden vastakkaista värähtelyä, jota voidaan havainnoida akselin ratakäyrästä. Tässä tapauksessa akselin asema poikkeaa normaalista. (PSK 5707, 2011.)

5.3 Kulumis- ja välysongelmat

Kulumisen kehittyminen liukulaakerissa johtaa pyörimiskertojen ja aliharmonisten komponenttien kasvuun. Akselin aseman muutos on arvioitavissa kulumisen johdosta, tämä taas näkyy värähtelyspektrissä kohonneena kohinatasona. (PSK 5707, 2011.)

5.4 Kavitaatioeroosio

Öljyn kaasuuntuminen paineen laskiessa hetkellisesti aiheuttaa ilmiön nimeltä kavitaatio. Kun paine nousee uudelleen ja kaasukuplat romahtavat, laakerimetallin pintaan kohdistuu iskumaista kuormitusta, josta aiheutuu eroosiokuoppia. Kavitoinnin syntyyn vaikuttavia tekijöitä on monia, kuten voiteluöljyn paine, lämpötila sekä öljyn vesipitoisuus. (Villanen & Luukkanen 1998, 4.)

5.5 Riittämätön voitelu

Riittämättömän voitelun syitä on kovin monta. Pääasialliset syyt ovat:

- Pieni tuotantokyky
- Pieni öljyputken halkaisija
- Laakerin virheellinen suunnittelu
- Tukkeutunut suodatin
- Öljyn syötön keskeytyminen

Voitelemattomuus voi aiheuttaa hankaustiloja, ylikuumentumista, sulamista ja väsymismurtumia tai pahimmillaan kiinnileikkauksen. (Villanen & Luukkanen 1998, 5.)

5.6 Akselin epäsymmetrinen lämpeneminen

Epäsymmetristä lämpenemistä tapahtuu koneen käynnistysvirheiden yhteydessä, missä koneen akseli taipuu. Yleisimpänä syynä voidaan pitää akselitiivisteiden osittaista hankautumista. Tämä ilmiö on yleisintä liukulaakeroiduissa koneissa, jotka ovat nopeasti pyöriviä. Kyseessä on erittäin vakava ilmiö, jonka vakavuusastetta on vaikea arvioida sen oireiden kehittymisestä. Tämän vian tunnusmerkkinä voidaan pitää pyörimistaajudella tapahtuvaa värähtelytason ja vaihekulman jatkuvaa muuttumista. (Mikkonen 2009, 318–319.)

6 VÄRÄHTELYVALVONTA

Värähtelyvalvonta liukulaakereissa koostuu viiden perusominaisuuden tarkastelusta jotka ovat:

- Värähtelyn tunnusluvut eritaajuusalueilla
- Vaihekulma
- Spektri
- Aikatason signaalin aaltomuoto ja akselin ratakäyrä
- Akselin asema laakerissa

Tarkkailtavat tunnusluvut on määritetty koneen rakennetietojen ja ennakoitujen vikaantumismuotojen perusteella tapauskohtaisesti. Alati kehittyvän vian paikantaminen perustuu erilaisten vikojen aiheuttamiin värähtelysignaalin muutoksiin.

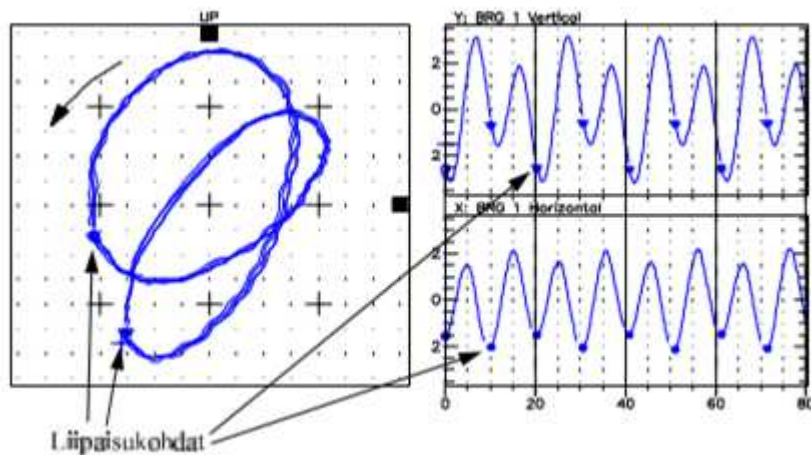
Tunnuslukuvalvonnassa tarkkaillaan värähtelysignaalin aikatasosta tai spektristä laskettua tunnuslukua.

Vaihekulman valvonta on kriittisimpiä tunnuslukuja kunnonvalvonnassa ja diagnostiikassa.

Vaihekulmaa tarkkailemalla voidaan saada selville esimerkiksi, resonanssit ja linjausvirheet

Värähtelyn spektri on yleinen menetelmä vikojen tunnistamiseen. Viat aiheuttavat omaa erityistä värähtelyään eri taajuuksilla. Nämä kyseiset vikataajuudet ovat yhdistettävissä konetietoihin joiden avulla vikaantunut komponentti kyetään tunnistamaan ja sitä kautta vikaantumisen kehittymistä voidaan seurata.

Ratakäyrät ilmaisevat akselin keskipisteen laakerin sisällä. Ratakäyrää voidaan tulkita taajuuskomponenttien kanssa tai ilman. Ratakäyrää käytetään mm. linjaustilan, kiinniottojen ilmaantuessa, epästabiiileissa värähtelyissä sekä epätasapainon tulkitsemiseen. Ratakäyrä on soikea tai ympyränmuotoinen normaalitilanteessa. Suuret kuormat voivat tehdä ratakäyrästä puolikuun tai kahdeksikon muotoisen. Tämä poikkeuksellinen muoto aiheutuu yleensä tapahtuneesta linjausvirheestä laakereissa.



KUVIO 8. Öljykalvon pyörteilyssä oleva akselin ratakäyrä ja värähtelyjen aaltomuodot (Villanen & Luukkanen 1998)

Akselin aseman valvonnassa vertailuarvo saadaan tilanteesta, jossa akseli on laakerin pohjalla. Kun kierrosluku kasvaa ja öljykalvo muodostuu, akseli nousee ylös laakerin pohjalta ja täten siirtyy laakerin keskilinjasta. Staattiset radiaalivoimat kuten linjausvirheet ja lämpötilanmuutokset vaikuttavat akselin asemaan laakerissa. Eli akselin aseman jatkuvalla tarkkailulla havaitaan staattisten radiaalivoimien tuomat muutokset. (Villanen & Luukkanen 1998, 9-10.)

6.1 Siirtymäanturit

Siirtymäanturi on tyypillisesti pyörrevirta-anturi, jonka avulla mitataan läheltä kiinnityskohdan ja mitattavan kohteen keskinäistä liikettä. Yleisin käyttökohde näillä antureilla on liukulaakeroitujen koneiden kunnonvalvonnassa jossa antureiden ollessa kiinnitettyinä laakerikuoreen, ne mittaavat akselivärähtelyä.

Siirtymäanturin toiminta perustuu sen päässä olevan kelan muodostamaan magneettikenttään, joka indusoi pyörrevirtoja kohtaamaansa ferromagneettiseen pintaan. Kyseiset pyörrevirrat aiheuttavat muutoksia anturin päässä olevaan kelan jännitteeseen. Kun anturin ja kosketuspinnan etäisyys muuttuu, aiheutuu muutoksia pyörrevirtoihin pinnassa ja siten anturin kelan jännitteeseen. Tämä muutos saadaan anturista ulos jännitteenä, joka kertoo anturin ja mitattavan pisteen etäisyyden. Siirtymäanturilla voidaan myös mm. mitata pinnanmuodon muutoksia, asemaa sekä akselin ratakäyriä. (Nohynek & Lumme 2004, 47–49.)



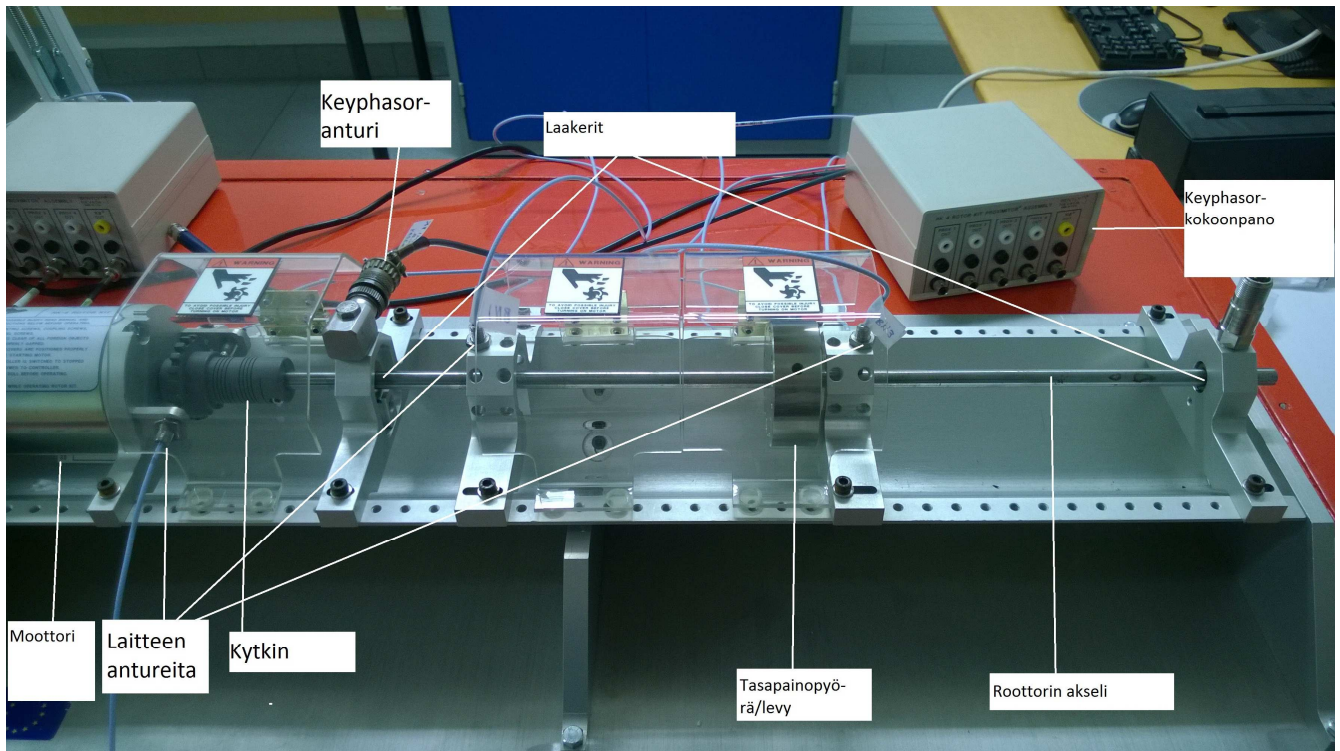
KUVIO 9. Siirtymäanturi (Elkome 2016.)

6.2 Bently Nevada Rotor Kit RK-4

Käyttöohjeen kohteena oli Bently Nevadan roottoripakki, jolla pystyy simuloimaan useita sivusuuntaisia akselivärähtelyjä, joita todellisissa koneissa ja laitteissa esiintyy. Seuraavanlaisia värähtelyominaisuuksia voidaan simuloida roottoripakille:

- Roottorin pyörimisnopeutta
- Roottorin jäykkyyttä
- Taipumiskulmaa
- Akselin hankaus- tai lyöntitilaa
- Roottori-laakeri suhteita
- Akselin kallistusta

Roottoripakki mittaa näitä ilmiöitä siirtymäantureilla, ja signaalien tarkkailu onnistuu käyttämällä oskilloskooppia tai muita vastaavia laitteita.



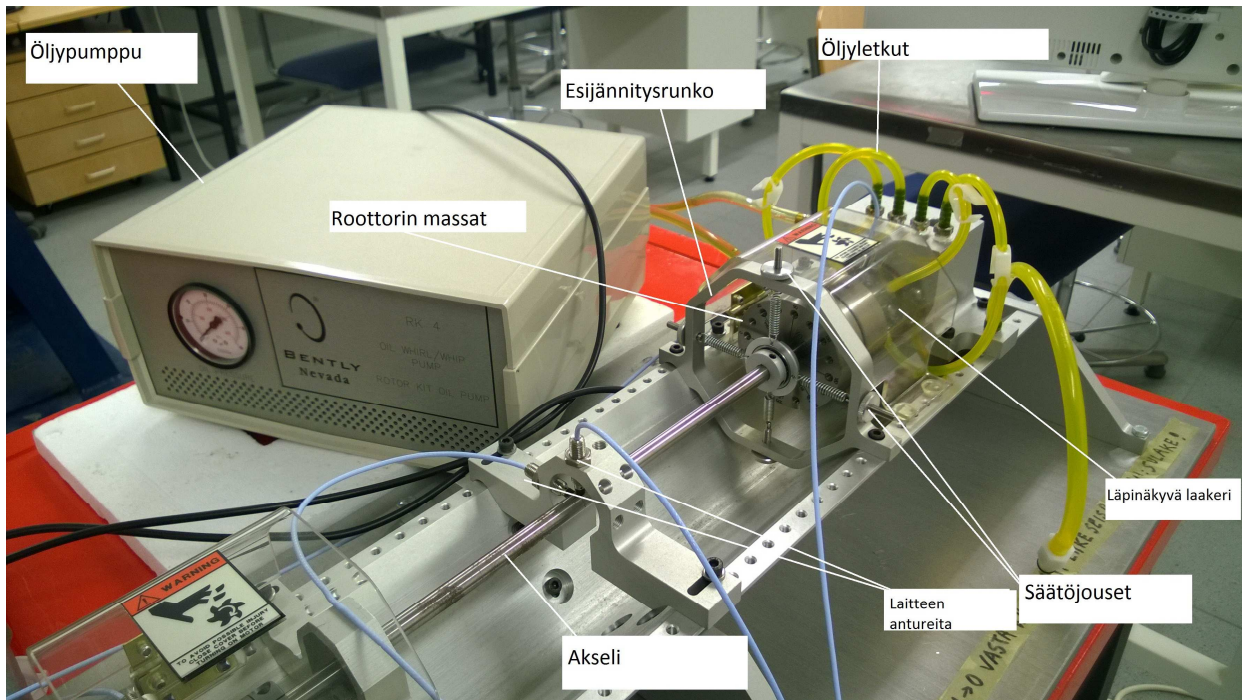
KUVIO 10. Roottoripakki osineen (Mukaillen RK4 Manual)

6.3 Oil whirl/whip kit

Lisälaitteena roottoripakin kanssa Centria-ammattikorkeakoulussa oli Oil whirl/whip- pakki, jolla kyetään havainnollistamaan nesteiden aiheuttamaa epätasapainoa, sekä tavallista laakerin käyttäytymistä.

Öljypakin laitteistoon kuuluu:

- Öljykalvon pyörteilyakseli
- Läpinäkyvä öljypyörteilylaakeri
- Painemittarilla varustettu öljypumppukokoonpano
- Esikuormarunko



KUVIO 11. Oil whirl/whip-pakki (Mukaiillen Oil whirl/whip kit-manual)

7 OHJEEN MUODOSTAMINEN

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli tehdä selkeät ja toimivat käyttöohjeet Centria-ammattikorkeakoulussa sijaitsevaan roottoripakkiin. Työhön minulle annettiin vapaat kädet ilman minkäänlaisia rajoituksia, joten sain tehdä käyttöohjeet täysin haluamallani tavalla.

7.1 Ohjeen sisällön rajaus

Käyttöohjeiden tekoon ei annettu minkäänlaisia alustavia rajoitteita. Käyttöohjeet on rajattu käytännön syistä itse laitteen käynnistykseen ja käyttöön, eikä asennukseen tai muihin yksityiskohtiin.

7.2 Käyttöohje-standardi

Valmistajan tulee toimittaa koneen mukana käyttö- ja huolto-ohjeet. Suomessa käyttöohjeiden on oltava suomen ja ruotsin kielellä. Poikkeuksena voivat olla sellaiset suuret koneet, joiden asennuspaikka tiedetään etukäteen. Lähtökohtaisesti turvallisuusohjeiden tulisi sisältää seuraavat tiedot:

- Koneen asentaminen käyttökuntoon
- Koneen turvallinen käyttö
- Tarkastusohjeet
- Käsittely- ja kuljetusohjeet

- Koneen paikalleen asentaminen
- Kokoonpano, purkaminen
- Kunnossapito (säätö, huolto, korjaukset)
- Perehdyttämisohjeet
- Tarpeen vaatiessa olennaiset tiedot sellaisista työkaluista, jotka voidaan asentaa koneeseen
- Tarvittaessa koneen kielletyt käyttötavat.

Käyttöohjeiden tulisi myös sisältää tiedot koneen melupäästöistä, sekä mahdollisista värinäistä käsikäyttöisten koneiden tai liikkuvien työkoneiden osalta. Koneiden turvallisuuden perustuessa ensisijaisesti käyttäjästä riippumattomiin teknisiin ratkaisuihin, myös käyttöohjeet ovat tärkeitä turvallisuuden kannalta. Käyttöohjeiden sisällön tulee olla sellainen, että koneen turvallinen ja oikeaoppinen käyttö on mahdollista. Käyttöohjeiden kielloilla ja ohjeilla ei ole mahdollista korvata mahdollisia teknisiä turvallisuuspuutteita koneessa. (Siirilä & Kerttula 2009, 20-202.)

7.3 Laitteeseen tutustuminen

Roottoripakkiin tutustuminen oli tärkeää käyttöohjeiden kannalta, laitteeseen sai helpommin ”otteen” ja sitä kautta toimintojen ymmärtäminen oli huomattavasti helpompaa. Roottoripakki oli laboratoriossa useita vuosia käyttämättömänä joten roottoripakki ei ollut täysin käyttövalmiina, vaan se vaati tarkistustöitä ennen käynnistystä. Tarkistustyöt sisälsivät lähinnä johtojen ja liitäntöjen tarkastamista sekä liittelyä. Kuitenkin kaikki tarpeelliset osat löytyivät ja koekäynnistys onnistui roottoripakin kuin sen lisälaitteen suhteen.

7.4 Muu materiaali

Laitteen toimittaja oli erittäin avulias ja yhteistyökykyinen opinnäytetyön kannalta. Oheismateriaalia itse laitteeseen ja sen lisäosaan löytyi riittävästi, ja niiden avulla käännoistyö ja käyttöohjeiden teko onnistui melko vaivattomasti. Oheismateriaali ja omat kokemukset toimivat erittäin suuressa osassa käyttöohjeiden kannalta, sillä koulullamme ei ollut ainuttakaan laitteen osajaa antamassa apua tai neuvoja opinnäytetyötä varten.

7.5 Käyttöohjeiden tekeminen

Työ koostui pääosin laitteen maahantuojan lähettämän oheismateriaalin kääntämisestä, sekä laitteen omakätisestä tarkastelusta Centrian laboratoriossa. Itsessään käyttöohjeiden varsinainen kääntäminen ja kirjoittaminen vaativat yllättävän paljon aikaa. Kääntämistyö oli hetkittäin jopa raastavaa vaikeiden teknisten termien vuoksi.

8 YHTEENVETO

Työn pääasiallinen tavoite oli tehdä käyttöohjeet Centria-ammattikorkeakoulun omistamaan liukulaakereiden tutkimuslaitteistoon. Työ koostui pitkälti käännöstoista, laitteen toiminnan opettelemisesta sekä teorian kokoamisesta opinnäytetyötä varten.

Lopputuloksena saatiin valmiiksi riittävän selvät ohjeet laitteen käynnistystä ja käyttöä varten, asennuksen ja laitespesifikaatiot rajattiin pitkälti käyttöohjekäännöksistä pois. Opinnäytetyö oli erittäin kiinnostava ja opettavainen kokemus käyttöohjeiden laatimisesta tutkimuslaitteistoon. Lisäksi opinnäytetyö syvensi osaamistani liukulaakereista, värinöistä ja kunnossapidosta huomattavan paljon.

LÄHTEET

- Ansaharju T, 2009, koneenasennus ja kunnossapito, 1 painos, WSOY Oppimateriaalit Oy. Viitattu 29.1.2016.
- Centria-ammattikorkeakoulu 2016. Saatavissa: <http://web.centria.fi/esittely/profiloituminen>. Viitattu 4.2.2016.
- Elkome 2016. Saatavissa: <http://shop.elkome.com/anturit/lvdt-anturit/in-085-non-contacting-displ-sensor-with-plug-connector.html#!prettyPhoto>. Viitattu 4.3.2016.
- GE Measurement & Control 2016. Saatavissa: <https://www.gemeasurement.com>. Viitattu 4.2.2016.
- General Electric 2016. Saatavissa: <http://www.ge.com/fi/company/ge-en-finland>. Viitattu 29.2.2016.
- Kunnossapidon toiminnot ennen vian ilmenemistä. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_23_kunnossapidon_toiminnot_ennen_vian_ilmenemista.html. Viitattu 1.2.2016.
- Johdanto kunnonvalvontaan 2016. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html. Viitattu 1.2.2016.
- Värähtelymittaukset 2016. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k2_varahtelymittaukset.html. Viitattu 1.2.2016.
- Kentso 2016. Saatavissa: <http://www.kentso.fi/prebeo/group/laipalliset-liukulaakerit/itsevoitelevat-liukulaakerit/252>. Viitattu 4.3.2016.
- Laakeriteam 2016. Saatavissa: <http://www.laakeriteam.fi/fi/Laakerit-8.html>. Viitattu 4.3.2016.
- Machinery lubrication 2016. Saatavissa: <http://www.machinerylubrication.com/Read/518/motor-oils>. Viitattu 4.3.2016.
- Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Käsikirja. Kerava: KP-Media Oy.
- Nohynek, P & Lumme. 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2., täydennetty painos. Hamina: KP-Media Oy.
- PSK 5707. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Vianmääritys. 5 painos. Viitattu 3.3.2016.
- PSK 5708. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Rakenteelliset värähtelyominaisuudet. 2.painos.
- Siirilä,T & Kerttula,T. 2009. Koneturvallisuuden perusteet. 2.,päivitetty painos. Opiks-Tiimi Oy.

Tutkimuslaitteiston käsikirja. Rk 4-manual. 2002.

Tutkimuslaitteiston käsikirja. Oil whirl/whip kit-manual. 2002.

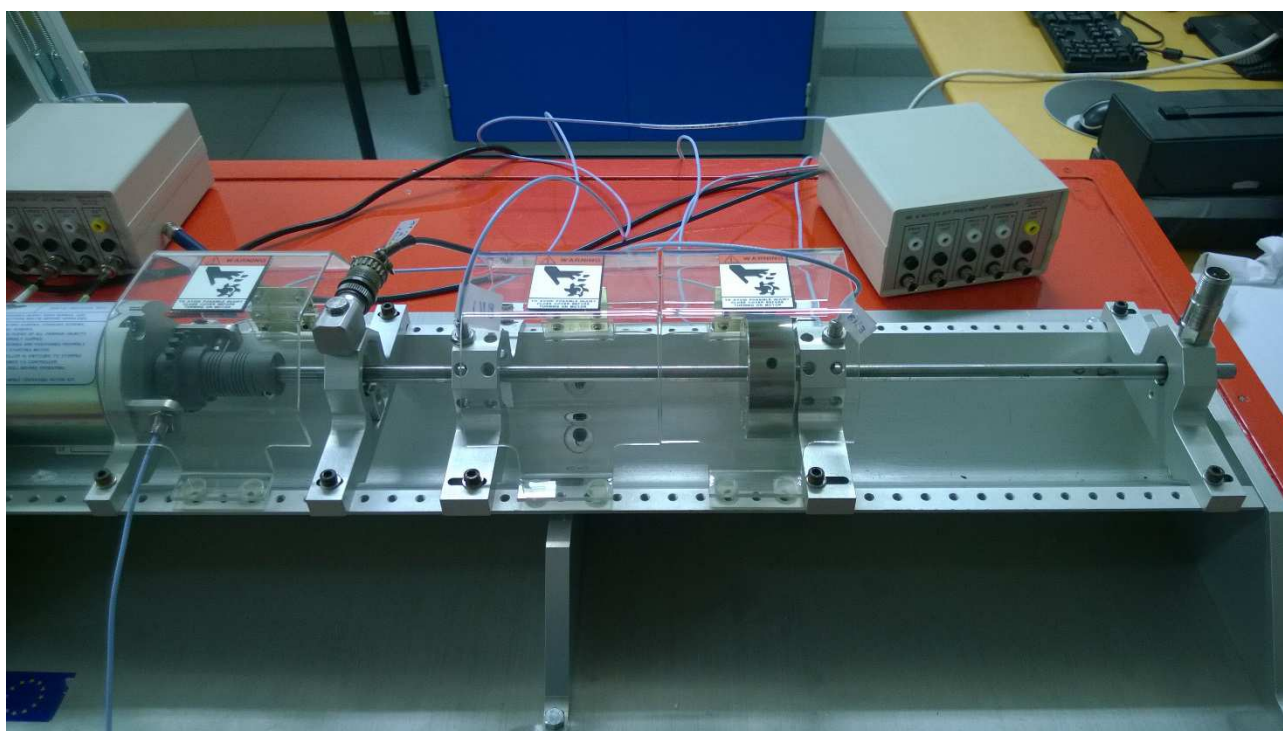
Villanen & Luukkanen 1998. Liukulaakerin kunnonvalvonta. Kunnossapito-lehden nro 2 erikoisliite. Viitattu 8.2.2016.

LIITTEET

Liite 1. Käyttöohje RK 4 – Rotor Kitille

Liite 2. Käyttöohje RK 4 – Rotor kitin lisälaitteelle Oil Whirl/Oil Whip

Käyttöohje RK4-Rotor Kitille



Sisällysluettelo

1.Yleiskuvaus.....	4
1.1 Roottori/Öljypakin spesifikaatiot ja tilaustiedot.....	4
1.2 Öljykalvon pyörteily/ominaispyörteily- vaihtoehto	5
2. Toiminta.....	5
2.1 Roottoripakin komponentit.....	5
2.2 Roottori ja alustarakenne.....	5
2.3 Moottori- ja moottorinnopeuden säätö	6
2.4 Ulkoinen syöttö.....	8
2.5 Läheisyysanturit ja Proximitor-kokoonpano	8
3. Roottoripakin demonstraatiot	10
3.1 Massan epätasapaino, yhden tasopinnan konfiguraatio.	10
3.2 Esijännitystila.....	11
3.3 Hankaustila.....	11
3.4 Massan epätasapaino, useamman pinnan asetus	12
4. Laitteen huolto.....	13

VAROITUS!

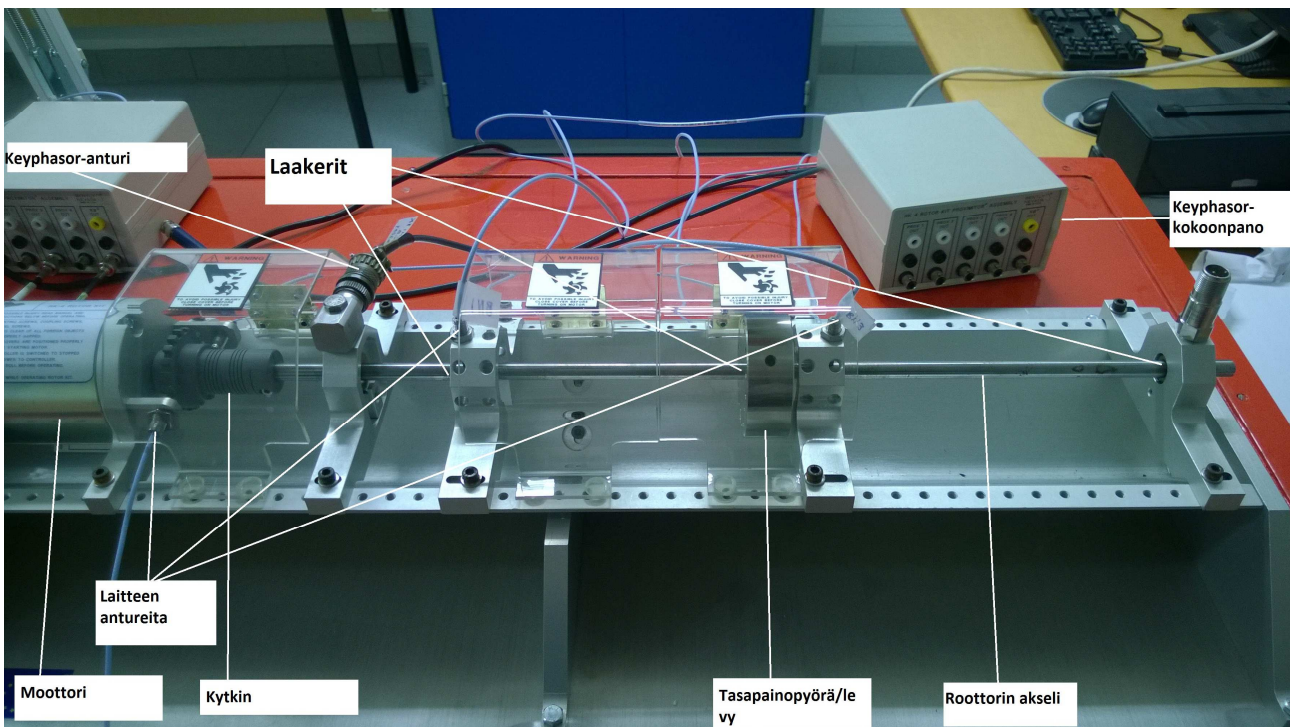
- Voimajohtojen tulee olla oikeaoppisesti maadoitettu
- Ennen jokaista käyttöä ja eritoten ennen päivän ensimmäistä käyttöä kiristä kaikki ruuvit, koettimet ja mutterit. Tarkkaile myös kytkennän kiinnitysruuveja ja säätöruuveja. Varmista, että roottoripakki on asennettu oikeaoppisesti työasemaan kiinni
- Älä koskaan laita roottoripakkia minkään välineen päälle. Varmista, että sinulla on aina tarvittava tila työaseman päällä, jotta pakki voidaan siihen turvallisesti asentaa.
- Varmista, että mm. hiuksesi, kravattisi, korusi jne. eivät tartu liikkuviin osiin
- Älä kallista roottoria enempää kuin 3 gramman verran
- Asenna tasapainopunnukset (säätöruuvit) siten, että ne eivät työnny ulos massapinnasta
- Älä koske mihinkään liikkuvaan osaan ajon aikana. Älä koskaan yritä pysäyttää roottoria käsin.
- Käytä turvasuojuksia kaiken aikaa
- Käytä turvalaseja suojataksesi itsesi mahdollisilta roottoripakista lentäviltä roskilta
- Älä käytä roottoripakin komponentteja tai lisätarvikkeita koneturvan sovelluksiin
- Käytä pelkästään toimitettua kaapelia yhdistääksesi moottorin ohjaimen moottoriin.

YLEISKUVAUS

Bently Nevadan roottoripakki on monipuolinen ja pöytäkoon malli pyörivästä koneesta, joka simuloi useamman kategorian sivusuuntaista akselivärinää kopiomalla niitä aiheuttavia ilmiöitä löydettyinä suurista pyörivistä koneista. Erilaisia värinäominaisuuksia voi havaita muuttamalla:

- Roottorin nopeutta
- Roottorin jäykkyyttä
- Epäbalanssin kulmaa ja määrää
- Akselin hankaus- tai lyöntitilaa
- Roottori-laakerisuhteita
- Akselin kallistusta

Roottoripakki mittaa näitä ilmiöitä pyörrevirta- eli siirtymäantureilla. Signaalien tarkkailu onnistuu käyttämällä oskilloskooppia tai muita vastaavia laitteita. Kuva 1 näyttää roottoripakin pääkomponentit. Seuraavat osat näyttävät vaihtoehtoisia roottoripakin toimintoja värinäilmiöihin, kuten pyörteily/ominaispyörteily- vaihtoehdon ja irtonaisten osien pyörinnän.



KUVIO 1. Roottoripakin osat

Roottori/Öljypakin spesifikaatiot ja tilaustiedot

Viittaa roottoripakin tiedostoon osoitteessa <http://www.ge-mcs.com/download/test-and-calibration-equipment/141592.pdf> spesifikaatioiden ja tilaustietojen varalta.

1.2 Öljykalvon pyörteily/ominaispyörteily- vaihtoehto

Nesteiden aiheuttamat epävakaaisuudet, sekä liukulaakerin kulumiskäyttäytymistä voidaan demonstroida käyttämällä pyörteily/ominaispyörteilypakkaa. Öljypyörteen laakeri on tehty läpinäkyvästä muovista, joka mahdollistaa öljykalvon tarkkailun operaation aikana. Kuormarunko on tehty siten, että se poistaa painovoiman roottorilta ja asettaa roottorin mihin tahansa haluttuun eksentrisisyysuhteeseen. Vaihtoehto sisältää:

- Öljypyörteen akselin
- Öljypyörteen läpinäkyvän laakerin, Öljysäiliön kokoonpanon ja virtauksenhallintaventtiilit
- Öljypumpun kokoonpanon painemittarilla
- Esijännitysrunгон

2. TOIMINTA

Tämä osio näyttää miten asentaa sekä operoida roottoripakkaa oikeaoppisesti. Osio myös kuvailee neljää malliharjoitusta, joiden avulla opit käyttämään roottoripakkiasi.

2.1 Roottoripakin komponentit

Ennen kokoonpanoa ja roottoripakin käyttöä, käytä tätä osiota tutustuaksesi roottoripakin osiin ja oppiaksesi mitä kukin osa tekee. Roottoripakki koostuu roottorista, alustarakenteesta, moottorin- ja nopeudenhallintalaitteesta, Proximitor-kokoonpanosta, antureista sekä muista mahdollisista tilatuista lisäosista (pyörteily/ominaispyörteily)

2.2 Roottori ja alustarakenne

Roottori ja alustarakenne asennetaan eri tavalla käytetyn vaihtoehdon mukaan (normaalioperaatio roottoripakilla, pyörteily/ominaispyörteilyn käyttö). Järjestelyt ovat seuraavat:

1. Normaalitoiminta, jonka avulla voidaan demonstroida värinää massan tasapainottomuudessa. Tätä järjestelyä käytetään myös demonstroidessa hankausolosuhteita.
2. Pyörteily/ominaispyörteily - vaihtoehto jonka avulla demonstroidaan nesteiden aiheuttamaa epäsymmetriaa.

Kaikissa asetuksissa, esijännitystila (ulkoinen radiaalivoima) voidaan demonstroida manuaalisesti käyttämällä nylonista valmistettua esijännityssauvaa tai esijännitysrunkoa, joka tulee pyörteilyvaihtoehdon mukana.

Säädettävät pohjatuet sijaitsevat roottoripakin molemmissa päissä sekä keskivaiheilla. Kunnolla säädettynä pohjatukien tulisi olla tasaisesti roottoripakkia tukevalla pinnalla. Säättääksesi pohjatukia, irrota kaikki asennusruuvit yksi pohjatuki kerrallaan, siirrä tuki haluttuun paikkaan ja kiristä asennusruuveja uudelleen. Toista tämä prosessi kahdelle muulle pohjatuelle.

VAROITUS!

Roottoripakki tulisi asentaa vankalle (betoni)pohjalle, tai ainakin eristetylle materiaalille. Pöydän värähtelyt voi vaikuttaa mittaustuloksiin.

2.3 Moottori- ja moottorinnopeuden säätö

Nopeusäädin on kierto-ohjainsäädin, joka käyttää pulsseja anturista ja Proximator-kokoonpanosta tarkkaillen 20-pykäläistä pyörää asennettuna roottoripakkiin hallitakseen sen nopeutta. Nopeusäädin vertaa tätä signaalia nopeuden ohjearvoon. Näiden kahden signaalin eroa käytetään säätäessä moottorin jännitettä ohjenopeuden ylläpitoon.

Seuraavassa kuvassa kuvataan ohjaimet ja kytkimet ohjainlaatikosta. Katso kuvasta 2 ohjainten sijainnit.



KUVIO 2. Säätolaitteen etupaneeli

On/Off- painike hallitsee vaihtovirtavoimaa moottorille ja ohjainlaatikolle

Power LED- ilmoittaa ohjaimen tilan. Tämä ledi on vihreä kun ohjaimessa on virtaa ja se toimii normalisti. Valo muuttuu vihreästä punaiseksi hätäsammutuksen aikana tai ylikuumentumisen aikana. Valo on keltainen, jos ohjaimen tarvitsee käynnistää uudelleen ennen toiminnan jatkamista.

The Emergency Stop Button (Hätäseis)- painikkeesta roottori pysähtyy mahdollisimman nopeasti käyttäen moottoria jarruna. Kun roottori on pysähtynyt tällä tavalla, täytyy ohjain käynnistää uudelleen jatkaaksesi sen käyttöä. Käynnistääksesi ohjaimen uudelleen, paina hätäseis-nappia toista kertaa, käytä ohjainta off-tilassa ja käynnistä ohjain sen jälkeen uudelleen

The RPM Display (kierroslukumittari) näyttää joko nykyisen roottorin nopeuden tai maksimiohjenopeuden

The Max Speed Setpoint (Maksiminopeudensäädin) - painike kontrolloi kierroslukuja, minkä tahtiin kone kiihtyy. Kun painike on asetettu äärimmilleen vastapäivään käännettynä, roottoripakki käy hiljaisella rullausnopeudella (säädöt 50–500 kierrosta minuutissa).

The Ramp Rate (kiihtyvyydenrajoitin) – painike kontrolloi kuinka nopeasti roottori kiihtyy tai hidastuu.

The Display Switch (näyttövalitsin) – painike kontrolloi mitä kierroslukua lcd-näytöllä näytetään. Kun painike on säädetty nopeusnäytölle, se näyttää sen hetkisen roottorinopeuden. Kun valitsin on säädetty ohjearvonäytölle, näyttöön ilmestyy maksiminopeus. Lisäksi keltainen led-valo (ylävasemmalla) valaistuu varoittaakseen, jos et kiinnitä huomiota roottorin nopeuteen.

The Mode Switch (tilavalitsin) – painike kontrolloi roottorin hidastumista tai nopeutumista. Kun se säädetty asentoon Max speed/Ramp up, roottori nopeutuu kunnes se saavuttaa maksiminopeusohjearvon. Jos painike on säädetty asentoon (Slow Roll/Ramp Down), roottori hidastuu kunnes se saavuttaa hiljaisimman rullausnopeuden.

The Run/Stop Switch (Käynti/pysähdys) – painike kontrolloi käykö roottori vai ei. Kun se on säädetty asentoon käynti (Run), roottorin nopeus riippuu kiihtyvyydenrajoittimen (Ramp Up/Ramp Down Switch) tilasta. Jos säätö on asennossa pysähdys (Stop), roottori pysähtyy.

The COUNTERCLOCKWISE/EXTERNAL INPUT/CLOCKWISE

(vastapäiväpyörintä/ulkoinen syöttö/myötäpäiväpyörintä) – painike kontrolloi roottorin pyörimisen suuntaa. Kun se on säädetty ulkoiseen syöttöön (external input), ulkoinen signaali (+5 Vdc josta -5 Vdc asti, +20/- 20 Vdc maksimisyöttö ilman vahinkoa) voidaan käyttää roottoripakin ohjaamiseen.

Lisäpiireihin moottorinopeuden hallinnassa kuuluu (anturin menetys) – tunnistin, joka sammuttaa moottorikäynnin, jos nopeudensäädin ei vastaanota Proximitor-pulsseja arviolta 1 sekunnin kuluttua. Tämä piiri estää hallitsemattoman roottorin tilan johtuen koettimesta, tai proximitor-kokoonpanosta. Kun virtaa syötetään ensimmäisen kerran, moottori käy hiljaisella rullausnopeudella (kun Run tai Slow Roll/Ramp Down on valittu), tai kiihtyy ohjearvoon maksiminopeudensäätimen mukaan (kun Run ja Max Speed/Ramp Up on valittu). Proximitor- virta välittyy takapaneelista kymmenelle proximiittorille tai kahdelle RK4- proximitor kokoonpanolle.

2.4 Ulkoinen syöttö

Ulkoista syöttöä voidaan käyttää hallittaessa roottoripakin nopeutta ja pyörimistä. Ulkoista syöttöä käyttäessä painikkeiden tulee olla seuraavan taulukon mukaan:

Painike	Asento
CCW/EXT/CW	EXT
RUN/STOP	RUN
MODE SWITCH	SLOW ROLL/RAMP DOWN
MAX RPM SET	10,000 RPM
RAMP RATE	MAXIMUM

Lähdesignaalin volttimäärä määrää roottorin nopeuden ja pyörimissuunnan seuraavan taulukon mukaan:

Vdc	Nopeus (rpm)	Suunta
+5	10,000	Vastapäivään
0	0	-
- 5	10,000	Myötäpäivään

2.5 Läheisyysanturit ja Proximitor-kokoonpano

Tavallinen roottoripakki sisältää 6 siirtymäanturia.

- 4 anturia XY-suuntaisiin siirtymämittauksiin
- 1 Keyphasor-anturi (kerran käännöstä kohti) vaihe-eron pulssigenerointiin
- 1 anturi Moottorinopeudenohjaimen vauhdin havaitsemiseen.

Anturit on suunniteltu käyttöön Bently Nevada RK 4 Rotor Kit Proximator- kokoonpanon (osnumero 125885-01) kanssa, joka tulee roottoripakin mukana.

Virtalähde

The RK 4 Rotor Kit Proximator- kokoonpano vaatii virtalähteen, joka tuottaa virtaa -18Vdc verran. Moottorinnopeudenohjaimella on -18Vdc ulostulo takapaneelissa, joka voi antaa virran kymmenelle ulkoiselle proximiittorille, tai kahdelle RK 4 Rotor Kit Proximator-kokoonpanolle.



KUVIO 3. Proximator-kokoonpano

VAROITUS!

Käyttämällä -24Vdc virtalähdettä aiheutuu roottoripakin mukana tulevien Proximator-ulostulojen epätarkkuus. Jos käytät -24Vdc virtalähdettä, korvaa alkuperäinen Proximator-kokoonpano -24Vdc proximiittoreilla ja sopivilla jatkojohdoilla.

3. ROOTTORIPAKIN DEMONSTRAATIOT

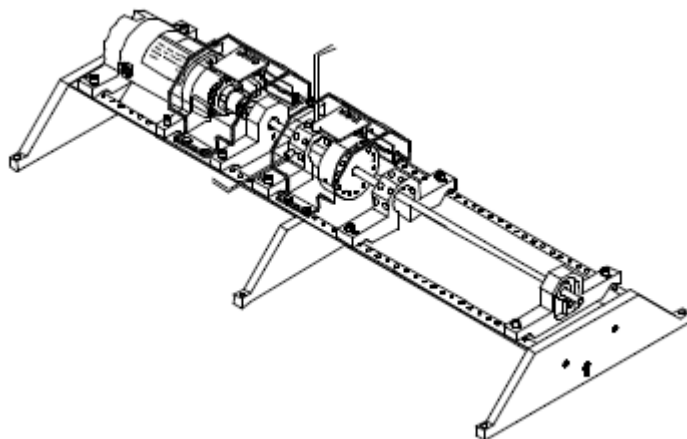
Voit konfiguroida roottoripakkisi usealla eri tavalla simuloidaksesi monia koneolosuhteita. Tässä osiossa on 4 erilaista mallidemonstraatiota joiden avulla voit oppia käyttämään roottoripakkiasi. Ennen roottoripakin käyttämistä, kertaan annetut varoitukset ja laitteiston valmistelumenettelyt jotka löytyvät tästä käyttöohjeesta. Tarkkaillaksesi näiden demonstraatioiden tuloksia, liitä oskilloskooppi tai Bently Nevadan diagnostiikkainstrumentti Proximitor-laitteen liitäntöihin. Molempien instrumenttien mukana tulleet käsikirjat näyttävät miten tehdä nämä liitokset.

3.1 Massan epätasapaino, yhden tasopinnan konfiguraatio.

Massan epätasapainoa voidaan tarkkailla ja mitata käyttämällä roottoripakkia anturilähdöillä, jotka ovat liitettyinä oskilloskooppiin tai Bently Nevadan omiin instrumentteihin, kuten ADRE* 408 DSPi (Dynamic Signal Processing Instrument)- laitteeseen ja tietokoneeseen jossa on ADRE Sxp-ohjelmisto.

Liittäessäsi diagnostiikka- tai mittausinstrumenttia, katso kyseisen instrumentin manuaalia ohjeita varten.

Kokoa roottoripakki seuraavan kuvan mukaisesti. Ennen käyttöä varmista että noudatat annettuja varoituksia ja roottoripakin valmistelumenettelyjä tässä oppaassa. **ÄLÄ KÄYNNISTÄ VIRTAA ENNEN KUIN OLET TEHNYT KAIKKI VAADITTAVAT TARKASTUKSET.**



KUVIO 4. Roottoripakki koottuna (Mukaillen rk4 Manual)

Aseta kytkimet seuraavalla tavalla moottorinopeuden ohjainlaatikkoon:

Painike	Asento
Run/stop switch	Stop
Mode Switch	Slow Roll/Ramp Down
MAX RPM SET	000 RPM
RAMP RATE	MIDSPAN

Aseta On/Off – painike asentoon ”On”, vihreän valon tulisi syttyä

Käynnistä akselin pyöriminen hitaasti asettamalla Run/Stop- painike asentoon RUN. Akselin tulisi aloittaa pyöriminen. Seuraa, että laite toimii halutulla tavalla.

Varoitus!

Jos värinä ylittää 12mils pp-rajan tai roottoripakki alkaa liikkumaan, keskeytä demonstraatio hiljentämällä vauhtia.

Lisätäksesi roottoripakin nopeutta, aseta tilavalitsin kohtaan MAX SPEED/RAMP UP ja käännä MAX SPEED SETPOINT-painiketta myötäpäivään. Säädä roottorinnopeutta halutulla tavalla tarkkaillaksesi värinää laitteen toimintarajojen sisällä.

3.2 Esijännitystila

Esijännitys on yksisuuntainen, vakaa radiaalikuorma tai voima, joka kohdistetaan pyörivään akselin. Luodaksesi esijännitystilaa, käytä nylonista tehtyä esijännitysauvaa, Esijännitysrunko joka tulee pyörteily/ominaispyörteily-vaihtoehdon kanssa, voi tuottaa toistettavia esijännityksiä useasta suunnasta. Esijännitysdemonstraatio on tehokas tapa havainnollistaa, miten kiertorata- ja roottorin paikoitus muuttuu.

3.3 Hankaustila

Voit luoda hankauksen säätämällä ruuvia hankauskotelossa kunnes ruuvi koskettaa runkoa.

VAROITUS!

Roottoripakki, tai mikä tahansa pyörivä kone voi vaurioitua jatkuvan tai äärimmäisen hankaustilan johdosta. Luo hankaustila huolella ja ylläpidä sitä vain hetken aikaa (30s max)

1. Säädä hankausruuvi siten, että se on täysin vapaa rungosta ja varmista ruuvi paikalleen lukkomutterin avulla.
2. Käynnistä roottori ja luo haluamasi värinätila.
3. Säädä hankausruuvia vähitellen alaspäin, kunnes hankaus tai osuma on havaittavissa.
4. Säädä ruuvia haluttuun hankauksen kulmaan ja varmista se paikalleen lukkomutterin avulla.

3.4 Massan epätasapaino, useamman tason asetus

Massan epätasapaino kahdessa tai kolmessa tasossa voidaan havaita ja mitata käyttämällä roottoripakkia, jonka lähdöt on liitettyinä oskilloskooppiin tai Bently Nevadan omiin instrumentteihin. kuten ADRE* 408 DSPi (Dynamic Signal Processing Instrument)- laitteeseen ja tietokoneeseen jossa on ADRE Sxp-ohjelmisto.

Liittäessäsi diagnostiikka- tai mittausinstrumenttia, katso kyseisen instrumentin manuaalia ohjeita varten.

1. Parhaimman kahden tason reaktioon, aseta roottorimassat siten, että ne sijaitsevat kohdissa 25 % and 75 % roottorin laakerijalustojen välisestä pituudesta.

Ennen käyttöä varmista, että noudatat annettuja varoituksia ja roottoripakin valmistelumenettelyjä tässä oppaassa. **ÄLÄ KÄYNNISTÄ VIRTAA ENNEN KUIN OLET TEHNYT KAIKKI VAADITTAVAT TARKASTUKSET!**

2. Kytkimet moottorinohjaimesta tulee asettaa seuraavalla tavalla:

Painike	Asento
RUN/STOP SWITCH	STOP
MODE SWITCH	SLOW ROLL/RAMP DOWN
MAX RPM SET	000 RPM
RAMP RATE	MIDSPAN

3. Aseta On/Off – kytkin asentoon ”On”, vihreän valon tulisi syttyä

4. Käynnistä akselin pyöriminen hitaasti asettamalla Run/Stop- painike asentoon RUN. Akselin tulisi aloittaa pyöriminen. Seuraa, että laite toimii halutulla tavalla.

Varoitus!

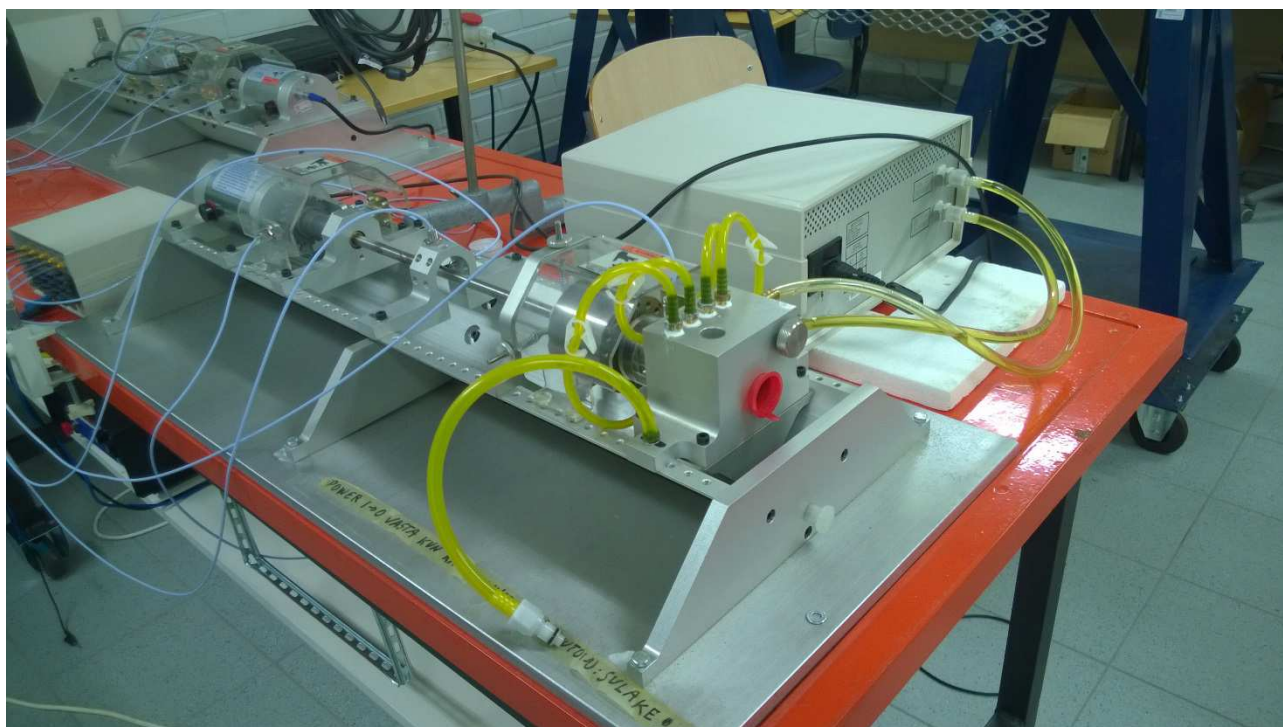
Jos värinä ylittää 12mils pp-rajaa tai roottoripakki alkaa liikkumaan, keskeytä demonstraatio hiljentämällä vauhtia.

5. Lisätäkseen roottoripakin nopeutta, aseta tilavalitsin kohtaan MAX SPEED/RAMP UP ja käänä MAX SPEED SETPOINT-painike vastapäivään. Säädä roottorinnopeutta halutulla tavalla tarkkaillaksesi tärinää laitteen toimintarajojen sisällä.

4. HUOLTO

Ainoastaan tavallinen huolehtivaisuus käsittelyssä, puhdistuksessa ja laitteiden voitelussa roottorin huollon suhteen on tarpeellista. Moottorin laakerit eivät tarvitse lisävoitelua elinaikanaan. Bently Nevadan anturit ja Proximitor-kokoonpano eivät tarvitse erityistä huoltoa, mutta niitä tulee käsitellä varoen välttääkseen minkäänlaista vahinkoa sähköisille tai mekaanisille laitteille.

Käyttöohje RK 4-Rotor Kitin lisälaitteelle Oil Whirl/Oil Whip



Sisällysluettelo

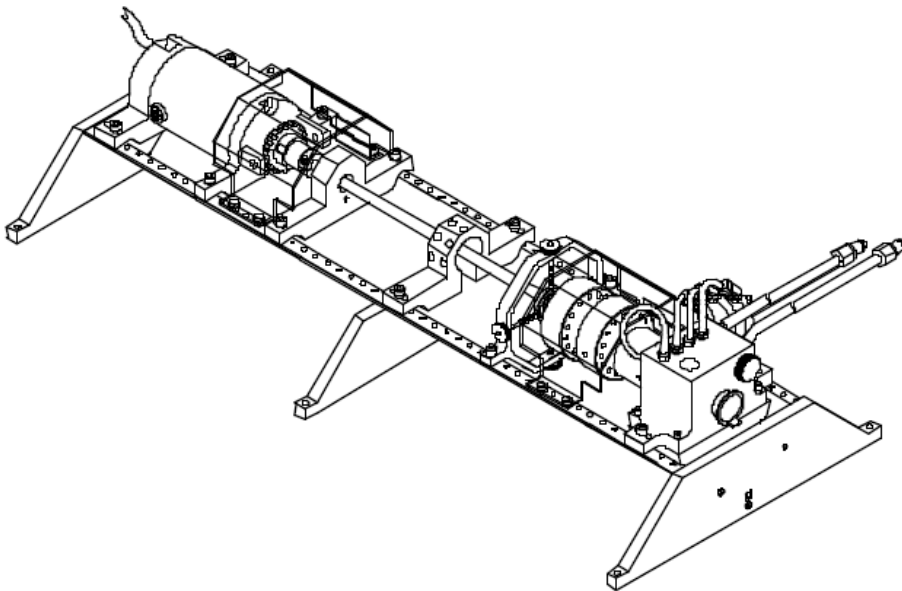
1. Neste-epätasapainotestin valmistelu.....	17
1.2 Öljykalvon pyörteily	19
1.3 Ominaispyörteily.....	19
1.4 Laakerin öljykalvon jakautuminen.....	19
1.5 Akselin radiaaliasema.....	19
2. Öljykalvon pyörteily/ominaispyörteily-kokeet.....	19
2.1 Öljykiilan voima.....	20
2.2 Tunnista öljykalvo- ja ominaispyörteilyepävakaudet	21
2.3 Eksentrisyyden suhde ja tasapainokynnys	22
2.4 Öljynpaineen käyttö tasapainon hallinnassa.....	22
3. Järjestelmän sulkeminen.....	23
4. Roottori/öljypakin spesifikaatiot ja tilaustiedot.....	24

VAROITUS!

- Voimajohtojen tulee olla oikeaoppisesti maadoitettu
- Ennen jokaista käyttöä ja eritoten ennen päivän ensimmäistä käyttöä, kiristä kaikki ruuvit, anturit ja mutterit. Tarkkaile myös kytkennän kiinnitysruuveja ja säätöruuveja. Varmista, että roottoripakki on asennettu oikeaoppisesti työasemaan kiinni
- Älä koskaan laita roottoripakkia minkään välineen päälle. Varmista, että sinulla on aina tarvittava tila työaseman päällä, jotta pakki voidaan siihen turvallisesti asentaa.
- Varmista, että hiuksesi, kravattisi, korusi jne. eivät tartu liikkuviin osiin
- Älä kallista roottoria enempää kuin 3 gramman verran
- Asenna tasapainopunnukset (säätöruuvit) siten, että ne eivät työnny ulos massapinnasta
- Älä koske mihinkään liikkuvaan osaan ajon aikana. Älä koskaan yritä pysäyttää roottoria käsin.
- Käytä turvasuojuksia kaiken aikaa
- Käytä turvalaseja suojataksesi itsesi mahdollisilta roottoripakista lentäviltä roskilta
- Älä käytä roottoripakin komponentteja tai lisätarvikkeita koneturvan sovelluksiin

1. Neste-epätasapainotestin valmistelu

Täysin asennettu roottoripakki Öljypyörteily/Ominaispyörteily-vaihtoehdon kanssa tulisi näyttää kuvion 1 mukaiselta.



KUVIO 1

Tässä osiossa kerrotaan, kuinka valmistella laite kokeita varten. Älä suorita mitään kokeita tämän osion aikana, vaan palaa tähän osioon silloin jos kohtaat ongelmia testien aikana. Diagnostiikka- tai tarkkailuinstrumenttien liitännöiden varalta (TK-21 tai oskilloskooppi), katso laitteiden omat käyttöohjeet. Varmista myös ennen käyttöä, että luet aiemmin annetut varoitukset.

Liitä siirtymäanturit Proximitor-kokoonpanoon. Liitä Keyphasor-anturi Proximitor-kokoonpanoon. Liitä nopeusanturi moottorinohjaimen.

Aseta moottorinohjaimen Mode select Switch-painikkeesta Slow Roll/Ramp Down ja Run/Stop-painikkeesta Stop. Aseta RAMP RATE- nopeus suunnilleen $\frac{3}{4}$ maksiminopeudesta ja MAX SPEED SETPOINT kohtaan 30 (Täysin vastapäivään).

Tarkista siirtymäanturin väli standardiroottoripakin käyttöohjeen mukaan.

Käännä aina öljytankin pumppu päälle ja säädä painetta aina siten, että painemittari näyttää lukemaa 1.0 psi roottorin kääntyessä

Valmistele oskilloskooppi seuraavalla tavalla: riippuen laakerista ja akselista, aseta syöttöasteikot X ja Y kanaville 0,5 tai 1.0 volttiin (molemmille sama). Paina varovasti akselia, että akseli on laakerivällyksen pohjalla. Säädä oskilloskooppia, jotta jäljityspiste olisi lähellä etunäkymän pohjaa. Toista laakerin joka puolelle, kunnes jäljityspiste muodostaa ympyrän keskittyneenä oskilloskoopin näytön keskelle, samalla liikuttaen akselia manuaalisesti laakerivälissä ympyrämäisessä liikkeessä. Käytä esim. lyijykynää piirtääksesi ympyrän. Vaihtoehtoisesti/varmistaaksesi ympyränvälin, aseta roottori epävakaiseen pyörteilytilaan. Pyörteilykiertorata vie suurimman osan välistä, joten kiertoradan keskittyessä oskilloskoopin näyttöön, väliympyrän tulisi olla pyöreä ja hieman isompi kuin pyörteilykiertorata.

Varmista ettei mitään hankaumaa, esikuormaa, epävakautta tai suurempaa kaarevuutta kuin 25 µm löydy akselin varrelta. Akselin täytyy liikkua vapaasti läpinäkyvän laakerinvällyksen sisällä.

Aseta Run/Stop- painike asentoon "Run" (Katso laitteistoa oikeaoppisen toiminnan kannalta). Esijännittä esikuormarunkoa siten, että paperin palanen mahtuu hädin tuskin jousikierteiden väliin (00,10 tuumaa) ja tämän jälkeen säädä esijännitysrunгон jousia sijoittaaksesi roottorin keskelle nestekalvolaakerin väliä. Ylläpidä aina jännitystä kaikissa neljässä jousessa.

Saadaksesi roottoripakin epävakaiseen tilaan, aseta Mode Select-painike Max Speed/Ramp Up-kohtaan ja lisää hiljaisesti maksiminopeuden ohjearvoa (MAX SPEED SETPOINT). Nosta nopeutta kunnes epävakaisuus ilmenee. Jos epävakautta ei ilmene 2500 kierroslukuun mennessä, tarkista öljypaine (1.0 psi) ja varmista roottorin sijainti keskellä nestekalvon laakeria.

Jos epävakautta ei kehity, varmista seuraavat asiat:

- a. Roottoripakin tulee olla asennettuna ja kohdistettuna oikein. Katso uudelleen edeltävät valmisteluohjeet. Varmista että öljylaakeri ei ole viritetty.
- b. Öljyn tulisi virrata vaivattomasti laakerille. Öljypaineen tulisi olla 1.0 psi tai vähemmän, tai riittävän korkea ylläpitääkseen öljyvirtauksen.
- c. Akselintapin tulee olla oikein asetettuna ja keskitettynä läpinäkyvään laakeriin.
- d. Akselin täytyy olla suora (ei kaarevuutta). Välttääksesi tahatonta kaarevuutta, älä käytä hankausruuvia öljyakseliin, äläkä kuljeta roottoria asennetun öljyakselin kanssa.
- e. Roottorin täytyy olla tasapainossa.
- f. Käytä esijännitysrunkoa paikantaaksesi akselin keskelle öljylaakerivällystä.

1.2 Öljykalvon pyörteily

Öljykalvon pyörteily on itsestään virittyvää värähtelyä johtuen nesteen dynaamisista voimista roottorinlaakereiden sisällä (värähtely vaihtelee välillä 0,38 aina 0.49 kertaisesti akselin pyörintänopeudesta, riippuen järjestelmästä). Kun roottori aloittaa pyörteilyn, kiertoradan halkaisija kasvaa ja pyörteilyn taajuus kasvaa roottorin kierrosluvun mukana.

1.3 Ominaispyörteily

Roottori kehittää ominaispyörteilyä, kun olemassa olevan öljykalvon pyörteilyn värinän taajuus saavuttaa luontaisen roottorin resonanttitaajuuden. Ominaispyörteilyn aikana taajuus pysyy lähes vakiona normaalitaajuudella, kun roottorin kierroslukua nostetaan.

1.4 Laakerin öljykalvon jakautuminen

Kalvon jakautumista muulla kuin pyörteilyajolla voidaan tarkkailla suoraan läpinäkyvästä laakerista. Pyörteilyä voidaan tehostaa tai estää asettamalla esijännitystä useaan suuntaan. Esijännityksen vaihtelut, öljynvirtaus/paine tai roottorin nopeus voi aiheuttaa suuria muutoksia öljykalvoasetuksiin.

1.5 Akselin radiaaliasema

Jos olet asentanut öljykalvon pyörteily/ominaispyörteily-pakin, akselin radiaaliaseman muutosta roottorin käynnistyksen yhteydessä voidaan demonstroida käyttämällä oskilloskooppia XY-tilassa. Roottorin ollessa pysähtynyt ja XY-koettimen tasavirran näkyessä oskilloskoopissa XY-tila päällä, säädä pysty- ja leveysuuntaista ohjaimia keskittääksesi säteen asteikkolevyyn. Kun laakerin öljytankissa on matalahko paine (vähemmän kuin 1.0 psi painemittarissa), käynnistä moottori erittäin hitaasti. Kun akseli alkaa kääntymään, laakeriöljykiila alkaa nostamaan akselia ja työntämään sitä sivusuunnassa säteen jäljen osoittaman suunnan mukaisesti (Koska jousikanta säättää roottoria laakerin keskelle, sen ei tulisi olla paikallaan tämän demonstraation aikana). Jos akseliaseman muutos ei ole selvä, käytä hienovaraisempia säätöjä pysty- ja sivusuunnaisissa oskilloskoopin arvoissa.

2. Öljykalvon pyörteily/ominaispyörteily-kokeet

Kyseiselle roottori/laakerijärjestelmälle, käyttäjä pystyy:

Vahvistamaan annetun radiaalivoiman ja akselin ominaisreaktion suhteen öljykiilan johdosta.

Laskemaan likiarvon arvolle (λ), sekä nestekehän keskimääräisen nopeussuhteen roottori/laakerijärjestelmälle.

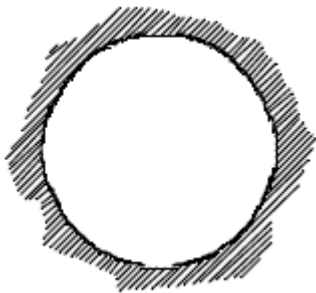
Tunnistamaan tasapainokynnyksen tälle roottori/laakerijärjestelmälle.

Muuttamaan tasapainokynnystä roottori/laakerijärjestelmälle vaihtelemalla akselin radiaalikuormaa.

2.1 Öljykiilan voima

Tämä harjoitus antaa mahdollisuuden tutkia radiaalikuorman ja akselireaktion suhdetta. Tässä harjoituksessa on kaksi osaa: ensimmäisessä roottori on pysähtynyt (ei dynaamista öljykiilaa) ja toisessa roottorin käydessä (dynaaminen öljykiila mukana)

1. Kirjaa akselintapin sijainti laakerivälöksessä ja akselin pyörintäsuunta alla olevaan kuvaan. Tämän avulla voit seurata akselintapin keskipisteen liikkumista roottorin käynnistyksen jälkeen seuraavalla tavalla.



- Kun roottori on pysähtynyt, merkitse akselin keskipisteen sijainti laakerivälöksessä tähän diagrammiin.
- Käynnistä roottori Slow Roll-nopeudelle, merkitse uusi akselintapin sijainti laakerivälöksessä.
- Radiaalivoima roottorissa on painovoiman aiheuttama voima.
- Akselin sijainnin muutos öljykiilan muodostumisen johdosta, luo radiaali- ja tangentialivoiman, joka on tasapainossa painovoiman aiheuttaman radiaalikuorman kanssa.

2. Pysäytä roottoripakki.

3. Roottori on pysähtynyt. Tämä vaihe demonstroi akselin suunnan muutosta radiaalikuorman johdosta ilman öljykiilan kehittymistä.

- a. Käytä säätönuppeja kuormarungon jousissa sijoittaaksesi akseli keskelle öljylaakeria. Käytä minimaalista ja tasapuolista voimaa jousille säätääksesi sijaintia
- b. Tartu ylimmäisen jousen säätönuppiin ja vedä ylöspäin.
- c. Huomaa kuinka akseli alkaa liikkumaan annetun kuorman suuntaisesti, nestekiilavoimia ei muodostu
- d. Tartu johonkin sivusuuntaisista säätönupeista ja vedä nuppia sivuun.
- e. Huomaa kuinka akseli liikkuu annetun voiman suuntaisesti, nestekiilavoimia ei muodostu.

4. Roottori on käynnissä. Tämä vaihe demonstroi akselin liikkeen suuntaa, jolla luodaan öljykiila tukemaan radiaalikuormaa.

- a. Akselintapin vielä sijaitessa lähellä öljylaakerin keskiötä, aja laite suunnilleen 1500 kierroslukuun (älä ylitä tasapainokynnystä).
- b. Tartu ylimmäisen jousen säätönuppiin ja vedä hellästi ylöspäin.
- c. Huomaa, kuinka roottori ei liiku samaan suuntaan annetun radiaalivoiman kanssa. Nestekiilan vaikutusten johdosta akseli siirtyy uuteen tasapainotilaan nestekiilan radiaali- ja tangentialivoimien tasapainottaessa annettua kuormaa.
- d. Hiljennä ja pysäytä roottori.

2.2 Tunnista öljykalvo- ja ominaispyörteilyepävakaudet

Tässä harjoituksessa tulet tunnistamaan öljykalvo- ja ominaispyörteilyepävakauksia käyttämällä aika- ja taajuustasotiloja, sekä viittä normaalia signaaliominaisuutta (kokonaisamplitudi, taajuus, sijainti, nX – amplitudi ja vaihe, sekä aikapohjaa, että kiertoradan muotoa. Tulet tallentamaan roottorin käynnistyksen Slow Roll-nopeudesta 7000 kierroslukuun (Jos roottori ei mene epävakaaaksi käynnistyksen yhteydessä, katso oppaassa mainitut ohjeet).

1. Kun roottori on "Slow Roll"- asennossa, käytä säätönuppeja kuormarungon jousissa sijoittaaksesi akseli öljylaakerin keskiöön. Käytä minimaalista ja tasapuolista voimaa jousille säätääksesi sijaintia
 - a. Säädä "Maximum Speed Setpoint" arvoon 700. Säädä "Ramp Rate Control" $\frac{1}{4}$ sen maksimitehosta
 - b. Paina "Store Enable"- nappia ADRE for Windows päävalikosta.
 - c. Kiihdytä roottoria 7000 kierroslukuun pitäen neljäsosaa maksimikiihtyvyydestä. Kun roottori saavuttaa kyseisen nopeuden, paina "close"- näppäintä 208 DAIU päävalikosta. Hiljennä vauhtia Slow Roll- nopeuteen.
 - d. Tarkkaile ajon ja sammutuksen aikana öljykalvoa laakerissa ja kiertoratoja oskilloskoopissa. Katso kuinka kiertoradat muuttavat kokoaan keskivaiheilla ja öljylaakerissa.
 - e. Huomaa Keyphasor-merkkien lukumäärä, kiertoradan koko sekä muoto, kun kiertoradat muuttuvat roottorin epävakauksien vaihtuessa pyörteilystä ominaispyörteilyyn.
 - f. Tulosta seuraavat kuvaajat:

(1) Full Spectrum Cascade Plot Ch3

- (2) orbit timebase Ch3,Ch4
- (3) Full Spectrum Ch3)
- (4) orbit timebase Ch3,Ch4
- (5) Full Spectrum Ch3

g. Alitahtinen taajuus, joka seuraa ajonopeuden kanssa (Tälle roottorille 0.47-kertainen), on pyörteilytaajuus.

h. Alitahtinen taajuus, joka näyttää lukittuvan tiettyyn taajuuteen ja ei enää seuraa ajonopeutta, on ominaispyörteilytaajuus.

2.3 Eksentrisyyden suhde ja tasapainokynnys

Tässä harjoituksessa tulet tarkkailemaan kuinka kasvava, laakerinvälyksen sisällä olevan laakerin eksentrisyyden suhde vaikuttaa tasapainokynnykseen.

1. Kun roottori on "Slow Roll"- asennossa, käytä säätönuppeja kuormarungon jousissa sijoittaaksesi akseli öljylaakerin keskiöön. Käytä minimaalista ja tasapuolista voimaa jousille säätääksesi sijaintia.

- a. Aseta "Maximum Speed Setpoint" arvoon 30. Säädä "Ramp Rate Control" $\frac{3}{4}$ sen maksimitehosta.
- b. Kiihdytä roottoria manuaalisesti kunnes laakeri aloittaa pyörteilyn. Aseta kiertävä nopeus juuri tämän tasapainokynnyksen yli.
- c. Lisää ylimmäisen jousen jännitystä kuormarungossa, kunnes epätasapaino katoaa. Katso mitä laakerin öljykalvolle tapahtuu.
- d. Lisääntynyt kuorma sai epätasapainon häviämään. Keskiwertoinen nesteen kehän nopeussuhteen lasku λ (Lambda), sekä nestekalvon radiaalijäykkyyden lisääntyminen aiheuttivat ilmiön.
- e. Löysää pystysuoraa joustakuormarungossa, kunnes epätasapaino palaa.
- f. Kiihdytä roottoria manuaalisesti kunnes akseli aloittaa pyörteilyn.
- g. Lisää jännitystä kuormarungon pystysuorassa jousessa kunnes epätasapaino katoaa.
- h. Huomaa, kuinka roottorin tasapainon saavuttaminen vaatii enemmän voimaa ominaispyörteilyssä, kuin pyörteilyssä. Koska roottori on jo korkeassa dynaamisessa eksentrisyytilassa, se vaatii vielä enemmän voimaa päästäkseen korkeampaan eksentrisyytilaan. Liikkuessa korkeampaan eksentrisyytilaan tuloksena on nesteen kehän nopeussuhteen lasku λ (Lambda), sekä nestekalvon radiaalijäykkyyden lisääntyminen.
- i. Pysäytä roottoripakki

2.4 Öljynpaineen käyttö tasapainon hallinnassa.

Kun roottori on "Slow Roll"- asennossa, käytä säätönuppeja kuormarungon jousissa sijoittaaksesi akseli öljylaakerin keskiöön. Käytä minimaalista ja tasapuolista voimaa jousille säätääksesi sijaintia.

Aseta "Maximum Speed Setpoint" arvoon 30. Säädä "Ramp Rate Control" $\frac{3}{4}$ sen maksimitehosta.

Kiihdytä roottoria manuaalisesti kunnes se aloittaa pyörteilyn

Käyttämällä Öljyvirtauksen säätöventtiiliä, lisää öljypainetta laakerissa kunnes roottori muuttuu vakaaksi

Lisäämällä öljypainetta epävakaus häipyi, koska nesteen radiaalijäykkyys lisääntyi.

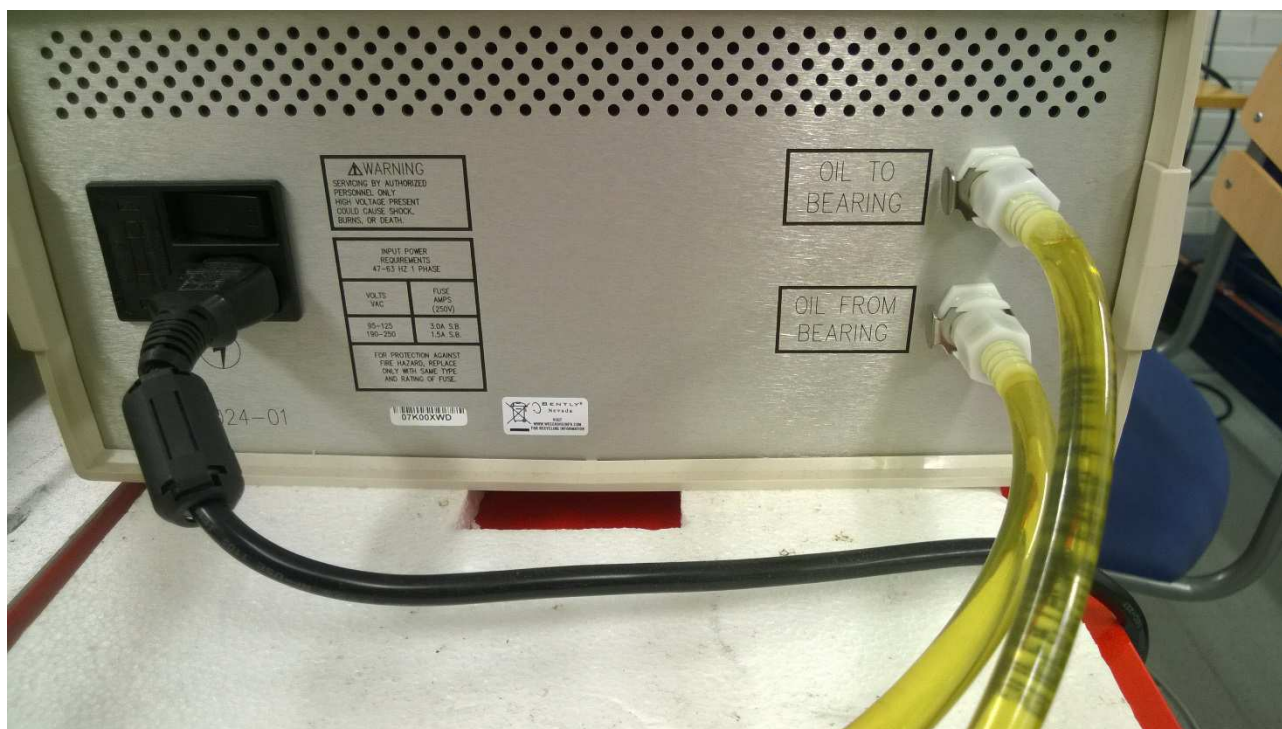
Palauta öljypaine takaisin lähtötasoon.

Pysäytä roottoripakki ja palauta öljypaine se lähtötilaan.

3. Järjestelmän sulkeminen

Kun olet suorittanut demonstraation, sulje ensin roottori (jos pumppu sammutetaan ensin, voitelu sammuu ja voi vahingoittaa laitetta). Tämän jälkeen sulje pumppu ja oskilloskooppi. Palauttaaksesi öljyn varannosta takaisin öljysäiliöön:

1. Poista “Oil to Bearing”- letku pumpun ulostulosta ja tue sitä niin, ettei öljy valu pois
2. Liitä “Oil Fill Tube”-letkun (toimitettu laitteen mukana) toinen pää pumpun ulostuloon ja toinen öljyastiaan. Käynnistä pumppu.
3. Kun öljyä ei virtaa enää vapaasti putkiston lävitse, sammuta pumppu. **Älä kuiva-aja pumppua 5 sekuntia pidempään!**



KUVIO 2. Öljypakin takapaneeli

4. Roottori/öljypakin spesifikaatiot ja tilaustiedot

Viittaa roottoripakin tiedotteeseen osoitteessa <http://www.ge-mcs.com/download/test-and-calibration-equipment/141592.pdf> spesifikaatioiden ja tilaustietojen varalta.

