

Pasi Puronhaara

**VUOTOMITTAUKSET JA MATERIAALIN TUTKIMINEN
ULTRAÄÄNELLÄ**

**Opinnäytetyö
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kesäkuu 2010**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Tekniikan ja liiketalouden yksikkö Kokkola	Aika Kesäkuu 2010	Tekijä/tekijät Pasi Puronhaara
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi Vuotomittaukset ja materiaalin tutkiminen ultraäänellä		
Työn ohjaaja lehtori Mikko Aunio	Sivumäärä 44	
Työelämäohjaajat yliopettaja Teuvo Aho, yliopettaja Raimo Hentelä		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ultraäänitarkastuksiin liittyvää teoriaa ja tutustua tarkastuksissa käytettäviin laitteisiin. Selvityksessä keskityttiin materiaalin paksuusmittauksiin sekä säröjen ja huokosten etsimiseen ultraäänen avulla. Lisäksi selvitettiin ultraäänen käyttöä vuotomittauksissa. Lopuksi esiteltiin laitteita, jotka soveltuvat tarkasteltuihin mittauksiin.</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoululle kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmalle. Opinnäytetyö liittyy Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun Tekniikan ja liiketalouden yksikössä toteutettavaan EAKR-rahoitteiseen toimintalinja 2 Mittaava käynnissäpito 3 - hankkeeseen.</p>		
Asiasanat ultraäänilaitteet, ultraääni, ultraäänitarkastus		

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date June 2010	Author Pasi Puronhaara
Degree programme Mechanical and Production Engineering		
Name of thesis Measurements of Leakage and Material Research of Ultrasonic		
Instructor Mikko Aunio	Pages 44	
Supervisor Teuvo Aho, Raimo Hentelä		
<p>The purpose of this thesis was to study the theory related to ultrasonic inspections and to get to know the equipment used in these inspections. The main focus was on the thickness measurements of the material, and finding cracks and porosity in the material by using ultrasonic. In addition, its use in leakage measurement was studied. Finally, some equipment, suitable for the measurement, was presented.</p> <p>The thesis was made in the degree program of Mechanical and Production Engineering at Central Ostrobothnia University of Applied Sciences. The thesis is a part of the ERDF-funded priority axis 2 Mittaava käynnissäpito 3 - project, which is carried out in the unit of Technology and Business.</p>		
Key words ultrasonic, ultrasonic equipment, ultrasonic inspection		

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 ULTRAÄÄNITARKASTUS	3
2.1 Ultraääni	3
2.2 Ultraäänitarkastus	3
2.3 Ultraäänilaite	5
2.4 Normaaliluotain	12
2.5 Kulmaluotain	13
2.6 Kaksoisnormaaliluotain	14
2.7 Luotaimen äänikeila	15
2.8 Äänen vaimennus	17
2.9 Ultraäänilaitteen säätö	18
2.9.1 Säätö normaaliluotaimella	18
2.9.2 Säätö kaksoisnormaaliluotaimella	19
2.9.3 Säätö kulmaluotaimella	20
2.10 Ultraäänen käyttö vuotomittauksissa	22
2.11 Vaiheistettu ultraääni	23
3 ULTRAÄÄNILAITTEIDEN KAUPALLISET LAITETYYPIT	25
3.1 Paksuusmittarit	25
3.1.1 PocketMIKE	25
3.1.2 ST5900	26
3.1.3 T-Gage IV	27
3.2 Pinnoitepaksuusmittarit	29
3.2.1 CM-8826FN	30
3.2.2 PosiTest DFT	31
3.2.3 CM-8825F	33
3.3 Vuotomittarit	33
3.3.1 Meleak300	34
3.3.2 Leak Detect	35
3.4 Säröjen ja materiaalimuutosten havaitseminen ultraäänellä	36
3.4.1 Echograph 1090	36
3.4.2 Sitiescan D-10	37
3.4.3 TD Handy Scan	39
3.4.4 EPOCH 1000	39
3.4.5 TD Focus Scan	40
4 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	44

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ultraäänitarkastuksiin liittyvää teoriaa ja kerätä tietoa tarkastuksissa käytettävistä laitteista. Selvityksessä keskityttiin materiaalin paksuusmittauksiin sekä säröjen ja huokosten etsimiseen ultraäänen avulla. Lisäksi selvitettiin ultraäänen käyttöä vuotomittauksissa. Teoriaosuuden tutkimus on kirjallisuusselvitys. Laitteisiin tutustuttiin teoreettisesti esitteiden ja laitetoimittajien www-sivujen avulla. Lopuksi esitellään laitteita, jotka soveltuvat tarkasteltuihin mittauksiin.

Opinnäytetyö tehtiin Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmalle. Opinnäytetyö liittyy Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun Tekniikan ja liiketalouden yksikössä toteutettavaan EAKR-rahoitteiseen toimintalinja 2 Mittaava käynnissäpito 3 - hankkeeseen. Hankkeen toteutusaika on 1.12.2009–30.11.2012.

Ammattikorkeakouluopetus käynnistyi Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulussa 1.8.1992, ja ammattikorkeakoulu vakinaistettiin 1.8.1998 (Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu 2010).

Kaksikielinen Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu on monialainen ja poikkitieteellisyttä korostava oppimis- ja kehittämiskeskus. Ammattikorkeakoulun päätehtävänä on kohottaa toimialueensa väestön osaamistasoa. Korkeatasoinen oppimistoiminta on Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun toiminnan ydin. Oppimiskulttuuri perustuu henkilöstön pedagogiseen taitavuuteen, opiskelijalähtöiseen ajatteluun ja elinkeino- ja työelämäyhteyksiin. Ammattikorkeakoulussa opiskelee noin 3300 opiskelijaa kuudella koulutusalueella 22 eri koulutusohjelmassa. Ammattikorkeakoulun opetuskielet ovat suomi, ruotsi ja englanti. (Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu 2010.)

Koulutusalat ovat

- tekniikan ja liikenteen ala
- yhteiskuntatieteiden, liiketalouden ja hallinnon ala
- matkailu-, terveys- ja liikunta-ala
- sosiaali-, terveys- ja liikunta-ala

- humanistinen ja kasvatusala
- kulttuuriala.

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakouluun kuuluvat seuraavat koulutusyksiköt:

- Tekniikan ja liiketalouden yksikkö, Kokkola
- Ylivieskan yksikkö
- Pietarsaaren yksikkö
- Sosiaali- ja terveystieteiden yksikkö, Kokkola
- Taiteen yksikkö, Kokkola

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun omistaa ammattikorkeakouluosakeyhtiö, jonka osakkaita ovat Keski-Pohjanmaan koulutusyhtymä, Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymä, Pietarsaaren kaupunki, Raudaskylän Kristillinen Opisto ry. ja Keski-Pohjanmaan konservatorion kannatusyhdistys ry. (Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu 2010.)

2 ULTRAÄÄNITARKASTUS

2.1 Ultraääni

Ääntä, jonka taajuus ylittää kuuloalueen, nimitetään ultraääneksi. Ultraäänialueen ylärajana pidetään 10 GHz:n taajuutta. Taajuusalue jaetaan vielä matalan ja korkean ultraäänen alueisiin. Matala ultraääni on noin 20 kHz...100 kHz:n taajuusalueella. Tällä alueella ovat ilmassa etenevät ultraäänit. Korkean ultraäänen taajuuksia 1 MHz...10 GHz käytetään kiinteän aineen ja nesteiden tutkimuksissa. (Inkinen & Manninen & Tuohi 2006, 282–283.)

Ultraääntä voi syntyä nopeasti pyörivien moottoreiden käydessä, moottoreiden vaihdelaatikoissa, nesteiden ja kaasujen turbulenteissa virtauksissa ja sähköpurkauksissa. Myös useat eläimet, esimerkkinä lepakot ja delfiinit, pystyvät tuottamaan ultraääntä. Teknisesti ultraääntä voidaan tuottaa esimerkiksi sähkö- ja magnetostraktion avulla. (Inkinen ym. 2006, 282–283.)

Ultraäänellä on useita teknisiä sovelluksia, joista monet perustuvat yksinkertaisesti äänen kulkuajan mittaamiseen. Esimerkiksi sähköstriktiolla tuotettu ultraäänipulssi suunnataan haluttuun kohteeseen. Pulssi heijastuu kohteesta, ja osa äänestä palaa vastaanottimeen. Laitteisto mittaa ajan, joka kuluu lähetetyn pulssin ja vastaanotetun pulssin välillä. Ajan perusteella voidaan laskea kohteen etäisyys, kun äänen nopeus väliaineessa tunnetaan. Tällä tavalla toimii esimerkiksi kalastajien käyttämä kaikuluotain ja pinnan korkeusmittaus nestesäiliössä. Ultraäänen aikaansaamaa värähtelyä väliaineessa voidaan hyödyntää muovien ja pehmeiden metallien hitsaamisessa ja myös lääketieteessä esimerkiksi nivelien lämpöhoidossa. (Inkinen ym. 2006, 282–283.)

2.2 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastusta on käytetty jo 40 vuotta. Ensimmäisistä kokeiluista löytää materiaalivikoja ultraäänen avulla on kehittynyt klassinen tarkastusmenetelmä. Nykyaikaiselta tarkastukselta vaaditaan toistettavia tuloksia. Ne on voitu saavuttaa laitetekniikan voimakkaan

kehityksen ansiosta. Tämä asettaa vaatimuksia tarkastuksen rajoitusten tuntemukseen ja oikean tarkastustekniikan soveltamiseen. Aina eivät kuitenkaan kaikki vaikutukset ole niin merkittäviä, että ne olisi otettava huomioon. Useissa tapauksissa voidaan jonkin vaikutus jättää huomioimatta ilman, että mittaustulokset vääristyisivät. Tällä tavoin tarkastus yksinkertaistuu ja tarkastusaika lyhenee. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Pinnantarkastukseen tarkoitettujen tunkeumaneste- ja magneettijauhetarkastusten lisäksi käytettiin radiografiatarkastusta sisäisten vikojen havaitsemiseksi 50-luvun alussa. Toisen maailmansodan jälkeen alkoi ultraäänilaitteiden valmistus. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Ultraäänitarkastus perustuu kiinteiden materiaalien hyvään äänenjohtamiskykyyn. Rajapintojen lisäksi myös sisäiset viat (säröt, sulkeumat jne.) heijastavat hyvin ääntä. Materiaalin vaikutus ääneen on sitä suurempi, mitä pienempi aallonpituus on eli mitä korkeampi taajuus on:

$$\lambda = c/f$$

jossa: c = äänennopeus

f = taajuus

λ = aallonpituus.

Jotta aallonpituus olisi millimetrialueella, on ultraäänen taajuuden oltava 0,5–25 MHz. Matalammilla taajuuksilla on vikojen vaikutus ultraäänialtoihin niin pieni, että niiden löytäminen tulee vaikeaksi. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Sekä ultraääni- että radiograafinen tarkastus, jotka osittain korvaavat ja täydentävät toisiaan, ovat tällä hetkellä tärkeimmät sisäisten vikojen tarkastukseen käytettävät menetelmät. Edullisella ja vaarattomalla ultraäänitarkastuksella voidaan ratkaista monia tarkastustehtäviä, kun erityistarkastuksiin käytetään radiografiaa, kuten ennenkin. Erittäin vaativissa kohteissa (ydinvoimalat, lentokoneenrakennus jne.) käytetään molempia menetelmiä. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

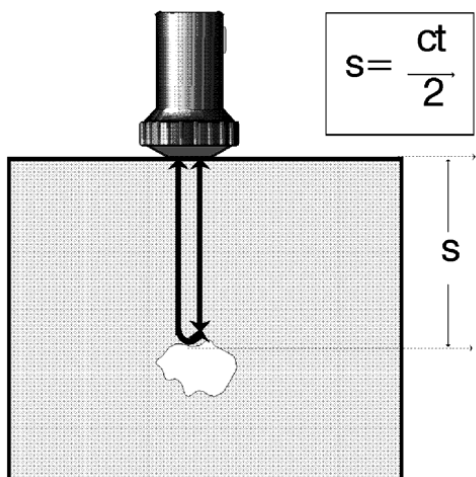
Ultraäänipaksuusmittauksen kohteet ovat monet, ja joissakin kohteissa ultraääni on käytännössä ainoa kunnollinen vaihtoehto. Esimerkiksi voimalaitoskattiloiden keitto- ja tulistinputket ovat kohteita, joiden korroosio- ja kulumistilan seuraamiseen menetelmä soveltuu erittäin hyvin. Paksuseinämaisten kohteiden hitsit ja perusaineet ovat myös yleisiä käyttökohteita. Yleisesti ottaen tarkastuskohteiksi sopivat kaikki kohteet, joiden materiaali on hyvin ääntä johtavaa ja tarkastettava pinta on luokse päästävissä ja riittävän tasainen hyvän kontaktin aikaansaamiseksi. Normaalien hiiliterästen kuoppakorroosion erotuskyky on varsin hyvä. Kirkkaissa aineissa esiintyvän pistekorroosion havaitseminen on epävarmempaa pistekorroosiokuopanpohjan pienen pinta-alan vuoksi. (Latvala 2007.)

2.3 Ultraäänilaite

Ultraäänitarkastuslaitteiston tärkeimmät perusosat ovat ultraäänilähde, luotain sekä sopiva kytKentäaine. Luotaimet voivat lähettää ääntä pintaan nähden kohtisuorassa (normaali-luotaimet) tai eri kulmissa (kulmaluotaimet). KytKentäaine (vesi, liisteri, geeli, tms.) on välttämätöntä, jotta ääni siirtyisi luotaimesta kohteeseen ja takaisin. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 2004, 42.)

Koska ultraääni vaimenee hyvin voimakkaasti ilmassa, tarvitaan anturin ja mitattavan kappaleen välille paremmin ultraääntä johtava väliaine. Mittauksen onnistumisen kannalta on tärkeää, ettei anturin ja mitattavan kappaleen väliin jää ilmarakoa eikä sinne pääse vieraita partikkeleita. (Juhanko, Kuosmanen, Pirttiniemi & Widmaier 2009.)

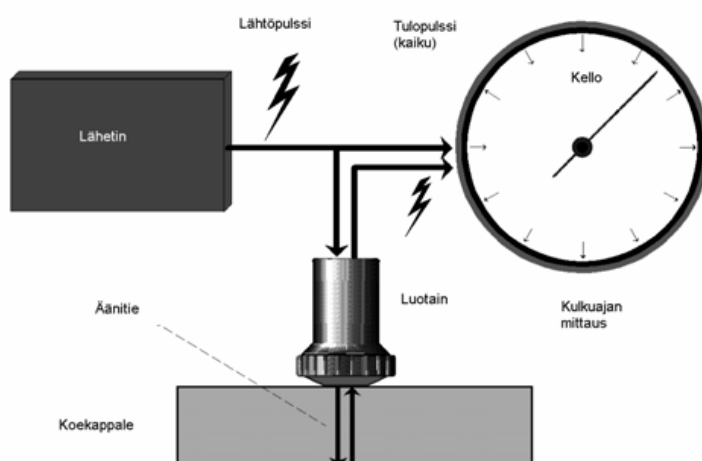
Epäjatkuvuuskohtien paikantamisen kannalta on tärkeää, että lähetettävien ultraäänipulssien on oltava mahdollisimman lyhyitä, koska halutaan mitata kulkuaika luotaimesta epäjatkuvuuskohtaan ja takaisin. Tämä on mahdollista vain silloin, kun selvä aloitus- ja lopetushetki ovat olemassa. Mikäli tarkastettavan kappaleen äänennopeus tunnetaan, voidaan yksinkertaisen kaavan avulla laskea epäjatkuvuuskohdan etäisyys ja määrittää sen tarkka sijainti tarkastettavassa kappaleessa (KUVIO 1). (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



KUVIO 1. Äänitie kulkuajan funktiona (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

jossa: s = äänitie
 c = äänennopeus
 t = kulku aika.

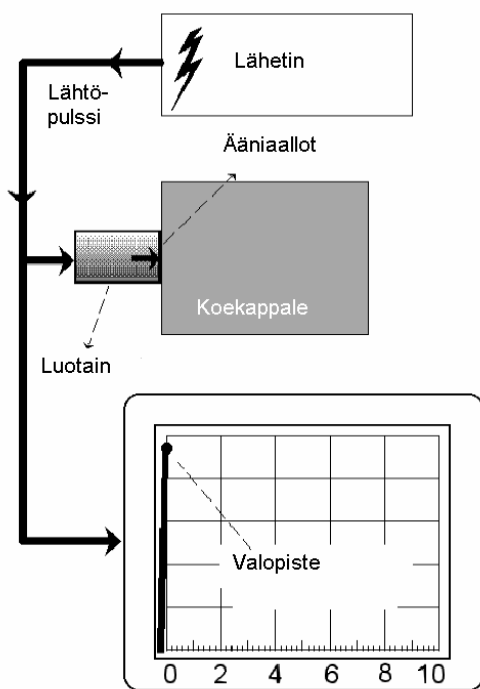
Äänen heijastuksia kuuluvalla alueella kutsutaan kaiuiksi. Samoin voidaan tätä lyhyttä ja sopivaa nimeä käyttää myös ultraäänipulsseille. Tällä tavoin voidaan helposti ymmärtää eniten käytettyä pulssikaikumenetelmää (KUVIO 2). (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



KUVIO 2. Lohkokaavio: ultraäänilaite (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

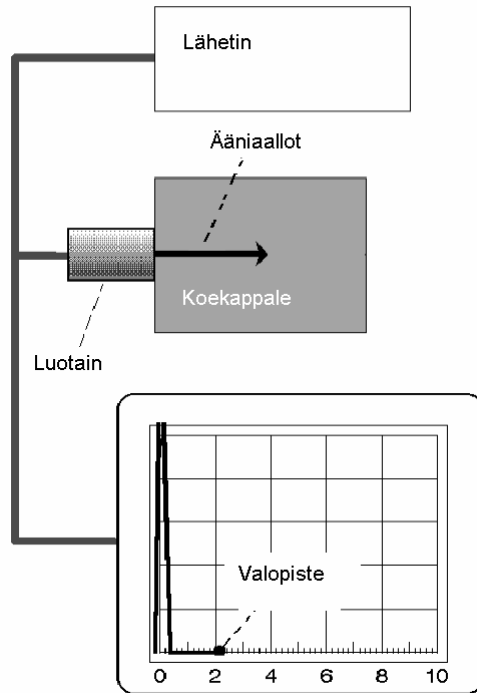
Ajan mittaus alkaa sähköisestä lähtöpulssista eli erittäin lyhyestä muuntimeen tulevasta sähköisestä latauksesta, joka muuttuu äänipulssiksi. Tämä ääni kulkee kappaleen läpi ja heijastuu takaisin luotaimen epäjatkuvuuskohdasta tai vastakkaisesta pinnasta. Luotaimessa ääni muuttuu takaisin sähköiseksi pulssiksi, mihin ajan mittaus päättyy. Tällöin voidaan heijastajan etäisyys laskea. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Kuvapinnalla näkyvien kaikkujen arviointia varten on kuvapinta varustettu asteikolla. Asteikolle on piirretty vaaka- ja pystyrasteri. Asteikko helpottaa kuvapinnalla näkyvien kaikkujen arviointia. Kuten aikaisemmin on todettu, lähettää sähköpulssein saava muunnin äänipulssin. Tämä sama lähtöpulssi tulee myös vahvistimen sisään menoon, joka aiheuttaa valopisteen pystyliikkeen kuvapinnan vasemmasta reunasta (KUVIO 3). (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



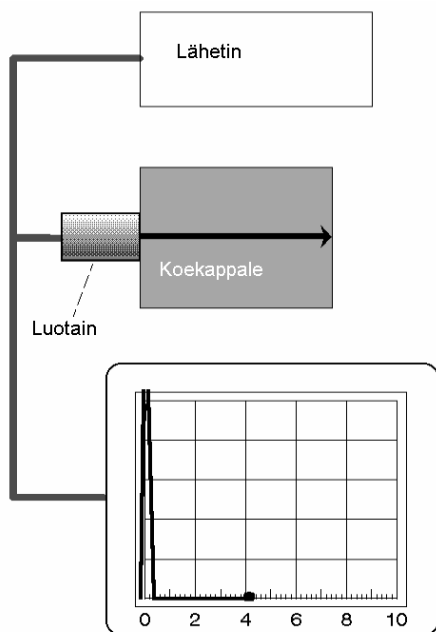
KUVIO 3. Lähtöpulssi on aloituskohta (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Samanaikaisesti valopiste liikkuu kuvapinnan vasemmasta reunasta vakionopeudella peruslinjaa pitkin oikealle (KUVIO 4). (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



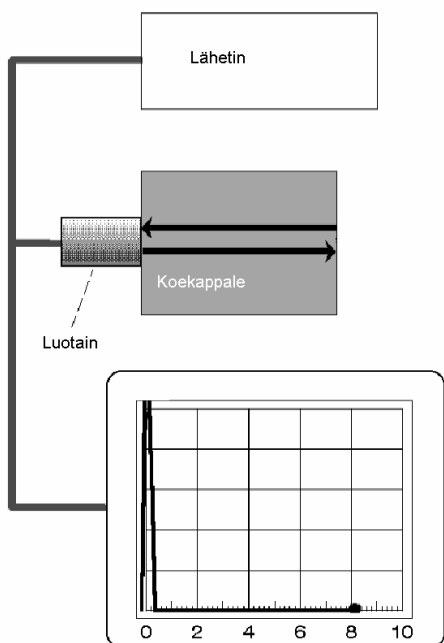
KUVIO 4. Valopistepiste kohdalla 2 kuvapinnalla 10 μ s:n jälkeen (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Pisteen liikkumisnopeus on riippuvainen tarkastettavan kappaleen äänennopeudesta. Pisteen siirtonopeus on säädettävissä. Valopisteen nopeus voidaan sovittaa äänennopeuteen. Oletetaan, että valopisteen nopeus on säädetty siten, että valopiste on asteikolla kohdalla 4, kun ääni on saavuttanut kappaleen vastakkaisen puolen (KUVIO 5). (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



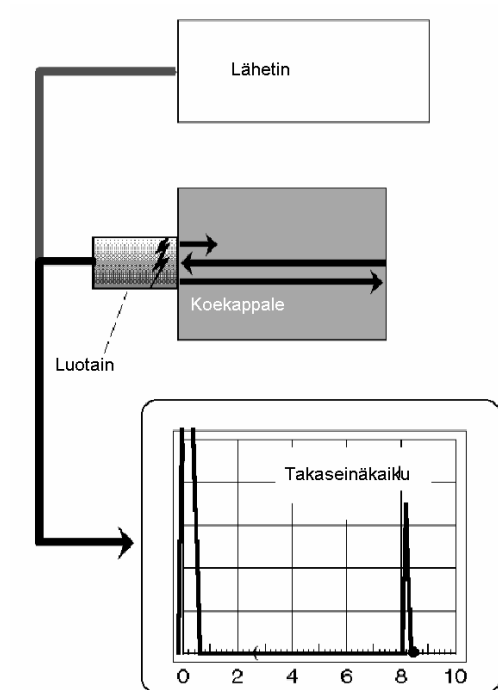
KUVIO 5. Valopiste kuvapinnalla kohdalla 4 (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Ääni tarvitsee saman ajan palataksaan takaisin, eli valopiste on asteikolla kohdalla 8 (KUVIO 6). (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



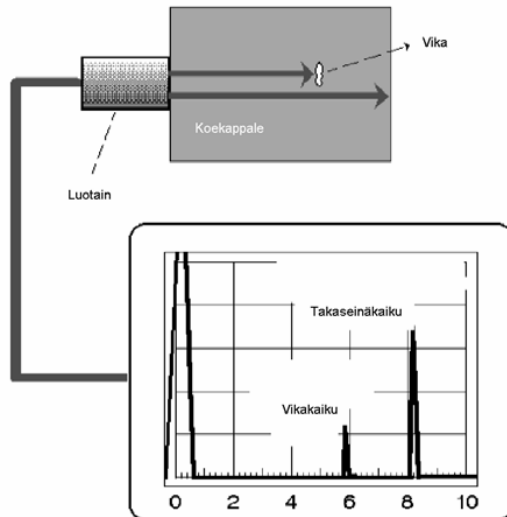
KUVIO 6. Valopiste kuvapinnalla kohdalla 8 (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Luotaimeen takaisin kytkentäaineen kautta palaava osa äänestä aiheuttaa sähköisen pulssin, joka siirtää valopistettä ylöspäin kulkiessaan vahvistimen kautta ja näkyy takaseinäkaikuna (KUVIO 7). (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



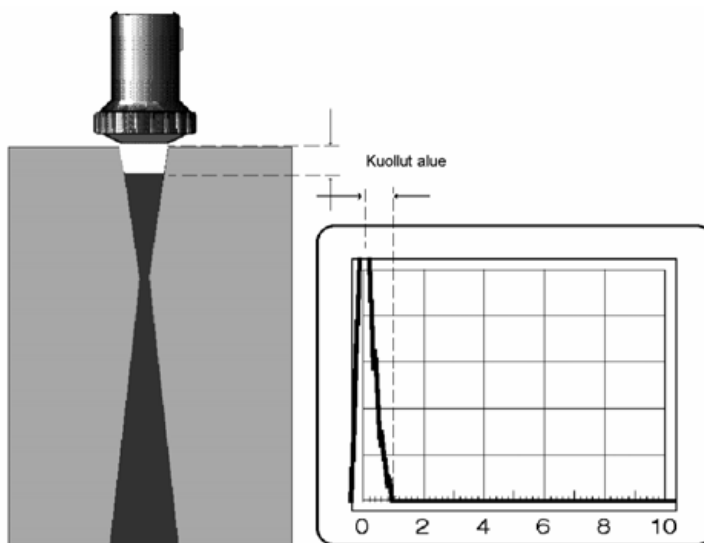
KUVIO 7. Takaseinäkaiku kuvapinnalla kohdalla 8 (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Asteikon kohdalla 8 olevaa kaikua voidaan tarkastella tarkemmin: Se vastaa vastakkaisesta seinämästä heijastunutta ääntä eli on takaseinäkaiku. Äänikeilassa oleva heijastaja, esimerkiksi halkeama, aiheuttaa kaiun lähtöpulssin ja takaseinäkaiun välille. Ääni heijastuu osittain epäjatkuvuuskohdasta (KUVIO 8). (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



KUVIO 8. Viasta saatava kaiku kuvapinnalla (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Kun lähellä pintaa luotaimen alla on pieni epäjatkuvuuskohta, jää välikaiku lähtöpulssin kohdalle ja sen alle. Mahdollisesti ei ole myöskään muita viitteitä siitä, että pinnan lähellä olisi epäjatkuvuuskohta. Lähtöpulssi ei ole toivottu, vaikkakin teknisesti välttämätön paha. Se rajoittaa lähellä pintaa olevien epäjatkuvuuskohtien havaitsemista. Heijastajia, jotka sijaitsevat kuolleella alueella eli välittömästi pinnan alla tarkastamattomalla alueella, ei voida enää havaita (KUVIO 9). Kuollut alue on riippuvainen luotaimesta ja laitteesta. Se voidaan siten minimoida luotaimen ja laitteen oikealla valinnalla. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

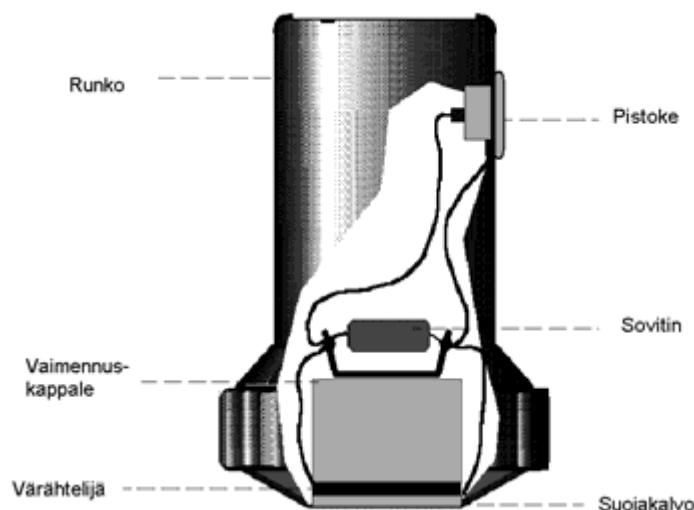


KUVIO 9. Kuollut alue (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Ultraäänilaite kalibroidaan siten, että otetaan tietynkokoisesta tunnetusta heijastajasta vertailukaiku ja yhdistetään tähän kyseessä olevan matkan aiheuttama äänen vaimennus. Tarkastustuloksena saadaan tietystä epäjatkuvuuskohdasta kaiku, jota verrataan tunnetun kalibrintireiän antamaan kaikuun. (Järviö, Piispa, Parantainen, Åström 2007, 261.)

2.4 Normaaliluotain

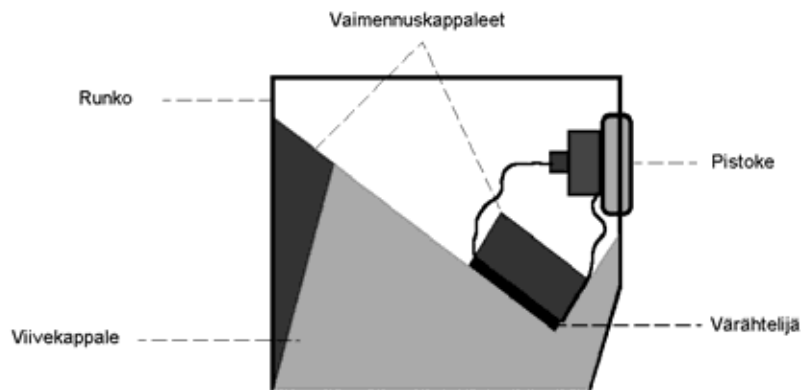
Ääntä kohtisuoraan pintaan nähden lähettävää ja vastaanottavaa luotainta sanotaan normaaliluotaimeksi (KUVIO 10). Useimmat normaaliluotaimet lähettävät pitkittäisaaltoa (paineaalto). Ne tunnistaa siitä, että ne etenevät kaikissa materiaaleissa tiheytymien ja harventumien välityksellä. Normaaliluotaimia on olemassa suuri valikoima erikokoisina ja -taajuisina 0,5–25 MHz. Yleisimmät käytetyt normaaliluotaimen halkaisijat ovat 4–40 mm. Niiden avulla voidaan saavuttaa yli 10 m:n etäisyys ja näin voidaan tarkastaa suuriakin kappaleita. Laaja valikoima mahdollistaa luotaimen ominaisuuksien sovittamisen kaikkiin tarkastuksiin. Normaaliluotaimella on olemassa joissakin tapauksissa huono ominaisuus: lähtöpulssin leveydestä johtuva huono pinnan lähellä olevien epäjatkuvuuskohtien havaitseminen. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



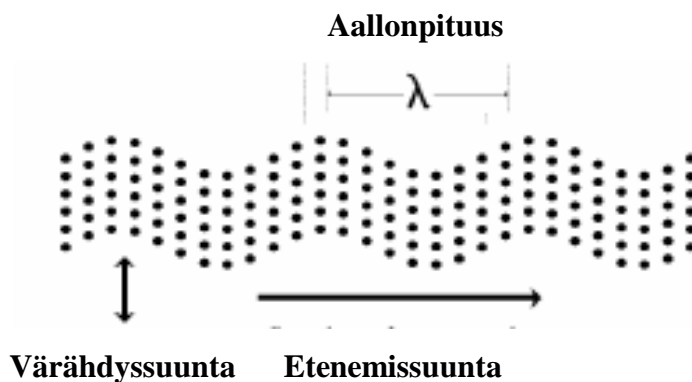
KUVIO 10. Normaaliluotain, leikkauskuva (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

2.5 Kulmaluotain

Vinosti pintaan nähden ääntä lähettäviä ja vastaanottavia luotaimia kutsutaan kulmaluotaimiksi (KUVIO 11). Useimmat kulmaluotaimet lähettävät ja vastaanottavat poikittaisaaltoja tai leikkausaaltoja. Poikittaisaalloilla atomit (molekyylit) värähtelevät poikittain aallon etenemissuuntaan nähden (KUVIO 12). Äänen värähtely tapahtuu leikkausvoimien vaikutuksesta. Poikittaisaallot etenevät vain kiinteissä aineissa eivätkä koskaan nesteissä tai kaasuissa. Tämän lisäksi poikittaisaallot etenevät huomattavasti hitaammin kuin pitkätaaliset aallot samassa materiaalissa. (Ainettarikkoman ultraäänitarkastus 2009.)



KUVIO 11. Kulmaluotain, leikkauskuva (Ainettarikkoman ultraäänitarkastus 2009.)



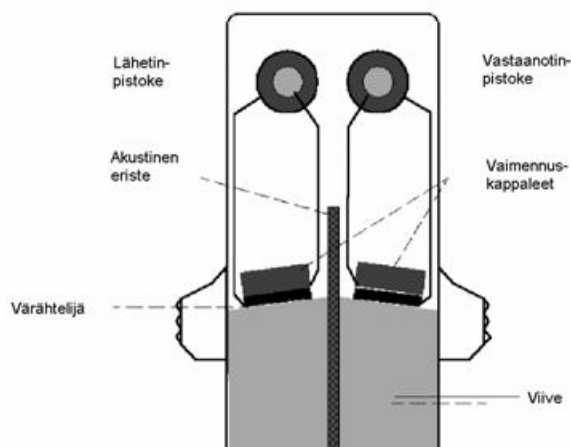
KUVIO 12. Poikittaisaalto (Ainettarikkoman ultraäänitarkastus 2009.)

Ultraäänitarkastuksella tarkastetaan useimmissa tapauksista terästä, joten kulmaluotain voidaan suunnitella siten, että sille saadaan järkevät luotauskulmat. Kulmaluotaimia on saatavana kulmilla 35° , 45° , 60° , 70° , 80° ja 90° (pinta-aalto). Tavallisimmin käytetään

kulmaluotaimia, joiden kulmat ovat 45° , 60° ja 70° . Kulmaluotaimien taajuusvalikoima ei ole niin suuri kuin normaaliluotaimien. Tämä johtuu siitä, että jopa seostamattomilla hienorakeisilla teräksillä poikittaisaalloilla on suuri vaimennus. Äänienergia absorboituu ja siroaa kulkiessaan materiaalissa niin, että vain suhteellisen pieniä kappaleita voidaan tarkastaa riittävällä herkkyydellä. Jos suuremmissa kappaleissa (paksuissa) on havaittavia epäjatkuvuuskohtia, on valittava mahdollisimman matalataajuinen ja suurikokoinen luotain. 2 MHz:n kulmaluotaimella voidaan havaita 700 mm:n päässä oleva 2 mm:n kokoinen heijastaja. Kulmaluotaimen lähierotuskyky on usein parempi kuin normaaliluotaimen, koska lähtöpulssi on pitkällä vasemmalla kuvapinnalla aika pitkän viiveen vuoksi. Lähtöpulssin laskeva oikea reuna saattaa kuitenkin peittää pinnan lähellä olevien epäjatkuvuuskohtien kaiut. (Ainettarikkoman ultraäänitarkastus 2009.)

2.6 Kaksoisnormaaliluotain

Jos normaaliluotaimelle halutaan yhtä hyvä lähierotuskyky kuin kulmaluotaimelle, on käytettävä kaksoisnormaaliluotainta (KUVIO 13). (Ainettarikkoman ultraäänitarkastus 2009.)



KUVIO 13. Kaksoisnormaaliluotain, leikkauskuva (Ainettarikkoman ultraäänitarkastus 2009.)

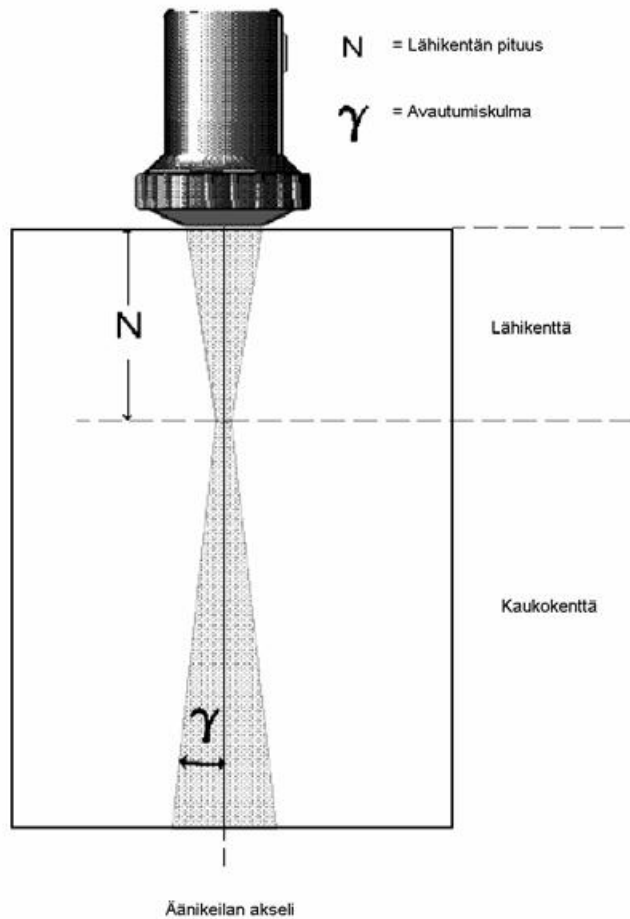
Tällaisella luotaimella käytetään kahta toisistaan akustisesti eristettyä muunninta, jotka on asennettu samaan runkoon. Lisäksi kummankin muuntimen eteen on liimattu melko pitkä

hieman vinossa oleva viive pleksistä. Toinen kaksoisluotaimen muuntimista kytketään ultraäänilaitteen lähettimeen ja toinen vahvistimeen. Pitkän viiveen vuoksi lähtöpulssi on kokonaan poissa kuvapinnalta. Viiveessä syntyvät kerrannaiskaiut eivät häiritse, koska lähettimellä ei ole vastaanotintoimintoa. Vasta kun kappaleesta tulee äänipulsseja luotaimen vastaanottimeen, tulee kuvapinnalle kaikuja. Lähettimen ja vastaanottimen sähköinen eristäminen ei ole teknisistä syistä täysin mahdollista. Suurella vahvistuksella tai kappaleen pinnan ollessa epätasainen tapahtuu äänen siirtyminen suoraan lähettimestä vastaanottiin. Kuvapinnalla näkyy häiriökaiku, jota kutsutaan kytkentäkaiuksi. Kytchentäkaiku peittää juuri pinnan läheisen alueen ja vaikuttaa erityisesti pienten pinnan läheisten epäjatkuvuuskohtien havaitsemiseen. Normaalisti kuitenkin kytkentäkaiku on niin pieni tai sitä ei edes ole olemassa, että epäjatkuvuuskohdat ovat hyvin havaittavissa. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Kaksoisluotain soveltuu hyvin lähellä pintaa olevien epäjatkuvuuskohtien etsintään ja ohuiden kohteiden paksuudenmittaukseen. Kaksoisluotain reagoi huomattavasti vähemmän kontaktin muutoksiin, erityisesti epätasaisilla tai kaarevilla pinnoilla. Tästä syystä kaksoisluotaimia käytetään laajasti kemian ja energia-alan teollisuudessa. Ne ovat erittäin hyviä putkien ja säiliöiden tarkastukseen, korroosion havaitsemiseen ja jäljellä olevan seinämänpaksuuden mittaukseen. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

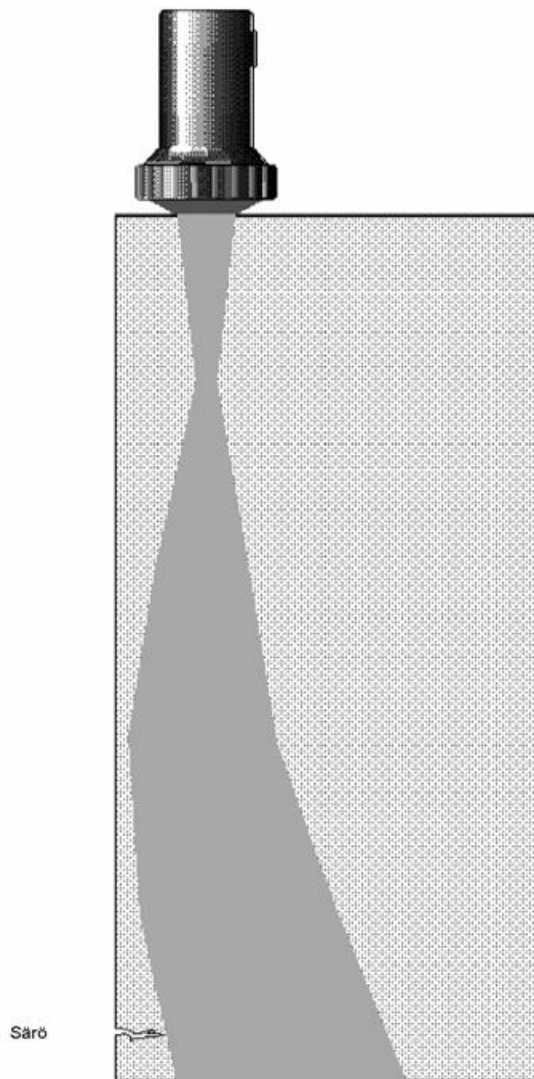
2.7 Luotaimen äänikeila

Jokaisella luotaimella on oma vaikutusalue, eli ääniaallot peittävät vain tietyn alueen tarkastuskohteesta. Tätä aluetta kutsutaan äänikeilaksi, ja sen koko ja muoto riippuvat luotaimesta ja tarkastettavasta materiaalista. Äänikeila voidaan jakaa kahteen eri alueeseen. Alueet ovat fokusoiva alue eli lähikenttä ja laajeneva alue eli kaukokenttä (KUVIO 14). (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



KUVIO 14. Äänikeila (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Lähikentän pituus (N) ja avautumiskulma (γ) riippuvat muuntimen halkaisijasta, taajuudesta ja materiaalin äänennopeudesta. Äänikeilan keskilinjaa sanotaan äänikeilan akseliksi. Äänikeilan muoto on tärkeä tarkastukseen sopivaa luotainta valittaessa. Tarkastuksen ratkaisun kannalta riittää usein vain keskiakselin esittäminen. Luotaimen takaisin heijastuvan äänen määrä on riippumaton äänen tulosuunnasta. Eli on lähes samantekevää, suoriteaanko tarkastus käyttäen normaali- tai kulmaluotainta ja miltä puolelta kappaletta luotaus suoritetaan. Jos ääni ei heijastu takaisin luotaimen, on epäjatkuvuuskohtan havaitseminen epävarmaa. Vain silloin kun tasomainen epäjatkuvuuskohta kohdataan kohtisuoraan, on sen havaitsemistodennäköisyys suuri. Tämä koskee kappaleen sisäisiä epäjatkuvuuskohtia. Kappaleen pintaan asti kohtisuoraan avautuvia tasomaisia heijastajia, kuten pintasäröjä, ei havaita kohtisuoraan tulevan äänen avulla, koska ääni ohjautuu kappaleen sivuseinistä pois päin (KUVIO 15). (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



KUVIO 15. Äänen ohjautuminen sivuseinästä (Ainettarikkoman ultraäänitarkastus 2009.)

2.8 Äänen vaimennus

Äänikeilassa olevien tasapohjaisen heijastajan lainalaisuuksien (etäisyys ja suuruus) lisäksi on otettava huomioon eräs ominaisuus: äänen vaimennus. Äänen vaimennus johtuu materiaalin ominaisuuksista, ja se on voimakkaasti riippuvainen taajuudesta ja käytetystä aaltoliikkeestä. Vasta kun vaimennus on tarkasti tiedossa, voidaan se huomioida vian koon arvioinnissa. Joka tapauksessa arvostelu tulee vaikeammaksi sekä epävarmemmaksi ja se vie enemmän aikaa. (Ainettarikkoman ultraäänitarkastus 2009.)

2.9 Ultraäänilaitteen säätö

Epäjatkuvuuden sijainti on heti pääteltävissä ultraäänilaitteen kuvapinnalta, kun se on oikein säädetty. Säätö tarkoittaa tietyn etäisyysasteikon säätämistä nollapisteestä eteenpäin lineaarisesti kuvapinnalle. Kuvapinnan asteikon kohta 0 vastaa kappaleen pintaa, ja asteikon kohta 10 kuvapinnalla vastaa suurinta haluttua etäisyyttä, esimerkiksi 100 mm:n terästä, 10 mm:n alumiinia, 25 mm:n messinkiä jne. Kaiun paikka eli äänitie s johdetaan äänen kulkuajasta ja materiaalin äänennopeudesta seuraavalla kaavalla:

$$s = \frac{c \cdot t}{2}$$

jossa: s = äänitie
 c = äänennopeus
 t = kulku aika.

Käytännössä kuitenkin ultraäänilaitteen säätöön käytetään tarkastettavasta materiaalista valmistettua kappaletta, jonka mitat tunnetaan. Kytettäessä luotain tunnetulle paksuudelle d saadaan takaseinäkaikujono. Kulloisetkin äänitiet vastaavat loogisesti äänen kulkemaa matkaa kappaleessa normaaliluotaimella. Ne ovat paksuuden monikertoja, eli: 1. kaiku = d , 2. kaiku = $2d$, 3. kaiku = $3d$ jne. Mitta-alueen säätämiseksi tarvitaan vähintään kaksi kaikua, joiden paikat säädetään oikeiksi kuvapinnalla. Laite on säädetty oikein, kun lukemalla kaiun paikka asteikolla voidaan äänitie heijastajaan määrittää. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

2.9.1 Säätö normaaliluotaimella

Säätöön tarkoitettua kappaletta sanotaan kalibrointikappaleeksi. Tarkistuskappaleeksi sanotaan kappaletta, jonka muoto ja mitat on määritelty standardissa. Tarkistuskappaleen 1 (SFS 3288) paksuus on 25 mm, ja se on valmistettu niukkaseostetusta hienorakeisesta teräksestä. Sitä voidaan käyttää lähes kaikkiin säätöihin tarkastettaessa vastaavaa terästä. Tarkistuskappaleesta saatavien kaikujen tarkka säätö tapahtuu analogisella ultraäänilaitteella pulssinsiirron tai nollapisteen ja mitta-alueen karkea- ja hienosäädön avulla. Säätö

tapahtuu vuoroittain näillä säädöillä, kunnes kaiun etureunat ovat oikeilla kohdillaan. Digitaalilla ultraäänilaitteilla säätö on helpompaa. Siinä valitaan suoraan mitta-alue ja äänenopeus säädetään teräksellä siten, että se on 5920 m/s. Luotaimen kytkennän jälkeen tarvitsee suorittaa vain luotaimen viiveen kompensointi nollapisteen säädöllä. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Vasta oikein tehdyn mitta-alueen säädön jälkeen on tarkka epäjatkuvuuskohtien paikantaminen mahdollista. Luotainta liikutetaan tarkastettavalla kohteella. Normaalitapauksissa, jos kappaleessa ei ole epäjatkuvuuskohtia, näkyy kuvapinnalla vain lähtöpulssi ja takaseinäkaiku. Heti kun äänikeilaan osuu epäjatkuvuuskohta, tulee lähtöpulssin ja takaseinäkaiun välille ylimääräinen kaiku. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

2.9.2 Säätö kaksoisnormaaliluotaimella

Kaksoisluotaimen säätö takaseinäkaikujonon avulla on rakenteellisista syistä vain rajoitusti mahdollista. Pienen luotaimen kulman vuoksi johtuen syntyy kaksoisluotaimilla poikkaisaaltoa, joka aiheuttaa häiriökaikuja ensimmäisen takaseinäkaiun jälkeen, ja tämän vuoksi toinen takaseinäkaiku ei ole enää selvästi erotettavissa. Tästä syystä säätöön käytetään porraskappaletta. Säätö suoritetaan kahden eripaksuisen kappaleen avulla (2 pisteen säätö). Kaksoisluotaimella voidaan havaita hyvin lähellä pintaa olevia epäjatkuvuuksia. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Esimerkki: Mitta-alue 10 mm:n terästä

Porraskiilakappale VW (terästä: 1–8 mm): Mitta-alueen säätöön käytetään 3 ja 6 mm:n portaita. Portaat on valittava tarvittavan mitta-alueen perusteella. Kaiku 3 mm:n portaasta säädetään asteikon kohdalle 3 ja kaiku 6 mm:n portaasta säädetään asteikolla kohdalle 6. Säätö suoritetaan seuraavasti:

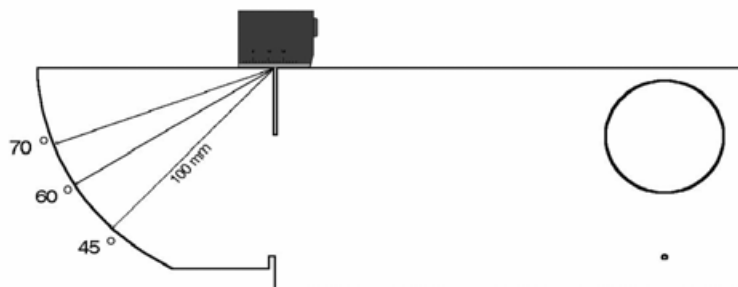
- a) Kaksoisluotain kytketään ensin 3 mm:n paksuiselle portaalle ja nollapisteen säädön avulla siirretään kaiun etureuna asteikon kohdalle 3.

b) Luotain kytketään 6 mm:n portaalle ja mitta-alueen (äänennopeuden) säädön avulla siirretään kaiun etureuna asteikon kohdalle 6.

Kohtia a ja b toistetaan, kunnes kaikujen reunat ovat asteikon kohdilla 3 ja 6. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

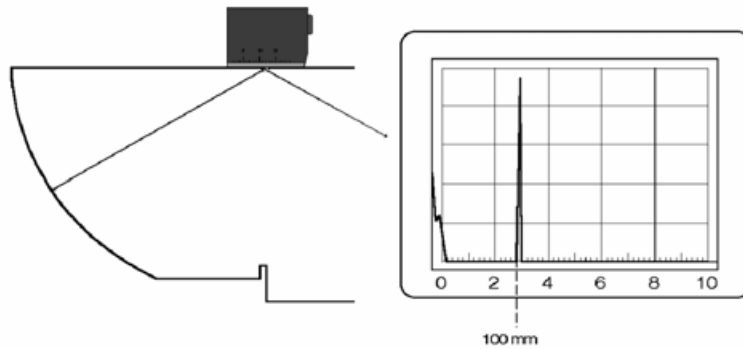
2.9.3 Sääto kulmaluotaimella

Kulmaluotaimien mitta-alueen säätöön käytetään standardisoitua tarkistuskappaletta 1 ja tarkistuskappaletta 2 (EN 27 963), koska tasomaisesta kappaleesta ei saada kulmaluotaimella kerrannaiskaikuja. Tarkistuskappaleiden etuna on se, että niiden kaarista saadaan luotaimen kulmasta riippumatta aina kaiut samalla äänitiellä (KUVIO 16).

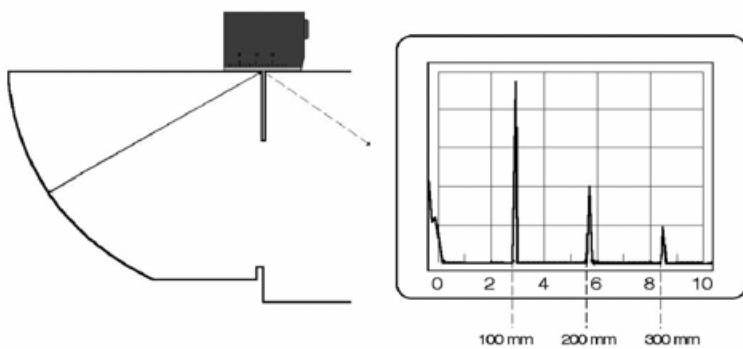


KUVIO 16. Luotaus tarkistuskappaleella 1 (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Tarkistuskappaleesta 1 saadaan ensimmäinen kaiku 100 mm:n päästä, kun luotain on kaaren keskipisteessä. Heijastuslain mukaan heijastuu kaarelta palaava ääni taaksepäin kytkentäpinnasta (KUVIO 17). Kaarelta ei saada toista kaikuja, jota tarvitaan mitta-alueen säätöön. Tästä huolehtivat kuitenkin kaaren keskipisteeseen tehdyt urat: urien ja pinnan välisessä kulmassa tapahtuu nurkkaheijastus, jolloin ääni palaa takaisin kaarelle (KUVIO 18). Koska kaaren säde on 100 mm, saadaan toistokaiut 100 mm:n, 200 mm:n, 300 mm:n jne. päästä. Näin mitta-alue voidaan säätää samalla tavalla kuin normaaliluotaimella. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

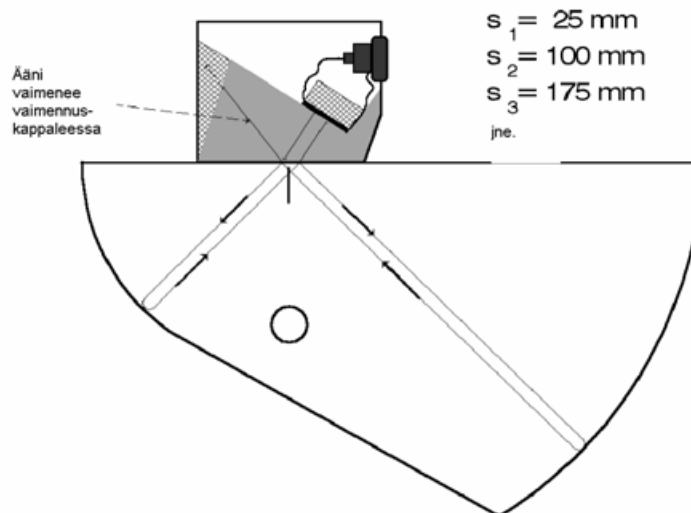


KUVIO17. Äänitie tarkistuskappaleessa 1 ilman uria (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



KUVIO 18. Äänitie tarkistuskappaleessa 1 urien kanssa (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)

Pienoiskulmaluotaimilla käytetään yleensä huomattavasti pienempää ja myös kevyempää tarkistuskappaletta 2. Tässä kappaleessa on kaksi kaarta yhteisellä keskipisteellä, jolloin sahauria ei tarvita. Tarvittava kaikujono syntyy ääniaaltojen heijastuksista kaarien välillä (KUVIO 19). Sen mukaan onko luotain kytketty 25:n tai 50 mm:n kaarelle, saadaan erilainen kaikujono. ”Väärästä” suunnasta keskikohtaan tulevat ääniaallot eivät aiheuta kaikua kuvapinnalla. Ne vaimennetaan luotaimen vaimennuskappaleessa. (Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus 2009.)



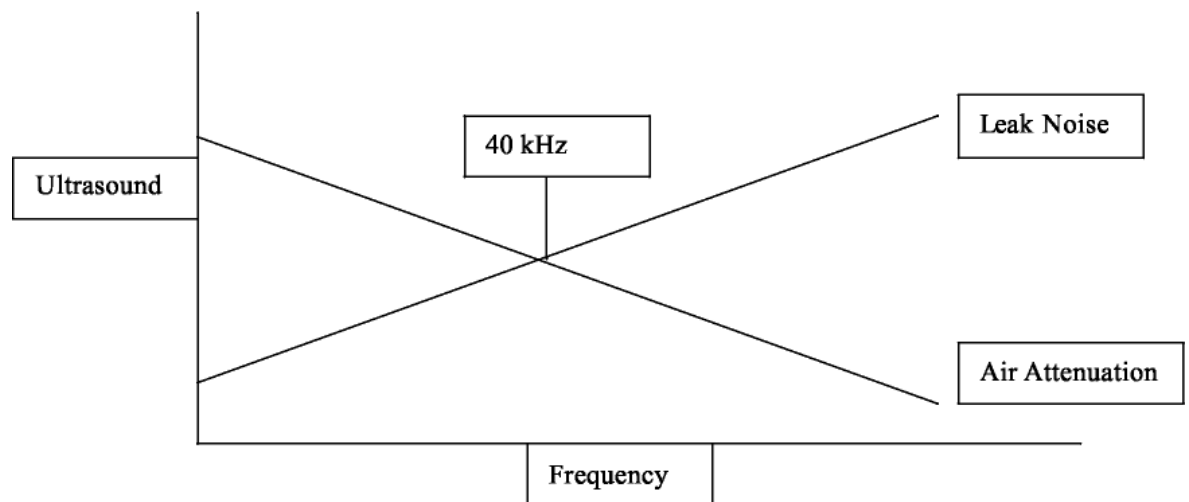
KUVIO19. Äänitiet vertailukappaleessa 2 ($R = 25 \text{ mm}$) (Ainettarikkomaton ultraäänitar- kastus 2009.)

2.10 Ultraäänen käyttö vuotomittauksissa

Kun kaasu tai neste purkautuu pienestä aukosta, syntyy niin korkeataajuisia ääntä, ettei se ole ihmisen kuultavissa. Ääni syntyy ultraäänitaajuudella, ja tämä korkea taajuus voidaan vastaanottaa ultraääniantureilla ja muuttaa taajuusmuuntimella kuultavaksi ääneksi. (Järviö ym. 2007, 261.)

Kuviossa 20 on käyrästä, jossa esitetään vaimennus ja äänen vaatima energia taajuuden suhteen. Paineilmavuodon tuttu suhiseva ääni (kuviossa Leak Noise) muodostuu kahdesta komponentista: kuultavasta ja kuulemattomasta. Ihmiskorvin kuultava ääni ei sovellu vuotojen hakemiseen, koska sen suuntavaikutus on olematon ja koska se hukkuu taustameluun. Ultraääni, joka on toinen komponenteista, sopii taas erinomaisesti vuotojen havaitsemiseen, koska siinä on suuntavaikutus (kulkee suoraviivaisesti) ja koska se voidaan ilmaista taustamelun seasta suodattimien avulla. Näin vuodot voidaan ilmaista helposti. Ultraäänilaitteilla vuotojen haku on helppoa kovimmassakin melussa. Ultraäänilaitteet käyttävät digitaalista suodatustekniikkaa paineilmavuotojen havaitsemiseen. Laitteet kuulevat ultraäänen, joka on ihmiskorvalle liian korkea kuultavaksi, ja muuttavat sen ihmiskorvalle sopivaksi kuulokkeiden kautta. (Aarrelampi 2005.)

Ilmavuodot synnyttävät laajakaistaistaääntä ja ultraääntä. Normaalisti mitä korkeampi ääni on, sitä enemmän siinä on energiaa. Toisaalta mitä korkeampi ääni (kuviossa Ultrasound) on, sitä enemmän ilma (kuviossa Air Attenuation) vaimentaa sitä. Jos piirretään käyrästä, jossa on vaimennus ja äänen vaatima energia taajuuden suhteen, niin huomataan, että käyrät leikkaavat 40 kHz:n kohdalla (KUVIO 20). Valitsemalla tämä taajuus ja suodattamalla kaikki muut äänet ympäriltä pois saadaan paras yhdistelmä ilmaisuuden ja toisaalta häiriöiden kannalta. Yhdistelmä on paras tiloissa, joissa ympäristömelu on voimakas tai erittäin voimakas. (Aarrelampi 2005.)



KUVIO 20. Käyrästä, jossa on vaimennus ja äänen vaatima energia taajuuden suhteen (Aarrelampi 2005.)

Mittalaitteella, jossa on varusteena parabolinen peili, voidaan löytää paineilma- ja vakuu- mivuodot jopa kahdenkymmenen metrin etäisyydeltä kovassa melussa. Näissä mittalaitteissa on myös laser osoitin. Tätä sanotaan kosketuksettomaksi vuotomittaukseksi.

2.11 Vaiheistettu ultraääni

Ultraäänilaitteissa kehitystä on johtanut niin sanotun vaiheistetun ultraäänitekniikan tuleminen teollisuuden sektorille. Terveystieteiden sektorilla kyseistä tekniikkaa on käytetty jo pitkään. Sovelluksen peruserätyksenä on aiemman yhden lähetinkiteen "pilkkominen" osiin. Tämä ultraäänivärähtelijän pilkkominen mahdollistaa syntyvän ultraäänikeilan muotoilun.

Muotoilun mahdollisuus on lisännyt suuresti tekniikan havaitsemistodennäköisyyttä. (Hakkarainen 2007.)

Vaiheistettu ultraäänilaitteisto tarjoaa etuja verrattuna perinteiseen ultraäänitarkastukseen. Tällä tekniikalla voidaan elektronisesti ohjata ja fokusoida äänikeilaa ohjaamalla monielementtisen luotaimen elementtejä. Yhdellä luotaimella voidaan tarkastaa koko kappale liikkuttamalla luotainta yhden akselin suuntaisesti. Yhdistämällä laitteeseen enkooderi saadaan kerättyä ja tallennettua tietoa, jota voidaan analysoida jälkikäteen. (Sintrol Oy 2010.)

3 ULTRAÄÄNILAITTEIDEN KAUPALLISET LAITETYYPIT

Tässä luvussa esitellään muutamia eri valmistajien ultraäänilaitteita ja kerrotaan niiden ominaisuuksista. Laitteiden hinnat ovat tarkasteluajankohdan mukaiset eli kevään 2010 tasoa.

3.1 Paksuusmittarit

Perinteisillä manuaalisilla ultraäänipaksuusmittareilla voidaan selvittää putken seinämän-paksuuksia tai kappaleen paksuutta nopeasti pieneltä alueelta.

3.1.1 PocketMIKE

PocketMIKE on Sonar Oy:n maahantuoma ainepaksuusmittari (KUVIO 21). Integroitu ainepaksuusmittari ja luotain mahdollistavat mittaamisen yhdellä kädellä.

Tekniset tiedot:

- mittausalue: 1 mm–250 mm
- käyttölämpötila: – 10 °C–50 °C
- metri- ja tuuma-asteikko
- automaattinen virran katkaisu
- virtalähde: 1,5 V:n AA-alkaliparisto
- runko ruostumatonta terästä
- paino: 150 g
- 5 MHz:n luotain
- valaistu näyttö
- anturi integroitu mittariin
- näyttöä voidaan kääntää eri asentoihin (Sonar Oy 2010.)



KUVIO 21. PocketMIKE (Sonar Oy 2010.)

3.1.2 ST5900

ST5900 on NTD-Tukkun maahantuoma ainepaksuusmittari (KUVIO 22). ST5900 on pienikokoinen ultraäänipaksuusmittari, jossa on kiinteä äänennopeus 5900 m/s, eli se soveltuu teräseinämien vahvuuden mittauksiin. Pienestä koosta huolimatta mittari on tarkka ja sen näyttämä on vakaa. (NDT-Tukku 2010.)

Tekniset ominaisuudet:

- mittausalue: 1,2–200 mm
- äänennopeus: 5900 m/s
- erottelukyky: 0,1 mm
- automaattinen virrankatkaisu: 2 min käyttämättömänä
- paristo: 1 kpl 1,5 V:n AAA-alkaliparisto
- käyttölämpötila: 0–40 °C
- ilman suhteellinen kosteus käytön aikana: 20–90 % RH
- koko: 107 × 60 × 15 mm
- paino: 100 g

Toimitukseen sisältyy:

- luotain
- muovinen laukku
- suomenkielinen käyttöohje
- kontaktinestepullo
- paristo
- takuu: 12 kk, ei luotaimelle eikä kaapeleille
- hinta: 830 € 25.3.2010 (NTD-Tukku 2010.)



KUVIO 22. ST5900 (NTD-Tukku 2010.)

3.1.3 T-Gage IV

T-Gage IV on Oy TeknoFinx Ab:n maahantuoma ainepaksuusmittari (KUVIO 23). Tällä mittarilla mitataan tarkasti seinämän paksuus ja mahdollinen korroosio. Käyttökohteita ovat putket, säiliöt, lämminvesivaraajat, teräslevyt, keraamiset osat, lasit ja muovit kaikilla versioilla on 5 vuoden takuu (ei koske luotainta, kaapelia ja paristoja). T-Gage IV on perusmalli, joka voidaan kalibroida eri materiaaleille käyttäen yksi- tai kaksipistekalibrointia. T-Gage IV toimitetaan täydellisenä pakettina, heti valmiina käyttöön. (Oy TeknoFinx Ab 2010.)

Toimitukseen sisältyy:

- 5 MHz:n luotain
- käyttöohje
- kontaktinestepullo
- paristot

Tekniset tiedot:

- paino: 285 g paristojen kanssa
- koko: 63,5 x 120,7 x 31,8 mm
- käyttölämpötila: – 30 °C–50 °C
- painevalettu, alumiinirunkoiset niklatut päätylevyt
- iskunkestävä pölytiivis rakenne
- tiivis kalvonäppäimistö, joka kestää vettä ja öljytuotteita
- kuusi naksuvaa painiketta
- monitoiminen 4,5 digitaalisilla LCD 0,500":n kokoisilla numeroilla
- taustavalo valittavissa: on/off/auto (valaisee vain kun saadaan kaiku ja mittausarvo)
- lukemat näytetään yksiköissä millimetri ja m/s tai tuuma ja tuumaa/s.
- pylväsnäyttö ilmaisee kaiun vakauden

Virtalähde:

- kaksi AA 1,5 V:n alkaliparistoa tai kaksi 1,2 V NiCd-akkua
- normaali toiminta-aika alkaliparistoilla 200 tuntia ja 130 tuntia NiCd-akuilla
- näyttö vilkkuu paristojen ollessa tyhjenemässä
- laite sammuu itsestään, kun paristot ovat liian heikot mittaamiseen

Mittaustiedot:

- mittausalue: 0,63–500 mm
- mittausyksiköt: ISO tai englantilaiset
- erottelukyky: 0,01 mm

- äänennopeusalue: 1250–10 000 m/s
- neljä lukemaa sekunnissa tai 16 lukemaa sekunnissa Scan-tilassa pienin paksuusluku jää näyttöön
- yksipiste- ja kaksipistekalibrointi vakio-ominaisuuksina
- tehdaskalibrointi kansainvälisten standardien mukaan

Luotaimet:

- kaksoiskide-elementti (lähtö/tulo)
- 1–10 MHz:n taajuusvaste
- pikalukittuvat LEMO-00-liittimet
- 1,2 m:n kaapeli (Oy TeknoFinx Ab 2010.)



KUVIO 23. T-Gage IV (Oy TeknoFinx Ab 2010.)

3.2 Pinnoitepaksuusmittarit

Pinnoitepaksuusmittareita käytetään, kun halutaan mitata pinnoitepaksuutta nopeasti, käytännöllisesti, tarkasti ja ainetta rikkomattomasti. Pinnoitepaksuusmittareita voidaan käyttää mittaukseen teräksen ja ei-rautametallien päältä.

3.2.1 CM-8826FN

CM-8826FN on Pecontec Oy:n maahantuoma pinnoitevahvuusmittari (KUVIO 24).

Tiedot:

- mittaa pinnoitteet magneettisilta ja ei-magneettisilta metalleilta
- metri- ja tuuma-asteikko
- mittausalue: 0–1250 μm /0–50 mm
- resoluutio: 0,1 μm (0–99,9 μm) 1 μm (yli 100 μm)
- tarkkuus: $\pm 1\%$ –3 %
- mukana tukeva kantolaukku
- ei-magneettisille ja magneettisille omat anturit
- mukana kalibrointiliuskat
- englanninkielinen käyttöohje
- hinta: 399 € 24.3.2010 (Pecontec Oy 2010.)



KUVIO 24. CM-8826FN (Pecontec Oy 2010.)

3.2.2 PosiTest DFT

PosiTest DFT on NTD-Tukku:n maahantuoma pinnoitevahvuusmittari (KUVIO 25). PosiTest DT:stä löytyy kaksi mallia, joista toisella voidaan mitata pinnoitteen paksuutta myös ei-johtavien pinnoitteiden päältä. (NTD-Tukku 2010.)



KUVIO 25. PosiTest DFT (NTD-Tukku 2010.)

Käyttöalueet:

- pulveripinnoittajat
- maalauslinjan hoitajat
- pinnoitteiden tarkastajat
- maalausurakoitsijat
- ajoneuvojen tarkastajat

PosiTest DFT Ferrous mittaa ei-magneettiset pinnoitteet teräksen päällä, ja se soveltuu esimerkiksi kromi- ja maalipinnoitteille, hinta 535 € alv 0 % 25.3.2010.

PosiTest DFT Combo mittaa sekä ei-magneettiset pinnoitteet teräksen päällä että ei-johtavat pinnoitteet alumiinin, nikkelin ja niin edelleen päällä. Siinä on automaattinen poh-

jamateriaalin tunnistus ennen lukeman antamista, ja se soveltuu esimerkiksi maalipinnoitteille, hinta 695 € alv 0 % 25.3.2010.

Ominaisuudet:

- nopea, toistuva mittaus
- ei tarvitse kalibrointia ennen normaalia mittausta
- nollaustoiminto karkeille ja kaareville pinnoille
- kätevä RESET-toiminto kun nollavertailua ei voida suorittaa
- tukeva, kulutusta kestävä rubiinanturi
- numeerinen lukema ja äänimerkki
- anturissa V-ura kaareville pinnoille
- mikroninäyttö (voidaan vaihtaa 1/1000")
- pikaohje mittarin takakuoressa (englanniksi)

Toimitukseen sisältyy:

- kiinteä anturi
- muovireferenssit
- kovakansinen säilytyskotelo
- AAA-paristo
- käyttöohjeet
- kahden (2) vuoden takuu

Tekniset ominaisuudet:

- mittausalue: 0–1000 μm
- tarkkuus: $\pm (2 \mu\text{m} + 3 \%)$
- koko: 100 x 38 x 23 mm
- paino: 70 g

Täyttää standardit: ISO 2178 / 2360 / 2808, prEN ISO 19840, ASTM B244 / B499 / B659 / D1186 / D1400 / E376 / G12, BS3900-C5, SSPC-PA2. (NTD-Tukku 2010.)

3.2.3 CM-8825F

CM-8825F on Pecontec Oy:n maahantuoma pinnoitevahvuusmittari (KUVIO 26).

Tiedot:

- mittaa pinnoitteet ferriittisiltä pinnoilta
- anturi integroitu mittariin
- mittausalue: 0–1250 μm /0–50mm
- resoluutio: 0–99,9 μm = 0,1 μm yli 100 μm = 1 μm
- mukana kantolaukku sekä kalibrointiliuskat
- englanninkielinen käyttöohje
- hinta: 319 € 24.3.2010 (Pecontec Oy 2010.)



KUVIO 26. CM-8825F (Pecontec Oy 2010.)

3.3 Vuotomittarit

Mikä tahansa kaasu tai neste, joka häviää painejärjestelmästä, on vuoto, joka aiheuttaa äänen. Pienestä vuodosta syntyy useimmiten ultraääni. Ihminen ei voi kuulla sitä sen korkean taajuuden takia. Vuotomittari vastaanottaa vuotokohdasta karkaavan ultraäänen ja ilmaisee sen. Mitä isompi vuoto on, sitä korkeampi on indikaatio. Näin vuoto voidaan paikantaa vaihtelevan äänenvoimakkuuden avulla. Ultraäänitarkastuksen etu on se, että muut akustiset taustäänet eivät häiritse mittausta.

3.3.1 Meleak300

Meleak300 on Netab Trade Oy:n maahantuoma vuodonilmaisim (KUVIO 27). Meleak300 on tarkkuusmittari, jolla löydetään erilaiset vuodot ultraäänen avulla ja joka toimii alueella 20 kHz–100 kHz. Ultraääni on erittäin tarkka, ja sillä voidaan havaita useimmat erilaiset vuodot. (Netab Trade Oy 2010.)

Käyttökohteet:

- jääkaappien ja ilmastointilaitteiden vuodot
- paineilmajärjestelmävuodot
- jarrujen ja moottorien tiivistevuodot
- rengas- ja pakoputkivuodot
- vesivuodot katoissa
- ovi- ja ikkunatiivistevuodot
- sukelluspuvun vuodot

Tiedot:

- vastaanotin ULD-300
- taajuus 35 kHz–45 kHz
- käyttöalue 0–38 °C
- paristo 9 V mukana
- koko 65 × 187 × 25 mm, 180 g
- lähetin UT-300
- alue 40 kHz, 0–38 °C
- paristo 9 V mukana
- koko 65 × 166 × 25 mm, 176 g
- hinta: 583 € 3.4.2010 (Netab Trade Oy 2010.)



KUVIO 27. Meleak300 (Netab Trade Oy 2010.)

3.3.2 Leak Detect

Leak Detect on NTD-Tukku:n maahantuoma vuodonilmaisain (KUVIO 28). Leak Detect löytää kaikki kaasuvuodot esimerkiksi putkistoissa, kytkimissä, venttiileissä, sinetöinneissä ja pakkauksissa. (NTD-Tukku 2010)

Ominaisuudet:

- ilmaisee vuodot ilmanpaine- ja pneumaattisissa järjestelmissä
- vuotojen tarkastus yli- tai alipainejarruissa, putkissa, piipuissa, letkuissa ja niiden ankkureissa
- ruiskutusprosessin tarkastus dieselmootoreissa
- koronaefektien tarkastus sähkökäämeissä ja suurjännitekaapeleissa, esim. kipinäinti puutteellisissa eristimissä
- venttiilien ja höyryputkien tiiviyn tarkastus
- happipistokkeiden tarkastus sairaaloissa

Tekniset tiedot:

- teholähde: 9 V:n paristo tai 9 V:n Block-Accu
- koko: 230 x 70 x 50 mm
- anturi: 113 mm, ulkoinen anturi 280 mm tai teleskooppi, maksimipituus 3,0 m
- paino: n. 500 g

- kotelo: ABS
- laukun koko: 350 x 450 x 120 mm
- toimintaperiaate: ultraäänivastaanotin
- ulosanto: 10 LEDin pylväs näyttö ja kuulokkeet
- vakiovarusteet: laukku, mittari ja kuulokkeet
- hinta: 665 € 25.3.2010 (NTD-Tukku 2010.)



KUVIO 28. Leak Detect (NTD-Tukku 2010.)

3.4 Säröjen ja materiaalimuutosten havaitseminen ultraäänellä

Ultraäänitarkastuslaitteilla löydetään tarkastettavasta kappaleesta mahdollisesti olevat säröt, huokokset ja rakennemuutokset.

3.4.1 Echograph 1090

Echograph 1090 Sintrol Oy:n maahantuoma luotettava digitaalinen ultraäänitarkastuslaite (KUVIO 29). Vahvan rakenteensa ansiosta se kestää vaativatkin mittausolosuhteet. Laitetta saa kolmella eri ominaisuudella: 1090 perusversio, DAC ja DGS + DAL. (Sintrol Oy 2010.)

Tarkastuskohteet:

- hitsaussaumat
- valut
- korroosiopaksuusmittaukset

Ominaisuudet:

- näyttö: väri-LCD
- koko: 143,4 x 79,3
- resoluutio: 400 x 240 pikseliä, 256 väriä
- mittausalue: 2,5–4 850 mm:n teräs (optio 9 600 mm)
- käyttölämpötila: -10–50 °C
- ladattava Li-on-akku
- koko suojuksen kanssa: 190 x 217 x 64
- paino akun ja suojuksen kanssa: 2 kg
- liitännät: 2 x Lemo1, USB, VGA (Sintrol Oy 2010.)



KUVIO 29. Echograph 1090 (Sintrol Oy 2010.)

3.4.2 Sitiescan D-10

Sitiescan D-10 on Oy TeknoFinx Ab:n maahantuoma luotettava digitaalinen ultraäänitar-
kastuslaite (KUVIO 30). Sitiescan D-10 hyödyntää laajakaistavahvistinta, joka on yhteen-
sopiva laajan luotainvalikoiman kanssa. Laajakaistavahvistin näyttää kaikki yksityiskoh-

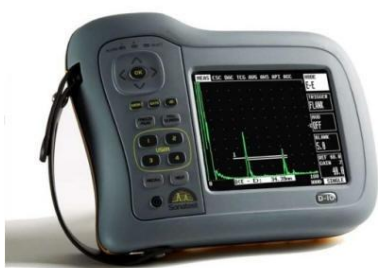
dat, joita tarvitaan virheiden, kuten kolojen ja säröjen, havaitsemiseen. Tarpeeksi suuri resoluutio auttaa havaitsemaan pienetkin signaalit. (Oy TeknoFinx Ab 2010.)

Tarkastuskohteet:

- hitsisaumat
- korroosiotestaus
- pienet valut
- takeet

Ominaisuudet:

- näyttö: kirkas väri TFT
- koko: 111,4 x 83,5 mm
- resoluutio: 315 x 200 pikseliä
- mittausalue: 5 mm–5000 mm teräksessä
- käyttölämpötila: - 10 °C–55 °C
- ladattava Li-on-akku
- koko: 172 mm x 238 mm x 70 mm
- paino paristojen kanssa 1,7 kg
- liitännät BNC tai Lemo1 ja kaksi USB:tä (Oy TeknoFinx Ab 2010.)



KUVIO 30. Sitescan D-10 (Oy TeknoFinx Ab 2010.)

3.4.3 TD Handy Scan

TD Handy Scan on Sintrol Oy:n maahantuoma vaiheistettu ultraäänitarkastuslaite (KUVIO 31).

Ominaisuudet:

- vaiheistettu ultraääni, ToDF, perinteinen ultraääni
- 8- tai 14-bittinen A/D-muunnin 100 MHz:n näytteettotaajuudella
- luotaimen elementtejä enintään 64, joista 32 aktiivisena
- 8 liitäntää; perinteinen ultraääni tai ToFD
- DDF (Dynamic Depth Focusing)
- tuloliitännät enkooderille, potentiometrille sekä videokameralle korroosiokartoitukseen (Sintrol Oy 2010.)



KUVIO 31. TD Handy Scan (Sintrol Oy 2010.)

3.4.4 EPOCH 1000

Epoch 1000 on Olympus Finland Oy:n maahantuoma vaiheistettu ultraäänitarkastuslaite (KUVIO 32).

Ominaisuudet:

- luotaimen elementtejä enintään 64, joista 16 aktiivisena

- näyttö: väri-LCD
- käyttölämpötila: - 10 °C–50 °C
- koko: 252 mm x 177 mm x 107 mm
- paino: 3,67 kg Li-on-akun kanssa (Olympus Finland Oy 2010.)



KUVIO 32 (Olympus Finland Oy 2010.)

3.4.5 TD Focus Scan

TD Focus Scan on Sintrol Oy:n maahantuoma vaiheistettu ultraäänitarkastuslaite (KUVIO 33).

Ominaisuudet:

- vaiheistettu ultraääni, ToFD, perinteinen ultraääni
- 8- tai 14-bittinen A/D-muunnin 200 MHz:n näytteenottotaajuudella
- luotaimen elementtejä enintään 128, joista 64 aktiivisena
- 16 liitäntää, perinteinen ultraääni tai ToFD
- DDF (Dynamic Depth Focusing)
- tuloliitännät enkooderille, potentiometrille, lämpötilalle sekä videokameralle korroosiokartoitukseen
- voidaan ohjata servomoottoria (Sintrol Oy 2010.)



KUVIO 33. TD Focus Scan (Sintrol Oy 2010.)

4 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ultraäänitarkastuksiin liittyvää teoriaa ja kerätä tietoa tarkastuksissa käytettävistä laitteista. Selvityksessä keskityttiin materiaalin paksuusmittauksiin sekä säröjen ja huokosten etsimiseen ultraäänen avulla. Lisäksi selvitettiin ultraäänen käyttöä vuotomittauksissa. Lopuksi esiteltiin laitteita, jotka soveltuvat tarkasteltuihin mittauksiin.

Teorian keräsin eri lähteistä, oppikirjoista, artikkeleista ja laitetoimittajien www-sivuilta. Laitteista sain tiedot laitetoimittajien www-sivuilta. Pyysin kahdeksalta eri laitetoimittajalta referenssiluetteloita toimitetuista ultraäänilaitteista. Vastauksia tuli vain neljältä. Sintrol Oy:ltä vastattiin, ettei yritys pysty antamaan kirjallista referenssiluetteloa, koska ei ole loppuasiakkaiden lupaa siihen. Sen verran kuitenkin Sintrol Oy:ltä kerrottiin, että sieltä oli toimitettu ultraäänilaitteita tarkastusyhtiöille ja suoraan valmistavan teollisuuden käyttöön.

Sonar Oy on toimittanut paksuusmittareita teollisuuden tuotantolaitoksiin, energiayhtiöihin ja tarkastusyhtiöihin. Tavallisia ultraäänilaitteita Sonar Oy on toimittanut esimerkiksi Dekra Industrial Oy:lle, Inspecta Oy:lle ja VR-Rata Oy:lle. Vaiheistettuja ultraäänilaitteita Sonar Oy on toimittanut esimerkiksi Inspecta Oy:lle, TÜV Nord Testing Oy:lle, Technip Offshore Finland Oy:lle, Metso Oy:lle, Hollming Works Oy:lle.

Teknofinx Oy on toimittanut vuotomittareita teollisuuslaitoksille ja laiteasennusyriyksille. Paksuusmittareita on myyty paljon puolustusvoimille. Paksuusmittareita on mennyt esimerkiksi Outotek Oy:lle. Tavallisia ultraäänilaitteita on toimitettu oppilaitoksille, teollisuudelle ja tarkastusyriyksille.

Olympus Finland Oy on toimittanut paksuusmittareita seuraaville: Inspecta, Dekra Industrial, TUV Nord Testing, Primamet, NDT-Vahtivuori, Ruukki, Yara, Botnia Mill Service, Efora, Finncont, Metso Power, Finnair, Merenkulkulaitos ja Nordkalk. Tavallisia ultraäänilaitteita on toimitettu seuraaville: Inspecta, Dekra Industrial, TUV Nord Testing, NDT Konsultit, Primamet, Testman, Valmet Automotive, Telatek, AEL ja Savon ammatti- ja aikuisopisto. Vaiheistettuja ultraäänilaitteita on mennyt seuraaville: Inspecta, Dekra Industrial, VTT, Teknillinen korkeakoulu ja VR.

Työssä saavutettiin sille asetetut tavoitteet, vaikka teoriaosuuden tietojen kerääminen ei ollut helppoa. Teoriaa löytyi lähinnä oppikirjoista ja jonkin verran laitetoimittajien sivuilta ja esitteistä. Yritin saada opetusmateriaalia myös yliopistoista, mutta se osoittautui todella ongelmalliseksi. Tietoa eri laitteista löytyi hyvin maahantuojien yhteystietojen kautta sekä esitteistä että [www-sivuilta](#).

LÄHTEET

Aarrelampi, H. 2005. Paineilmavuodot kuriin ultraäänellä. Kunnossapito 5, 20–21.

Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus. Johdatus perusteisiin. 2009. Sonar Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sonar.fi/media/pdf/ultrapaper.pdf>. Luettu 3.3.2010.

Hakkarainen, T. 2007. NDT-tutkimus ja -kehitys. Kunnossapito 1, 52–54.

Inkinen, P. Manninen, R. Tuohi, J. 2006. Momentti 2 Insinöörifysiikka. 2. painos. Helsinki: Otava.

Juhanko, J. Kuosmanen, P. Pirttiniemi, J. Widmaier, T. 2009. Kokillivalettujen termotelojen ultraäänimittaus. Promaint 2, 22–28.

Järviö, J. Piispa, T. Parantainen, T. Åström, T. 2007. Kunnossapito. Kunnossapidon julkaisusarja 10. 8. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Www-sivut. Saatavissa: <http://www.cou.fi/>. Luettu 2.3.2010.

Latvala, K. 2007. NDT-menetelmät paineastioiden ja putkistojen tarkastuksessa. Kunnossapito 4, 45–46.

Netab Trade Oy. Www-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.netab.fi/index.php>. Luettu 3.4.2010.

NTD-Tukku. Www-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.ndt-tukku.com/index.php>. Luettu 25.3.2010.

Olympus Finland Oy. Www-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.olympus.fi/>. Luettu 17.5.2010.

Oy TeknoFinx Ab. Www-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.teknofinx.com/teknofinxCS3/index.html>. Luettu 2.4.2010.

Pecontec Oy. Www-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.mittareita.com/>. Luettu 24.3.2010.

Sintrol Oy. Www-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.sintrol.com/PublishedService?frontpage=true>. Luettu 13.4.2010.

Sonar Oy. Www-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.sonar.fi/index.php>. Luettu 28.4.2010.

Suomen Hitsausteknillinen yhdistys r.y. 2004. Hitsauksen materiaalioppi. Helsinki: Suomenhitsausteknillinen Yhdistys r.y.