



AKUSTINEN EMISSIO LAAKERISSA

Hannu Hietanen

Opinnäytetyö
Marraskuu 2015
Automaatioteknologian koulutusohjelma
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Automaatioteknologian koulutusohjelma, ylempi AMK-tutkinto

HIETANEN HANNU:
Akustinen emissio laakerissa

Opinnäytetyö 42 sivua, josta liitteitä 3 sivua
Joulukuu 2015

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kirjallisuudesta kerättyihin tietoihin perustuva selvitys laakereiden rikkoontumismekanismista ennakoivan kunnossapidon näkökulmasta. Suomenkielistä kirjallisuutta on vähän saatavilla. Tarkastelu on tehty ainetta rikkomattomien testaustekniikoiden (NDT) käytöstä.

Koneiden kunnonvalvonnassa käytettävät tekniikat perustuvat pääosin värähtelymittauksiin. AE- ja värähtelymittaukset erottaa toisistaan ensisijaisesti käytettävä taajuusalue, joten molemmat tekniikat vaativat oman mittauslaitteiston. Akustisen emission teorian tutkimiseen ja siihen perustuville sovelluksille on annettu huomattavan suuri osuus, koska niiden katsotaan sopivan hyvin jatkuvaan monitorointiin.

Opinnäytetyössä tehdään värähtelymittauksen laitteiston asennointi ja testausajo, josta saatava värähtelysignaali muokataan jatkokäsittelyä ja analysointia varten. Työn kokeellisessa osassa tehtiin mittauksia autotalliin rakennetulla testausvälineistöllä. Mittaustuloksista saadusta datasta luodaan eri parametreja soveltaen verhoikäyrä, jonka soveltuvuus testataan sorviin rakennetussa testauspenkissä. Testauspenkissä vierintälaakeria voidaan kuormittaa aksiaalisesti rikkoutumisrajalle asti ja taltioida akustisen emission alueella saatava värähtelysignaali. Värähtelymittausten käyttöä tarkastellaan pyörivien koneiden kannalta.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Automation Technology

HIETANEN HANNU:
The Acoustic Emission in bearings

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 3 pages
December 2015

The purpose of this thesis is to study the mechanism of bearing disruption in relation to preventive maintenance. This work is based on the professional literature which unfortunately was not very extensive in Finnish. More in detail, the angle of view has been the usage of non destructive testing (NDT).

In general the techniques used in machinery sustainability assurance are based on vibration measure. Acoustic emission and vibration measure can be separated from each other based on the used frequency band and as a result both techniques require own measure devices. Due to adequacy of acoustic emission in continuous monitoring, in this study the emphasis has been in the theory of acoustic emission and the applications related.

The work contains installation and testing run of vibration measure equipment. Furthermore, the vibration signal obtained was modified for processing and analysing. The empirical part of this study has been a retrieved from the measure produced by the testing equipment build in the author's garage. From the obtained data mathematical envelope was created using different parameters and the feasibility was tested in a test bench build in a lathe. In a test bench it is possible to stress axially the rolling bearing until the breakage point and also record the vibration signal obtained from the acoustic emission area. The usage of vibration measure is done for rotating machinery.

Key words: acoustic emission, vibration, non destructive testing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Tavoitteet	8
2	AKUSTISEN EMISSION TEORIAA	9
2.1	Akustisen emission tutkimushistoria	10
2.2	Emission lähteitä.....	10
2.2.1	Väsymismurtuma	11
2.2.2	Kaiser-efekti.....	12
2.2.3	Felicity-efekti	13
2.2.4	Muokkaantuminen.....	13
3	MITTAUKSEN SUORITUS	15
3.1	Mitattavat suureet	15
3.2	Kuormituksen valinta.....	16
3.3	Anturin kiinnitys	17
3.4	Anturin kalibrointi	17
3.5	Mitattavat suureet ja niiden käyttö.....	17
3.5.1	Amplitudi (Amplitude)	18
3.5.2	Mittauksen alku (Arrival Time)	18
3.5.3	Kesto (Hit Duration)	19
3.5.4	Nousuaika (Rise Time)	19
3.5.5	Kynnysjännite (Threshold).....	19
3.5.6	Huippuarvojen laskenta (Counts to Peak).....	20
3.5.7	Tapahtumien lukumäärä (Counts).....	20
4	LAAKERIVIAT	21
4.1	Värinän ja äänen syntyminen laakereissa	22
4.2	Värinän tutkiminen	23
4.2.1	Värinän tutkiminen aikatasossa	23
4.2.2	Verhokäyrämenetelmä	24
4.2.3	Iskunsysäysmenetelmä.....	25
4.2.4	Värinä taajuustasossa	25
5	AKUSTINEN EMISSION MITTAUS KÄYTÄNNÖSSÄ	26
5.1	TYÖN RAJAUS	26
5.1.1	Laitteisto.....	26
5.1.2	Tehonlähde.....	27
5.1.3	Vahvistin	28
5.1.4	Anturi ja kaapeli.....	28
5.1.5	Oskilloskooppi	29

5.2	Järjestelmän kalibrointi	30
5.2.1	Kalibrointisignaali	31
5.2.2	Properties ikkuna	32
5.3	DSPLinks-ohjelma	32
6	Testipenkit	34
6.1	Testipenkki porakoneessa	34
6.2	Testipenkki sorvissa	35
7	YHTEENVETO	36
8	LÄHTEET	37
9	LIITTEET	40
	Liite 1. Datasheet R15a Sensor	40
	Liite 2. Datasheet, Voltage Preamplifier	41
	Liite 3. Datasheet, Oscilloscope	42

ERITYISSANASTO

NDT	non destructive testing (Ainetta rikkomaton testausmenetelmä)
AE	Akustinen emissio
FMS	Flexible Manufacturing System (joustavaa valmistusjärjestelmä)
kavitaatio	neste alkaa kiehua paineen laskun johdosta
dislokaatio	kiteisissä aineissa esiintyviä viivamaisia tai nauhamaisia kidevirheitä

1 JOHDANTO

Vierintälaakereilla on tärkeä merkitys kaikissa pyörivissä koneissa. Laakereiden kunnonvalvonta ja vikojen diagnostiikka ovat erittäin tärkeitä ennakoivassa kunnossapidossa. Tällä hetkellä käytettävät vianhakumenetelmät perustuvat värinäsignaalien havaitsemiseen ja analysointiin. Kuitenkin värinäsignaalit voivat saada alkunsa monista eri lähteistä, eivätkä ole tarpeeksi herkkiä tunnistamaan alkavaa vikaa. Akustisen emission tekniikka (AET) on alkavan vianhaun herkkä menetelmä. Aineen sisäiset partikkelit, atomit, molekyylit ja hiukkasparvet, tuottavat elastisia aaltoja aineen sisäisen, nopean deformaatioenergian purkauksen seurauksena. Nämä elastiset aallot määritellään akustisiksi emissioiksi (AE). Vierintälaakerin toimiessa siinä oleva vika (pintavika, halkeama tai lohkeama) antaa iskun sen kanssa kontaktissa olevaan pintaan synnyttäen AE:tä. AE sisältää paljo tietoa hankauksesta, jota voidaan käyttää laakerin kunnonvalvonnassa ja vikojen analysoinnissa. Värinäsignaalin ja akustisen emission ero on mittausalueessa. AE signaalit ovat aina korkealla taajuusalueella, yli 20 kHz. Tämä ominaisuus tekee AE tekniikasta vierintälaakerin kunnonvalvonnassa ja vikadiagnostiikassa ylivoimaisen.

Vierintälaakerin toiminnan aikainen AE purkaus kulkee laakerin sisä- ja ulkokehien ja vierintäelimen läpi. Laakeriviat eri elimissä ilmenevät niille ominaisella taajuusalueella. Vikaantuneen laakerin signaali sisältää toistuvia purkauksista. Signaalia tarkastellaan tavallisesti ominaisvikataajuus amplitudimodulaationa.

1.1 Tavoitteet

Tutkintotyössä on tarkoitus tehdä tiivis ja selkokielineen katsaus akustisen emission teoriaan, jota on mahdollista käyttää myöhemmin ohjeistuksena mittausten suorittamiseen ja analysointiin. Teoriaosuudessa selvitetään akustisen emission syntyminen metallin kiderakenteessa ja lyhytkestoisen, korkeataajuuksisen signaalin eteneminen anturille asti. Saatavan mittaustiedon käsittely sekä signaalin eri parametrintapoja jatkoanalysointia varten esitetään kirjallisuuteen ja aikaisemmin tehtyihin koetuloksiin pohjautuen.

Akustisen emission tutkimiseen laakereiden vauriomekanismissa on kiinnitetty erityistä huomiota. Perusajatuksena on ollut, että energianpurkaus etenee metallissa kaikkiin suuntiin samanaikaisesti. Anturin paikka ei siten ole niin sidottu laakerointiin, kunhan vaan laakerin ulkokehä vastaa runkoon johon anturi on kiinnitetty. Signaali vaimenee edetessään metallissa voimakkaasti, minkä takia sitä on vahvistettava.

Pietzoanturin antama vahvistettu signaali tuodaan A/D muuntimen kautta PC:lle. Tietokoneella ja signaalinkäsittelyyn tehdyillä ohjelmilla pyritään muuntamaan AE signaali jatkokäsittelyä ja analysointia varten.

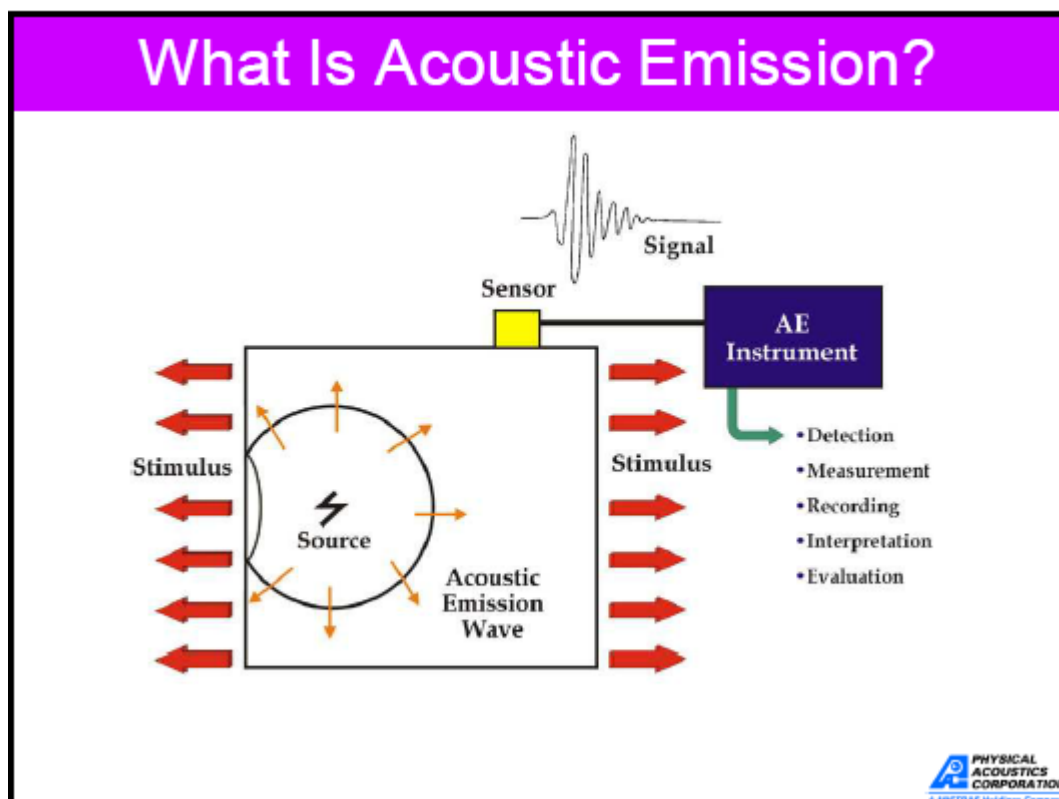
Tutkintotyön toisessa vaiheessa tehdään käytännön asennus ja mittaus sekä kuvataan mittaustietoihin pohjautuen signaalin eri käsittelyvaiheita. Itse mittaustapahtuma on hyvin käytännönläheinen, vaikka teoria ilmiön taustalla on monimutkainen ja vaatii huomattavaa perehtymistä. Mittalaitteella saatavista signaaleista voidaan havaita tapahtuma, mitata ja tulostaa se. Akustisen emission mittaus on ainetta rikkomaton NDT-menetelmä.

2 AKUSTISEN EMISSION TEORIAA

Ilman vaihtelevaa kuormitusta ei synny akustista emissiota. Koska AE mittaus perustuu materiaalin tai rakenteen itsensä tuottamiin signaaleihin, on rakenne alistettava ulkoisella kuormituksella tilaan, jossa tapahtuu vikaantumista.

Kaikilla kiinteillä aineilla on tietty elastisuus. Ulkoiset voimat venyttävät ja tiivistävät ainetta. Voiman poistuessa aine palautuu alkuperäiseen muotoonsa. Kun hauraan aineen elastisuuden raja ylittyy, syntyy palautumaton muodonmuutos. Kiderakenteessa tapahtuva murtuma vapauttaa jännitysaaltoja, jotka osuessaan kappaleen pintaan näkyvät pinta-aaltoina. Tätä korkeataajuisia pinta-aaltoina näkyvää värähtelyä nimitetään akustiseksi emissioksi (AE). (Akustisen emission Wavelet-analyysi).

Kuvassa 1 kuvataan akustista emissiota.



KUVA 1. Akustinen emissio (Physical Acoustic Corporation)

2.1 Akustisen emission tutkimushistoria

Joseph Kaiser aloitti akustisen emission (AE) tutkimustyön 1950-luvulla Saksassa. Myöhemmin 1950–1960 luvuilla useat tutkijat selvittivät akustisen emission olemusta ja kehittivät laitteiston kuvaamaan AE:tä eri materiaaleissa. Akustinen emissio hyväksyttiin ainetta rikkomattomaksi menetelmäksi (NDT) kuvaamaan muuttuvaa tapahtumasarjaa. 1970-luvulla AE:n tutkimuksesta tuli yhä koordinoivampaa ja suuntautui tutkimusryhmien syntymiseen sekä NDT menetelmän kehittämiseen teollisuusapplikaatioiksi. Tullessa 1980-luvulle tietokoneista tuli instrumentoinnin ja tiedonkäsittelyn peruskomponentti, joka mahdollistaa myös tämän päivän tutkimuksen ja kehitystyön. Nykyään aallonmuotoon perustuvasta analyysistä on tullut arkipäiväinen ja AE-tutkimus suuntautuu yhä enemmän laitteistojen kehittämiseen kuin perustutkimukseen. Tutkimustyötä on tehty laboratorioympäristössä 2000-luvulle asti. Käytännön sovelluksia on vielä vähän. (Akustinen emissio).

2.2 Emission lähteitä

Akustiset emissiot ovat materiaalin sisäisiä, paikallisesti vapautuvia nopeita jännitysaaltoja. AE lähteinä voivat olla särön kasvu, sulkeumien ja erkaumien irtoaminen tai rikkoutuminen, dislokaatioiden liike, särön seinämien hankautuminen toisiaan vasten, korroosio, joka syntyy korroosiotuotteiden lohkeilusta. Vierintälaakereissa akustista emissiota aiheutuu vierintäelinten ja -kehien välisestä kosketuksesta tai koneen liikkuvien osien hankautumisesta toisiaan vasten, kun voitelukalvo pettää. Tällöin pinnan karheushuiput hiovat toisiaan. Voitelun pettäminen liukulaakereissa, hammaspyörissä ja työstökoneen johteissa ovat osia, joissa hioutumista tapahtuu. Myös kavitaatio tuottaa korkeataajuisia värähtelyä. (Promaint 8, 2012).

2.2.1 Väsymismurtuma

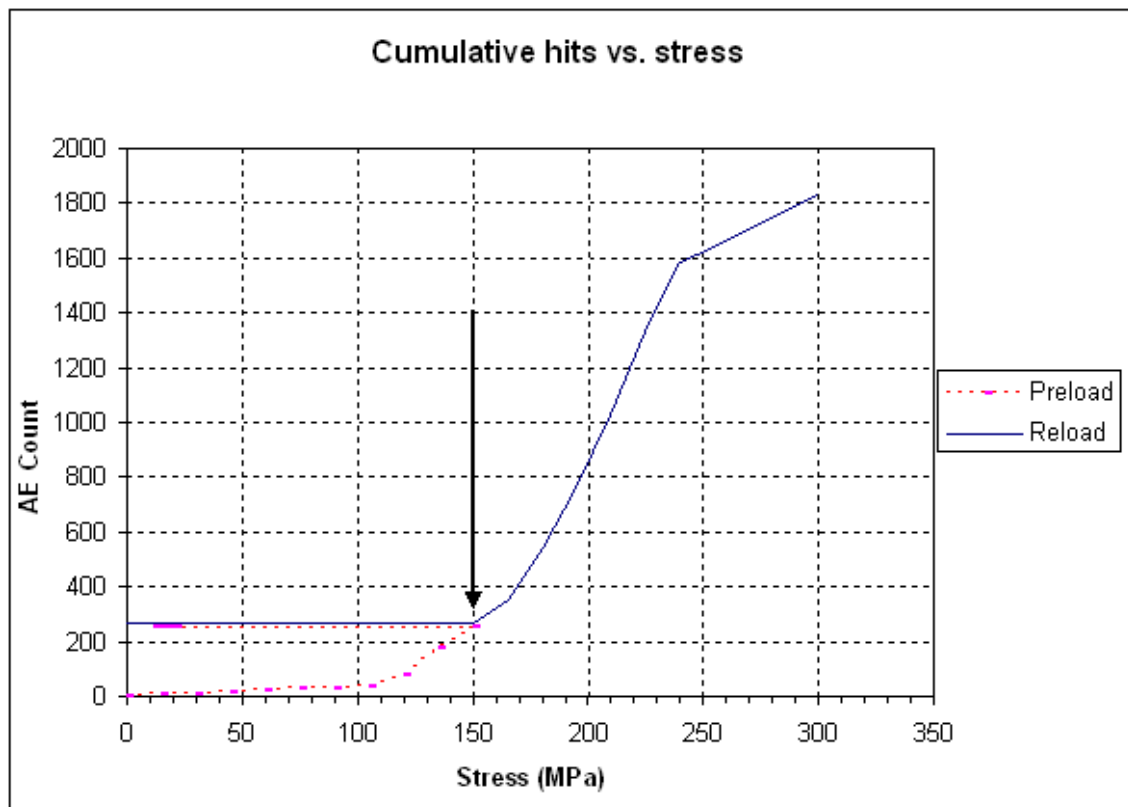
Akustisen emission tutkimuksessa erityisen huomion kohteena on väsymismurtuma, jolla tarkoitetaan metallin rakenneominaisuuksien heikkenemistä vaihtelevassa kuormituksessa. Viat tai halkeamat tuottavat vaihtelevan kuormituksen alaisuudessa akustista emissiota tai matalataajuista ääntä. Akustisia emissioita ilmenee paikoissa, missä paikallinen kuormitus on tarpeeksi suuri aiheuttaen palautumatonta muodonmuutosta. Tämä tapahtuu usein jännityskeskittymäalueilla. Jännityskeskittymiä esiintyy hitsauksissa, leikkauskohdissa ja yleisesti epäjatkuvuuskohtissa. Niitä esiintyy myös säröily- ja halkeama-alueilla. (Levyrakenteiden suunnittelu, BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari).

Pääasiallinen väsymissärön kiderakennettäni voi saada alkunsa metallin raerajoilta ja siinä olevista virheistä. Väsymismurtumaan johtaa kaksivaiheinen tapahtuma kiderakenteessa. Ensin vaihtelevassa kuormituksessa tapahtuu särön pitkäkestoinen ydintyminen. Särön kärkialueelle muodostuu jännityskeskittymä. Tällä alueella olevat epämetalli- sulkeumat ovat emissiokykyisiä hiukkasia. Särön edetessä näitä partikkeleita kohti ja paikallisen jännitystilän noustessa niiden rikkoutuminen tuottaa alkeis-emissiota.

Toinen emission lähde on särön kärjen eteneminen. Siirtymätapahtuma on tyypillisesti monijärjestelmätila, jossa vaikuttavat uusien pintojen syntymiseen dislokaatioiden aktiivisuus, kiteen halkeaminen tai raerajamurtuminen, paikallinen materiaalivika tai korkea jännitystila. Särön etenemistä ainoastaan dislokaatioiden aktiivisuuden vuoksi ei ole havaittavissa. (Viivamaiset hilavirheet, TTYMateriaaliopin laitos).

2.2.2 Kaiser-efekti

Akustisen emission tutkimukseen ja havaittaviin ilmiöihin kuuluu Kaiser-efekti, jonka mukaan materiaalia kuormitettaessa akustisia signaaleja syntyy merkittävästi vasta, kun aikaisempi jännitystila on ylitetty. Kaiser-efekti perustuu tohtori Joseph Kaiserin väitökseen (1950) Metallurgian Instituutissa, Münchenin teknillisessä Yliopistossa. Tässä väitöksessä käsitellään palautumattomia prosesseja ulkoisen kuormituksen aiheuttaman plastisen muodonmuutoksen seurauksena. Muutokset voidaan havaita pietsosähköisellä kiteellä. Kaiser-efekti määritellään standardissa EN1330-9-2000 ”Havaittavan akustisen emission puuttumisena, kunnes aikaisempi maksimikuormitus on ylitetty”. (Acoustic Emission (AE), Kaiser effect). Kuva 2.



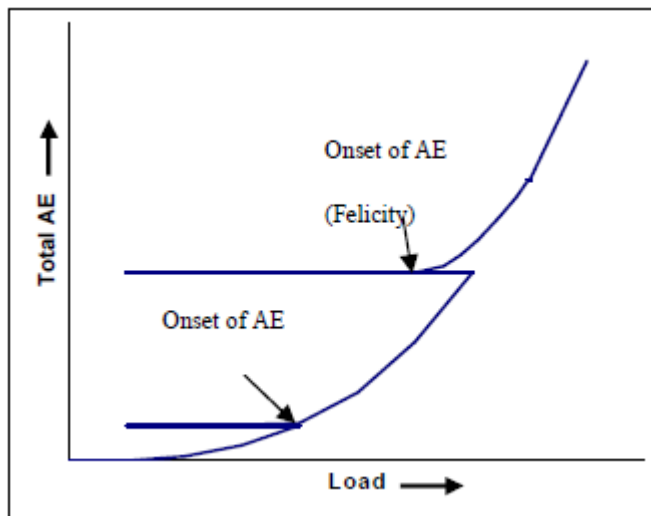
KUVA 2 Kaiser efekti (Acoustic Emission, Kaiser effect)

Kuvassa 2 akustinen emissio on esitetty graafisesti suhteessa kuormitukseen. Akustisen emission menetelmää käytetään yleisesti materiaalien rakennetutkimuksen piirissä. Ilmiöön kuuluu Kaiser-efekti, jonka mukaan materiaalia kuormitettaessa akustisia signaaleja syntyy merkittävästi vasta, kun aikaisempi jännitystila on ylitetty.

(Akustisen emission Wavelet-analyysi).

2.2.3 Felicity-efekti

Kuvassa 3 näkyy kuinka emissio kasvaa kuormituksen lisääntyessä ja jatkaa kasvuaan uudelleen kuormitettuna. Kuormituksen kasvaessa toisen kerran, emissiota ilmenee ennen kuin edellisen kuormituksen taso on saavutettu. Havaittu ilmiö kertoo toisesta emissiolähteestä ja tunnetaan Felicity-efektinä. Ilmiö tavataan useimmin komposiittirakenteissa, ei niinkään metalleissa. (Activity of AE Sources in Structural Loading). Kuva 3.



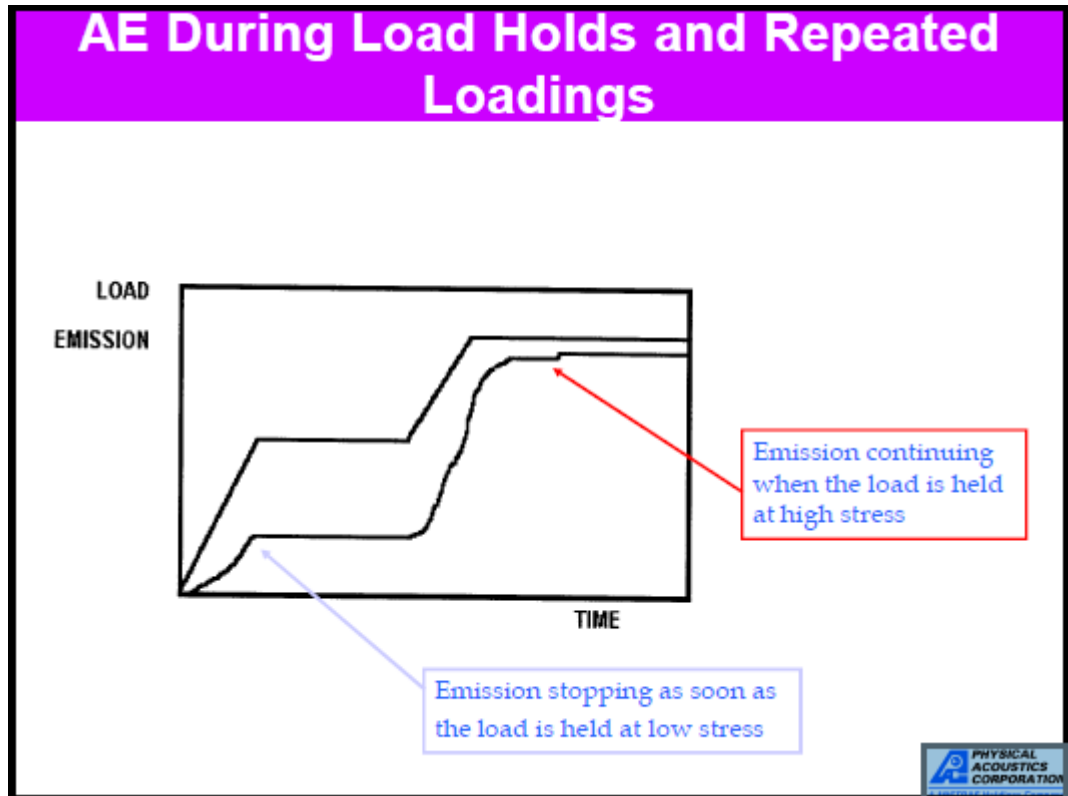
KUVA 3. Felicity effect (Acoustic Emission, Felicity effect)

2.2.4 Muokkaantuminen

Kun materiaalia kuormitetaan, se muokkautuu; venyy, tiivistyy, tai murtuu. Muokkaantuminen voi olla kimmainen, palautuva tai plastinen, pysyvä muodonmuutos. Muokkaantumisen elastinen rakenneosaa tulee esiin ainetta ulkoisesti kuormitettaessa. Materiaalin sisäinen jännityskenttä pyrkii välittömästi tasapainotilaan. Tasapainotilaan palautuminen tapahtuu äänen nopeudella, edeten aineessa kimmo-aaltolina. Tästä syystä äkillinen iskuheräte saa aineen värisemään. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07)

Toisin kuin elastinen rakenneosaa, plastinen komponentti vaatii pidemmän ajan kehittyäkseen, muodostuakseen. Jotkut deformaatiot ovat välittömiä toiset taas viivästyviä. Ainoastaan teräs näyttää jäljen tämän kaltaisesta käyttäytymisestä, mutta akustinen emissio on hyvin herkkä indikaattori ja voi usein ilmaista ajasta riippuvan tapahtuman joka voisi muutoin jäädä huomaamatta.

Kuva havainnollistaa uudelleen muokatun materiaalin käyttäytymismallin. Kuvassa 4 ulkoinen kuormitus ja AE ovat molemmat esitetty graafisesti ajan suhteen.



KUVA 4. Muokkautuminen (Physical Acoustic Corporation)

Kuormitus kasvaa ja pysähtyy ja kasvatetaan edelleen ja jätetään jännitykseen. AE muodostuu molemmissa kuorman kasvuvaiheessa. Ensimmäisen jännityksen tasaantumisvaiheessa ei synny emissiota. Mutta toisessa tasaantumisvaiheessa kun jännitys on korkeampi, emissio jatkuu jonkin aikaa, ennen tasaantumista.

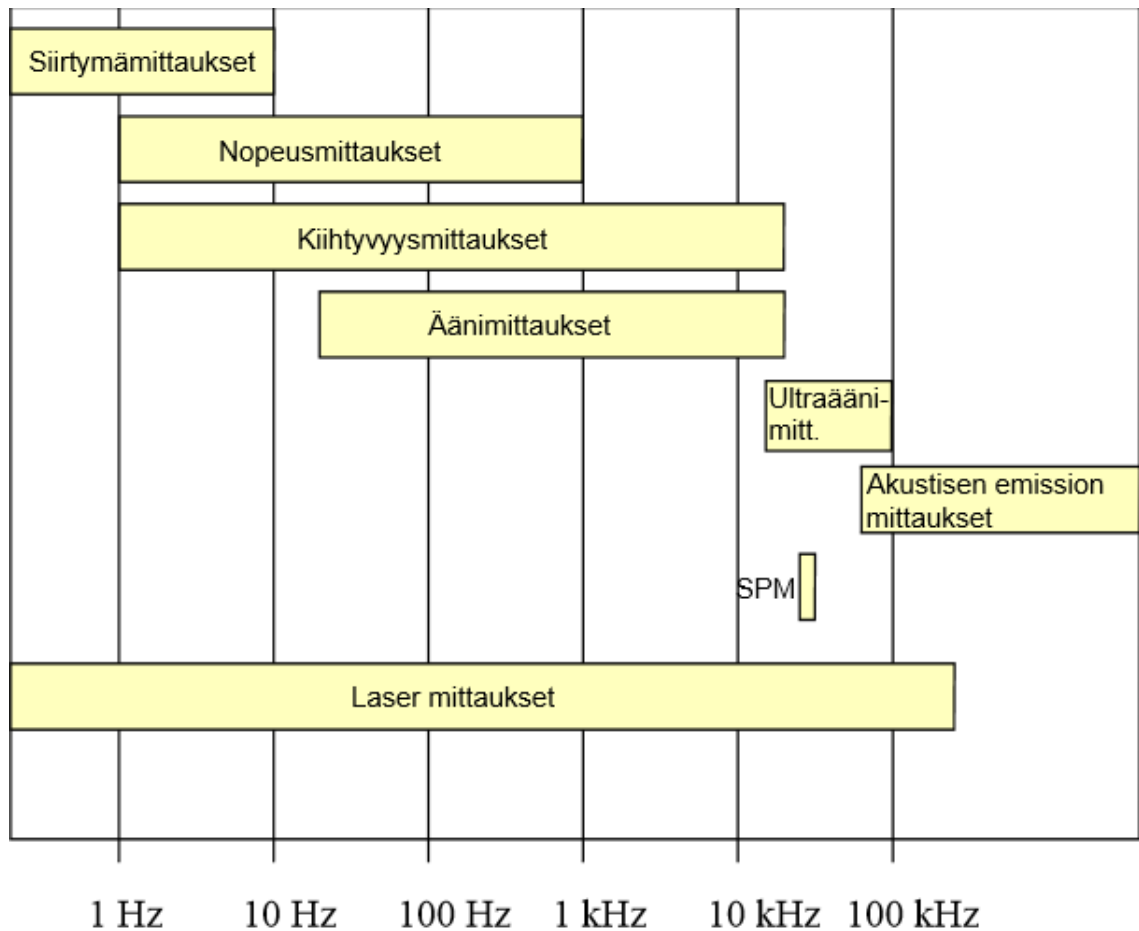
Emissio, joka jatkuu kuorman vakiintumisvaiheessa, indikoi todennäköisesti rakenteellista virhettä. (Kandidaatintyö ja seminaari, Lappeenrannan teknillinenyliopisto)

Kuva 4.

3 MITTAUKSEN SUORITUS

3.1 Mitattavat suureet

Kunnonvalvonnassa tehtävät värähtelymittaukset kattavat tyypillisesti taajuusalueet seuraavan kuvan mukaisesti. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07). Kuva 5.



KUVA 5. Värähtelymittauksille tyypilliset taajuusalueet.(ABB:n TTT-käsikirja 2000-07)

Kuvan palkit esittävät tyypillisimmät alueet, joten myös niiden ulkopuolella olevia mittauksia on käytetty. Äänen ja ultraäänen mittaukset perustuvat värähtelevän koneen lähettämien ilmanpaineen muutosten mittaukseen. Muut menetelmät mittaavat koneen rakenteita pitkin kulkeneita värähtelyjä. Ultraäänen mittauksesta tosin puhutaan usein silloinkin, kun mitataan rakenteita pitkin tulevia värähtelyjä ultraäänitaajuudella. Lasermittaus on periaatteessa siirtymän tai nopeuden mittausta, mutta tässä se on esitetty omana kohtanaan, koska laserilla saavutettava taajuusalue on muita menetelmiä laajempi. SPM eli iskusysäysmenetelmässä käytetään kiihtyvyyssanturia, mutta mittaus perustuu resonanssin mittaamiseen toisin kuin yleensä kiihtyvyydsmittauksissa, joten se on mainittu tässä erikseen. Kuvassa 5 esitetään keskeisimmät piirteet kyseisistä mittauksista.

3.2 Kuormituksen valinta

AE:n käyttö perustuu materiaalin tai rakenteen itsensä aktiivisesti tuottamiin signaaleihin. Rakenne on oltava tilassa, jossa tapahtuu vaurioita tai alkavat vauriot aktivoituvat. Laboratorioympäristössä kuormitustilanne on helpompi suorittaa ja soveltuvat testaukseen parhaiten. Käytännössä käytön aikainen monitorointi mahdollistaa havaita todellisia kuormitustilanteita, joita rakenteeseen kohdistuu. Rakenteeseen kohdistuvat jännityskeskittymät voivat olla monimutkaisempia kuin laboratorioympäristössä keinotekoisesti järjestetyt. Käytön aikainen monitorointi mahdollistaa tarkkailla rakennetta todellisuudessa esiintyvien rasitustilanteiden aikana. Näin voidaan löytää ja tunnistaa tekijöitä, jotka ovat vahingollisia rakenteelle. (Akustinen emissio 4, Miktech).

3.2 Anturointi

Akustinen emissio on tekniikka, jossa käytetään sähköisen signaalin tuottajana erittäin herkkää korkeita taajuuksia aistivaa pietsokidettä. Kide muuttaa korkeataajuisen pinnan värähtelyn suoraan sähköiseksi signaaliksi. Kiteen tuottama signaali vahvistetaan itse anturissa ja suodatetaan haluttuun tasoon. Pinta-aallot herättävät kiteen ominaistajuuden, jolloin anturi toimii signaalin vahvistajana. Anturoinnin tavoitteena on järjestely, jossa kaikki aidot emissiot havaitaan ja missä ulkopuolinen häiriö on mahdollisimman vähäistä. Korkeataajuisen värähtelysignaalin mittauksessa hyödynnetään anturin ominaistajuutta. Pietsokiteiset resonanssianturit ovat sopivimpia akustisen emission havainnointiin. Ne ovat luotettavia ja herkempiä kuin muut anturitekniikat. Myös kapasitiivisia antureita on kehitetty korkeataajuisen värähtelyn mittaukseen. Pietsokiteisen resonanssianturin kiteessä ei ole kiinnitettynä massaa, kuten matalan taajuuden antureissa. Taajuusvaste on epälineaarinen. Metallin rakenteessa tapahtuvan säröilyn aiheuttamista elastisista aaltorintamista mielenkiintoisin taajuusalue on 100–300 kHz. Tämän alueen mittaukseen käytettävät anturit ovat resonanssitaajuudeltaan 150 kHz, mutta reagoivat 100-300kHz kaistaan. Korkeat taajuudet vaimentuvat nopeimmin, joten niiden mittausetäisyys on pieni. Taustakohinan taajuus on yleensä alle 100 kHz, joten sillä on vain pieni vaikutus mittausetäisyyteen, joka on asetettu välille 100-300kHz. [14] (Akustinen emissio)

3.3 Anturin kiinnitys

Korkeataajuisen signaalin värähtelyn energia on alhainen. Tämä edellyttää, että kaikki signaalin vaikuttavat tekijät huomioidaan. Jokainen liitospinta vaimentaa signaalia. Anturin kiinnitys tulee olla kiinteä ja liikkumaton. Kiinnitystavoista käytetyimpiä ovat magneetti- ja ruuvikiinnitys. Emission lähteen ja anturin välisessä rajapinnassa tulee käyttää jotain välittäjäainetta. Tähän käytetään vakuumirasvaa, ultraäänigeeliä tai mitä tahansa molemmat pinnat hyvin kastelevaa ainetta. Myös vesi liitosaineena vaikuttaa vain vähän aallon pituuteen. (Akustinen emissio, Mittauksen suoritus).

3.4 Anturin kalibrointi

Anturin kiinnittämisen ja johdotuksen jälkeen katkaistaan lyijykynän lyijy lähellä anturia, anturin kiinnitysrungossa. Lyijyn tulee olla kovuudeltaan 2H, 0,5 mm. Mittaustuloksen hyväksyttävä taso on noin 90 dB (ref: 0 dB on 1 mikrovolti anturilla). Tämä on helppo tapa testata järjestelmän toimivuus. (Acoustic emission testing).

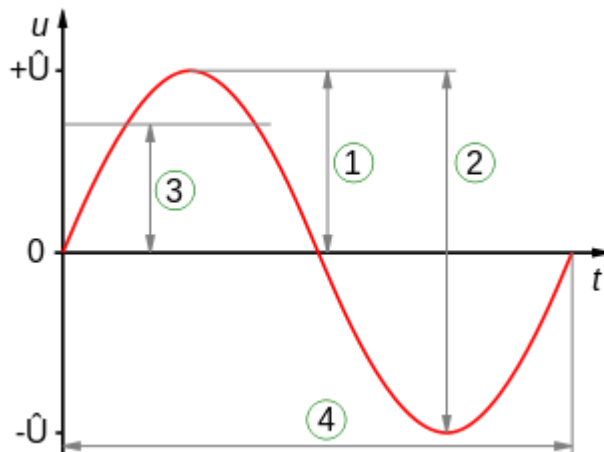
3.5 Mitattavat suuret ja niiden käyttö

Korkeiden ääniaaltojen tallentaminen kilohertsien taajuudella ja nanosekuntien tarkkuudella vaatii mittalaitteiden ominaisuuksilta paljon. Mikäli kaikki ilmenevät ääniaallot tallennettaisiin sellaisenaan, kertyisi mittaustietoa niin paljon, ettei koneen kapasiteetti riittäisi sen analysointiin. Saadusta datasta täytyy suodattaa ylimääräinen kohina ja parametroidulla edelleen siivotaan signaalia ennen kuin siitä voidaan ohjelmallisesti saada hyödyllistä tietoa. Tämän vuoksi havaittua emissiota kuvataan joukolla parametreja, jotta voitaisiin jättää analysoinnin ulkopuolelle muut kuin emissioon liittyvät signaalit. Alle on koottu yleisimmät suuret:

(Luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto).

3.5.1 Amplitudi (Amplitude)

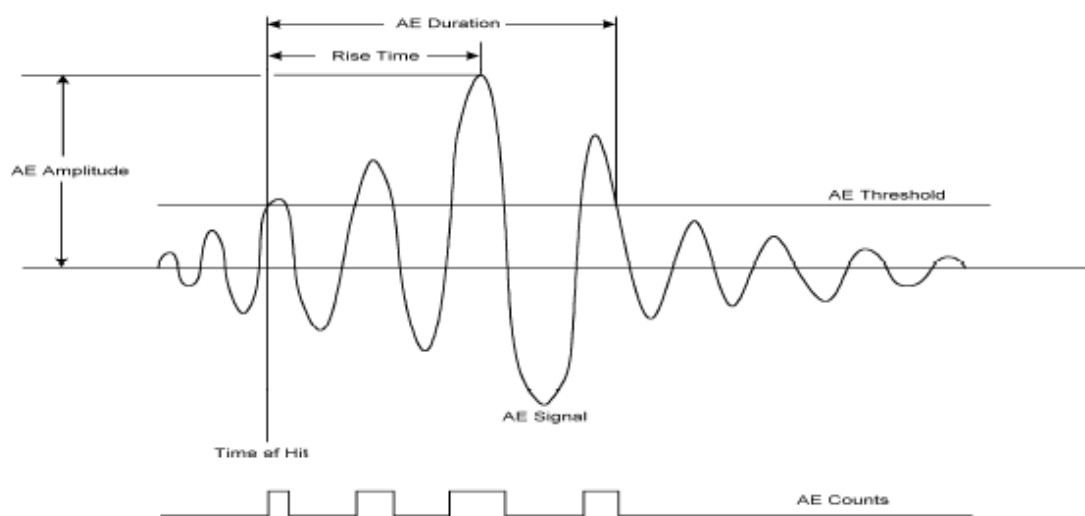
Amplitudi on puolet kuvassa näkyvän käyrän korkeimman ja alimman kohdan välisestä erotuksesta. Kohta 1 kuvassa 6.



KUVA 6. Amplitudi. (Wikipedia).

3.5.2 Mittauksen alku (Arrival Time)

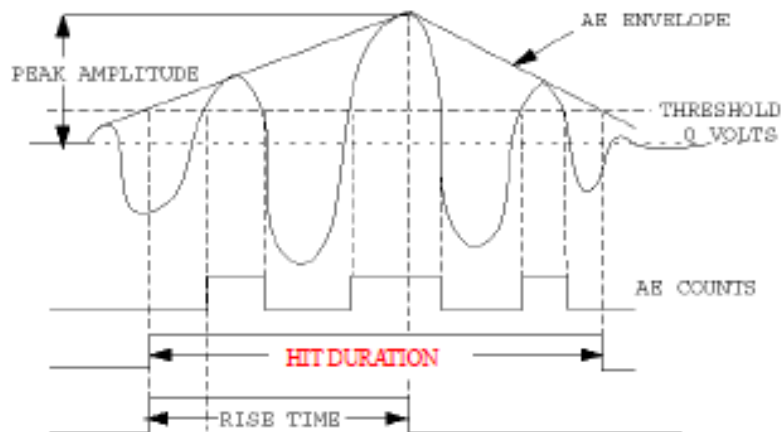
Tämä on hetki, jolloin akustisen emission signaali saavuttaa kynnsjännitteen ja mittausjärjestelmä havaitsee akustisen emissioinnin alkaneen.



KUVA 7. Saapumisaika (Physical Acoustics Corporation)

3.5.3 Kesto (Hit Duration)

Purkauksen kesto (Hit duration), joka lasketaan siitä kun järjestelmä havaitsee akustisen emission. Mittaus päättyy viimeiseen kynnysjännityksen ylitykseen. Kuva 8.



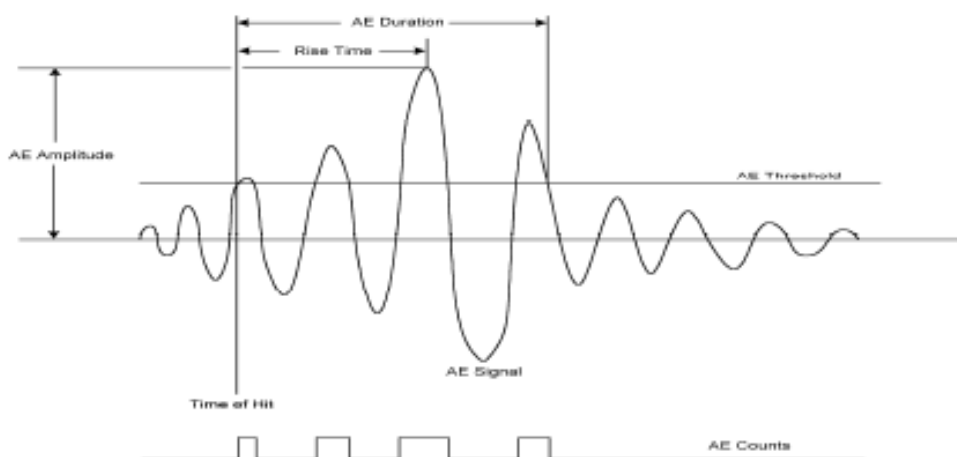
KUVA 8. Purkauksen kesto (Physical Acoustics Corporation)

3.5.4 Nousuaika (Rise Time)

Nousuajaksi määritellään aika, joka kuluu emission alkamisesta maksimiampitudin saavuttamiseen. Kuva 8.

3.5.5 Kynnysjännite (Threshold)

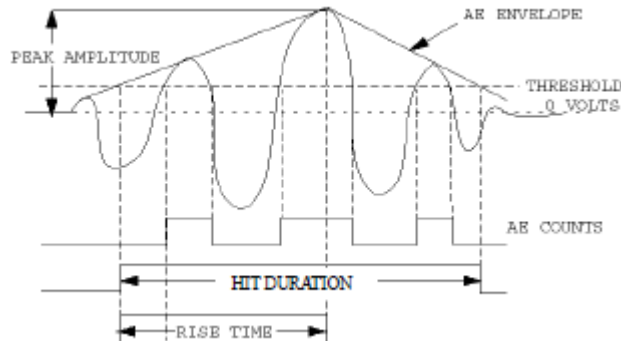
Kynnysjännite asetetaan kuvaamaan emissiotapahtuman alkamisarvoa.



KUVA 9. Kynnysjännite (Physical Acoustics Corporal)

3.5.6 Huippuarvojen laskenta (Counts to Peak)

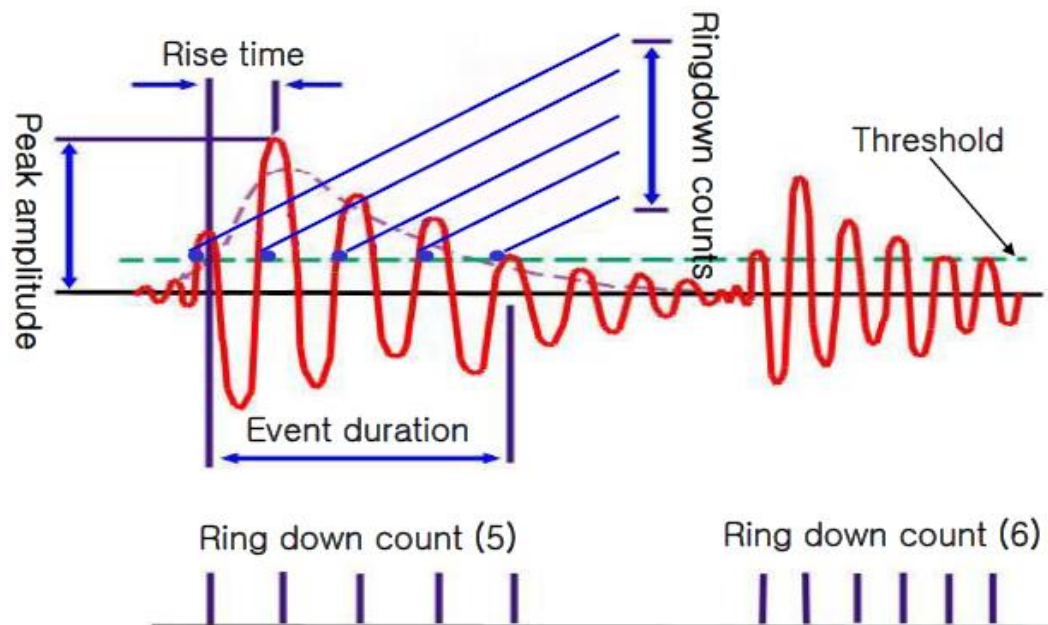
Emission aikaisen kynnysjännitteen ylittävien huippuarvojen laskenta.



KUVA 10. Huippuarvojen laskenta (Physical Acoustics Corporal)

3.5.7 Tapahtumien lukumäärä (Counts)

Parametri, jolla kerrotaan emission keston aikaiset kynnysjännitteen ylitykset. Kuva 11.

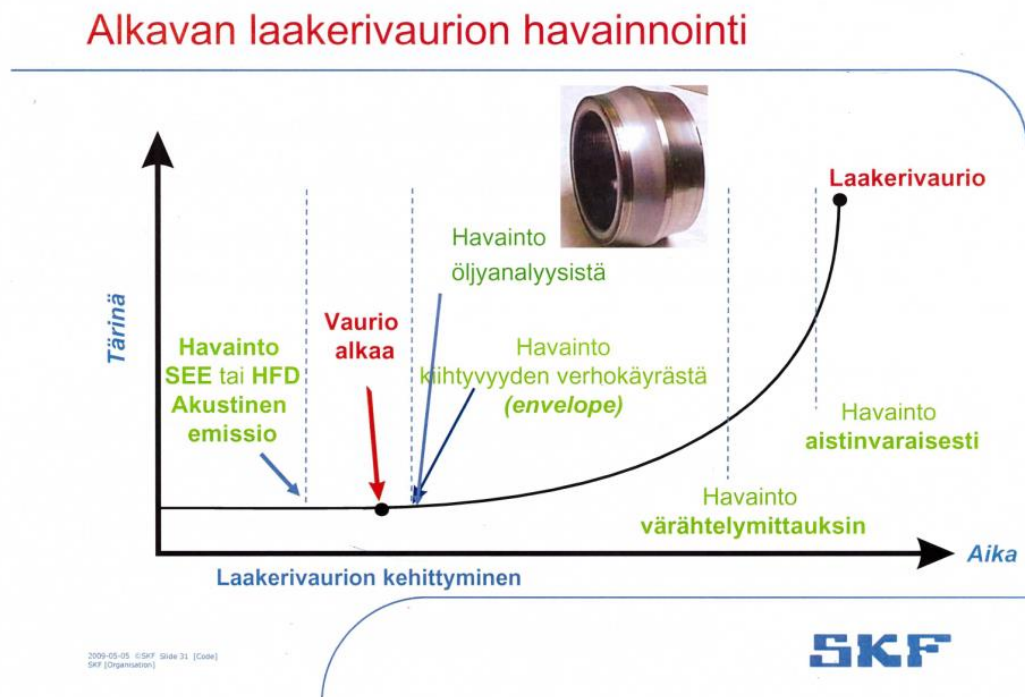


KUVA 11. Tapahtumien lukumäärä (<http://english.kriss.re.kr/>)

4 LAAKERIVIAT

Ennen aistinvaraista havaintoa on laakerissa tapahtunut jo korjaamattomia vaurioita. Vauriot voidaan paikallistaa koneista ja laitteista säännöllisin välein tapahtuvilla mittauksilla. Käytännössä mittaukset kuitenkin ovat jokseenkin epätarkkoja. Jatkuva, reaaliaikainen valvonta lähinnä värinän mittaukseen on käytössä monissa tuotantokoneissa/-laitoksissa. Akustisen emission reaaliaikainen mittaus ja siinä tapahtuvat muutokset antaisivat aikaa huollolle ennakoida laakerin vaihtohetki. (Kunnonvalvonnan perusteet). Kuvassa 12 kuvataan laakerivaurion kehittymistä.

Kuva 12.



KUVA 12. Laakerivaurion kehittyminen (Kunnon valvonnan perusteet, SKF)

4.1 Väriinän ja äänen syntyminen laakereissa

Useissa tutkimuksissa on pyritty selvittämään väriinän ja äänen syntymismekanismia. Laakerit toimivat väriinän tai äänen lähteenä joko vaihtelevan jouston tai siinä olevan vian takia. Säteittäin asetetut laakerielementit synnyttävät väriinää, vaikka ne ovat geometrisesti virheettömiä. Tämä johtuu rajallisesta määrästä laakerikuulia, jotka kantavat kuormaa. Kuormitusvyöhykkeellä kuormaa kantavien laakerikuulien määrä ja paikka vaihtelevat laakerin pyöriessä aiheuttaen jaksottaisen kokonaisjäykkyyden vaihtelun laakeri- ja tukiasetelmassa. Kun laakerikehä oletetaan systeemin kiinteäksi osaksi, kontaktivoiman suunnan muutokset laakerikuulissa, voivat aiheuttaa taiputusväriinää, vaikka laakerikuulan pinta on virheetön. (Laakerikeskus, Laakeriväriinä)

Väriinätason nousu aiheutuu joka tapauksessa laakerin vikaantumisesta. Laakeriviat voidaan jakaa hajautettuihin tai paikallisiin vikoihin. Hajautettuihin vikoihin kuuluvat pinnan karheus, aaltoisuus, väärin suunnatut laakerikehät ja mittatarkkuuden heitot. Hajautetut viat aiheutuvat valmistuksessa, asennuksessa tai abrasiivisesta kulumisesta. Laakerikuulan ja -kehän välinen vaihteleva kosketusvoima, joka johtuu hajautetuista vioista, johtavat väriinätason kohoamiseen. (Laakerien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta väriinäanalyysillä, 2010).

Paikallisiin vikoihin lasketaan kuuluviksi säröt, kuopat ja pinnan hilseily. Laakerin kuulan yleisin vika on pinnan hilseily, joka johtuu pinnanalaisesta väsymissärön synnystä. Särö leviää pintaa kohti kunnes pieni osanen metallin pinnasta irtaantuu ja syntyy kuoppa tai hilse. Väsymismurtumaa jouduttavat ylikuormitus tai iskut asennettaessa tai käyntiaikana. Myös sähkövirran kulkeutuminen laakerin läpi aiheuttaa pintavirheitä siinä kuin iskutkin. Laakerin paikallinen vika vaikuttaa viereiseen kosketuksessa olevaan laakerielementtiin antaen lyhytkestoisen pulssin. Tämä pulssi aiheuttaa väriinää ja ääntä mitkä voidaan monitoroida. (Laakerien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta väriinäanalyysillä, 2010).

4.2 Värinän tutkiminen

Laakerivian tutkimiseen käytetään kahta eri metodia. Ensimmäisessä laakeria ajetaan vikaantumiseen asti ja tarkkaillaan muutoksia värinävästeessä. Tavallisesti vikaantumista nopeutetaan kuormittamalla laakeria, pyörittämällä sitä ylinopeudella tai voitelun keskeytyksellä.

Toinen tapa tutkia laakerin vikaantumista on tutustua tarkoin laakerivikoihin erilaisia teknikoita hyväksi käyttäen. Sellaisia ovat happoetsaus (acid etching), kipinäsyövyttäminen (spark erosion), naarmuttaminen tai mekaanisesti tehty lovi. Mitataan niiden värinäväste ja verrataan niitä ehjään laakeriin.

4.2.1 Värinän tutkiminen aikatasossa

Käytetyimpiä menetelmiä sinimuotoisen jännitteen tutkimiseen ja vertailuun aikatasossa ovat:

-*vaihtojännitteen tai -virran tehollisarvo RMS*(Root mean square) ja maksimiarvon suhde tehoarvoon (crest factor).

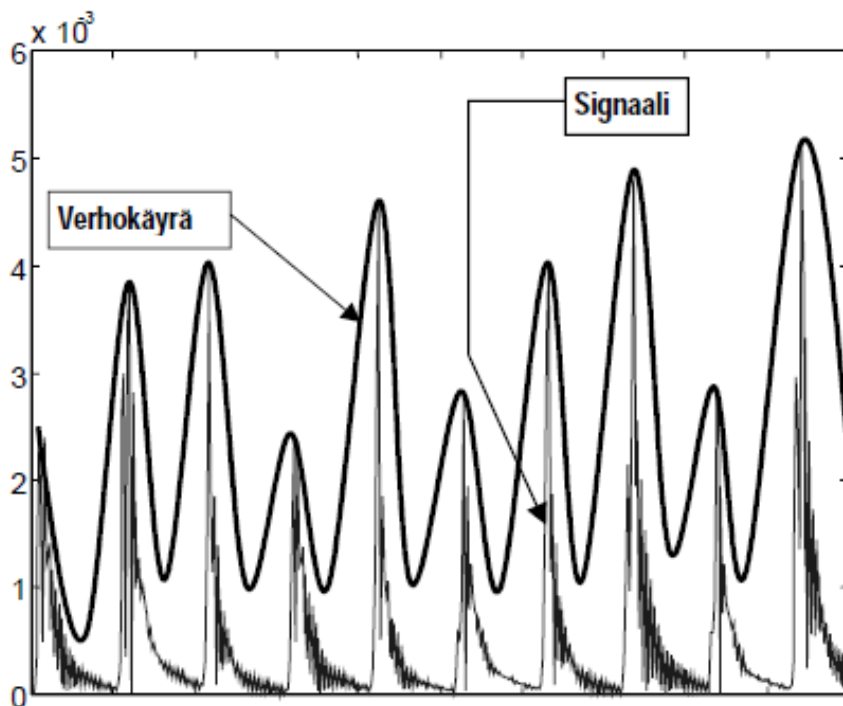
-*Kurtosisen* mittaaminen perustuu siihen oletukseen, että ehjästä laakerista tuleva värähtely on satunnaisvärähtelyä, joka noudattaa Gaussin jakaumaa. Tällöin ehjän laakerin värähtelyn kurtosis on noin 3. Kurtosis-arvon kasvaminen tästä suuremmaksi lyhyessä ajassa paljastaa vikaantumisen. Huippukerroin on signaalin huippuarvon suhde tehollisarvoon. Siniaalloille huippukerroin on kahden neliöjuuri ja normaalikuntoiselle koneelle n 2 - 6. Huippukertoimen määrittämisessä käytetty taajuusalue on usein 1 - 10 000 Hz [13].

-*tilastolliset parametrit* kuten todennäköisyystiheys ja kurtosis (käyrän huipun kaarevuutta ilmaiseva luku). Hyväkuntoisen laakerin kiihtyvyyden todennäköisyystiheys seuraa Gaussin jakaumaa, kun taas vioittuneen laakerin käyrien suhteellinen määrä ei asetu Gaussin jakaumaan.

- *oskilloskooppikuvassa* reaaliaikaiset paikalliset viat voidaan havaita aikatason tai esittää se graafisesti piirturilla. Vierintäelimen vikakohtaa antaa säännöllisin väliajoin signaalin, josta voidaan laskea kynnsjännitteen ylittävät jännitepiikit.

4.2.2 Verhokäyrämenetelmä

Verhokäyrämenetelmässä kierretään matalataajuisen ja suuriamplitudisen ympäristömelun aiheuttamat esteet suodattamalla mitattavaksi ainoastaan kapea kaista korkeataajuisia värähtelyjä laakerin pesän resonanssitaajuuden ympäristöstä. Tämä signaali tasasuunnataan ja siitä piirretään verhokäyrä kaistanpäästösuodatustekniikoita käytetään myös aikatazon signaalin tutkimuksessa. Suodattamalla ympäristömelu ja ottamalla mitattavaksi ainoastaan kapea kaista korkeataajuisia värähtelyjä laakerin resonanssitaajuuden ympäristöstä. Periaate perustuu tosiasialle, että rakenne resonoi impulssiin, joka aiheutuu esimerkiksi laakerikehän tai kuulan pinnan murenemisesta. Tämä värinä voidaan havaita anturilla, jonka ennalta asetetun ominaistajuuden impulssi herättää. Laakerin vauriota indikoivat värähtelyt voivat olla amplitudiltaan huomattavasti alhaisemmat, kuin koneesta ja sen ympäristöstä tulevat muut värähtelyt. Lisäksi vauriota indikoivat vaurion ominaistajuudet ovat usein lähellä ympäristömelun taajuuksia. Vaurion aiheuttamat impulssit kykenevät kuitenkin herättämään laakerin tai laakeripesän värähtelemään omalla resonanssitaajuudellaan, joka on selvästi ympäristömelun taajuutta korkeampi. (VTT:n tutkimusraportti). Kuva 13.



KUVA 13. Verhokäyrä (VTT:n tutkimusraportti)

4.2.3 Iskunsysäysmenetelmä

Iskunsysäysmenetelmässä, SPM, piezoelektronisen anturi ominaistajuus asetetaan 32 kHz:n, (on myös käytössä antureita 100 kHz:n ominaistajuudella). Korkean mittaustajuuden käytöllä pyritään saamaan esille laakerin vaurioitumiseen viittaavat heikkotehoiset signaalit koneen muun värähtelyn joukosta. Iskunsysäysmenetelmää käyttävät laitteet määrittävät signaalin sisältämän energiaa kahdella tasolla, jotka perustuvat signaalipiikkien esiintymistiheyteen ja amplitudiin. Laitteella määritetään amplituditaso, jonka ylittää 1000 pulssia sekunnissa, sekä taso, jonka ylittää 50 pulssia sekunnissa. Laite ilmoittaa mittaustuloksena näiden tasojen värähtelyamplitudit sekä tasojen erotuksen desibeleinä. Menetelmällä voidaan havaita laakerin puutteellinen voitelu ja alkava laakerivaurio hyvissä ajoin [2].

4.2.4 Värinä taajuustasossa

Värinäsignaalin tutkiminen taajuustasossa tai spektristä on yleisin laakerivian havaintomenetelmä. Nopean Fourier'n muunnoksen(FFT) myötä kapeakaistaisen spektrin saaminen on helpompaa ja varmempaa. Sekä matala- että korkeataajuiset värinäspektrit ovat tärkeitä arvioitaessa laakerin kuntoa.

Jonkin laakerielementin vika saa aikaan lyhytkestoisen pulssin laakerisysteemin pyöriessä. Nämä pulssit herättävät laakerin ja rungon ominaistajuuden ja näiden taajuuksien värinäenergia kasvaa. Yksittäisten laakerielementtien teoreettinen resonanssitaajuus voidaan laskea. Laakerin ulkokehän ja sisäkehän, vierintäelinten ja vierintäelinten pitimen vauriotaajuuksien laskemiseksi ovat olemassa yhtälöt, joita on julkaistu useimmissa vierintälaakereita käsittelevissä lähteissä, sekä laakerivalmistajien tuoteluetteloissa. Laakerivalmistajat taulukoivat ja julkaisevat näillä yhtälöillä laskettuja laakeriensa vauriotaajuuksia. Tällainen vauriotaajuustaulukko voi olla osa värähtelymittausten analysointiin käytettävää tietokoneohjelmaa. Ohjelmia, joihin on sisällytetty laakerien vauriotaajuustaulukot, ovat ainakin CSI Master Trend, Entek Examine, DLI watchman ja Sensodec Advisor 10.

Normaali taajuusvaste on 500 Hz alueella. Näin matalat vikataajuudet peittyvät usein ympäristön tuottamaan meluun, joten ne ovat vaikeasti eroteltavissa.

5 AKUSTINEN EMISSION MITTAUS KÄYTÄNNÖSSÄ

5.1 TYÖN RAJAUS

Työn tavoitteena on kehittää ja hankkia sellainen yksinkertainen laitteisto, jolla akustinen emission ilmiö saadaan kuvatuksi. AE:n taustalla oleva teoria on käsitelty tutkintotyön alkuosassa. Signaalinkäsittelyä selvitetään tuloksista saatujen kuvaajien kautta. Esimerkin laitteisto ja tutkimustyö kokeilu on tehty autotallissa.

5.1.1 Laitteisto

Laitteisto koostuu virtalähteestä, anturista, vahvistimesta, oskilloskoopista ja PC:stä.

Kuva 14.



KUVA 14. Testauslaitteisto (Hietanen Hannu)

5.1.2 Tehonlähde

Järjestelmän, anturi, vahvistin ja oskilloskooppi, vaativat vakautetun 28 VDC:n jännitteen. Tehonlähteenä käytettiin kuvan 15 jännitelähdettä.



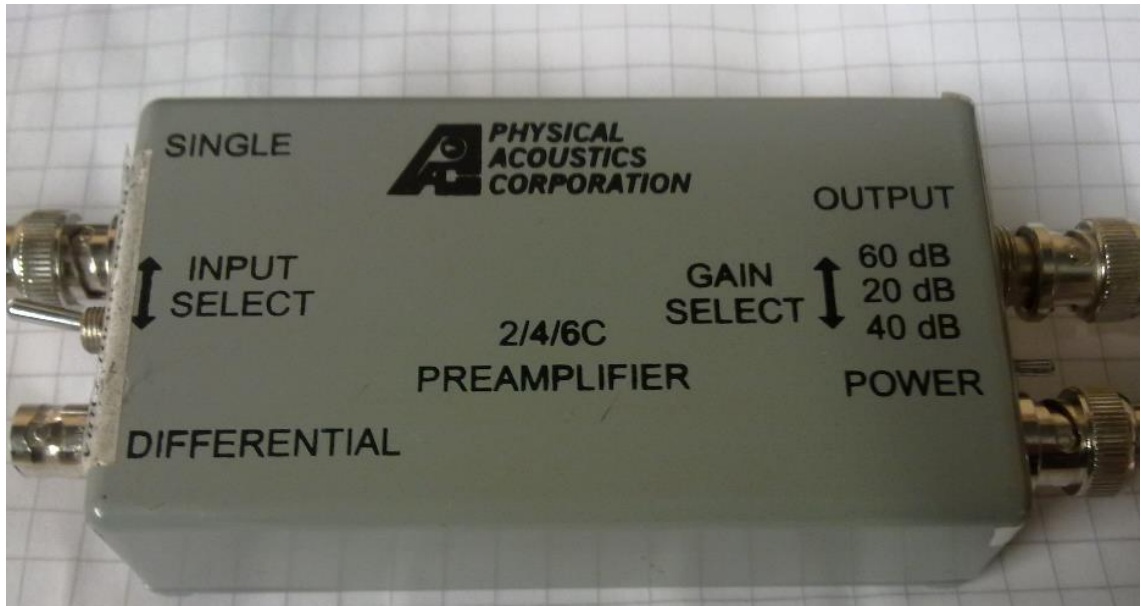
KUVA 15. DC POWER SUPPLY HY3005D (Hietanen Hannu)

- 3 1/2 digitin LCD näyttö, jännite- ja virtamittarit
- Sisäänmenojännite 230VAC $\pm 10\%$
- Ulostulojännite 0-30VDC, reguloitu
- Ulostulovirta 0-5 A
- Ripple & Noise: $>1\text{mV rms}$
- Karkea- ja hienosäätö
- Teho 150W

5.1.3 Vahvistin

2/4/6 esivahvistimet on suunniteltu käytettäväksi kaikkien AE järjestelmien kanssa, joissa järjestelmän tarvitsema jännite saadaan ulostulosignaalin BNC liittimestä. Esivahvistin on varustettu kytkimellä, jolla voidaan valita 20/40/60 dB vahvistus.

Liite 2.



KUVA 16. Esivahvistin (Hietanen Hannu)

5.1.4 Anturi ja kaapeli

R15I-AST Sensor valittiin sen laajan käytettävyyden vuoksi. Kirjallisuudessa kerrotaan aiempiin tutkimuksiin nojaten metallin akustisen emission olevan 100–200 kHz alueella. Valitun anturin resonanssitaajuus on 150 kHz ja toiminta-alue 80–200 kHz:n.

Liite 1.



KUVA 17. AE-anturi (<http://www.mistrasgroup.com/>)

Kaapeli:

Anturikaapelina käytetään koaaksikaapelia. Esivahvistinta käyttäen signaalia voidaan siirtää 100 metrin etäisyydelle.

5.1.5 Oskilloskooppi

Akustisen emission analogisen signaalin muuttamiseksi digitaaliseksi tarvittava A/D-muunnin on valmiina oskilloskoopissa. PC:hen liitettynä perusmallin oskilloskoopin ohjelmisto on ollut riittävä perusteiden opiskeluun. Kuva 10. Liite 3



KUVA 18. Oskilloskooppi (<http://www.picotech.com>)

5.2 Järjestelmän kalibrointi

Anturin kiinnityksen ja kaapeloinnin jälkeen testataan järjestelmän toimivuus lyijykynätestillä. Testauksessa 2H/0,5 mm lyijy katkaistaan anturin kiinnityspaikan lähistöllä. Kuva 19.

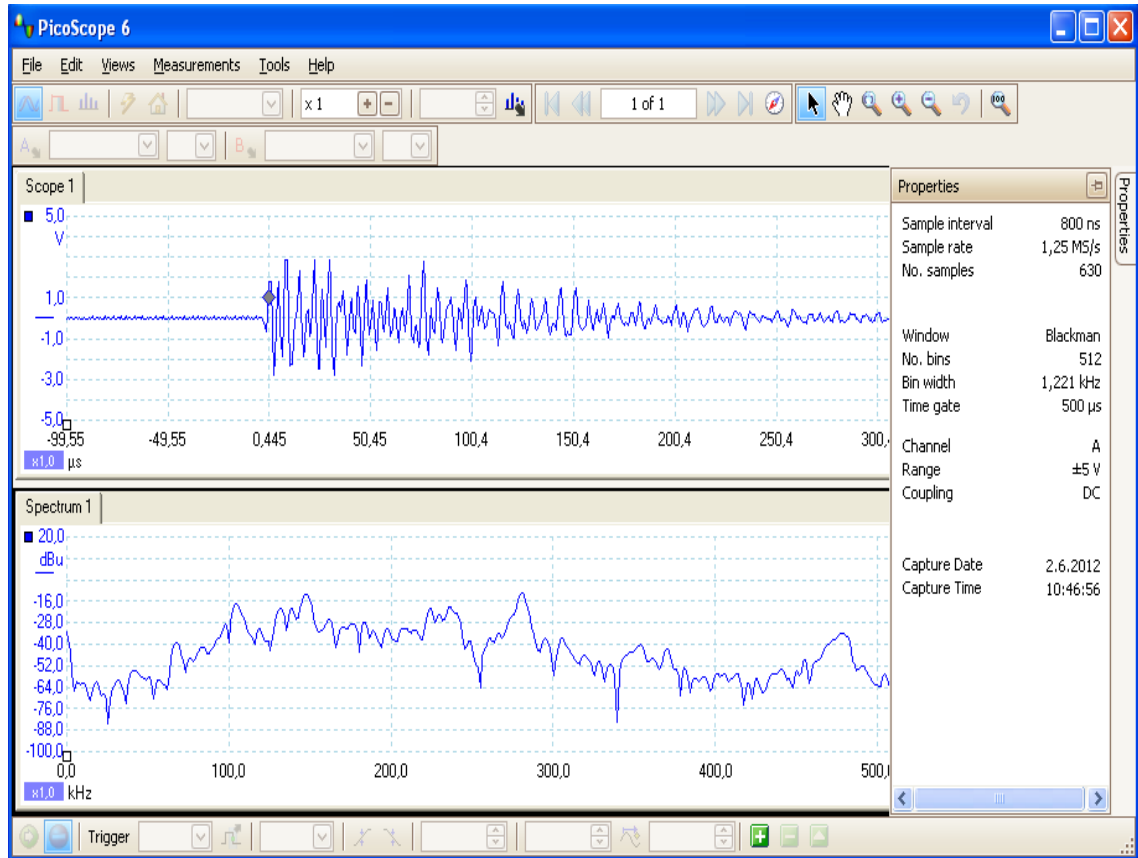


KUVA 19. Testaus lyijyllä (Hietanen Hannu 2012)

Grafiittisauvan katkaisulla on helppo havaita ja todentaa vaimentuminen, joka on erittäin tärkeä funktio signaalin leviämisen ymmärtämisen kannalta. Metallisauvassa jo metrin matkalla tapahtuu vaimentumista, vaikka ei ole kuin kaksi liitospintaa. Ilma on huomattavan tehokas vaimennin.

5.2.1 Kalibrointisignaali

Kuvan 11 mukaisen lyijykynän lyijyn katkeaminen antaa alla olevan kuvan mukaisen signaalin kuvattuna aikatasossa ja spektrinä. Kuvasta voidaan nähdä, että kynnyksjännite, joka on asetettu 1 V tasolle, käynnistää signaalin seurannan.



KUVA 20. Oskilloskooppikuva (Hietanen Hannu 2012)

5.2.2 Properties ikkuna

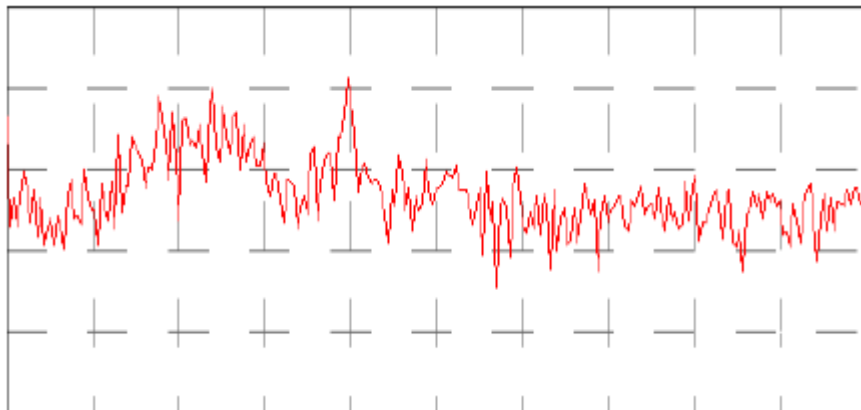
Properties ikkunassa kerrotaan näytteen ottoasetukset:

- *Sample interval* 800 ns on aika, joka kuluu näytteiden ottamisen välillä
- *Sample rate* 1,25 MS/s on näytteistystaajuus, eli millä tahdilla näytteitä otetaan yhden sekunnin aikana. Tämä on *Sample interval*:n käänteisluku. Näytteenottotaajuuden tulee olla vähintään kaksinkertainen verrattuna analogisen signaalin suurimpaan taajuuskomponenttiin (Nyquist & Shannon). Muuten esiintyy ns. laskostumista eikä näytteistä interpoloituva signaali enää vastaa alkuperäistä anturisignaalia.
- *No. samples* 630 on ruudulla näkyvien näytteiden lukumäärä.
- *No. bins* 512 on 'Taajuuskorien' lukumäärä, eli kuinka moneen viipaleeseen taajuusalue jaetaan analysointia varten. Liittyy spektrianalyysiin.
- *Bin. width* 1,221 kHz 'Taajuuskorin' leveys, eli kuinka leveä kaista yksittäisellä korilla on.
- *Time gate* 500 μ s on laskentaikkunan pituus signaalin taajuuden määrittämiseksi.

5.3 DSPLinks-ohjelma

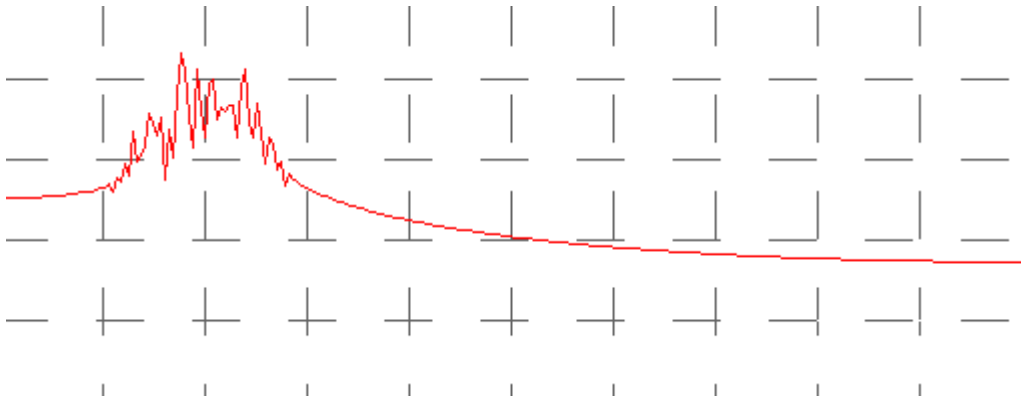
Internetissä on ilmaisohjelmana saatavana ohjelma, jolla voi muokata oskilloskoopin antamaa signaalia. Tässä tapauksessa signaalin ylä-/alapäästösuodatusta on ”tiukennettu”. Tuloksena saatu kuvaaja on huomattavasti selkeämpi ja siitä on helpompi parametroida tietokoneella tehtävää analysointia varten. Kuvassa 20 on aikatazon signaalista otettu kuva, joka on muutettu taajuustason suodatetuksi spektriaksi.

(digitalfilter.com/products/dsplinks/endsplinks.html)



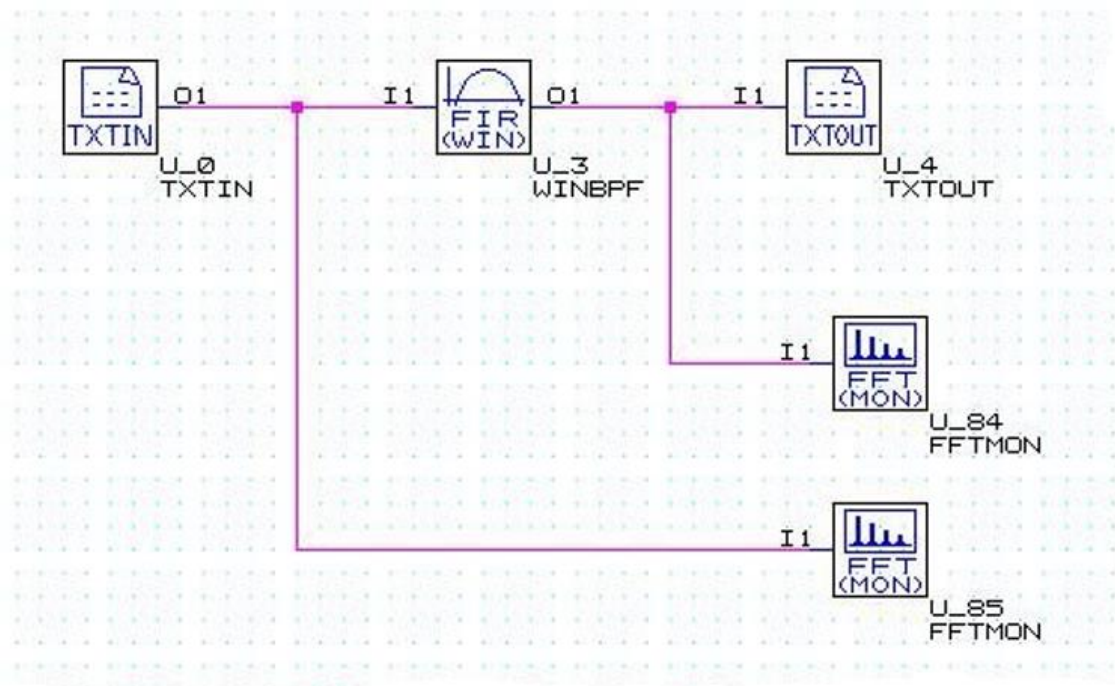
KUVA 21. DSPLinksin spektri (Hietanen Hannu 2012)

Kuvassa 22 DSPLinks-ohjelmalla on muokattu spektri. Tässä suodatusta on tiukennettu huomattavasti. Tuloksena saadaan siisti kuvaaja, josta kohina on lähestulkoon poistettu.



KUVA 22. DSPLinks kuvaaja (Hietanen Hannu2012)

Kuvassa 23 on ruudulta kaapattu virtuaalinen kytkentä, jota on käytetty kuvan 21 puhdistetun signaalin esittämiseen. DSLinksin avulla on virtuaalinen signaalin muokkausketju helppo rakentaa ja testata. Virtuaalisesti toimiva signaalin käsittelyn jälkeen voidaan rakentaa prototyyppi.



KUVA 23. DSPLinks-ruutukaappaus (Hietanen Hannu 2012)

6 Testipenkit

6.1 Testipenkki porakoneessa

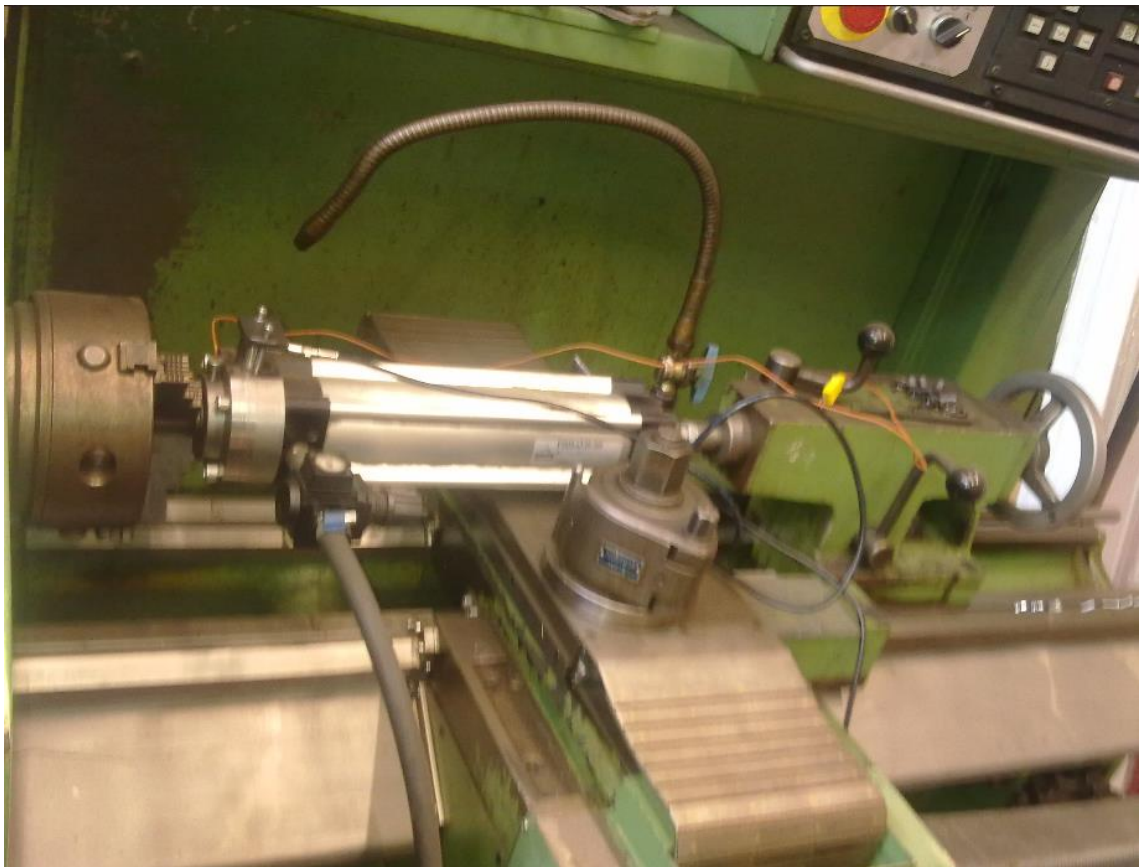
Kartiokuulalaakerin mittaus porakoneella pyörittäen. Kuvan mukainen asetelma ei antanut analysoitavaa signaalia. Mitoitusvirhe laakerin kuormituskestävyydessä ja magneettijalkaisen porakoneen mahdollisuudessa kuormittaa riittävästi laakeria. Laakeri ei rikkoutunut ko menetelmällä. Kuva 24.



KUVA 24. Laakerin testauspenkki, versio 1 (Hietanen Hannu 2012)

6.2 Testipenkki sorvissa

Laakeripesä kiinnitettiin paineilmasynteriin. Rullalaakeria pyöritettiin karan pakkaan kiinnitettyllä akselilla. Paineilmaverkosta saatava 7 bar:n paine korotettiin Ø60 mm sylinterissä, kunnes laakerin aksiaalikuormitus ylitti sille lasketun kuormitusarvon ja rikkoutui. Testauslaite reagoi tapahtumiin/ värinään. Ongelmaksi muodostui datan paljous, joka tukki dataloggerin. Tuloksia analysoimalla voitiin todeta datan olevan liian laajalta alueelta. Kuva 25.



KUVA 25. Rullalaakerin testauspenkki sorvissa, versio 2 (Hietanen Hannu 2012)

7 YHTEENVETO

Tutkintotyössä käsitellään pääasiassa kirjallisuudesta ja internetistä kerättyihin tietoihin perustuen akustisen emission perusteita. Tutkinnassa pyritään selvittämään akustisen emission syntymekanismeja sekä niiden aiheuttamaa värinää. Erityistä huomiota kiinnitetään laakerivaurion syntymekanismiin. Tavoitteena on ollut havainnollistaa syntyvän värinän reaaliaikaisen monitoroinnin sekä siitä saatujen tulosten käsittelyä. Jatkuvalle monitoroinnille voidaan saavuttaa välitön tieto vauriosta jo sen alkuvaiheessa ennen rakenteen rikkoutumista ja voidaan saada käytönaikaista rakenteen kuormitukseen vaikuttavaa informaatiota.

Akustisen emission sovellutukset ovat melko helposti toteutettavissa, vaikkakin käytännön sovellutuksia on vähän. Tiedon keruu ja analysointi tapahtuu lähes aina tietokoneen avulla. Pienellä anturimäärällä voidaan kattaa laajoja alueita. Lisäksi anturit voidaan asentaa hankalasti luoksepäästäviin rakenteisiin.

Vierintälaakeria ylikuormittamalla pyrittiin toteennäyttämään teoria säröjen syntymisestä ja kasvusta. Saadun datan käsittely ja analysointi vaativat hyvän ohjelmiston. Käytössä olleella tekniikalla tulokset jäivät heikoiksi. Laakerin vioittumisprosessissa syntyy huomattava määrä korkeataajuisia, 100–300 kHz, värähtelyä. Nämä värähtelyaallot muunnetaan A/D muuntimella digitaaliseksi tietokonekäsittelyä varten. Työssä selvitettiin lähinnä aikatazon signaalien käsittelyä. Laitteisto kuitenkin kaatui liian ison datamäärän vuoksi. Käytössä olleella laitteistolla ei voitu tutkia reaaliaikaisesta taajuustason spektriä, koska PC tekee aikatazon signaalista spektrin.

Seuraavassa vaiheessa on syytä hankkia laitteisto ja ohjelmisto jolla voidaan reaaliaikaisesti tutkia taajuustason spektriä.

Akustiseen emissioon perustuvalla sovelluksella on laajat käyttömahdollisuudet eri sovellusten laakereiden ja rakenteiden ennakoivassa kunnonvalvonnassa. Esiin on tullut esimerkiksi valvonnan tarve vesiturbiineissa, tuulivoimaloissa, työstökoneen laakeroinnissa yms. Sovelluksen rakentaminen on haastava mutta ei mahdoton tehtävä.

8 LÄHTEET

Akustisen emission Wavelet-analyysi

Pekka Salmenperä ja Juha Miettinen

Tampereen Teknillinen Yliopisto

Konedynamiikan laboratorio

pekka.salmenpera@tut.fi, juha.s.miettinen@tut.fi

http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/oulu_05_salmenper%C3%A4.pdf

Akustinen emissio. Luettu 28.11.2014

<http://www.shy-hitsaus.net/LinkClick.aspx?fileticket=La2eSW7tddg%3D&tabid=4768>

KP-Media Oy Kunnossapitoyhdistys Promaint ry. Luettu 28.11.2012.

www.promaint.net/downloader.asp?id=3126&type=1

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

LUT Metalli

BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/74372/Kandidaatinty%C3%B6,%20Tuomas%20Laamanen.pdf?sequence=1>

Viiivamaiset hilavirheet, TTY

Materiaaliopin laitos, Luettu 08.09.2010

http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_3_4_2.php

Acoustic Emission (AE), Kaiser effect. Luettu 10.10.2012

<http://www.ndt.net/ndtaz/content.php?id=476>

Akustisen emission Wavelet-analyysi, 2.2. Luettu 10.10.2012

http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/oulu_05_salmenper%C3%A4.pdf

Activity of AE Sources in Structural Loading. Luettu 28.11.2015.

https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/AE/AE_Theory-Sources.php

Muokkaantuminen

LAPPEENRANNAN TEKNILINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0400

Kandidaatintyö ja seminaari

https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/92570/Tapani_Ahonen_Kandi.pdf?sequence=2minen

Luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto

ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luettu 28.11.2015.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/23_Kunnonvalvonta%20ja%20huolto.pdf

Akustinen emissio 4, 3.1.1. Pyörivät laitteet, Luettu 28.11.2015.

<http://www.shy-hitsaus.net/LinkClick.aspx?fileticket=La2eSW7tddg%3D&tabid=4768>

Akustinen emissio 2.3,

Miktech

Ville Lempinen, Ilari Jönkkäri, Pentti Järvelä

SELVITYS NDT-MENETELMISTÄ

Tampereen teknillinen yliopisto

Julkaisu 5/ 20129.11.2012

<http://www.miktech.fi/media/getfile.php?file=248>

Akustinen emissio, Mittauksen suoritus. Luettu 28.11.2014.

<http://www.shy-hitsaus.net/LinkClick.aspx?fileticket=La2eSW7tddg%3D&tabid=4768>

Acoustic Emission Testing, Chapter 10. Luettu 28.11.2014.

http://mech.vub.ac.be/teaching/info/Damage_testing_prevention_and_detection_in_aeronautics/PDF/acoustic-emission.pdf

Kunnonvalvonta ja huolto

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/23_Kunnonvalvonta%20ja%20huolto.pdf

Laakerikeskus, Laakerivärinä. Luettu 28.11.2014

<http://www.laakerikeskus.fi/laakerivaurio.html>

Laakerien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta värinäanalyysillä, Kalle Fagerma

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77114/Insinoorityo_Niklas%20Weckstrom.pdf?sequence=1

VTT:n tutkimusraportti

http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantum_inen&havainnointi.pdf

9 LIITTEET

Liite 1. Datasheet R15a Sensor, <http://www.mistrasgroup.com/>



R15 α Sensor

General Purpose, 150 kHz Resonant Frequency Acoustic Emission Sensor

Description and Features

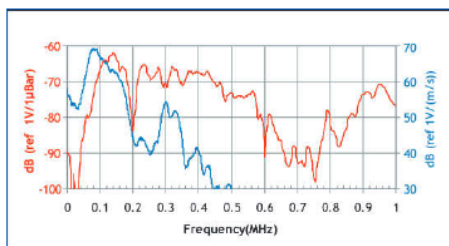
The Alpha series family of sensors features SMA connectors versus the Microdot connectors found on PAC's RXX series of passive sensors. The Alpha series includes R3 α , R6 α , R15 α , R30 α , R50 α , R80 α and W5 α sensors. The major improvements in Alpha series over the RXX series include:

- Use of the more popular SMA type of connector.
- Cavity is machined from a solid stainless steel rod making for a simpler and more robust design.
- Dramatically increased thickness of the ceramic shoe for better mechanical stability.
- Distance from the bottom of the ceramic shoe to the bottom edge of sensor cavity increased for better insulation resistance and ground avoidance.
- Introduced a 30-degree angle at the bottom edge of the sensor cavity.

All these improvements make the Alpha series sensors more robust, reliable and greatly reduce the possible grounding of the cavity to the structure caused by wet environment.

Applications

This general purpose sensor provides a good combination of high sensitivity and low-frequency rejection. These properties make the sensor very useful for monitoring common structures such as pipelines, vessels, bridges, and storage tanks in petroleum, refineries, chemical plants, offshore platforms, as well as factory and process monitoring applications.



Frequency response of the R15 α . Calibration based on ASTM E1106; Calibration based on ASTM E976.

Operating Specifications

Dynamic

Peak Sensitivity V/(m/s); [V/ μ bar]	69 [-63] dB
Operating Frequency Range	50 - 400 kHz
Resonant Freq. V/(m/s); [V/ μ bar]	75 [150] kHz
Directionality.....	± 1.5 dB

Environmental

Temperature Range	-65 to 175°C
Shock Limit	500 g
Completely enclosed crystal for RFI/EMI immunity	

Physical

Dimensions....	0.75" diam. x 0.88" h (19 x 22.4 mm)
Weight.....	34 grams
Case Material.....	Stainless Steel
Face Material.....	Ceramic
Connector.....	SMA
Connector Locations	Side
Seal	Epoxy
Sensor to Preamp Cable (1 or 2 meters).....	1232-X-SMA

Ordering Information and Accessories

R15 α	R15 α or R15a
Magnetic Hold-Down	MHR15a
Preamplifier.....	0/2/4, 2/4/6
Preamp to System Cable (specify length in meters)	1234 - X

Sensors include

NIST Calibration Certificate & Warranty



Products & Systems
Division

195 Clarksville Road, Princeton Junction, NJ 08550 • Phone: 609-716-4000 • Fax: 609-716-0706
Email: sales.systems@mistrasgroup.com • Internet: www.mistrasgroup.com



Due to continuing improvement, MISTRAS Group, Inc. reserves the right to amend specifications without notice.
Copyright © 2010 MISTRAS Group Inc. All Rights Reserved.

Rev. 03/10 #123-04

Lite 2. Datasheet, Voltage Preamplifier, <http://www.mistrasgroup.com/>



2/4/6 Preamplifier

Description:

The 2/4/6 preamplifier was designed to be used with all available AE systems that have power supplied via the output signal BNC. It is supplied with 20/40/60 dB gain (switch selectable) and operates with either a single ended or differential sensor. Plug in filters provide the user with flexibility to optimize sensor selectivity and noise rejection. These filters are provided in the Low Pass (LP), High Pass (HP), and Band Pass (BP) configurations, and offers constant insertion loss for easy filter swapping without the need for recalibration. Automatic Sensor Test (AST) is standard. This option provides the sensor with the ability to characterize its own condition as well as send out a simulated acoustic emission wave that other sensors can detect.

Features:

- 20/40/60 Selectable Gain
- Wide Dynamic Range > 90dB Standard
- Low Noise < 2 μ V (With Standard* Filter & Input Shorted)
- Large Output Signal 20Vpp into 50 Ω
- Single Power/Signal BNC or Optional Separate Power/Signal BNC
- Plug-in Filters (Utilizes the same filter as the SPARTAN 2000)
- High Input Impedance
- Standard Auto Sensor Test
- Input Protection



Electrical Specifications:

- Gain Selectable: 20/40/60 dB + 0.5% dB
- Input Impedance: 10K Ω // 15pF
- Power Required: 18-28V DC
- Operating Current: 30mA (With AST Installed)
28mA (Without AST Installed)
- Dynamic Range: 80dB (Utilizing an R15 Sensor)
90dB (50 Ω Input)

Environmental Specifications:

- Temperature: -40 C to +65 C

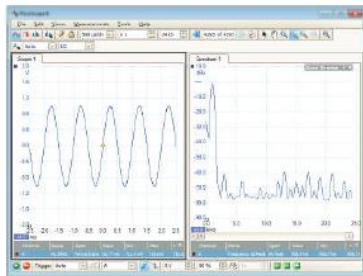
Gain Selection	20dB	40dB	60dB
• Bandwidth (-3dB):	10kHz-2.5MHz	10kHz-2.0MHz	10kHz-900kHz
• Output Voltage (50 Ω Load):	6Vpp	20Vpp	20Vpp
• CMRR (500kHz):	42dB	42dB	42dB
• Noise (RMS rti):			

Filter Frequency Response Hz	20dB With R15 Sensor	40dB With R15 Sensor	60dB With R15 Sensor	20dB Input Shorted	40dB Input Shorted	60dB Input Shorted
135k-185k	3 μ V	1.4 μ V	1.5 μ V	2.0 μ V	0.6 μ V	0.42 μ V
100k-300k*	3 μ V	1.8 μ V	1.8 μ V	2.3 μ V	1 μ V	0.8 μ V
10k-2.0M	5 μ V	4 μ V	3 μ V	4 μ V	3 μ V	2.5 μ V

*Standard filter

195 Clarksville Road, Princeton Junction, NJ 08550 USA
 Phone: (609) 716-4000 • Fax: (609) 716-0706
 Email: sales.systems@mistrasgroup.com • www.mistrasgroup.com

Lite 3. Datasheet, Oscilloscope, <http://www.picotech.com>



The ideal solution for mobile testing and troubleshooting. Choose from an entry-level model for enthusiasts and a high-performance model for professionals.

The PicoScope 2104 and 2105 PC Oscilloscopes are connected to and powered entirely by the USB port of a PC or laptop. The market-leading PicoScope software supplied with the oscilloscopes enables analysis of voltage waveforms, includes automatic measurements such as frequency, duty cycle and rise time, and has a variety of trigger settings. It allows the PicoScope 2104 and 2105 to be used as:

- Oscilloscopes
- Spectrum analyzers
- Voltmeters

or all three at the same time!

The unit has a built-in probe for convenience, and the probe tip can be easily replaced when needed. Also incorporated is a probe-tip light to illuminate the area being tested - ideal for those hard-to-see connections.



Free technical support and updates
 Free SDK and example programs
 5 year warranty included
 Software compatible with Windows XP,
 Windows Vista, Windows 7 and Windows 8

www.picotech.com

Easy to use

The ergonomically designed PicoScope 2104 and 2105 can be operated by pressing a single button on the handgrip. This can start and stop the oscilloscope, and even set up the entire instrument automatically. Captured waveforms and data are stored in the memory of the laptop or PC, from where they can be printed, emailed or saved to disc. The whole of your computer's screen or monitor can be used for the display, allowing you to view signals in outstanding detail.

Comprehensive software

All the software you need is included with the oscilloscope. An installation program gets your system up and running within minutes. Within the PicoScope program, navigation is made easy by simple drop-down menus that help you to get the best out of the system with minimum effort. We also include fully documented drivers, basic programming examples that you can customize, and free software upgrades for the life of the product.

Specifications

Vertical	PicoScope 2104	PicoScope 2105
Bandwidth	10 MHz	25 MHz
Rise time (calculated)	35 ns	14 ns
Input channels	1	
Vertical resolution	8 bits	
Enhanced vertical resolution	12 bits	
DC accuracy	±3%	
Linearity	< 1 LSB at 25 °C	
Input characteristics	1 MΩ 20 pF	
Input type	Oscilloscope probe	
Input coupling	Software selectable AC/DC	
Input ranges (full scale)	±100 mV to ±20 V in 8 ranges	
Overvoltage protection	±50 V (DC + AC Peak)	
Horizontal		
Maximum sampling rate (single shot)	50 MS/s	100 MS/s
Sampling rate (repetitive signals)	1 GS/s	2 GS/s
Maximum sampling rate (continuous streaming mode)	1 kS/s (Record length limited to 65 kS in PicoScope, unlimited when using the supplied SDK)	
Buffer memory	8 k samples	24 k samples
Waveform buffer	Up to 10000 waveforms	
Timebase ranges	200 ns/div to 5000 s/div (10 ns/div to 1000 s/div with ETS)	100 ns/div to 5000 s/div (5 ns/div to 1000 s/div with ETS)

Ordering information

Order code	Description	GBP*	USD*	EUR*
PP317	PicoScope 2104	£119	\$199	€159
PP315	PicoScope 2105	£179	\$299	€239

UK headquarters:
Pico Technology
 James House
 Colmworth Business Park
 St. Neots
 Cambridgeshire
 PE19 8YP
 United Kingdom

☎ +44 (0) 1480 396 395
 📠 +44 (0) 1480 396 296
 ✉ sales@picotech.com

US headquarters:
Pico Technology
 320 N Glenwood Blvd
 Tyler
 Texas 75702
 United States

☎ +1 800 591 2796
 📠 +1 620 272 0981
 ✉ sales@picotech.com

* Prices are correct at the time of publication. VAT not included. Please contact Pico Technology for the latest prices before ordering. Errors and omissions excepted. Windows is a registered trade mark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Pico Technology and PicoScope are internationally registered trade marks of Pico Technology Ltd. MM010.en-7. Copyright © 2013 - 2015 Pico Technology Ltd. All rights reserved.



www.picotech.com