

ULTRAÄNILAITTEIDEN SOVELTUVUUS LASIKUITUVENEIDEN NDT-VAURIOANALYYSIIN

Veikko Äikäs
Antti Ylhäinen
Energia ja ympäristötekniikan laitos
Mikkelin ammattikorkeakoulu Oy

Sisältö

1. Tutkimuksen tausta	2
2. Suomessa tarjottavat soveltuvat mittalaitteet	3
2.1 Sintrol Oy	3
2.2 Sonar Oy	4
2.3 TeknoNDT	7
3. Suoritetut jatkokokeet	8
3.1 Mikkelin maaliskuu-2012	8
3.2 Kotka 4.4.12	9
3.3 Finnair 18.4.12	10
4. Johtopäätökset	12

1. Tutkimuksen tausta

N.D.E. Solutionsilla tehtyjen testien perusteella ultraäänitarkastus osoittautui parhaimmaksi ainetta rikkomattomaksi tarkastusmenetelmäksi lämpökuvauksen kanssa. N.D.E Solutionsin asiantuntijat onnistuivat löytämään tehdyistä kuudesta testilaminaatista sekä iskuvauriot, että delaminaatiovauriot. Iskuvaurioille ja delaminaatioille oli tehty 10 mm ja 20 mm umpilaminaatit ja 20 mm kerroslevylaminaatti. N.D.E. Solutionsilla käytetty mittalaite oli Olympus Epoch XT Ultrasonic Flaw Detector vaiheistamattomalla ultraäänitekniikalla. Kuvassa 1 on esitettyä N.D.E:n käyttämä testilaite.



Kuva 1. N.D.E. Solutionsin käyttämä ultraäänitestilaite Epoch XT ja komposiittiluotain.

N.D.E Solutionsin käyttämät testiarvot olivat:

- Äänen voimakkuus 57,0 dB
- Äänen nopeus 2574 m/s
- Nolla 21,566 μ s
- Taajuus 0,50 MHz
- Energia 400 V
- Vaimennus 150 Ω

Tutkittaessa ultraäänilaitteilla komposiittikoekappaleita tulee taajuuden olla pieni ja lähetysenergian suuri, jotta ultraääniaallot tunkeutuvat mahdollisimman syvälle tutkittavaan materiaaliin. Äänennopeus laminaateissa on laminaattikohtainen mutta 2000...3000 m/s välissä, ja se tulisi kalibroida jokaiselle laminaattityypille erikseen.

2. Suomessa tarjottavat soveltuvat mittalaitteet

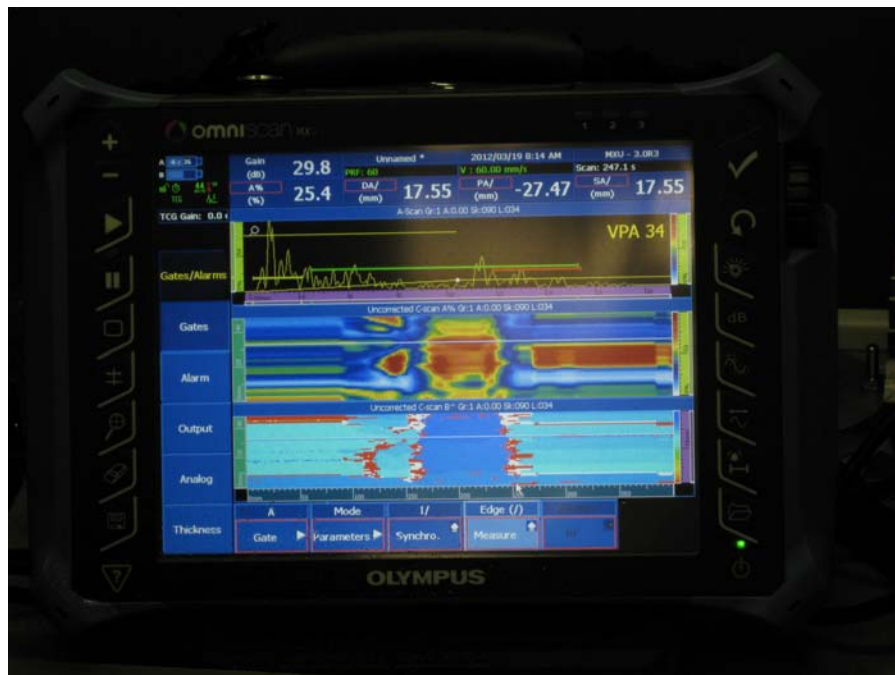
2.1 Sintrol Oy

Olympus Omniscan MX2

Sintrol Oy:llä tavattiin Eero Laine, joka esitteli meille Olympuksen ultraäänilaitteita Omniscan MX2 ja Epoch 1000i. Omniscanissa käytettiin 5 Mhz:n vaiheistetun ultraäänen luotainta. Omniscan MX2:n hinta on noin 18 000€. Luotaimena oli SNW1-0L-AQ25. Kuvassa 2 Eero Laine esittelee Omniscania vaiheistettuna ultraääninä. Kuvassa 3 on esitettyä tulostuksia A- ja C-Scan.



Kuva 2. Laine esittelee Olympus Omniscan MX2:ta ja vaiheistettua ultraääniluotainta.



Kuva 3. Omniscan MX2 ja tulokuvat A, C ja C.

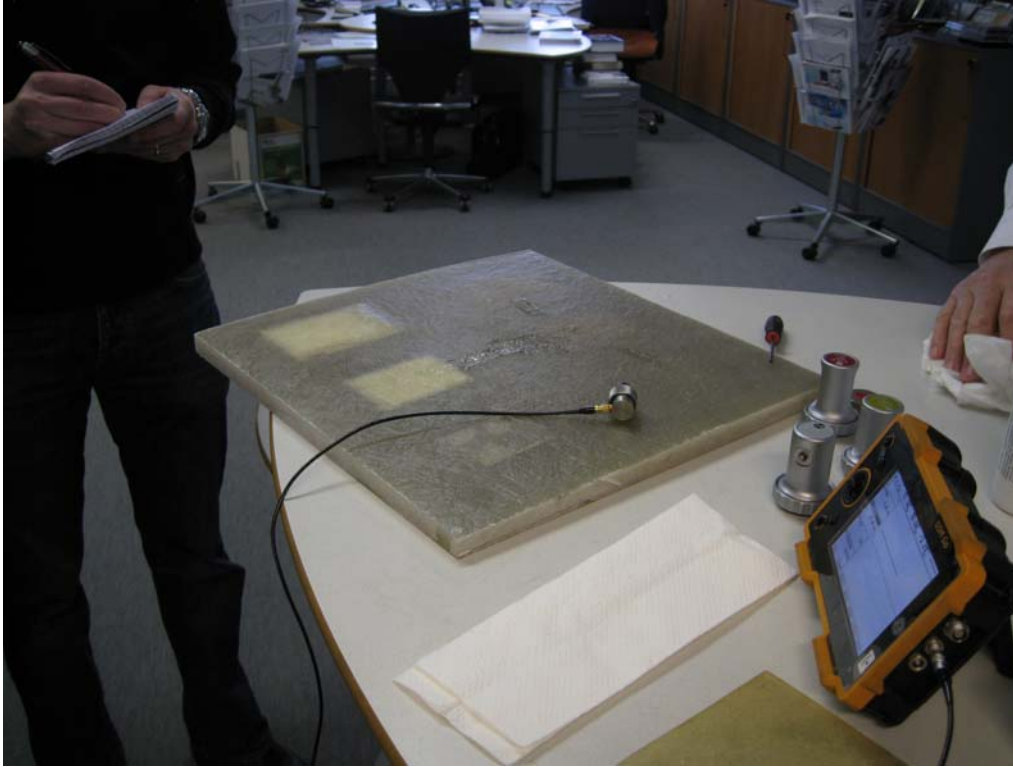
Olympus Epoch 1000i

Epoch 1000i on lähetysergian osalta parempi laite kuin Omniscan MX2. Epoch 1000i:ssä lähetysergia on maksimissaan 400 V, kun Omniscanissa se on 200 V. Vaiheistamattomaan ultraääneen soveltuvana versiona Epoch 1000i maksaa 10 000€ ja vaiheistettuun soveltuvana versiona 14 000€. N.D.E.:n käyttämä Epoch XT on hyvin samanlainen kuin vaiheistamattomana tarjottava Epoch 1000i.

2.2 Sonar Oy

USM Go

Sonar Oy:llä tavattiin ultraäänilaitteiden tiimoilta Heikki Myöhänen ja Jyrki Lieto. Testattavana laitteena oli USM Go, jonka arvo on noin 8000€. Laitteessa oli kiinnitettynä muoveille tarkoitettu Zero Interface Probe -viiveluotain. Zip-luotain on kehitetty parantamaan läheltä pintaa saatua resoluutiota. Laite antaa tuloksen A-kuvana ja laitteessa on kuvien tallennusmahdollisuus. Kuvassa 4 on esitettyä USM Go testilaitte ja testilaminaatin karhealla puolella lepäävä Zip-luotain.



Kuva 4. USM Go:n A-tuloskuva ja testilaminaatin karhealla puolella lepäävä Zip-luotain.

GE:n Phasor XS

Phasor XS on vaiheistetun ultraäänen periaatteella toimiva laite, jossa on monikiteinen luotain. Laitteen hinta on noin 25 000€. Laite mahdollistaa eri tuloskuvamuotojen käytön. Esimerkiksi S-kuva kertoo havainnollisesti laminaatista koko paksuudelta.

Esitestien mukaan Sonarilla valmistamamme laminaatit olivat Sonarin asiantuntijoiden mukaan yllättävän helposti tarkastettavia lujitemuovikappaleiksi. Testeissä havaittiin delaminaatiovauriot sekä USM Go:lla ja Phasor XS:llä. Kuvassa 5 on esitetty Phasor XS:n S-tuloskuva, jossa pinta- ja pohjakaikujen välissä lähempänä pohjaa havaitaan vaalean siniset delaminaatiovauriot ja niiden väli.



Kuva 5. GE:n Phasor XS vaiheistettu-ultraäänilaitte, oikealla S-kuva.

Sairaaloiden ultraäänilaitteet

Sonar Oy:llä kokeiltiin myös sairaaloihin myytävää ultraäänilaitetta. Laite ei kuitenkaan suuremman taajuuden vuoksi pystynyt tunkeutumaan laminaatin sisään. Ihminenhän on pääosin vettä, jolloin ultraäänen kulkeminen kehon sisällä on erilaista verrattuna lujitemuovilaminaattiin. Kuvassa 6 on esiteltyä sairaaloissa käytettävän ultraäänilaitteen testausta.



Kuva 6. Sairaaloissa käytetyn ultraäänilaitteen testaus delaminaatiovaurioitettulle 20mm umpilaminaatille.

2.3 TeknoNDT

Pertti Lönnqvist TeknoNDT:ltä tarjosi Sonatestin pyöräanturia kokeiltavaksi helpottamaan ultraääni mittauksia. Finnairin tekniikalla kyseinen anturi on käytössä ja sitä päätettiin kokeilla heidän tiloissaan.

3. Suoritetut jatkokokeet

3.1 Mikkelin maaliskuu-2012

Mikkelissä suoritettiin kokeita itse valmistetuille isku- ja delaminaatiovaurioitetuille lasikuitulaminaateille. Laminaatit olivat valmistettu samalla reseptillä kuin N.D.E Solutionsille valmistetut testilaminaatit.

Kokeissa käytettiin Sintrolilta lainattuja testilaitteita Olympus Epoch 1000i vaiheistamattomalla komposiittiluotaimella ja Olympus Omniscan MX2:ta vaiheistetulla ultraääniluotaimella. Taajuudet säädettiin kummassakin testilaitteessa mahdollisimman alhaisiksi parhaan tunkeutuvuuden varmistamiseksi. Äänen nopeuden kalibroinnin jälkeen muuttujina säädettiin lähetysenergiaa ja äänen voimakkuutta. Tarkastustapana oli kaikumittaus.

Äänen nopeuden vaihtelu laminaatista riippuen havaittiin selkeästi laminaattien paksuuksia määritettäessä. Toiselle laminaatille säädetty äänennopeus ei antanut oikeaa paksuutta vastaavankaan tyypiselle ohuemmalle laminaatille. Syynä oli äänennopeuden muuttuminen testilaminaatissa.

Iskuvaurioitetuille laminaateille suoritetuissa testeissä ei havaittu kummallakaan laitteella selkeästi visuaalisessa tarkastuksessa näkyviä iskuvaurioita. Syynä oli, samoin kuin Sintrol Oy:llä tehdyissä esitesteissä, ettei iskuvaurio synnytä selkeää pintaa, josta signaali voisi kimmota takaisin. N.D.E:llä iskuvauriot havaittiin paksuuden vaihteluna, mikä tarkoittaa sitä, että iskuvaurion läpi kulkiessaan signaali hidastuu ja laite tulkitsee sen materiaalin paksuuntumisena.

Delaminaatiovaurioitettujen laminaattien vauriot havaittiin selkeästi kummallakin testilaitteella. Selkeydessä vaiheistettu ultraääni Omniscan MX2:lla oli parempi selkeän S-kuvan ansiosta. Vaiheistamaton perinteinen ultraääni Epoch 1000i taas oli helpompi käyttää ja se antoi paremman tunkeutuvuuden ja käyttövarmuuden takia paremman signaalin erisyvyyksillä olleista vaurioista, joita verrattiin pohjakaikuun. Vaiheistetulla luotaimella havaittiin haasteeksi testattavan pintamateriaalin ja luotaimen välinen kontakti. Väliaineena tuli olla riittävästi geeliä ja vettä hyvän

kontakti aikaansaamiseksi. Luotain itsessään kolasi helposti edeltään välittäjäaineen. Samaa vikaa oli tietysti vaiheistamattomalla pienemmällä luotaimella, mutta selkeästi vähemmän.

3.2 Kotka 4.4.12

Kotkassa kokeiltiin Sintrolilta lainaan saatuja ultraäänilaitteita oikeisiin veneenkyljissä havaittuihin iskuvaurioihin. Kotka Yachtstorella vaiheistamatonta ultraääntä kokeiltiin noin 50 jalkaisen lujitemuovisen moottoriveneen runkoon. Iskuvaurio oli selvästi silminhavaittavissa. Olympus Epoch 1000i:tä käytettiin vaiheistamattoman ultraääniluotaimen kanssa, jotta varmistuttaisiin riittävästä signaalin tunkeutumisesta. Koska laitteen äänennopeutta ei voitu kalibroida, testilaminaatin mittauksessa käytettiin samoja arvoja kuin mihin Mikkelissä oli päädyttyä katkokuitulaminaattien kanssa. Kuvassa 7 on esiteltynä mittausta Yachtstorella.



Kuva 7. Olympus Epoch 1000 ja komposiittiluotain kokeilussa iskuvaurioon Kotka Yachtstorella.

Mittauksissa löydettiin ero signaalissa iskuvaurion ja ehjän kohdalla välillä. Ilmeisenä syynä tähän oli, että iskuvaurio oli aiheuttanut delaminaatiovaurioita runkolaminaattiin. Luotaamalla pystyttiin myös havaitsemaan veneen tukirakenne, kun etsittiin soveltuvaa referenssi kohtaa verrokiksi.

Mittauksia käytiin tekemässä myös Veleirolla. Veleiron noin 30 jalkaisessa purjeveneessä oli iskuvaurio laituriinajon seurauksena. Vaurio havaittiin samoin kuin Yachtstorella, mutta periaattessa esimerkkitapauksissa mitään sen enempää, kuin mitä visuaalisella tarkastuksella havaittiin, ei pystytty kertomaan.

3.3 Finnair 18.4.12.

Finnair lukeutuu Patrian ohella yhdeksi merkittäväksi NDT-menetelmien hyödyntäjäksi Suomessa. Lentokoneiden osien tarkastus eroaa veneiden tarkastuksesta siten, että lentokoneiden rakenteet on hyvin tunnettuja ennen tarkastuksia. Lisäksi lentokoneiden valmistajat määrittelevät valmiiksi millä NDT-menetelmällä mitäkin lentokoneen osaa saa tutkia. Nykyisin vielä suurin osa koneista on alumiinisia, mutta jotkin uusimmat siviilikonetyypitkin ovat jo pitkälle lujitemuovista rakennettuja.

Finnairilla kokeiltiin vaiheistetulla anturitekniikalla toimivaa pyöräanturia, joka oli kiinnitetty Olympus Omniscan MX:ään. Valitettavasti laitteen käyttäjä ei osannut muuttaa heidän lentokonealumiinille muokattua ohjelmaa, jotta äänennopeus, lähetystaajuus ja lähetysenergia olisi saatu komposiitille soveltuvaksi. Pyöräanturi sinällään tuntui erittäin kätevältä, ja sen aikaansaama C-Scan tulostus oli kätevän oloinen verrattuna Sintrolilla olleeseen vaiheistetun ultraäänen luotaimen paikannusjärjestelmään, joka vaikeutti oleellisesti luotaimen käyttöä. Kuvissa 8 ja 9 on esiteltyä Finnairilla käytössä oleva Omniscan MX ja siinä hyväksikäytetty vaiheistettu pyöräanturi.



Kuva 8. Olympus omniscan ja Sonatestin pyöröanturi.



Kuva 9. Sonatestin pyöröanturi.

4. Johtopäätökset

N.D.E Solutionsilla suorituissa ultraäänitarkasteluissa iskuvaurioalueet havaittiin niiden antaessa ympäröivää aluetta suurempaa laminaatin paksuutta. Ero ympäröivään laminaattiin oli 0,3...0,5 mm. Ero sinällään on niin pieni, että laminaatin paksuus voi helposti vaihdella ehjässäkin venelaminaatissa kyseisen verran. N.D.E Solutionsin asiantuntijat myös painottivat, että jos testipaneelit olisivat olleet gelcoatilla, ei yhtään iskumaista vauriota olisi havaittu, koska perustarkastus olisi suoritettu umpimähkäisten pistetarkastuksina. Myös omien kokemustemme mukaan, jos geelipinnassa ei näy virhettä vähäisen iskuvaurion johdosta, on sen löytäminen erityisen vaikeaa. Ja jos iskuvaurio näkyykin, on sen tutkiminen ultraäänellä jokseenkin hyödytöntä, koska edellyttäisi rakenteen etukäteistuntemusta, jotta viasta ja sen ympäristöstä saataisiin korjausta hyödyttävää tietoa. Ultraäänilaitteet eivät täten sovellu kovinkaan hyvin veneiden iskuvaurioiden etsintään.

Delaminaatiovauriot havaittiin selkeästi käytetyillä vaiheistamattomilla ja vaiheistetuilla ultraäänilaitteilla. Valitettavasti meidän testikokemuksiin ei keritty kokeilla ultraäänilaitetta selkeään veneen kyljen delaminaatiovaurioon. Nyt kesällä tai syksyllä -12, jos sellainen vene tulee eteen, kannattaa kääntyä Sonar:n Heikki Myöhäsen puoleen. Hän kun oli kiinnostunut kokeilemaan USM Go laitetta veneiden NDT-vaurioiden kartoittamiseksi. Tarkastelemiemme iskuvaurioiden ympärillä ja kohdalla havaittiin selkeitä kaikuja eri syvyyksiltä, mitkä viittaavat delaminaatiovaurioihin. Delaminaatiovaurioiden etsintään ultraäänilaitteet soveltuvat erityisen hyvin paksummillekin veneen kyljille. Mutta laitteen käytön lisäksi tulee olla hyvä tuntemus veneen rakenteesta.