

Harri Känsäkoski

**AKUSTISEN EMISSION HYÖDYNTÄMINEN
VÄSYTYSTESTISSÄ**

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2015**

TIIVISTELMÄ

| | | |
|---|-----------------------------|--|
| Yksikkö Kokkola-Pietarsaari | Aika Kesäkuu 2015 | Tekijä/tekijät Harri Käsäkoski |
| Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | | |
| Työn nimi Akustisen emission hyödyntäminen väsytestissä | | |
| Työn ohjaaja Ilkka Rasehorn | | Sivumäärä 38 |
| <p>Opinnäytetyö käsittelee akustisen emission ilmiötä sekä perehdyttää AE:n mittauksiin ja tulosten analysointiin. Tutkimustyön kohteena olivat laserpinnoitetut vääntöväsytestattavat koesauvat. AE:n mittauksissa käytettiin Vallen Systeme GmbH valmistavaa laitteistoa, jonka Centria ammattikorkeakoulu on hankkinut mittaava käynnissäpito-hankkeiden yhteydessä. Väsytestauksessa käytettiin hydraulitoimista laitteistoa.</p> <p>Työn tavoitteena oli havaita akustisen emission mittaustekniikalla testikappaleissa tapahtuvia muutoksia kuten syntyneitä säröjä ja niiden kasvua. Tuloksia on analysoitu ja kerrottu oleellisia käsitteitä.</p> <p>Opinnäytetyössä on myös oma lukunsa tutkimukselle, joka on lainattu Robert Gordon yliopistolla tehdystä artikkelista. Artikkelin aiheena on vertaileva tutkimus korroosion vaikutuksista alumiiniseos- ja teräskappaleissa käyttäen akustisen emission ja mikroskooppisia tekniikoita.</p> | | |
| Asiasanat akustinen emissio (AE), rikkomaton aineenkoetus (NDT) | | |

ABSTRACT

| | | |
|---|--------------------------|------------------------------------|
| Unit Kokkola-Pietarsaari | Date June 2015 | Author/s Harri Käsäkoski |
| Degree programme Mechanical Engineering and Production Technology | | |
| Name of thesis UTILIZING OF ACOUSTIC EMISSION IN THE FATIGUE TEST | | |
| Instructor Ilkka Rasehorn | | Pages 38 |
| <p>The thesis discusses the phenomenon of acoustic emission, and introduces AE measurements and the analysis of the results. The subject of the research work was laser resurfaced metal rods in the torsion fatigue test. AE measurements were carried out with equipment manufactured by Vallen Systeme GmbH, which Centria University of Applied Sciences has acquired in connection with the project of Measure Operation and Maintenance. Hydraulic equipment was used as the apparatus in the fatigue test.</p> <p>The aim of the thesis was to detect changes taking place in the test pieces with the acoustic emission measurement technique such as the emergence of cracks and their growth. The results have been analyzed and the essential concepts have been discussed.</p> <p>The thesis also includes a chapter of research that is borrowed from Robert Gordon University's article. The subject of the article is a comparative study of the effects of corrosion of aluminum alloy and steel sections using acoustic emission and microscopic techniques.</p> | | |

| |
|---|
| <p>Key words acoustic emission (AE), non-destructive testing (NDT)</p> |
|---|

Käsitteiden määrittely

| | |
|--|--|
| AE amplitudi [dB_{AE}] | logaritminen suure AE signaalin voimakkuudesta |
| AE amplitudi [eu] | huippujännite kun AE signaalin aaltomuoto on suurimmillaan |
| AE energia | elastisen aallon aiheuttama energia, joka on usein ilmoitettu jouleissa tai jännitteenä [$1 \text{ eu} = 1 \text{ nVs}$] |
| AE signaalin kesto | aika AE signaalin alusta ja AE signaalin loppuun |
| AE signaalin nousuaika | aika AE signaalin alusta signaalin huippuamplitudiin |
| Isku (hit) | havaittu ja mitattu AE signaali |
| Luku (count) | (N)-luku, joka ilmaisee kuinka monta kertaa AE signaali on ylittänyt asetetun amplitudi kynnyksen |

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

| | |
|--|-----------|
| 1 JOHDANTO | 1 |
| 2 AKUSTINEN EMISSIO | 2 |
| 2.1 AE, korkeataajuista värähtelyä | 2 |
| 2.2 Käyttökohteet | 3 |
| 2.3 AE:n syntyminen ja sen eteneminen materiaalissa | 4 |
| 3 MITTAUSLAITTEET JA NIIDEN VAATIMUKSET | 6 |
| 3.1 Anturit ja niiden kiinnitys | 6 |
| 3.1.1 Anturin valintaan vaikuttavia tekijöitä | 7 |
| 3.2 Esivahvistimet | 8 |
| 4 SIGNAALIN KÄSITTELY | 9 |
| 5 LASERPINNOITETTujen METALLISAUVOJEN VÄSYTYSTESTI | 10 |
| 5.1 Koekappaleet | 10 |
| 5.2 Väsytystestaus ja laitteisto | 12 |
| 5.3 AE laitteisto | 14 |
| 5.4 Mittausten eteneminen | 17 |
| 5.4.1 Antureiden kiinnittäminen | 17 |
| 5.4.2 Ohjelmistoasetukset | 17 |
| 5.4.3 Nauhoitus ja väsytystestaus | 17 |
| 5.5 Tulokset ja niiden analysointi | 17 |
| 6 KORROOSION VAIKUTUS JA AE MITTAUS | 25 |
| 7 YHTEENVETO | 37 |
| LÄHTEET | 38 |
| KUVIOT | |
| KUVIO 1. Koekappaleiden mitat | 11 |
| KUVIO 2. Laserpinoitettu koekappale | 11 |
| KUVIO 3. Vääntölaite ilman koekappaletta | 12 |
| KUVIO 4. Vääntölaite johon on kiinnitetty koekappale ja AE anturit | 13 |
| KUVIO 5. AE järjestelmän liitännät ja kytkimet | 15 |
| KUVIO 6. Anturi ja esivahvistin | 16 |
| KUVIO 7. Anturin magneettikiinnitin | 16 |
| KUVIO 8. Energia nousu | 18 |
| KUVIO 9. AE-signaalien nousu | 19 |
| KUVIO 10. AE-signaalien sijainti kappaleessa | 20 |
| KUVIO 11. AE:n paikantaminen | 21 |
| KUVIO 12. AE:n paikantaminen | 22 |
| KUVIO 13. AE:n paikantaminen | 22 |

| | |
|--|----|
| KUVIO 14. Mittaustulos yhdellä anturilla | 23 |
| KUVIO 15. Murtuneet testikappaleet | 24 |
| KUVIO 16. Kammio ja testikappaleiden asettelu | 26 |
| KUVIO 17. Taivutustestin asettelu | 27 |
| KUVIO 18. Taivutuskoe alumiinikappaleille | 28 |
| KUVIO 19. Taivutuskoe alumiinikappaleille | 30 |
| KUVIO 20. Väsytykseen tuloksia | 31 |
| KUVIO 21. Vetokokeen tuloksia | 33 |
| KUVIO 22. Vetokokeen valvomattoman luokituksen tulokset | 35 |
| KUVIO 23. Väsytykseen valvomattoman luokituksen tulokset | 36 |
| | |
| TAULUKOT | |
| TAULUKKO 1. Sylinterin poikkeamat | 14 |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on akustisen emissio. Centria-ammattikorkeakoulu tarjosi minulle tämän aiheen. Tutkimuksissa käytin koulun omistamia laitteistoja. Tutkimuksen koekappaleina olivat FATLASE-hankkeessa käytetyt laserpinnoitetut metallisauvat, joille tehtiin väsytystesti kappaleiden rikkoutumiseen asti. Väsytystestin ajan koekappaleista mitattiin akustista emissiota joko yhdellä anturilla tai kahdella. Kahden anturin käyttö mahdollistaa signaalin paikannuksen lineaarisesti antureiden välillä.

AE laitteiston valmistaja tässä tutkimuksessa on saksalainen Vallen Systeme GmbH. Tutkimuksen AE-järjestelmä on malliltaan nelikanavainen AMSY-6.

Tutkimusten tavoitteena oli havaita ja paikantaa särön alkaminen koekappaleessa käyttäen akustisen emission mittaustekniikkaa. Tulosten pohdinta on yksi oleellinen osa tutkimusta. AE nauhoitustuloksia on käsitelty lisäämällä erilaisia diagrammeja ja suodatusasetuksia, joista on kerrottu tutkimusten tulosten yhteydessä.

Opinnäytetyöhön on lainattu oma lukunsa koskien Robert Gordon yliopistolla tehtyä tutkimusta, jossa tutkittiin korroosion vaikutusta metallikappaleisiin akustisen emission mittaustekniikalla.

2 AKUSTINEN EMISSIO

Kunnonvalvonnassa käytetään yleisesti rikkomattomia (NDT) menetelmiä. Akustisen emission (AE) menetelmällä on monia hyödyllisiä etuja kunnonvalvonnassa. Kun laitteen toimintakunto voidaan määrittää esimerkiksi korroosion ja säröjen muodostumisen varalta ilman laitteen sisäpuolista tarkastusta tai prosessia keskeyttämättä, voidaan säästää merkittävä määrä kunnossapitokustannuksissa. (Sarkimo 1990, 3;7.)

2.1 AE, korkeataajuisia värähtelyä

Akustisella emissiolla on pitkä historia tutkimusmenetelmänä. Ajoittain sitä kuitenkin esitellään tutkimusmaailmassa uutena kunnonvalvontamenetelmänä. Ensimmäinen kirjallinen lähdeviite akustisesta emissiosta on vuodelta 1850. Akustinen emissio on silti huomattavasti huonommin tunnettu tekniikka koneiden kunnonvalvonnassa kuin värähtelymittaukset. (Kunnossapito 2009, 250.)

Värähtelyvalvonnan suunnittelun kannalta on tärkeää ymmärtää mm. valvottavien laitteiden toimintaperiaatteet, mahdolliset vikaantumismekanismit sekä myös prosessi, jossa valvonnan kohteena olevat laitteet ovat. Värähtelymittausasetuksien määrittely on monimutkainen prosessi ja mittaasetusten määrittelyyn voivat vaikuttaa monet tekijät. Näitä asioita voivat olla esimerkiksi värähtelymittauksien kesto ja toistuvuus, mitattavaan laitteeseen tulevat viat, mittausympäristö ja käytettävä mittauslaitteisto. (Kunnossapito 2009, 223.)

Korkeataajuinen värähtelymittaus sijoittuu taajuusalueeltaan tyypillisesti 20 kHz...1 GHz välille. Ultraäänimittauksessa taajuusalue on 20...80 kHz välillä, akustinen emissio 80 kHz...1 GHz välillä ja mekaaninen värähtely jää 0...20 kHz taajuusalueelle. Muita korkeataajuisia värähtelymittausmenetelmiä akustisen emission mittauksen ja ultraäänimittauksen lisäksi ovat muun muassa iskusysäysmittaus, verhokäyrämenetelmä ja PeakVue™ (CSI 1996) menetelmä. Akustinen emissio esiintyy materiaalin pinnan aaltoiluna eli ns. Rayleighin tai sen kaltaisina aaltoina, kun taas mekaanisen värähtelyn ja ultraäänien taajuuksilla värähtely vaikuttaa koko rakenteessa ja ilmenee sen osan, esimerkiksi seinämän liikkeenä. (Kunnossapito 2009, 247.)

2.2 AE käyttökohteet

AE soveltuu hyvin kattiloiden, paineastioiden ja nostokaluston kunnonvalvontaan. AE ei ole rikkomattomana testausmenetelmänä saavuttanut erityisen laajaa hyväksyntää. Menetelmän sovellutusalue on kuitenkin hyvin laaja, ja se ulottuu avaruussukkulan tiilien kiinnityksen testaamisesta lääketieteellisiin luiden kuormituskokeisiin ja puun kuivaamisen monitoroinnista aina kalliorakenteiden tutkimiseen. (kunnossapito 2009, 178; Sarkimo 1990, 9-10.)

Lujitemuovien testauksessa AE on saavuttanut melko vahvan ja osittain vakiintuneenkin käyttöalueen. Menetelmää käytetään rakenteiden lujuustestien monitorointiin, materiaalien karakterisointiin sekä säiliöiden ja putkiston osien määräaikaiseen kunnonmääritykseen. Systemaattisen AE-menetelmän lujitemuovisäiliöiden kunnontoteamiseksi on kehittänyt yhdysvaltalainen Monsanto-yhtymä. (Sarkimo 1990, 9.)

AE-sovellutuksia, joita voidaan pitää hyvinä ja joilla on tuntuvasti käyttöä sekä huomattava taloudellinenkin merkitys voidaan mainita esimerkiksi:

- Erilaiset säiliötestaukset. Lujitemuovisäiliöt ja –putkistot muodostavat hyvin tärkeän osa-alueen.
- Henkilönostureiden lujitemuovisen puominosan testaaminen (USA:ssa standardoitu menetelmä).
- Ammoniakin varastosäiliöiden testaaminen. Koetus voidaan tehdä säiliötä tyhjentämättä pienen typpiylipaineistuksen avulla. Tällöin käyttökatkos jää lyhyeksi.
- Prototyypiosien koekuormituksen monitorointi esimerkiksi lentokoneteollisuudessa. (Sarkimo 1990, 10–11.)

Säiliöiden testauksessa AE on pysytellyt suppeana. Paineastiatestit ovat rajoittuneet tavallisesti hyvin tärkeisiin kohteisiin, joissa AE:ta on käytetty täydentämään muita NDT-menetelmiä. Nämä testit ovat usein olleet yksittäisiä ja kustannukset suuria, koska ne ovat vaatineet paljon työtä ja asiantuntijoita. On pyrkimyksiä kehittää toimiva rutiininomainen AE-testausmenetelmä metallisille säiliöille, kuten lujitemuovisäiliöiden testaukseen on kehitetty. Mikäli AE-testien käyttöaluetta onnistutaan laajentamaan ohutseinäisiin paineastioihin ja säiliöihin sekä voidaan samalla osoittaa testien ja arvostelukriteerien ehdoton luotettavuus, menetelmällä on mahdollisuudet kehittyä hyväksi säiliöiden kunnonvalvontamenetelmäksi. (Sarkimo 1990, 17.)

2.3 AE:n syntyminen ja sen eteneminen materiaalissa

Herätteet saavat rakenteen värähtelemään. Herätteet syntyvät erilaisista dynaamisista voimista, jotka voivat aiheutua laitteen normaalista toiminnasta, erilaisista valmistuksen tai asennuksen epätarkkuuksista sekä vikaantumisista. (Kunnossapito 2009, 224.)

Materiaalissa eteneviä korkeataajuisia jännitysaaltoja eli akustista emissiota (AE) syntyy mm. lyhytkestoisista iskumaisista herätteistä ja myös silloin kun materiaaliin muodostuu mikroskooppisia säröjä, jotka edelleen etenevät särönkasvuna. AE voi olla purskemaista, jolloin kyseessä on impulssimainen energian vapautuminen esimerkiksi särön hyppäyksellisestä kasvusta, korroosiopartikkeleiden rikkoutumisesta ja irtautumisesta. Jatkuva AE:n lähde voi olla esimerkiksi vuodon aiheuttama emissio. (Sarkimo 1990, 7; kunnossapito 2009, 250.)

Emissiopulssit heijastuvat, vaimentuvat ja synnyttävät erilaisia aaltomuotoja ultraäänen tapaan. Energia, joka vapautuu säröytymisestä tai iskuista, etenee jännitysaaltolina säteittäisenä aaltorintamana materiaalissa. Jännitysaaltojen osuessa kappaleen pintaan, aiheuttavat ne siinä ns. pinta-aaltoja eli Rayleighin aaltoja tai Lamb aaltoja. Joten silminnähden kappale ei värähtele eikä värähtelyä voi tuntea käsin koskettamalla kappaleen pintaa. Tällaisia pinta-aaltoja voidaan mitata herkällä pintaa koskettavalla anturilla. (Kunnossapito 2009, 250; Sarkimo 1990, 7.)

Akustista emissiota aiheuttavat materiaalissa etenevät dislokaatiot ja faasimuutokset, erilaiset pintojen väliset kosketukset ja plastiset muodonmuutokset. Näitä ilmiöitä esiintyy hammaskosketuksissa, akseliliitoksissa, rakenteiden ylikuormitustapauksissa, tukirullissa sekä liuku- ja vierintälaakereissa. Yleisimpiä akustisen emission mittaushetkiä ovat liuku- ja vierintälaakerien kunnonvalvonta, laakerien voitelutilanteen valvonta sekä säröytymisen valvonta dynaamisen kuormituksen rasittamissa rakenteissa. Analysointitapoina voidaan käyttää esimerkiksi amplitudihuipun mittausta, määrätyn tason ylittävien pulssien määrän laskentaa, signaalin kestoajan ja sen tehollisarvon mittausta. AE-mittausanturin suuntauksella ja sijainnilla ei ole yhtä suurta merkitystä kuin matalan taajuuden mittauksissa. Rajapinnat ja etäisyys vaimentavat akustisen emission värähtelyä voimakkaasti. (Kunnossapito 2009, 251.)

Pintojen vierintä- ja liukukosketuksista syntyy ultraääni- ja akustisen emission värähtelyä. Värähtelyn voimakkuuteen vaikuttaa paljon voitelutilanne. Hydrodynaamisen voitelun alueella värähtely on vähäistä mutta kohoaa voitelutilanteen heikkenemisen myötä, kun pinnankarheushuiput koskettavat toisiaan ja lopulta vaurioitumistilanteessa hitsaustuvat toisiinsa tai repeytyvät irti. Näitä ilmiöitä voi tapahtua esimerkiksi liukulaakereissa, liukurengastiivistimissä, vierintälaakereissa, nokkamekanismeissa ja hammaspyörissä. Korkeataajuista värähtelyä aiheuttaa myös erilaisten kiintoainekeräytymien ja vaurioituneiden osien hankaaminen. (Kunnossapito 2009, 248.)

3 MITTAUSLAITTEET JA NIIDEN VAATIMUKSET

Akustista emissiota on mahdollista mitata laajalta taajuusalueelta. Yleensä taajuuskaista on kuitenkin 100 – 200 kHz. Tämä taajuusalue jättää alapuolelleen mekaanisten häiriölähteiden taajuusalueen. Emissiopulssit etenevät kuitenkin hyvin ja anturit voidaan sijoittaa usean metrin päähän toisistaan. Anturit ovat yleisimmin pietsosähköisiä antureita, jotka havaitsevat emissiosignaalin mekaanisena värähtelynä muuttaen sen sähköiseksi signaaliksi. Sähköinen signaali johdetaan lähelle sijoitetulle esivahvistimelle missä se vahvistetaan siirrettäväksi eteenpäin. (Sarkimo 1990, 8.)

Korkeataajuisen värähtelyn mittaaminen edellyttää koko mittausketjulta suurta herkkyyttä, hyvää signaali-kohina suhdetta sekä häiriösuojasta värähtelyn energian alhaisuuden vuoksi. Korkeataajuisen aikatasosignaalin mittaamiseen vaaditaan korkea signaalin keruutaajuus sekä runsaasti tallennuskapasiteettia. Usein korkeataajuisissa mittauksissa on hyödynnetty anturin tai anturin ja sen kiinnityksen ominaistaajuutta. Matalan taajuuden antureissa on pietsosähköiseen kiteeseen kiinnitetty massa, kun akustisen emission antureissa sitä ei ole. Kiteen ominaistaajuuden herättää mitattava värähtely, jolloin anturi toimii värähtelyn vahvistajana. Tämän kaltaiset anturit ovat taajuusvasteeltaan epälineaarisia. (Kunnossapito 2009, 248.)

3.1 Anturit ja niiden kiinnitys

Pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi on yleisin käytetty värähtelymittausanturi. Sen etuja muihin antureihin verrattuna ovat mm. sen pieni koko, ei ole liikkuvia eikä kuluvia osia, ei juurikaan vaikuta mittauskohteen värähtelytilaan dynamiikka- ja taajuusalue on laaja. Ne ovat lisäksi epäherkkiä ympäristöolosuhteille sekä helppoja asentaa. Kiihtyvyyssanturin rakenneosiin kuuluvat runko, seisminen massa ja näiden välissä oleva pietsoelementti. Anturit voidaan jakaa karkeasti rakenteen mukaan puristukselle herkkiin ja leikkaukselle herkkiin tyypeihin. Niistä on kuitenkin olemassa jonkin asteisia yhdistelmiä. Puristustyyppisessä anturissa osat ovat päällekkäin ja puristuvat toisiaan vasten jäykästi jousikuormitetulla pultilla. Leikkaustyypeissä osat on usein koottu liimaamalla tai puristusrenkaan avulla rungon ympärille. (Kunnossapito 2009, 237–238.)

Anturin voi kiinnittää mittauskohteeseen monella eri tapaa niin, että koko anturi liikkuu kohteen mukana. Tällöin seismiseen massaan kohdistuu Newtonin toisen lain mukainen voima. Pietsoelementtiin muodostuu voimaan verrannollinen varaus, joka johdetaan anturin sisällä olevalle vahvistimelle tai anturin rungossa olevaan ulostuloliittimeen. Molemmissa tapauksissa anturin ulostulossa on kiihtyvyyttä vastaava sähköinen signaali. (Kunnossapito 2009, 238.)

Anturin mittaamaa taajuusaluetta rajoittaa yläpäässä resonanssitaajuus ja alapäässä lähinnä käytetty vahvistinjärjestely sekä fakta, että matalilla taajuuksilla saavutettavat kiihtyvyydet jäävät pieniksi. Anturin massasta riippuvat taajuus- että dynamiikka-alue. Nyrkkisääntönä toimii se, että pienellä anturilla voidaan mitata suuria kiihtyvyyksiä ja taajuuksia, kun heikon värähtelyn mittaukseen tarvitaan suurikokoisempaa anturia. (Kunnossapito 2009, 239.)

3.1.1 Anturin valintaan vaikuttavia tekijöitä

Tärkeitä anturin valinnassa huomioitavia tekijöitä ovat anturille ilmoitettu nimellisherkkyys, ympäristön lämpötila ja sen mahdolliset äkilliset muutokset ja kiinnitysalusta pohjajännitys sekä muut ympäristötekijät. Nimellisherkkyys voidaan ilmoittaa esimerkiksi 10 pC/ms^{-2} tai 100 mV/g ja se pätee anturin akselin suuntaiselle värähtelylle. Anturit ovat jossain määrin herkkiä reagoimaan poikittaiselle värähtelylle. Poikittaiselle värähtelylle varsin vähän herkät anturit ovat tyypiltään leikkaukselle herkkiä. Korkeille, puristusherkille anturityypeille voi haittaavaksi tekijäksi tulla poikittaisresonanssi, joka voi sattua juuri keskeiselle mittausalueelle varsinkin, jos anturi kiinnitetään nipan avulla.

Ympäristön lämpötila vaikuttaa kiihtyvyyssanturin herkkyyteen ja äkilliset lämpötilan muutokset voivat vääristää mittaustuloksia jonkin verran, sillä pietsoelementti reagoi lämpötilan muutokseen kehittämällä sähkövarauksen. Leikkaukselle herkissä tyypeissä tämä virhesignaali on yleensä pienempi kuin puristukselle herkissä tyypeissä. Virhesignaaleja voivat aiheuttaa myös kiinnitysalustan jännitystilän muutokset. Tässä tapauksessa pohjajännitys on yleensä suurempi puristukselle herkissä tyypeissä. Vaikutuksiltaan vähäisiä ja helposti hallittavissa olevia ympäristötekijöitä ovat esimerkiksi magneetti- ja sähkökentät ja radioaktiivinen säteily. Kosteudelle arka paikka on ainoastaan liitin koska teollisuusanturit ovat yleensä hermeettisesti suljettuja. On kuitenkin olemassa vedenalaisiin mittauksiin tarkoitettuja antureita, jotka ovat täysin vedenpitäviä. (Kunnossapito 2009, 240.)

3.2 Esivahvistimet

Sähköisten varausten mittaaminen edellyttää esivahvistimelta gigaohmien suuruista impedanssia. Pietsosähköinen anturi liitetään useimmiten varausvahvistimeen, joka on erillään anturista. Esivahvistin voi olla myös rakennettu anturin sisälle. Kumpikin vahvistinjärjestely asettaa rajoituksia anturin käytölle. Varaustyyppin antureilla pystytään optimaalisesti hyödyntämään koko mittausalue, mutta kaapeloinnissa on otettava huomioon, että on käytettävä pienikohinaista, grafiittivaipalla varustettua anturikaapelia. Anturin sisälle rakennettu vahvistin asettaa rajoituksia erityisesti dynamiikka-alueelle ja lämpötilaominaisuuksille. (Kunnossapito 2009, 239–240.)

4 SIGNAALIN KÄSITTELY

Havaittujen emissiosignaalien käsittely ja laskenta nykypäivänä tehdään käytännössä lähes yksinomaan tietotekniikan avulla. AE-mittauksien tulkintaan voidaan yksinkertaisimmillaan käyttää tarkastelemalla laskettujen emissiotapahtumien tai niiden sisältämien värähdysten määrää. Emissiopulsseista saadaan myös laskettua muita parametreja tietotekniikkaa hyväksikäyttäen. Näitä ovat signaalin huippuarvo, saapumisajankohta, nousu- ja kestoaika sekä energian suuruus. Jälkianalysoinnin mahdollisuudet ovat monipuolisemmat, kun tietoja emissiopulsseista on tallennettu runsaammin erilaisilla tietokoneohjelmilla helposti käsiteltävään muotoon. (Sarkimo 1990, 8.)

AE-mittauksia ei kyetä kalibroimaan värähtelysuureeksi, koska anturien taajuusvaste on hyvin epälineaarinen ja koska mittauslaitteiston kalibrointiin tarvittavia laitteistoja ei ole. Tämä tarkoittaa sitä, että käytännössä mittaukset toteutetaan suhteellisina mittauksina. Analyyseissa seurataan ilmiöiden jaksollisuuksia tai AE:n muutoksia johonkin määriteltyyn tasoon nähden. On kuitenkin saatavissa kaupallisesti AE-antureita, joiden taajuusvaste jollakin rajatulla kaistalla on melko lineaarinen. (Kunnossapito 2009, 252.)

Usean anturin käyttäminen mahdollistaa emissiolähteiden paikannuksen. Kun emissiopulssien saapumisajankohdat rekisteröidään kullakin anturilla ja antureiden koordinaatit tiedetään, voidaan emissiolähteiden paikat laskea. Epälineaariseen paikannukseen pystytään kahden anturin avulla, joka soveltuu esimerkiksi palkkimaisten kappaleiden mittaukseen. Kolmen tai neljän anturin antaman aikatiedon avulla on mahdollista paikantaa emissiolähteitä erilaisista pinnanmuodon omaavista kappaleista. (Sarkimo 1990, 9.)

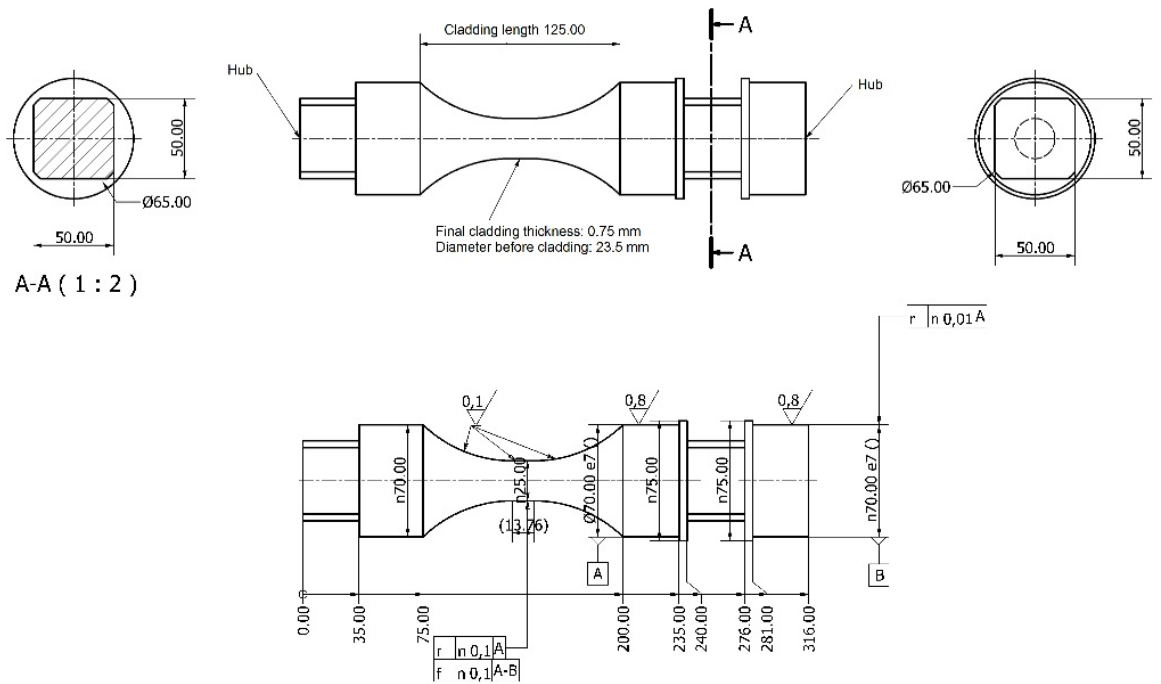
5 LASERPINOITETTUIEN METALLISAUVOJEN VÄSYTYSTESTI

Mittaukset suoritettiin huonelämpötilassa (20 °C). Väsytystesti sujui suurimmaksi osaksi ongelmitta. Sylinterivuoto esiintyi testin aika ja se korjattiin mittausten välissä.

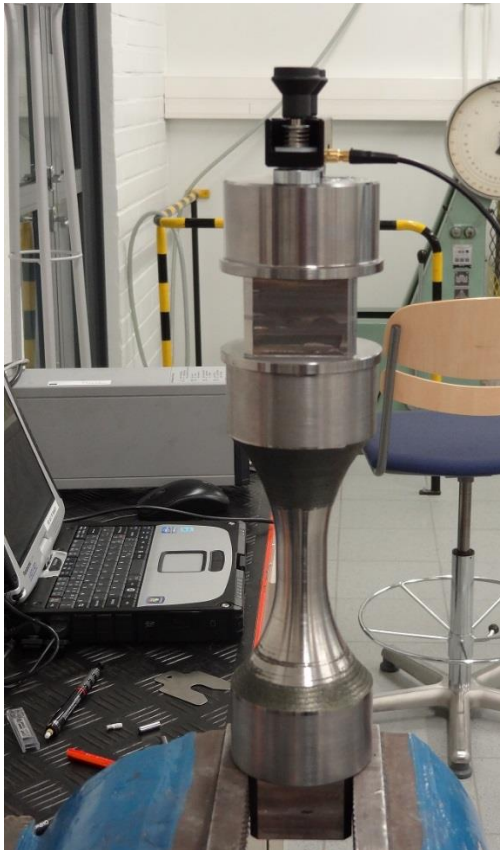
5.1 Koekappaleet

Koekappaleet päällystettiin laserilla niin, että keskikohta oli halkaisijaltaan 25 mm, jonka jälkeen se koneistettiin ja lopullinen halkaisija tuli olemaan 23,5 mm. Päällysteen paksuus oli valmiissa koekappaleessa 0,75 mm ja päällysteen materiaalina käytettiin 42CrMo4.

- Pinta: koneistettu ja poistettu rasva (ei karhennettu)
- Perusaine: Starck Ni-SA 625. Eränumero: 29064
- Jauheen syöttönopeus: 12,5 % (mitattu massan syöttönopeus 29,6 g/min)
- Laserin teho: 3300 W (jatkuva)
- Lisätty kaasu: ei käytetty
- Pinnoitusnopeus: 1000 mm/min
- Paksuus (pitch): 2 mm



KUVIO 1. Koekappaleiden mitat

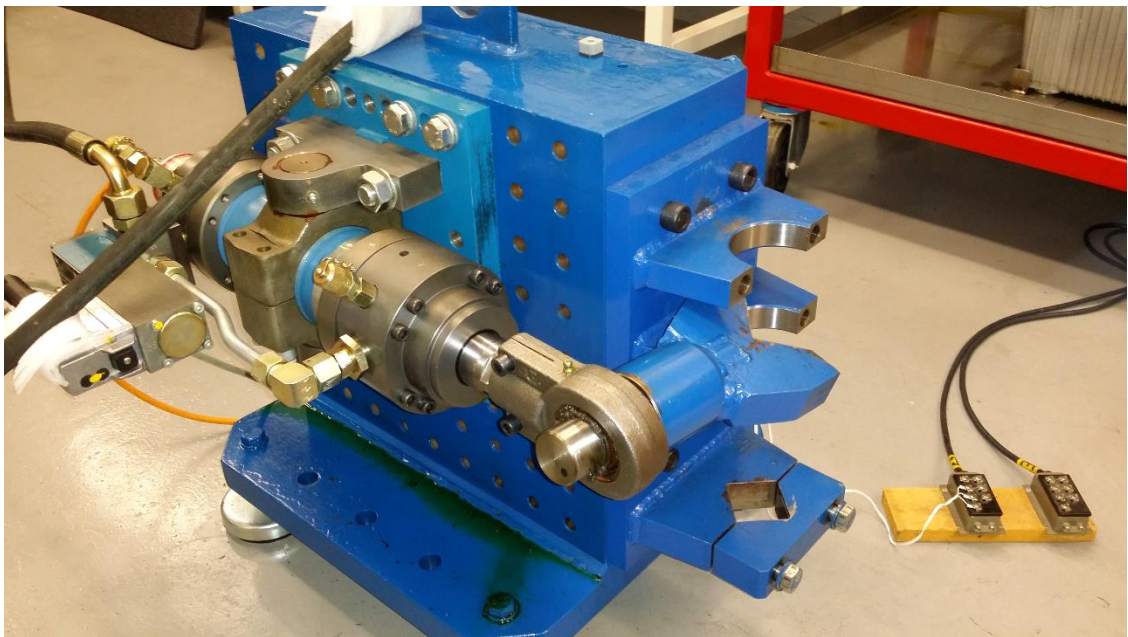


KUVIO 2. Laserpinnoitettu koekappale

5.2 Väsytykskoe ja laitteisto

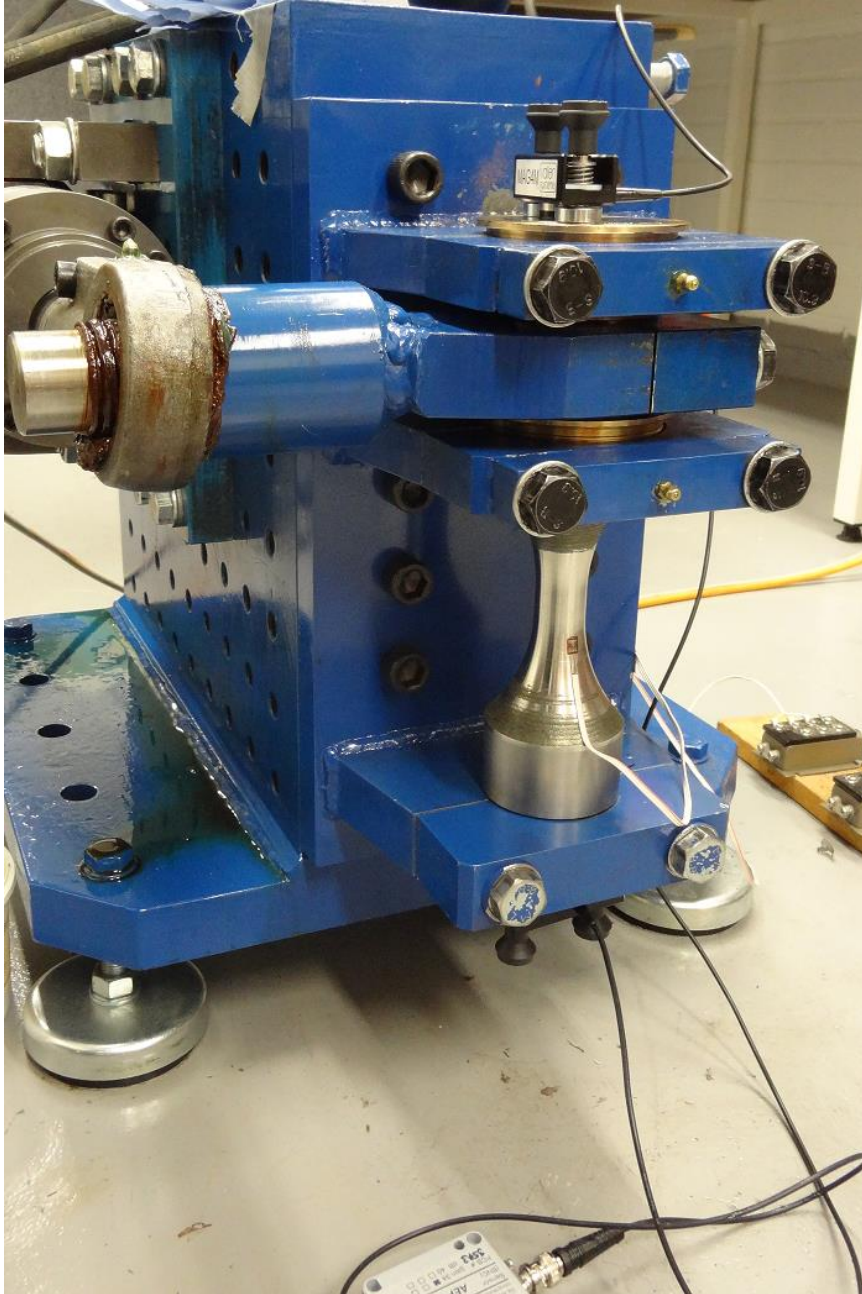
Väsytystestien vääntölaitteisto koostui seuraavanlaisesti:

- Kaksisuuntainen hydraulinen sylinteri. Sylinterin asento voitiin asettaa 0,01 mm mittatarkkuudella
- Hydraulinen pumppu ja vesijäähdytysjärjestelmä
- Digitaalinen hallintajärjestelmä.



KUVIO 3. Vääntölaite ilman koekappaletta

Koekappaleen alempi puoli on lukittu ja yläpää oli kiinnitetty vääntövipuun. Väännön määrä, eli amplitudi määriteltiin sylinterin liikkeellä.



KUVIO 4. Vääntölaite johon on kiinnitetty koekappale ja AE anturit

Väsytyksetit tehtiin neljällä eri amplituditasolla, jotka ovat esitetty alla olevassa taulukossa.

| |
|--------------------------|
| sylinterin poikkeama |
| 6,5 mm ($\pm 3,25$ mm) |
| 8,3 mm ($\pm 4,15$ mm) |
| 9 mm ($\pm 4,5$ mm) |
| 9,75mm ($\pm 4,875$ mm) |

TAULUKKO 1. Sylinterin poikkeamatasot

5.3 AE laitteisto

AE-mittauksissa käytettiin Vallen Systeme GmbH:n laitteistoa. Kyseinen yritys on perustettu 1980-luvulla ja heidän pääkonttorinsa on Saksassa, kaupungissa Icking. He ovat erikoistuneet akustisen emission mittauslaitteiden kehittämiseen ja valmistamiseen.

Centria-ammattikorkeakoulun hankkimassa Vallen AMSY-6 laitteistossa on täysin digitaalinen monikanavainen AE-mittausjärjestelmä. AMSY-6 laitteistoja on saatavilla 4, 12, 38 tai 42 kanavaisina. Koululla käytettävässä laitteisto oli 4 kanavainen. Maksimaalinen antureiden määrä tällöin on neljä, ja se mahdollistaa mm. kolmiulotteisen paikannuksen.

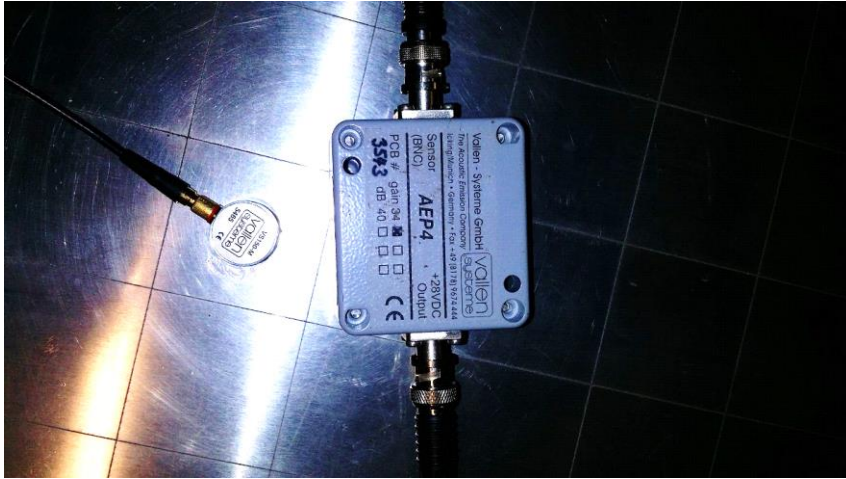
AMSY-6 järjestelmässä käytetään ASIP-2 (kaksoiskanavallinen akustisen signaalin prosessori) prosessoreita. Näitä prosessoreita on siis kaksi kappaletta koulun omistamassa AMSY-6 järjestelmässä. Prosessorit sijaitsevat alustan etupuolella, mistä löytyvät mm. merkkivalot. Alustan takapuolella on mm. virtapistoke, virtakytkin, laitteen sulake, usb-portti tietokoneelle.



KUVIO 5. AE järjestelmän liitännät ja kytkimet

Järjestelmän prosessoreista pääsemme johdoilla liitettäviin AE-signaalien esivahvistimiin. Koulun omistamat AEP4 esivahvistimet sopivat monipuoliseen käyttöön. Niiden taajuusalue ulottuu kolmesta 2000:een kHz:iin. Jokaisella AE-sensorilla on siis oma esivahvistin. Myös sensorit liitetään esivahvistimiin johdoin.

Vallen systeme GmbH tarjoaa yli 30 erilaista sensorimallia. Koulun omistamat sensorit ovat malliltaan VS150-M (150 kHz resonantti). Nämä sensorit ovat tarkoitettu myös monipuoliseen käyttöön ja tarvitsevat esivahvistimen kuten AEP4. Resonanssitaajuus merkitsee sitä, että sensori on herkimmillään tällä taajuudella havaitsemaan signaaleja. Siksi resonanssitaajuudella voi olla merkittävä vaikutus siihen, missä sovelluksessa sensoria voi käyttää.



KUVIO 6. Anturi ja esivahvistin

Sensoreiden kiinnittämisessä käytetään aina silikonirasvaa tai muuta väliainetta, joka auttaa signaalin välittymistä sensorille. Jos mitattava kohde on esim. liikkuva tai sensori ei muuten vain pysy paikoillaan pelkällä väliaineella voidaan käyttää magneettikiinnittimiä tai liimaa.



KUVIO 7. Anturin magneettikiinnitin

AMSY-6 järjestelmään liitetään PC, mihin on asennettu tarvittava ohjelmisto. Mittausta nauhoitetaan ja voidaan seurata reaaliajassa. Ohjelmisto on erittäin monipuolinen. On mahdollista asettaa esim. hälytysarvoja ja vastaanottaa hälytykset sähköpostiin.

5.4 Mittausten eteneminen

Haasteita toi antureiden kiinnittäminen liikkuvaan kappaleeseen. Toinen asia, joka vaikutti mittauksiin, oli se, että liikkuva kappale synnytti kitkaa, mikä ilmeni akustisena emissiona mittauksissa.

5.4.1 Antureiden kiinnittäminen

Mittasin AE:ta ensin käyttäen vain yhtä sensoria koekappaleissa. Sensori kiinnitettiin koesauvan yläpään magneettikiinnittimellä. Antureiden oikeanlainen kiinnitys varmistettiin aina ASTM standardien mukaisilla kynäterän katkaisukokeilla. Osalle koekappaleista tehtiin AE-mittaukset käyttäen kahta sensoria. Toinen sensoria lisättiin samalla tavalla kappaleen alapään kuin yläpuolinen sensoria.

5.4.2 Ohjelmistoasetukset

Nauhoituksen taajuusalueeksi valittiin 25-850 kHz. Muita oleellisia asetuksia olivat esim. signaalien amplitudin (threshold [dB]) raja-asetus, joka määritettiin siten, että nauhoituksen aikana tulevan taustamelun tasoon lisättiin 6 desibeliä. Näin pystyttiin karsimaan merkityksettömiä mittaustuloksia. Toinen oleellinen asetusta oli se, että mille materiaalille ja minkälaiselle rakenteella koe tehdään. Valittiin valmiiksi tehdyistä tehdasasetuksista metallisille rakenteille tarkoitetun asetuksen.

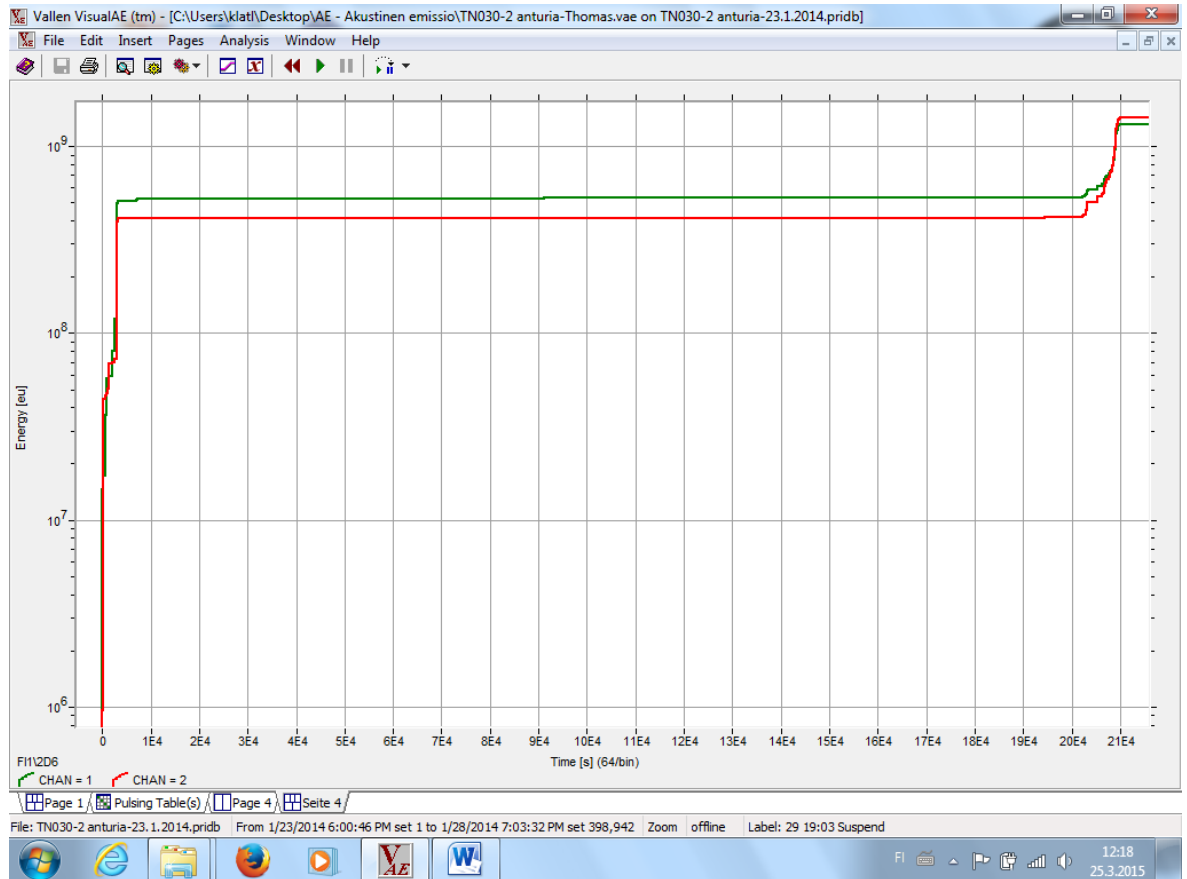
5.4.3 Nauhoitus ja väsytykset

Koekappaletta rasitettiin edellä mainituilla arvoilla, kunnes se murtui kavennetusta keskikohdasta. Hydraulinen väsytykkoelaitteisto aiheuttivat melko suurta taustamelua nauhoituksissa. Yhden koekappaleen nauhoitukset kestivät useita päiviä.

5.5 Tulokset ja niiden analysointi

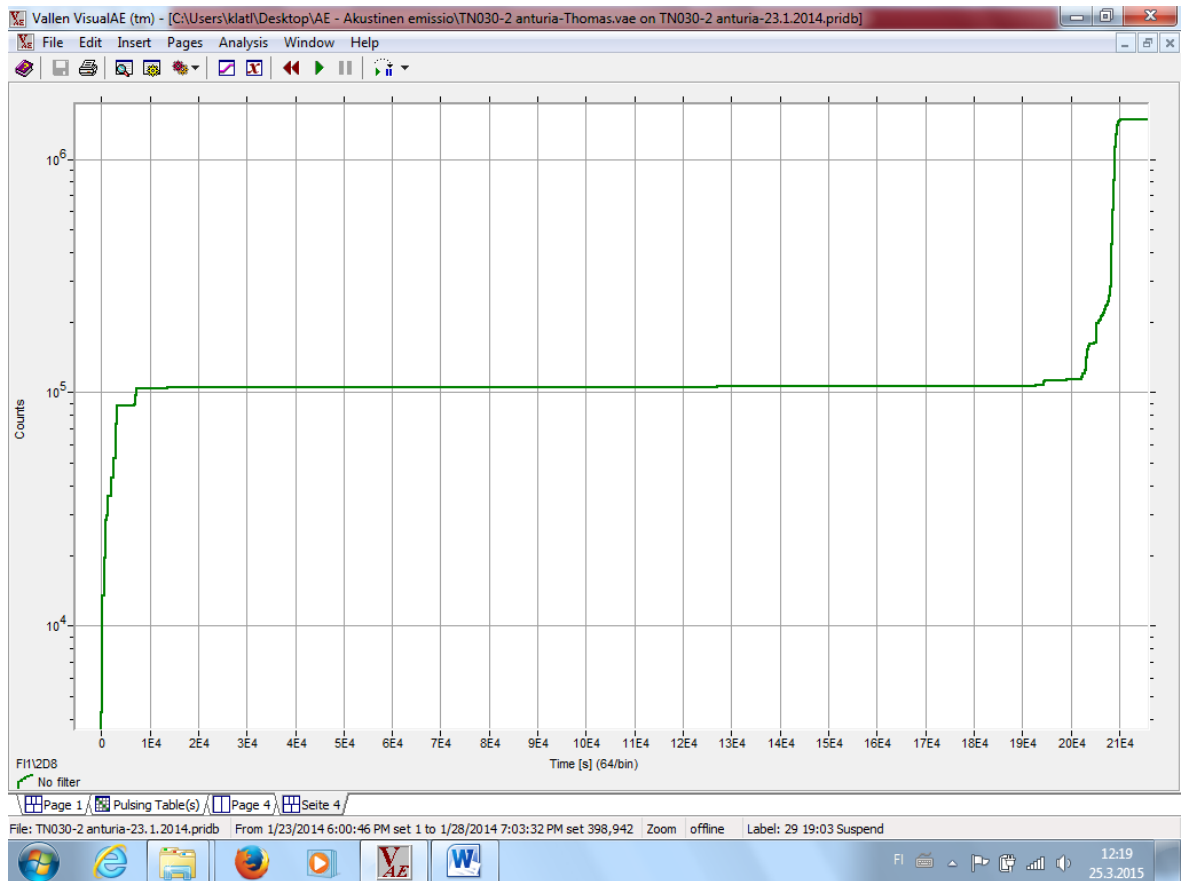
Kun mittaukset olivat suoritettu, voitiin niitä tarkastella ja lisätä esim. erilaisia diagrammeja ja suodattimia, jotka sulkevat epäoleellista tietoa pois. Kuviossa 8 on esitetty diagrammi, joka kuvastaa mitattua energiaa. Energian muutos on mitattu käyttäen kahta sensoria. 20E4

sekunnin eli noin 55 tunnin ja 30 min kohdalla nähdään, että materiaalissa alkaa tapahtumaan muutoksia. Mitattu energian määrä kasvoi nopeasti n. 2 tunnin ja 30 min ajan, kunnes kappale rikkoontui täysin ja testi lopetettiin.



KUVIO 8. Energia nousu

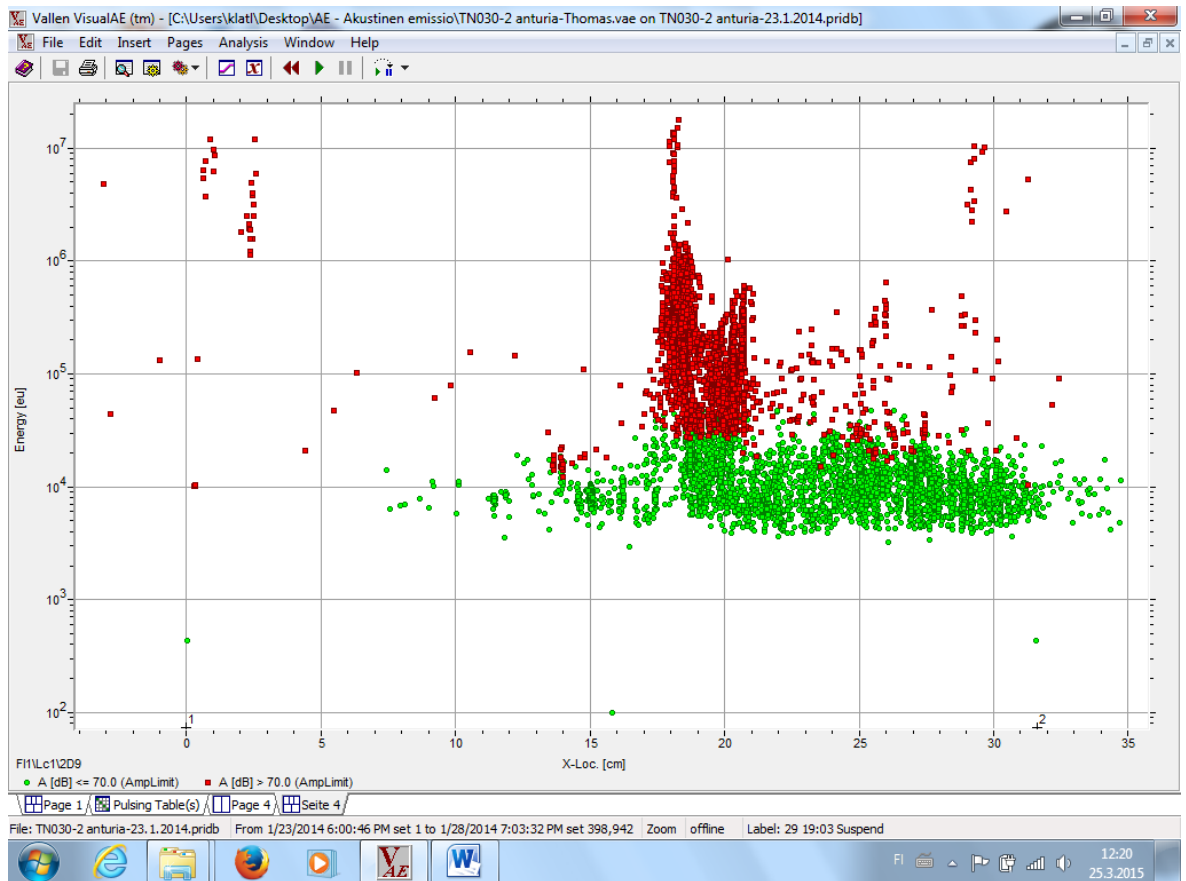
Kuviossa 9 on sama mitattu kappale, mutta diagrammissa on esitetty energian sijasta luku (counts), joka ilmaisee, kuinka monta kertaa AE-signaali on ylittänyt asetetun amplitudi kynnyksen. Päätelmät ovat siis samat kuin kuvassa 8.



KUVIO 9. AE-signaalien nousu

Kuvion 10 diagrammissa on kuvattu myös sama kappale. X-akseli kuvaa mitatun AE signaalin sijaintia. Tähän diagrammiin on lisätty jälkepäin suodatusasetuksia. Luku (counts) on oltava vähintään 4, mitattu AE amplitudi [dB_{AE}] (burst signal peak amplitude) on oltava vähintään 65 dB, AE signaalin nousuaika (burst signal rise-time) vähintään 10 μs ja AE signaalin energia (burst signal energy) oltava vähintään vähintään 200E02. Näillä suodatusasetuksilla poissuljettiin epäoleellisia AE-signaaleja ja jäljelle jäivät voimakkaammat ja nousuajaltaan pidemmät signaalit, jotka liittyvät särönkasvuun.

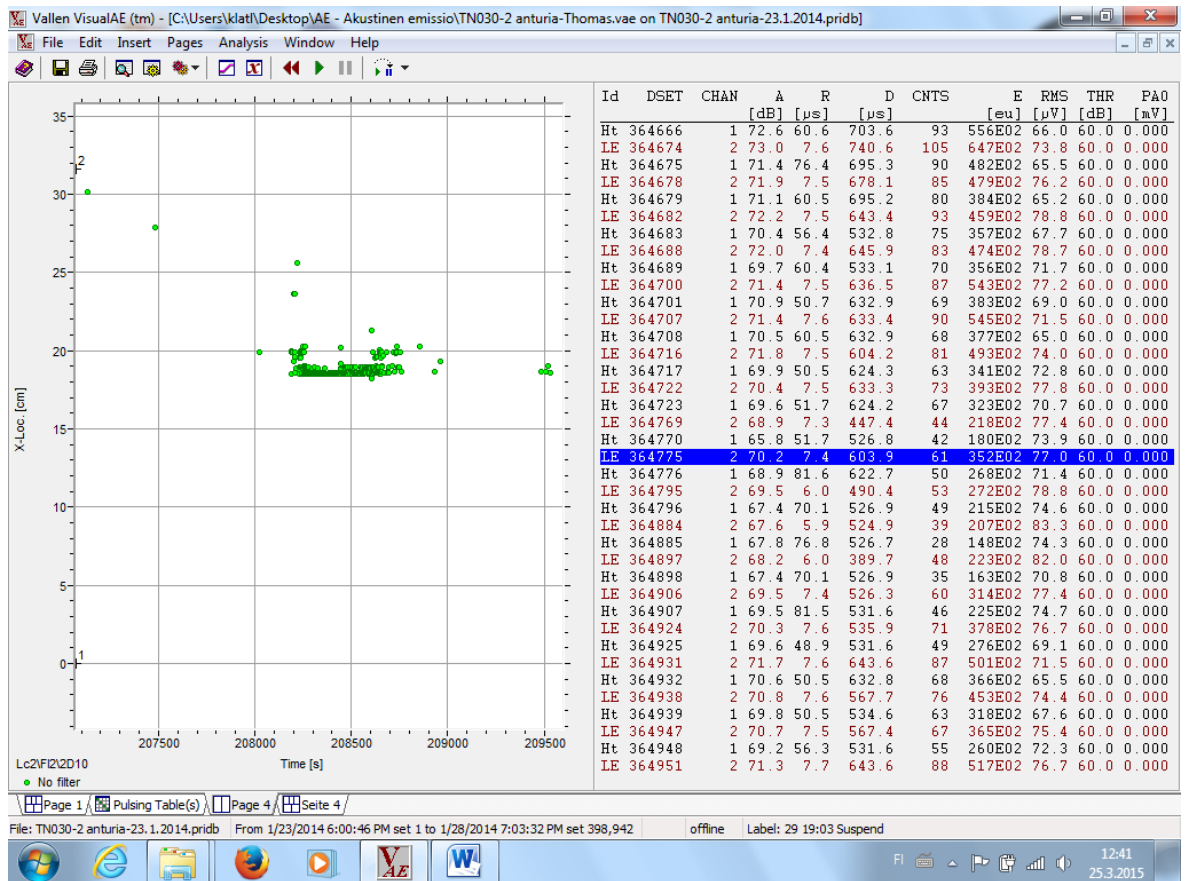
Tutkimuksessa Acoustic Emission of Composite Vessel, jonka tekijät ovat Hyun-Sup Jee and Jong-O Lee, on tutkittu komposiittipainesäiliön kestävyyttä AE-mittauksilla ja tässä tutkimuksessa on mainittu, että AE-signaalin nousuaika näyttää olevan 10 μs ja 100 μs :n välillä ja noin 10 μs nousuaika liittyi juurikin särön kasvuun.



KUVIO 10. AE-signaalien sijainti kappaleessa

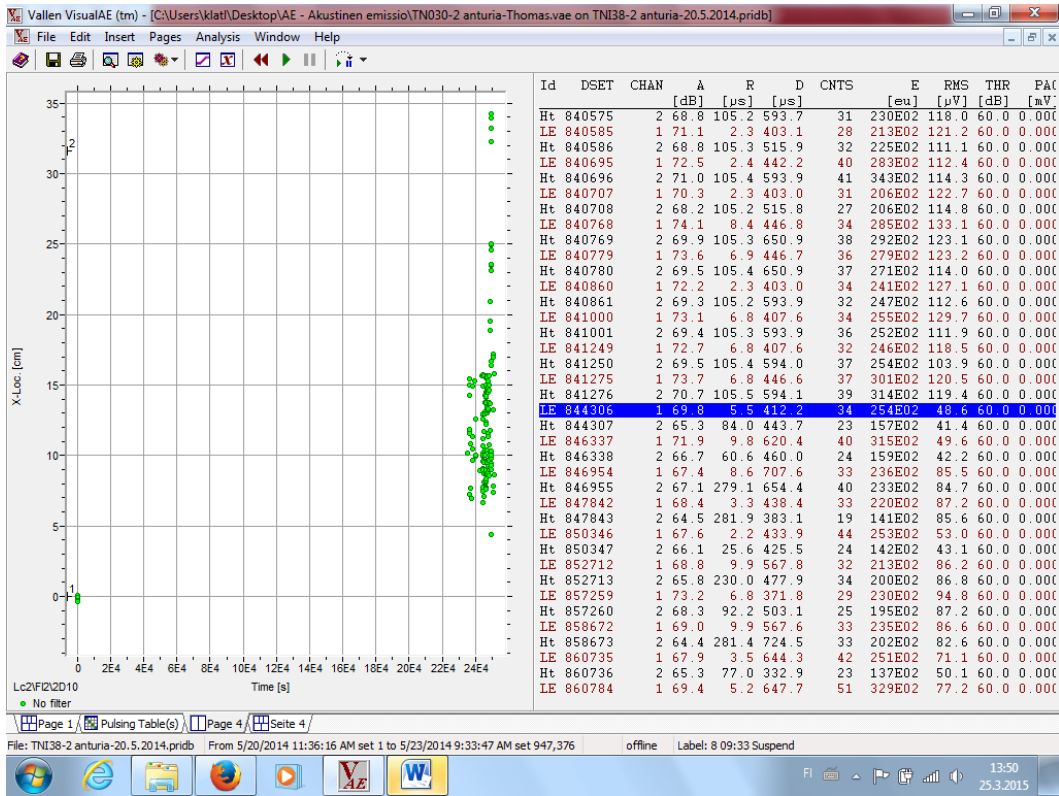
Kuvion 10 perusteella nähdään, että kappaleen särkymispiste ei kohdistunut aivan keskikohtaan.

Kuviossa 11 on tutkittu kappaleen särön paikannusta. Pystyakseli kuvaa AE-signaalin sijaintia ja vaaka-akseli ajankohtaa. Suodatusasetukset ovat samat kuin edellä lukuun ottamatta lisättyä AE-signaalin kestoasetusta, joka asetettiin olemaan vähintään 10 μ s. Myös kappale on sama. Kuviossa 11 voidaan havaita, että särön keskittymä on lähellä keskikohtaa. Kuviossa 10 on mahdollisesti ollut mukana turhia signaaleja, jotka kuviossa 11 on karsiutunut pois. Testikappale on muodoltaan monimutkainen ja on mahdollista, että AE signaalin heijastumia on tullut hydraulilaitteistosta.

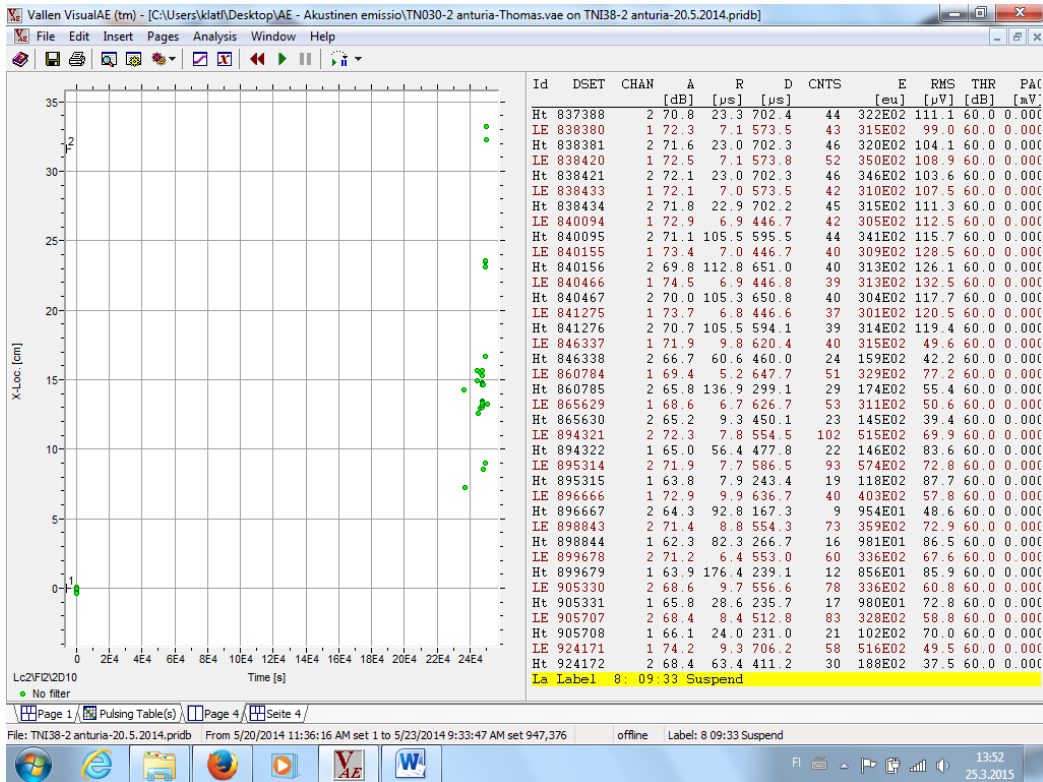


KUVIO 11. AE:n paikantaminen

Kuviossa 12 ja 13 on sama testikappale, mutta eri kuin kuvioissa 8-11. Kuviossa 12 suodatusasetukset on samat kuin kuviossa 11. Kuviossa 13 suodatusasetuksen AE-signaalin energian vähimmäismäärä on nostettu arvoon 300E02. Kuvioista 13 nähdään, että voimakkaimmat signaalit ovat lähtöisin kappaleen keskikohdasta.

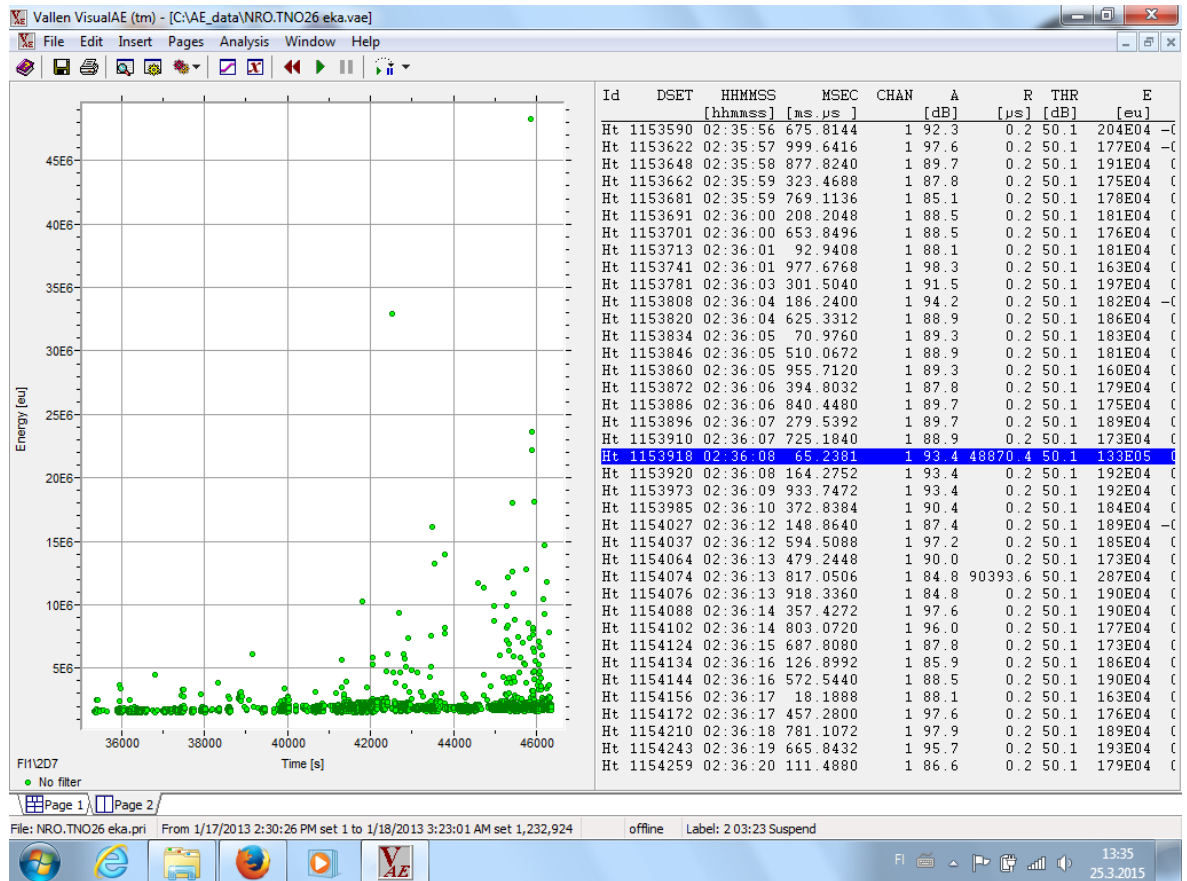


KUVIO 12. AE:n paikantaminen



KUVIO 13. AE:n paikantaminen

Kuviossa 14 on eri testikappale kuin edellä olevat ja käytetty ainoastaan yhtä anturia mittaauksissa. Suodatusasetukset poikkeavat siten, että AE-signaalin energia on oltava vähintään $150E04$ ja AE amplitudi [dB_{AE}] oltava vähintään 82 dB.



KUVIO 14. Mittaustulos yhdellä anturilla

Kuviosta 14 nähdään miten testikappaleen rikkoutumisesta johtuvat signaalit kasvavat loppua kohden.

KUVIO 15. Murtuneet testikappaleet



Kuviossa 15 ensimmäisessä kappaleessa näkyy selvästi, mistä kohden kappale on murtunut. Toisessa kuvassa laserpinnoitemateriaali on säröytynyt.

6 KORROOSION VAIKUTUS JA AE MITTAUS

Tämä luku on lainattu Gordon yliopistolla tehdystä englanninkielisestä artikkelista. Artikkelin perehtyy AE-mittauksiin ja korroosion aiheuttamiin muutoksiin koekappaleissa.

Korroosio aiheuttaa hajoamisia metalleissa ja metalliseoksissa. Korroosion aiheuttamat kustannukset ovat suuria. Teollisuus kamppailee jatkuvasti korroosion aiheuttamia vahinkoja, kuten putkistovuotoja ja rakenteiden tai laitteiden hajoamista vastaan. Lentokoneteollisuudessa ikääntyvien lentokoneiden käyttö lisääntyy ja niiden suurin uhka vaurioitumiselle ja ihmisten turvallisuudelle on korroosiosta aiheutuvat vahingot. Yksi tärkeä aspekti korroosion hallinnassa tai sen estämisessä on korroosion seuranta.

Merkittävimmät toiminnot korroosion seurannassa ovat:

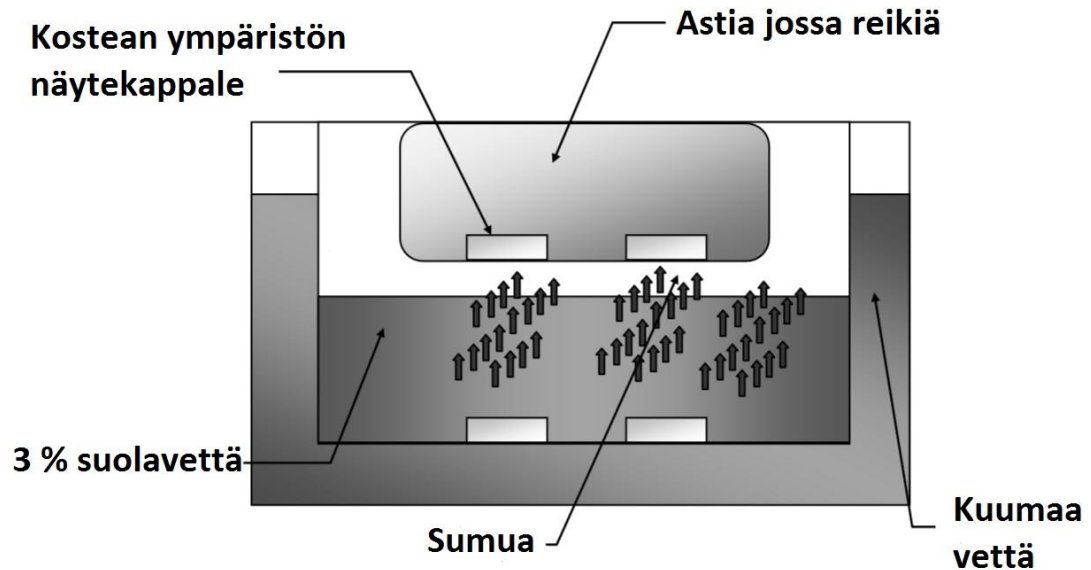
- Korroosio-ongelmien diagnosointi
- Aktiivisten korroosiokohtien tunnistaminen
- Korroosiokontrollin seurantatapojen seuranta (katodisuojaus, korroosionestoaineet jne.)
- Kehittynyt varoitusjärjestelmä, joka ennakoii korroosiosta aiheutuvaa vahinkoa
- Tarkastusten ja huoltoaikataulujen määrittäminen
- Rakenteen eliniän arvioiminen.

The Robert Gordon yliopistolla on tehty tutkimus korroosion seurannasta käyttäen AE-menetelmää. Kappaleita myös tutkittiin elektroni- ja atomivoimamikroskooppilla. Tutkimuksen tarkoitus oli kehittää tietokanta tai tapauskohtainen strategia, jonka avulla voidaan ennustaa korroosion aiheuttama vakavuus tietynlaisissa ympäristöolosuhteissa. Koekappaleiden materiaaleina käytettiin alumiiniseoksista kappaletta ja kahden tyyppistä teräskappaletta. Näytekappaleet asetettiin korroosiotesteissä kahteen kammioon, jotka olivat ympäristöolosuhteiltaan erilaiset. Kammioiden ympäristöolosuhtetyypit olivat kostea ja meriympäristömäinen. Kammioiden lämpötila pidettiin 60 celsiusasteessa ja suhteellinen kosteus oli 95 %. Ainoa ero kammioiden välillä oli, että meriolosuhtekammiossa näytteet upotettiin astiaan, jossa oli 3 prosentista suolavettä. Kostean ympäristön kammiossa näytteet altistuivat suolasumulle vain kammioista itsestään tulleen suolan seurauksena. Näytteitä pitoaika kammioissa oli 54 päivää.

Koekappaleiden materiaalit olivat:

- Teräs EN1A (Bright BS 970 230M07 ENDS BLACK)
- Teräs EN3B (Bright BS 970 080A15 ENDS BLACK)
- Alumiini (Alloy and Temper 6082-T6).

Kuvio 16 esittää kammion ja testikappaleiden asettelun.

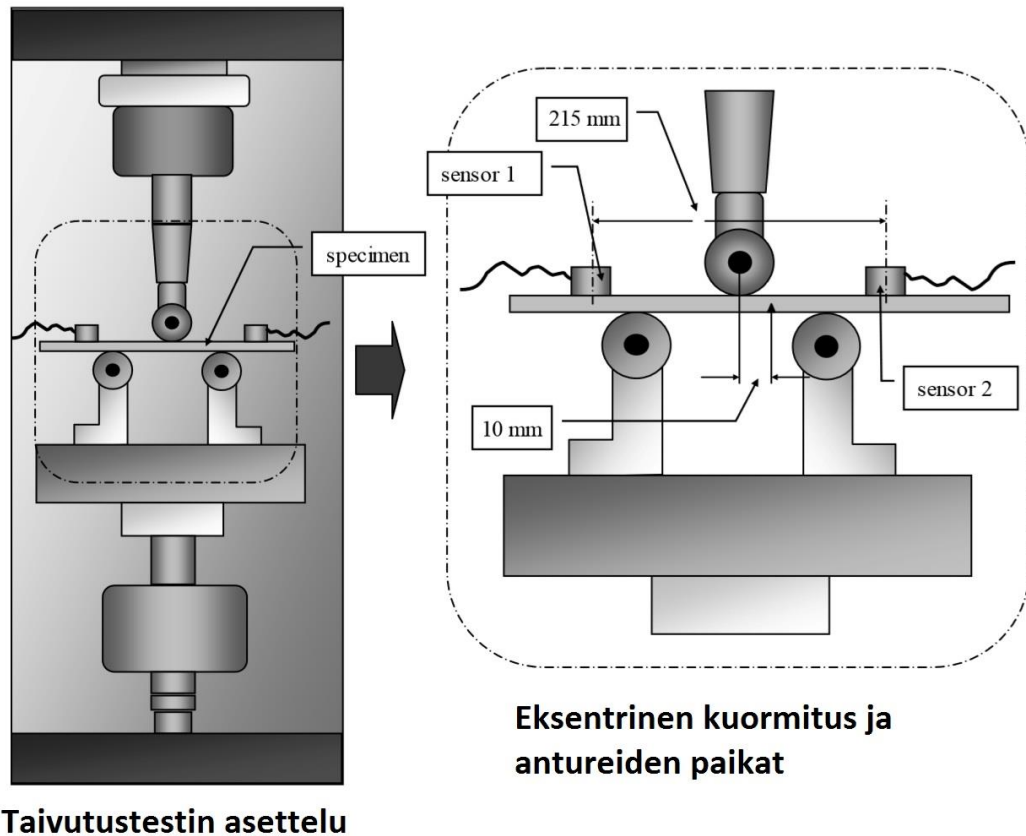


KUVIO 16. Kammio ja testikappaleiden asettelu

Korroosiolle altistuneille ja vertaileville koekappaleille tehtiin 3 eri tyyppistä testiä:

- Vetokoe
- Kolmen pisteen taivutuskoe
- Kolmen pisteen syklinen väsytysoe.

Näytteet putsattiin ja kuivattiin ennen testejä. AE-järjestelmänä käytettiin Vallen AMSY4. Näytteiden pintaan asennettiin kaksi SE150kHz anturia kokeiden ajaksi. AE nauhoitusta jatkettiin kokeissa siihen asti, että havaittiin kappaleen vahingoittuminen. Kuviossa 17 on esitetty taivutuskokeen asettelu.

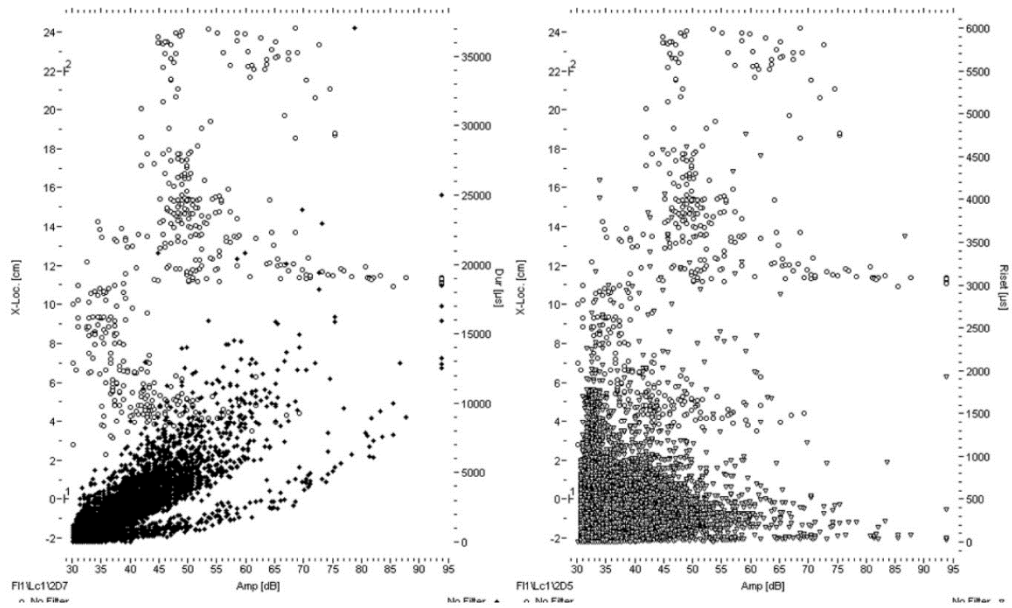


KUVIO 17. Taivutustestin asettelu

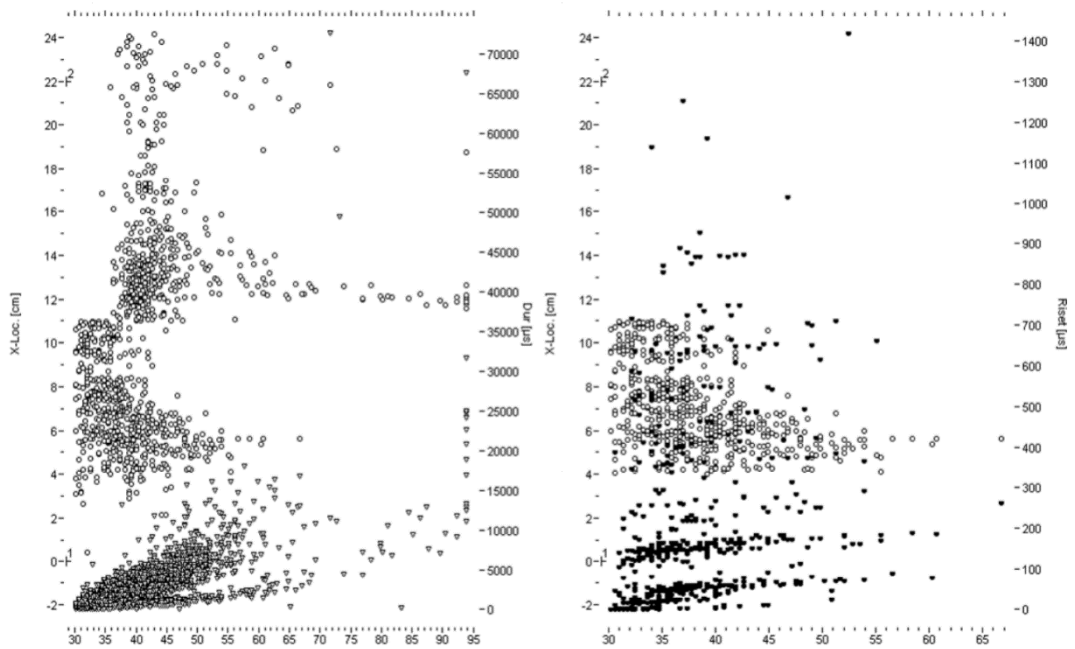
Mikroskooppitutkimuksissa havaittiin korroosion aiheuttamia seurauksia näytteissä. Korroosiolle altistuneiden EN1A- ja EN3B -näytteiden mikrorakenteiden välillä havaittiin selvästi laajoja erilaisuuksia. AE-mittauksilla tutkittiin ympäristön ja kuormituksen vaikutusta kappaleen lujuuteen ja sitkeyteen. Kuviossa 18 on esitetty alumiinikappaleen taivutustestin AE mittaustulokset eri ympäristöolosuhteissa olleille kappaleille. Keskikohdassa, johon taivutuspiste kohdistuu, havaittiin enemmän AE aktiivisuutta. Suurin osa AE tapahtumista kappaleen keskikohdassa oli korkea-amplitudista, hitaasti nousevia ja pitkäkestoisempia. Tämä osoittaa, että materiaalissa on tapahtunut vakavia vahinkoja.

KUVIO 18. Taivutuskoee alumiinikappaleille: location, rise-time/duration ~ peak amplitude

(a) vertailukappale (b) kostean ympäristön korroosiokappale



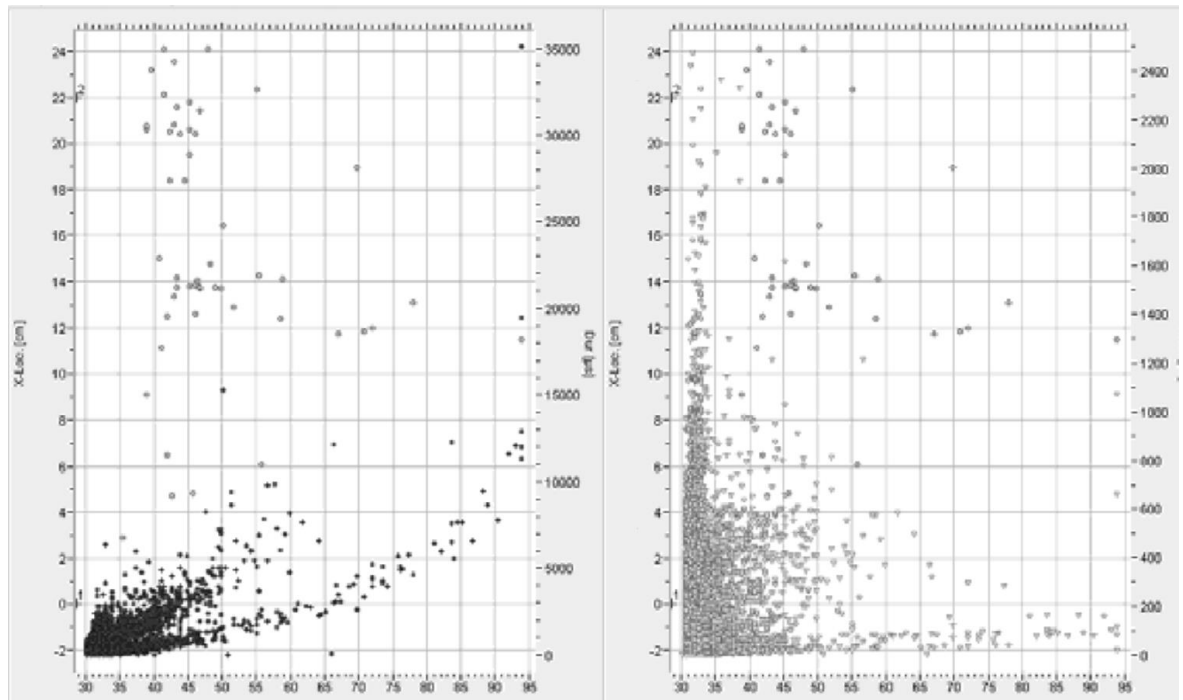
(a)



(b)

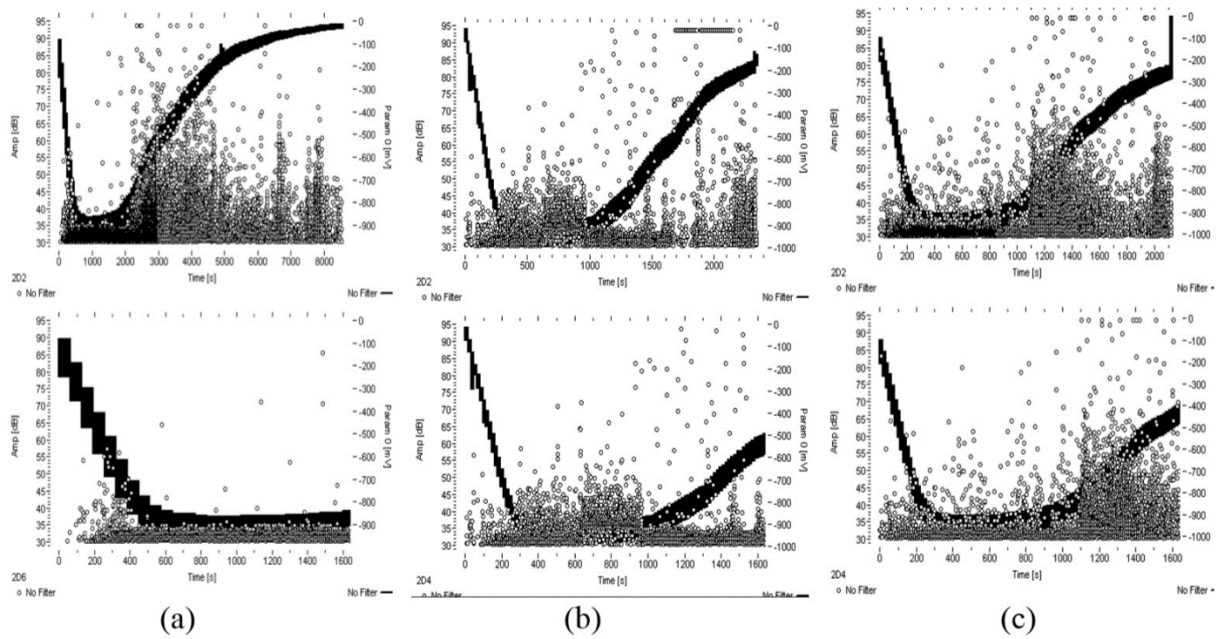
KUVIO 18. (jatkuu)

(c) meriympäristön korroosiokappale



(c)

KUVIO 19 käsittelee kolmen pisteen taivutuskokeen kuormitushistoriaa (vakiona 0.6mm / min rasmus) alumiinikappaleen murtumispisteeseen asti. Vertailutarkoituksessa alemmassa rivissä on yhtä pitkä aikajakso, joka on 1600s. On näennäistä, että kostea ympäristö on aiheuttanut enemmän haurautta kappaleessa kuin merimäinen ympäristö ja tuottaa myös vahvempia energiasignaaleja. Suurella osalla näitä korkea-amplitudisia signaaleja on pidempi kesto aika, lyhyt nousuaika ja ovat sijainneet kappaleen keskikohdassa.



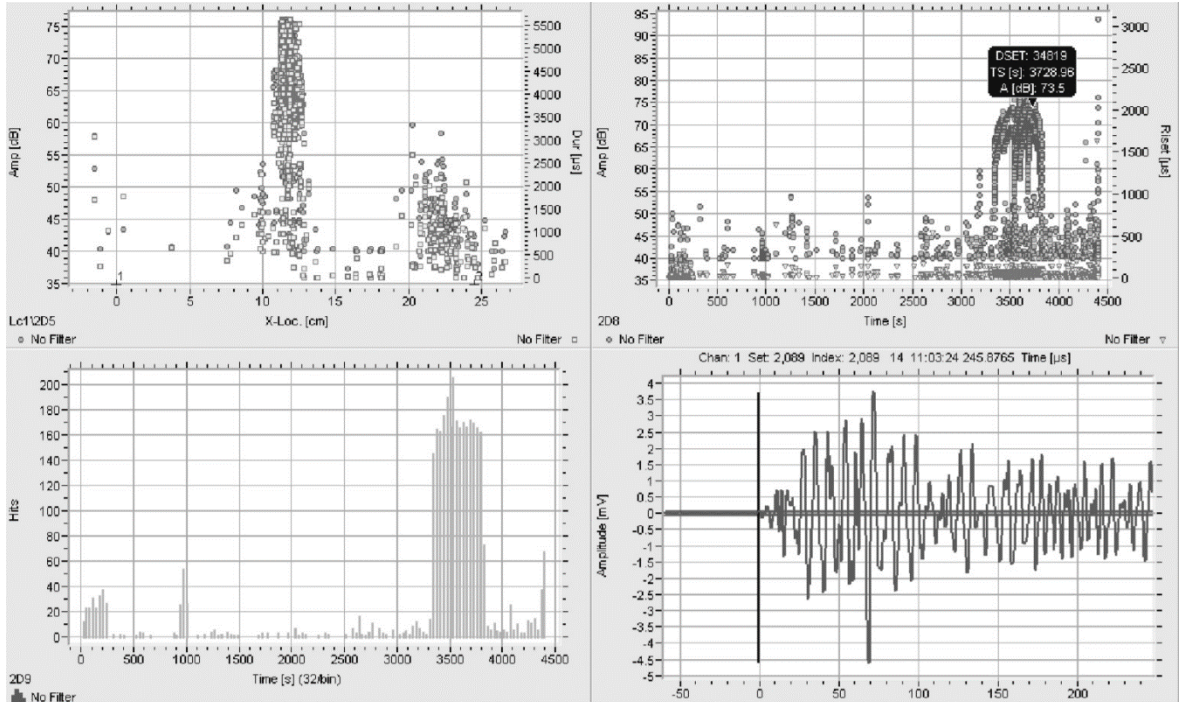
KUVIO 19. Taivutuskoe alumiinikappaleille: amplitude ~ load vs time, [>1600 s, 1600s] plots (a) reference (b) marine (c) humid

Väsytykskokeen AE-tuloksia on kuvattu kuviossa 20. Vertailun vuoksi kaikille kappaleille on asetettu samat mittaus- ja analysointiasetukset. Ylimmän rivin ensimmäisessä kuviossa näytetään huippuamplitudi, amplitudin kesto sekä paikka ja seuraavassa kuviossa näytetään huippuamplitudi, amplitudin nousuaika sekä testin aika. Kuvioista voidaan nähdä, että AE aktiivisuus on korkeampi kappaleen keskikohdan alueella. Suurimmalla osalla keskikohdan alueelta tulleilta signaaleilta on pidempi tapahtuman kesto, joka on yhdistynyt hitaasti nouseviin ja suhteellisesti korkeampiin amplitudeihin. On ilmeistä, että suuri osa näistä tapahtumista liittyvät kappaleen halkeamisen syntyyn, sen kasvuun ja etenemiseen.

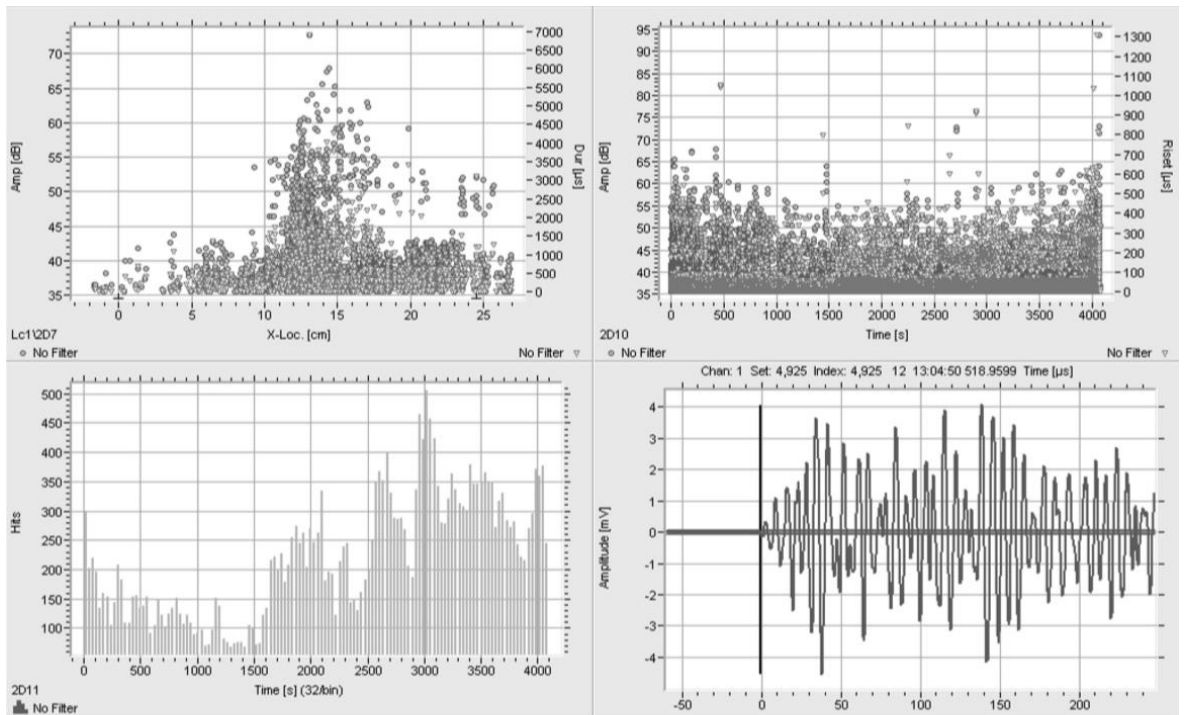
Alempaan riviin on kuvastettu kuvastettu AE-tapahtumien historia ja nauhoitettu signaalimuoto. Korroosiolle altistuneilla näytekappaleilla havaittiin AE-tapahtumia koko kappaleessa johtuen korroosiomateriaalin irtoamisesta perusmetallin pinnasta väsytykskuormituksen aikana. Kuitenkin nämä tapahtumat ovat selvästi lyhyt kestoisempia ja matala-amplitudisempia.

KUVIO 20. Väsytykokeen tuloksia: Top row: peak amplitude ~ duration versus location, peak amplitude ~ rise time versus time. Bottom row: hits versus time and signal waveform

(a) reference (b) marine



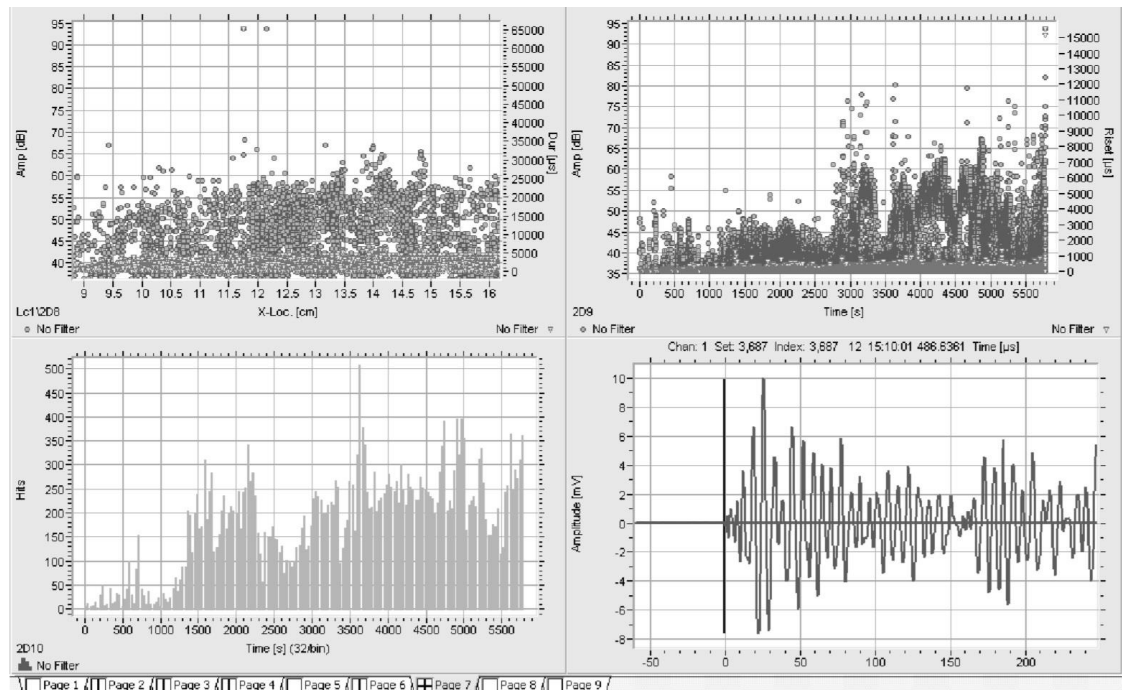
(a)



(b)

KUVIO 20. (jatkuu)

(c) humid



(c)

Vetokokeen tulokset on esitetty kuviossa 21. Referenssikappaleesta saadut tulokset osoittavat, että useat tapahtumat olivat lyhytkestoisia ja matala-amplitudisia. Nämä tapahtumat sijoittuivat lineaarisesti elastiselle alueella ja tapahtuivat alumiinin myötörajan alapuolella. Venyvällä alueella, juuri ennen kuin kappale murtui, sarja korkea-amplitudisia ja pidempikestoisempia tapahtumia nauhoitettiin. Nämä tapahtumat esiintyivät kappaleen deformaation ja mikrohalkeilun aikana.

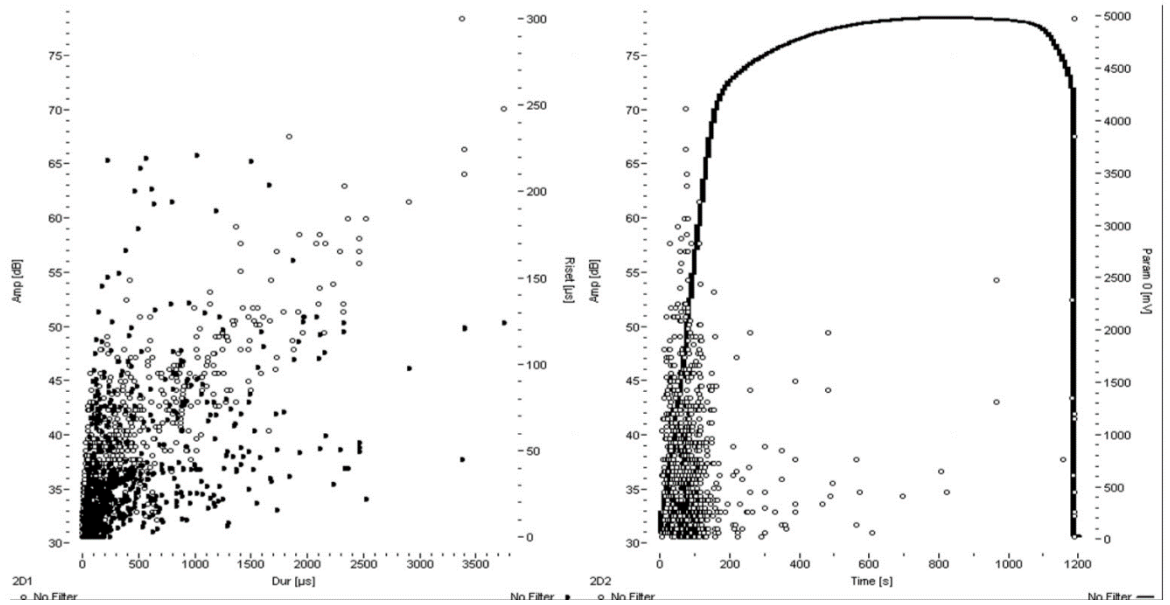
Kosteassa ympäristössä olleen kappaleen AE-tapahtumat, jotka nauhoitettiin elastisilla ja venyvillä alueilla olivat enemmän verrattavissa referenssikappaleeseen. On ilmeistä, että korrosoiva ympäristö vaikutti näytekappaleeseen ja johti suurempaan määrään AE-signaaleja ennen kappaleen lopullista murtumista.

AE-aktiivisuus oli suurin meriympäristössä korroosiolle altistetulla kappaleella verrattuna referenssikappaleeseen ja kostean ympäristön kappaleeseen. Linearisella elastisella alueella

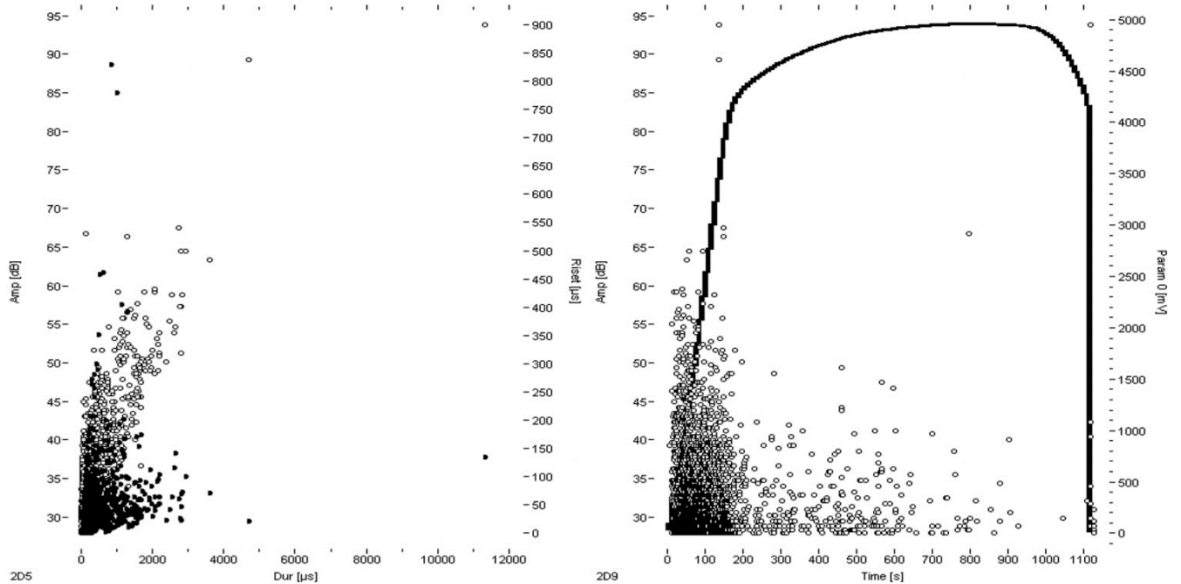
AE-aktiivisuus oli samantapaista kuin referenssikappaleella mutta lisääntyi enemmän myötörajan lähellä ja venyvällä alueella.

KUVIO 21. Vetokoe (a) vertailukappale (b) kostean ympäristön kappale

(a)



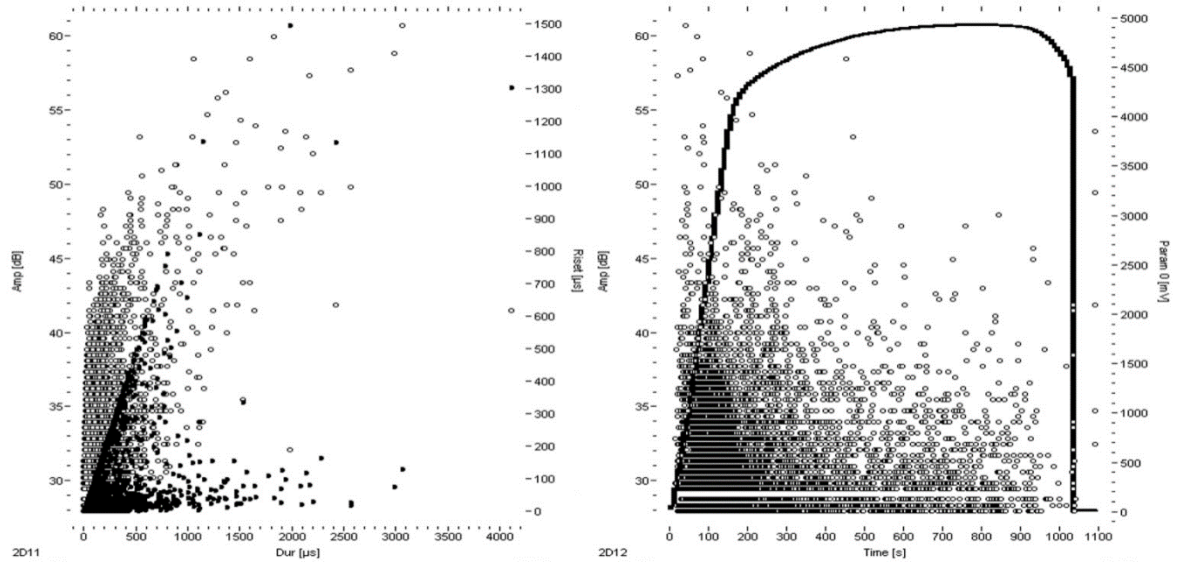
(b)



KUVIO 21. (jatkuu)

(c) meriympäristön kappale

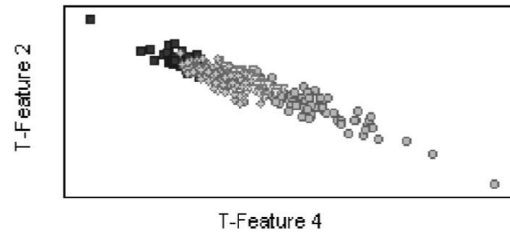
(c)



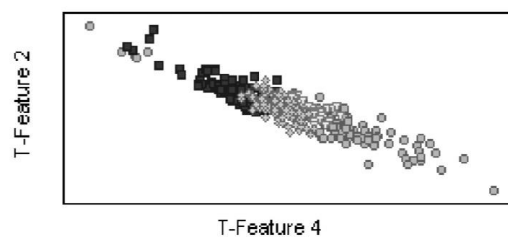
Aaltomuodot, jotka nauhoitettiin kaikkien kolmen testin aikana alumiini- ja teräskappaleilla analysoitiin käyttäen valvomatonta luokitusta. Näin huomattiin ero useiden eri tapahtumien välillä, joita olivat deformaatio, korroosion aiheuttama partikkelien irtoaminen kappaleesta, kiinnityksestä aiheutuvat kitka ja muut lähteet, jotka esiintyivät näytekappaleessa kuormituksen aikana.

Kuviossa 22 on esitetty tyypillinen valvomattoman luokituksen, ominaisuuden poiston ja rykelmän tulokset. Rykelmän numero yksi muodostavat ympyrät, jotka kuvaavat korkea-amplitudisia ja pitkäkestoisia tapahtumia. Tällaiset signaalit luonnehtivat särön syntymisestä ja kasvusta. Referenssikappaleen (c) rykelmistä nähdään, että jotkin rykelmistä ovat jääneet vajaiksi.

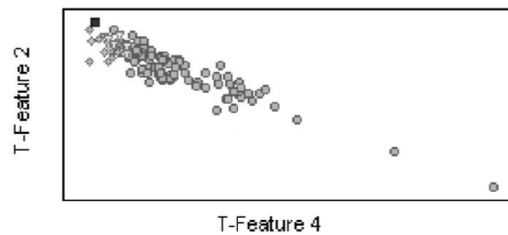
KUVIO 22. Vetokokeen valvomattoman luokituksen tulokset



(a) Unsupervised classification on corroded (humid) aluminium sample (alhc)



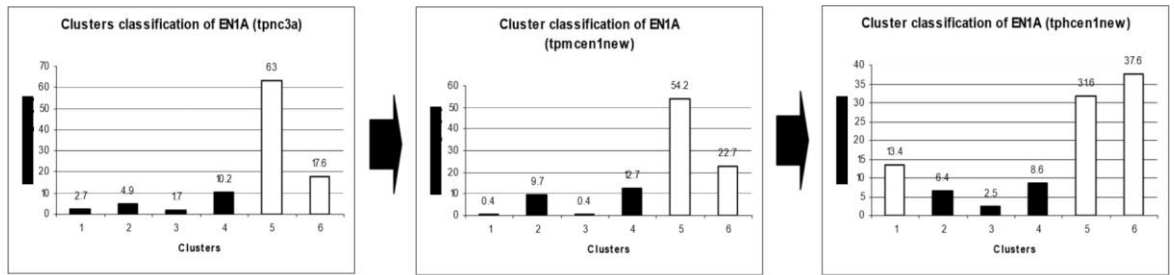
(b) Unsupervised classification alhc applied to marine corroded sample almc



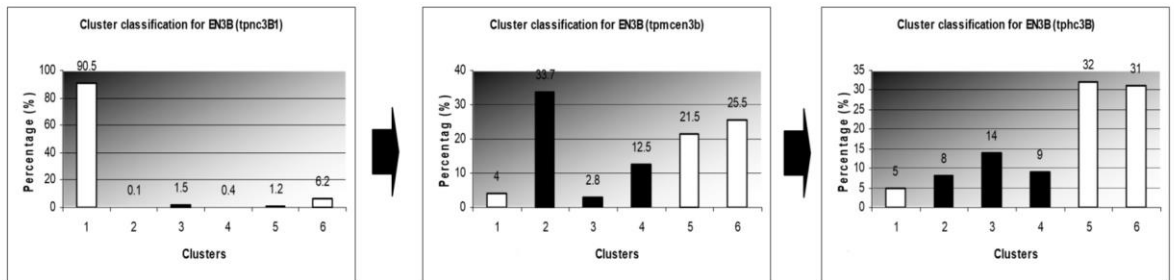
(c) Unsupervised classification alhc applied to reference sample alnc

Väsytykskokeen tulokset analysoitiin käyttäen myös valvomattonta luokitusta. Tutkimuksesta saadut tiedot ovat antaneet tarpeeksi luottamusta luoda valvottu luokitus tulevia yrityksiä varten, joissa kerätään tietokantaa korroosion valvonnasta. Kuusi eri määriteltyä rykelmää on esitetty alla olevissa histogrammeissa (kuvio 23). Histogrammeissa on terästen (EN1A ja EN3B) ja alumiinin kolme eri testimoodin tulokset. Ensimmäinen histogrammi kuvaa referenssikappaletta, toinen meriympäristöolosuhteissa ollutta kappaletta (marine corrosion) ja kolmas kosteassa ympäristö ollutta kappaletta (humid corrosion).

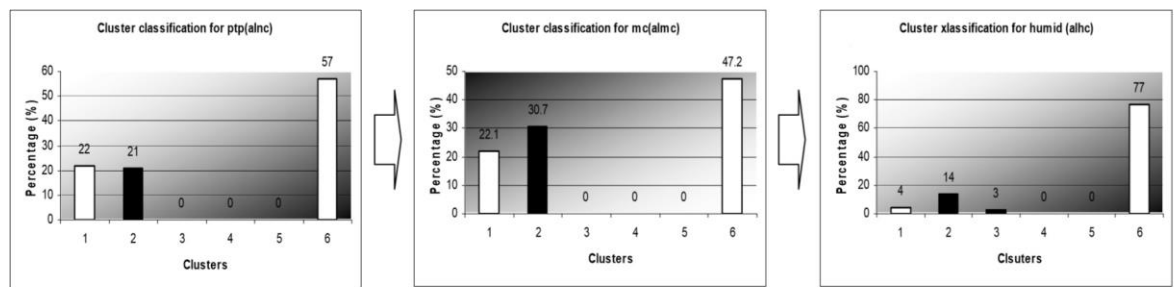
EN1A



EN3B



Aluminium



KUVIO 23. Väsytykokeen valvomattoman luokituksen tulokset

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli havaita akustisen emission mittaustekniikalla koekappaleissa tapahtuvia muutoksia, kuten särön alkaminen, suoritetun väsytykseen seurauksesta. AE-signaalit poimittiin nauhoituksissa ja suodattamalla epäoleellisia signaaleja löydettiin särön alkamisajankohta ja paikka.

Tutkimuksia hankaloitti väsytykseen hydraulilaitteisto, joka tuotti turhia AE-signaaleja nauhoituksiin. Toinen ongelma oli, että koekappale liikkui nauhoituksen ajan, joten anturin kiinnitys tuotti mittauksille epävarmuutta. Yhden kappaleen nauhoitukset saattoivat kestää jopa kymmeniä päiviä.

Akustisen emission mittaustekniikoiden mahdollisuudet ovat erittäin laajat. Tässä tutkimuksessa pääsimme kuitenkin omaan tavoitteeseen ja perehdyttiin niin teoriaan kuin itse mittauksiin ja tulosten analysointiin.

LÄHTEET

Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. Kunnossapitoyhdistys 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki : KP-Media.

Sarkimo, H. 1990. Akustinen emissio prosessiteollisuuden kunnonvalvontamenetelmänä. Tiedotteita 1106. VTT ESPOO

Hyun-Sup, J. and Jong-O, L. 2012. Acoustic Emission of Composite Vessel. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/38397.pdf>

Siddiqui, A.M., Abdu, A., Mahen, A. & Choudhury, A.H. 2004. School Of Engineering, the Robert Gordon University. Aberdeen, Scotland, U.K. A comparative study of Corrosion in an Aluminium alloy and mild steel using acoustic emission and microscopic techniques.