

**Tomi Hautala**

**VÄRÄHTELYMITTAUSTEN LABORATORIO-  
OPETUKSEN KEHITTÄMINEN**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Lokakuu 2014**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Yksikkö</b> Kokkola-Pietarsaari	<b>Aika</b> Lokakuu 2014	<b>Tekijä</b> Tomi Hautala
<b>Koulutusohjelma</b> Kone- ja tuotantotekniikka		
<b>Työn nimi</b> Värähtelymittausten laboratorio-opetuksen kehittäminen		
<b>Työn ohjaaja</b> Mika Kumara	<b>Sivumäärä</b> 14+1	
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda värähtelymittauksiin perehdyttävä laboratoriotyö kone- ja tuotantotekniikan opiskelijoille.</p> <p>Työssä käytettiin CSI 2130 värähtelyanalysointia mittausten suoritukseen, AMS Suite: Machinery Health Manageria mittaustulosten analysointiin ja ME'scopeVES:ää kappaleen mallinnukseen ja animointiin.</p> <p>Kappaleen animaatiosta nähtiin millaisia muodonmuutoksia kappaleessa esiintyy värähtelyn johdosta.</p>		
<b>Asiasanat</b> Analysointi, CSI, käynnissäpito, värähtelymittaus		

## ABSTRACT

<b>Unit</b> Kokkola-Pietarsaari	<b>Date</b> October 2014	<b>Author</b> Tomi Hautala
<b>Degree programme</b> Machine and production technology		
<b>Name of thesis</b> Development of vibration measurement teaching in laboratory		
<b>Instructor</b> Mika Kumara		<b>Pages</b> 14+1
<p>The main purpose of this thesis was to create a laboratory study about vibration analysis for machine and production technology students.</p> <p>The vibration of the object was measured using a CSI 2130 vibration analyser. The results were collected and analysed in AMS Suite: Machinery Health Manager and then transferred into ME'scopeVES, where the object was modelled and animated.</p> <p>The deformations that occurred due to the vibration could be observed from the animation produced by ME'scopeVES.</p>		
<p><b>Key words</b> Analysis, CSI, maintenance, vibration</p>		

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 KUNNOSSAPIDON TEORIAA</b>	<b>2</b>
2.1 Värähtelyn synty	3
2.2 Värähtelymittaukset	4
2.2.1 Absoluuttiset mittaukset	7
2.2.2 Suhteelliset mittaukset	7
2.3 Anturit, mittayksiköt ja suureet	8
2.4 Värähtelymittausten soveltamista	10
<b>3 LAITTEET JA OHJELMISTOT</b>	<b>11</b>
3.1 CSI 2130 Machinery Health Analyzer	11
3.2 AMS Suite: Machinery Health Manager	12
3.3 ME'scopeVES	12
<b>4 TYÖN SUORITUS</b>	<b>13</b>
<b>5 TULOKSET JA POHDINTA</b>	<b>18</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>19</b>
<b>LIITTEET</b>	
LIITE 1. CSI 2130 värähtelyanalysointori sekä ME'scopeVES	
<b>KUVIOT</b>	
KUVIO 1. Kunnossapito-kokonaisnäky	2
KUVIO 2. Aikakäsitteet	3
KUVIO 3. Yleisimmät haitallisen värähtelyn aiheuttajat	4
KUVIO 4. Vianmäärittelyn kulku	5
KUVIO 5. Aikataso, spektri ja amplitudi	6
KUVIO 6. Anturin paikan valinta värähtelymittauksessa	7
KUVIO 7. Akselivärähtelyn mittaus	8
KUVIO 8. Kiihtyvyyssanturi	9
KUVIO 9. Testipenkki	10
KUVIO 10. CSI 2130	11
KUVIO 11. ME'scopeVES mallinnus	14
KUVIO 12. Kanava-asetukset	14
KUVIO 13. Analyysimittausasetukset	15
KUVIO 14. Kiihtyvyyssanturi ja voimavasara	16
KUVIO 15. Kappaleen tuenta	17

## 1 JOHDANTO

Työn päämääränä oli luoda laboratoriotyö CSI 2130-laitteelle Centria-ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa.

CSI 2130 on kannettava teollisuuden mittalaite, jolla voidaan mitata pyörivien ja paikallaan olevien kohteiden värähtelyitä ja pyörimisnopeuksia. Käytin laitetta työssäni olevan kappaleen ominaisvärähtelyjen mittaukseen. Laitteesta puuttui Modal Analysis – laajennus, joka olisi ollut käytännöllisin tapa työn suoritukseen. Tämän vuoksi mittaukset suoritettiin perustoiminnolla ”iskutesti – kone ei käy”.

Tämän jälkeen mittaustulokset siirrettiin CSI:ltä tietokoneelle, AMS Suite: Machinery Health Manager – ohjelmistoon. AMS:llä voi tarkkailla mittaustuloksia ja muuntaa mittaukset ME’scopeVES:n tunnistamaan muotoon.

ME’scopeVES – ohjelmistolla kappale mallinnettiin ja AMS:stä tulokset siirrettiin exporttoiminnolla ME’scopeVES:iin. Kun mittaustulokset oli liitetty vastaaviin mittauspisteisiin piirrettyssä mallissa, ME’scopeVES pystyi animoimaan kappaleen ja esittämään miten kappale värähtelee, kun siihen tuodaan ulkoinen voima.

Laatimani laboratoriotyöohje ohjeistaa vaiheittain näiden kaikkien laitteiden ja ohjelmistojen peruskäyttöön ja antaa ensikäyttäjälle helpon lähestymistavan laitteiden parissa toimimiseen. Tämä kuitenkin on vain pintaa raapaiseva perehdytys kuhunkin yksittäiseen laitteeseen tai ohjelmistoon.

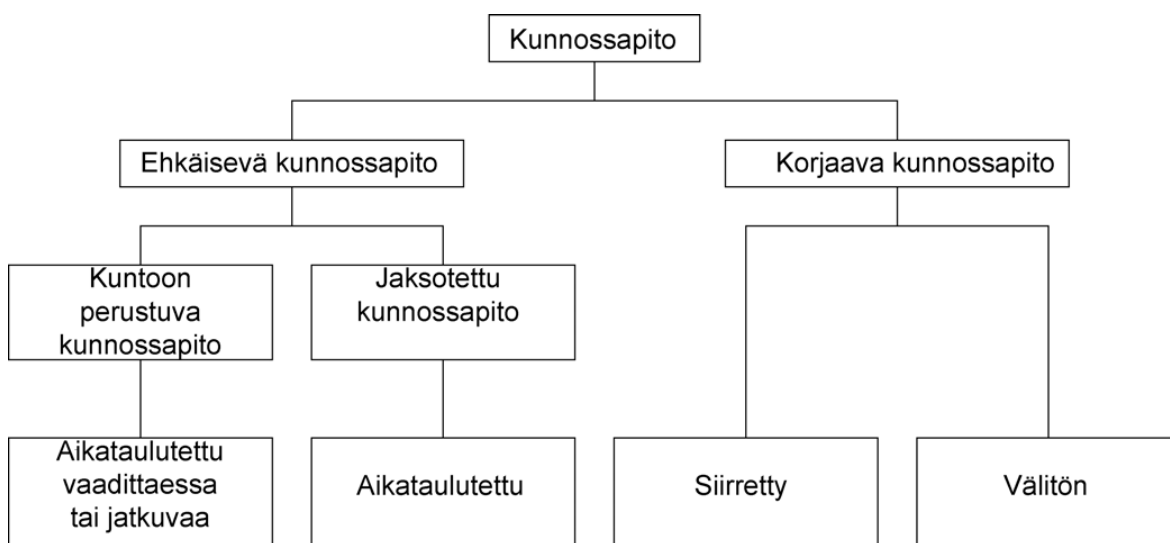
## 2 KUNNOSSAPIDON TEORIAA

Kunnossapito on koneiden ja laitteiden luotettavan toimintakunnon takaamista siten, että vikojen muodostumista pyritään estämään ja jo ilmenneet viat korjataan (Järviö 2004,5). Yleisesti kunnossapitoa on pidetty vain vikojen korjaamisena. Itse asiassa kunnossapito kuitenkin pyrkii takaamaan tehtaan tai laitoksen luotettavan tuottamiskyvyn ja sen, että laitteet suoriutuvat suunnitelluista tehtävistään. (Järviö 2004,12.)

SFS-EN 13306 – standardi kuvaa kunnossapidon seuraavasti: ”Kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suorittamaan halutun toiminnon.” (SFS-EN 13306.)

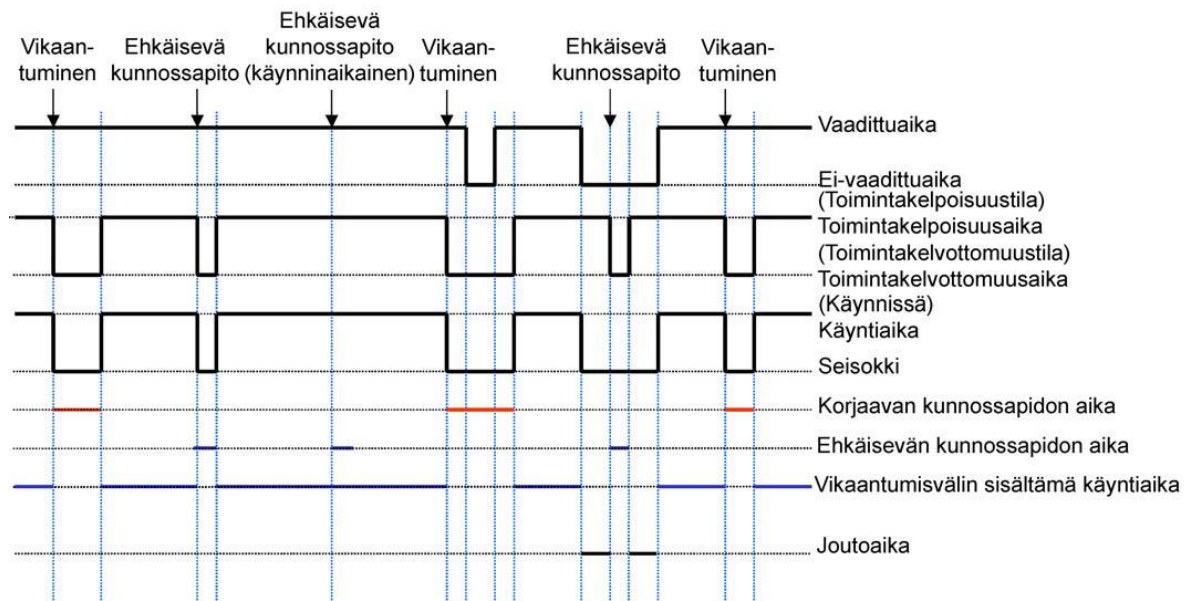
Kunnonvalvonnan tarve vaihtelee ja se määrittellään turvallisuus- ja ympäristötekijät, tuotannon menetyksen kustannustekijät sekä kunnossapidon kustannustekijät huomioon ottaen. (Kunnossapidon mittausten luentomateriaali 2013.)

Kuviossa 1 nähdään, että kunnossapitoon sisältyy kaksi pääosa-alueetta. Ehkäisevässä kunnossapidossa pyritään ennakoimaan ja ehkäisemään viat ennen niiden esiintymistä. Tämä helpottaa tuotannon aikataulutusta käynnissäpidon jouduttamiseksi ja seisakkien minimoimiseksi. Korjaavassa kunnossapidossa vikoihin puututaan vasta niiden ilmettyä.



KUVIO 1. Kunnossapito - kokonaisnäkymä (SFS-EN 13306)

Kuviossa 2 nähdään kunnossapidon vaiheet vian sattuessa.

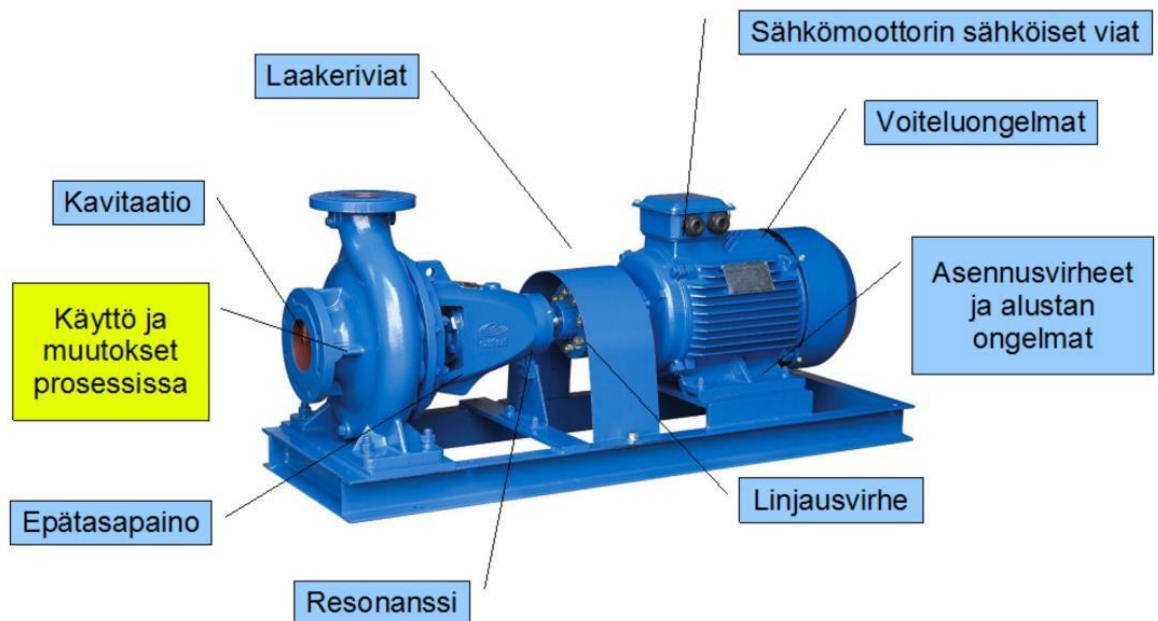


KUVIO 2. Aikakäsitteet (SFS-EN 13306)

## 2.1 Värähtelyn synty

Tärinä, eli värähtely on jatkuvaa tai hetkellistä mekaanisen systeemin reagoitua. Sitä syntyy kun kappale liikkuu tietyn tasapainoaseman ympärillä. Jatkuakseen se vaatii suuruuttaan tai suuntaansa jatkuvasti vaihtavan voiman, kuten esimerkiksi pyörivässä autonrenkaassa. Jos rengas on epätasapainossa, se aiheuttaa havaittavaa värähtelyä eli resonanssia. Resonanssitaajuudella toimiminen voi johtaa muun muassa energiahäviöihin, käyttöiän alenemiseen tai rakenteiden väsymismurtumiin. Koneiden värähtelyt johtuvat usein pyörivistä akseleista. Yleisiin konetekniikan päämääriin kuuluu haitallisten värähtelyiden eliminointi tai vaimennus ja tarkoituksenmukaisten värähtelymuotojen salliminen. Kuviossa 3 nähdään yleisimpiä haitallisen värähtelyn aiheuttajia. (De Silva, 2006, 2.)

Muutamia värähtelyn aiheuttajia...



**KUNNOX**

KUVIO 3. Yleisimmät haitallisen värähtelyn aiheuttajat. (Kunnossapidon mittauksen luentomateriaali 2013.)

## 2.2 Värähtelymittaukset

Tärinä- eli värähtelymittauksia voidaan hyödyntää vikaselvityksessä, käytönvalvonnassa ja kunnonvalvonnassa. Värähtelymittaus on useimmiten paras mittausmenetelmä ennakoivaan kunnossapitoon. Menetelmä on tehokkaimmillaan dynaamisia ilmiöitä, kuten koneen akseleiden tasapainoa tai laakerointien kuntoa, määriteltäessä. (ABB TTT-käsikirja 2000, 5.)

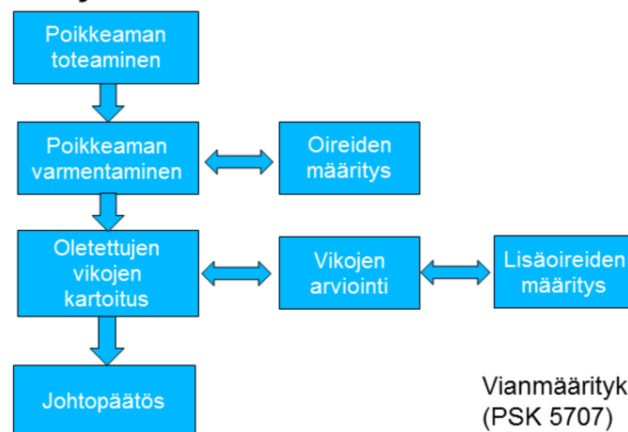
Yleisesti organisaation kunnossapitomittaukset tehdään laaditun mittaussuunnitelman mukaan ja ne ovat verrattavissa aiempiin mittaustuloksiin ja hälytysrajoihin. Mikäli aiempia tuloksia ei ole käytettävissä, mittaustuloksia voidaan verrata alan standardeihin ja vastaavien laitteiden mittauksiin. (Kunnossapidon mittauksen luentomateriaali 2013.)



Kuten kuviossa 4 nähdään, vianmääritys on monivaiheinen tapahtuma, jossa ei tule edetä liian suoraviivaisesti mittaustuloksista johtopäätökseen. Kun toistuvia mittauksia analysoidaan ja havaitaan poikkeama, vianmääritys käynnistyy. Poikkeamaa ei tule rajoittaa pelkästään mittaustuloksissa ilmenevään poikkeamaan, vaan myös aistihavainnot tulee ottaa huomioon. Yleensä vian syntyyn ja oireiden ilmenemiseen on useita syitä, jotka eivät ole yksiselitteisiä. Vianmääritystä myös vaikeuttaa se, että samat oireet vaikuttavat useaan vikaan. Toisaalta yhteen vikaan yleensä liittyy useampi oire. Varsinainen johtopäätös perustuu useaan vaiheeseen, jossa suljetaan pois epätodennäköisiä ja varmistetaan todennäköisiä vikoja.

## ***Mittaaminen ja mittaustulosten seuranta***

- Valvonta suunnitelman mukaisilla ja jatkuvilla tarkastuksilla ja mittauksilla



Vianmäärityksen kulku,  
(PSK 5707)

**KUNNOX**

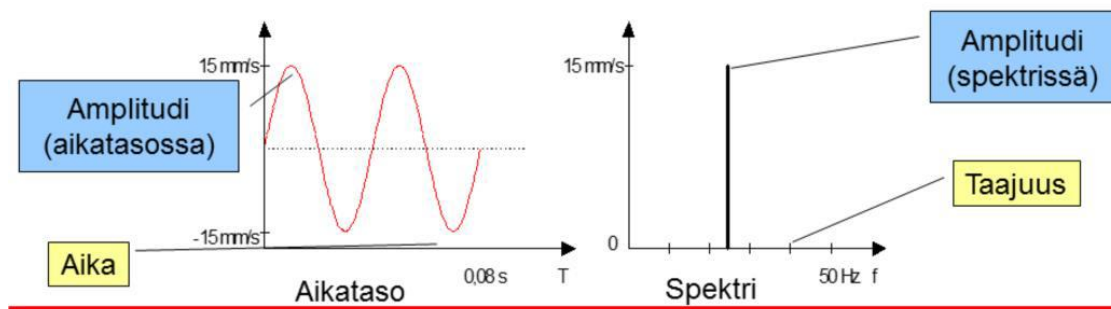
KUVIO 4. Vianmäärityksen kulku. (Kunnossapidon mittausten luentomateriaali 2013.)

Mikäli mittaustulokset pysyvät sallittujen rajojen sisällä eikä muitakaan poikkeamia ole havaittavissa, ei jatkotoimenpiteitä tarvita. Jos poikkeama havaitaan tai hälytysraja ylittyy, selvitetään mahdollinen vika, sen aiheuttaja ja kehitymisnopeus. Näitä tietoja käyttämällä ennustetaan laitteen turvallinen käyttöaika. (Kunnossapidon mittausten luentomateriaali)

Värähtelymittausten vianmääritys nojautuu pääsääntöihin, joiden mukaan värähtelyn taajuus ilmaisee vian tyypin ja amplitudi sen vakavuusasteen. Erityisesti vierintälaakerien

värähtelymittauksissa käytetyimmät työkalut ovat värähtelyspektri ja aikataso, jotka selitetään kuviossa 5. Niitä tulkitsemalla pyritään löytämään vikojen oireet ja tekemään diagnoosi. (Kunnossapidon mittausten luentomateriaali)

- Aikataso → Miten värähtely vaihtelee ajan suhteen (nk. raakasignaali)
- Spektri → Miten nopeasti (taajaan) värähtely vaihtelee (taajuustasoesitys)
  - Spektri muodostetaan aikatasosta
- Amplitudi → Miten suurta värähtely on



KUNNOX

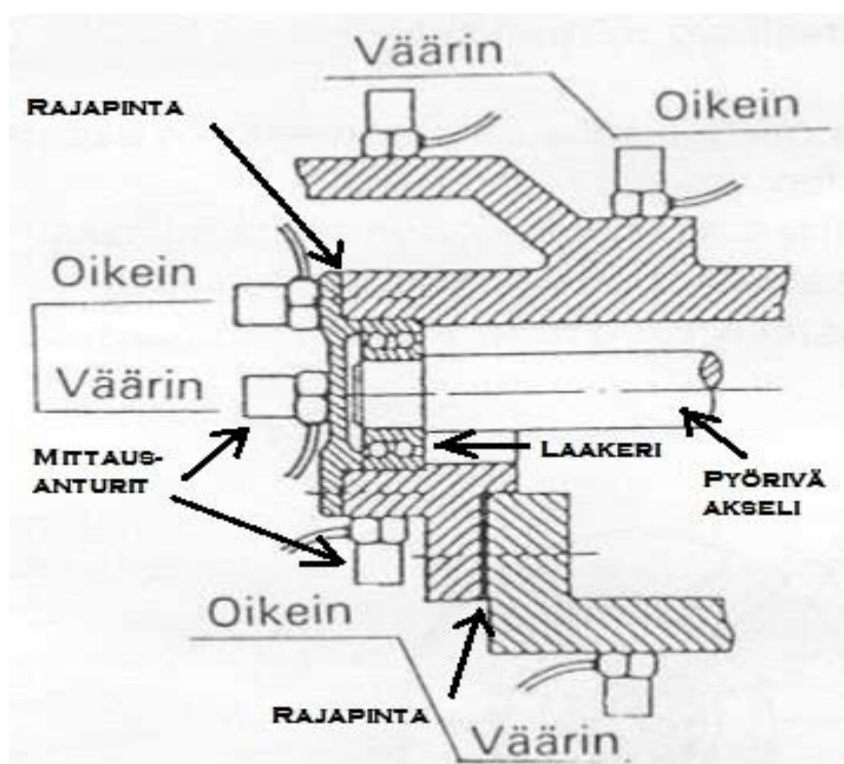
KUVIO 5. Aikataso, spektri ja amplitudi. (Kunnossapidon mittausten luentomateriaali 2013.)

Aikatasoa voidaan kutsua värähtelyn raakasignaaliksi, koska siinä on mukana kaikkien eri komponenttien aiheuttama värähtely. Värähtelyaikatason voidaan ajatella kuvaavan laitteen liikettä tasapainoasemansa molemmin puolin. Värähtelyä voidaan mitata eri yksiköissä, jolloin amplitudiasteikko on joko siirtymä ( $\mu\text{m}$ ), nopeus ( $\text{mm/s}$ ) tai kiihtyvyys ( $\text{g}$  tai  $\text{m/s}^2$ ). (Kunnossapidon mittausten luentomateriaali 2013.)

Spektri, eli taajuustasoesitys muodostetaan aikatasosta. Siinä nähdään jaksollisesti toistuvat ilmiöt ja koska useimmat pyörivien koneiden viat toistuvat jaksollisesti, se on värähtelymittausten käytetyin työkalu.

### 2.2.1 Absoluuttiset mittaukset

Mittauspisteen valinta on suoritettava siten, että mittausanturin ja värähtelylähteen välinen mekaaninen etäisyys on minimoitu. Anturin ja värähtelylähteen välissä tulee olla myös mahdollisimman vähän rajapintoja, koska korkeataajuinen värähtely menettää energiaansa rajapinnan kohdatessaan. Absoluuttisista mittaustuloksista pitää erikseen tunnistaa muunmuassa akselin, laakerin ja koneen muiden osien värähtelyt. (PSK 5702)

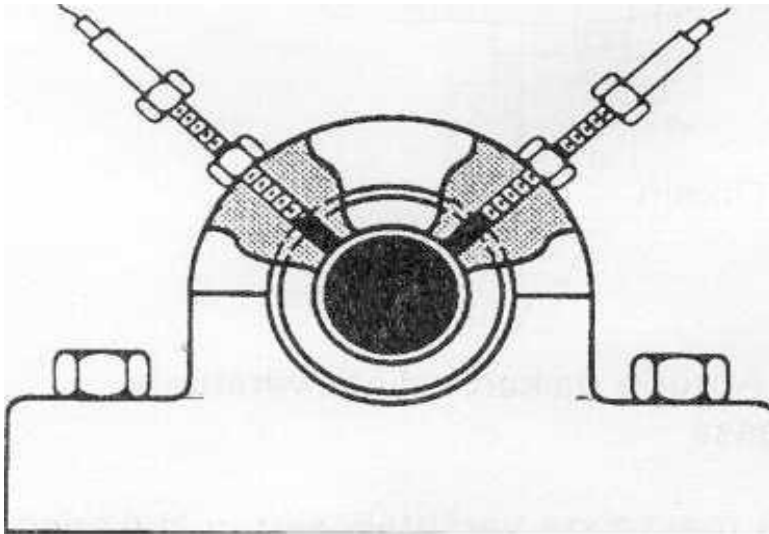


KUVIO 6. Anturin paikan valinta värähtelymittauksessa (PSK 5702)

### 2.2.2 Suhteelliset mittaukset

Suhteellista mittausta käytetään laitteen osien siirtymisien ja venymien havainnoimiseen, sekä akselin aseman mittaukseen. Kun halutaan mitata akselin säteissuuntaista värähtelyä, laakeripesään asennetaan kaksi anturia 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden, kuvion 7

mukaisesti. Menetelmällä selvitetään esimerkiksi miten akseli värähtelee suhteessa muihin koneen osiin. (PSK 5702)



KUVIO 7. Akselivärähtelyn mittaus (PSK 5702)

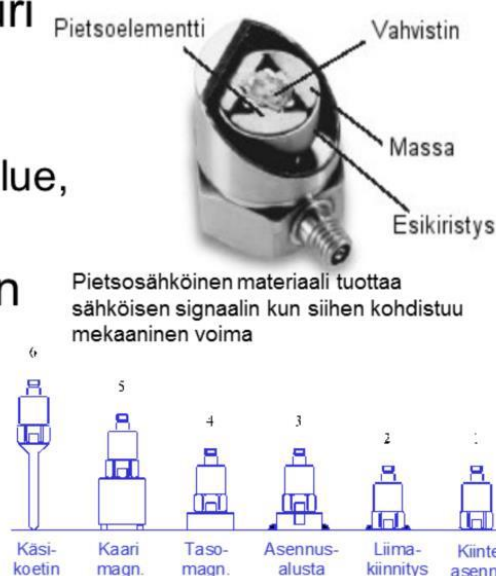
### 2.3 Anturit, mittayksiköt ja suureet

Koneiden tai laitteiden tärinää on mahdollista mitata kiihtyvyytenä, siirtymänä tai nopeutena. Eri suureet vaativat erityyppiset anturit, joskin useat laitteet osaavat integroida ja derivoida eri suureita toiseksi, esimerkiksi nopeussignaalin kiihtyvyydeksi. (Nohynek 2004.)

Kiihtyvyyssanturissa ei ole liikkuvia osia, joten niistä saadaan suhteellisen pieniä. Pienimmät ovat muutaman millimetrin kokoisia ja suurimmatkin vain omenan kokoisia. Kiihtyvyyssanturit hyödyntävät pietsosähköistä ilmiötä, missä pietsosähköinen kide puristuu tai venyy värähtelyn suuntaisesti ja synnyttää jännitteen. (De Silva 2006, 2.)

## Kiihtyvyyssanturi

- Käytetyin värähtelyanturi kunnonvalvonnassa
  - Pienikokoinen, kevyt, edullinen, laaja mitta-alue, ei liikkuvia osia
- Kiinnitetään kohteeseen magneetilla, liimalla, ruuvilla, jne.
- Mekaaninen värähtely muutetaan sähköiseksi signaaliksi



**KUNNOX**

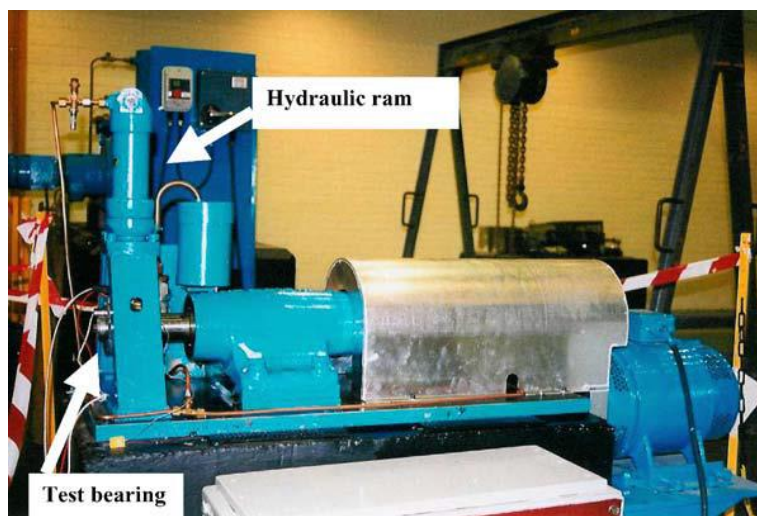
KUVIO 8. Kiihtyvyyssanturi (Kunnossapidon mittausten luentomateriaali 2013.)

Hieman kiihtyvyyssanturia kookkaampi on nopeusanturi. Anturin sisälle on jousin kiinnitetty magneettinen massa, joka liikkuu käämin sisällä. Värähtely aikaan saa massan liikettä käämin suhteen jolloin käämiin indusoituu jännite, joka on verrannollinen anturin nopeuteen. (Nohynek 2004.)

Siirtymää voidaan mitata pyörrevirta-anturilla, joka kiinnitetään yleensä noin 2mm päähän mitattavasta, ferromagneettisesta kohteesta. Kohteen ja anturin päässä olevan kelan väliin indusoituu pyörrevirtoja, joiden muutoksia mittaamalla saadaan anturin ja kappaleen välinen etäisyys. (Nohynek 2004.)

## 2.4 Värähtelymittausten soveltamista

Akustiset emissiot ovat tilapäisiä elastisia aaltoja joita syntyy, kun muodonmuutoksen tai vaurion takia syntyneet rakenteensisäiset jännitysenergiat vapautuvat äkillisesti. Abdullah M. Al-Ghamda ja David Mba kertovat tutkimuksessaan akustisen emission ja värähtelymittausten eroista säteensuuntaisesti kuormitetussa laakerissa. Tarkkailtavat arvot molemmissa menetelmissä olivat amplitudi, tehollisarvo ja kurtoosi. (Abdullah & Al-Ghamd 2005.)



KUVIO 9. Testipenkki

Vertailuja tehtiin useilla pyörimisnopeuksilla ja kuormituksilla. Testilaitteiston pyörimisnopeusalue oli 10-4000 kierrosta minuutissa ja hydraulisella sylinterillä aiheutettu kuormitus laakeriin oli korkeimmillaan 16kN. Tutkimuksesta oli pääteltävissä, että akustisen emission menetelmällä tieto viasta saatiin aiemmin mitä värähtelymittauksilla. Lisäksi akustisella emissiolla saatiin viitteitä vian suuruudesta, jolloin käyttäjä pystyi seuraamaan vian etenemisnopeutta. (Abdullah 2005.)

### 3 LAITTEET JA OHJELMISTOT

Työssä tehdyt värähtelymittaukset suoritettiin CSI 2130-laitteella. Mittaustulokset analysoitiin AMS Suite: Machinery Health Managerilla, jonka jälkeen tulokset liitettiin ME'scopeVES:llä mallinnettuun kappaleeseen. Tämän jälkeen mallinnettu kappale voitiin animoida, jolloin nähtiin millaisia muodonmuutoksia tapahtuu, kun kappale värähtelee.

#### 3.1 CSI 2130 Machinery Health Analyzer

Kuviossa 10 nähtävä CSI 2130 on kannettava teollisuuden mittalaite, jolla voidaan mitata pyörivien ja paikallaan olevien kohteiden värähtelyitä ja pyörimisnopeuksia. Se on erityisen käytännöllinen ympäristössä, jossa ei ole varaa ylimääräisiin seisakkeihin ja jossa pitää nopeasti ja tarkasti tunnistaa alkavat ja etenevät viat ja lopulta niiden aiheuttajat. (Emerson 2014)



KUVIO 10. CSI 2130 (Emerson 2014)

### 3.2 AMS Suite: Machinery Health Manager

Mekaaniset laitteistot hajoavat ajan myötä. AMS Suite: Machinery Health Manager kerää laitteiden kuntotietoja useiden integroitujen ennustavien kunnossapitomenetelmien avulla tuottaakseen täydellisen kunnonvalvontakokonaisuuden. Tarvittaessa sillä voidaan valvoa ja ennustaa kokonaisen yrityksen kunnossapitotarpeet ja täten helpottaa käynnissäpito- ja ennakkohuoltosuunnittelua. Ohjelmiston kehityksen myötä, sekä uusien käyttöjärjestelmien tultua markkinoille, Emerson on päättänyt lopettaa Windows XP:llä toimivan ohjelmiston tukemisen sekä päivittämisen. Päätös tehtiin Microsoftin lopetettua Windows XP:n päivittäminen. (Emerson 2014)

### 3.3 ME'scopeVES

ME'scopeVES ohjelmistopakettin avulla voidaan havainnoida ja analysoida ääni- ja värähtelyongelmia koneistoissa ja rakenteissa käyttäen joko kokeellisia tai analyttisiä tietoja. Ohjelmistoon voidaan tuoda mittaustuloksia tai suoraan hankkia monikanavaista aika- ja värähtelytietoa koneesta tai rakenteesta ja jälkikäsitellä sitä. Interaktiivisen 3D animoinnin avulla voidaan havainnoida käynninaikaisia värähtelystä johtuvia muodonmuutoksia, resonanssivärähtelyitä, moodeja sekä akustisia- ja teknisiä muotoja suoraan saaduista mittaustuloksista. Ohjelmistosta löytyy myös seuraavat ominaisuudet: FRF-Based Modal Analysis, Operational Modal Analysis, Vibro-Acoustic Analysis, Dynamics Modeling & Simulation, Structural Dynamics Modification, Experimental FEA. ME'scopeVES on suunniteltu värähtelyn vianhaun, uusien tuotteiden tutkimuksen ja kehityksen sekä tärkeiden laitteiden ja rakenteiden ennakkohuollon parissa työskenteleville.



## 4 TYÖN SUORITUS

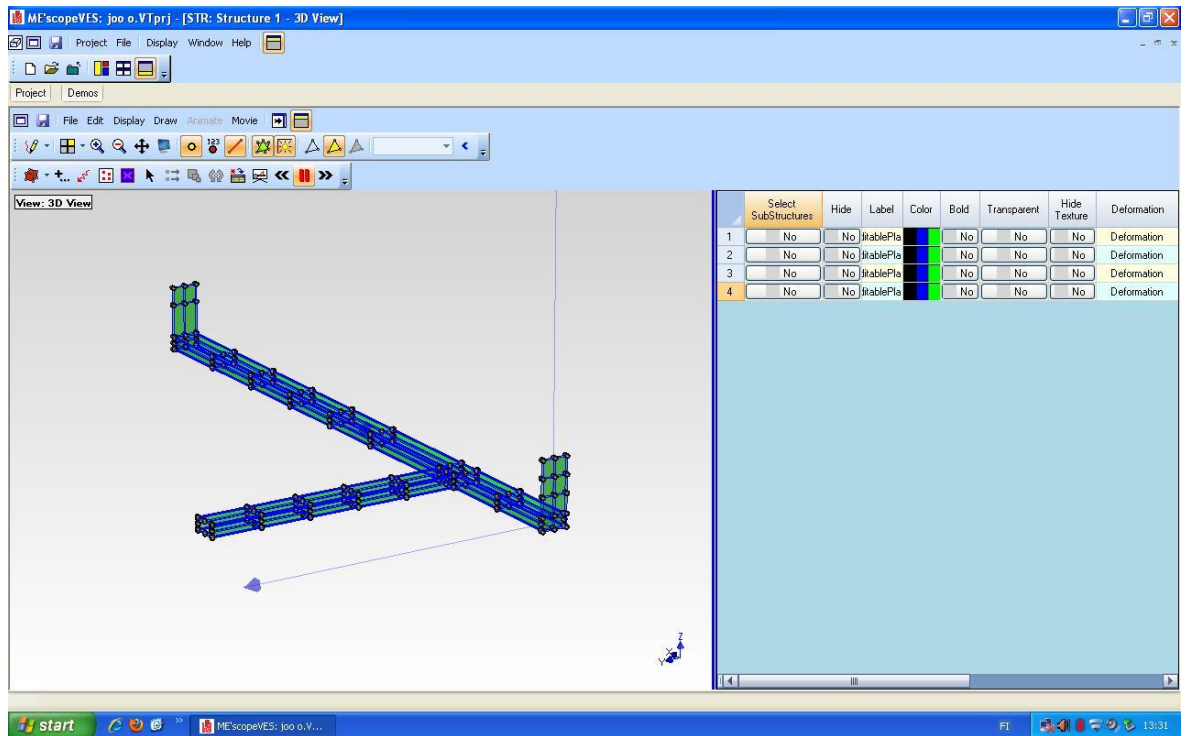
Aloitin työsuunnittelun seuraavalla tavalla:

Keskustelimme ohjaavan opettajani kanssa mahdollisista opinnäytetyön aiheista ja koska työn saaminen vanhoista kesätyöpaikoista vaikutti nihkeältä, päätimme, että teen koululle käynnissäpidon laboratorioon CSI 2130 – laitteen käyttöä valmentavan harjoitustyön. Tuumin, että koska kyseessä on ennenkin käyttämäni laite, voisimme lisätä ME'scopeVES -ohjelmiston mukaan lisähaasteeksi. Se, että koululla ei ollut koulutettua henkilöä antamaan ohjeita CSI:lle, saatikka sitten ME'scopeVES:lle, osoittautui myöhemmin erittäinkin aikaa vieväksi ja haastavaksi ongelmaksi.

Mitattavaksi kappaleeksi toivoin lyhyttä I-palkkia, koska ME'scopeVES:ssä oli valmis perehdytysysteemi sille. Koululla ei kuitenkaan ollut sopivaa hyllyssä, joten opettajan ehdotuksesta otin erään kannakerakennelman mitatakseni. Rakennelmassa oli kiinnitettynä kierretanko ja tangolla jokin laite. Purin tangon pois, sillä epäilin sen jäykistävän rakennetta sekä laitteen resonoivan tangolla häiriten mittaustuloksia. Tangon mallinnus mutterikiinnityksineen olisi varmasti myös ollut äärimmäisen haastavaa, ellei mahdotonta.

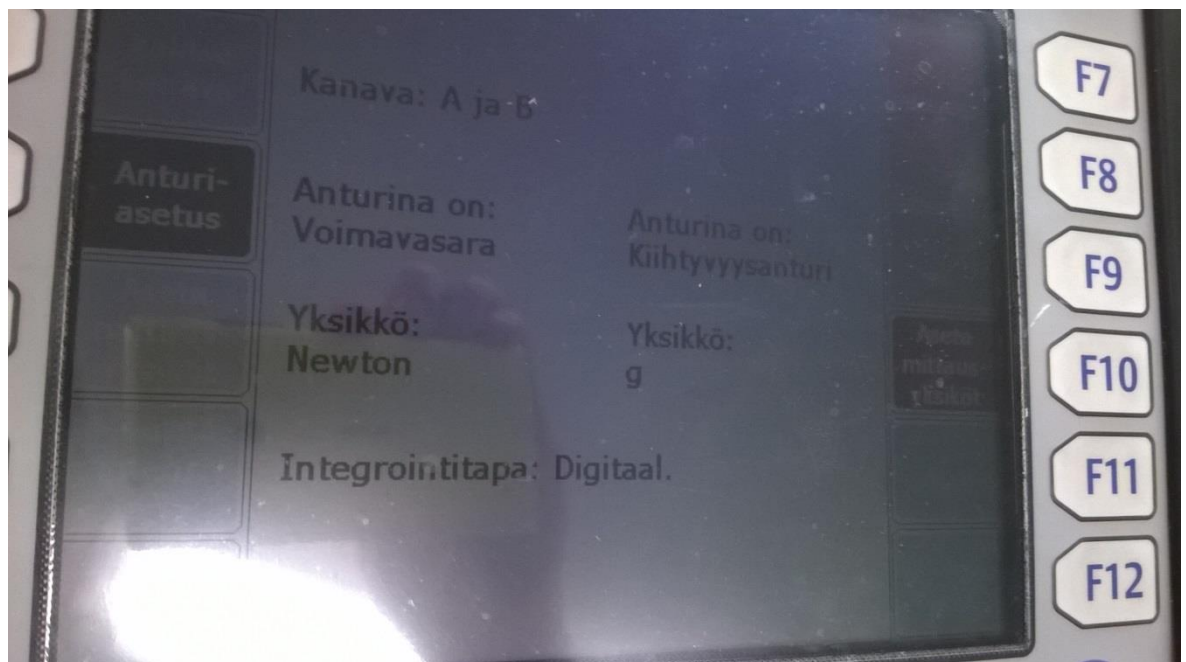
Suunnitellessani kappaleen tuentaa, ensimmäisenä mieleen tuli ripustaa se koukkuja ja elastisia nauhoja käyttäen katosta roikkumaan, jolloin ulkoiset voimat vaikuttaisivat mahdollisimman vähän kappaleeseen. Laboratoriossa ei valitettavasti ollut mahdollista asentaa koukkuja kattoon joten idea oli hylättävä. Löysimme viereisestä toimistosta pakkausvahtomuovia joista rakensin pöydälle kolmipisteisen tuennan.

Aloitin kappaleen mallintamisen ME'scopeVES:lla käyttäen apunani ME'scopeVES Tutorial manualia, joka on ohjelmiston mukana koululle hankittu materiaali. Manuaalista ei kuitenkaan löytynyt kovinkaan hyvää ohjetta vastaavan kappaleen mallintamiseen ja lopulta päädyin tulokseen, että ei auta kuin kokeilla mikä lähestymistapa toimii. Kuviossa 11 on draw assisstanttia käyttämällä mallintamani keskeneräinen kappale. Tämä menetelmä osoittautui käytännöllisimmäksi.



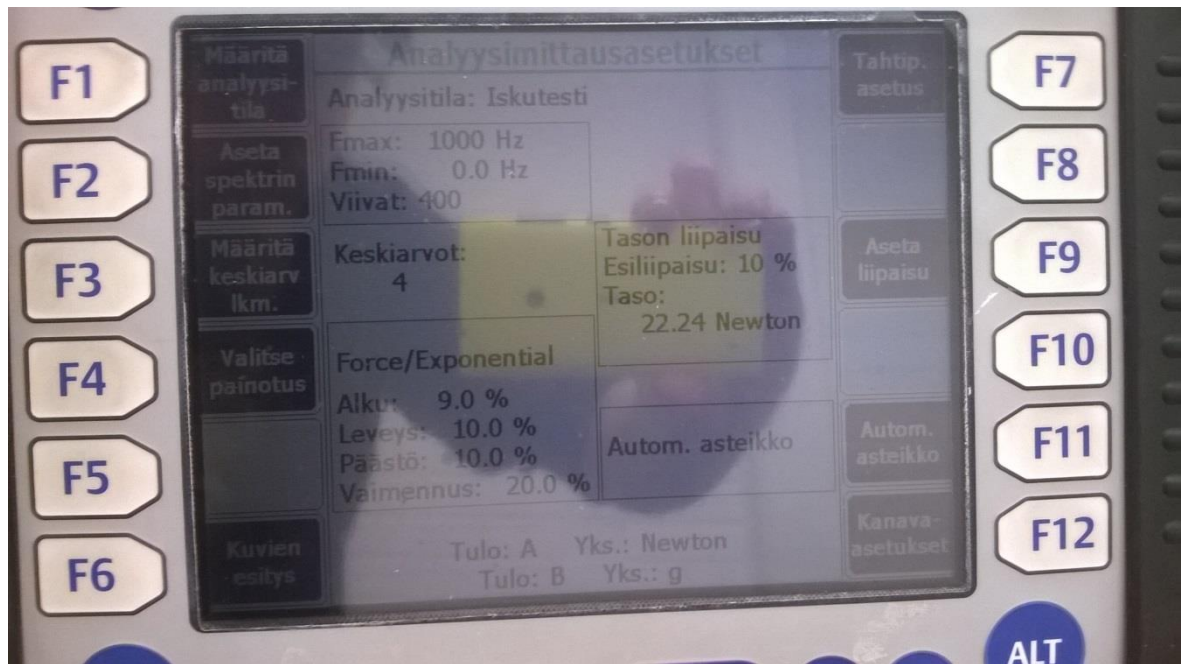
KUVIO 11. ME'scopeVES mallinnus

CSI 2130-laitteeseen liitettiin työn vaatimia lisäosia. Kaksikanava-adapteri liitetään mittalaitteen ja antureiden välille. Se mahdollistaa kahden mittaustuloksen keräämisen samanaikaisesti. Käytin sitä kerätäkseen kanavaan B liitetyn kiihtyvyyssanturin antamat värähtelytiedot yhtä aikaa toiseen kanavaan A liitetyn voimavasaran voimatietojen kanssa. (KUVIO 12.)



KUVIO 12. Kanava-asetukset

Automaattisten analyysimittausasetusten määrittämisellä ei tuntemattomasta syystä päästy mittaamaan, joten uudet herkkyysasetukset määritettiin manuaalisesti. Kuviossa 13 nähdään eräät testimittausasetukset.



KUVIO 13. Analyysimittausasetukset

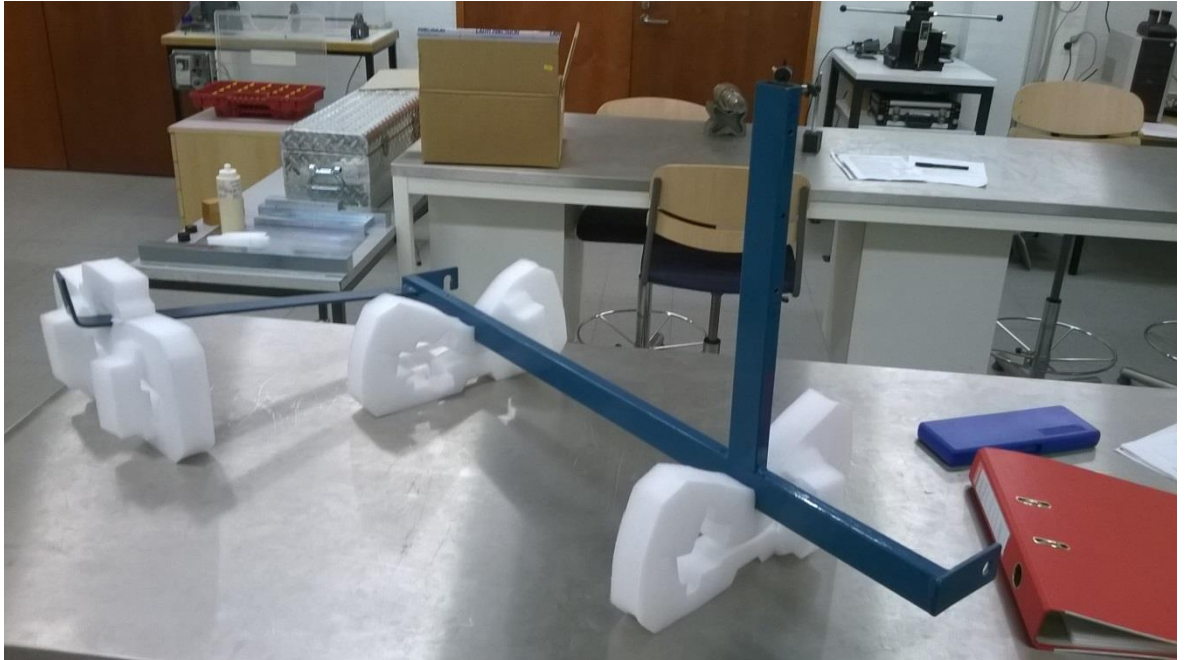
Mittaus suoritettiin asentamalla magneetilla kiinnittyvä kiihtyvyyssanturi mittauspisteeseen ja iskemällä vasaralla anturin suuntaisesti. (KUVIO 14.)



KUVIO 14. Kiihtyvyyssanturi ja voimavasara

ME'scopeVES -ohjelmiston opettelu tuotti päänvaivaa Solidworksiin tottuneelle käyttäjälle. Kappaleen mallintaminen oli todella hidasta ja jouduin useita kertoja aloittamaan alusta ennen kuin sain kelvollisen kappaleen mallinnettua ja mittauspisteet liitettyä.

Kappaleen muoto vaati kolme tukipistettä, kuvion 15 mukaisesti. Tuenta toteutettiin käyttämällä pakkausvaahtomuovia, jotta tukipisteet vaimentaisivat mahdollisimman vähän kappaleen värähtelyitä.



KUVIO 15. Kappaleen tuenta

## 5 TULOKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyötä miettiessäni oli vaikeaa löytää mielenkiintoista aihetta. Tutuilla työnantajillani ei ollut tarjota sopivaa tutkimusta. Ohjaavaa opettajaa konsultoidessani löysimme kuitenkin käynnissäpidon laboratoriosta mielekkään aiheen.

Aiheen löydettyäni ennako-odotukseni olivat, että kirjallinen osuus ja itse teorian sisäistäminen tulisi olemaan haastavampaa kuin itse työn suoritusosuus. Oletin työn suoritusosuuden olevan helppoa, koska olen tehnyt aiemminkin mittauksia CSI 2130:lla ja käyttö alkoi olemaan rutinoitunutta. Kuitenkin ME'ScopeVES:n opettelu oli todella aikaavievää ja turhauttavaa hyvien neuvojen puuttuessa joten laboratoriossa tuli vietettyä enemmän aikaa kuin oli odotettu.

Lähteiden löytäminen käytettyjen laitteiden ja ohjelmistojen teoriaosuuteen oli välillä haasteellista. Samoin ohjelmistojen ja laitteiden käyttöön ei ollut kunnan ohjeita, eikä koululla ollut niihin perehtynyttä henkilöä. Sitä vastoin käynnissäpidon teoriaosuuteen löytyi mukavasti materiaalia ja vastaavanlaisia tutkimuksia lukiessani sain ideoita omaan työhöni.

Tunnen, että laboratoriotyöstä tuli käyttökelpoinen käynnissäpidon opetusväline, kuten oli työn päämääränäkin. Opiskelijat pääsevät tutustumaan teollisuuden käynnissäpidon perusmittauksiin ja tulosten analysointiin.

## LÄHTEET

ABB OY 2000. ABB TTT-käsikirja 2000-7. Kunnonvalvonta ja huolto.

Abdullah M. Al-Ghamd, David Mba. 2005. A comparative experimental study on the use of acoustic emission and vibration analysis for bearing defect identification and estimation of defect size. Science direct. Mechanical Systems and Signal Processing 20 (2006) 1537–1571.

Nohynek, P., Lumme, V. 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2. täydennetty painos. Rajamäki: KP-Media Oy.

De Silva, C., 2007. Vibration: fundamentals and practice. 2nd ed. CRC Press, Taylor & Francis Group.

Vibrant Technology, ME'scopeVES Tutorial manual – Volume IA – Basic Operations. Vibrant Technology, Inc. Tulostettu Yhdysvalloissa.

Vibrant Technology, ME'scopeVES Reference manual – Volume IIA – Basic Operations. Vibrant Technology, Inc. Tulostettu Yhdysvalloissa.

Emerson 2014. Emersonprocess.com/SmartMachineryHealthManagement. Www-dokumentti. Saatavissa:  
[http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Asset%20Optimization%20Documents/ProductBrochuresAndFlyers/amsmm\\_br\\_capabilitiesbroc.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Asset%20Optimization%20Documents/ProductBrochuresAndFlyers/amsmm_br_capabilitiesbroc.pdf)  
 Luettu: 15.09.2014

Emerson 2014. Emersonprocess.com/CSI. Www-dokumentti. Saatavissa:  
[http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/csistechnologies/pva/csi2130/PublishingImages/2130\\_corrective.jpg](http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/csistechnologies/pva/csi2130/PublishingImages/2130_corrective.jpg).  
 Luettu: 15.09.2014

Emerson 2014. Emerson.com/products/AMS Www-dokumentti. Saatavissa:  
<http://www2.emersonprocess.com/en-us/brands/amssuite/amsmachinerymanager/pages/machinerymanager.aspx>.  
 Luettu: 15.09.2014

<http://vibetech.com/mescopeves-overview>.  
 Luettu 10.09.2014

PSK 5702. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Mittauspisteen valinta ja tunnistaminen. 3. painos 2007.

SFS-EN 13306. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 2. painos 2010.

Koski, M. 2013. Kunnossapidon mittausten luentomateriaali. Kunnox Oy. Kunnox Oy:n sisäinen opetusmateriaali.

## CSI 2130 värähtelyanalysaattori sekä ME'scopeVES

Työn tarkoituksena on mallintaa annettu kappale ME'scopeVES – ohjelmalla, mitata kappaleen ominaisvärähtelyt CSI 2130:lla ja yhdistää sitten mittaustulokset piirrettyyn malliin ja animoida se. Animaatiosta nähdään millaisia muodonmuutoksia kappaleessa esiintyy värähtelyn johdosta.

Työn suoritukseen tarvitaan rullamitta, työntömitta, CSI 2130, dual channel adapteri, kiihtyvyyssanturi, voimavasara, USB-avaimet ME'scopeVES:in sekä AMS Suite: Machinery Health Managerin käyttöön.

1. Ota mitat valitusta kappaleesta ja piirrä halutessasi raakamalli paperille.
2. Avaa ME'scopeVES ja mallinna kappale. Käytä draw assistanttia ja huolehdi jo aluksi, että teet riittävästi pisteitä kappaleeseen, jotta saat myöhemmin mittaustulokset liitettyä pisteisiin.
3. Kun kappale on piirretty, ota CSI 2130 ja liitä kiihtyvyyssanturi kanavaan 1 ja voimavasara kanavaan 2 adapterin avulla.
4. Luo ja nimeä CSI:llä työ.
5. Määritä analyysiksi iskutesti ja suorita mittaukset suunnitellussa järjestyksessä. Muista tallentaa tulokset.
6. Liitä CSI tietokoneeseen jossa on AMS Suite: Machinery Health Manager ja siirrä mittaukset koneelle.
7. Käytä AMS:n export-toimintoa saattaaksesi mittaukset joko .blk tai .txt muotoon.
8. Käytä ME'scope:n import-toimintoa ja liitä .blk –tiedoston tulokset omiin mittauspisteisiinsä. Helpottaa, jos olet laittanut mittauspisteen numeron Labeliin.
9. Voit nyt animoida kappaleen.