

Jesse Sanden

Laakerien värähtelymittauslaitteisto opetuskäyttöön

Metropolia Ammattikorkeakoulu

YAMK

Automaatioteknologian koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Päivämäärä: 25.11.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jesse Sanden Laakerien värähtelymittauslaitteisto opetuskäyttöön 44 sivua + 2 liitettä 25.11.2014
Tutkinto	Insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	Automaatioteknologia
Suuntautumisvaihtoehto	Automaatioteknologia
Ohjaaja(t)	Tuntiopettaja Jari Nuutinen Lehtori Markku Inkinen
<p>Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin vierintälaakereihin sekä niiden kunnonvalvontamenetelmiin. Tarkoituksena oli valmistaa värähtelymittauslaitteisto opetuskäyttöön. Opinnäytetyö tehtiin Salon Seudun ammattiopistolle. Laitteisto valmistettiin yhdessä kunnossapitoasentajaoppilaiden kanssa. Laitteisto on käytössä kunnonvalvonnan opetuksessa kolmannen vuoden kunnossapito-opiskelijoilla. Tämä opinnäytetyö tulee myös toimimaan opetusmateriaalina kunnonvalvonnan opetuksessa.</p> <p>Merkittävä osa opinnäytetyöstä oli aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen perehtymistä. Työssä perehdyttiin vierintälaakereihin sekä niiden kunnonvalvonnan erilaisiin mittausmenetelmiin, laakerien kestoikään vaikuttaviin tekijöihin, koneiden värähtelyn fysikaalisiin ominaisuuksiin, mittauslaitteiston valintaan, mittaustulosten analysointiin ja standardeihin.</p> <p>Toinen merkittävä osa opinnäytetyötä oli laitteiston mekaniikan suunnittelu. Valmiita ratkaisuja ei ollut tarjolla, joten suunnitteluun lähdettiin tyhjältä pöydältä. Suunnittelun lähtökohdaksi otettiin turvallinen, helppokäyttöinen ja monipuolinen opetuslaitteisto, jolla on helposti mitattavissa erikuntoisia laakereita anturin paikkaa vaihtamalla.</p> <p>Ifm electronic Oy:n toimittama laitteisto on osoittautunut toimivaksi järjestelmäksi opetuskäytössä. Ohjelmisto on yksinkertainen käyttää ja soveltuu hyvin oppilaiden käyttöön.</p> <p>Mahdollisia jakekehityskohteita ovat laitteiston kokonaisvärähtelyn pienentäminen mekaanisia rakenteita tukevoittamalla, anturien paikkojen muuttaminen rajapintojen vähentämiseksi ja historiatietojen kohdentaminen jokaiseen käytössä olevaan laakeriin, jotta voidaan paremmin seurata laakerin elinkaarta.</p>	
Avainsanat	värähtelyanalyysi, laakerien kunnonvalvonta, verhoikä, laakeri, FFT

Author Title Number of Pages Date	Jesse Sanden The Vibration Meter Equipment For Bearings For Teaching Purposes 44 pages + 2 appendices 25 November 2014
Degree	Master of Science in Engineering (Master's Degree Programme)
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	Automation Technology
Instructor(s)	Jari Nuutinen, Lecturer Markku Inkinen, Lecturer
<p>In this thesis the rolling bearings and the methods of monitoring their condition were studied. The aim was to manufacture a vibration meter equipment for teaching purposes. The thesis was assigned by the Salo Region Vocational Institute. The equipment was produced together with the maintenance technician students. The equipment is being used in teaching maintenance monitoring with the third- year students. This thesis will also serve as teaching material in maintenance monitoring.</p> <p>A significant part of the thesis consisted of studying topic-related literature. In this thesis the following issues were examined: the rolling bearings and monitoring the different measuring methods of their condition, factors affecting the service life of the bearings, the physical properties of the vibration of the machines, the choice of the measuring equipment, and finally, analyzing the measurement results and standards.</p> <p>Another significant part of the thesis was the mechanical design of the equipment. There were no ready-made solutions at hand, and the planning was started from scratch. A safe, easy-to- use, versatile teaching equipment was chosen as a starting point for the design process, with which it is easy to measure bearings in different conditions by changing the position of the sensor.</p> <p>The equipment delivered by Ifm electronic Oy has proved to be a workable system in teaching. The software is simple and suitable for student use.</p> <p>Possible targets for further development are decreasing the total vibration rate of the equipment by supporting the mechanical structure, repositioning the sensors to decrease the number of interface and focusing on the background history of each bearing in order to better follow its life cycle.</p>	
Keywords	vibration analysis, condition monitoring, intrinsic curve, bearing, FFT

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Salon seudun ammattiopisto	1
1.2	Automaatiotekniikan ja kunnossapidon koulutusohjelma	1
1.3	Opinnäytetyön aihe ja tavoitteet	2
2	Laakerit	3
2.1	Laakerityypit	3
2.2	Vierintälaakerit	4
2.3	Laakerin kestoikä	4
2.4	Laakerin asennus	5
2.5	Laakerivälkykset	5
2.6	Laakerin huolto ja voitelu	6
2.7	Laakerin vaurioituminen	6
2.8	Laakerin kunnonvalvonnan menetelmät	7
3	Värähtelymittaus	8
3.1	Värähtelymittaus yleisesti	8
3.2	Värähtelymittauksen peruskäsitteet	8
3.2.1	Yleisimmät parametrit	10
3.2.2	Värähtelyn taajuus ja amplitudi	11
3.2.3	Spektrianalyysi	13
3.2.4	Verhokäyräanalyysi	15
3.2.5	Haystack-ilmiö	17
3.2.6	PeakVue menetelmä	19
3.3	Anturityypit	20
3.3.1	Siirtymäanturit	20
3.3.2	Nopeusanturit	21
3.3.3	MEMS-anturit	21
3.3.4	Kiihtyvyyssanturit	22
3.4	Anturin paikan valinta ja kiinnitys	23
4	Laitteiston mekaniikan suunnittelu ja valmistus	25
4.1	Rakenteet	25
4.2	Voimansiirto	26
4.3	Anturointi ja mittauspisteet	27

4.4	Suojaus	27
5	Instrumentoinnin toteutus	28
5.1	Laitteiston valinta	28
5.2	VSA001-tärinälähetin	28
5.3	VSE100-diagnostiikkayksikkö	29
6	Käyttö	32
6.1	Mittausparametrit	32
6.2	Mittaaminen VES003-ohjelmalla	34
6.2.1	Vauriotaso	35
6.2.2	Spektrinäkymä	36
7	Analyysi	39
8	Jatkokehitys	41
9	Yhteenveto	42
	Lähteet	43
	Liite 1: VSE100 diagnostiikkayksikön datalehti	
	Liite 2: VSA001 tärinälähettimen datalehti	

1 Johdanto

1.1 Salon seudun ammattiopisto

Salon seudun ammattiopisto on osa Salon seudun koulutuskuntayhtymää (SSKKY). Salon seudun koulutuskuntayhtymä tarjoaa monipuolista ammatillista koulutusta nuorille, aikuisille, yrityksille ja työyhteisöille. Vuosittain oppilaitoksessa opiskelee yli 5000 opiskelijaa ja asiakasta. Työntekijöitä on yli 300. Salon seudun koulutuskuntayhtymän omistavat kuusi Salon alueen kuntaa ja kaupunkia: Kemiönsaari, Koski TI, Paimio, Salo, Sauvo ja Somero. SSKKY toimii taloudellisesti itsenäisenä koulutuksenjärjestäjänä. Koulutuskuntayhtymään kuuluu ammattiopisto, aikuisopisto ja oppisopimuskeskus.

Ammattiopisto on toisen asteen opiskelupaikka. Oppilaat tulevat sinne pääsääntöisesti suoraan peruskoulusta. Ammattiopistossa on mahdollista valita suuntautumisvaihtoehto 35 erilaisesta koulutusohjelmasta. Oppilaita on keskimäärin 1 700 lukukaudessa. Opinnot ovat vahvasti painottuneet ammatin käytännön työtehtäviin ja harjoituksiin, joita luonnollisesti teoriaopinnot osaltaan tukevat. (Salon Seudun Koulutuskuntayhtymä kotisivut, 2014)

1.2 Automaatiotekniikan ja kunnossapidon koulutusohjelma

Kunnossapitoasentaja kuuluu automaatiotekniikan ja kunnossapidon koulutusohjelmaan. Salon ammattiopistossa kunnossapito on yksi osa kone- ja metallialan perustutkintoa. Muut vaihtoehdot ovat koneistus ja hitsaus. Opinnot ovat kolmivuotisia. Ensimmäinen vuosi on yleisosaamista, jonka päätteeksi oppilas valitsee yhden kolmesta suuntautumisvaihtoehdosta.

Kunnossapidossa opiskellaan koneiden ja laitteiden toimintaa, hydraulikkaa, pneumatiikkaa, automaatio- ja sähkötekniikkaa, rakenteiden osien valmistusta ja laitteiden huoltoa. Opintojen aikana opetellaan myös kunnonvalvonnan mittauksia, mekaniikka-asennuksia sekä korjaus- ja asennushitsauksia. Kunnossapitoasentaja osaa toimia huolto- ja kunnossapitotehtävissä. Hän osaa suorittaa voiteluhuollon toimenpiteitä ja käytön ja kunnonvalvonnan mittauksia sekä käyttää kunnossapitojärjestelmää ja toimia sen mukaan. Hän osaa tehdä koneiden ja laitteiden asennuksia ja korjauksia.

Kunnossapitoasentaja voi työskennellä koneita ja laitteita valmistavassa teollisuudessa, kunnossapitoyrityksissä, tuotantolaitoksissa, laitteiden asennuksiin ja käyttööntoon erikoistuneissa yrityksissä ja kiinteistöyhtiöissä.

1.3 Opinnäytetyön aihe ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä kunnossapidon värähtelymittauksiin ja suunnitella ja valmistaa demolaitteisto, jolla opettaa kunnossapitoasentajaoppilaille laakereiden kunnonvalvontaa värähtelymittauslaitteistolla.

Laitteiston tulisi olla monipuolinen ja sopia myös muuhun opetukseen, kuten komponenttien valmistukseen ja asennuksiin, laakeriasennuksiin, hihnan linjauksiin ja muuhun opetukseen. Laitteisto tulisi valmistamaan oppilastyönä.

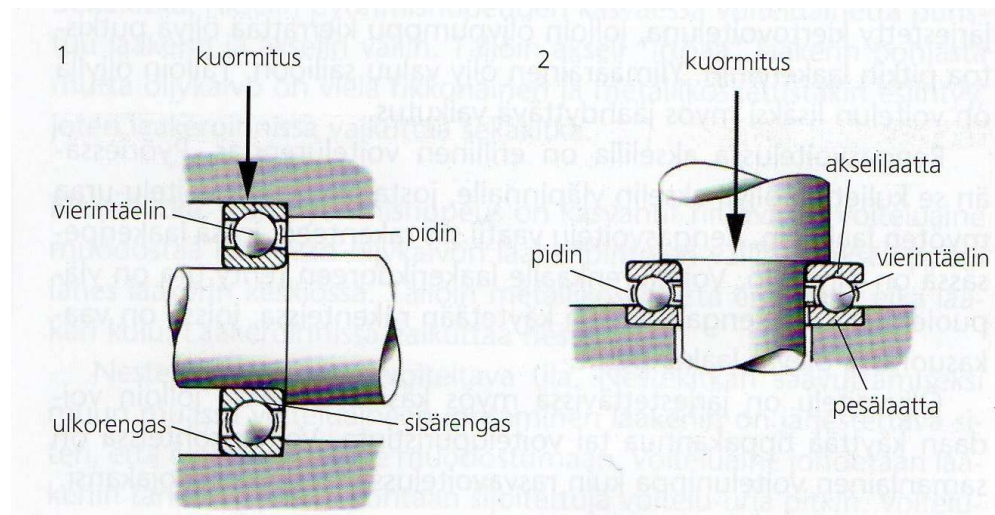
Opetusmateriaalia ei myöskään löydy valmiina, joten ammattiopistokäyttöön soveltuva opetusmateriaali tulisi myös tehdä.

2 Laakerit

2.1 Laakerityypit

Laakereiden tehtävänä on kantaa niihin kohdistuva akselikuorma ja pienentää pyörimisestä johtuvia kitkahäviöitä. Yleisimmät laakerityypit ovat liuku- ja vierintälaakerit. Vierintälaakereissa on vierintäelimiä toisin kuin liukulaakereissa niitä ei ole. Vierintälaakereissa vierintäeliminä toimivat tavallisesti kuulat, neulat tai rullat, jotka siirtävät voimat laakerin kehältä toiselle. Kuvassa 1 on nähtävissä vierintälaakerin rakenne. Vierintäelimien tarkoitus on vähentää vierintäkitkaa suhteessa liukukitkaan. Hitaiden liikkeiden laakeroinnissa vierintäelimet eivät tarvitse pidintä, mutta muutoin ne ovat tarpeellisia, jotta vierintäelimet pysyisivät erillään, tasajaollisina ja oikeassa asennossa. Laakeri vaatii aina voitelua.

Vierintälaakerit ovat kehittyneet niin, että monissa kohteissa käytetään vierintälaakeria aikaisemman liukulaakerin sijaan. Liukulaakereilla on kuitenkin joitakin etuja, jonka vuoksi niitä käytetään monissa vaativissakin kohteissa. (Tapani Ansaharju 2009, 135)



Kuva 1. Vierintälaakerien rakenne, säteislaakeri (1), aksiaalilaakeri (2). (Tapani Ansaharju 2009, 142.)

2.2 Vierintälaakerit

Koska vierintävastus on pienempi kuin liukuvastus, on tämä johtanut vierintälaakereiden käyttöön. Vierintälaakerit ovat standardoitu kansainvälisesti ja ovat hyvin olennainen osa koneenrakennusta. Vierintälaakerit ovat alkujaan jaettu kahteen päätyyppiin, säteislaakereihin ja aksiaalilaakereihin. Säteislaakeriksi kutsutaan laakeria, joka ottaa vastaan voimia akselia vastaan kohtisuorassa ja aksiaalilaakeriksi (painelaakeri) taas laakeria, joka ottaa vastaan akselin suuntaisia voimia. Nykyään ovat yleistyneet laakerit, jotka kantavat sekä aksiaali- että säteisvoimia.

Vierintälaakerin pääosat ovat sisä- ja ulkorengas, näiden välissä olevat vierintäelimet, kuulat, rullat tai neulat sekä pitimet, jotka pitävät vierintäelimiä paikoillaan ja oikeissa asennoissa. Laakerissa voi olla myös suojat ja tiivistelevyt. (Tapani Ansaharju 2009, 135.)

Yksirivinen kuulalaakeri on kaikista yleisin vierintälaakerityyppi. Se kantaa lähinnä säteiskuormia, mutta syvien vierintäurien vuoksi se kykenee kantamaan myös jonkin verran aksiaalivoimia molempiin suuntiin. Yksirivinen kuulalaakeri kestää suuriakin pyörimisnopeuksia. (Tapani Ansaharju 2009, 144.)

2.3 Laakerin kestoikä

Vierintälaakereiden kestoiällä tarkoitetaan kierrosmäärää tai vakiopyörimisnopeuksisen laakerin käyttötuntimäärää, jonka laakeri voi pyöriä ennen kuin vierintäelimiin tai vierintäratoihin alkaa ilmaantumaan väsymisen merkkejä eli vaurioita. Laboratoriokokeet ja käytännön testit ovat kuitenkin osoittaneet, että ei ole olemassa täysin identtistä laakeria kestoiältään, vaikka olosuhteet olisivatkin täysin samanlaiset. Tämän pohjalta on päädytty nimelliskestoikään, joka tarkoittaa sellaista kestoikää, jonka saavuttaa tai ylittää 90 % riittävän suuresta määrästä ilmeisen yhtäläisiä laakereita yhtäläisissä olosuhteissa. (SKF laakerien kunnossapito 1994, 16.)

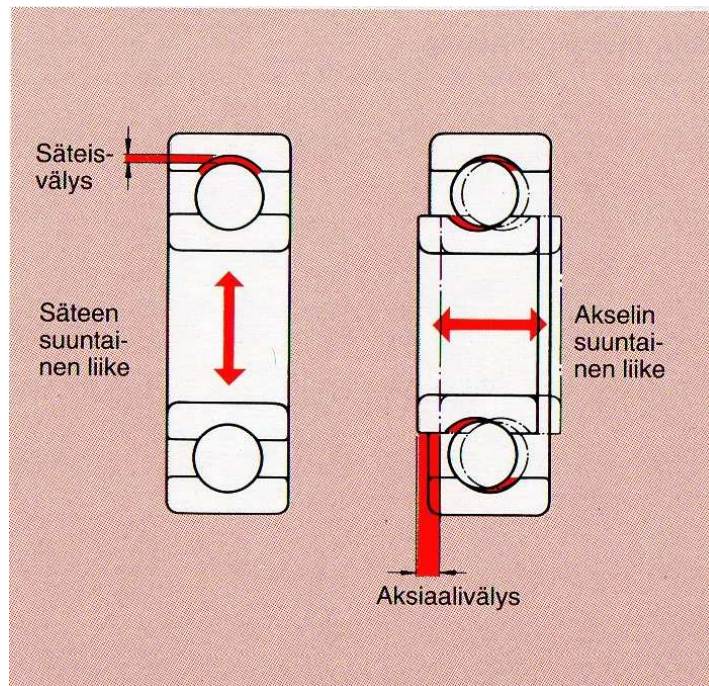
Laakerien kestoikä määräytyy pääsääntöisesti käyttöolosuhteiden mukaan. Tärkeä kestoikään vaikuttava merkitys on myös asennus- ja huoltotoimenpiteillä. Laakeri voi vaurioitua ennenaikaisesti, vaikka kaikki varotoimenpiteet on otettu huomioon. Tällöin on tärkeää tutkia ja selvittää, mikä on johtanut laakerin ennenaikaiseen vaurioon. (SKF laakerien kunnossapito 1994, 16.)

2.4 Laakerin asennus

Laakerien ennenaikainen vaurioituminen johtuu monesti asennusvirheestä. Laakerien asennus on tarkkaa työtä. Laakeria on käsiteltävä oikein ja asennettaessa on tiedettävä oikea asennusmenetelmä ja käytettävä oikeita tarkoitukseen sopivia apuvälineitä. On huolehdittava puhtaudesta, jotta laakeriin ei pääse sinne kuulumattomia epäpuhtauksia. Myös akselille ja laakeripesälle kannattaa tehdä tarkistusmittaus, jotta varmistetaan välysten sopivuus kyseiselle laakerille. (Tapani Ansaharju 2009, 152.)

2.5 Laakerivällykset

Laakerivällyksellä tarkoitetaan sitä mittaä, minkä laakerirengas pystyy liikkumaan toiseen nähden ilman kuormitusta. Säteen suuntaista välystä sanotaan säteisvällykseksi ja akselin suuntaista liikettä aksiaalivällykseksi. Ennen asennusta välykset ovat yleensä suurempia kuin käytön aikainen välykset, koska laakerirenkaat supistuvat tai laajenevat sovitteiden tiukkuuden mukaan. Yleisesti voidaan sanoa, että käytön aikainen aksiaalivällykset on oltava hiukan nollaa suurempi (ks. kuva 2). (SKF laakerien kunnossapito 1994, 24.)



Kuva 2. Laakerin säteisvälykset ja aksiaalivällykset (SKF laakerien kunnossapito 1994, 24.)

2.6 Laakerin huolto ja voitelu

Vierintälaakereiden voitelussa käytetään lämpötilan, pyörimisnopeuden ja voitelumahdollisuuksien mukaan öljyä tai rasvaa. Koneen valmistaja ilmoittaa tyypillisesti suosituksen voiteluaineesta ja tavasta. On myös kehitetty erikoisvoitelutapoja sellaisia tapauksia varten, joissa voiteluaineen on pysyttävä paikoillaan. Tällöin voiteluaine on imeytetty huokoiseen materiaaliin, jolla koko vierintätila on täytetty. (Tapani Ansaharju 2009, 164.)

Rasvavoitelu on yleistä vierintälaakereiden voitelussa. Se antaa kestävästä voitelusta ja suojaa hyvin liialta ja pölyltä. Joissakin tapauksissa laakeripesä puhdistetaan huollon yhteydessä ja täytetään uudella rasvalla.

Öljyvoitelua käytetään pääasiassa silloin, kun koneen muut elimet, kuten männät ja hammaspyörät sitä vaativat. Tällöin on suunnitteluvaiheessa huomioitava öljyn tiivistys sekä mahdollisesti tarvittava öljykierto, jotta öljy menee sinne missä voitelua tarvitaan. Öljyvoitelussa öljy vaihdetaan yleensä valmistajan ilmoittaman käyttöajan mukaan. Näin öljytilasta poistuu vanhan öljyn mukana epäpuhtaudet.

2.7 Laakerin vaurioituminen

Suurin osa käytössä olevista laakereista kestää kauemmin kuin koneet ja laitteet. Laakerien vaurioitumisen voivat aiheuttaa monet syyt, kuten ennakoitua suurempi kuormitus, tehottomat tiivisteet tai liian tiukat sovitteet. Nämä vauriot olisi voitu useimmiten estää jo suunnitteluvaiheessa, mitoittamalla laakerointi kuormitusta vastaavaksi, valitsemalla oikeat tiivisteet sekä mitoittamalla sovitteet oikein. Tässä voi osasyynä olla myös valmistusepätkkyys, joka aiheuttaa väärät sovitteet.

Kolmannes laakerien vaurioista johtuu materiaalin väsymisestä ja vanhenemisesta. Toinen kolmannes johtuu huonosta voitelusta. Loput vaurioista johtuvat pääasiassa virheellisestä asennuksesta ja epäpuhtauksien pääsystä laakeriin. (SKF laakerien kunnossapito 1994, 18.)

2.8 Laakerin kunnonvalvonnan menetelmät

Laakerit ovat keskeisessä asemassa kaikissa koneissa, joissa on pyöriviä osia. Laakerin vaurioituminen voi johtaa konerikkoon ja aiheuttaa joissakin tapauksissa jopa koko tehtaan pysähtymisen. Ennakoiva kunnonvalvonta on tullut yhä tärkeämmäksi. Kun laakerivaurio havaitaan ajoissa, voidaan laakeri vaihtaa suunnitellun huoltoseisokin yhteydessä.

Laakereiden kunnonvalvontaa voidaan tehdä kuuntelemalla. Ihmiskorva harjaantuu kuuntelemalla ja normaalista poikkeava ääni voidaan havaita. Apuna voidaan käyttää myös stetoskooppia. Kun vaurio havaitaan kuuntelemalla, on se jo ehtinyt vakavalle tasolle ja laakeri on vaihdettava välittömästi.

Laakerien kuntoa voidaan tarkkailla myös lämpömittauksilla. Korkea lämpötila on usein oire siitä, että laakeri toimii epänormaalisti. Laakereiden lämpöjä voidaan mitata pintalämpömittareilla tai vaikkapa lämpökameralla. On hyvä kirjata lämpötiloja ylös, jolloin poikkeava lämpötila on helppo havaita. Kriittiset laakerit voidaan varustaa kiinteillä lämpötila-antureilla. Korkeat lämpötilat lyhentävät laakerien käyttöikää. Laakerin lämpenemistä aiheuttaa voitelun puute, liiallinen voitelu, epäpuhtaudet voiteluaineessa, väärä välily, laakerien vaurioituminen ja tiivisteiden korkea kitka. (SKF laakerien kunnossapito 1994, 45.)

Parhaaseen tulokseen kunnonvalvonnassa päästään laakerien/koneiden värähtelymittauksilla. Laakerivauriot, epätasapainot ja muut virheet pystytään havaitsemaan hyvin varhaisessa vaiheessa tähän suunnitellulla laitteistolla.

3 Värähtelymittaus

3.1 Värähtelymittaus yleisesti

Värähtelymittaus on yleisin mittausmenetelmä teollisuuden laitteiden kunnonvalvontasovelluksissa. Oikein toteutettuna värähtelymittaus on useimmiten paras ennakoivan kunnossapidon mittausmenetelmä. (Nohynek ym. 2004, 17.)

Kaikki pyörivät laitteet ja koneet värähtelevät käydessään. Voimia, jotka saavat rakenteen värähtelemään kutsutaan herätteiksi. Herätteitä aiheuttavat erilaiset dynaamiset voimat, jotka voivat syntyä koneen normaalista toiminnasta, valmistuksen tai asennuksen virheellisyydestä sekä vikaantumisesta. Herätteinä normaalissa käynnissä voivat toimia polttomootorissa tapahtuvat räjähdykset, erilaiset venttiilikoneiston ja kampiakselien liikkeet sekä muut vastaavat tekijät jotka vaikuttavat käyntiin. Tyypillisimmin värähtelyn herätteinä toimivat epätasapaino, valmistuksen tai asennuksen epätarkkuus. Kuluneet tai muuten vaurioituneet koneen osat toimivat myös tyypillisesti herätteinä. (Mikkonen – Miettinen – Jantunen 2009, 224.)

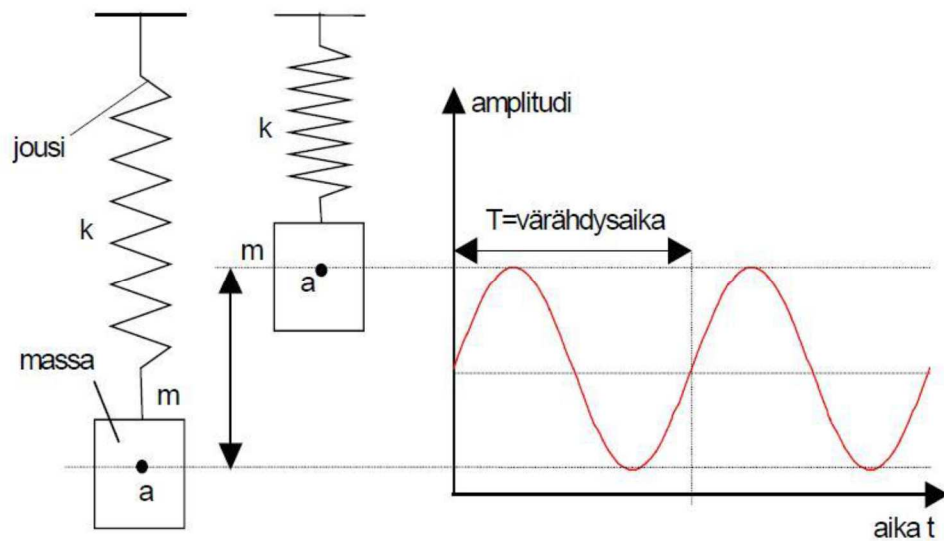
Värähtelymittaus on herkkä ja selektiivinen prosessi. Sillä voidaan löytää viallinen komponentti sekä arvioida vian vakavuutta. Värähtelymittauksilla voidaan todeta (AEL luentomateriaali 2013, 2.):

- Epätasapaino
- Linjausvirheet
- Mekaaninen väljyys
- Sähkömoottorin viat
- Taipunut akseli
- Laakerivaurio ja vaurion aste
- Vaihdeongelmat
- Hihnakäytön ongelmat
- Resonanssi
- Kavitaatio, virtausilmiöt
- Voiteluongelmat.

3.2 Värähtelymittauksen peruskäsitteet

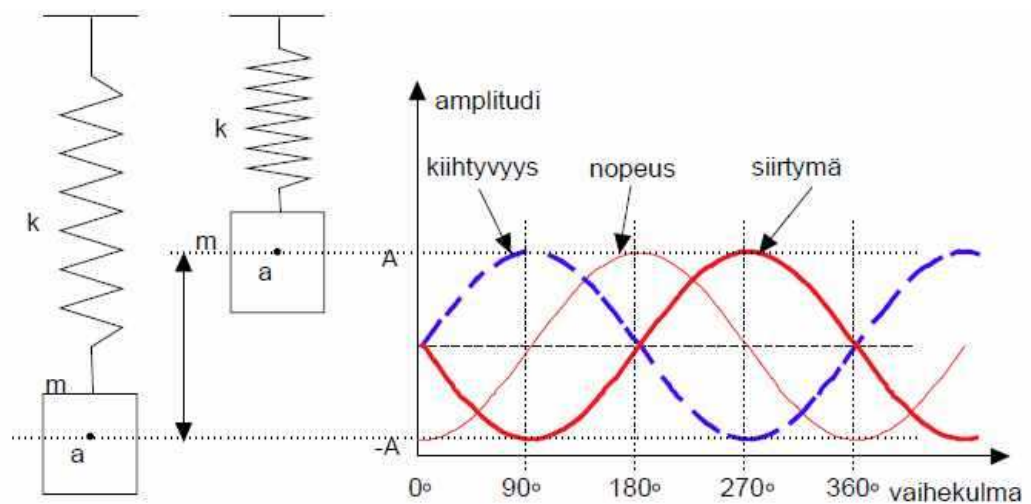
Mitkään laitteet eivät ole täysin jäykkiä, kun ne ovat käynnissä niissä esiintyy värähtelyä. Värähtelyä voidaan kuvata yksinkertaisella jousi-massasysteemillä. Kun massa m vaikutetaan ulkoisella voimalla, se poistuu tasapainoasemastaan. Voiman poistuessa se

jää värähtelemään tasapainoasemansa molemmin puolin. Värähdykseen kuluva aikaa merkitään yleensä T-kirjaimella. Yhden värähdyksliikkeen jälkeen massa on takaisin lähtöasemassa. Jos liikkeen vaimenemista ei oteta huomioon, jää massa värähtelemään taajuudella, jonka värähtelyaika on T. Amplitudi kertoo värähtelyn voimakkuuden, jota voidaan lukea pystyakselilta (ks. kuva 3). (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 7.)



Kuva 3. Jousi-massajärjestelmän pisteen a värähtelyn esittäminen aikatasossa. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 7.)

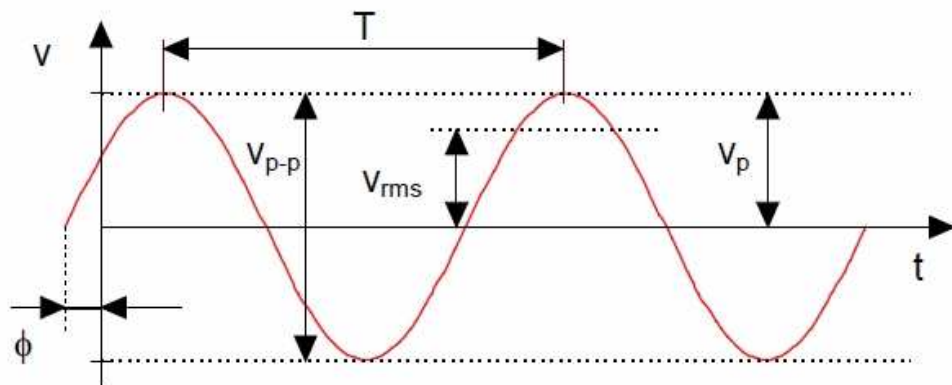
Yleisin kunnonvalvonnan mittasuure on värähtelynopeus, mutta usein käytetään myös kiihtyvyyttä ja siirtymää. Nopeus ja kiihtyvyys saadaan matemaattisesti laskettua derivoimalla, jos tiedetään siirtymä. Kuvasta 4 voidaan todeta, että siirtymällä, nopeudella ja kiihtyvyydellä on sama aaltomuoto. Värähtelynopeutta käytetään yleensä mittauksissa, koska sen vaste on sopivin niillä taajuuksilla, joista ollaan kiinnostuneita. Nopeus on käyttökelpoisiin taajuusalueella 10Hz - 1000Hz. Pienemmillä taajuuksilla käytetään siirtymää ja vastaavasti suuremmilla kiihtyvyyttä (ks. kuva 4). (Kunnossapitoyhdistys Pro-maint 2009, 228.)



Kuva 4. Jousi-massajärjestelmän pisteen a värähtelyn siirtymä, nopeus ja kiihtyvyys. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 8.)

3.2.1 Yleisimmät parametrit

Tulosten tulkitsemiseksi on tunnettava edellä kuvattujen mittasuureiden lisäksi tiettyjä parametreja. Mittaussignaaliin saatavat perusparametrit on esitetty kuvassa 5.



- T = värähdysaika eli jakso
- V_{p-p} = nopeuden huipusta-huippuun arvo
- V_p = nopeuden huippuarvo
- V_{rms} = nopeuden tehollisarvo
- ϕ = vaihekulma

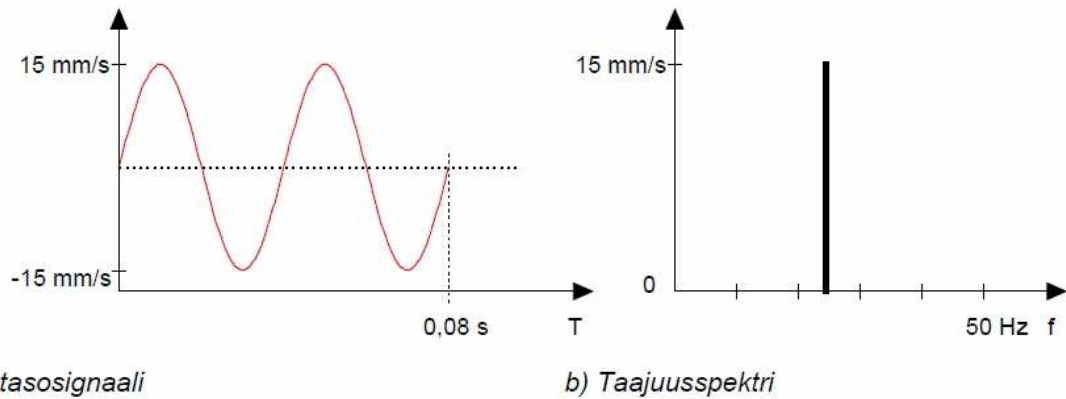
Kuva 5. Yleisimmät värähtelysignaaliin liittyvät parametrit. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 8.)

- Huippuarvo kertoo aikatasosignaalin itseisarvoltaan suurimman arvon.
- Huipusta- huippuun arvo kertoo suurimman ja pienimmän arvon erotuksen ja on yleensä n . kaksinkertainen huippuarvoon verrattuna.
- Tehollisarvolla on yhteys tärinän sisältämään tehoon. Se kuvaa hyvin tärinän vaarallisuutta ja on yleisimmin käytössä Euroopassa. Siniaallolle tehollisarvo on huippuarvo jaettuna luvulla 2 eli 0.707 kertaa huippuarvo. Kun signaalin muoto poikkeaa sinistä, ei suhdeluku myöskään ole enää sama.
- Vaihekulma kertoo jakson kohdan, johon värähtely on edennyt vertailukohdasta.
(ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 8.)

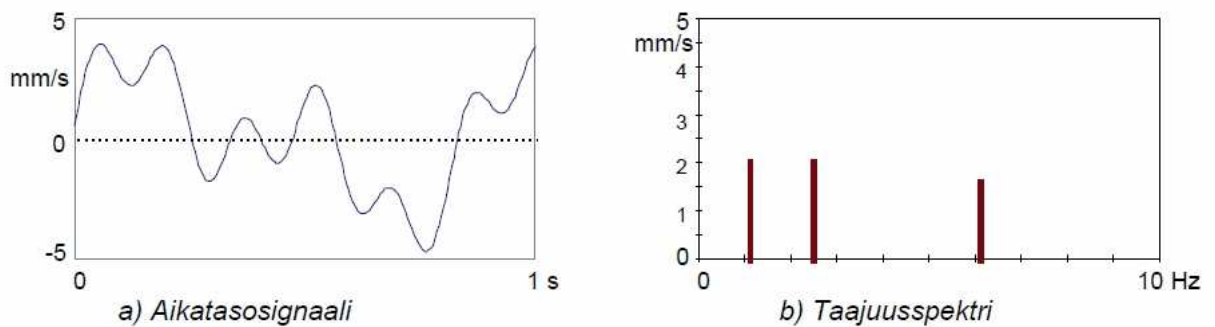
3.2.2 Värähtelyn taajuus ja amplitudi

Käytännössä värähtelyä kuvattaessa se esitetään taajuustasossa aikatason sijaan. Tällöin vaaka-akselina on taajuus ja pystyakselina amplitudi. Amplitudi esitetään ainoastaan positiivisella puolella. Värähtely esitetään yleensä kirjallisuudessa yksinkertaisena värähtelynä. Käytännössä koneen laakerien värähtelyä mitattaessa signaali sisältää aina muiden koneenosien värähtelyä, joita on vaikea erottaa, jos käytetään aikatasosignaalia. Värähtelyn taajuus kertoo vian todennäköisen lähteen ja amplitudi vian vakavuuden. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 232.)

Värähtelyn taajuus kertoo, kuinka monta värähdysliikettä sekunnissa tapahtuu. Taajuudesta käytetään lyhennettä f ja sen yksikkö on Hz (Hertsi) = $1 / s$. Taajuus pystytään määrittämään seuraavasta yhtälöstä $f=1/T$, jossa T on jaksonaika (ks. kuva 6 ja 7). (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 9.)

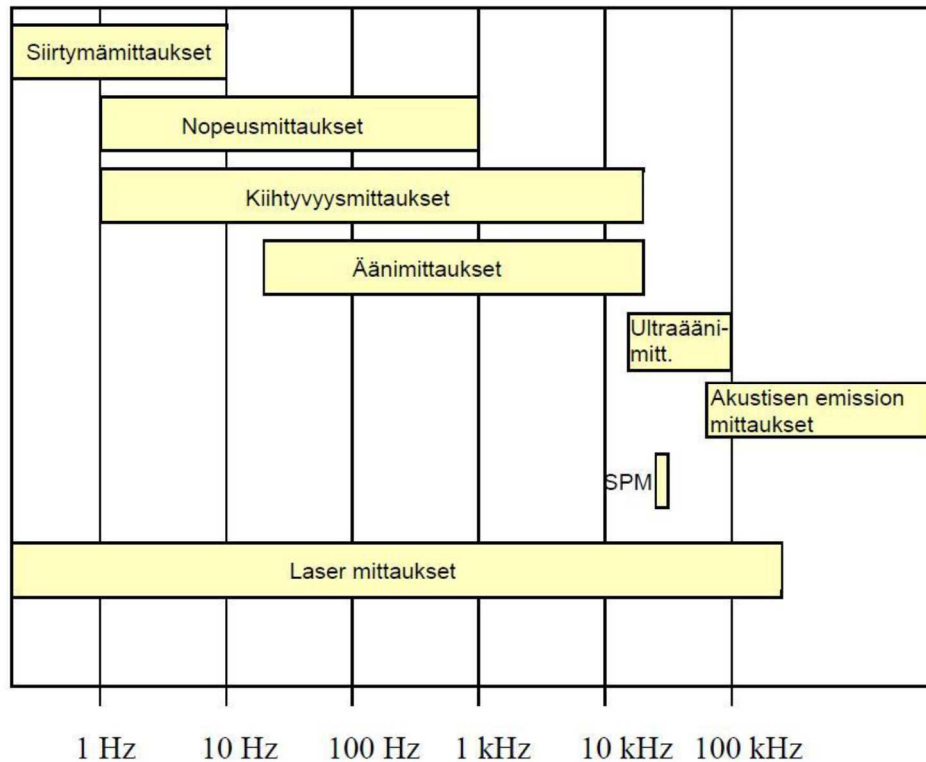


Kuva 6. Yksittäisen siniaallon esittäminen aika- ja taajuustasossa. Taajuusspektrissä pylvään korkeus kuvaa siniaallon amplitudia ja sen paikka vaaka- akselilla taajuutta. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 10.)



Kuva 7. Kolmesta siniaallosta koostuva värähtelysignaali esitettynä aika- ja taajuustasossa. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 10.)

Kuvasta 7 voidaan havaita, että aikatasosignaalista on vaikea erottaa eri taajuuksia, kun taas taajuusspektristä yksittäiset taajuudet erottaa helposti. Joissakin tapauksissa kuitenkin aikatasosignaalista saadaan sellaista informaatiota, jota ei saada taajuusspektristä. Kuvassa 8 nähdään värähtelymittauksille tyypilliset taajuusalueet. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 9.)

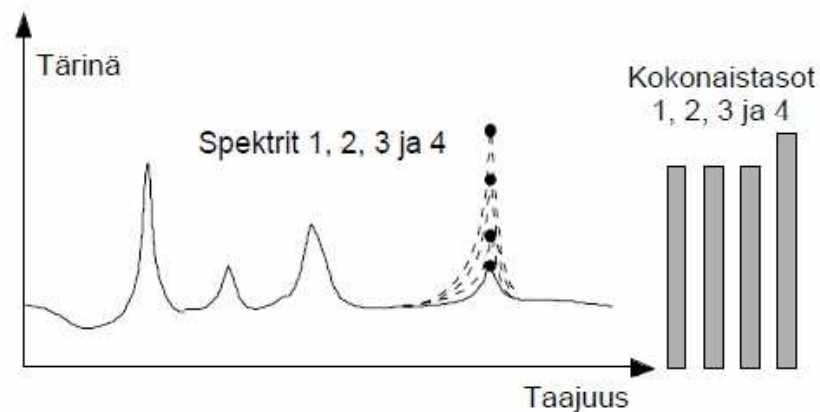


Kuva 8. Värähtelymittauksille tyypilliset taajuusalueet. Siirtymä-, nopeus-, kiihtyvyyss- ja äänimittaukset kykenevät mittaamaan matalaa mekaanista värähtelyä. SPM tarkoittaa iskusysäysmenetelmää. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 11.)

3.2.3 Spektrianalyysi

Spektrianalyysi on selvästi yleisin vikojen diagnosoimiseen tarkoitettu menetelmä. Nykylaitteilla tulosten analysointi on nopeaa ja päästään yleensä riittävään tarkkuuteen ja dynamiikkaan vikojen havaitsemiseksi. Laitteiden kehitys on helpottanut mittaustyötä ja monimutkaisetkin mittaukset on järkevästi toteutettavissa. Laitteet hoitavat automaattisesti mm. vahvistuksen ja skaalauksen. Nykyisillä laitteilla voidaan havaita hyväkuntoisestakin koneesta pyörimistaajuinen spektrikomponentti, jotka voivat johtua mittaus- ja valmistusepätkärsäistä.

Vikatyyppistä riippuen eri taajuuksien spektrikomponenttien voimistuminen taajuusspekt-rissä kertoo laitteen vikaantumisesta. Vika ei näy selvästi tehollisarvossa, jos värähtelyvoimien noustessa normaali pyörimistaajuinen komponentti ei voimistu vian pahentuessa. Kuten kuvasta 9. voidaan huomata, vian kehittyminen näkyy spektrissä selvästi aikai-semmin kuin tehollisarvossa. Kokonaistrenditason seuranta ei ole riittävän luotettava menetelmä laakerivaurioiden havaitsemiseen.



Kuva 9. Spektrissä selvästi näkyvä vika saattaa näkyä kokonaistasoarvossa vastamyöhäisessä vaiheessa. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 14.)

Signaalia käsitellään muunnettaessa aikatasoa spektriksi. Muunnoksen lopputulos riippuu käytetyistä asetuksista kuten painostuksesta, keskiarvostavasta ja spektriviivasta. Mittauksen ylärajataajuus ja spektriviivojen lukumäärä kertovat spektrin resoluution. Erotuskyky saadaan suoraan ylärajataajuuden ja spektriviivojen lukumäärän osamäärästä. Erotuskyvystä nähdään, kuinka toisiaan lähellä olevat taajuudet voidaan erottaa. Mahdollisimman suuri spektriviivojen lukumäärä on hyvä tulosten kannalta, mutta lukumäärä hidastaa datan käsittelyä. (Nohynek & Lumme 2007, 69.)

Keskiarvostaminen on spektrien keskiarvojen laskentaa, jossa suoritetaan useampi mittaus ja tuloksista lasketaan keskiarvo. Tällä saadaan vähennettyä ja poistettua satunnaisia häiriötekijöitä. Yleisempiä keskiarvostustapoja ovat (Nohynek & Lumme 2007, 71):

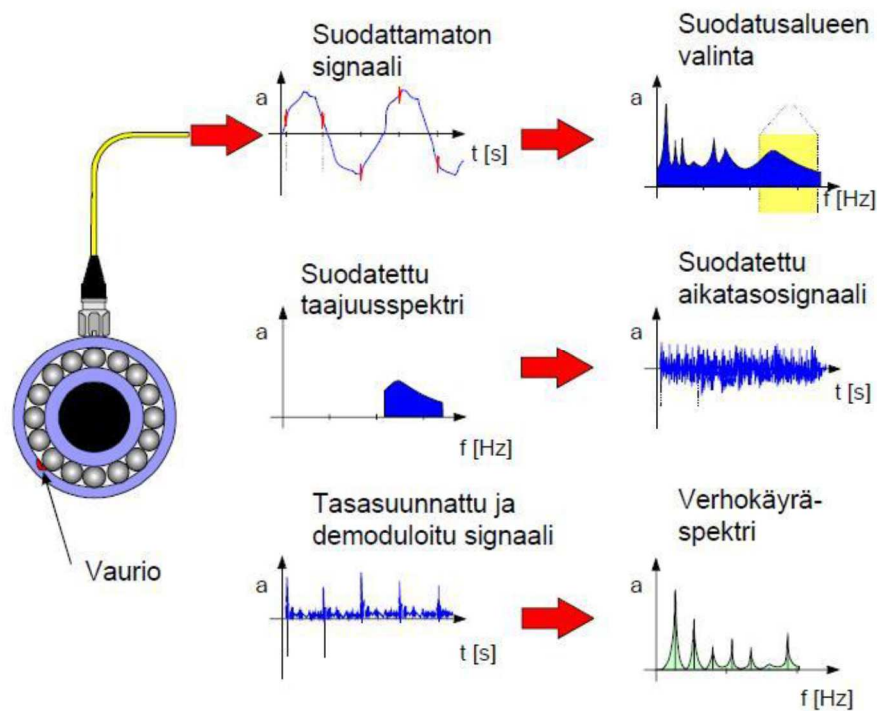
- Normaalin spektrin keskiarvostus, lasketaan spektriviivoittain spektrit yhteen ja jaetaan spektrien lukumäärällä.
- Huipun pito, jokaisesta mittauksesta jää muistiin spektrin korkein arvo
- Tahdistettu keskiarvostus, aikataason mittaus aloitetaan aina samasta kohdasta (esim. akselin pyörähdys), lasketaan keskiarvo ja muutetaan spektriksi.

3.2.4 Verhokäyräanalyysi

Verhokäyräanalyysi soveltuu hyvin vierintälaakerien kunnonvalvontaan. Sillä voidaan tu-
levat laakeriviat havaita jo hyvin aikaisessa vaiheessa. Verhokäyräanalyysillä saadaan
esiin toistuvia heikkotehoisia komponentteja, joiden havaitseminen on lähes mahdotonta
spektrianalyysillä. Heikkotehoisia komponentteja ovat esimerkiksi hammasrattaiden ja
vierintälaakereiden alkavat vauriot. Verhokäyräanalyysillä voidaan suodattaa pois esi-
merkiksi akselin linjauksesta ja epätasapainosta johtuvat värähtelyt ja näin pystytään
havaitsemaan laakerivauriot helpommin. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 221.)

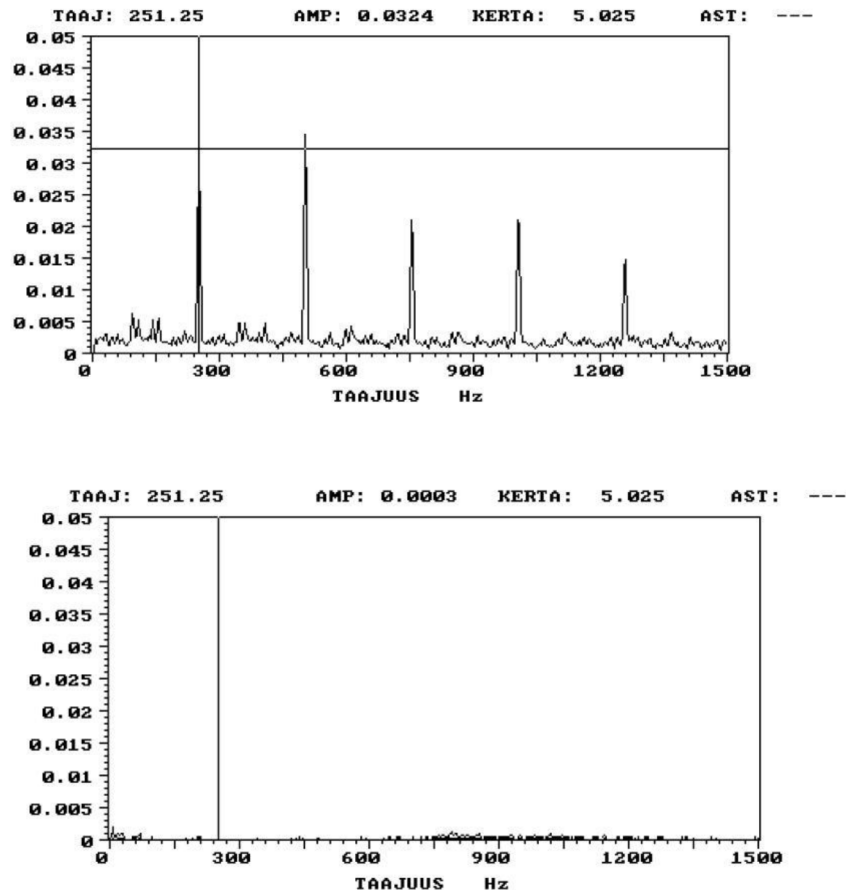
Verhokäyräanalyysi perustuu amplitudimodulaatioon. Sillä tarkoitetaan signaalin kerto-
mista toisella signaalilla, jota kutsutaan kantaalloksi. Kahden signaalin kertomisen tu-
loksena syntyy uusia taajuuskomponentteja, joita kutsutaan sivunauhoiksi. Ne muodos-
tuvat kantaallon taajuuden molemmille puolille. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 14.)

Kuvassa 10 näkyy verhokäyräanalyysin periaate. Laakerin vaurio ulkokehällä aikaansaa
lyhyitä iskuja, jotka toistuvat ajan T välein. Koneiden ja ympäristön omien värähtelien
vuoksi vikoja on usein hankala erottaa laajakaistaisesta spektristä. Pienetkin impulssit
kykenevät kuitenkin herättämään laakerin ominaistaajuuudet. Tämä ilmenee laajakaistai-
sena resonanssikohtana suuremmilla taajuuksilla tavallisessa taajuusspektrissä. (ABB:n
TTT-käsikirja 2000–07, 15.)



Kuva 10. Verhokäyräanalyysin periaate. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 15.)

Vaurioiden aiheuttamat impulssit voidaan mitata asettamalla päästösudattimet laakerin ominaistajuuden ympärille. Suodatin toimii tällöin mekaanisena vahvistimena vaurion aiheuttamille impulsseille. Jotta nämä saataisiin erotettua kantaallosta, signaali joudutaan tasasuuntaamaan ja demoduloimaan. Amplitudidemoloitu signaali sisältää ainoastaan vaurioiden synnyttämät impulssit. Lopuksi signaalille suoritetaan FFT analyysi, jolla vikataajuuskomponentit saadaan selvästi esiin verhokäyräspektristä. Laakerin erityyppiset viat on helposti erotettavissa spektristä. Yleisimpiä verhokäyräanalyysillä havaittavia vikoja ovat sisä- ja ulkokehän sekä vierintäelinten vauriot (ks. kuva 11). Laakerivalmistajat ilmoittavat yleensä laakerityyppien vikataajuudet. Ne voidaan kuitenkin laskeakin, kun tiedetään laakerin mitat ja rakenne. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 15.)



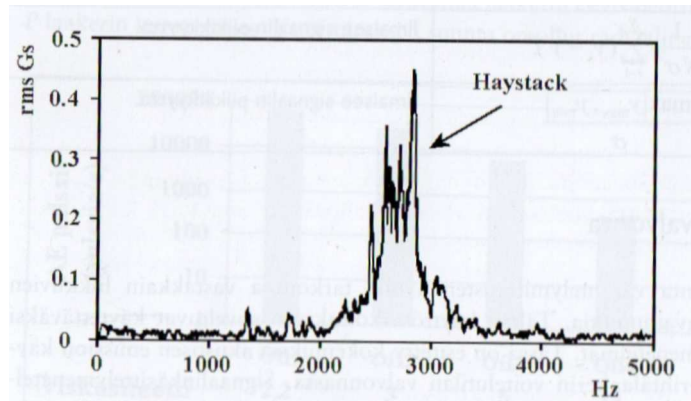
Kuva 11. Ylemmässä spektrissä näkyy ulkokehävaurio. Ulkokehän vikataajuuden komponentti ja sen kerrannaiset näkyvät selvästi. Alemassa spektrissä on mittaustulos laakerinvaihdon jälkeen. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 16.)

Vikojen ilmaisussa ja niiden diagnosoimisessa verhoikäryäanalyysi on tehokas. Se on selvästi yleisin käytetty menetelmä vierintälaakerien kunnonvalvonnassa, mutta soveltuu myöskin muille vikamekanismeille, jotka synnyttävät jaksollisia impulsseja. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 15.)

3.2.5 Haystack-ilmio

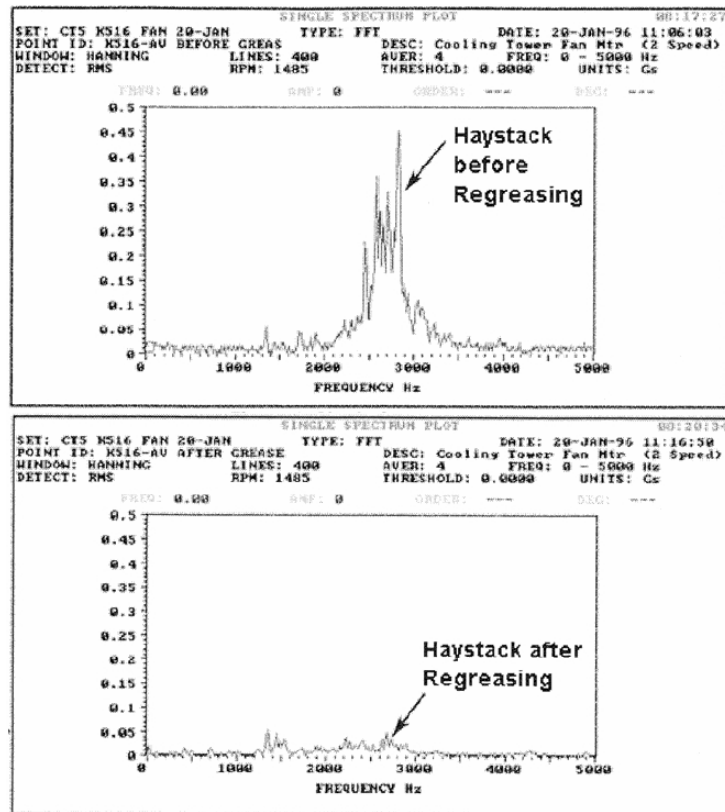
Haystack-ilmioitä käytetään vierintälaakerien voiteluongelmien tutkimiseen. Spektri muistuttaa heinäkassaa, mistä tulee nimitys Haystack. Se näkyy joidenkin kilohertsien taajuudella piikikkäänä heinäkassaa muistuttavana kuviona (ks. kuva 12). Puutteellisesta voitelusta johtuen syntyy vierintäelinten ja vierintärajojen välillä kosketuksesta johtuvia impulsseja, jotka herättävät laakerin rakenteellisia ominaistaajuuksia (ks. kuva 13). Näitä

havaitaan hyvin nopealla taajuudella, mutta ne eivät ole säännöllisiä. Impulssien epäsäännöllisyydestä ja laakerin rakenteen värähtelyvasteen vaihtelusta johtuen värähtelyä ei näy aina tietyllä taajuudella, vaan jonkun taajuusalueen värähtelyn epäsäännöllisenä kohoamisena. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 253.)



Kuva 12. Haystack-ilmiön mittaustulos vierintälaakerista (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 252.)

Haystack-ilmiön esiintymistaajuus on suoraan verrannollinen laakerin kokoon. Mitä pienempi vierintälaakeri on sitä korkeammilla taajuuksilla Haystack on havaittavissa. Todella pienillä laakereilla Haystack voi jäädä kokonaan havaitsematta, jos järjestelmän ylätaajuusraja tulee vastaan. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 253.)



Kuva 13. Puutteellisesta voitelusta johtuva "haystack"-efekti. Spektri ennen (ylh.) ja jälkeen (alh.) voitelurasvan lisäyksen. (VTT:n tutkimusraportti 2006, 6.)

3.2.6 PeakVue menetelmä

PeakVue on kehitetty havaitsemaan värähtelypurskeet, jotka ovat iskumaisen herätteen aiheuttamia. Sitä käytetään vierintalaakerien ja hammasvaihteiden värähtelymittaukseen. Se soveltuu erittäin hyvin hitaasti pyörivien laakerien värähtelymittauksiin. Menetelmä eroaa verhokäyräteknikasta, sillä tuloksena saadaan aikatazon signaali eli PeakVue, jota voidaan edelleen käsitellä taajuusanalyysillä tai tilastollisilla menetelmillä. PeakVue-mittauksissa käytetään ylipäästösuodatusta, jotta voidaan tutkia tarkasti korkeampia taajuusalueita ja siellä esiintyviä pieniamplitudisia ilmiöitä, kuten alkavista laakerivaurioista aiheutuvia jännitysaaltoja. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 252.)

3.3 Anturityypit

Laitteiden värähtelymittauksilla on pitkät perinteet koneiden kunnonvalvonnassa. Aluksi laitteiden kuntoa arvioitiin ihmisen aistien avulla. Apuna voitiin käyttää terästankoa, stetoskooppia tai yksinkertaisesti kuuntelemalla sekä tunnustelemalla. Arviot laitteen kunnosta olivat henkilökohtaisia ja niiden vertailu eri henkilöiden kesken ei aina ollut niin helppoa. Tämä perustui suurelta osin henkilökohtaiseen kokemukseen. Aistinvaraisia menetelmiä käytetään edelleenkin kunnonvalvonnassa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 234.)

Tekniikan kehitys toi mukanaan mekaanisia, värähtelyn siirtymää ilmaisevia laitteita. Nämä olivat kiinteästi asennettavia laitteita ja käyttö oli hyvin rajallista. Nämä laitteet mittasivat suhteellisen alhaisia taajuuksia ja vaativat suuren värähtelyamplitudin toimiakseen. Mittausdata tallentui piirturin avulla paperille. Nämä laitteet olivat herkkiä suuntaukselle ja kuuluivat suhteellisen nopeasti. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 234.)

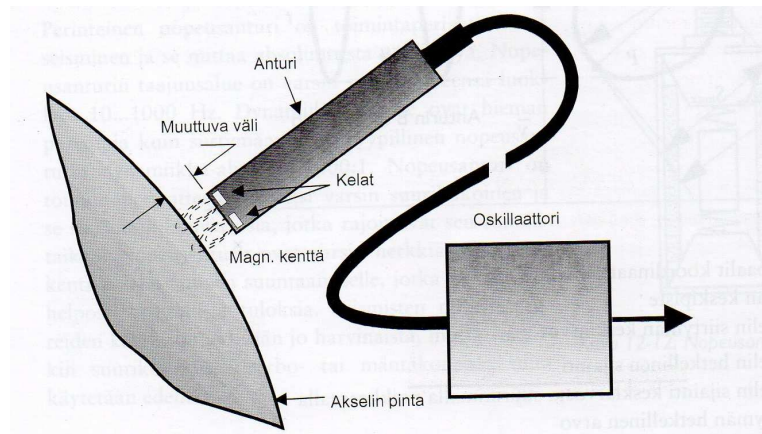
Varsinainen värähtelymittaus pääsi vauhtiin kun mittausanturit muuttuivat sähköisiksi. Nämä anturit muuttavat värähtelyn suuruuden jännitemuotoon, jonka vertailu on helppoa ja tieto on helppoa siirtää paikasta toiseen. Värähtelymittausanturit voidaan jakaa toiminta-periaatteen mukaan kolmeen ryhmään: kiihtyvyy-, nopeus- ja siirtymäantureihin. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 234.)

3.3.1 Siirtymäanturit

Siirtymäanturi mittaa etäisyyttä anturista esimerkiksi akselin pintaan. Niitä käytetään yleensä akselin aksiaalisen ja radiaalisen aseman mittaukseen sekä värähtelyn ilmaisemiseen. Yleisin käytössä oleva anturi on ns. pyörrevirta-anturi, jossa anturin kelan ja akselin välille muodostuu magneettikenttä. Etäisyyden muuttuessa anturin induktanssi muuttuu. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 235.)

Suppean taajuusalueen vuoksi pyörrevirta-antureiden käyttö kunnonvalvonnassa on vähäistä. Anturin rakenne ja toimintaperiaate on esitettyä kuvassa 14. Käytännössä anturin taajuusalue on 0...200 Hz lähinnä sen huonon dynamiikan takia. Siirtymäanturin kiinnitys asettaa myös rajoituksia sen käytölle. Anturi ei saa koskettaa mitattavaan komponenttiin, mutta se pitää kuitenkin kiinnittää kiinteästi. Tärkeimpiä sovelluskohteita ovat

liukulaakeroitujen koneiden kunnonvalvonta. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 235.)



Kuva 14. Pyörrevirta-anturin rakenne ja toimintaperiaate (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 234)

3.3.2 Nopeusanturit

Nopeusanturin tekniikka perustuu seismiseen massaan. Niitä käytetäänkin yleisesti maanpinnan värähtelyjen eli seismisten ilmiöiden mittaamiseen. Massa värähtelee jousen ja vaimentimen varassa, ja massan liike pystytään muuttamaan sähköiseen muotoon. Nopeusanturin taajuusalue on laajempi kuin siirtymäanturin, mutta kuitenkin varsin suppea, luokkaa 10...1000 Hz. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 236.)

Seismisen nopeusanturin käytössä on kuitenkin monia ongelmia, kuten anturin suurehko koko sekä herkkyys magneettikentille. Anturin liikkuvat osat rajoittavat käyttöikä. Nopeusantureiden käyttö teollisuuden kunnonvalvonnassa on nykyisin vähäistä. Niitä voi kuitenkin löytää joistakin suurista koneista. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 236.)

3.3.3 MEMS-anturit

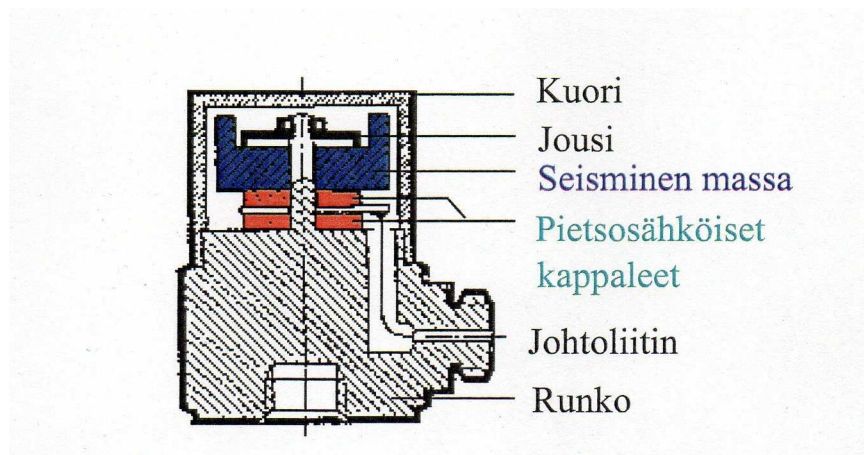
Valmistustekniikan kehittyminen on mahdollistanut mikroelektronikan ja sitä myöten on pystytty valmistamaan todella pieniä anturielementtejä ja toimilaitteita. Mikroelektronikan avulla antureihin on pystytty lisäämään älyä, joka mahdollistaa analysoinnin tekemisen jo anturissa. Pieni koko mahdollistaa myös anturin integroimisen toimilaitteeseen. MEMS-antureiden hintakehitys sekä langattoman tiedonsiirron yleistyminen on johtanut

MEMS-antureiden yleistymiseen teollisuuden kunnonvalvonnassa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 244.)

3.3.4 Kiihtyvyyssanturit

Yleisin anturityyppi kunnonvalvonnan värähtelymittauksissa on kiihtyvyyssanturi. Muihin antureihin verrattuna pietsosähköisellä anturilla on monia etuja kuten: pieni koko, ei liikuvia osia, ei herkkä ympäristölle, helppo asentaa ja mittausalue on todella laaja nollasta aina satoihin kilohertzeihin. Saatavilla on myös korkeita lämpötiloja kestäviä malleja. Antureiden yleistymisen ja valmistustekniikan kehittyminen on tuonut myös markkinahinnat alas. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 237.)

Kiihtyvyyssanturin toiminta perustuu pietsosähköisen elementin ominaisuuteen ja massan hitauteen. Laitteeseen kiinteästi kiinnitetty anturi värähtelee samalla tavalla kuin mitattava laite. Anturin sisällä on pietsoelementti, jonka sisässä on pieni massa (ks. kuva 15). Värähtely saa massan liikkumaan edestakaisin, jolloin se joko puristaa tai venyttää pietsoelementtiä. Elementtiin syntyy varaus, joka on suoraan verrannollinen anturin kiihtyvyyteen. Tämä varaus vahvistetaan ja muutetaan anturista riippuen virta- tai jänniteviestiksi. (Nohynek & Lumme 2007, 46.)

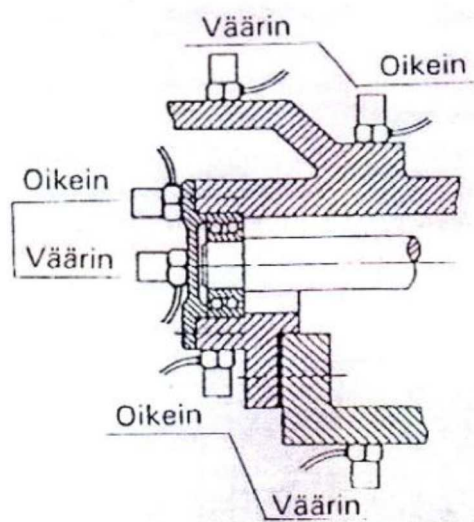


Kuva 15. Kiihtyvyyssanturin rakenne (AEL)

3.4 Anturin paikan valinta ja kiinnitys

Anturi tulisi aina kiinnittää kohtaan, josta on mahdollisimman lyhyt ja metallinen yhteys mitattavaan värähtelylähteeseen. Anturin ja värähtelylähteen välillä tulisi olla mahdollisimman vähän rajapintoja, koska rajapinnat vaimentavat korkeataajuisia värähtelyä. Anturille paras paikka on kiinnitettynä laakerin kohdalle runkoon (ks. kuva 16). (PSK 5702)

Anturin kiinnitystapa vaikuttaa oleellisesti mittaustuloksiin sekä niiden toistettavuuteen. Tulisi huomioida, että anturin kiinnitys ei rajoita taajuus- ja amplitudialuetta. Anturin massa ei myöskään saa kuormittaa mitattavaa kohdetta ja näin muuttaa sen värähtelyominaisuuksia. Mittauspiste on valittava siten, että mittaus on helposti toistettavissa. (PSK 5703)



Kuva 16. Anturi tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle mitattavaa kohdetta ja vältettävä välissä olevia rajapintoja. (PSK 5702)

Anturin kiinnitystapoja on monia, mutta paras kiinnitystapa on vaarnaruuvikiinnitys. Muita tapoja ovat magneettikiinnitys, liimaus kovalla liimalla, erilaiset pikakiinnitykset nipoilla sekä käsin tehtävät erilaiset koetinpuikkomittaukset. Vaarnaruuvikiinnityksiä käytettäessä mittauspaikka on aina sama ja mittausanturin koko taajuusalue on tällöin käytettävissä. Kiinnitystapa on kuitenkin joissakin kohteissa hankala ja käytännössä mahdoton toteuttaa. Kohteessa tulee olla kierrereikä, joka ei ole aina mahdollista. Tällöin voidaan

mahdollisesti käyttää liimauskiinnitystä, joka on lähes yhtä hyvä kuin ruuvikiinnitys. Kohteeseen liimataan kovalla liimalla kiinnitysalusta, johon anturi voidaan ruuvata. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 245.)

Magneettikiinnitys on nopea ja helppo tapa kiinnittää anturi mitattavaan kohteeseen. Tällöin rakenne on kuitenkin oltava ferromagneettista. Tätä tapaa käytetään paljon reittimittauksissa. Mittauspaikka on merkittävä selkeästi, jotta mittaus voidaan aina toteuttaa samasta kohtaa. Tätä kiinnitystapaa käytettäessä taajuusalue on kuitenkin vain noin 50 % verrattuna vaarnaruuvikiinnitykseen, johtuen magneetin aiheuttamasta ”häiriöstä” ja höllästä kiinnityksestä. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 246.)

Käsikoetinpuikkomittauksia tulee välttää. Se ei sovellu reittimittauksiin. Mittausten toistettavuus on todella huono, johtuen käyttäjän puristusvoimasta, puikon paikasta ja asennosta. Laitteen taajuusalue on myös vaatimaton johtuen tekniikasta. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 246.)

4 Laitteiston mekaniikan suunnittelu ja valmistus

Vastaavia opetuskäyttöön tarkoitettuja laakerien värähtelymittauslaitteistoja ei ole tietävästi aikaisemmin toteutettu, joten suunnittelu oli aloitettava tyhjältä pöydältä. Työsali- tamme löytyy oppilaiden valmistamia pyörillä kulkevia työpöytiä, joten lähtökohdaksi otettiin, että laitteiston on mahduttava työpöydälle.

Suunnittelun lähtökohtia:

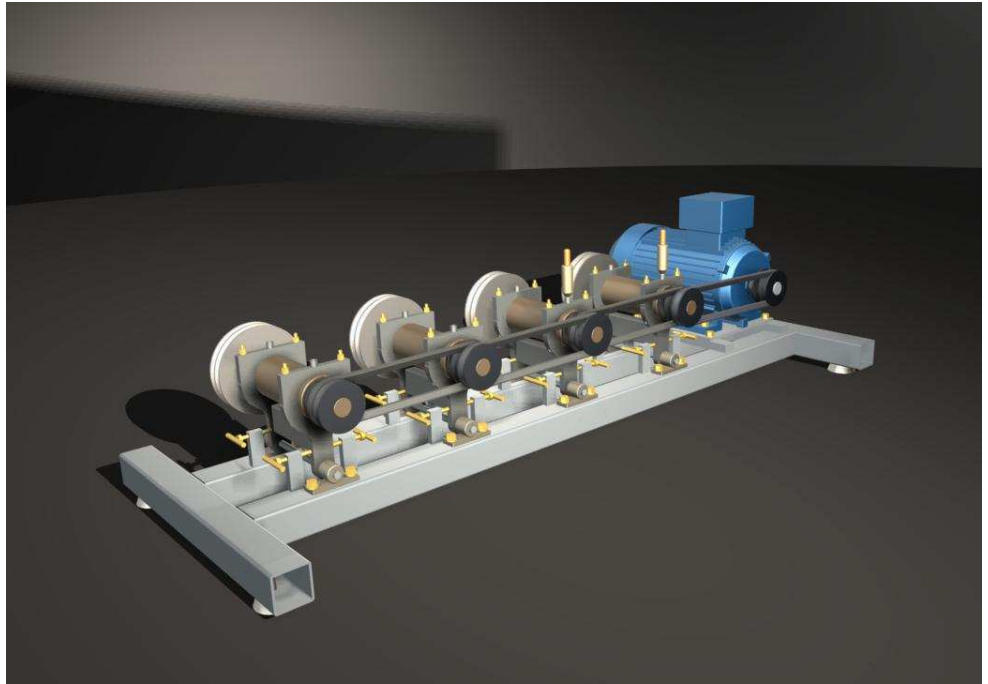
- Rakenteet valmistetaan oppilastöinä
- Rakenteiden oltava tukevat ja yksinkertaiset
- Kustannuksien pysyttävä järkevinä
- Jälkeenpäin tehtävät muutokset mahdollisia
- Muunneltavuus ja mahdollisuus käyttää myös muihin harjoituksiin kuin värähtelymittauksiin
- Kompakti koko ja helppo siirrettävyys
- Suojat ja käyttöturvallisuus.

4.1 Rakenteet

Mekaniikkasuunnittelu tehdään Pro/Engineer ohjelmiston Creo 2 kolmiulotteisella suunnitteluohjelmalla. Ohjelma valittiin aiempien kokemusten perusteella ja se on käytösämme myös oppilaiden CAD-harjoituksissa. Ohjelma on monipuolinen ja helppokäytöinen. Creo 2 on yksi yleisimmistä 3D-suunnitteluohjelmistoista ympäri maailmaa. Kuvassa 17 on visuaalinen 3D-malli.

Laitteen runko valmistetaan 50x50 rhs-putkesta hitsaamalla. Rakenteessa pyritään jäykkyyteen, jotta runko ei aiheuttaisi mittauksia häiritseviä värähtelyjä ja resonansseja. Runkoon tehdään paikat sähkömoottorille, sekä neljälle mitoitukseltaan identtiselle akseliyksikölle. Akseliyksikkö muodostuu ainesputkesta valmistetusta pesästä, kahdesta urakuulalaakerista SKF 6005 sekä akselista. Akseliyksikkö tulee runkoon kiinni kääntyvillä kiinnikkeillä, jotka leikataan vesileikkurilla. Kukin oppilaista koneistaa oman pesän, jossa on sovitteet laakereille sekä akselin, jossa on sovitteet laakereille ja voimansiirrolle.

Rungon alle tulee kumitassut vaimentamaan värähtelyjen siirtymistä alustaan sekä yhteisresonansseja.



Kuva 17. Creo 2 suunnitteluohjelmistolla tehty 3D-malli värähtelymittauslaitteistosta

4.2 Voimansiirto

Akseleiden molempiin päihin koneistetaan sovitteet kiilahihnapyörille. Kiilahihna on hiljainen ja yksinkertainen tapa toteuttaa voimansiirto. Laitteella voidaan myös harjoitella kiilahihnan linjausta. Myös välityssuhteen muuttaminen on helppoa erikokoisilla hihnapyörillä. Hihnapyörät hankitaan valmiina. Hihnapyörien kiinnitys tapahtuu Taper lock kartioholkkisovitukseella (ks. kuva 18). Hihnojen kireyttä voidaan säätää akseliyksiköiden paikkaa muuttamalla.



Kuva 18. Taper lock hihnapyörä

Sähkömoottoriksi valittiin jo olemassa oleva kolmivaihemoottori. Teholtaan moottori on 2,2 kW ja pyörimisnopeus 2890 r/min. Hihnapyörä kiinnitetään suoraan moottorin akselille.

4.3 Anturointi ja mittauspisteet

Jokaisen laakerin kohdalle, tehdään paikka kiihtyvyyssanturille. Anturin kiinnitystä varten jokaisen laakerin kohdalle akseliyksikön kiinnikkeeseen hitsataan M8 kierre-elementti. Näin on kerralla käytössä kahdeksan mittauspaikkaa laitteiston käydessä. Tällä tavalla pystytään helposti vertailemaan erikuntoisia, mutta muuten identtisten laakerin värähtelyä, anturin paikkaa vaihtamalla.

4.4 Suojaus

Laitteisto sisältää pyöriviä elimiä ja hihnoja, joten on vaara, että huolimattomalla työkentelyllä aiheutuu henkilövahinkoja. Varsinkin kun työskennellään nuorten oppilaiden kanssa, niin koskaan ei voida olla tarpeeksi varovaisia. Laitteelle valmistetaan molemmille puolille läpinäkyvästä ja iskunkestävästä polykarbonaatista helposti kiinnitettävät suojat. Suojat ovat ehdottomat, koska oppilaat työskentelevät laitteiston läheisyydessä (ks. kuva 19).

Suojat haittaavat lämpökameramittauksia, joten lämpötilamittauksien ajaksi suojat on otettava pois. Tällöin on noudatettava äärimmäistä varovaisuutta, eikä laitteistoon saa koskea sen käydessä.



Kuva 19. Suojat asennettuna

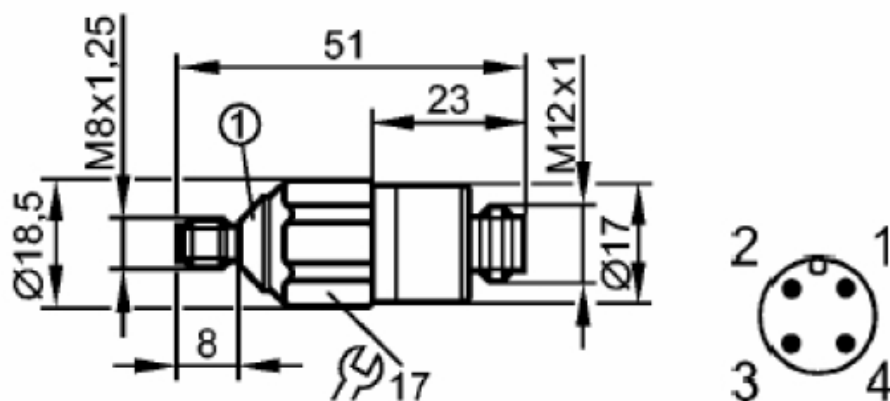
5 Instrumentoinnin toteutus

5.1 Laitteiston valinta

Laitteiston valinnassa päädyttiin lfm:n tuotteisiin. Heillä oli tarjota valmiit komponentit, ohjelmisto ja hintataso oli sopiva käytössä oleviin resursseihin, joten valinta oli helppoa. Heiltä on saatavissa helposti teknistä tukea ja toimitukseen kuului myös käyttöönotto-koulutuskin.

5.2 VSA001-tärinälähetin

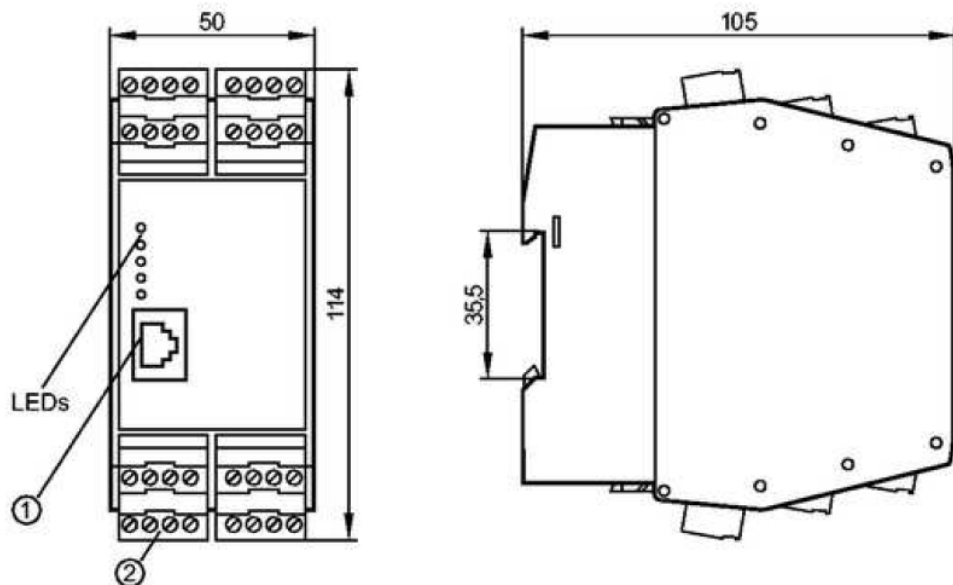
Laakerien värähtelyä mitataan kahdella VSA001-tärinälähettimellä. Anturi on tyypiltään kapasitiivinen mikromekaaninen kiihtyvyyssanturi, eli se perustuu MEMS-teknologiaan. Se on varustettu M12-pistokeliitännällä, joka sopii VSE100-diagnostiikkayksikköön. Anturin käyttöjännite on 9 V (DC). Anturi lähettää analogisen 0-10 mA:n virtaviestin mitta-alueen ollessa ± 25 g. Anturin taajuusalue on 0-6000 Hz ja epälineaarisuus $< 0,20$ %. Anturi tulee asentaa pyörimisakselin normaalin suuntaisesti. Liittimen kytkentä (ks. kuva 20): 1. käyttöjännite +9 V, 2. virtaviestin lähtö, 3. maadoitus ja 4. testaus. (VSA001, lfm 2013)



Kuva 20. VSA001 tärinälähtetimen mitoitus ja liitin (VSA001, lfm 2013)

5.3 VSE100-diagnostiikkayksikkö

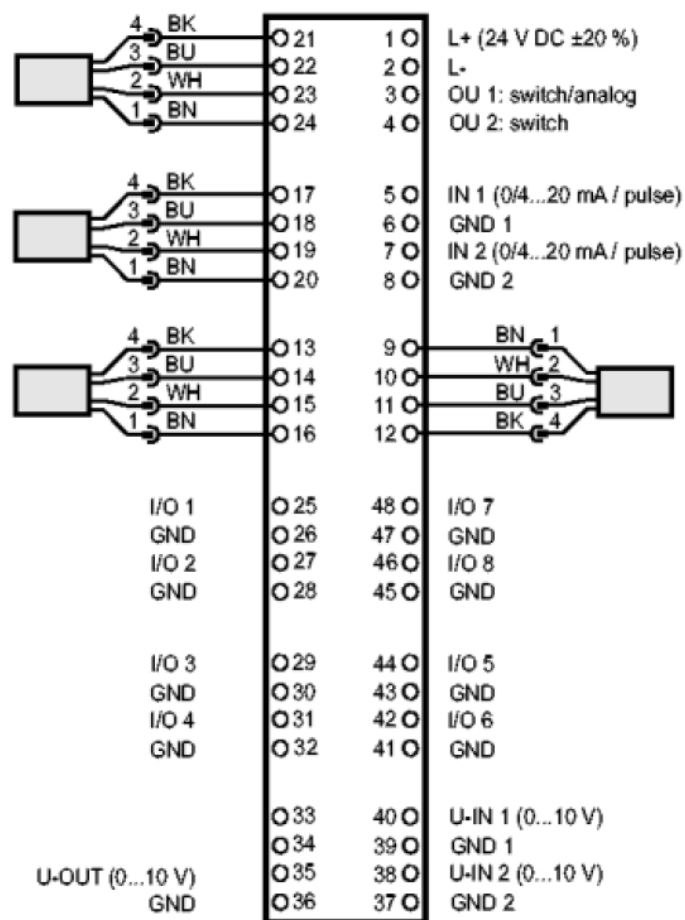
Ifm:n VSE100-diagnostiikkayksikkö on suunniteltu värähtelymittausdatan hallintaan. Se pystyy jatkuvaan neljän värähtelyanturin ja kahden muun prosessisuureen analysointiin ja käsittelyyn. Värähtelymittaustieto tulee 0 – 10 mA virtaviestinä. Muina tuloina on lisäksi kaksi virtaviestiliitintä, jotka voivat olla asetuksista riippuen olla 0 – 20 mA:n tai vaihtoehtoisesti 4 – 20 mA:n virtaviestejä. Niihin voidaan kytkeä vaikkapa lämpötila-anturi tai pulssianturi, josta saadaan laitteen pyörimisnopeus. Diagnostiikkayksiköstä löytyy kaksi lähtöä, joita voidaan molempia käyttää digitaalisena lähtönä tai konfiguroinnista riippuen toista voidaan käyttää myös analogisena lähtönä. Yksiköstä löytyy myös Ethernet TCP/IP liitintä, jolla se voidaan kytkeä ylemmän tason järjestelmään tai suoraan PC:hen. Lähdöistä pystytään saamaan pää- ja esihälytykset. Järjestelmästä löytyy myös 12 konfiguroitavaa laskuria, joita voidaan käyttää tarvittaessa hälytysrajojen valvontaan. Ne pystyvät tulkitsemaan myös pulssisignaalia, jota voi hyödyntää lähinnä valvottavan koneen nopeustiedon siirtämiseen. Tulosten, lähtöjen ja laskureiden konfigurointi tapahtuu erillisellä PC-ohjelmalla Ethernet-liitännän kautta. Diagnostiikan mitoituksen näkee kuvasta 21 ja kytkennät kuvasta 22. (VSE100, Ifm 2013)



Kuva 21. VSE100-diagnostiikkayksikön mitat. Etupaneelissa on viisi merkkilediä ja Ethernet-portti. Ruuviliittimet ovat modulaarisia Combicon-liittimiä. (VSE100, Ifm 2013, 11.)

VSE100:n näytteenottotaajuus on 100 kHz. Yleistä taajuuksien suhdetta 2,56, käytettäessä, voidaan suurimmaksi näytetaajuudeksi laskea 39 kHz. Neljän anturin samanaikaisella käytöllä suurin taajuus olisi 9,8 kHz. (VES003 , Programming manual, Ifm 2013, 7.)

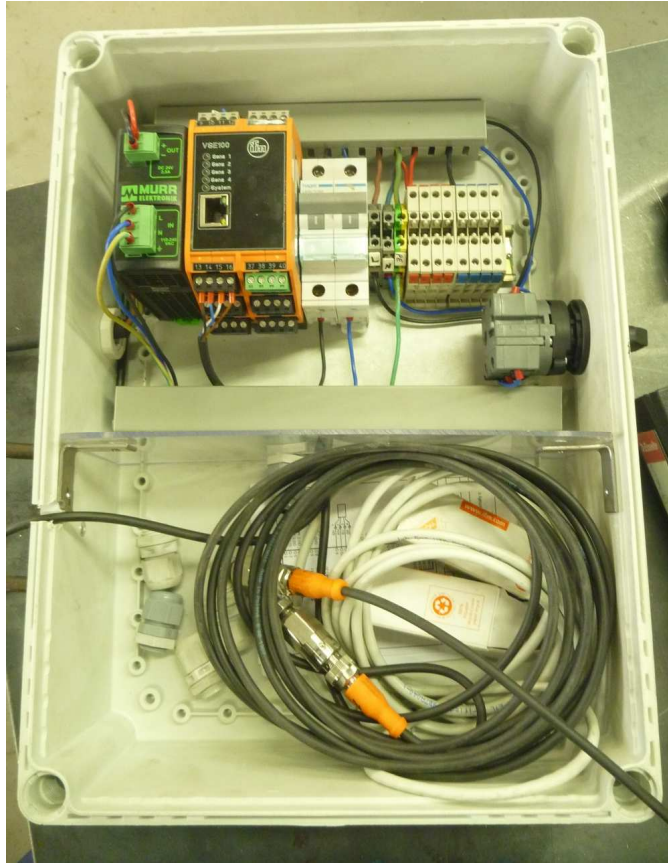
Monitoroida voi maksimissaan 24:ää VSE100:lle konfiguroitua kohdetta kerrallaan. Näissä voi olla yhteensä enintään 84 eri vikataajuutta määriteltynä. Muistiin mahtuu 30 000 mittauksen historiatietoa aikaleimoineen. Tilan loppuessa historiatiedot poistuvat vanhimmasta päästä. Muisti on paristovarmennettu reaaliaikakellon aikaleimoja varten. (VES003, Programming manual, Ifm 2013, 7.)



1 L+: 24 V DC +20% bei Verwendung eines IEPE-Sensors

Kuva 22. VSE100-diagnostiikkayksikön ruuviliitännät. (VSE100, Ifm 2013, 6.)

Diagnostiikkayksikkö, 24 V virtalähde sekä riviliittimet kiinnitetään kytkentäkotelon kiinnityskiskoon. Kytchentäkotelo toimii myös kiihtyvyyssantureiden varastointipaikkana (ks. kuva 23).

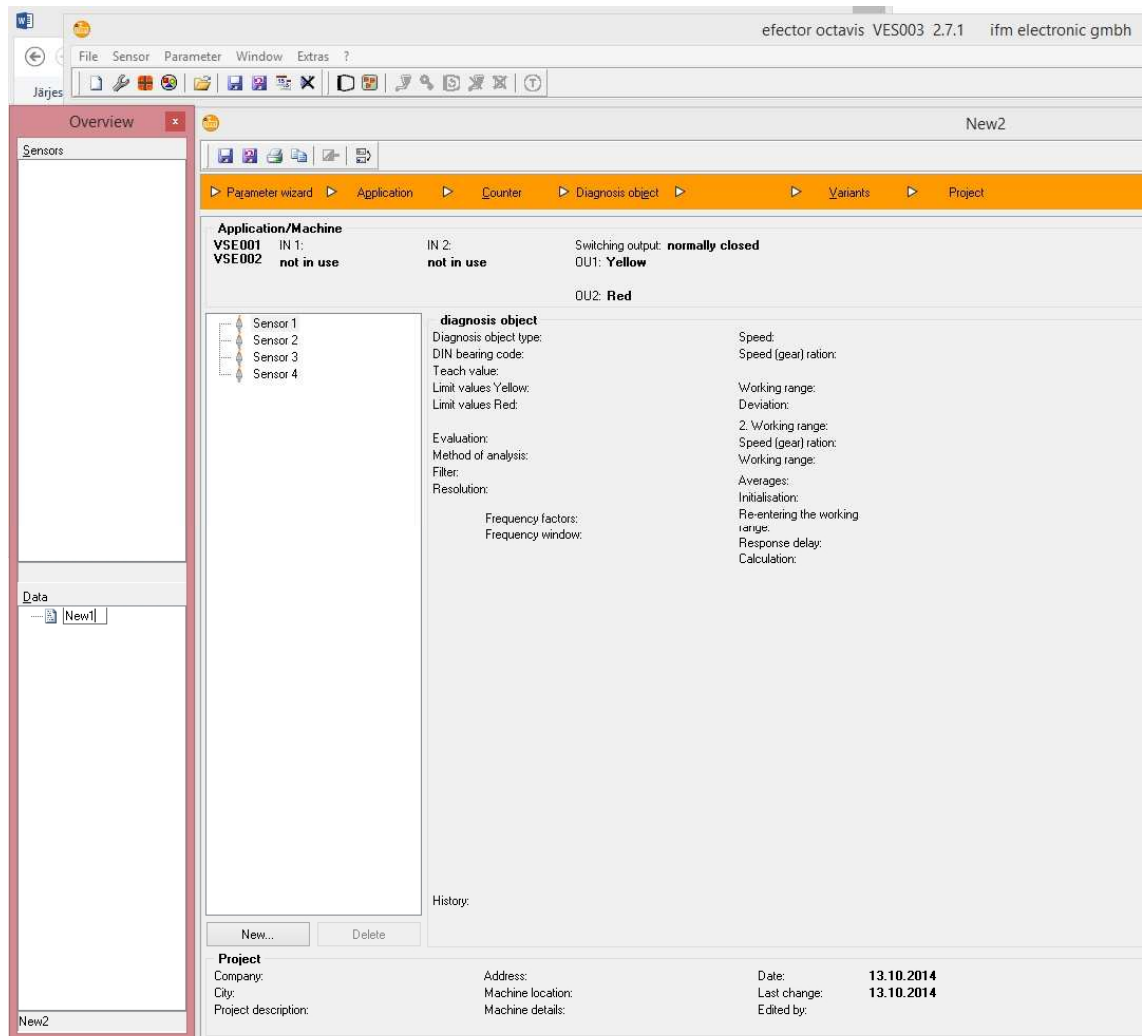


Kuva 23. Virtalähde ja VSE100-diagnostiikkayksikkö sijoitettuna kytkentäkoteloon.

6 Käyttö

6.1 Mittausparametrit

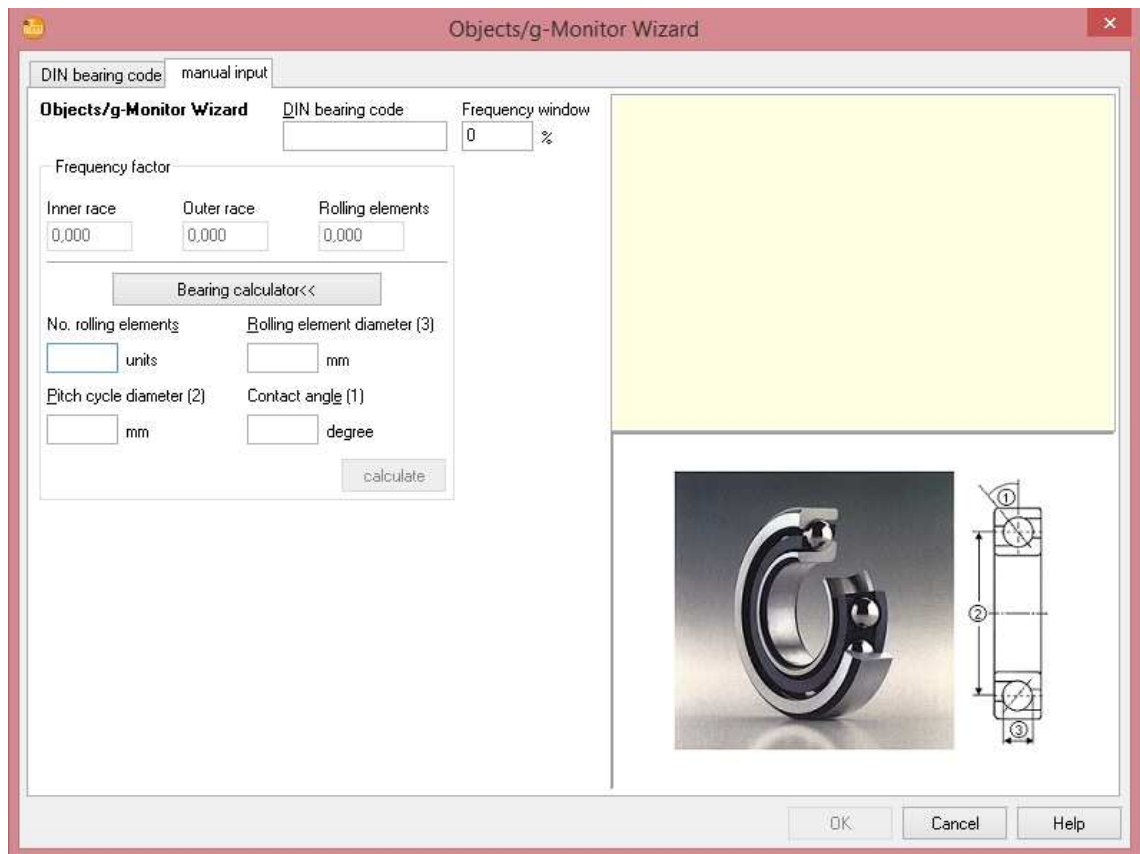
Ifm:n kotisivuilta on ladattavissa PC-tietokoneelle efector octavis VES003- ohjelma. Ohjelman asentaminen käy helposti. VSE100-diagnostiikkayksikön konfigurointi tapahtuu VES003-ohjelmalla. Jollei valmista pohjaa ole saatavilla, onnistuu uuden konfiguroinnin tekeminen suhteellisen helposti Parameter wizard-toiminnon avulla. Ohjelmalla on helppo tehdä reaaliaikaista tarkastelua ja tallentaa historiatietoja. Ohjelman aloitusnä- kymä kuvassa 24.



Kuva 24. VES003-ohjelman aloitusnäky

Anturin signaalista on määriteltävä tarkkailtavaksi kiihtyvyyden tehollisarvo, kiihtyvyyden huippuarvon tai nopeuden tehollisarvo. Vain yhtä näistä voidaan kerralla tarkkailla. Tämän jälkeen värinälle määritellään varoitus- ja hälytysrajat. Varoitusrajaa kutsutaan keltaiseksi ja hälytysrajaa punaiseksi. Kiihtyvyyden tehollisarvon ja huippuarvon maksimi on 25 000 mg. Nopeuden tehollisarvoa valvotaan standardin ISO 10816 mukaan. Taajuuskaista on 10 Hz-1 KHz. Maksimiarvo on 100 mm/s. (VES003 , Programming manual, lfm 2013, s. 60.)

VES003-ohjelmasta löytyy valmiita diagnoositoimintoja vierintälaakerille ja epätasapainoilalle. Verhokäyräanalyysi on ohjelmassa nimellä H-FFT. Sitä käytetään vierintälaakereille. Ohjelman tietokannasta löytyy laakerikoodin avulla standardin DIN 623 mukaiset laakerit. Ohjelmasta löytyy kullekin laakerille useampi valmistaja, joista valita oikea. Eri valmistajien laakereilla on erilaiset ominaisuudet, jonka pohjalta ohjelma määrittelee oikeat parametrit. Eroina voi olla vierintäelinten määrä ja laakerin sisäiset mitat. Laakerin ominaistaajuudet voi määrittellä ohjelmaan myös itse, jolloin tarvitsee tietää sisäkehän, ulkokehän ja vierintäelinten taajuudet. On myös mahdollista syöttää laakerin mitat ja vierintäelinten määrä ohjelmaan, jolloin se laskee taajuudet (ks. kuva 25). Ohjelmassa on normaalisti H-FFT-analyysi laakerin kunnonvalvontaan, mutta sen voi myös käsin valita FFT-analyysiksi. (Kalle Fagerman 2010, s. 61.)



Kuva 25. Laakerin ominaisuuksien määrittely.

Sähkömoottorin pyörimisnopeus pysyy vakiona, joten se voidaan määrittellä VES003-ohjelmassa vakionopeudeksi. Jos pyörimisnopeus vaihtelisi, kannattaisi diagnostiikkayksikköön liittää pyörimisnopeus eli pulssianturi.

6.2 Mittaaminen VES003-ohjelmalla

Laakerien värähtelymittaus tapahtuu kahdella testipenkkiin kiinnitetyllä VSA001 tärinälähettimellä. Akselin pyörimisnopeus varmistetaan Stroboskoopilla. Tarkastelu tapahtuu reaaliaikaisesti kannettavan tietokoneen ollessa kytkettynä Ethernet-kaapelilla VSE100-diagnostiikkayksikköön. Anturien paikkaa vaihtamalla mittauspisteestä toiseen, saadaan mitattu erikuntoisten laakerien värähtelyjä. Akseleilla oleville laakereille on tehty erilaisia vaurioita kuten:

- Kuiva ja pesty laakeri
- Murtunut ulkokehä
- Akselin päähän lyöty vasaralla
- Liian tiukka sovite, laakeripesä koneistettu liian pieneksi
- Liian löysä sovite, laakeripesä ja akseli koneistettu väljiksi
- Epätasapaino hihnapyörällä, hihnapyörän ulkokehälle laitettu paino..

6.2.1 Vauriotaso

Vauriotaso näkymästä nähdään laitteen kokonaistärinätaaso (RMS), laakerin tärinä, hälytysrajat ja epätasapaino. Arvot eivät kerro laakerin kuntoa, vaan ovat vertailuarvoja. Erikuntoisia laakereita vertailemalla saadaan hälytysrajat asetettua kohdalleen. Rajat määritellään itse tai voi käyttää ohjearvoja. Tämä näkymä soveltuu hyvin laitteen yleiskunnon ja tasapainon tarkasteluun. Tässä näkymässä voidaan tarkastella yhden anturin valvontaobjekteja, mutta myös useampaa anturia, jolloin vertailu on helppoa. Hälytysten ollessa kytkettynä, ensimmäinen hälytys lähtee kun arvot nousevat keltaiselle ja toinen hälytys kun arvot saavuttavat punaisen rajan. Tässä näkymässä on helppo tarkastella myös epätasapainoa. Kuvassa 26 tarkastellaan kahden laakerin mittauservoja. On selvästi havaittavissa, että laakeri 1 on epätasapainossa. Kyseinen laakeri on akselilla, jonka hihnapyörä on epätasapainoinen.



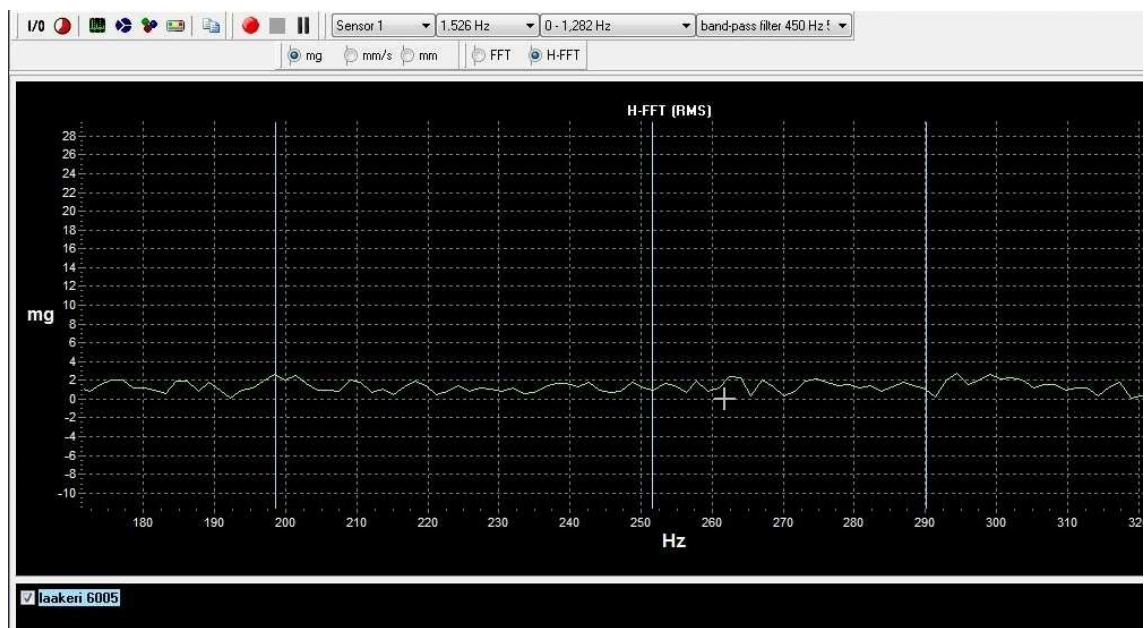
Kuva 26. Kuvasta nähdään kahden anturin mittaama kokonaistärinätaaso sekä laakerin tärinätaaso ja epätasapaino. Laakerin 1 akseli on epätasapainossa ja kuvaajasta näkee, että varoitusraja on ylitetty.

6.2.2 Spektrinäkymä

Spektrinäkymässä (Spectrum monitoring) voidaan tarkastella laakerin värähtelyä taajuustasolla. Siinä voidaan huomata mahdollinen vika tai alkava vaurio. Kuvaaja on reaaliaikainen ja siitä nähdään millä taajuudella värähtely on kohonnut. Kuvaa pystyy myös suurentamaan ja tarkentamaan tietyille alueelle. Lisäksi voidaan hakea säännöllisesti toistuvia taajuuksia (Harmonic) sekä sivunauhoja (Sidebands). Värähtelyä voidaan myös tallentaa myöhempää tarkastelua varten. Alkavat vauriot voidaan havaita vertailemalla uutta näkymään vanhaan tallennettuun näkymään.

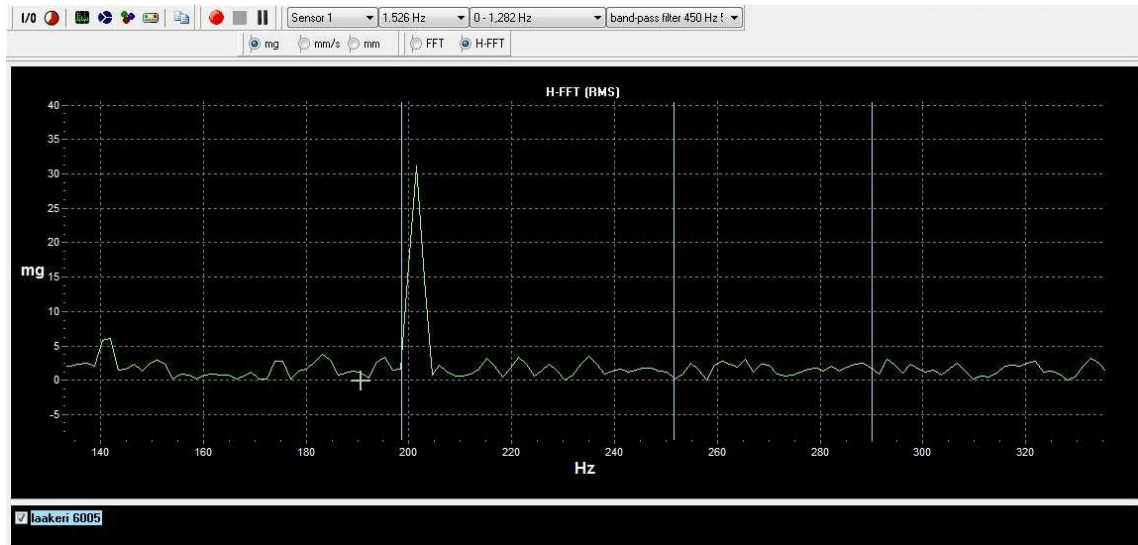
Spektrinäkymässä voidaan muuttaa monia asetuksia kuten (VES003 , Programming manual, lfm 2013, s. 20.):

- Resoluutio 0.19...24.4 Hz
- Taajuusalue, joka riippuu resoluutiosta
- Käytettävä suodatin
- Mittausyksikkö: mg, mm/s tai mm
- Analyysimenetelmä: FFT tai H-FFT (verhokäyräanalyysi) .



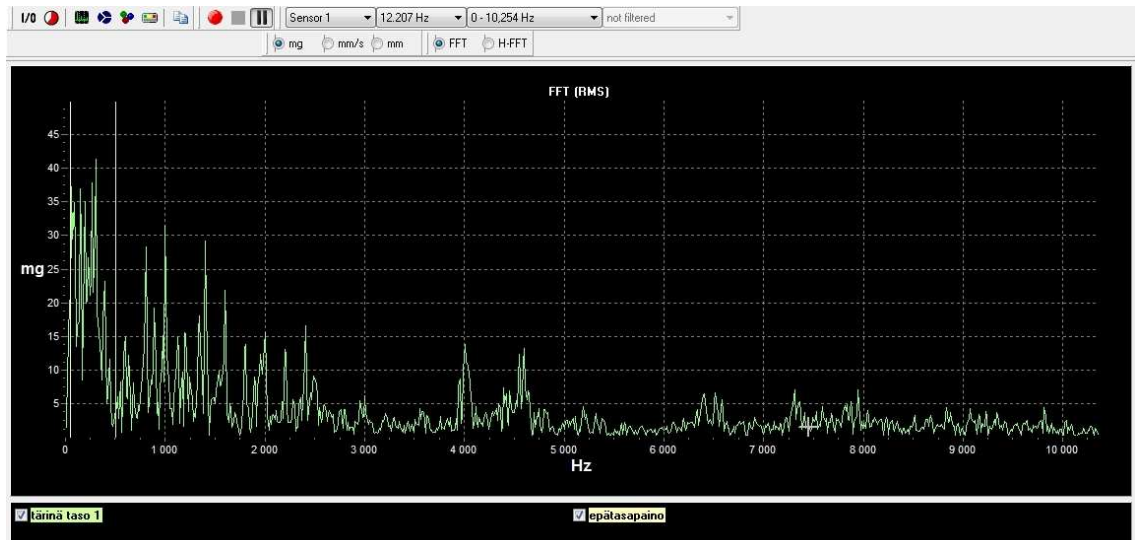
Kuva 27. Verhokäyräspektri. Ehjän laakerin värähtelyä. Pystyviivat kertovat laakeritaajuuDET. Vasen viiva on ulkokehä, keskimäinen vierintäelimet ja oikeanpuoleinen sisäkehä.

Kuten kuvasta 27 nähdään, värähtelee ehjä laakeri maltillisesti ja piikkejä ei muodostu millekään taajuusalueelle. Pystyviivoista nähdään laakeritaajuuudet. Vasemman puoleinen on ulkokehän taajuus, keskimäinen vierintäelinten taajuus ja oikeanpuoleinen sisäkehän taajuus. Värähtelyn taajuus kertoo vian todennäköisen lähteen ja amplitudi vian vakavuuden. Kuvasta 28 nähdään selvä piikki laakerin ulkokehän taajuusalueella, josta voidaan päätellä laakerissa olevan vaurio ulkokehällä.



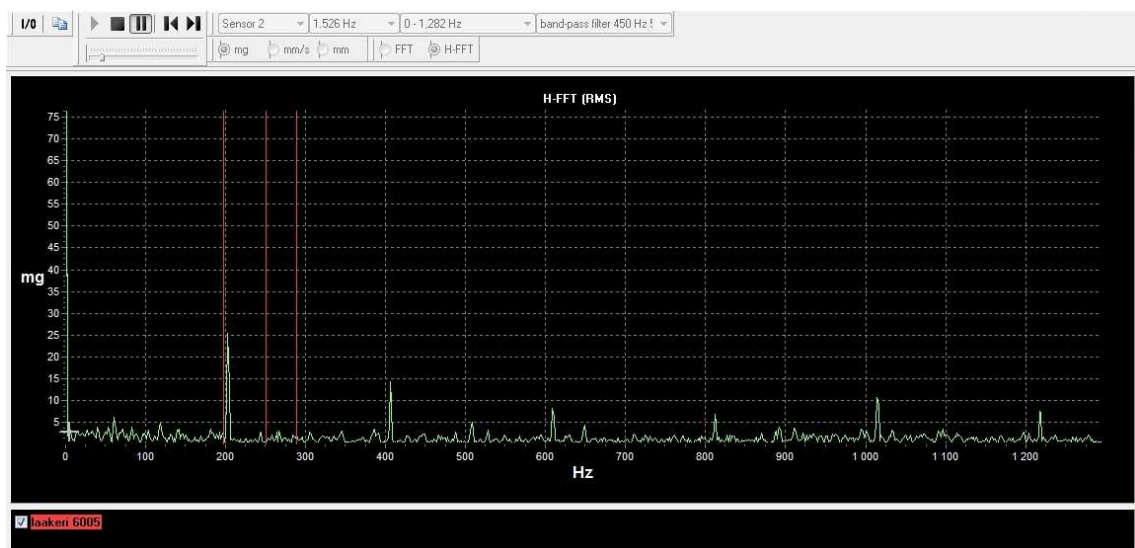
Kuva 28. Selvästi havaittava laakerin ulkokehän vaurio.

Kuivan laakerin voiteluongelman löytäminen onnistuu VES003 ohjelmalla helposti (kuva 29). Toki meidän käyttämästä laakerista oli rasvat pesty huolellisesti pois. Pientä voitelun puutetta ei harjaantumaton silmä havaitse. Värähtely kasvaa selvästi kun kuivan laakerin käyttöä jatketaan.



Kuva 29. "Haystack"-efekti on selkeästi nähtävissä kuivalla laakerilla.

Mittaustulosten vertailu aiemmin tallennettuun dataan on helppoa. Jokaiselta laakerilta talletetaan tietyn väliajoin pätkä värähtelydataan (ks. kuva 30). Näin vaurioiden kehittyminen voidaan helposti havaita.



Kuva 30. Talletetun historiadatan toisto on helppoa. Kuvassa näkyy hyvin ulkokehä vaurion kerannaiset.

7 Analyysi

Opinnäytetyön lähtökohtana oli rakentaa opetuslaitteisto kunnonvalvonnan värähtelymittausta varten. Laitteiston suunnittelu ja rakentaminen aloitettiin syksyllä 2013. Laitteistoa päästiin testaamaan keväällä 2014. Syksyllä 2014 aloitettiin ensimmäinen värähtelymittauskoulutus ammattikoulun kolmannen vuoden kunnossapitoasentajaopiskelijoille.

lfm:n toimittama laitteisto on osoittautunut toimimaksi järjestelmäksi opetuskäytössä. Laitteiston asennus ja käyttöönotto on yksinkertaista ja selkeää, joten se soveltui hyvin harjoitustyöksi oppilaille. VES003 ohjelman yksinkertaisuudesta johtuen sen käyttäjän ei tarvitse olla alan spesialisti, vaan sen käytön oppiminen onnistuu hyvin useimmilta oppilailta. Ohjelman manuaali on myös selkeä ja sieltä tarvittavat asiat on helposti löydettävissä. Yksinkertaisuudesta on myös apua opettajalle, sillä värähtelymittauskurssi vedetään kerran lukukaudessa, joten asiat tuppaavat unohtumaan.

Kunnonvalvontalaitteisto on myös osoittautunut luotettavaksi, tosin käyttötunteja ei opetuskäytössä tule läheskään niin paljon kuin teollisuudessa. Ainoat ongelmat ovat olleet Ethernet yhteyden katkeaminen VSE100-diagnostiikkayksikön ja PC:n välillä. Ongelma on todennäköisesti diagnostiikkayksikön liittimessä. Vasta pidempiaikainen käyttö kertoo laitteiston todellisen luotettavuuden.

Laitteistolla on saatu näytettyä oppilaille, mitä käytön aikainen kunnonvalvonta voi olla. Sillä pystytään vertailemaan aistivaraista havaintoa, lämpötilamittausta tunnustelemalla/lämpökameralla ja värähtelymittauslaitteiston antamia arvoja toisiinsa. Niissä on yhtäläisyyksiä. Laitteistolla voidaan havainnollistaa hyvin laakerin kuntoa ja sitä kautta värähtelymittauksen perusteet jäävät paremmin mieliin. Värähtelymittauslaitteistolla datan tallentaminen ja vertailu on myös paljon helpompaa.

Osa oppilaista on ollut hyvinkin kiinnostuneita värähtelymittauksesta. Meillä opetuksessa pääpaino on ollut käsillä tekemisessä. Värähtelymittaus sekä kunnonvalvonta antaa erilaisen perspektiivin kunnossapidosta ja ehkäpä ohjaa joitakin tulevia kunnossapitoasentajia kunnonvalvonnan työtehtäviin.

Laitteisto on osoittautunut soveltuvansa muuhunkin kuin värähtelymittaukseen. Sillä voidaan harjoitella laakeriasennuksia, hihnapyörän asennuksia, hihnan linjausta ja kireyden

säätöä, lämpötilamittauksia. Siitä saa myös sorvausharjoituksen, kun kukin oppilas koneistaa oman akselin ja laakeripesät.

8 Jatkokehitys

Laitteisto kokonaisuudessaan on osoittautunut toimivaksi ja monipuoliseksi ratkaisuksi opetuskäyttöön. Mittauslaitteisto itsessään toimii hyvin, joten siinä ei ole kehitettävää meidän käytössä. Kehitettävää löytyy mekaanisesta laitteistosta, datan tallentamisesta ja sen vertailusta.

Laitteiston kokonaisvärähtelyä tullaan pienentämään tukevoittamalla akselipukkeja ja tekemällä hihnojen kiristyssäätö tukevammaksi. Hihnan päiden liitoskohta aiheuttaa hihnan pyöriessä myös kokonaisvärähtelyn lisäystä. On pohdittu, että onko järkevää tehdä voimansiirto hihnoilla vai pitäisikö se tehdä jotenkin toisin. Toisaalta, onhan monissa laitteissa teollisuudessakin vastaavia värähtelyn aiheuttajia. Myös mittauspaikka tullaan siirtämään suoraan laakeripesään kiinni, jolloin rajapintoja on vähemmän laakerin ja anturin välillä.

Yksittäisten laakerien käyttöaika tullaan myös kirjaamaan paremmin ylös, jolloin historia-tietoja vertailemalla voidaan nähdä millä käyttötunneilla vauriota alkaa kehittymään ja mitä muutoksia värähtelyssä tapahtuu. Nythän voidaan pyörittää 2-8:aa laakeria samanaikaisesti, mutta vain kahden värähtelyä voidaan mitata kerralla.

9 Yhteenveto

Kunnossapito on hyvin monipuolinen ja vaativa ala. Kunnossapitoasentajalle pitäisi kolmen vuoden opintojen aikana opettaa perusteet mahdollisemman monesta asiasta. Kunnossapito sisältää automaatiota, pneumatiikkaa, hydraulikkaa, sähköä, mekaniikkaa, ohjelmointia, kunnonvalvontaa, laitesiirottoja ja osavalmistusta. Uskaltaisinkin väittää, että se on ammattioppilaitosten monipuolisin ja ehkäpä myös vaativin linja. Alan laajuudesta johtuen monet asiat on käytävä pintapuolisesti läpi, eikä tällöin ole tarkoitukseen mennä tarkkoihin yksityiskohtiin. Tässäkin mennään monesti oppilaiden ehdolla, jos joku on kiinnostunut jostakin tietystä asiasta, on hänellä siihen mahdollisuus syventyä muita enemmän.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli syventyä laakerin kunnonvalvontaan ja suunnitella ja toteuttaa värähtelymittauslaitteisto opetuskäyttöön. Mielestäni tässä värähtelymittauslaitteiston valmistuksessa ja komponenttien valinnassa onnistuttiin hyvin. Varsinkin kun tietoa muista vastaavista laitteistosta opetuskäyttöön ei ollut tarjolla. Se tarjoaa oppilaille hyviä asennusharjoituksia ja antaa perusteet käytönaikaiseen kunnonvalvontaan laakerien värähtelymittausten kautta. Laitteiston ja ohjelmiston yksinkertaisuus soveltuu hyvin toisen asteen opiskelijoille. Uskoisin, että laitteisto toimisi hyvin myös ammattikorkeakoulu tasolla.

Laitteiston pidempiaikainen käyttö tulee osoittamaan sen luotettavuuden ja samalla ohjelmiston monipuolisuus tulee paremmin tutuksi. Pieniä muutoksia rakenteisiin tullaan tekemään tämän lukukauden aikana. Lisää muutosten tarvetta varmasti ilmenee jatkossa ja niitä tullaan tekemään mahdollisuuksien mukaan.

Lähteet


- 1 Mikkonen, Henry – Miettinen, Juha – Leinonen, Pertti – Jantunen, Erkki - Kokko, Voitto – Riutta, Erkki – Sulo, Petri – Komonen, Kari – Lumme, Veli-Erkki – Kautto, Juha – Heinonen, Kari – Lakka, Sami – Mäkeläinen, Risto. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Mikkonen, Henry (toim.). Kunnossapitoyhdistys Promaint. Helsinki: KP-Media Oy.
- 2 Nohynek, P. & Lumme, V. 2007. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset, Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 11, 2.täydennetty painos, 2007 Kunnossapitoyhdistys ry.
- 3 Värähtelymittauksen perusteet, AEL luentomateriaali 2013.
- 4 ABB:n TTT-käsikirja 2000–07.
- 5 Ansaharju Tapani. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. WSOY Oppimateriaalit Oy.
- 6 Fagerman, Kalle. 2009. Laakerien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta värinäanalyysillä. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 7 SKF laakerien kunnossapito 1994.
- 8 PSK 5702 2007, PSK Standardisointiyhdistys ry, Kunnonvalvonnan värähtelymittaus, mittauspisteen valinta ja tunnistaminen, 3.painos.
- 9 PSK 5703 2006, PSK Standardisointiyhdistys ry, Kunnonvalvonnan värähtelymittaus, anturin, liittimen ja kaapelin valinta sekä asennus 4.painos.
- 10 VTT:n TUTKIMUSRAPORTTI NRO VTT-R-01567-06 18.4.2006. Verkkodokumentti. <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/052006/varmittana%20vtt-r-01567-06_x.pdf>. Luettu 15.7.2014.
- 11 Salon Seudun Koulutuskuntayhtymä kotisivut.<www.sskky.fi>. Luettu 14.9.2014.
- 12 VSA001 Operating instructions, Ifm electronic, 2013.
- 13 VSE100 Operating instruction , Ifm electronic , 2013.
- 14 Programming manual. Software for efector octavis. VES003. Version 3.0- 2013.

VSE100 diagnostiikkaysikön datalehti

■ Tuotteen ominaisuudet	
Diagnoseelektronik für Schwingungssensoren Typ VSA / VSP	
VSE	
Muovikotelo	
Combicon-liittimet	
4 Sensoreingänge 0...10 mA oder IEPE	
Ethernet Schnittstelle TCP/IP	
Frequenzselektive Maschinenüberwachung von bis zu 4 Messstellen	
Integrierter Historienspeicher mit Echtzeituhr	
Zählerfunktion	
■ Sähköiset tiedot	
Käyttöjännite [V]	24 DC ± 20 % *)
Virrankulutus [mA]	200; (24 V)
Suojausluokka	III
■ Tulot / lähdöt	
Tulopiiri	4 Eingänge dynamisch (einzeln konfigurierbar) 0...10 mA oder IEPE 2 Eingänge statisch 0/4...20 mA oder 0...10 V oder Impuls HTL (galvanisch getrennt) 8x digitale Aus-/Eingänge (frei konfigurierbar) (PNP 100 mA)
Tulot / lähdöt (yhteismäärä)	2x digitale Alarm-Ausgänge (PNP 100 mA) oder 1x digitaler Alarm-Ausgang und 1x analoger Ausgang 0/4...20/22 mA oder 0...10 V 14, konfigurierbar
■ Mittaus- / asettelualue	
Näytteenottotaajuus [kSamples]	100
■ Ohjelmisto / ohjelmointi	
Historiamuisti	Einträge pro Objekt: min. 346368 / max. 881664 (je nach Objektgröße)
■ Liitännät	
Dataliitäntä	Ethernet TCP/IP
■ Käyttöolosuhteet	
Ympäristölämpötila [°C]	0...70
Suojausluokka	IP 20
■ Hyväksynyt / testit	
EMC	EN 61000-6-2 EN 61000-6-3 EN 50178
MTTF [vuotta]	88
■ Mekaaniset tiedot	
Max. Länge des Sensorkabels [m]	250
Kotelomateriaali	PA
Asennustapa	Kiskoasennus
Paino [kg]	0,357
■ sähköinen liitäntä	
Liitäntä	Combicon

Vtkkentä	
	<p>1 L+: 24 V DC +20% bei Verwendung eines IEPE-Sensors</p>
■ Tarvikkeet	
Tarvike (lisävaruste)	ristiinkytketty kaapeli diagnostiikkaysikön VSExxx liittämiseksi suoraan PC:n Ethernet-liitäntään
■ Huomautuksia	
Huomautuksia	*) bei Verwendung eines IEPE-Eingangs 24 V + 20% (Integrated Electronics Piezo Electric) Maximale Leitungslänge zum Anschluss an die Spannungsversorgung: 30 m
Pakkausyksikkö [kpl]	1

VSA001 tärinäanturin datalehti

■ Tuotteen ominaisuudet	
Tärinäanturi	
VSA	
Pistokeliitäntä	
Liitäntä erilliseen diagnostiikkayksikköön, tyyppi VSE	
■ Sovellutus	
Sovellutusalue	Tärinäntunnistus maks. ± 25 g
■ Sähköiset tiedot	
Käyttöjännite [V]	9 DC
Virrankulutus [mA]	< 15
Suojausluokka	III
■ Lähdöt	
analoginen	
mA-lähtö [mA]	0...10
■ Mittaus- / asettelualue	
Mittausperiaate	kapasitiivinen
Mittausalue [g]	± 25
Taajuusalue [Hz]	0...6000
■ Tarkkuus / poikkeamat	
Herkkyys [mg/√Hz]	0,2
Lineaarisuus	0,2 %
■ Käyttöolosuhteet	
Ympäristölämpötila [°C]	-30...125
Suojausluokka	IP 68 / IP 69K
■ Hyväksynyt / testit	
EMC	EN 61000-6-2 EN 61000-6-3 EN 50178
MTTF [vuotta]	3338
■ Mekaaniset tiedot	
Anturin tyyppi	mikromekaaninen kiihtyvyyssanturi
Mittausakselien lukumäärä	1
Mekaaninen ylikuormitettavuus [g]	500
Max. Länge des Sensorkabels [m]	250
Kotelomateriaali	haponkestävä teräs (1.4404)
Paino [kg]	0,048
■ sähköinen liitäntä	
Liitäntä	M12 pistokeliitäntä
Kytchentä	
1: L+ (+9 V)	
2: I out	
3: GND	
4: Test	
■ Tarvikkeet	
Tarvike (lisävaruste)	Kartiaaluslevy E30115 (5 kpl)
■ Huomautuksia	
Pakkausyksikkö [kpl]	1