



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

EMAT-LAITTEISTON KÄYTTÖ NDT-TARKASTUKSISSA

Keskipitkän kantaman ultraääni MRUT

TEKIJÄ:

Erkka Nikka

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Erkka Nikka	
Työn nimi EMAT-laitteiston käyttö NDT-tarkastuksissa	
Päiväys 30.04.2021	Sivumäärä/Liitteet 30
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani DEKRA Industrial Oy	
Tiivistelmä <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin DEKRA Industrial Oy:n kanssa osana yrityksen kehittämistyötä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää EMAT-laitteiston hyödyntäminen keskipitkän kantaman ultraäänitestauksessa. Ennen opinnäytetyön aloittamista kyseistä laitteistoa oli käytetty teollisuuden paksuusmittauksiin.</p> <p>EMAT-laitteiston soveltuvuutta tutkittiin käytännön testauksella keskipitkän kantaman ultraäänellä putkistojen korroosiotarkastuksissa. Keskipitkän kantaman ultraääni hyödyntää leikkausaaltoja, jossa ääniaalto täyttää koko ainevahvuuden ja samalla hyödyntää signaalin heikkenemiseen sekä heijastukseen perustuvia moodeja.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena voidaan todeta, että EMAT-ultraäänilaitetta käytettäessä korroosiotutkimuksiin tällä hetkellä tarvitaan sen tueksi toinen sopiva NDT-menetelmä esimerkiksi piezosähköinen ultraäänilaitte todentamaan havaittu vikatyyppejä, sen koko ja paikka.</p>	
Avainsanat MRUT, EMAT, Ultraääni, NDT	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author Erkka Nikka	
Title of Thesis Use of EMAT-Equipment for NDT-Inspections	
Date 30 April 2021	Pages/Appendices 30
Client Organisation DEKRA Industrial Oy	
Abstract <p>This thesis was commissioned by DEKRA Industrial Oy as part of the company's development work. The purpose of the thesis was to find out the utilization of EMAT equipment in medium range ultrasonic testing. Prior to the commencement of the thesis this equipment had been used for thickness measurements.</p> <p>The suitability of the EMAT equipment was investigated by practical testing with medium range ultrasound for corrosion studies in pipelines utilizing shear waves in which the sound wave fills the entire material thickness while utilizing signal attenuation and reflection based modes.</p> <p>As a result of the thesis, it can be stated that when using the EMAT ultrasonic device for corrosion investigations, another suitable NDT method is currently needed to support it for example a piezoelectric ultrasonic device to verify the detected fault type, size and location.</p>	
Keywords MRUT, EMAT, Ultrasonic, NDT	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	DEKRA INDUSTRIAL OY	7
3	RIKKOMATON AINEENKOETUS	8
3.1	NDT-tarkastaja	8
3.2	Volymetrinen tarkastusmenetelmä	8
4	PIETZOSÄHKÖINEN ULTRAÄÄNITARKASTUS	9
4.1	Ultraäänitarkastuksen edut ja haitat	10
4.2	Ultraäänen heijastuminen ja taittuminen	10
4.3	Ultraäänen vaimeneminen	10
4.4	Ultraäänitarkastuksessa löydettyjen virheiden paikannus ja luotettavuus	10
4.5	Perusaineen tarkastettavuus	11
4.6	Rakenteellinen tarkastettavuus	12
4.7	Aaltomuodot	12
4.7.1	Pitkittäisaalto (Longitudinal Wave)	13
4.7.2	Poikittäisaalto (Shear Wave)	13
4.7.3	Pinta-aalto (Rayleigh Wave)	13
4.7.4	Levyaalto (Lamb's Wave)	13
4.8	Ultraäänitarkastustekniikat	13
4.8.1	Pulssikaikutekniikka	13
4.8.2	Läpäisytekniikka	15
4.8.3	Resonanssitekniikka	15
4.8.4	Upotustekniikka	16
4.8.5	Tandemtekniikka	18
4.9	Ultraäänilaitteisto	19
4.9.1	Ultraäänilaitteiston rakenne ja toiminta	19
4.9.2	Näyttötavat	20
5	EMAT (ELECTRO MAGNETIC ACOUSTIC TRANSDUCER)	21
5.1	EMAT-ultraäänen vaatimukset	22
5.2	EMAT laitteisto	22
5.3	EMAT-Laitte Innerec Temate PowerBox H	23
5.4	RF-kela ja magneetti	24

5.5	Tuning moduulit	25
5.6	Enkooderi.....	25
6	MRUT KORROOSION ETSINTÄ.....	26
6.1	Tarkastuslaajuus.....	27
6.2	Tarkastuskohde	27
6.3	EMAT-Laitteen säätäminen	27
6.4	Tarkastuksen suorittaminen.....	28
6.5	Tuloksien analysointi	28
6.6	Magneettisuus ja demagnetointi	28
6.7	EMAT-ultraäänen ja piezosähköisen ultraäänen vertailu.....	28
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOKSET	29
	LÄHTEET	30

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä esitellään rikkomattoman aineenkoetuksen, NDT-tarkastajan ja volymetrisien tarkastusmenetelmien käsitteitä. Opinnäytetyö käsittelee ultraääniteorian osa-alueita, johon liittyy aaltomuodot, käytettävät tekniikat, tarkastettavat kohteet ja materiaalit. Opinnäytetyön pääpaino oli kertoa EMAT-laitteiston hyödyntämistä NDT-tarkastustoiminnassa, jonka tavoitteena oli ratkaista EMAT (Electro Magnetic Acoustic Transducer) -laitteiston hyödyntäminen NDT-tarkastuksissa uusilla osa-alueilla. Opinnäytetyössä etsittiin vastauksia kyseisen laitteiston monipuolisempaan hyödyntämiseen energiateollisuuden tarkastuksissa ja vertailla EMAT-laitteistoa yleisemmin käytössä olevaan piezosähköiseen ultraääneen.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää EMAT- laitteiston hyödyntäminen keskipitkän kantaman ultraääni testauksessa (Medium Range Ultrasonic Testing). Ennen opinnäytetyön aloittamista kyseistä laitteistoa oli käytetty teollisuuden paksuusmittauksiin. EMAT- laitteiston soveltuvuutta tutkittiin käytännön testauksella keskipitkän kantaman ultraäänellä putkistojen korroosiotutkimuksiin hyödyntämällä leikkausaaltoja, jossa ääniaalto täyttää koko ainevahvuuden ja samalla hyödyntää signaalin heikkenemiseen sekä heijastukseen perustuvia moodeja. Työ tehtiin DEKRA Industrial Oy:n kanssa osana yrityksen kehittämistyötä. Opinnäytetyön kirjoittaja toimii tason-2 tarkastajana yrityksessä.

2 DEKRA INDUSTRIAL OY

DEKRA Industrial Oy on sitoutumaton tarkastusyhtiö, jolla on viranomaishyväksyntä. Toiminta alkoi vuonna 1974 nimellä Polartest Oy. DEKRA Industrial Oy:n omistaa kansainvälinen tarkastus- ja testausyhtiö DEKRA SE, jonka pääkonttori on Stuttgartissa, Saksassa. DEKRA on yksi isoimpia tarkastus- ja testausyhtiöitä maailmassa. DEKRAlla on Suomessa tällä hetkellä yli 200 työntekijää ja kaiken kaikkiaan noin 44 000, yli 50 maassa, varmistamassa turvallisuutta, laatua ja ympäristöystävällisyyttä. Suomessa DEKRAn toimipisteitä on Alavudella, Jyväskylässä, Kalantissa, Kemissä, Kouvolassa, Kulloossa, Kuopiossa, Lahdessa, Lappeenrannassa, Naantalissa, Oulussa, Porissa, Raahessa, Savonlinnassa, Tampereella, Turussa, Vaasassa, Vantaalla ja Varkaudessa. (DEKRA Industrial Oy 2021.)

DEKRA työskentelee aktiivisesti yhteistyössä asiakkaiden rinnalla laadun ja turvallisuuden eteen sekä asiantuntijana vaatimusten mukaisuuden arvioinnissa. DEKRA toteuttaa tarkastukset, testaukset ja arvioinnit teollisuuden eri osa-alueilla: teräsrakenteet, ISO 9001, ISO 3834, EN 1090, painelaitteet, sähkölaitteistot, palonilmaisulaitteistot ja sammutuslaitteistot sekä ainetta rikkomatonta testausta (NDT), että materiaalia rikkovaa testausta (DT). (DEKRA Industrial Oy 2021.)

3 RIKKOMATON AINEENKOETUS

Rikkomaton aineenkoetus eli NDT-menetelmä (NDT, Non Destructive Testing) on osa tuotteiden, tuotannon alojen ja materiaalien laadunvarmistusta. Menetelmän avulla varmistetaan, että tuote tai materiaali täyttää sille asetetut käyttäjän tai standardin vaatimukset ilman, että tuotetta tai materiaalia rikotaan. NDT-tekniikkaa käytetään perusteellisuuksessa, kunnonvalvonnassa, raskaassa metalliteollisuudessa, energiatekniikassa ja prosessiteollisuudessa. NDT-tarkastuksen tavoitteena on antaa tietoja mahdollisista virheistä. Virheitä voivat olla esimerkiksi hitsauksessa syntyneet virheet tai käytön aikaiset virheet, joita ovat korroosion aiheuttama syöpyminen ja materiaalin väsymisen seurauksena tulevat säröt. Lopputuloksena NDT-menetelmällä halutaan varmistaa, että suunniteltu laatutaso saavutetaan ja varmistetaan tuotteen turvallisuus, jottei siitä aiheudu turvallisuusriskiä ympäristölle tai ihmisille. NDT-menetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään, joita ovat pintamenetelmä tarkastukset ja volymetriset tarkastusmenetelmät. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi kahta hieman toisistaan eroavaa volymetristä tarkastusmenetelmää. (Martikainen 2009, 160.)

Tunnetuimpia käytössä olevia NDT-tarkastusmenetelmiä ovat: silmämääräinen tarkastus (Visual Testing, VT), tunkeumanestetarkastus (Penetrant Testing, PT), magneettijauhetaarkastus (Magnetic Testing, MT), radiografinen tarkastus (Radiography, RT), ultraäänitarkastus (Ultrasonic Testing, UT), pyörrevirtatarkastus (Eddy Current Testing, ET) ja vuotokoe (Leak Testing, LT). Vähemmän tunnetuimpia käytössä olevia menetelmiä ovat: akustinen emissio (Acoustic Emission, AE), Barkhausenmenetelmä (Barkhausen Noise, BNA), jännite-eromittaus (Potential Drop), termografia (Thermography), holografia (Holography) ja tomografia (tomography). (DEKRA Industrial Oy 2021.)

3.1 NDT-tarkastaja

NDT-tarkastaja on tuotannosta riippumaton henkilö, joka suorittaa standardien ja erilaisten työohjeiden mukaisesti ainetta rikkomatonta tarkastusta laadunvarmistamiseksi. NDT-tarkastaja täytyy olla pätevoidetty ja sertifioitu EN ISO 9712-standardin mukaisesti siihen tarkastusmenetelmään, jolla tarkastaja kyseessä olevan tarkastuksen suorittaa. SFS-EN ISO 9712 pätevoidintijärjestelmän mukaan voidaan henkilö pätevoidä ja sertifioida tasoille 1, 2 ja 3, joista 3 tason henkilö on korkeimmin pätevoidetty, sertifioitu ja osoittanut olevansa pätevä suorittamaan ja johtamaan hänen sertifiointialueensa piiriin kuuluvaa NDT-toimintaa. Rikkomatonta aineenkoetusta tekevä työntekijä tarkastaa materiaalin tai tuotteen siinä olevien poikkeavuuksien varalta, jotta voidaan todentaa, onko materiaalissa tai tuotteessa epäjatkuvuuksia eli vikoja tai virheitä. Tarkastaja vertaa löydettyjä vikoja ja virheitä standardeihin, sekä annettuihin ohjeisiin ja arvioi täyttävätkö nämä havaitut epäjatkuvuudet asetetut vaatimukset. Tarkastaja raportoi havaitut viat ja virheet asiakkaalle. (SFS-EN ISO 9712, 2012.)

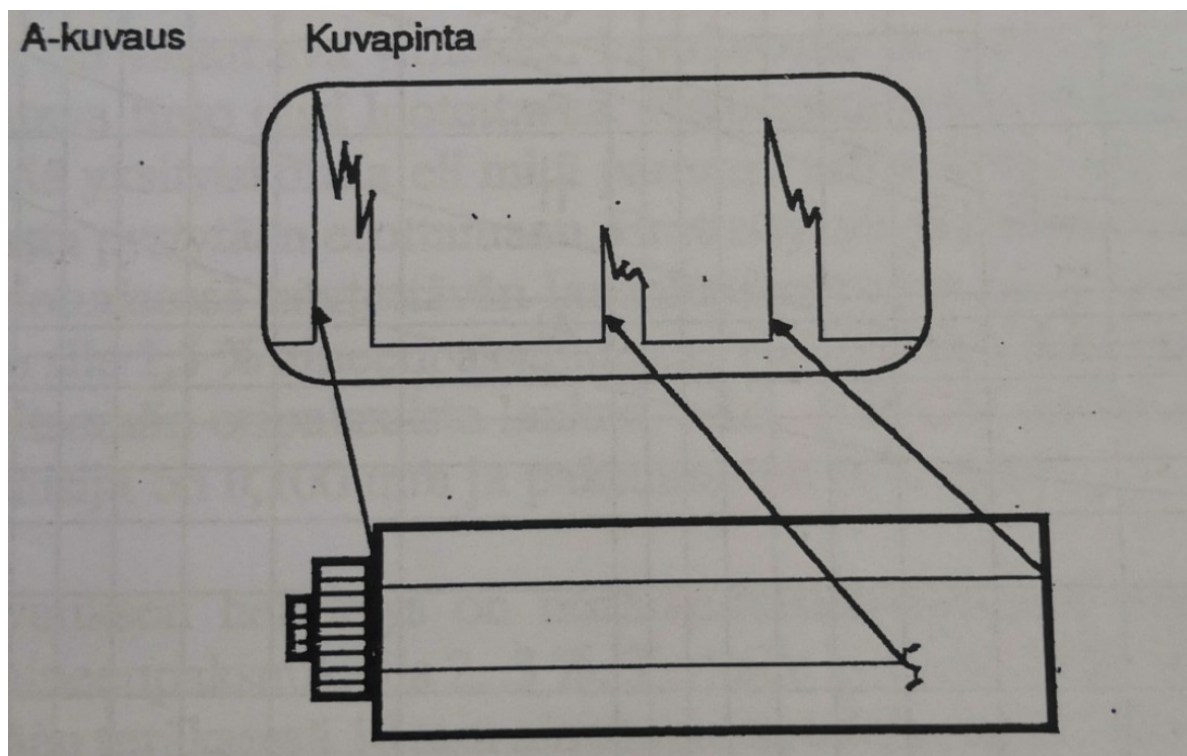
3.2 Volymetrinen tarkastusmenetelmä

Volymetrisellä tarkastusmenetelmällä voidaan havaita tuotteen tai materiaalin sisällä olevia epäjatkuvuuksia eli vikoja. Kaksi NDT-tekniikassa käytetyintä menetelmää volymetriseen tarkastukseen on radiografia- ja ultraäänitarkastus, joiden avulla voidaan havaita korroosion aiheuttamaa syöpymistä tai hitsissä olevia erilaisia vikoja tai virheitä, kuten säröjä, halkeamia, liitosvirheitä tai huokoisuutta.

4 PIETZOSÄHKÖINEN ULTRAÄÄNITARKASTUS

Ultraäänitarkastus on yksi volymetrisistä tarkastusmenetelmistä, jota käytetään tutkittaessa tuotteen tai materiaalin epäjatkuvuuksia ja aineominaisuuksia, kuten kimmovakiota. Ultraääntä käytetään myös materiaalin paksuusmittauksiin. Ultraäänitarkastuksessa tekniikka perustuu tutkittavaan tuotteeseen tai materiaaliin suunnatun ja siinä etenevän äänisäteen heijastumiseen epäjatkuvuuksista tai materiaalin takaseinästä. Tämän heijastumisen perusteella voidaan määritellä epäjatkuvuuden sijainti, laatu ja koko. Ultraäänitarkastuksessa käytetään ääntä, joka on taajuudeltaan 0,5–25 MHz ja ultraääni on värähtelyä, jonka taajuus ylittää ihmiskorvan kuuloalueen mitä kutsutaan yläääneksi. Pietzosähköiseen ilmiöön perustuvalla luotaimella lähetetään ja vastaanotetaan ääntä. Epäjatkuvuuksia tarkemmin tutkittaessa luotaus voidaan suorittaa aina 100 MHz taajuuteen saakka. (Martikainen 2009, 176.)

Ultraäänitarkastusmenetelmää käytettäessä periaatteena on, että mitä suurempi käytössä oleva luotustaajuus on, sitä pienempiä epäjatkuvuuksia voidaan havaita kappaleesta. Myös aikaisempaan lauseeseen verraten kuitenkin äänen tunkeutumiskyky pienenee voimakkaamman taajuuden vaimenemisen takia. Ultraäänen sopivan taajuuden valinta tehdään erotuskyvyn ja tunkeutumissyvyyden välillä, jotta päästään parhaaseen lopputulokseen ja löydetään tarkastustilanteeseen sopiva taajuus. Yleisin käytössä oleva ultraäänitarkastusmenetelmä on kaikumenetelmä ja tätä menetelmää käytettäessä tarkastus voidaan suorittaa yhdeltä puolelta, koska kaikumenetelmässä ultraäänen luotain toimii sekä äänen lähettimenä, että vastaanottimena. Tästä menetelmästä saatava indikaatio ilmaistaan yleisesti A-kuvauksena. (Martikainen 2009, 176.)



KUVA 1. Ultraäänitarkastuksessa käytettävän kaikumenetelmän periaate ja siitä saatavan indikaation A-kuvaus (Martikainen 2009, 176).

4.1 Ultraäänitarkastuksen edut ja haitat

Ultraäänitarkastuksessa ei ole NDT-tarkastajalle terveydellisiä haittoja. Ultraäänellä on mahdollisuus havaita hyvin halkeamatyypisiä indikaatioita ottaen huomioon kuitenkin indikaation suuntaisuuden. Ultraäänellä voidaan määrittellä hyvin indikaation korkeus ja tarkka sijainti. Ultraäänellä on erinomainen tunkeutumiskyky materiaaliin. Ultraäänitarkastuksen haittoina on useasti sen rajoitettu soveltavuus pinnanlaadultaan karheille materiaaleille ja myös pienten, ohuiden ja geometrialtaan vaikeiden kappaleiden tarkastukseen. Ultraääni on todella herkkä aineominaisuuksille ja johtuen inhimillisistä tekijöistä ultraäänitarkastuksen toistettavuus on osittain hankalaa, kuitenkin toistettavuuden parantamiseksi käytetään nykyisin mekanisointia ja tekoälyä. Ultraäänitarkastus edellyttää korkean ammattitaidon NDT-tarkastajalta ja myös tarkastuksen suunnittelijalta. (Martikainen 2009, 176–177.)

4.2 Ultraäänen heijastuminen ja taittuminen

Ultraäänen kohdatessa kappaleen tai materiaalin rajapinnan se voi taittua ja heijastua, jolloin taittuneen ja heijastuneen ultraäänen kulmaan vaikuttaa sen nopeus sekä äänen tulokulma kappaleen tai materiaalin rajapinnan molemmiin puolin. Tätä kuvaa Snellin laki, joka soveltuu pitkittäiselle ja poikittaiselle aaltomuodolle. Snellin lain avulla voidaan laskea heijastumisen tai taittumisen seurauksena tapahtuvat aaltomuodon muutokset, jossa syntyvän äänen kulma muuttuu. (Lehtinen & Toivonen 2013, 11.)

Snellin laki lasketaan kaavalla

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1)$$

missä $\sin \alpha$ on tulevan äänen kulma, $\sin \beta$ on lähtevän äänen kulma, v_1 tulevan äänen nopeus ja v_2 lähtevän äänen nopeus.

4.3 Ultraäänen vaimeneminen

Ultraäänen vaimeneminen rajoittaa tarkastettavissa olevan kappaleen tai materiaalin paksuutta ja sen takia myös havaittavissa olevan indikaation suuruutta. Absorbtion ja sironnan yhteisvaikutuksesta ultraäänessä tapahtuu äänen vaimeneminen. Absorbtio käsite tarkoittaa sitä, kun materiaalissa äänen värähtely muuttuu aineen sisäisen kitkan takia lämmöksi. Ultraäänen osuessa materiaalin epäjatkuvuuksiin aiheutuu äänen heijastumista ja taittumista, jota kutsutaan sironnaksi. Ultraäänilaitte on kalibroitava, jotta voidaan ottaa huomioon eri ainemateriaalien vaimenemiserot, koska virheellisesti asetettu ultraäänilaitteen vahvistuksen säätö voi aiheuttaa indikaatioita, jotka johtavat virheeseen ali- tai yliarviointiin. Tämän syyn takia ultraäänilaitteen kalibroitikkappaleen täytyykin olla valmistusmenetelmältään, mikrorakenteeltaan ja raekooltaan hyvinkin samankaltainen kuin tarkastettavissa oleva ainemateriaali tai tuote. (Martikainen 2009, 177.)

4.4 Ultraäänitarkastuksessa löydettyjen virheiden paikannus ja luotettavuus

NDT-tarkastajan ollessa ammattitaitoinen ultraäänitarkastuksella voidaan löytää ja paikantaa materiaalista tai tuotteesta löytyvät virheet. Ultraäänitarkastuksen haasteellisempia työvaiheita ovat tarkastettavasta kappaleesta löytyvän virheen tyyppin tunnistaminen ja sen koon määrittäminen. Löydetyn virheen tunnistamisen apuna käytetään tietoja virheen sijainnista ja suunnasta. Tarkastaja tutkii

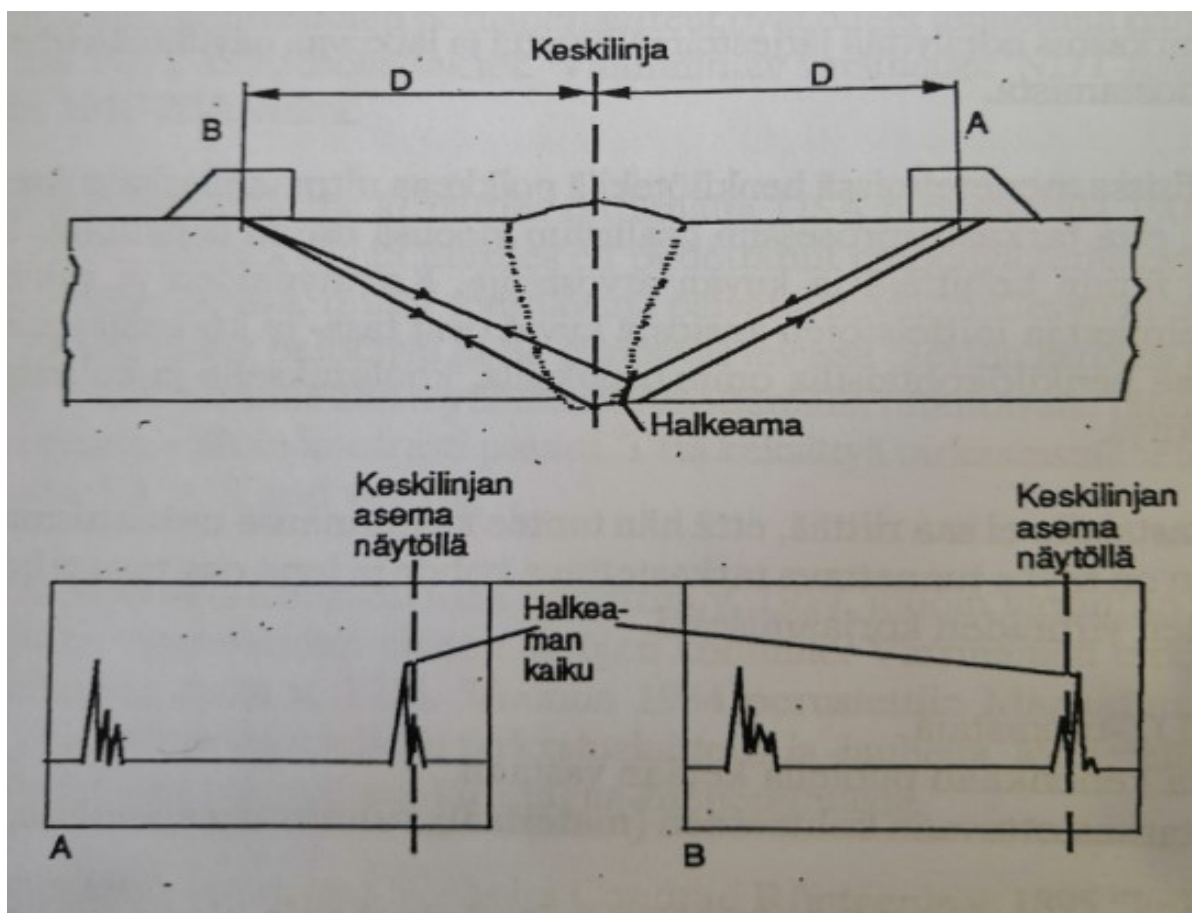
myös näyttämän ulkonäköä ja sen käyttäytymistä ultraääniluotainta liikutellessa kappaleen tai materiaalin pinnalla. Ultraäänellä löydetyn näyttämän ulkonäköön vaikuttavat useat eri asiat, kuten virheen muoto, suunta, pinnanlaatu eli karkea vai sileä ja äänen heijastuvuus. Virhekokoa arvioitaessa menetelminä käytetään suurien virheiden tapauksessa virheiden reunojen luotausta ja pienten virheiden tapauksessa erilaiset käytössä olevat vertailuvirheet ja niistä tuloksena saadut näyttämät. (Martikainen 2009, 177.) Ultraäänitarkastus on luotettava oikein ja oikeilla laitteilla suoritettuna. Esimerkiksi ultraääni on viranomaisten edellyttämä ydinvoimalaitoksien määräaikaistarkastuksissa.

4.5 Perusaineen tarkastettavuus

NDT-tarkastus eli rikkomaton aineenkoetus nimensä mukaisesti ei vaikuta tai muuta perusaineen koostumusta, ominaisuuksia tai sen mikrorakennetta, mutta kaikilla näillä edellä mainituilla asioilla on vaikutusta materiaalin tai tuotteen tarkastettavuuteen ultraäänitarkastusta tehdessä. Ultraäänitarkastuksessa ja sen erilaisissa sovellutuksissa ilmenee voimakkaimmin mikrorakenteen vaikutus tarkastettavassa kappaleessa. Austeniittiset materiaalit ovat tarkastettavuudeltaan samanlaisia kuin ferriittiset, tähän asiaan vaikuttaa henkilön ammattitaito. Henkilön ammattitaito vaikuttaa ultraäänimenetelmän valintaan, joka voi olla eri austeniittiselle kuin ferriittiselle materiaalille. Nykyisillä luotaimilla ja ultraäänilaitteilla austeniittiset perusaineet ovat luodattavissa. On tärkeä kuitenkin tietää, onko materiaali tai tuote muokatussa vai muokkaamattomassa tilassa, koska esimerkiksi muokatussa austeniittisessä teräs materiaalissa äänen vaimeneminen yleisesti ottaen ei ole ainakaan suurempaa kuin ferriittisessä teräksessä. (Martikainen 2009, 184.)

4.6 Rakenteellinen tarkastettavuus

Käsite rakenteellinen tarkastettavuus tarkoittaa tuotteen suunnittelua niin, että se on geometrialtaan helposti tarkastettavissa eikä sen muodoista tai epäjatkuvuuksista aiheudu niin sanottuja valenäyttämiä, jotka voitaisiin tulkita todellisiksi virheiksi. Myös yksi tärkeä osa rakenteellista tarkastettavuutta on tarkastuskohteen luokse pääseminen ilman esteitä. Pietzosähköinen ultraäänitarkastus soveltuu hyvin erilaisten kappaleiden ja kohteiden tarkastukseen. NDT-tarkastajan on huomioitava kuitenkin ennen tarkastustyön aloittamista kappaleiden mahdolliset erilaiset muodot, pinnankarheus ja materiaalissa vaihtelevat ainepaksuuserot. Edellä mainitut asiat vaikuttavat kriittisesti, kun tehdään valinta käytettävästä luotaimen ja luotaustavan tyypistä. Luotaimen valinnassa olennainen asia on todentaa ympärillä olevan tilan riittävyys luotaimen liikkeelle. (Martikainen 2009, 184,186.)



KUVA 2. Esimerkki kuva hitsin päittäisliitoksen ultraäänitarkastuksesta, jossa näyttämän perusteella voidaan todeta juurihalkeama hitsissä ja sijainti (Martikainen 2009, 187).

4.7 Aaltomuodot

Ultraääni pystyy etenemään väliaineessa monella eri tavalla ja tätä kutsutaan aaltomuodoksi. Ultraäänien etenemistavan määrää aine, aineen olomuoto ja ultraäänien nopeus on materiaalivakio. Aineen olomuoto voi olla kaasu, neste tai kiinteä. Ultraääni ei kykene etenemään tyhjiössä, koska ultraääni on mekaanista aaltoliikettä eli mekaanista värähtelyä. Pietzosähköisessä ultraäänitarkastuksessa käytettävät aaltomuodot ovat pitkittäisaalto, poikittäisaalto, pinta-aalto ja levyaalto. (Lehtinen & Toivonen 2013, 9.)

4.7.1 Pitkittäisaalto (Longitudinal Wave)

Pitkittäisaaltoa kutsutaan myös paineaalloksi ja se on myös samalla nopein aaltomuodoista. Pitkittäisaallon nopeus teräksessä on 5900 m/s. Tässä aaltomuodossa värähtelevän aineen liike on samansuuntainen kuin etenemissuunta ja se etenee kaasussa, nesteessä ja kiinteässä väliaineessa. Tätä aaltomuotoa käytetään ultraäänitarkastuksissa paksuusmittauksiin, joissa käytetään normaali- luotainta. Hitsien tarkastuksissa tätä aaltomuotoa käytetään perusaineen tarkastamiseen normaali- luotaimella ja karkearakeisten materiaalien hitsien tarkastamiseen pitkittäisaaltokulmaluotaimilla. Tämä aaltomuoto soveltuu parhaiten karkearakeisille materiaaleille. (Lehtinen & Toivonen 2013, 9.)

4.7.2 Poikittäisaalto (Shear Wave)

Poikittäisaaltoa voidaan myös kutsua nimellä leikkausaalto ja sen etenemisnopeus on pitkittäisaal- toon nähden noin puolet, joka on teräksessä 3240 m/s. Tässä aaltomuodossa värähtelysuunta ai- neessa on poikittain aallon etenemissuuntaan nähden. Ultraäänitarkastuksissa tätä aaltomuotoa käy- tetään eniten hitsien tarkastamiseen kulmaluotaimilla. (Lehtinen & Toivonen 2013, 9.)

4.7.3 Pinta-aalto (Rayleigh Wave)

Pinta-aaltoliike etenee tarkastettavan materiaalin pinnassa, jossa väliaine tekee ellipsin muotoista liikettä poikittain ääniäallon etenemissuuntaan nähden. Tämän aaltomuodon etenemisnopeus on noin 90 % poikittäisaallon nopeudesta. Pinta-aallon vaikutusalue on aivan materiaalin pinnassa ja kyseinen aaltomuoto on erittäin herkkä ilmaisemaan materiaalin pinnan epätasaisuuksia. Aaltomuoto kykenee etenemään suhteellisen terävien reunojen ja kaarevien pintojen yli eli teoriassa voidaan todeta sen olevan hyvä pinnassa olevien säröjen etsimiseen ja niiden syvyyksien mittaukseen, mutta käytännössä pinnalla olevasta kytkentäaineesta johtuvat epäjatkavuudet antavat kaiun. (Lehtinen & Toivonen 2013, 10.)

4.7.4 Levyaalto (Lamb's Wave)

Levyaalto on myös pinta-aaltoa, mutta ohuessa levyssä ja tällä aaltomuodolla on useita esiintymis- muotoja. Kaksi yleisintä esiintymismuotoa levyaaltoille on symmetrinen ja epäsymmetrinen. Tämän etenemisnopeuteen vaikuttaa materiaali, levynpaksuus, aaltomuoto ja taajuus. Etenemisnopeus le- vyaallossa on pienempi poikittäisaaltoon nähden ja tätä levyaaltoa ei tiedettävästi käytetä suomen tarkastustoiminnassa. (Lehtinen & Toivonen 2013, 10.)

4.8 Ultraäänitarkastustekniikat

Ultraäänien kohdatessa rajapinnan osa äänestä heijastuu ja osa läpäisee kohdatun rajapinnan. Tar- kastettavassa tuotteessa tai materiaalissa olevat epäjatkavuudet muodostavat rajapinnan. Ultraääni- tekniikoissa äänen heijastumista hyödynnetään pulssikaikutekniikassa ja läpäisseen äänen osuutta hyödynnetään läpäisytekniikassa. (Lehtinen & Toivonen 2013, 35.)

4.8.1 Pulssikaikutekniikka

Pulssikaikutekniikasta puhutaan silloin, kun ultraäänilaitteella mitataan rajapinnoista heijastuneen äänienergian määrää ja tässä tekniikassa sama luotain lähettää sekä vastaanottaa. Toisaalta voi- daan pulssikaikutekniikassa käyttää kahta eri luotainta. Ultraääniaalto lähetetään lyhyinä pulsseina,

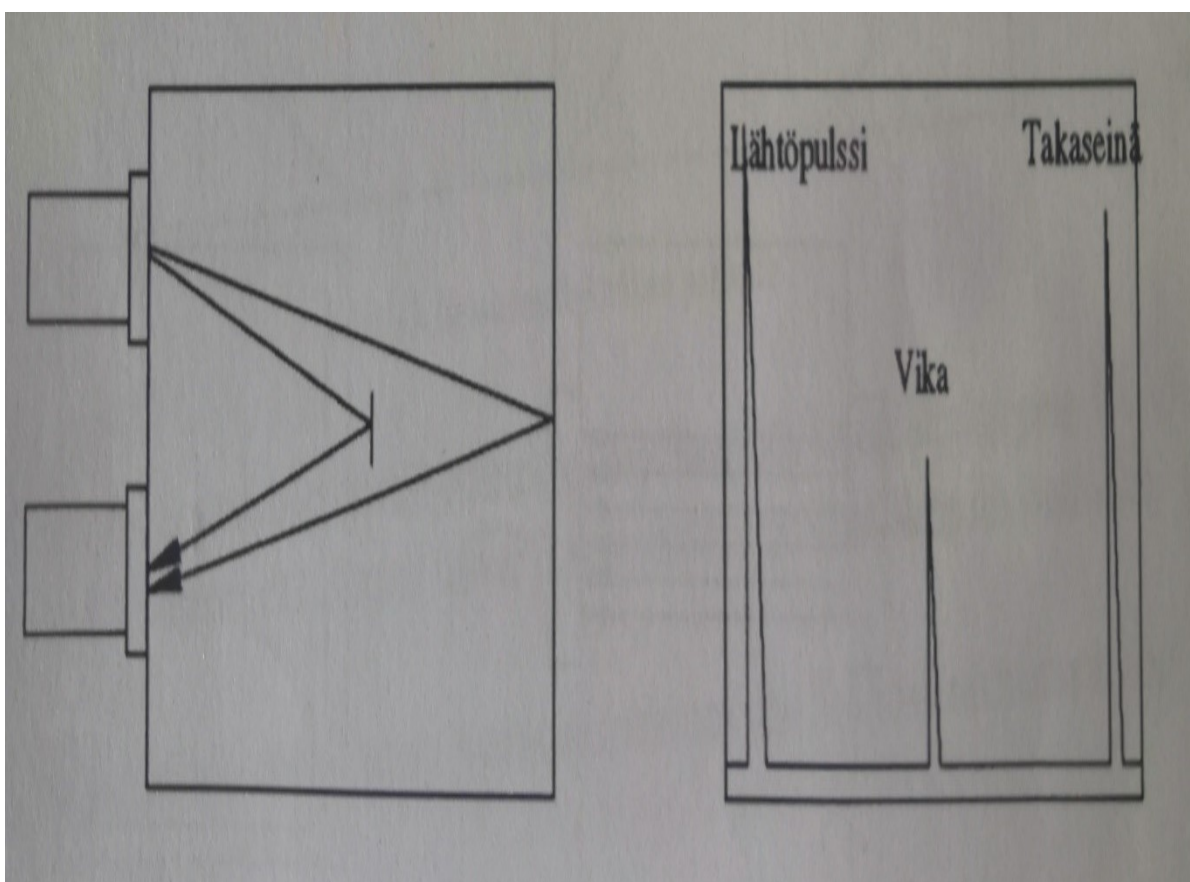
jossa pulssien välinen aika on tarkoitettu takaisin tulevan äänienergian vastaanottoon. Ultraäänilaitteesta lähetetty pulssi kulkee materiaalissa tai kappaleessa niin pitkään kunnes kohtaa rajapinnan ja heijastuu siitä takaisin, jolloin tästä tapahtumasta ultraäänilaitte mittaa pulssin kulkuajan. Tiedettäessä materiaalin äänennopeus voidaan laskea heijastajan etäisyys luotaimesta. (Lehtinen & Toivonen 2013, 35.)

Heijastajan etäisyys lasketaan kaavasta

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2)$$

missä v on materiaalin äänennopeus, t on pulssin kulku aika ja d on ääniaallon kulukema matka.

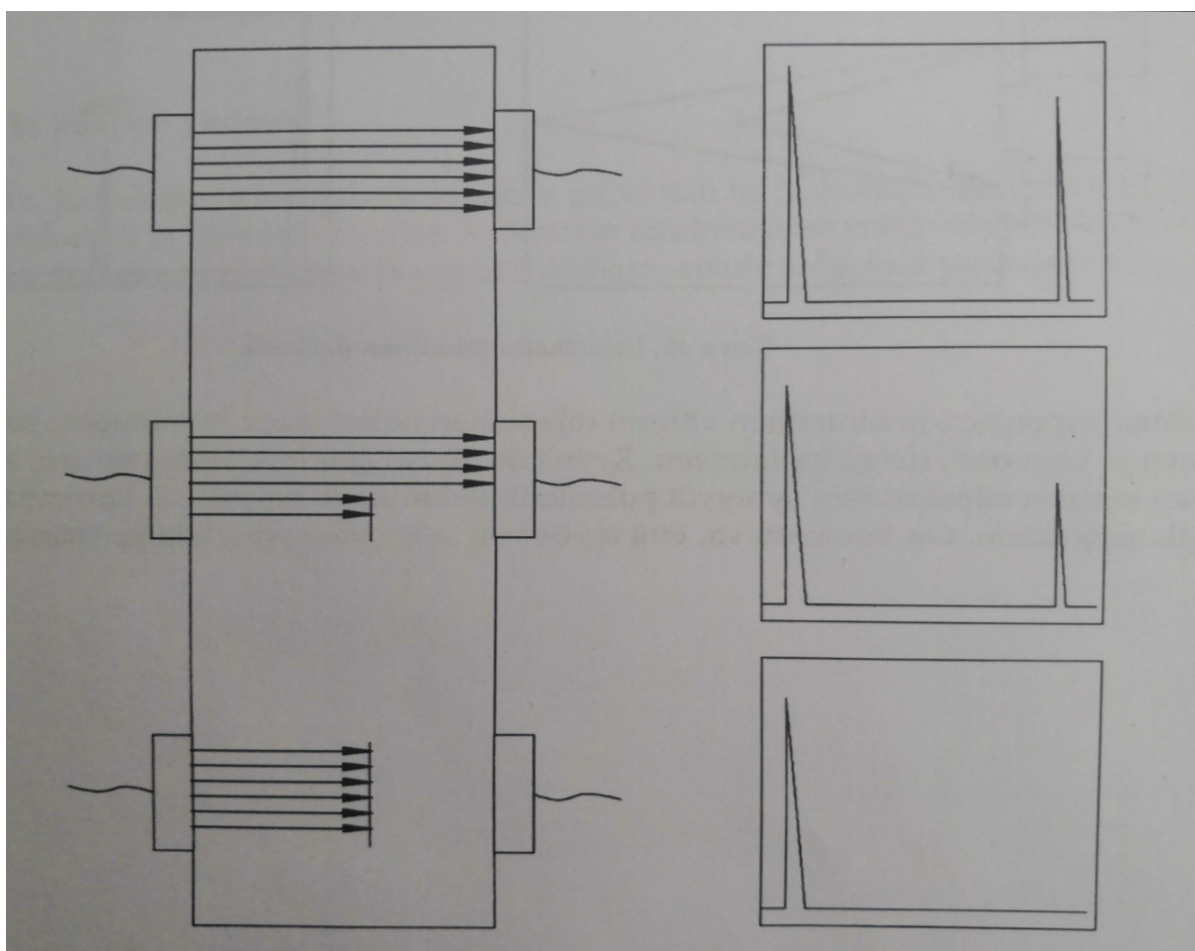
Luotaimen ja kappaleen välissä olevan rajapinnan ääniaalto kohtaa palatessaan luotaimeseen, jolloin hyvin suuri osa äänienergiasta heijastuu takaisin kappaleeseen ja siitä hyvin pieni osa taas itse luotaimeseen. Tähän tapahtumaan syynä on akustisten impedanssien erot. Ultraäänen liikkussa useasti edestakaisin luotaimen ja heijastajan välillä syntyy tälle tekniikalle tyypilliset kerrannaiskaiut, jotka näkyvät yleisesti ultraäänilaitteen kuvaruudulla tasavälein. Mitä kauemmas ultraäänilaitteen ruudun aikaväliä kuljetaan, kerrannaiskaiujen voimakkuus heikkenee. Tämän kyseisen tekniikan etuja ovat tarkka mittaus yhdeltä puolelta, helppo mekanisoitavuus ja sen monipuolisuus. (Lehtinen & Toivonen 2013, 35.)



KUVA 3. Esimerkki kuva pulssikaikutekniikan toimintaperiaatteesta (Lehtinen & Toivonen 2013, 35).

4.8.2 Lämpäisytekniikka

Lämpäisytekniikassa on tarkoitus mitata kappaleen tai materiaalin läpi kulkevan ultraäänien energian määrää käyttämällä kahta luotainta, joiden sijoitus tapahtuu kappaleen tai materiaalin vastakkaisille pinnoille. Luotainten ollessa vastakkaisilla puolilla ne eivät pysty häiritsemään toistensa toimintaa, joten ääniaalto voidaan toteuttaa pulssitettuna tai jatkuvana ultraääninä. Mikäli ääniaalto vaimenee osittain tai kokonaan voidaan todeta kappaleessa olevan epäjatkuvuuksia, jotka vaimentavat läpäisseen äänienergian määrää. Epäjatkuvuuksien syvyyssasemaa tätä tarkastustekniikkaa käytettäessä ei voida määrittää, jos syvyyssasema täytyy määrittää, on käytettävä edellä mainittua pulssikaikutekniikkaa. Lämpäisytekniikan ongelmakohtina usein on luotainten tasainen kytkentä ja luotainten keskinäisen aseman täytyy olla aina sama. Luotainten kytkennän vaihdellessa myös vastaanotetun äänienergian määrä vaihtelee, joka hankaloittaa tarkastuksen tekemistä. Tätä tekniikkaa käytetään lähinnä karkeissa mitoituksissa ja materiaalin ollessa voimakkaasti ultraääntä vaimentavaa. (Lehtinen & Toivonen 2013, 36.)



KUVA 4. Esimerkki kuva lämpäisytekniikan toimintaperiaatteesta (Lehtinen & Toivonen 2013, 36).

4.8.3 Resonanssitekniikka

Resonanssitekniikassa ultraäänien mittaus perustuu kappaleeseen lähetettyyn jatkuvaan ultraääniväriähtelyyn, jonka taajuutta muutetaan ja siitä mitataan äänen resonanssitaajuuksia. Resonanssitaajuuksien esittämiseen tässä tekniikassa voidaan käyttää oskilloskooppia tai osoitinnäyttöä. Äänen taajuuden lähentyessä resonanssitaajuutta voidaan havaita ultraäänien signaalien kasvavan ja saavut-

tavan huipun resonanssitaajuuden kohdalla. Tätä tekniikkaa käytetään komposiittirakenteiden tarkastamiseen, kerrostumatutkimuksiin ja paksuusmittauksiin. Kappaleessa tai materiaalissa olevat kerrostumat ja epäjatkuvuudet aiheuttavat resonanssitaajuuksien muutoksia. (Lehtinen & Toivonen 2013, 37.)

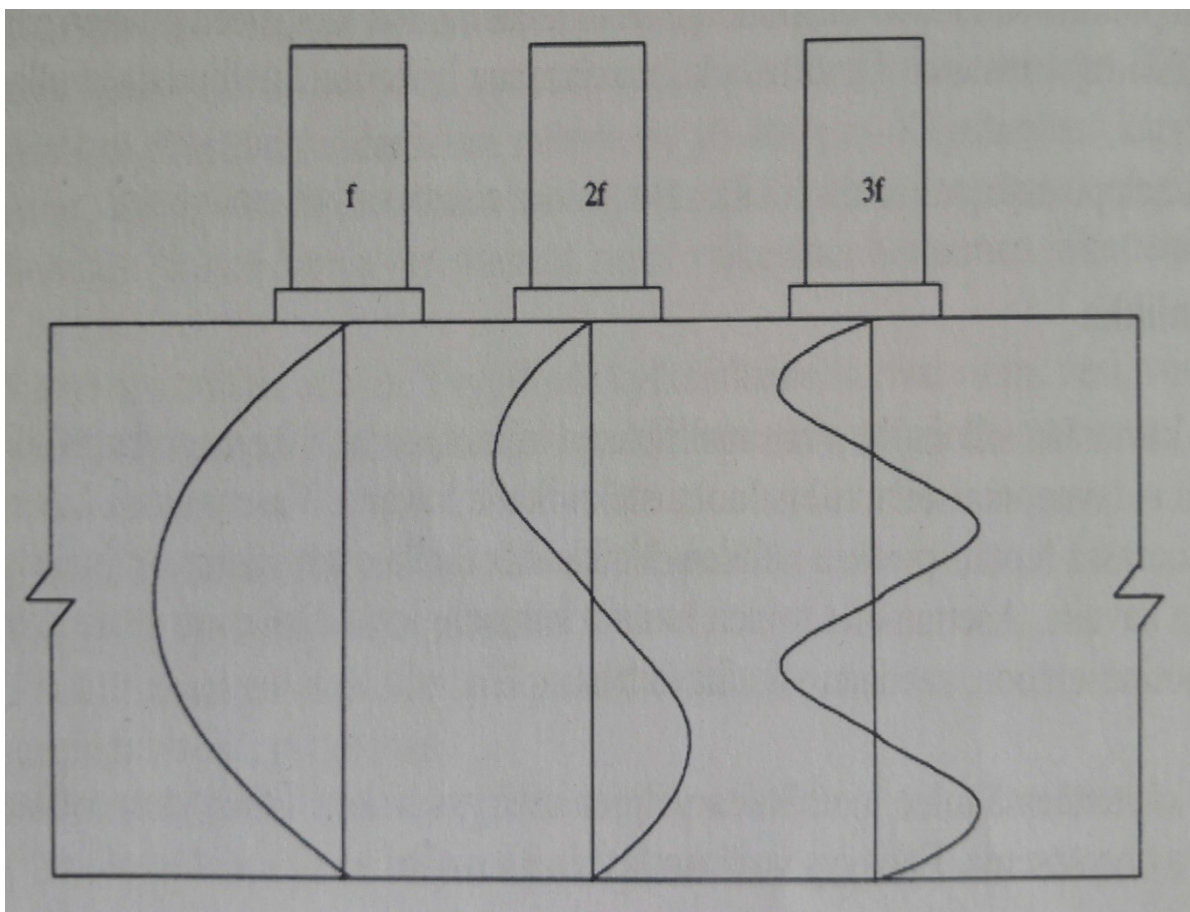
Perustaajuus lasketaan kaavasta

$$d = \frac{1}{2}\lambda \quad (3)$$

Harmoniset taajuudet eli kerrannaiset lasketaan kaavasta

$$d = n \cdot \frac{1}{2}\lambda \quad (4)$$

missä n on jokin kokonaisluku.



KUVA 5. Esimerkki kuva resonanssitekniikan toimintaperiaatteesta (Lehtinen & Toivonen 2013, 37).

4.8.4 Upotustekniikka

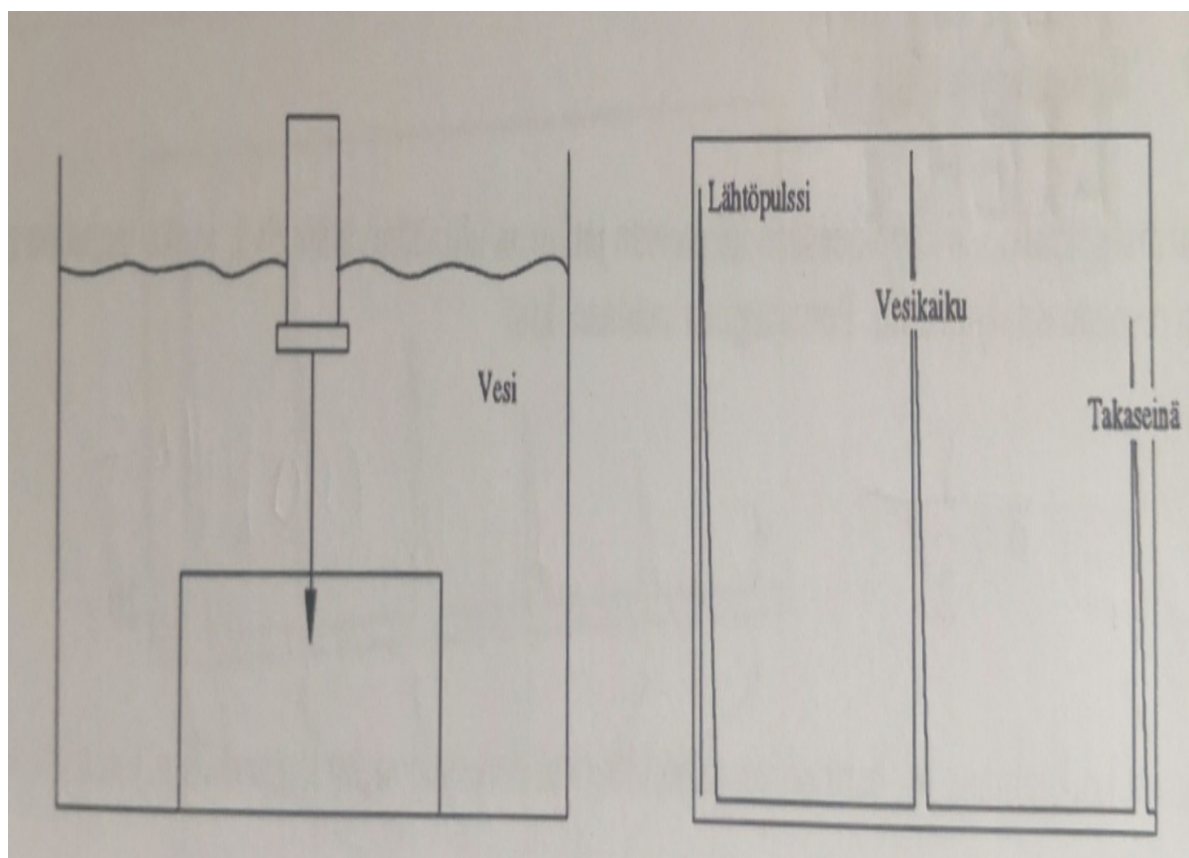
Ultraäänitekniikoista puhuttaessa upotustekniikka nimensä mukaisesti tarkoittaa tarkastettavan kappaleen upottamista nesteeseen, joka on yleensä vettä. Tässä tekniikassa luotain lähettää ääniaaltoja ensimmäiseksi vesikerroksen läpi ennen kuin siirtyy tarkastettavaan kappaleeseen. Upotustekniikassa ultraäänilaitteen mitta-alue säädetään tarkastettavan materiaalin äänennopeuden kanssa vas-

taaviksi. Aaltomuodoista ainoastaan pitkittäisaalto etenee vedessä, joten tarkastustekniikassa käytetään ainoastaan normaaliluotaimia. Upotustekniikassa heijastuskerroin on huomattavan suuri aineiden rajapinnassa, koska veden ja metallin akustiset impedanssit huomattavasti eroavat toisistaan. (Lehtinen & Toivonen 2013, 37.)

Vesikaiun oikea paikka ultraäänilaitteen kuvaruudulla lasketaan alla olevalla kaavalla.

$$\text{äänitie} = \frac{v_{\text{materiaali}}}{v_{\text{vesi}}} * \text{vesimatka} \quad (5)$$

Tarkastettavan kappaleen tai materiaalin voimakkain kaiku saadaan sen etupinnasta, jota voidaan kutsua etupintakaiuksi tai vesikaiuksi ja tämän paikka ultraäänilaitteen kuvaruudulla ei vastaa todellisuutta, koska äänennopeus on pienempi vedellä kuin tarkastettavalla materiaalilla. Vesikaiun oikea paikka kuvaruudulla saadaan (kaavasta 5). Ultraäänien lähtöpulssin ja etupintakaiun välistä matkaa kutsutaan vesimatkaksi. Ultraäänilaitetta säädettäessä täytyy huomioida, että vesimatkan on oltava sama säädettäessä ja tarkastettaessa, koska pienikin muutos matkassa vaikuttaa tarkastusherkkyyteen. Matkan on oltava tarpeeksi pitkä, jotta saadaan takaseinäkaiku ennen vesikaiun kerrannaista. Vesimatkan pituudeksi kannattaa valita sellainen, että lähialue jää veteen ja materiaali tai kappale tarkastetaan kaukoalueella. Luotaimen kohtisuoruus kappaleeseen tai materiaaliin nähden tarkastetaan maksimoimalla vesikaiku. Tämä ultraäänitekniikka soveltuu automatisointiin ja tätä käytetään yleisesti sarjatuotannossa, joissa käytössä on ultraäänitarkastus menetelmä. (Lehtinen & Toivonen 2013, 38.)



KUVA 6. Esimerkki kuva upotustekniikan toimintaperiaatteesta (Lehtinen & Toivonen 2013, 38).

4.8.5 Tandemtekniikka

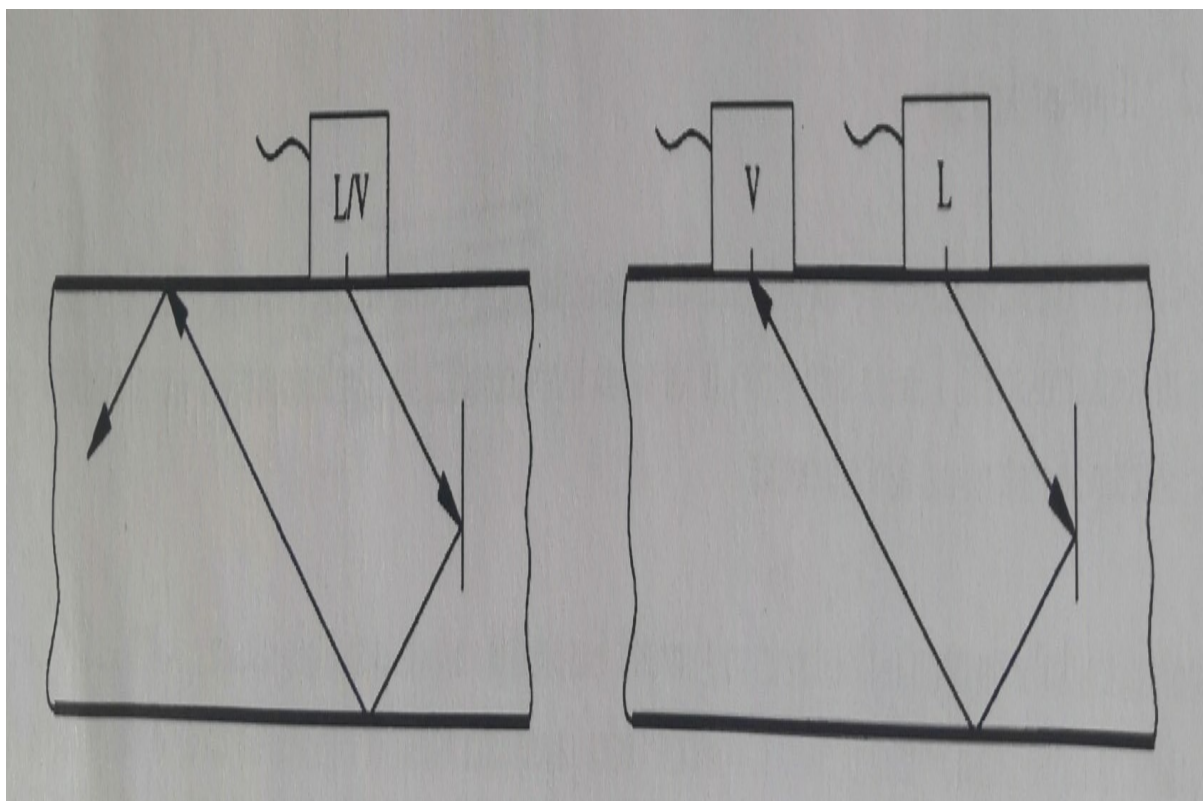
Tätä ultraäänitekniikkaa käytetään silloin, kun normaaleilla kulmaluotaustekniikoilla ei voida havaita todennäköisesti löytyviä vikoja. Näitä tilanteita ovat yleisesti hitsausliitoksien railomuodon ja vikojen suuntautuneisuus. Kappaleen tai materiaalin koko poikkileikkauksen alaa tarkastettaessa joudutaan tarkastettava tilavuus jakamaan vyöhykkeisiin ja jokaiselle vyöhykkeelle laskemaan oikea luotaimien välinen etäisyys, jossa luotaimien etäisyys määräytyy kappaleen geometrian perusteella. Tätä tekniikkaa käytettäessä tulee aina laskea luotaimien etäisyys ja laskemiseen vaikuttavat luotaimien kulma, ainepaksuus ja vian syvyysasema. (Lehtinen & Toivonen 2013, 38.)

Luotaimien etäisyys lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$x = 2 \tan \alpha \cdot (d - b) \quad (6)$$

missä x on luotaimien välinen etäisyys, α on luotaimien kulma, d on ainepaksuus ja b on vian syvyys luotauspinnasta.

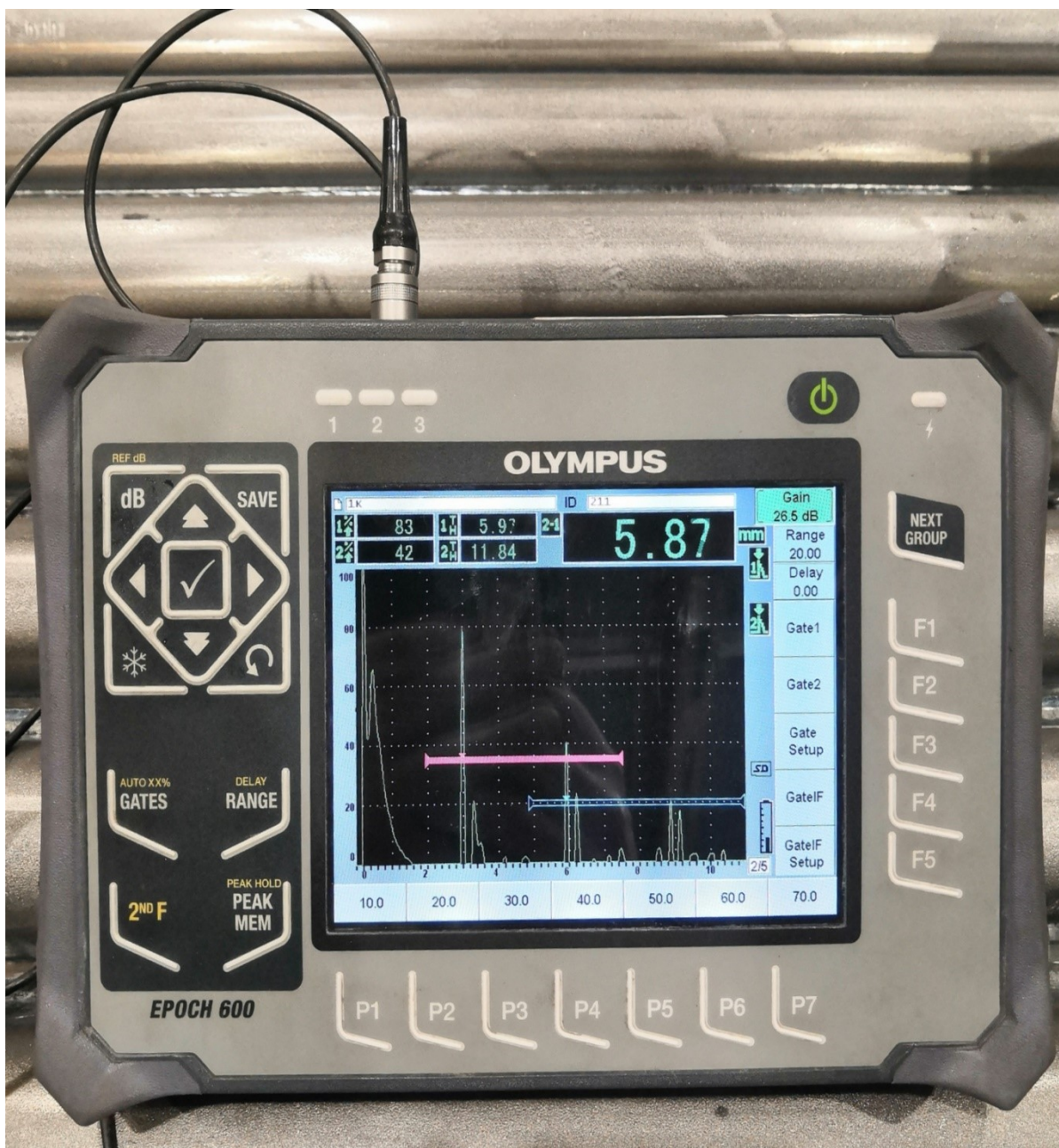
Alapuolella esitetyssä kuvassa voidaan helposti havaita kyseisen ultraääni tekniikan toimintaperiaate. Vasemmalla olevassa kuvassa nähdään, että vaikka ultraäänikeila osuu vikaan, se heijastuu siitä eteenpäin ohittaen luotaimen ja tästä syystä vikaa ei havaita. Oikealla olevassa kuvassa asetetaan tandemtekniikalla toinen luotain oikeaan kohtaan, jossa ultraääni osuu takaisin luotauspinnalle ja kytketään ultraäänilaite lähetin-vastaanotinasentoon. Tämän ansiosta vika saadaan havaittua. (Lehtinen & Toivonen 2013, 38.)



KUVA 7. Esimerkki kuva Tandem-tekniikan toimintaperiaatteesta (Lehtinen & Toivonen 2013, 38).

4.9 Ultraäänilaitteisto

Ultraäänilaitteisto koostuu ultraäänen päätelaitteesta ja siihen kaapeleilla liitettävistä erilaisista luotaimista. Ultraäänilaitteisto vaatii toimiakseen kytkentäaineen luotaimen ja tarkastettavan materiaalin tai kappaleen välille, joka voi olla geeliä, vettä tai liisteriä. (Berke 2000.)

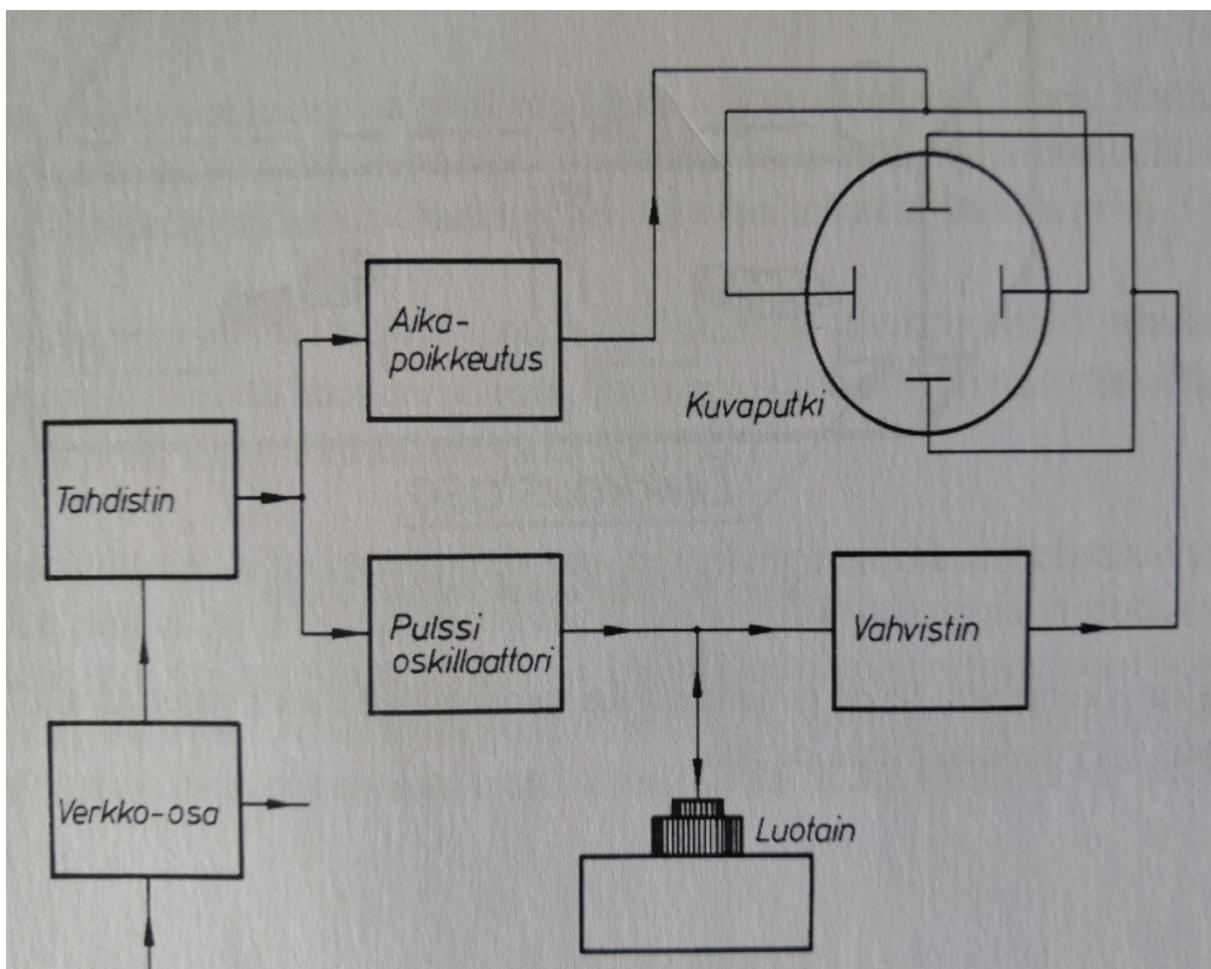


KUVA 8. Ultraäänilaitte Olympus Epoch 600 (Nikka 2021).

4.9.1 Ultraäänilaitteiston rakenne ja toiminta

Pulssikaikutekniikassa käytössä oleva ultraäänilaitte sisältää pulssigeneraattorin, kellon, tasasuuntaajan, vahvistimen ja näytön. Ultraäänilaitteessa oleva kello lähettää impulssin pulssigeneraattorille, joka syöttää ultraääniluotaimen lyhyen jännitepulssin. Erilaisten laitteiden takia pulssin jännite on suuruudeltaan 100–500 volttia. Lyhyen jännitepulssin aikana käynnistyy kaiun piirtäminen ultraäänilaitteen näytölle. Tämän jälkeen värähtelijä muuntaa sähköisen pulssin mekaaniseksi liikkeeksi ja värisee muutamia kertoja edestakaisin. Värähtelijä muuntaa kaikujen mekaanisen liikkeen takaisin

sähköiseksi pulssiksi, jonka jälkeen kaikupulssi vahvistetaan, tasasuunnataan ja ohjataan ultraäänilaitteen näytölle. Ultraäänilaitteistossa oleva kello mittaa aikaa, joka kuluu kaikupulssin lähdöstä kaiun takaisin tulemiseen. Näytöllä olevalla vaaka-asteikolla voidaan mitata myös matkaa, koska äänennopeus on vakio ja mitä suurempi on kaikupulssin jännite, sitä suurempi on kaiku näytöllä. (Lehtinen & Toivonen 2013, 31.)



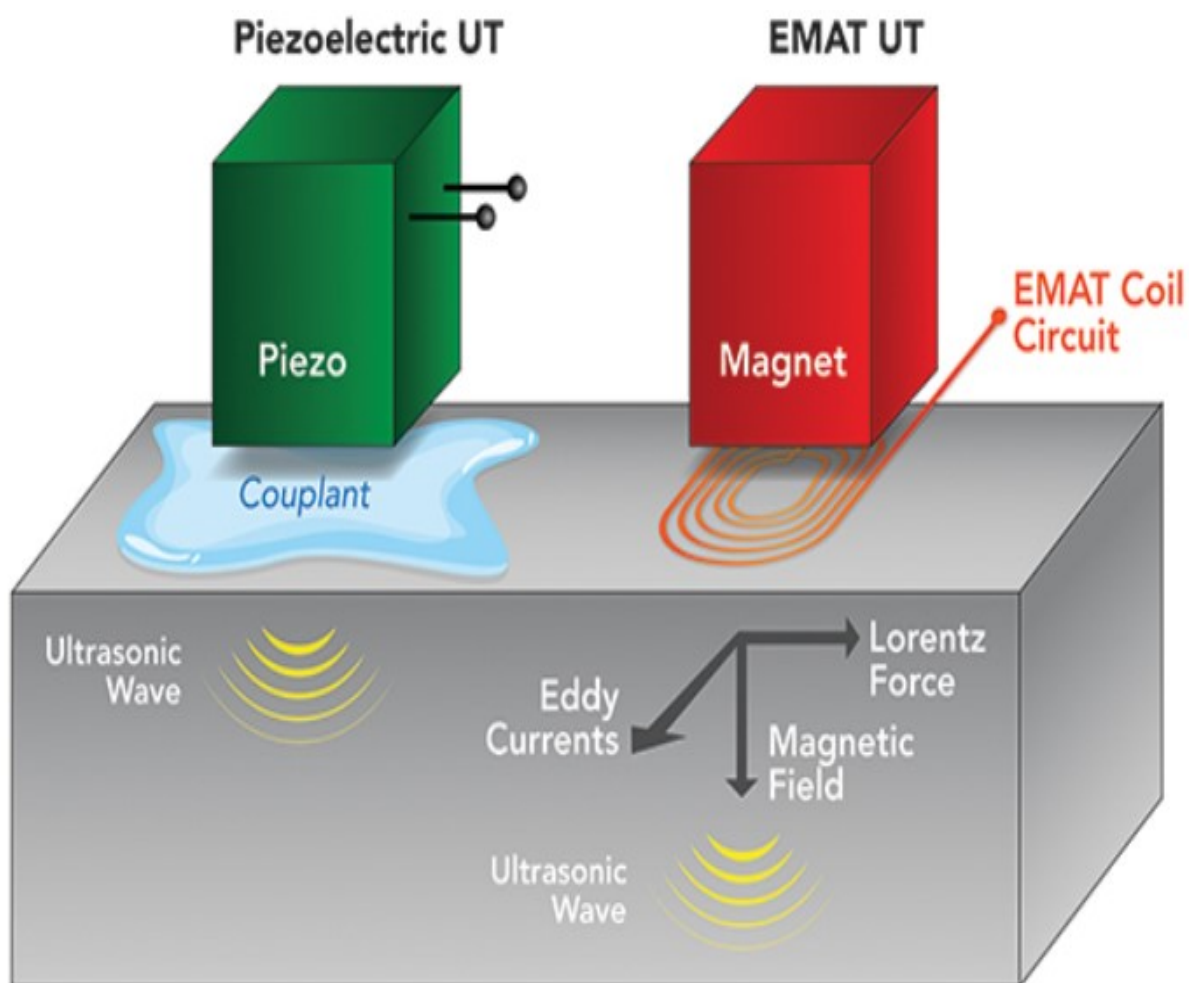
KUVA 9. Esimerkki kuva analogisen ultraäänilaitteen rakenteen toimintaperiaatteesta (Lehtinen & Toivonen 2013, 31).

4.9.2 Näyttötavat

Ultraäänilaitteen näytöllä voidaan esittää vikoja kolmella yleisellä tavalla. A-kuva, B-kuva ja C-kuva. Lisäksi on joukko monia muita esitystapoja mitkä ovat lähinnä laitekohtaisia kuvaustapoja. A-kuvassa laitteen näytöllä vaaka-akselilla on etäisyys luotaimesta eli aika ja pystyakselilla kaiunkorkeus. B-kuvassa esitetään poikkileikkaus tarkastettavasta kohteesta, jossa vaaka-akseli kuvaa etäisyyttä luotauspinnan suunnassa ja pystyakseli etäisyyttä äänen suunnassa. C-kuva on projisoitu kuva tarkastettavasta kohteesta, jossa voidaan näyttää syvyysasema värikoodeina. (Lehtinen & Toivonen 2013, 32.)

5 EMAT (ELECTRO MAGNETIC ACOUSTIC TRANSDUCER)

EMAT-ultraääni eli elektromagneettinen akustinen muunnin on yksi sovellutus ultraäänitestauksesta, joka tuottaa ultraäänen suoraan tarkastettavasta kappaleesta. EMAT-ultraäänen toiminta perustuu siihen, että vaihtovirtapulsseja syötetään induktiokäämiin aiheuttaen kappaleessa sähkömagneettisia värähtelyjä, jotka puolestaan indusoivat pyörrevirtoja testattavan kappaleen pintaan. Indusoitu pyörrevirta häiritsee tällöin kappaleessa olevaa pysyvää magneettikenttää ja luo ultraääniaaltoja suoraan tarkastettavan kappaleen pinnalle. EMAT toimii parhaiten ferriittisillä materiaaleilla kuin austeniittisissa materiaaleissa, koska EMAT on riippuvainen materiaalin magneettisuudesta. EMAT-laitteisto vaatii austeniittisille materiaaleille omat luotaimet. EMAT-laitteessa oleva luotain koostuu kestmagneetista ja RF-kelasta, joiden tuottama ultraääni perustuu Lorentzin voiman- ja pyörrevirtojen yhteisvaikutukseen. Näiden kahden edellä mainitun voiman ja ilmiön vuoksi tätä menetelmää kutsutaan induktiiviseksi menetelmäksi. Kyseinen ultraäänitekniikka ei vaadi kytkentänestettä eikä kosketusta luotaimen ja kappaleen väliin, kun taas piezoelektrisen ultraäänilaitteen luotain vaatii väliaineen ja kosketuksen kappaleen ja luotaimen välille. Käytettävän kestmagneetin voimakkuuden lisäksi materiaalin sähkönjohtavuus on iso vaikuttava tekijä ultraäänen voimakkuuteen materiaalissa. (Innerspec Technologies Inc 2021.)



KUVA 10. Piezoelektrisen ultraäänen luotaimen toiminta verrattuna EMAT-ultraäänen luotaimen toimintaan (Innerspec Technologies Inc 2021).

5.1 EMAT-ultraäänen vaatimukset

EMAT-ultraääni vaatii neljän asian kokonaisuuden tuottaakseen tarkastettavaan kappaleeseen tai materiaaliin ultraääni signaalin. Nämä neljä asiaa ovat: johtava materiaali, sähkökenttä, magneettikenttä ja riittävän läheisyyden tarkastettavaan kappaleeseen tai materiaaliin. EMAT toimii kaikilla johtavilla materiaaleilla, jotka voivat olla ferriittisiä tai ei ferriittisiä. Sähkökentän EMAT-laitteisto tuottaa itse kelan avulla. Magneettikenttä luodaan EMAT-laitteistolla kestopagneetin tai sähkömagneetin avulla. Vaikka EMAT-tekniikka ei vaadi kosketusta tarkastettavaan kappaleeseen tai materiaaliin, luotaimen on silti oltava tarpeeksi lähellä tarkastettavaan kohteeseen ja tämä etäisyys eli Lift-Off vaihtelee käytössä olevan tekniikan mukaan. (Innerspec Technologies Inc 2013, 17).

5.2 EMAT laitteisto

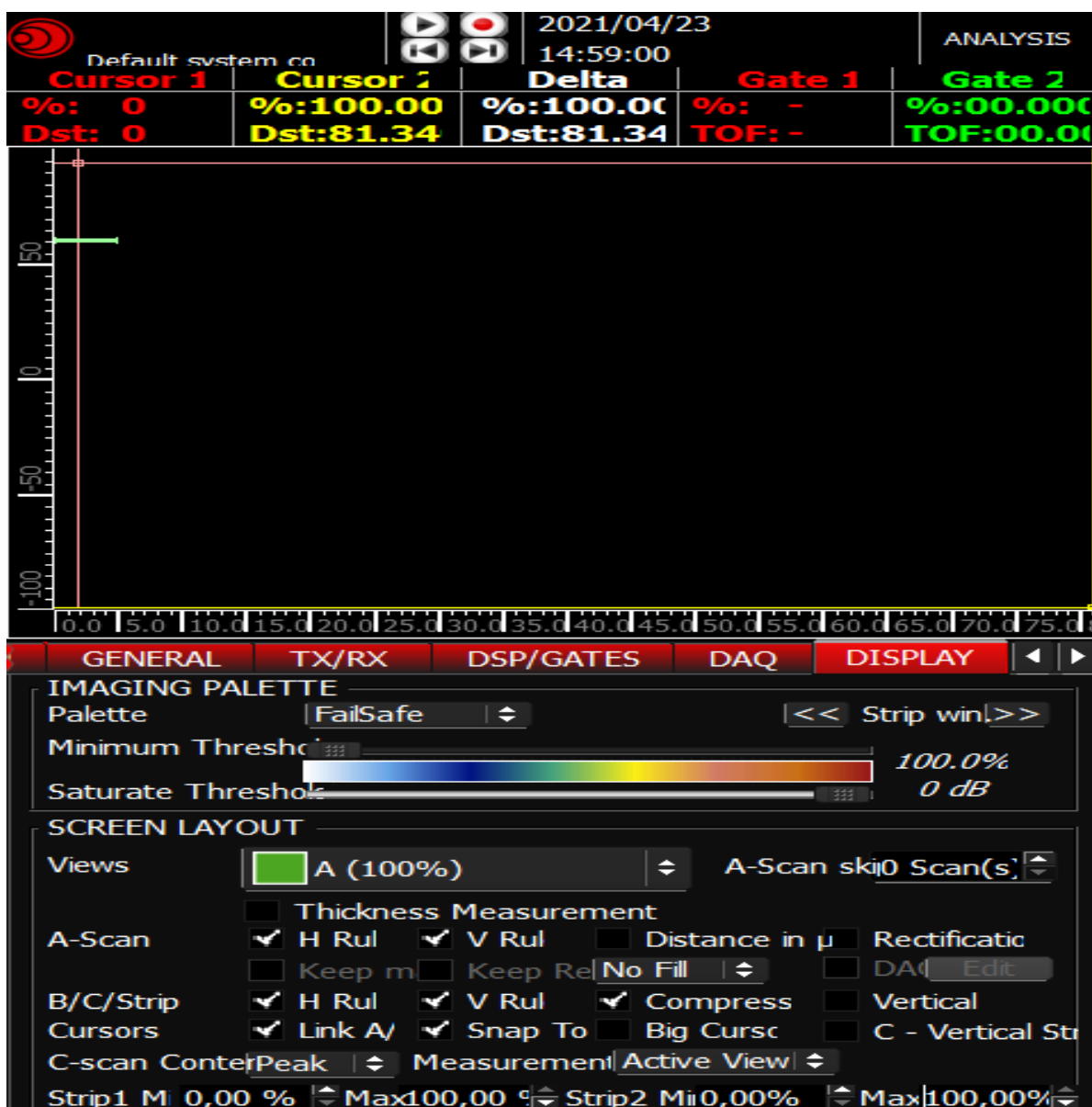
Tässä opinnäytetyössä käytettiin Innerspec Technologies Inc valmistajan Temate PowerBox H EMAT-laitteistoa. Kyseisessä EMAT-laitteistossa oli käytettävissä MRUT (Medium Range Ultrasonic Testing) valmius, jolla voidaan tarkastus suorittaa pääsääntöisesti käytössä oleville putkisto kohteille, joissa voidaan olettaa tapahtuvan korroosiota tai eroosiota.



KUVA 11. Innerspec Temate PowerBox H (Nikka 2021).

5.3 EMAT-Laite Innerspec Temate PowerBox H

Temate PowerBox H EMAT-laitteisto on suunniteltu ultraäänisovellutuksiin, jotka vaativat korkean jännitteen, koskemattoman luotaintekniikan, todella vaikeat materiaalit tai matalataajuisia sovellutuksia. Temate PowerBox H pystyy tuottamaan 1200V tai 8kW huipputehon jopa 300Hz nopeuksilla. Ultraäänipulssit 100kHz-6MHz voidaan toteuttaa kaikilla ultraäänen aaltomuodoilla. EMAT-laitteisto näyttää informaation a, b, c tai strip kuvalla ja näytöltä voidaan lukea kahta käyttäjän itse valitsemaa kuvaa yhtä aikaa. EMAT-laitteistolla on mahdollista myös ottaa kuvakaappauksia tarkastuksesta, laitteen asetuksista ja laitteen tallennettua dataa talteen. Kaikki nämä tiedot voidaan siirtää tietokoneelle Innerspecin EMAT-laite sovellukseen ja tällä Temate PowerBoxH PCViewer sovelluksella voidaan myös tarvittaessa ohjata EMAT-laitteistoa, jonka näkymä vastaa EMAT-päätelaitteen näkymää, kun EMAT-laite ja tietokone yhdistetään. (Innerspec Technologies Inc 2013).



KUVA 12. Temate PowerBoxH PCViewer (Nikka 2021).

5.4 RF-kela ja magneetti

EMAT-laitteisto synnyttää ultraäänen RF-kelan ja magneetin avulla tarkastettavan kappaleen pintaan, jonka toiminta perustuu sähkömagneettiseen akustiseen vuorovaikutukseen käyttämällä Lorentzin voimaa ja magneettistriktiota. Erityyppisiä RF-kelejä käyttämällä voidaan synnyttää erilaisia aaltomuotoja erilaisilla taajuuksilla ja vaihenopeuksilla. Magneettikenttä voidaan luoda kestopagneettien tai sähkömagneettien avulla.



KUVA 13. Vasemmalla kuvassa 720 Receiver ja Transmitter RF-kela ja oikealla kestopagneetti johon RF-kela kiinnitetään (Nikka 2021).

5.5 Tuning moduulit

EMAT-laitteistoon kytketään signaalin säätölaatikko, johon voidaan vaihtaa erilaisia tuning moduuleja, joita tarvitaan laitteen säätämiseksi tarkastukseen sopivaksi. Sopiva tuning moduuli valitaan valmistajan laatimasta taulukosta tarkastettavan kappaleen nominaali ainepaksuuden perusteella.



KUVA 14. Vasemmalla kuvassa signaalin säätölaatikko ja oikealla tuning moduuleja (Nikka 2021).

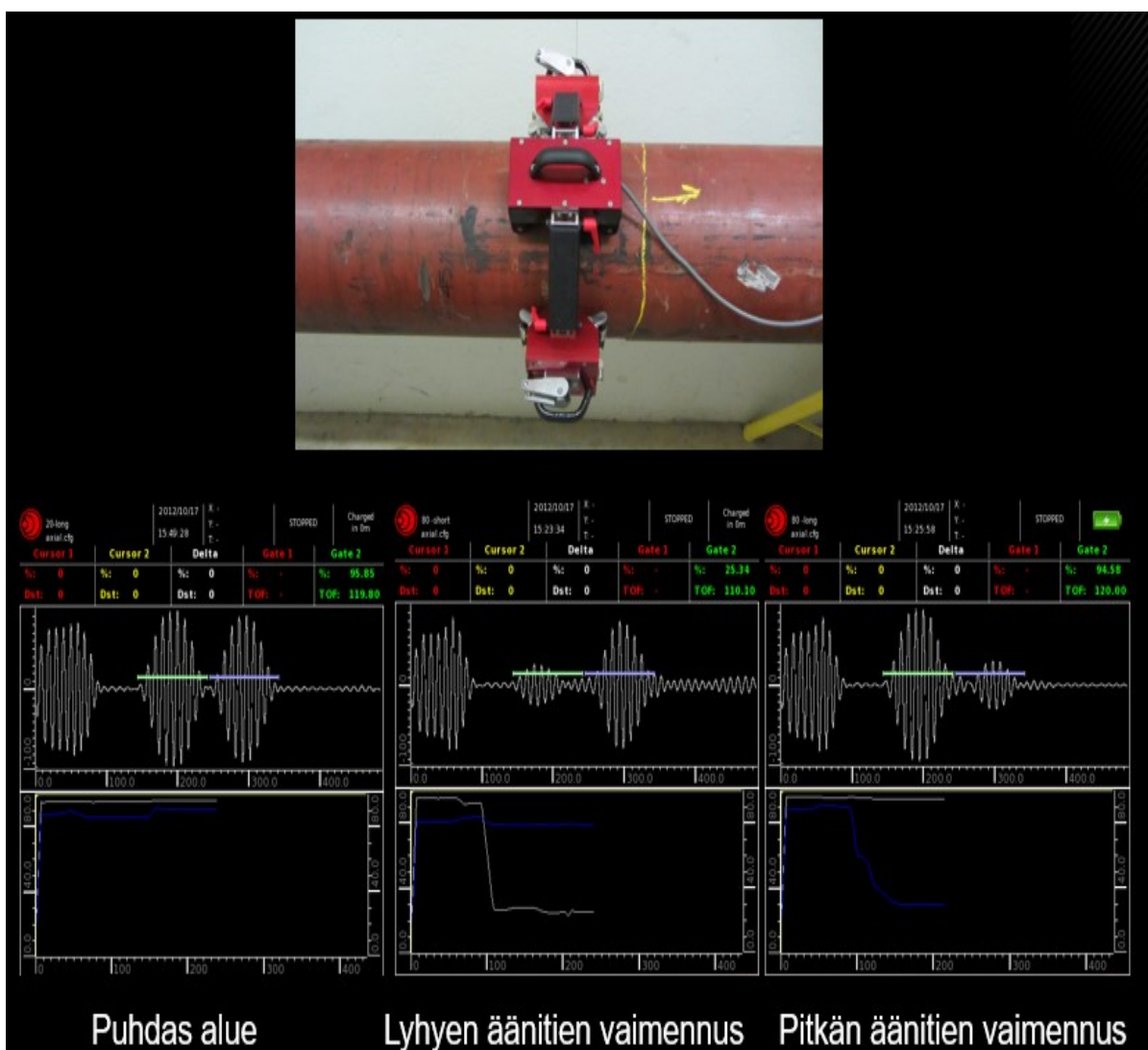
5.6 Enkooderi

EMAT-laitteiston apuna voidaan hyödyntää enkooderi lisälaitetta, jolla voidaan tallentaa tarkastuksessa paikkatietoja. Encoder kalibroidaan tunnetulla paikkatiedolla ja EMAT-laitteen DAQ-valikossa kytketään encoder käyttöön ja asetetaan alku- ja loppuarvot kalibrointia varten. Start arvoksi asetetaan nolla ja Stop kohtaan asetetaan arvo, joka on tunnettu pituus. Encoderia käytettäessä luotauksen voi tehdä nolla pisteestä katsottuna eteenpäin tai taaksepäin.

6 MRUT KORROOSION ETSINTÄ

MRUT (Medium Range Ultrasonic Testing) ultraäänitestauksessa hyödynnetään signaalin heikkene- miseen ja heijastukseen perustuvia moodeja. MRUT-tarkastus voidaan suorittaa lähetysvastaanotto- tai pulssikaikutekniikalla. Korroosion havainnointi MRUT-tekniikalla hyödyntää leikkausaaltoja, jossa ääniaalto täyttää koko ainevahvuuden. Käytettäviä ääniaaltoja ovat vaakapoikeutettu poikittaisaalto ja levyaalto, joka on herkkä ainepaksuuden muutoksille. Tarkastusmatka MRUT-menetelmällä on 0,1–5 metriä yhdellä kerralla.

Käytettäessä levyaaltoa aallot syntyvät Lorentzin voiman avulla ja tätä tapaa voidaan käyttää pulssi- kaikutilassa sekä lähetyksen vastaanotto tilassa. Pulssikaikutilassa yksi anturi lähettää ja vastaanottaa ultraäänisignaalin ja anturi havaitsee heijastukset materiaalin vioista. Lähetysvastaanotto tilassa käy- tetään kahta anturia, jossa toinen lähettää signaalin ja toinen vastaanottaa signaalin. Lähetysvas- taanotto tilassa viat materiaalissa aiheuttavat TOF (Time of Flight) muutoksia ja laskevat amplitudia. Vaakapoikeutettua poikittaisaaltoa käytettäessä aallot syntyvät magneettistriktio voiman avulla ja tätä käytetään ainoastaan pulssikaikutilassa, jossa yksi anturi lähettää ja vastaanottaa ultraäänisig- naalin ja anturi havaitsee heijastukset materiaalin vioista. (Innerspec Technologies Inc 2021.)



KUVA 15. Esimerkki kuva putken aksiaali luotauksesta MRUT-lähetysvastaanotto tekniikalla (Innerspec Technologies Inc 2013.)

6.1 Tarkastuslaajuus

EMAT-ultraäänitarkastusta tehdessä on huomioitava ennen työn aloittamista tarkastuslaajuutta rajoittavat tekijät, kuten tarkastuskohteelle luokse päästävyys käsittäen tarkastusolosuhteet ja fyysiset rajoitteet. EMAT-laitteiston fyysinen koko on kuitenkin suhteellisen suuri, joka voi olla vaativissa olosuhteissa yksi rajoittava tekijä.

6.2 Tarkastuskohde

EMAT-laite ei toimiakseen vaadi tarkastuskohteen pinnanlaadulta erityisiä puhtausvaatimuksia. Tarkastettavalla pinnalla voi olla vettä, pinnoitetta, öljyä, rasvaa tai ruostetta. Muutamia huomioitavia asioita kuitenkin on. Pinnoitteen paksuudella on rajana 2 mm, koska voimakkaat pinnoitteen paksuuden muutokset vaikuttavat signaalin voimakkuuteen. Tarkastettavalla kohteella ei myöskään saisi olla merkittäviä hitsausroiskeita tai kiinteitä roskia, ettei RF-kelat vaurioidu niihin osuessaan. Lämpötila ei saa ylittää 200°C, koska korkeimmissa lämpötiloissa on käytettävä aktiivista jäähdytystä ilmalla tai vedellä. (DEKRA Industrial 2015.)

6.3 EMAT-Laitteen säätäminen

Opinnäytetyössä käytössä oleva laite Innerspec Temate PowerBox H on itsestään säätävä EMAT-laitteisto ja tarkastuksessa käytettävä osakokoonpano määräytyy tarkastettavan materiaalin nominaali ainepaksuuden perusteella. Tämän tiedon perusteella valitaan valmistajan taulukosta tarvittavat RF-kelat, tuning moduuli, aaltomoodi ja sopiva laitteen asetus. Ensimmäiseksi asetusta valittaessa on huomioitava mahdollinen vesi putkistokohteissa, tämä vaikuttaa olennaisesti valittavaan asetukseen ja valittava asetus tässä tapauksessa löytyisi moodista S1. Toiseksi asetusta valittaessa on huomioitava myös tarkastuksessa etsittävän korroosion tai eroosion tyyppi ja kokoluokka. Moodilla A0 ja S1 on eroja havaitsemisherkkydessä ja tulkinnessa. A0 moodi on huomattavasti selkeämpi tulkittava ja sen vuoksi ensisijaisesti suositellaan käytettäväksi moodia A0.

Vahvistuksen säätäminen tehdään EMAT-laitteella tarkastettavaan kappaleeseen niin, että etsitään tarkastettavasta kohteesta paikka, josta saadaan voimakkain signaali valitun asetuksen perusvahvistuksella ja säädetään vahvistus halutulle voimakkuudelle tässä kohdassa. Lyhyelle äänitielle on kaikukorkeus 80–100 % päätelaitteen näytön korkeudesta. Näin säädettäessä saatu vahvistus voimakkuus on tarkastusvahvistus, jolla kyseinen tarkastus suoritetaan. Tarkastettavan kohteen aineenpaksuus on mitattava siltä kohdalta, jossa tarkastusvahvistus säädetään. (DEKRA Industrial 2015.)

EMAT-laitteen portit asetetaan GATES valikosta niin, että portti yksi on lyhyen äänitien ultraäänisignaalin kohdalla ja aksiaalisen putkiston tarkastuksessa portti kaksi asetetaan pitkän äänitien kohdalle. Pulssikaiku-tekniikassa portti yksi asetetaan lyhyen äänitien kohdalle ja portti kaksi on tällöin käytettävissä mahdollisten heijastajien arviointiin tarkastuksessa. Aika-akseli on säädettävä jokaiselle tarkastuskohteelle sopivaksi, jotta pystytään A-kuvasta näkemään vähintään aksiaali tarkastuksessa lyhyt ja pitkä äänitie, sekä kehäsuuntaisessa tarkastuksessa haluttu tarkastuspituus. (DEKRA Industrial 2015.)

6.4 Tarkastuksen suorittaminen

Tarkastaessa EMAT-laitteella havaitut muutokset kaikukuvissa arvioidaan signaalin heikkenemisenä lähetys vastaanottotekniikkaa käytettäessä, jossa ultraäänisignaalin heikkeneminen tarkoittaa muu-
tosta ainepaksuudessa. Heijastustekniikkaa käytettäessä arvioidaan mahdollisesta heijastajasta syn-
tyviä kaikuja. Tarkastustuloksissa EMAT-menetelmällä ei arvioida vikatyyppejä ja sen kokoa, vaan tar-
kempi vian koon ja tyyppin määrittely pitää suorittaa soveltuvalla toisella NDT- menetelmällä. (DEKRA
Industrial 2015.)

6.5 Tuloksien analysointi

Ultraäänisignaalin heikkenemiseen perustuva ainepaksuuden muutoksien analysointi tapahtuu
vertaamalla signaalinvoimakkuutta sen perustasoon. Alle 10 % muutokset ovat merkityksettömiä.
Tasomaiset heijastajat, joiden korkeus on alle 20 % ainepaksuudesta on todella vaikeasti havait-
tavissa ja alle 10 % tasomaiset heijastajat voivat jäädä löytymättä kokonaan. Terävä reunaiset hei-
jastajat ovat helposti havaittavissa.

6.6 Magneettisuus ja demagnetointi

EMAT-laitteistossa on voimakkaita kestromagneetteja, joten jäännösmagnetismi on huomioitava tar-
kastusta tehdessä ferromagneettisissa kohteissa, joissa magneettisuudella on merkitystä tarkastus-
kohteen toimintaan. Tarvittaessa on tehtävä demagnetointi tarkastuskohteelle.

6.7 EMAT-ultraäänen ja piezosähköisen ultraäänen vertailu

EMAT-ultraäänitarkastus on kuiva tarkastus, koska siinä ei tarvitse luotaimen ja tarkastettavan kap-
paleen välille kytkentäainetta eikä fyysistä kosketusta. Tämän vuoksi EMAT soveltuu hyvin erittäin
kuumille, kylmille ja automatisoituihin tarkastuskohteisiin. Pietzosähköinen ultraääni vaatii toimiak-
seen luotaimen ja tarkastettavan kappaleen välille kytkentäainetta, joka on yleisesti liisteriä tai gee-
liä. Lisäksi piezosähköinen ultraääni vaatii fyysisen kosketuksen luotaimen ja tarkastettavan kohteen
välille. Pietzosähköinen ultraääni on todella vaativa tarkastettavan kohteen tai materiaalin pinnanlaa-
dusta ja siinä ei saa olla mitään epäpuhtauksia tai pinnanmuodoista aiheutuvia epätasaisuuksia.
Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, jos tarkastettavana oleva kohde, materiaali tai tuote on epätasai-
nen, se joudutaan hiomaan tasaiseksi mikä taas aiheuttaa turhaan tarkastettavana olevan kohteen
ainepaksuuden ohentumista mikä ei ole joissakin tapauksissa suotavaa. EMAT ei ole herkkä pinnan-
laadulle, koska se voi olla öljyinen, märkä, karhea tai oksidoitunut. EMAT-ultraäänen luotaimen ase-
tus on huomattavasti helpompaa ja sen etuna on myös tarkastuksessa käytettävät aaltomuodot,
joita piezosähköisellä on vaikea tai mahdoton toteuttaa. EMAT pystyy tuottamaan leikkausaaltoja
samalla luotaimella 0°-90° pelkästään yksinkertaisesti taajuutta muuttamalla. EMAT-luotaimen
käyttö on huomattavasti helpompaa, koska siinä ei sovelleta Snellin taittumislakia. EMAT-menetel-
mässä luotaimen kulma ei vaikuta tarkastuksessa ultraäänen etenemissuuntaan. EMAT-laitteella on
huomattavasti nopeampi tehdä kokonaisuudeltaan laajemman alueen tarkastus. Fyysisesti tarkasta-
jalle EMAT-ultraäänitarkastus on kevyempi, jos käytössä on käsikahvoilla varustetut luotaimet, joi-
den liikuteltavuus on vaivatonta.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOKSET

Tässä opinnäytetyössä EMAT-laitteistoa testattiin käytännössä erilaisiin putkiin, joihin tehtiin muutamia erilaisia vikatyyppejä. Putkiin tehtyjä vikatyyppejä olivat tasomaiset ja teräväreunaiset viat, jotka mahdollisimman tarkasti kuvaisi käytännön työssä eteen tulevia mahdollisia vikoja. Käytännön tutkimuksen aikana havaittiin muutamia Innerspec Temate PowerBox H laitteen ongelmia, jotka aiheuttivat vaikeuksia käytännön työn tekemiseen. Innerspec Temate PowerBox H EMAT-laitteen käyttö järjestelmä kaatui useasti, jonka seurauksena laite vaati aina uudelleen käynnistämisen ja myös laitteen ultraäänipulssitus katosi. Pulssituksen katoamisen seurauksena koko sen hetkinen käytännön testaus täytyi pysäyttää, koska ultraääntä ei saa silloin syntymään tarkastettavaan kappaleeseen. Laitteen ja sen käyttökohteiden testaus oli haasteellista näiden ongelmien vuoksi.

Kehittämisen ja tulevaisuuden kannalta olisi järkevää suunnitella EMAT-laitteeseen sopiva tutkimuskappale, joka mahdollistaisi asymmetrisen ja symmetrisen moodin vertailua keskenään ja akustisen kytkennän todentamisen A0 moodilla, jotta voitaisiin todentaa kuinka putkessa oleva vesi vaikuttaisi tarkastukseen ja sen luotettavuuteen. EMAT-laitetta voidaan käyttää korrosio tutkimuksiin putkiskohteissa, joissa ei ole liian lähellä tarkastusaluetta hitsijä. Hitsit aiheuttavat ongelmia, kun ultraääni heijastuu hitsistä takaisin ja haittaa näin korrosiotutkimuksia näyttäen ylimääräisiä indikaatioita, koska ääni ei kulje hitsin läpi. Tasomaisia vikatyyppejä etsittäessä EMAT-laitteen havaitsemisherkkyys oli suhteellisen suppea, koska tasomaiset heijastajat, joiden korkeus oli alle 20 % aineenpaksuudesta on todella vaikeasti havaittavissa ja alle 10 % tasomaiset heijastajat saattoivat jäädä löytymättä kokonaan. Teräväreunaiset heijastajat olivat puolestaan todella hyvin havaittavissa. EMAT-ultraäänilaitteen etuja olivat piezosähköiseen ultraääneen verrattuna, että EMAT ei tarvitse kytkentäainetta, pinta voi olla öljyinen, märkä, karhea tai oksidoitunut ja tarkastettava alue yhdellä kertaa oli huomattavasti laajempi. Voidaan kuitenkin todeta, että EMAT-laitetta käytettäessä korrosio tutkimuksiin tällä hetkellä tarvitaan sen tueksi toinen sopiva NDT-menetelmä esimerkiksi piezosähköinen ultraäänilaitte todentamaan havaittu vikatyyppi, sen koko ja paikka. Toisena asiana miksi tällä hetkellä tarvitaan EMAT-ultraäänien tueksi toinen vastaava volymetrinen tarkastusmenetelmä on se, että standardi ei tunne laitteen käyttöä tarkastustehtävissä, joten laitteella ei voida hyväksyä eikä hylätä tarkastettavia kohteita. Voidaan vain etsiä mahdollisia vikoja tai virheitä ja todentaa niiden olemassaolo muulla menetelmällä. Myöskin laitevalmistajalta täytyisi päivittää laitetta ja sen lisävarusteita jatkotutkimuksia varten. Koronavirus pandemian vuoksi tämän opinnäytetyön laajuus käytännöntyön osalta jäi oletettua pienemmäksi, mutta tämän opinnäytetyön päättymisen jälkeen kehittämis- ja tutkimustyö jatkuu EMAT-laitteiston käytöstä NDT-tarkastuksissa.

LÄHTEET

Berke Michael. 2000. Nondestructive Material Testing with Ultrasonics. Verkkojulkaisu. <https://www.ndt.net/article/v05n09/berke/berke1.htm#0>. Viitattu 02.04.2021

DEKRA Industrial Oy 2021. Yritys. Verkkojulkaisu. <https://www.dekra.fi/yritys/dekra-industrial-oy>. Viitattu 16.03.2021

DEKRA Industrial Oy 2021. Ainetta rikkomaton testaus. Verkkojulkaisu. <https://www.dekra.fi/palvelut/ainetta-rikkomaton-testaus-ndt>. Viitattu 20.03.2021

DEKRA Industrial Oy 2015. EMAT-työohje rev.2. EMAT-Opetusmateriaali.

Innerspec Technologies Inc 2013. Introduction to EMAT. Opetusmateriaali.

Innerspec Technologies Inc 2021. EMAT Technology. Verkkojulkaisu. <https://www.innerspec.com/knowledge/emat-technology/>. Viitattu 21.03.2021

Innerspec Technologies Inc 2021. Knowledge. Verkkojulkaisu. <https://www.innerspec.com/knowledge/mrut-techniques>. Viitattu 20.04.2021

Lehtinen, Ville & Toivonen, Juha 2013. AEL NDT-tekniikka. Ultraäänitestaus 1- ja 2-tasolle. Vantaa: DEKRA Industrial Oy, 9–11, 31–32, 35–38

Martikainen, Jukka 2009. Hitsauksen laadunvarmistus. Luennot 2009. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 160, 176–177, 184, 186–187.

SFS-EN ISO 9712/Nordtest 2012. Rikkomaton aineenkoestus. NDT-henkilöstön pätevöinti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet. Viitattu 30.04.2021