

Petri Piippo

## **PYÖRÄNLAAKERIVIKOJEN TODENTAMISMENETELMÄT**

# **PYÖRÄNLAAKERIVIKOJEN TODENTAMISMENETELMÄT**

Petri Piippo  
Opinnäytetyö  
Kevät 2016  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka, auto- ja kuljetustekniikka

---

Tekijä: Petri Piippo  
Opinnäytetyön nimi: Pyöränlaakerivikojen todentamismenetelmät  
Työn ohjaaja: Mauri Haataja  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2016 Sivumäärä: 38+ 5 liitettä

---

Työssä selvitettiin nykyisin käytössä olevat menetelmät laakerivikojen todentamiseen ja tutkittiin vaihtoehtoisia menetelmiä. Tarkoituksena oli kehittää autojen kuntotarkastuksia tarjoavaa Autotohtori-palvelua. Nykyisin käytössä olevia menetelmiä selvitettiin kyselytutkimuksen sekä tutkimusjulkaisujen avulla.

Työssä havaittiin vikojen diagnosoinnin korjaamoilla perustuvan pääasiassa asentajan tulkintaan ja tieajokokeisiin, mutta autoalan ulkopuolella vaihtoehtoisia menetelmiä on saatavilla. Menetelmien soveltaminen autoalan käyttöön vaatisi kuitenkin laajat koemittaukset.

Jokaisella katsastusasemalla on käytössään jarrudynamometri, joten parhaaksi vaihtoehdoksi vaihtoehtoisen menetelmän toteuttamiseen arvioitiin sen soveltaminen jarrudynamometrin yhteyteen. Tällöin testaaminen olisi nopeaa eikä siitä syntyisi ylimääräistä työvaihetta myöhemmässä vaiheessa tarkastusta. Menetelmä olisi kuitenkin toteutettava siten, että tarkastusta suorittava henkilö pystyisi käyttämään sitä itsenäisesti.

---

Asiasanat: pyöräntuenta, pyöränlaakeri, vianetsintä

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering, Vehicle and  
Transport Engineering

---

Author: Petri Piippo

Title of thesis: Diagnosing Methods for Wheel Bearing Faults

Supervisor: Mauri Haataja

Term and year when the thesis was submitted: spring 2016 Pages: 38 + 5  
appendices

---

The aim of this thesis was to research methods used to diagnose wheel bearing faults and also research possibilities to use alternative methods. The results were meant to be used to improve car inspection services. The research was done with an enquiry to automobile repair shops and via research publications.

Most repair shops rely on mechanics and test drives to find the damaged bearings. However, alternative methods are used in different industries. Applying these methods to detect car wheel bearing faults would require large scale testing.

Since every car inspection office has a brake dynamometer, it would be reasonable to develop a system where bearing inspection is done simultaneously with brake testing. This way the testing would be quick and it would not add a new stage to the inspection later on. The requirement is that the person doing the inspection is able to do it independently.

---

Keywords: bearing, wheel, diagnosing

## **ALKULAUSE**

Tämän työn tilaaja oli A-Katsastus. Hankintajohtaja Pasi Tolvanen ja aluepäällikkö Tarmo Kainulainen toimivat työssä yhteyshenkilöinä. Työn ohjaajana toimi yliopettaja Mauri Haataja. Kiitos yhteistyöstä. Herrojen kanssa oli ilo työskennellä.

Oulussa 8.4.2016

Petri Piippo

.

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLTÖ	6
1 JOHDANTO	8
1.1 A-Katsastus Group	8
1.2 Työn tavoitteet	8
2 HENKILÖ- JA PAKETTIAUTOJEN YLEISIMMÄT PYÖRÄNLAAKEROINTIRATKAISUT	9
2.1 Kuulalaakeri	9
2.2 Kartiorullalaakeri	11
3 LAAKERIN ELINKAARI	13
4 NYKYISIN AUTOALAN KÄYTÖSSÄ OLEVAT MENETELMÄT VIKOJEN TODENTAMISEEN	16
4.1 Kyselytutkimus merkkiliikkeiden edustajille	16
4.2 Renkaan pyöritin	18
5 AUTOALAN ULKOPUOLELLA KÄYTETTÄVIÄ MENETELMIÄ	19
5.1 Värähtelymittaus	19
5.1.1 Periaate	19
5.1.2 Tunnistimien kiinnitys	21
5.1.3 Signaalin analysointi	22
5.2 Ultraäänimittaus	24
5.3 Lämpökameramittaus	26
6 AUTOTOHTORI-PALVELUUN SOVELLETTAVISSA OLEVAT MENETELMÄT	28
6.1 Värähtelymittaus	28
6.2 Ultraäänimittaus	29
6.3 Mekaaninen renkaan kuormittaminen	29
7 JARRUDYNAMOMETRIN HYÖDYNTÄMINEN LAAKERIVIKOJEN TESTAUKSESSA	31
7.1 Sovellettavat mittausmenetelmät	31

7.2 Mittausjärjestelyt	31
8 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	39
Liite 1 Kyselylomake korjaamoille	
Liite 2 Kyselyn tulosten yhteenveto	

# 1 JOHDANTO

## 1.1 A-Katsastus Group

A-katsastus on yksi Euroopan johtavista ajoneuvokatsastuksen, rekisteröintien, kuljettajatutkintojen, ajoneuvojen testauspalveluiden sekä vahinkotarkastusten tarjoajista. A-katsastuksella on noin 1 300 työntekijää ja 270 katsastusasemaa. Yhtiön toiminta-alue kattaa Suomen, Ruotsin, Viron, Latvian ja Puolan. (1.)

## 1.2 Työn tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä selvitetään nykyisin käytössä olevat menetelmät henkilö- ja pakettiautojen pyöränlaakerivikojen todentamiseen ja tutkitaan vaihtoehtoisten menetelmien ja mahdollisuuksien soveltamista autojen laakerivikojen diagnosointiin. Tuloksia käytetään ajoneuvojen kuntotarkastuksia tarjoavan Autotohtori-palvelun kehittämiseen.

Tavoitteena on löytää menetelmä, jolla jo alkavat laakeriviat voidaan havaita luotettavasti. Menetelmän tulisi myös olla helppo- ja nopeakäyttöinen, jotta tarkastusta suorittava henkilö pystyy käyttämään sitä itsenäisesti. Tarkastuksesta aiheutuva lisätyö ei kuitenkaan saisi kasvattaa ajoneuvojen läpimenoaikaa merkittävästi.



## **2 HENKILÖ- JA PAKETTIAUTOJEN YLEISIMMÄT PYÖRÄNLAAKEROINTIRATKAISUT**

Autojen pyörien laakeroinnissa käytetään vierintälaakereita. Vierintä on yhdistelmä pyörimistä ja liukumista, koska käytännössä vierintälaakerissa tapahtuu aina luistoa pyörimisen ohella. Vierintälaakereihin kuuluvat erilaiset rulla-, kuula- sekä neulalaakerit. Tämän tyyppisissä laakereissa voima siirtyy vierintäelimien kautta. Vierintälaakereita käytetään autoissa myös muualla kuin pyöräntuenassa. Yhdessä autossa on kymmeniä vierintälaakereita. (2, s. 131 - 142; 3, 325.)

Vierintälaakereiden etuina ovat esimerkiksi pieni liikkeellelähtökätkä, suuri kuormituksen kestävyys joka suunnasta sekä massatuotannon takia kohtuullisen edullinen hinta. Ajoneuvokäytössä laakereiden ominainen käyntiääni peittyi muun melun alle, joten sekään ei ole häiritsevää tekijä. Vierintälaakerit eivät kuitenkaan kestä iskumaisia kuormituksia kovinkaan hyvin ja ovat herkkiä lialle. (3, s. 325.)

Laakerien kehät ja vierintäelimet valmistetaan kromiseosteisesta erikoisteräksestä. Osien laatuvaatimukset ovat korkeat. Vierintäelimien pidinhäkit valmistetaan teräs- tai messinkilevystä. Viime aikoina vierintäelimien pitimissä on alettu käyttää myös muovimateriaaleja, joiden etuna ovat esimerkiksi muovin hyvät liukuominaisuudet. (2, s. 131 - 142; 3, 325.)

### **2.1 Kuulalaakeri**

Kuulalaakeri on yleisesti henkilö- ja pakettiautojen pyöränlaakeroinnissa käytetty laakerityyppi. Laakereita voi olla yksi- tai useampirivisiä. Vaihtoehtoja on myös laakereiden vierintäaurissa ja vierintäradoissa. Yleisesti autoissa on käytetty kaksirivisiä laakereita. Laakeri koostuu ulkokehästä, kahdesta kuulahäkistä ja kaksiosaisesta sisäkehästä. Laakerin ulko- ja sisäkehässä on yhtäjaksoiset

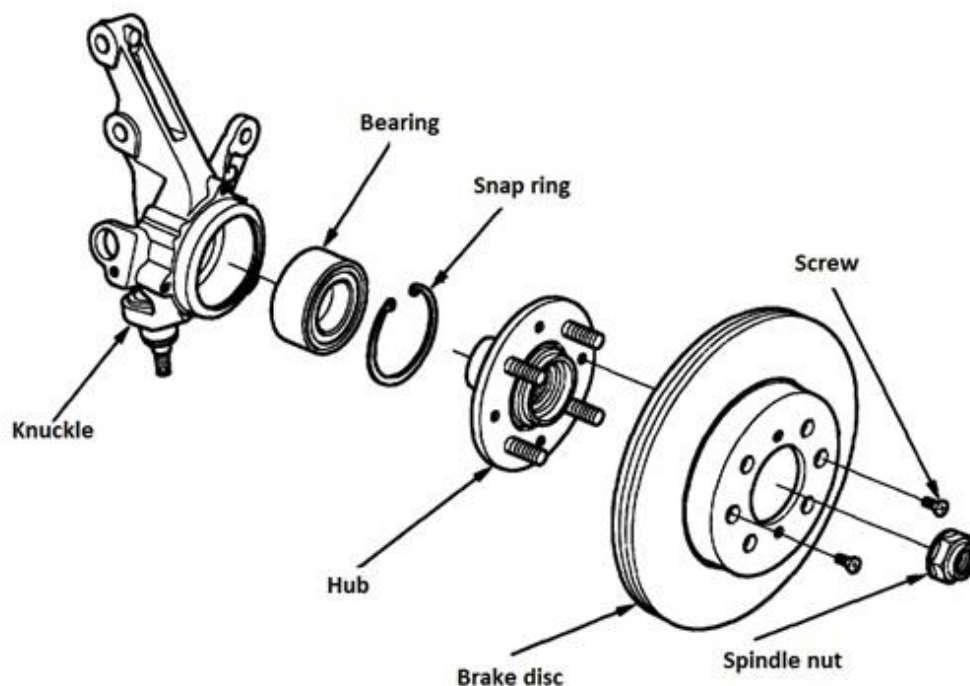
urat, jotka ohjaavat vierintäkuulia. Kuulahäkit jakavat kuulat tasavälein laakerin kehälle. (2, s. 131 - 142.)

Kuulalaakeri kestää hyvin aksiaali- ja säteiskuormitusta kuulien ja vierintäurien suuren kosketuspinnan ansiosta. Laakeri soveltuu hyvin myös suurille nopeuksille, koska se kestää hyvin keskeisvoiman aiheuttaman rasituksen. Usein laakeriin kohdistuu aksiaalivoiman ja säteisvoiman yhteisvaikutus.

(2, s. 131 - 142.)

Pyöräntuentakonstruktioissa laakerin asennustapoja on useita. Yleisimmin vetävillä pyörillä laakeri on puristussovitettu ulkokehältään olka-akseliin. Pyörännapa painetaan niin ikään puristussovitteella laakerin sisäkehälle ja vetoakseli pyörännavan sisälle boori-sovituksella. Laakeri kiristetään asennustiukkuuteen vetoakselin lukitusmutterilla. Kiristystiukkuus tällaisessa laakerissa on kohtuullisen suuri, koska laakerin kaksiosainen sisäkehä estää laakerin kiristymisen liian tiukalle. (4.)

Toinen yleinen tapa kuulalaakerin asennukseen on käytössä pyörillä, joihin ei asenneta vetoakselia. Pyörännapa-akseli on kiinteä. Sisäkehä asennetaan akselille ja pyörännapa on asennettu laakerin ulkokehälle. Joissakin tällaisissa rakenteissa pyörännapa on kiinteä osa laakeria. (4.) Kuvassa 1 on esitetty esimerkki kaksirivisen urakuulalaakerin asennustavasta.



KUVA 1. Kaksirivinen urakuulalaakeri pyöräntuentakonstruktiossa (5)

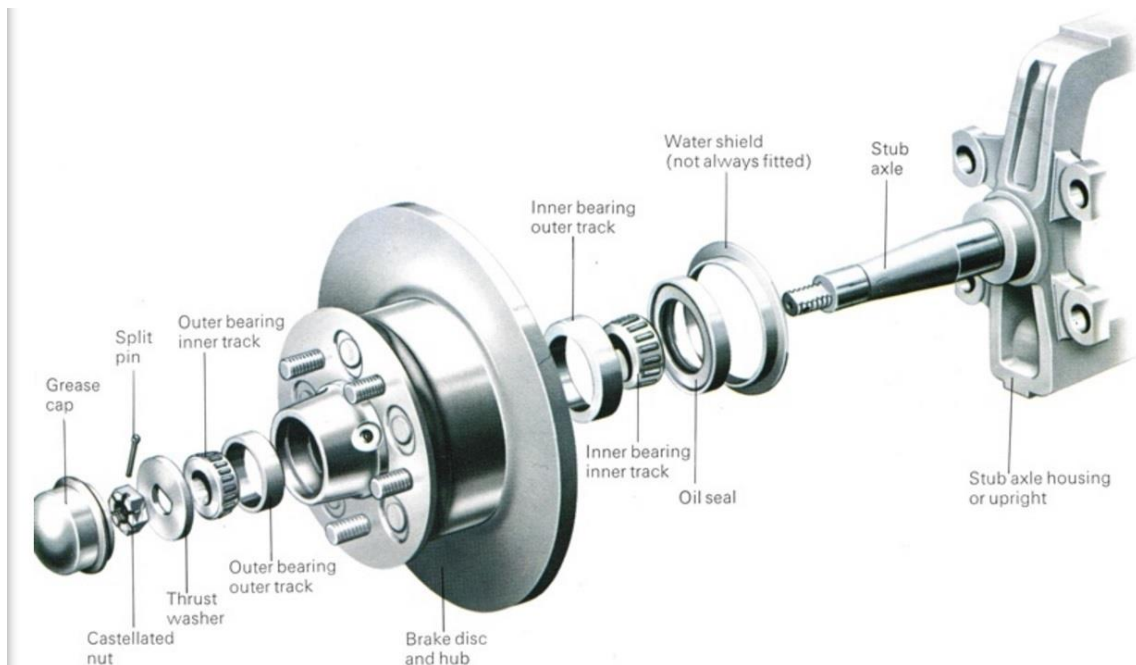
## 2.2 Kartiorullalaakeri

Toinen yleinen laakerityyppi on kartiorullalaakeri. Nykyään sen käyttö on vähentynyt kaksirivisten kuulalaakerien yleistyessä, mutta se on edelleen käytössä joissakin automalleissa. Tämän tyypissä laakerissa vierintäelimet ovat hie- man kartiomaisia. Ulkokehän sisäpinta sekä sisäkehän ulkopinta ovat vinot. Vie- rintärullat asettuvat näille pinnoille. Myös tällaisessa laakerissa vierintäelimet jaetaan kehälle tasavälein rullanpitimen avulla. (2, s. 131 - 142.)

Kartiomaisia laakereita käytettäessä vaaditaan aina kaksi laakeria, jotka asen- netaan vastakkain. Yksittäinen kartiolaakeri pystyy ottamaan aksiaalikuormitus- ta vain yhteen suuntaan. Laakerin rakenteesta johtuen myös säteen suuntainen voima saa aikaan aksiaalivoiman. Tämän kumoamiseksi on asennettava vas- takkaissuuntainen laakeri, vaikka ulkopuolista aksiaalikuormitusta ei syn- tyisikään. (2, s. 131 - 142.)

Kartiolaakereissa on tavanomaisesti irtonainen ulkokehä. Ulkokehä asennetaan pyörännapaan ahdistussovitteella, mutta laakerin sisäkehä ja vierintäelimet ovat asennettavissa ilman puristussovitusta. Tästä syystä laakereiden vaihtaminen on pääsääntöisesti helppoa. (4.)

Laakerivälitys on säädettävissä pyörännapa-akselin päässä olevalla lukitusmutterilla. Välyksen säätäminen on tehtävä huolellisesti, koska liiallinen välykseen kuluttaa laakeria nopeasti ja toisaalta liian pieni välykseen voi johtaa laakerin kuumenemiseen. Pieni välykseen on siis tällaisissa laakereissa välttämätön. Akselin päässä olevan mutterin pyöriminen on tavallisesti estetty lukitussovittimella. (4.) Kuvassa 2 on esitetty kahdella kartiorullalaakerilla toteutettu pyöräntuentaratkaisu.



*KUVA 2. Kartiorullalaakereilla toteutettu pyöränlaakerointi (6)*

### 3 LAAKERIN ELINKAARI

Jokaiselle laakerille on laskettu käyttöikä, mutta tutkimusten mukaan kaikki laakerit eivät kuitenkaan saavuta laskennallista käyttöikää. Laakerien laskennallinen käyttöikä määritetään kaavalla 1. Pyörivien laakerien kestoikää laskettaessa käytetään kokeellisesti saatua dynaamista kantavuuslukua C. Tämä ilmoittaa laakerikuormituksen, jolla laakerin nimelliskestoikä olisi miljoona kierrosta. (3, s. 325.)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{KAAVA 1}$$

$L_{10}$  = nimelliskestoikä, miljoonaa kierrosta

C = laakerin dynaaminen kantavuusluku (newtoneina)

P = laakerin dynaaminen ekvivalenttikuormitus (Newtoneina)

p = kokemusperäinen eksponentti (kuulalaakeri p = 3, rullalaakeri p = 10/3)

Nimelliskestoikälle on myös muunnettu kaava (kaava 2) (3, s. 325). Laakerien valmistajat suorittavat laskennan väsymiskuormitusrajan perusteella huomoiden useampia kertoimia laakerin kestoikään liittyvistä asioista. (3, s.325.)

$$L_{na} = a_1 * a_2 * a_3 * \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{KAAVA 2}$$

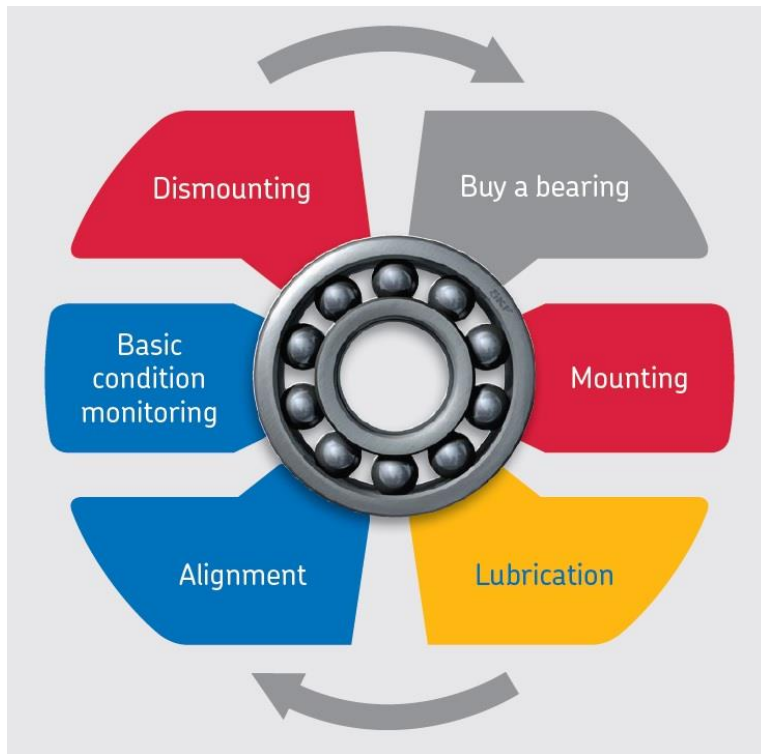
$L_{na}$  = muunnettu nimelliskestoikä

$a_1$  = todennäköisen kestoian luotettavuuskerroin

$a_2$  = laakeriainekerroin

$a_3$  = käyttöolosuhdekerroin

Laakerin elinkaaren eri vaiheissa suoritettavat toimenpiteet ja mahdollisesti tapahtuneet virheet vaikuttavat laakerin kestoikään merkittävästi. Teollisuudessa laakerin elinkaari voidaan jakaa kuvan 3 mukaisiin vaiheisiin. (7.)

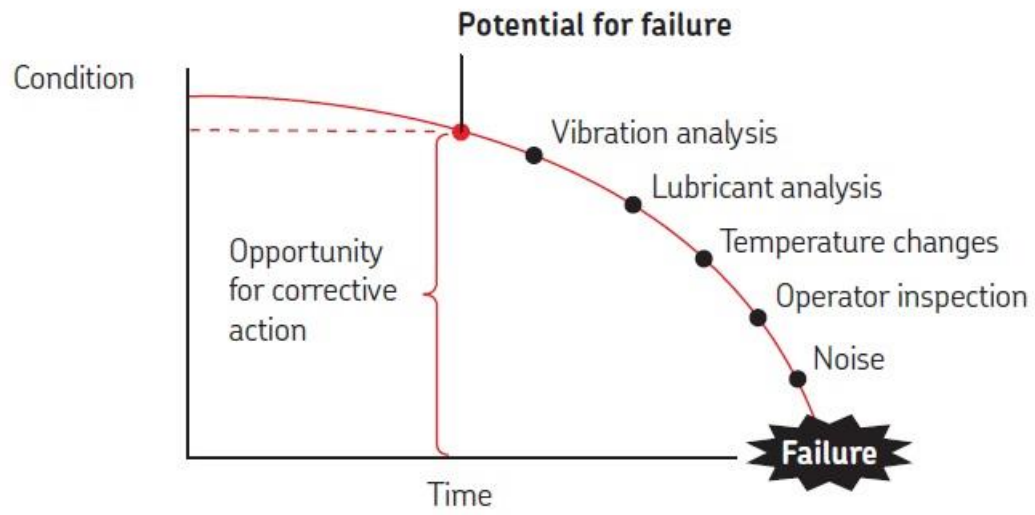


*KUVA 3. Laakerin elinkaari (7, s. 3)*

Ajoneuvokäytössä laakerien kuntoa ei tavanomaisesti valvota muualla kuin määräaikaishuollossa ja määräaikaishuoltojen yhteydessä. Tarkastusten aikaväli voi taten olla pitkä. Tällä välillä laakeri ehtii rikkoontua, mikäli ajoneuvon kuljettaja ei havaitse laakerin vikaantumista ajoissa. Laakerin kiinnileikkautuminen tai purkaantuminen ajon aikana voi johtaa vakaviin onnettomuuksiin.

Yleisimpiä syitä laakerien ennenaikaiseen rikkoutumiseen ovat asennusvirheet, puutteellinen voitelu, epäpuhtaudet ja väsymisvauriot. Nämä syyt kattavat yli 60 % laakerien ennenaikaisista vaurioista. (7, s. 4.) Ajoneuvokäytössä olevat laakerit ovat yleensä kestovoideltuja, mutta puutteellisesti suojatut laakerit ovat kuitenkin likaherkkiä käyttöolosuhteista johtuen. (4.)

Laakerin vikaantuessa laakeri kuluu loppuun nopeasti, joten vika on tärkeää havaita jo varhaisessa vaiheessa. Kuvassa 4 on esitetty laakerin vikaantuminen ajan suhteen. (7, s. 84.)



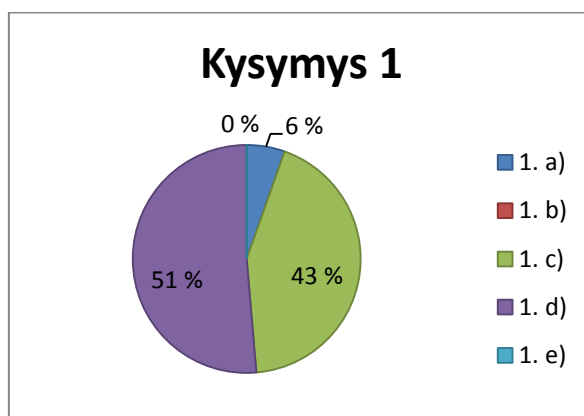
*KUVA 4. Laakerin käyttöikä (7, s. 84)*

## 4 NYKYISIN AUTOALAN KÄYTÖSSÄ OLEVAT MENETELMÄT VIKOJEN TODENTAMISEEN

### 4.1 Kyselytutkimus merkkiliikkeiden edustajille

Tämänhetkisiä autoalalla käytössä olevia menetelmiä selvitettiin kyselytutkimuksen avulla. Kysely suunnattiin maahantuojan valtuuttamille merkkiedustajille, joilla on käytössään maahantuojan ohjeet edustamiensa merkkien huoltoon ja korjaukseen. Kyselyssä ei pyydetty kovin yksityiskohtaista tietoa käytössä olevista menetelmistä, vaan pyrittiin muodostamaan käsitys nykyisten korjaamoiden laakerivikojen diagnosoinnin tasosta. Korjaamoille lähetetty kyselylomake on esitetty liitteessä 1.

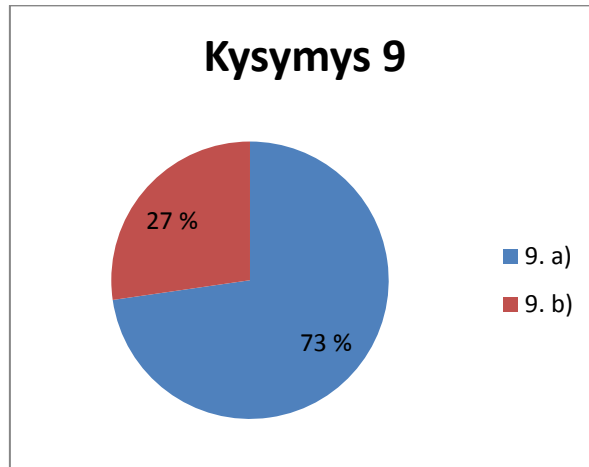
Kyselyssä selvisi laakerivikojen todentamisen pohjautuvan pääasiassa asentajan tulkintaan ja tieajokokeisiin. Kysymyksessä 1 asentajan tulkintaan pohjautuva todentaminen (c) ja tieajokokeet (d) kattavat 94 % vastauksista. Useimmat korjaamot valitsivat molemmat vaihtoehdot. Elektroninen mittausjärjestelmä on käytössä 6 %:lla vastaajista. Kuvassa 5 on esitetty vastausten jakauma.



KUVA 5. Kysymys 1: Millaisia menetelmiä korjaamollanne on käytettävissä laakerivikojen tutkimiseen? (valitse yksi tai useampi vaihtoehto)

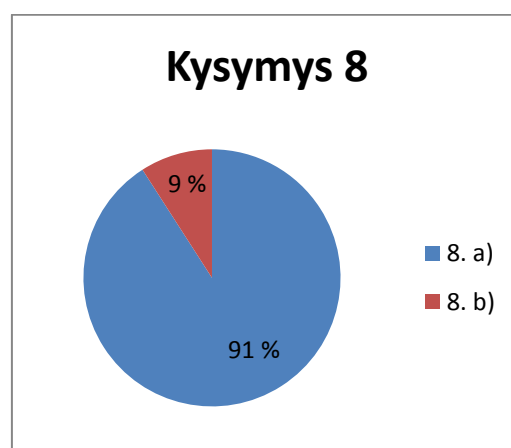


Useat korjaamot olisivat kuitenkin halukkaita investoimaan vaihtoehtoiseen menetelmään, mikäli sellainen olisi saatavilla. Kuvassa 6 on esitetty vastausjakauma kysymykseen 9.



*KUVA 6. Kysymys 9: Mikäli vaihtoehtoinen menetelmä olisi saatavilla, olisitteko valmiita/halukkaita investoimaan sellaiseen?*

Investointivalmiudesta huolimatta enemmistö vastanneista pitää nykyisiä menetelmiä riittävän tarkkana. Korjaamopäälliköiden kertoman mukaan asiakkaat tuovat autonsa korjaamolle vasta siinä vaiheessa, kun vika on jo helposti asentajan havaittavissa. Täten hankalasti tulkittavia tapauksia on vain harvoin. Kuvassa 7 on esitetty vastausjakauma kysymykseen 8.



*KUVA 7. Kysymys 8: Ovatko nykyiset käytössä olevat menetelmät mielestänne riittävän tarkkoja?*

Otanta korjaamoista on suppeahko, mutta vastauksia saatiin päämerkkien ja suurimpien ketjujen edustajilta. Eräiden merkkien edustajat myös kertoivat edustamansa liikeketjun käyttävän yhtenäistä laatukäsikirjaa, joten menetelmät ovat vastaavanlaisia ketjun muissa toimipisteissä. Korjaamoilta saatujen vastausten yhteenveto muihin kysymyksiin on esitetty liitteessä 2.

#### **4.2 Renkaan pyöritin**

Markkinoilla on saatavilla renkaan pyörittimiä, joilla ilmassa vapaana olevaa rengasta pyöritetään sivusta kuormittamalla. Laitteenkäyttäjän on kuitenkin arvioitava laakerin kunto "korvakuulolla", joten merkittävää etua laitteella ei saavuteta. Raskaalle kalustolle laite on kuitenkin käyttökelpoinen. Kuvassa 8 Dyma-tronic Oy:n valmistama renkaan pyöritin. Dymac WR70.



*KUVA 8. Dymac WR70 (8)*

## **5 AUTOALAN ULKOPUOLELLA KÄYTETTÄVIÄ MENETELMIÄ**

Laakerivikojen diagnosoinnin mahdollisuuksista kattavan käsityksen saamiseksi perehdyttiin teollisuuden käytössä olevien vierintälaakereiden seurantajärjestelmien ja kunnossapitohenkilökunnan kannettavien mittalaitteiden toimintaan. Tämä tapahtui tutkimusjulkaisujen avulla.

### **5.1 Värähtelymittaus**

Teollisuudessa laakereiden kuntoa on yleisesti tarkkailtu laakerin värähtelyyn perustuvalla mittauksella. Laakerin kuulien tai rullien ja laakerin ulko- tai sisäkehän paikalliset kulumat aiheuttavat värähtelyä, mikä voi aiheuttaa resonointia laakerissa ja siihen liittyvissä osissa. Epämuodostumista tai kulumista aiheutuva värinä voidaan havaita värähtelymittauksella. (9, s. 2.)

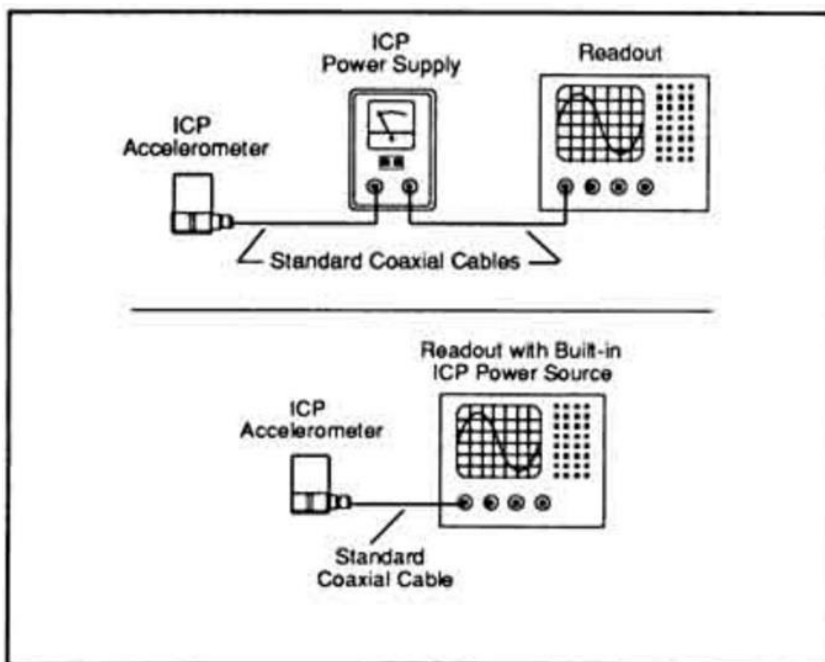
#### **5.1.1 Periaate**

Värähtelymittaus toteutetaan yleensä pietsosähköisellä kiihtyvyytunnistimella. Tunnistimessa olevaan pietsosähköiseen kiteeseen venyttävästi tai puristavasti vaikuttava voima liikuttaa kiteen positiivisia ja negatiivisia ioneja toisiinsa nähden, jolloin kiteen päätyjen välille muodostuu sähkökenttä. Venymä ja puristus aiheuttavat vastakkaissuuntaiset kentät. Tällä tavoin mekaaninen värähtely voidaan muuttaa sähköiseksi jännitesignaaliksi ilman ulkoista jännitesyöttöä. Syntyvä jännite on verrannollinen kidettä kuormittavaan voimaan.

Kidettä kuormittavan massan ollessa vakio ulossaatava jännite on verrannollinen kiihtyvyyteen. Värähtelytunnistimelta saatavaa signaalia voidaan tutkia joko aika- tai taajuustasossa. (10, s. 25; 11, s. 95.)

Kiihtyvyytunnistimet voidaan jakaa kahteen ryhmään: sisäisesti vahvistetut tunnistimet sekä vahvistamattomat tunnistimet. Sisäisesti vahvistetuissa tunnistimissa on sisäänrakennettu signaalinvahvistin. Vahvistamattomissa tunnistimissa on vain pietsoelektroninen tunnistinelementti. (12.)

Sisäisesti vahvistetussa tunnistimessa signaalinvahvistin muuttaa piezoelektronisen tunnistinelementin synnyttämän korkeaimpedanssisen signaalin käyttökelpoiseksi matalaimpedanssiseksi signaaliksi, joka voidaan lähettää tavallisen kaksijohtoisen koaksiaalikaapelin kautta mille tahansa jännitesignaalin luku- tai tallennuslaitteelle. Tällaisen tunnistimen vahvistinpiiriin voidaan ohjelmoida myös muita ominaisuuksia, kuten signaalin suodattamista. Vahvistinpiiri vaatii kuitenkin toimiakseen ulkoisen jännitesyötön. Kuvassa 9 on esitetty sisäisellä signaalinvahvistimella varustetun kiihtyvyystunnistimen kytkentävaihtoehtoja. (12.)

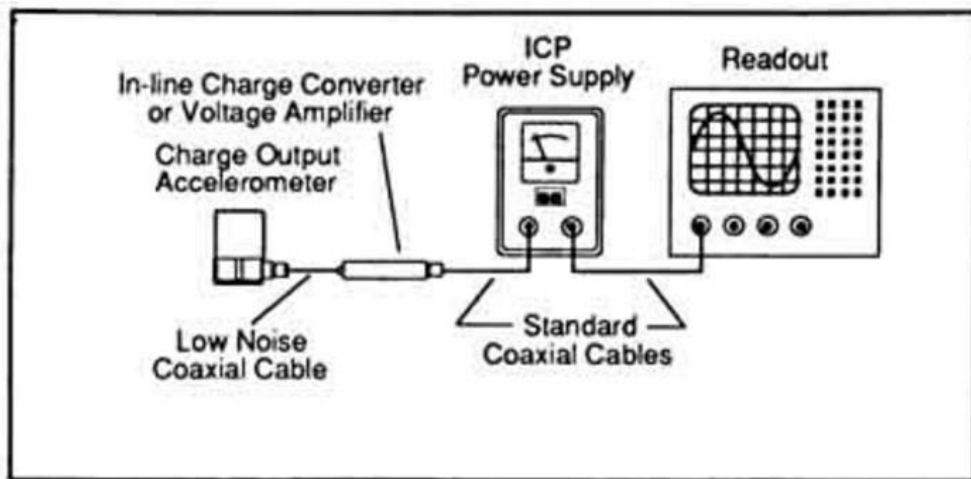


*KUVA 9. Sisäisellä signaalinvahvistimella varustetun piezoelektronisen tunnistimen kytkentävaihtoehtoja (12)*

Sisäisesti vahvistetun tunnistimen valmiiksi käsiteltyä signaalia voidaan siirtää pitkiä matkoja johtimia pitkin sen heikentymättä merkittävästi. Vahvistettu signaali ei ole herkkä ulkoisille häiriöille. Helppokäyttöisyytensä, laajan mitta-alueen ja toimintavarmuutensa vuoksi sisäisellä signaalinvahvistimella varustetut tunnistimet ovat suositeltavia värähtelymittauksissa. (12.)

Tunnistimet, joissa ei ole signaalinvahvistinta, lähettävät käsittelemättömän signaalin suoraan piezoelektroniselta tunnistinelementiltä johtimiin. Käsittelemätön

signaali on kuitenkin herkkä häiriöille ja ympäristön vaikutuksille ja vaatii signaalinvahvistimen ennen lukulaitetta. Tämän tyyppinen tunnistin kestää kuitenkin vahvistettua tunnistinta korkeamman lämpötilan, ja sitä käytetäänkin korkeissa lämpötiloissa tapahtuvaan mittaukseen. Mikäli signaalia on siirrettävä pitkiä matkoja johtimia pitkin, suositellaan johtimen välille liitettävää signaalinvahvistinta. Vahvistin vaatii oman virransyötön. Kuvassa 10 on esitetty tavanomainen kytkentä tunnistimelle, jossa ei ole sisäistä signaalinvahvistinta. (12.)



KUVA 10. Kiihtyvyystunnistin ilman sisäistä signaalinvahvistusta(12)

### 5.1.2 Tunnistimien kiinnitys

Värähtelymittauksessa tunnistimen kiinnityksellä on merkittävä vaikutus mittaus-  
ten luotettavuuteen sekä tunnistimen taajuusvasteeseen. PSK 5707 -standardin  
mukaan laakerien ominaisvärähtelytaajuudet ovat luokkaa 500 - 2000 Hz  
(13, s. 15 - 17). Kiinnitys olisi toteutettava siten, että taajuusvaste ylittäisi laake-  
rien ominaisvärähtelytason. Standardissa SFS ISO 5348 on eritelty kiihtyvyyss-  
tunnistimien erityyppisten kiinnitystapojen vaikutukset tunnistimien taajuusvas-  
teisiin. (14.)

Tunnistimen kiinnityspiste on valittava siten, että mittaava tunnistin ja värähtely-  
lähde ovat mahdollisimman lähellä toisiaan. Mitattavien kohteiden rakenteiden  
takia tunnistimia harvoin päästään kiinnittämään optimaaliseen paikkaan, joten  
on valittava paras mahdollinen kiinnityskohta. Teollisuuden sovelluksissa yhtä  
laakeria kohti käytetään useita tunnistimia mittauksen luotettavuuden paranta-

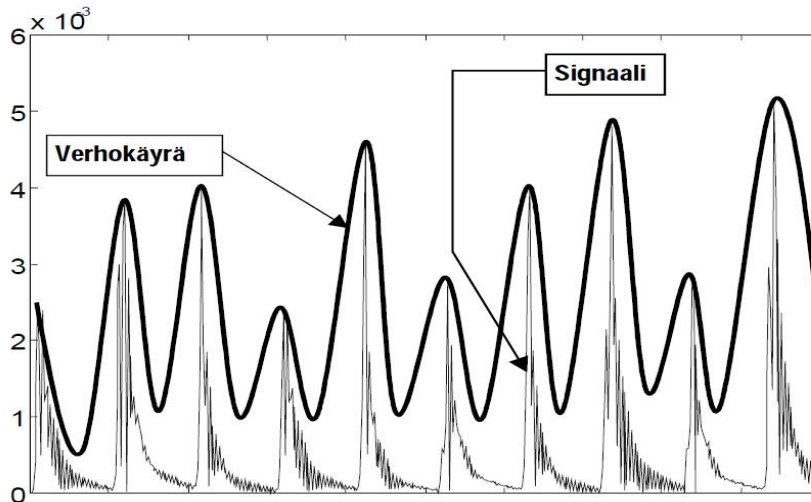
miseksi. Kuitenkin yhdellä tunnistimella suoritettu mittaus voidaan myös hyväksyä. (15, s. 41 - 42.)

### **5.1.3 Signaalin analysointi**

Värähtelytunnistimelta saatavan signaalin käsittely riippuu siitä, minkä tasoista kunnonvalvontaa kohteelle halutaan tehdä. Teollisuudessa koneiden värähtelyvalvonta voidaan jakaa seuraaviin luokkiin: kokonaistasovalvonta, trendiseuranta ja spektrianalyysi. (14, s. 44.)

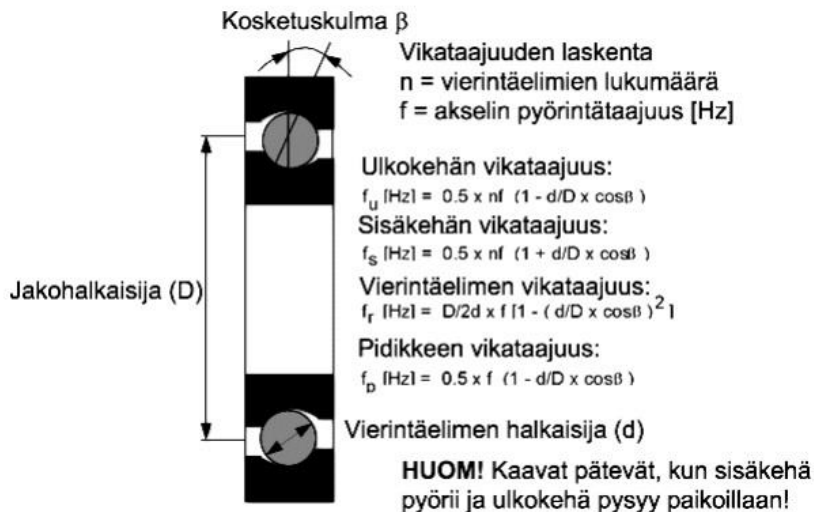
Aikatason signaalia, joka on ajan suhteen muuttuva jännitearvo, analysoidessa voidaan seurata kiihtyvyyden huippuarvoja tai tehollisarvoja. Kiihtyvyyden huippuarvojen kasvaminen indikoi usein alkavasta laakerivauriosta. Tämä signaali on kuitenkin herkkä häiriöille ja mittauksessa käytetyllä taajuusalueella on merkittävä vaikutus saataviin tuloksiin. Kiihtyvyyssignaalin derivoiminen ajan suhteen helpottaa vikojen tulkitsemista. (16, s. 5.)

Vierintälaakereiden alkavia vikoja etsittäessä käytetään muun muassa verhoikäyrämenetelmää. Verhokäyrämenetelmää käytettäessä signaalista suodatetaan ympäristön häiriöiden aiheuttama matalataajuuksinen suuriamplitudinen signaali ja mitataan ainoastaan korkeita taajuuksia laakerin resonanssitaajuusalueen ympäristöstä. Tämä signaali tasasuunnataan ja siitä muodostetaan verhokäyrä. Tästä verhokäyrästä voidaan erotella vauriosignaalit. Ilman signaalin käsittelyä tämän tyyppiset värähtelyt jäisivät laakerien ominaisvärähtelyn takia huomaamatta. (16, s. 6 - 7.) Kuvassa 11 on esitetty tasasuunnattu verhokäyräsignaalikuvaaja.



KUVA 11. Verhokäyräkuvaaja (14, s. 6)

Laakerin värähtelytaajuuksista pystytään erottelamaan myös laakerikomponenttien viat. Värähtelytaajuus muuttuu sen mukaan missä kohtaa laakeria vika sijaitsee. Eri laakerikomponenttien vauriotaajuudet voidaan määrittää laskennallisesti, kuten kuvassa 12 on esitetty. Laakerivalmistajilla on myös olemassa valmiita kirjastoja erityyppisten laakereiden vauriotaajuuksista. (13, s. 15 - 17; 16, s. 5 - 7.)



KUVA 12. Vierintälaakerin vauriotaajuuksien määrittäminen (16, s. 7)

Vauriotaajuuksien amplitudit eivät kuitenkaan ole yksiselitteisiä arvoja, vaan amplitudit riippuvat mm. anturin asennustavasta sekä mitattavasta laakerista

(16, s. 8). Useasti laakerien vauriotaajuudet ovat valmiiksi määritettyinä mittausohjelmissa, jotka antavat hälytyksen automaattisesti mikäli joku raja-arvoista ylittyy (16, s. 7).

PSK 5707 -standardissa kerrotaan laakerivikojen tavanomaisesti alkavan vierintäradoilta edeten vierintäelimiin sekä niiden pitimiin. Näin ollen vierintäratojen vikataajuudet ovat havaittavissa ensimmäisenä. Tämä ei kuitenkaan välttämättä kerro vierintäradan vauriosta. Joissakin tapauksissa tämä voi indikoida myös vierintäelimien pidikkeen vauriosta, mikä aiheuttaa vierintäelimien törmäilyä toisiinsa. (13, s. 16.)

Värähtelymittaukseen on saatavilla lukuisia erilaisia mittausjärjestelmiä ja kannettavia mittalaitteita. Kannettavia mittalaitteita on ollut markkinoilla vuodesta 1983. (16, s. 9.) Saatavilla on myös värähtelymittaukseen ja tulosten tulkintaan opastavia koulutuksia.

## **5.2 Ultraäänimittaus**

Viallisessa laakerissa olevat kulumat tai epämuodostumat aiheuttavat kitkaa laakerin liikkuvien osien välille laakerin pyöriessä. Kitkasta tai mahdollisista iskuista laakerin osien välillä syntyy ultraääntä. Viallinen laakeri synnyttää ehjää laakeria karkeamman ja voimakkaamman äänen, joka voidaan havaita mittauksessa. (17, s. 4.)

Ultraääni on ihmisen kuuloalueen yläpuolella olevaa mekaanista värähtelyä, joka tarvitsee liikkuaakseen väliaineen. Ultraäänimittauksen etuna on mahdollisuus mitata ääntä ilmasta, jolloin mittausanturin ei tarvitse olla kiinteässä yhteydessä mitattavan kohteen kanssa. Ilmassa ultraäänen vaimenemiskerroin on kuitenkin huomattavasti suurempi kuin kiinteässä aineessa, joten se ei kulje pitkiä matkoja äänenlähteestä. (10, s. 23; 17.)

Ultraäänimittausta käytetään erilaisiin kohteisiin. Käytettävä mittausmenetelmä riippuu mitattavasta kohteesta ja suuresta. Etäisyysmittauksissa käytetään aktiivisia ultraääniantureita, jotka toimivat äänen lähettäjänä ja vastaanottajana. Anturit lähettävät ultraääntä, ja kun ääniaallot kimpoavat esteestä takaisin tunnistimelle, mitataan aallon kulkuun kulunut aika. Kun tiedetään äänen etene-



misnopeus väliaineessa, voidaan laskea esteen etäisyys mittalaitteesta. Tämän tyyppisiä tunnistimia käytetään esimerkiksi autojen pysäköintitutkissa tai kalastajien käyttämissä kaikuluotaimissa. (18, s. 282 - 284.)

Laakereiden kuntoa tutkittaessa käytetään passiivisia tunnistimia, jotka eivät lähetä ultraääntä, vaan mikrofoni mittaa mitattavassa kohteessa syntyvän ultraäänen. Ultraäänimittalaitteissa käytetään piezoelektronisia tunnistimia, joilla ultraääniaaltojen aiheuttama värähtely muutetaan sähköiseksi jännitesignaaliksi. Tällaisia mittalaitteita käytetään myös vuotomittauksissa. (19.)

Eri mittalaitteissa syntynyt jännitesignaali joko yksinkertaisesti muutetaan ihmisen kuuloalueella olevalle taajuudelle, jolloin mittalaitetta käyttävä henkilö pystyy kuuntelemaan ääntä reaaliajassa mittalaitteen kuulokkeilla, tai tallennetaan mittalaitteeseen, jonka jälkeen signaalia voidaan tutkia ja käsitellä aika- tai taajuustasossa. Tavanomaisesti mittalaitteet ilmoittavat äänen intensiteettitason (dB). (20.)

Mittalaitteisiin on saatavilla erilaisia heijastimia, joiden avulla ääniaaltojen heijastumista voidaan kohdentaa mikrofoniin. Tällaisia mittapäitä käytetään äänenlähteen paikantamisessa. Saatavilla on myös kontaktimittapäitä, jotka painetaan kiinni mitattavaan kohteeseen. Tällöin ääniaallon aiheuttama värähtely johdetaan kiinteää väliainetta pitkin mikrofoniin piezoelektroniselle kielelle. (19.) Kiinteitä rakenteita mitattaessa käytetään yleensä kontaktimittapäitä. Ilmasta mitataan tavanomaisesti erilaisia vuotomittauksia esimerkiksi paineilmaverkoston vuotomittauksia.

Kuvassa 13 on esitetty kontaktimittapäällä mitattuja kuvaajia erikuntoisista laakereista. ylhäällä on kunnossa oleva oikein voideltu laakeri. Keskimmäisessä kuvaajassa on puutteellisesti voideltu laakeri. Alhaalla on lievästi vaurioitunut laakeri. (17, s. 4.)

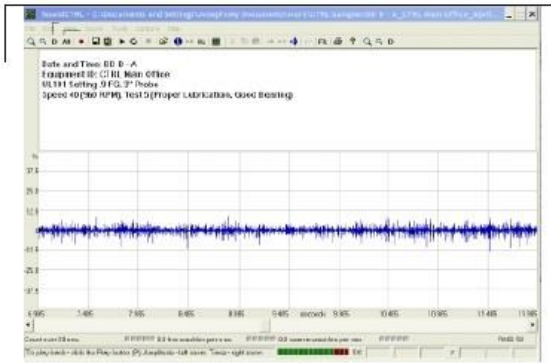


Figure 6 : Properly Lubricated bearing

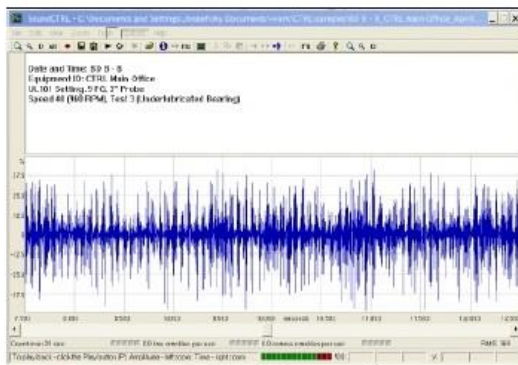


Figure 7: Under-lubricated bearing

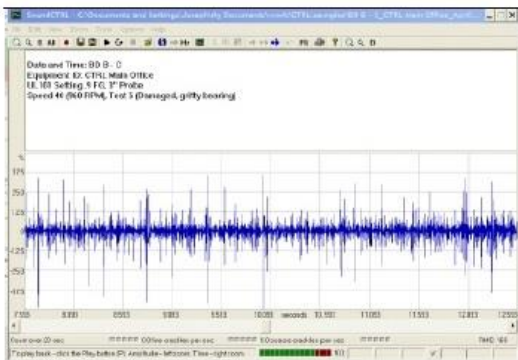


Figure 8: Bearing with minor damage / grit in grease

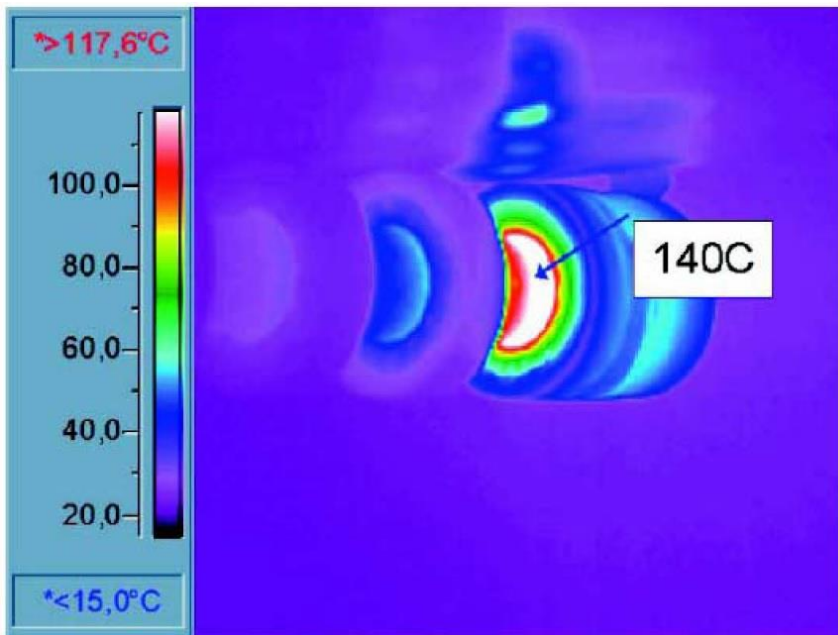
KUVA 13. Ultraäänimittauksen tuloksia erikuntoisista laakereista (17, s. 4)

### 5.3 Lämpökameramittaus

Kaikki esineet, joiden lämpötila on yli absoluuttisen nolapisteen eli  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lähettävät lämpösäteilyä. Huoneenlämpötilassa lähes kaikki kappaleiden lähettämä säteily on infrapuna-alueella, joten se on silmälle näkymätöntä aallonpituuden ollessa huomattavasti näkyvän valon aallonpituutta pidempää. Kappaleen lämpötilan kohotessa säteilyn aallonpituus lyhenee. Silmällä nähtävälle

alueelle lämpösäteily siirtyy, kun kappaleen lämpötila ylittää +500 °C. Tällöin nähtävissä on alkava punahehku. (21, s. 418 - 419.)

Lämpökamera vastaanottaa mitattavan kohteen synnyttämää lämpösäteilyä ja muuntaa sen lämpötilajakauman mukaiseksi kuvaksi (22). Lämpökamerat eivät juuri vaadi huoltoa, joten ne soveltuvat hyvin pitkäaikaiseen prosessinvalvontaan. Lämpömittauksella ei kuitenkaan pystytä todentamaan alkuvaiheessa olevaa vikaa, koska useasti laakeri alkaa lämmetä vasta, kun se on jo selvästi vaurioitunut. Kunnonvalvonnassa lämpökameran käyttö on kuitenkin yleistynyt laitteistojen kehittymisen myötä. (22; 16, s. 23.) Kuvassa 14 on esitetty lämpökamerakuva viallisesta laakerista, jonka lämpötila on kohonnut vaarallisen korkealle.



*KUVA 14 Viallisen laakerin lämpökamerakuva (22, s. 23)*

## **6 AUTOTOHTORI-PALVELUUN SOVELLETTAVISSA OLEVAT MENETELMÄT**

TraFi:n määrittämien katsastuksen arvosteluperusteiden mukaan peruste hylkäykselle on liiallinen vällys pyöränlaakerissa (23). Tällainen vika voidaan havaita käsin pyörää ravistamalla, joten määräaikaiskatsastuksessa tarkemman menetelmän käyttäminen voi parhaillaan johtaa korjauskehotuksen antamiseen. Määräaikaiskatsastuksen ulkopuolella tehtävissä kuntotarkastuksissa alkavien vikojen mittaaminen voitaisiin tarjota lisäpalveluna, jolloin mittauksella saataisiin myös kaupallista lisäarvoa. Kuntotarkastusten osuus on kuitenkin verrattain pieni katsastusasemien toiminnassa, joten investointien kuoletusaika kasvaisi suureksi.

### **6.1 Värähtelymittaus**

Sovellettaessa värähtelymittausta pyöränlaakerivikojen todentamiseen on huomioitava pyöräntuentakonstruktiossa olevien muiden osien mahdollisesti aiheuttama värähtely. Mittauksiin häiriöitä aiheuttavaa värähtelyä voi syntyä jarrurakenteissa, pyörässä ja vetävillä pyörillä vetonivelissä ja tasauspyörästössä.

Taustavärähtelyjen suodattaminen vaatisi laajat koemittaukset erityyppisille pyöräntuenta- ja laakerirakenteille. Mittauksissa olisi otettava huomioon myös taustavärähtelyjä aiheuttavien osien vaurioista johtuvat muutokset värähtelyssä. Esimerkiksi laahaava jarru, kiero jarrulevy tai kulunut vetonivel voivat aiheuttaa normaalista poikkeavaa värähtelyä. Tarpeeksi laajamittaisilla koemittauksilla pystyttäisiin kuitenkin muodostamaan toleranssialueet erityyppisten rakenteiden sallitusta ominaisvärähtelystä. Suurimmaksi tekijäksi koemittauksissa muodostuu kuitenkin signaalin analysointi. Prosessiteollisuuden standardissa PSK 5707 määritellyt ohjeet värähtelymittaustulosten analysoinnista antavat hyvän pohjan koemittauksissa selvitettäville asioille.

Värähtelymittausta voi myös hyödyntää saman akselin eri pyörillä tapahtuvan värähtelyn vertaamiseen. Näin saataisiin selville poikkeavuudet pyörien välillä.

Tämä ei vielä kuitenkaan suoranaisesti kerro mikä poikkeaman aiheuttaa. Tämän tyyppinen mittaus ei vaatisi juurikaan koemittauksia.

Värähtelymittaukseen perustuvat saatavilla olevat mittalaitteet ovat kalliita, joten hankintojen kannattavuus on kyseenalaista. Markkinoilla olevat laitteet ovat suunniteltu teollisuuden kunnonvalvonnan käyttöön, joten ajoneuvojen tarkastuksessa laitteet eivät sellaisenaan tarjoa optimaalisia mittausjärjestelyjä.

## **6.2 Ultraäänimittaus**

Samoin kuin värähtelymittauksessa, myös ultraäänimittauksessa ongelmaksi muodostuu taustahäiriöiden suodattaminen tuloksista. Äänimittauksessa häiriöitä mittaukseen syntyy värähtelymittausta enemmän, koska myös pyöräntuentaan liittymättömät osat ja ajoneuvon ympärillä kuuluvat äänet vaikuttavat mittaukseen, mikäli mittaus suoritettaisiin siten, ettei mittalaite ole kiinteässä yhteydessä mitattavan kohteen kanssa. Näin ollen myös ultraäänimittaus vaatisi laajat koemittaukset. Myös ultraäänimittalaitteet ovat kalliita, joten hankintojen kannattavuus on kyseenalaista.

## **6.3 Mekaaninen renkaan kuormittaminen**

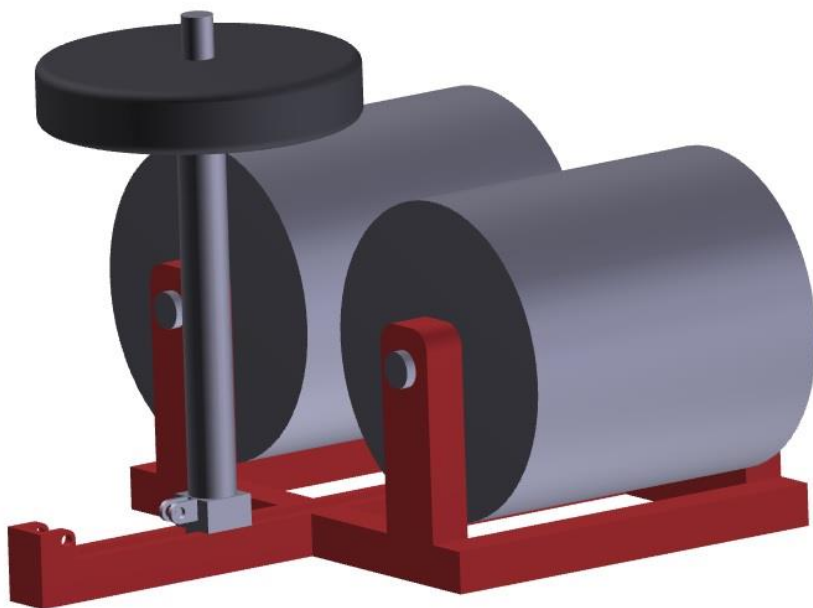
Alkavat laakeriviat ilmenevät usein vain tietyissä ajotilanteissa. Esimerkiksi kaarreajossa kuormituksen lisääntyessä laakeri voi alkaa ääntää, vaikka suoraan ajettaessa laakerissa ei ole havaittavissa ylimääräistä ääntä. Tällaisten vikojen havaitseminen ilman tieajokokeita on hankalaa.

Kuormittamalla rengasta mekaanisesti voidaan simuloida erilaisia ajotilanteita. Kaarreajoa simuloidessa on renkaalle luotava sivuttaiskuormitusta. Kuormittaminen on suotavaa tehdä siten, että ajoneuvo on pyöriensä varassa, jolloin myös auton oma paino kuormittaa laakeria ja tilanne vastaa mahdollisimman lähelle todellista ajotilannetta.

Kuormituslaite on rakenteeltaan yksinkertainen. Laite vaatii rullat, joiden päälle ajoneuvon rengas ajetaan kuten jarrudynamometrissä. Tällöin auto voi olla ren-

kaidensa varassa ja renkaita voidaan pyörittää ilman, että auto liikkuu. Renkaan ollessa rullien päällä ajetaan renkaan tai vanteen kylkeä vasten rulla, jolla painetaan rengasta sivusuunnassa.

Kuormituksen aikana rengasta on pyöritettävä. Tämä voidaan toteuttaa joko ajamalla autoa rullien päällä tai pyörittämällä kuormituslaitteen rullia koneellisesti. Jälkimmäinen vaihtoehto on parempi siinä mielessä, ettei ajoneuvon tarvitse olla käynnissä, jolloin moottorin ääni ei häiritse vian tulkitsemista. Vian tulkitseminen on tässä tapauksessa kuitenkin tehtävä ”korvakuulolla” tai stetoskoopin avulla, joten menetelmä ei tarjoa tarkkoja tuloksia ellei siihen liitä tarkempaa mittausjärjestelmää, jota käytetään kuormituksen aikana. Kuvassa 15 on esitetty luonnos mahdollisesta renkaan pyörittin -sovelluksesta.



*KUVA 15. Luonnos renkaan pyörittimestä*

## **7 JARRUDYNAMOMETRIN HYÖDYNTÄMINEN LAAKERIVIKOJEN TESTAUKSESSA**

### **7.1 Sovellettavat mittausmenetelmät**

Erillisen renkaan kuormituslaitteen rakentaminen katsastusasemien käyttöön voidaan sivuuttaa turhana työvaiheena. Jokaisella katsastusasemalla on käytössään jarrudynamometri, jota voidaan hyödyntää kyseessä olevassa tarkoituksessa. Perusperiaate on sama kuin edellisessä luvussa esitetystä kuormituslaitteesta. Sivuttaista kuormitusta laakerille voidaan tuottaa lisäämällä jarrurullille kuormitusrulla tai yksinkertaisesti kääntämällä pyöriä ajoneuvon ollessa rullilla.

Tarkkojen mittaustulosten saamiseksi dynamometrin yhteyteen olisi kuitenkin liitettävä mittausjärjestelmä, jolla voitaisiin määrittää alkavien laakerivikojen aiheuttamat poikkeamat tarkasti. Käyttökelpoisimpia sovelluksia olisivat värähtelymittaus tai ultraäänimittaus, joiden tehokkuus on todistettu lukuisilla teollisuuden kunnonvalvonnan sovelluksilla. Tehtäessä mittaus dynamometrillä tiedettäisiin myös renkaan pyörintänopeus, jolloin mittaukset ovat toistettavissa.

### **7.2 Mittausjärjestelyt**

Mittausjärjestelmä olisi toteutettava siten, että tarkastusta suorittava henkilö pystyy käyttämään sitä itsenäisesti testauksen aikana. Sovellettaessa jarrudynamometrin yhteyteen värähtelymittausta tunnistimet on kiinnitettävä pyöränlaakerin läheisyyteen siten, että tunnistin on kiinteässä yhteydessä mitattavan laakerin kanssa. Kiinnittämällä tunnistin pyörännapa-akselin päähän tai vetoakselin päähän saataisiin laakerin sisäkehältä akseliin johtuva värähtely mitattua. Tunnistimet voitaisiin kiinnittää myös ajoneuvon olka-akseliin, jolloin kiinteä yhteys laakeriin säilyisi. Tällöin mittauspiste olisi lähempänä laakerin ulkokehää, kuten teollisuuden kunnonvalvonnan mittauksissa yleensä (13). Kiinnittäminen olka-akseliin on kuitenkin hankalampaa ajoneuvon ollessa lattiatasossa.

Asennus napa-akselin päähän vaatisi pölykapselin tai vanteen keskikupin irrottamista mittauksen ajaksi, mikä osaltaan lisää mittaukseen kuluvaan aikaa. Jois-

sakin erikoisvanteissa vanteen keskikuppi on kiinnitetty ruuviliitoksella, joten työvaihe vaatisi mahdollisesti myös työkaluja.

Tunnistimen kiinnitys olisi järkevin toteuttaa magneettikiinnityksellä, joka olisi nopeakäyttöinen menetelmä. Magneettien olisi kuitenkin oltava riittävän voimakkaita, jotta tunnistimen kiinnityksestä ei aiheutuisi ylimääräistä värähtelyä eikä tunnistin irtoaisi kesken mittauksen. Magneettikiinnitys olisi kuitenkin riittävän tukeva vierintälaakereissa mahdollisesti ilmenevien vauriotaajuuksien havaitsemiseen. SFS ISO 5348 -standardin mukaan tunnistimen taajuusvasteeseen magneettikiinnityksessä vaikuttaa magneetin massa ja paksuus, materiaalin magneettiset ominaisuudet sekä tunnistimen asennussuunta ja asennuspinnan tasaisuus. (14.)

Edellä mainitun tyyliässä mittauksessa tunnistimien olisi myös suotavaa olla langattomia. Tällä estettäisiin anturien johtimien kietoutuminen ajoneuvon sekä jarrudynamometrin pyörivien osien ympärille. Käytännössä tämä vaatisi sisäisellä signaalinvahvistimella varustetut kiihtyvyyttunnistimet ja langattomat lähettimet tunnistimien yhteyteen. Vahvistinpiiri sekä lähettimet vaativat jännitesyötön, joten yksikkö vaatisi toimiakseen akun. Nämä lisäykset tuovat kuitenkin lisää massaa tunnistinyksikköön, mikä voi aiheuttaa ongelmia magneettikiinnityksen suhteen. Nämä seikat huomioiden langallisten tunnistimien käyttö ei ole poissuljettu vaihtoehto. Anturien johtimet on mahdollista tukea siten, että ne eivät ole vaarassa kietoutua pyörivien osien ympärille.

Ultraäänimittauksessa mikrofoni ei ole välttämätöntä olla kiinni mitattavassa kohteessa. Täsmällinen äänenlähteen löytäminen mitattaessa teräsrakennetta ilmasta on kuitenkin haastavaa. Sopivilla äänen heijastimilla ja mikrofoniin sijoittelulla on kuitenkin mahdollista selvittää alkavat laakeriviat myös tällä menetelmällä. (20.)

Ultraäänijärjestelmän soveltaminen jarrudynamometrin yhteyteen olisi myös helpompaa, koska mikrofonit pystyttäisiin asentamaan kiinteästi dynamometrin rullien sivuille. Tämä helpottaisi myös tarkastusta suorittavan henkilön työtä anturien asennus- sekä irrotustyövaiheiden jäädessä pois. Teräsrakenteen mitta-



ukseen kontaktimittapäät soveltuvat kuitenkin ilmasta mittaavia mikrofoneja paremmin (17, s. 4).

Tunnistimien sovittamisen lisäksi järjestelmän käyttöliittymän suunnittelulla on merkittävä vaikutus testauksen sujuvuuteen. Tarkastusta suorittavan henkilön olisi pystyttävä käynnistämään ja pysäyttämään mittaus ajoneuvosta käsin sekä tallentamaan tai tulostamaan mittaustulokset heti mittauksen jälkeen.

Mittaustuloksia voidaan tulkita suoraan tunnistimilta saatavista signaaleista. Tarkastuksen nopeuttamiseksi olisi kuitenkin suotavaa lisätä mittalaitteistoon valmiit raja-arvot, joiden ylittyessä järjestelmä ilmoittaisi automaattisesti vioittuneesta laakerista.

Edellä mainitun kaltaista mittausjärjestelmää voisi hyödyntää myös raskaan kaluston tarkastuksissa. Soveltaminen kuorma-autoihin ja niiden perävaunuihin vaatisi omat koemittauksensa, jolla määritettäisiin toleranssialueet sallituista poikkeamista. Mikäli järjestelmä olisi muilta osin toimiva, nämä koemittaukset eivät kuitenkaan lisäisi työmäärää merkittävästi. Järjestelmällä saavutettava hyöty raskaalle kalustolle olisi merkittävämpi kuin kevyelle kalustolle. Raskaiden ajoneuvojen pyörät ja niihin liittyvät osat ovat massaltaan kohtalaisen painavia, jolloin renkaan pyörittäminen ja ravistaminen lihasvoimin on luonnollisesti hankalampaa kuin keveämpien henkilö- tai pakettiautojen pyörien.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli perehtyä nykyisin käytössä oleviin pyöränlaakerivikojen todentamismenetelmiin ja tutkia mahdollisuuksia kehittää menetelmiä. Nykyisin käytössä olevia menetelmiä kartoitettiin korjaamoille suunnatulla kyselytutkimuksella. Autoalan ulkopuolella käytettäviin menetelmiin perehdyttiin tutkimusjulkaisujen avulla.

Havaittiin, että nykyisin korjaamot käyttävät vianetsintään pääasiassa asentajan tulkintaan pohjautuvaa todentamista ja tieajokokeita. Joillakin korjaamoilla on käytössään myös vaihtoehtoisia menetelmiä, mutta niiden käyttö on harvinaista. Tavanomaisesti asiakkaat tuovat ajoneuvonsa korjaamolle vasta siinä vaiheessa, kun vika on jo selvästi havaittavissa.

Autoalan ulkopuolella käytössä on useita menetelmiä, joita olisi mahdollista soveltaa autojen laakerivikojen todentamiseen. Menetelmien käyttöönotto vaatisi kuitenkin laajat koemittaukset, jotta tuloksista saataisiin luotettavia. Todettiin myös, että mikäli vaihtoehtoista menetelmää aletaan kehittää, se on järkevintä rakentaa jarrudynamometrin yhteyteen.

Tämän työn aikana koemittauksia vaihtoehtoisilla menetelmillä ei suoritettu. Järjestelmän kehittäminen ja mittausten suorittaminen vaatisi usean kuukauden testausjakson, jolloin työ olisi laajentunut huomattavasti. Tästä syystä aihe päätettiin rajata vaihtoehtojen ja toteutusmenetelmien kartoittamiseen. Tämä työ antaa kuitenkin pohjatiedon menetelmän mahdolliseen jatkokehitykseen.

## LÄHTEET

1. Konserni lyhyesti. 2016. A-Katsastus Group. Saatavissa: <http://www.a-katsastus.com/konserni-lyhyesti> Hakupäivä 14.1.2016.
2. Karhima, Matti – Torniainen, Kalevi 2001. Auto- ja kuljetusalan perusoppi 5: voimansiirto. Keuruu: Otava.
3. Heinz, R 2003. Bosch Autoteknillinen taskukirja 6.painos, liuku- ja vierintälaakerit. Robert Bosch GmbH. Suom. Jyväskylä: Gummerus Oy.
4. Niskanen, Perttu 2014. Autotekniikka1 6 op. Opintojakson luennot syksyllä 2014. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
5. Google-kuvahaku. 2011. Vega automotive. Saatavissa: <http://www.vegaautomotive.com/userfiles/multiuploaded/documents/Wheel%20bearing%20-%20application.jpg> Hakupäivä 10.2.2016.
6. Diagram showing the adjustable, tapered roller bearings fitted to a disc-brake hub. 2016. Unique cars & parts. Saatavissa: [http://www.uniquecarsandparts.com.au/how\\_to\\_repair\\_wheel\\_bearings.php](http://www.uniquecarsandparts.com.au/how_to_repair_wheel_bearings.php) Hakupäivä 10.2.2016.
7. SKF Maintenance and Lubrication Products. 2011. SKF Group. Saatavilla: [http://www.tehimpex.si/pdf/orodja\\_nadzor\\_stanja/SKF\\_ORODJA\\_IN\\_NADZOR\\_STANJA.pdf](http://www.tehimpex.si/pdf/orodja_nadzor_stanja/SKF_ORODJA_IN_NADZOR_STANJA.pdf) Hakupäivä 10.2.2016.
8. Dymac WR70. Dymatronic Oy. Saatavissa: <http://www.dymatronic.com/uploads/lisalaitteet.pdf> Hakupäivä 15.1.2016.

9. Cong, Feiyun – Chen, Jin - Dong, Guangming - Pecht, Michael 2012. Vibration model of rolling element bearings in a rotor-bearing system for fault diagnosis. Zhejiang University. Saatavissa:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X12009236>  
Hakupäivä 17.12.2015.
10. Tenkku, Heikki – Ruuska, Jari. 2004. Kirjallisuusselvitys eräiden mittausten soveltuvuudesta LD-KG-konvertterin ohjaukseen. Raportti B No 53. Oulu: Oulun yliopisto, säätötekniikan laboratorio. Saatavissa:  
<http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514276191.pdf> Hakupäivä 16.2.2016.
11. Zabler, Erich – Finkbeiner, Stefan – Welsch, Wolfgang – Kittel, Hartmut – Bauer, Christian – Noetzel, Günter – Emmerich, Harald – Hopf, Gerald – Konzelmann, Uwe – Wahl, Thomas – Neul, Reinhard – Müller, Wolfgang-Michael – Bischoff, Claus – Pfahler, Christian – Weiberle, Peter - Papert, Ulrich – Gerhardt, Christian – Miekley, Klaus – Frehoff, Roger – Mast, Martin – Bauer, Bernhard – Harder, Michael – Kasten, Klaus – Brenner, Peter – Wolf, Frank – Riegel, Johann – Arndt, Michael 2007. Autojen anturit. Robert Bosch GmbH. Suom. Juhala – Matti. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus Oy.
12. Introduction to Piezoelectric Accelerometers. 2016. PCB Group. Saatavissa: [http://www.pcb.com/techsupport/tech\\_accel.php](http://www.pcb.com/techsupport/tech_accel.php) Hakupäivä 27.2.2016.
13. PSK 5707. 2011. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus, Vianmääritys, 5. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
14. SFS ISO 5348. 2012. Mechanical vibration and shock -- Mechanical mounting of accelerometers. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.
15. Palenius, Juha 2011. Teollisuuspuhaltimien värähtelymittaukset Fläkt Woods Oy:n Espoon yksikössä. Opinnäytetyö. Espoo: Metropolia ammattikorkeakoulu, automaatiotekniikka.

16. Mustonen, Mikko 2000. Paperikoneiden vierintälaakerien kunnonvalvontamenetelmät, Raportti BVAL73-001006. Saatavissa:  
<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/kunvalvmenetf.pdf>  
Hakupäivä 26.2.2016.
17. Buckley, Joseph M 2007. An overview of the predictive maintenance applications of airborne ultrasound testing. Saatavissa:  
<http://ndt.net/article/hsndt2007/files/Buckley.pdf> Hakupäivä 17.12.2015
18. Inkinen, Pentti – Manninen, Reijo – Tuohi, Jukka 2002. Momentti 2 insinöörifysiikka, 2.-4. painos. Keuruu: Otava.
19. Rienstra, Allan 2014. How to detect compressed air leaks. Saatavissa:  
<http://www.reliableplant.com/Read/29751/compressed-air-leaks>  
Hakupäivä 17.2.2016.
20. Naik, R.P 2009. Ultrasonic: A new method for condition monitoring.  
Saatavissa: <http://www.reliableplant.com/Read/20554/ultrasonic-condition-monitoring> Hakupäivä 17.2.2016
21. Inkinen. Pentti – Tuohi, Jukka 1999. Momentti 1 insinöörifysiikka, 4. -7. painos. Keuruu: Otava.
22. 5. Lämpökamera. Kunnossapito, menestystekijä. Opetushallitus.  
Saatavissa:  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_k5\\_lampokamera.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k5_lampokamera.html) Hakupäivä: 17.2.2016.
23. Halme, Jari – Parikka, Risto 2005. AC-servomoottori - rakenne, vikaantumisen ja havainnointimenetelmät. Saatavissa:  
[http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori\\_rakenne\\_vikaantuminen&havainnointi.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf) Hakupäivä: 17.2.2016.

24. Katsastuksen arvosteluperusteet, versio 3.0, Dnro 937/208/2007. 2007.

TraFi. Saatavissa:

[http://www.trafi.fi/filebank/a/1414581758/bfcfe5649d1199ba49231962884292ec/15980-Katsastuksen\\_arvosteluperusteet.pdf](http://www.trafi.fi/filebank/a/1414581758/bfcfe5649d1199ba49231962884292ec/15980-Katsastuksen_arvosteluperusteet.pdf) Hakupäivä: 21.1.2016.

## KYSELY PYÖRÄNLAAKERIVIKOJEN TODENNUSMENETELMISTÄ

Kysely keskittyy ainoastaan henkilö- ja pakettiautojen pyöränlaakerivikojen todentamiseen. Kyselyyn vastaaminen vie vain hetken, kiitos vastauksistanne.

### 1. Millaisia menetelmiä korjaamollanne on käytettävissä laakerivikojen tutkimiseen? (valitse yksi tai useampi vaihtoehto)

- a. Elektroninen mittausjärjestelmä
- b. Mekaaninen laakerin kuormituslaite
- c. Tieajokokeet
- d. Asentajan tulkintaan pohjautuva todentaminen
- e. Muu, mikä?

---

---

---

### 2. Onko käytössänne maahantuojaan erityisohjeita laakereiden tutkimiseen?

- a. Kyllä
- b. Ei

### 3. Kuinka paljon vianetsintään käytetään aikaa?

- a. Alle 15min
- b. Alle 30min
- c. Alle 1h
- d. Yli 1h

**Vastaa kysymykseen 4 vain jos vastasitte kysymykseen 1. vaihtoehdon a.**

### 4. Mihin järjestelmän toiminta perustuu?

- a. Värähtelymittaukseen
- b. Ultraäänimittaukseen
- c. Lasermittaukseen
- d. Lämpömittaukseen

**Vastaa kysymykseen 5 vain jos vastasitte kysymykseen 1. vaihtoehtoon a tai b**

**5. Vaatiiko vianetsintä laitteella ripustuksen purkamista tai renkaan irrottamista?**

- a. Kyllä, vain renkaan irrottamisen
- b. Kyllä, renkaan irrottamisen sekä ripustuksen purkamisen (osittain tai olka-akselin irrottamisen kokonaan)
- c. Ei

**Vastaa kysymyksiin 6-7 vain jos vastasitte kysymykseen 1. vaihtoehtoon b.**

**6. Miten kuormittaminen tapahtuu?**

- a. Rengasta kuormittamalla
- b. Pyörännapaa kuormittamalla
- c. Muu, mikä?

---

---

---

**7. Mihin vian todentaminen perustuu laakeria kuormitettaessa?**

- a. Äänimittaus
- b. Asentajan tulkintaan pohjautuva todentaminen
- c. Muu, mikä?

---

---

---

**8. Ovatko nykyiset käytössä olevat menetelmät mielestänne riittävän tarkkoja?**

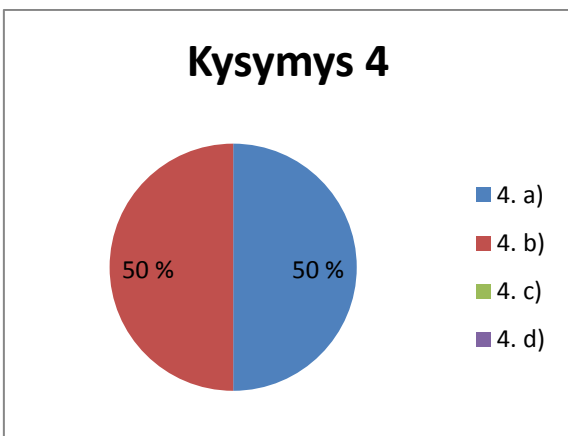
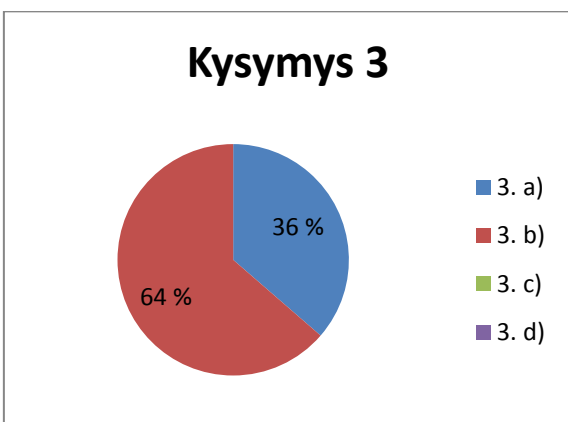
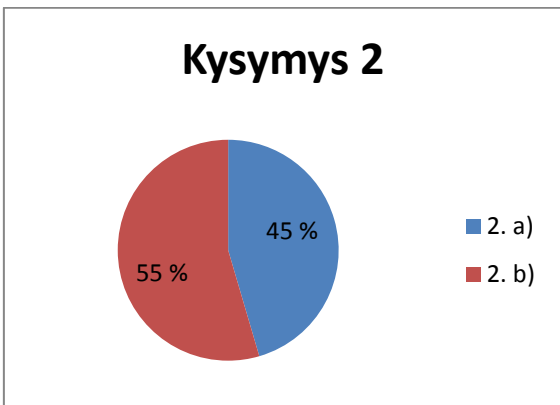
- a. Kyllä
- b. Ei



**9. Mikäli vaihtoehtoinen menetelmä olisi saatavilla, olisitteko valmiita/halukkaita investoimaan sellaiseen?**

- a. Kyllä
- b. Ei

**KIITOS VASTAUKSISTANNE!**



- Vastauksia yhteensä 22kpl.
- Vaihtoehtoisia menetelmiä 2kpl.