

# Varastosäiliöiden pohjien kunnonvalvonta

Kari Lahdenperä  
VTT Valmistustekniikka



ISBN 951-38-5144-3

ISSN 1235-0605

ISBN 951-38-5145-1 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1997

#### JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT,  
Finland

phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Valmistustekniikka, Ydinvoimalaitosten materiaalitekniikka, Kemistintie 3, PL 1704, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7002

VTT Tillverkningssteknik, Material och strukturell integritet, Kemistvägen 3, PB 1704, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7002

VTT Manufacturing Technology, Materials and Structural Integrity, Kemistintie 3, P.O.Box 1704,  
FIN-02044 VTT, Finland

phone international + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7002

Toimitus Leena Ukskoski

LIBELLA PAINOPALVELU OY, ESPOO 1997

Lahdenperä, Kari. Varastosäiliöiden pohjien kunnonvalvonta [Interservice inspection of storage tank floors]. Espoo 1997, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1854. 25 s.

**UDK** 621.796:620.179.16:620.19

**Avainsanat** storage tanks, ultrasonic tests, nondestructive tests, corrosion

## Tiivistelmä

Varastosäiliöiden pohjien kunnonvalvonnassa käytetään eri menetelmiä. Vuotokenttämenetelmällä voidaan havaita pistemäisiä jyrkkäreunaisia ala- ja yläpinnan korroosio-kuoppia, joiden syvyys on yli 50 % materiaalin paksuudesta. Hitaasti syvenevä ohentuma voi jäädä havaitsematta. Yläpinnan kunto ratkaisee saavutettavan herkkyyden. Pyörrevirtamenetelmällä voidaan saavuttaa lähes sama herkkyyys. Koska mittauksena on absoluuttinen, sillä voidaan havaita myös hitaasti syvenevät laaja-alaiset ohentumat. Pyörrevirtamenetelmä lienee herkempi yläpinnan epätasaisuudelle. Pyörrevirta- ja vuotokenttämenetelmillä saatavat näyttämät ovat verrannollisia vikojen tilavuuteen ja muotoon. Näillä menetelmillä ei pystytä arvioimaan löydettävien vikojen syvyyttä. Myöskään poikkipinnaltaan pieniä vikoja ei voida havaita, vaikka ne ulottuisivat materiaalin läpi. Menetelmien etuina ovat suuri nopeus ja yksinkertaisuus.

Ultraäänimenetelmä on ainoa menetelmä, jolla voidaan määrittää pohjan alapinnalla olevien vikojen syvyys. Lisäksi sillä voidaan havaita jo vähäisetkin alapinnan syöpymät, joiden syvyys on alla 10 % pohjan paksuudesta. Syvyyden määrittämiseen on parasta käyttää digitaalista A-näytöllä varustettua ultraäänilaitetta. Alapinnan korroosion etsintään kannattaa käyttää kulmaluotausta. Tällöin hitaampaa normaaliluotausta tarvitaan vain korrodoituneiden alueiden materiaalin paksuuden määrittämisessä. Kulmaluotauksella saavutetaan nopeuseta vain, mikäli pääosa alapinnasta on hyväkuntoista.

Tutkimuksessa käytettiin pohjien testaukseen sekä mekanisoitua että käsivaraisista ultraääniluotausta. Mikäli testauspinnan laatu on hyvä, mekanisoitu menetelmä sopii hyvin luotaukseen. Mikäli testattava materiaali on ohutta (esim. 7 mm) ja yläpinta on korrodoitunut, testauksen suoritus tulee vaikeaksi. Ongelmat aiheutuvat korrodoituneen levyn yläpinnan kuopista saatavista ”geelikaiusta”. Tämän takia kulmaluotaus suoritettiin tällaisissa tapauksissa käsivaraisesti. Käsivarainen menetelmä on liian hidas pohjan 100 %:iseen testaukseen. Testaus suoritetaan testauslinjoja pitkin. Näin saadaan kuva siitä, kuinka laajalti alapinta on korroosion vaurioittamaa.

Tutkimuksessa testattiin ultraäänimenetelmällä kahdeksan säiliön pohjaa ja kahden säiliön vaippa. Vain yhdestä säiliöstä löydettiin alapinnan vakavaa korroosiota. Korroosiovaurio muodostui laajoista tasaisesti syöpyneistä alueista. Samassa pohjassa oli lisäksi kaksi korroosion aiheuttamaa reikää. Niiden kohdalla oli pohjahiekassa pystyssä oleva puutappi. Kahdessa säiliössä oli särömäisen vian aiheuttama vuoto.

Lahdenperä, Kari. Varastosäiliöiden pohjien kunnonvalvonta [Interservice inspection of storage tank floors]. Espoo 1997, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1854. 25 p.

**UDC** 621.796:620.179.16:620.19

**Keywords** storage tanks, ultrasonic tests, nondestructive tests, corrosion

## Abstract

Different methods are used for the inservice inspection of storage tank floors. With the magnetic flux leakage method abrupt local topside and underside pits can be detected if the depth is more than 50% of the thickness of the floor. Slowly deepening flaws can be left undetected. The sensitivity of the test depends on the surface condition of the floor. Almost the same sensitivity can be achieved with the low frequency eddy current method. Because the eddy current method used is absolute the slowly deepening flaws can be detected. The method is probably more sensitive to topside corrosion. The indications given by eddy current and flux leakage inspection are proportional to the volume and shape of flaws. Pits of small diameter cannot be detected even if they extend through the floor. The depth of the flaws cannot be defined with these methods.

The ultrasonic method is the only NDT method able to define the depth of underside corrosion flaws. For this purpose it is best to use digital equipment with A scan. For the detection of underside pits angle beaming gives the best results. Slower normal sonification is needed only to define the thickness of the corroded areas. Angle beaming is of use only if the most of the underside is in good condition. Eight bottoms were tested in this study. In most cases no major underside corrosion was detected. In two cases there were leaks due to crack like flaws. Only one tank had serious underside corrosion. The corroded areas were quite large and homogeneously corroded. There were also two, large through-wall holes. Wooden pins were found stuck into the sand below the bottom under the holes.

Both mechanised and manual scanning were used. When the surface is good, mechanised inspection is well-suited to ultrasonic inspection. When the material is thin (7 mm) and the topside surface corroded inspection will be difficult. The problems are caused by echoes from topside pits. In such cases manual scanning was used. Instead of 100% inspection the inspection was carried out along lines two metres apart. The lines extended across the bottom. The extent and severity of possible underside corrosion could be defined with this kind of inspection.

# **Alkusanat**

Tämä tutkimus on tehty Tekniikan kehittämiskeskuksen (TEKES) ja teollisuuden rahoituksella.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
1. Johdanto	7
2. Pohjien testausmenetelmät	8
2.1 Silmämääräinen testaus ja paksuusmittaus	8
2.2 Vuotokenttämenetelmä	9
2.3 Pyörrevirtamenetelmä	12
2.4 Ultraäänitestaus	14
3. Säiliön pohjien testaukset	19
3.1 Kontaktiton ultraäänimenetelmä	19
3.2 Testaus kontaktimenetelmällä	20
4. Yhteenveto	23
Lähde	25

# 1. Johdanto

Teollisuudessa on suuri määrä erilaisia nestemäisten tuotteiden säilytykseen tarkoitettuja maanpäällisiä säiliöitä. Säiliöt on yleensä rakennettu öljyllä käsitellyn hiekkakerroksen päälle. Säiliöiden pohjat on rakennettu hiekkakerroksen päälle ladotuista teräslevyistä: Levyjen limitys on noin 200 mm. Levyt on liitetty yhteen hitsaamalla. Keskialueella pohjan paksuus on 6–8 mm. Reuna-alueella, jossa pohja (kuningaslevy) joutuu kannattamaan seinämän painon, sen paksuus on 10–12 mm. Aiemmin oli tavallista, että varastosäiliöiden sisäpinnassa ei ollut mitään suojausta. Tämän takia vanhempien säiliöiden sisäpinnat ja erityisesti säiliöiden pohjat ovat eriaosteisten korroosiokuoppien peittämiä. Vasta viime vuosina on aloitettu uusien ja jo käytössä olleiden säiliöiden pohjien ja muidenkin sisäpintojen maalaus. Maalauksessa käytetään epoksimaaleja. Tasaisella pinnalla maalikerroksen paksuus on noin 200 µm. Korroosiokuoppien kohdalla maalikerros on huomattavasti paksumpi.

Ikääntyvien varastosäiliöiden kunnonvalvonta muodostaa kasvavan ongelman. Maalaimattomien säiliöiden pohjat korrodoituvat sekä ylä- ja alapinnalta. Korroosio ilmenee yleensä laajalla alueella. Koska säiliön sisäpinnat voidaan tarkastaa silmämääräisesti, yläpinnan korroosio ei aiheuta testausmielessä suurta ongelmaa. Alapinnan kuntoa arvioidaan usein pistokoemaisilla paksuusmittauksilla. Tällä tavalla voidaan havaita tasaisen yleiskorroosion aiheuttama ohentuminen. Mikäli yläpinta on tasaisesti korrodoitunut, paksuusmittauksen perusteella ei pystytä päättelemään, onko ohentuminen aiheutunut ylä- vai alapinnan korroosiosta. Pistokoemaisella paksuusmittauksella ei luotettavasti havaita pohjan alapinnan pistemäisiä syöpymiä. Tämä on kunnonvalvonnan kannalta suuri ongelma. Eri puolilla maailmaa onkin pyritty kehittämään menetelmiä tämän ongelman ratkaisemiseksi. Tämä ei toki ole ainoa hankalasti havaittava vauriotyyppi. Esimerkiksi pohjan läpi ulottuvat halkeamat ja valssaumat sekä hitsivirheet voivat aiheuttaa vuotoja, joiden paikantaminen voi olla erittäin hankalaa.

Tässä julkaisussa kuvataan säiliöiden pohjien testauksessa käytössä olevat menetelmät ja eräitä niiden yhdistelmiä. Lisäksi kuvataan ultraäänimenetelmällä suoritettuja pohjan tarkastuksia ja niiden tuloksia.

## 2. Pohjien testausmenetelmät

Varastosäiliöiden ja niiden pohjien kuntoa valvotaan käytön aikana seuraamalla, näkyykö säiliöiden ulkopuolella merkkejä mahdollisista vuodoista. Tällainen merkki voi olla voimakas haju tai vaipan ulkopinnan alaosan ”kosteus”. Tällainen ”kosteus” voi olla merkki siitä, että säiliön pohjan alle on vuotanut varastoitavaa nestettä, mikä voi nousta jonkin matkaa seinämää ylöspäin. Kaikki nesteet eivät ”toimi” tässä suhteessa samalla tavalla. Mikäli vuoto on suuri, säiliöstä vuotanut neste imeytyy säiliön alla oleviin salaojiin. Tämä edellyttää sitä, että syvemmillä oleva maa-aines on riittävän tiivistä. Salaojiin imeytynyt neste voidaan havaita salaojaston tarkastuskaivoista. Yleinen suhtautuminen ympäristöongelmiin on kuitenkin muuttunut siten, että vuotojen toteamiseen perustuva valvontateknikka ei ole enää riittävä. Lisäksi yllättävästi ilmenevät vuodot voivat aiheuttaa suuriakin kustannuksia tuotantohäiriöiden ja tiukan korjausaikataulun takia. Nykyaikainen ennakoiva kunnossapito edellyttääkin, että tunnetaan kohteen kunto. Tällöin voidaan luotettavasti arvioida kohteen käyttöikä ja mahdolliset korjaustarpeet. Korjaukset voidaan suorittaa ajankohtina, jolloin ne mahdollisimman vähän häiritsevät laitoksen toimintaa

Säiliön sisäpuolelta suoritettavaan kunnonvalvontaan ovat yleensä kuuluneet silmämääräinen testaus ja pistokoemainen paksuusmittaus ultraäänimenetelmällä. Mikäli anturien kuljettamiseen ja tulosten analysointiin käytetään luotausautomaattia, voidaan ajatella laajempienkin alueiden ultraäänitestausta. Käyttämällä kulmaluotauksia normaaliluotauksen sijasta voidaan alapinnaltaan korrodoituneiden alueiden etsintää nopeuttaa. Vuotokenttämenetelmässä pohja magnetoidaan. Mahdolliset ala- ja yläpinnan vauriot aiheuttavat paikallisia magneettikentän maksimeja. Ne voidaan havaita magneettivuon tiheyttä mittaavilla ilmaisinantureilla. Vastaavasti ylä- ja alapinnan vaurioita voidaan havaita myös pyörrevirtamenetelmällä, kun käytetään riittävän alhaista mittaustaajuutta.

### 2.1 Silmämääräinen testaus ja paksuusmittaus

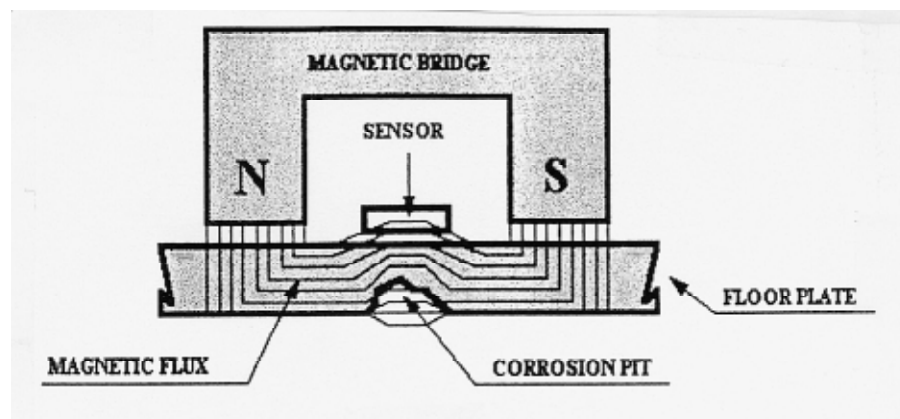
Varastosäiliöt ovat yleensä jatkuvassa käytössä. Pohjan tarkastus edellyttää vähintäänkin säiliön tyhjentämisen, pesun ja usein vielä pohjan tai hitsien hiekkapuhalluksen. Pohjien perusaineelle tehdään yleensä silmämääräinen tarkastus, jossa etsitään pohjan yläpinnan pahimmat korroosiokuopat. Lisäksi suoritetaan mahdollisesti pistokoemaista paksuusmittausta ultraäänimenetelmällä. Tämän lisäksi otetaan satunnaisesti valittu pieni, alle 1 m<sup>2</sup>:n suuruinen alue, joka tutkitaan ultraäänimenetelmällä mahdollisimman tarkkaan mahdollisten korroosiokuoppien ja ohentumien havaitsemiseksi. Tämän lisäksi pohjan hitsit tutkitaan silmämääräisesti ja magneettijauhemenetelmällä yläpinnan korroosiovaurioiden ja mahdollisten säröjen havaitsemiseksi. Mahdollisten vuotojen etsintään voidaan käyttää imulaatikkaa. Vuodot voidaan joskus havaita pohjan pinnalle



hiekkapuhalluksen ja puhdistuksen jälkeen kapillaarivoiman ansiosta nousevan ”kostuden” avulla.

## 2.2 Vuotokenttämenetelmä

Vuotokenttämenetelmän periaate on esitetty kuvassa 1. Testattavasta pohjasta magneutoidaan kerrallaan pieni alue. Pohjalevyn ala- ja yläpinnan pistemäiset syöpymät aiheuttavat magneutoitaessa paikallisen magneettivuon maksimin. Maksimi voidaan havaita Hall-anturilla tai liikkuvalla kelalla. Yläpinnan vikojen havaitsemiseksi riittäisi magneettikenttä, jonka voimakkuus on 2 - 3 kertaa koersitiivinen kentänvoimakkuus. Alapinnan vikojen havaitsemiseen tarvitaan voimakas, lähes kyllästysmagneutointia vastaava kentänvoimakkuus. Riittävän kentänvoimakkuuden säilyttäminen on olennaista, jotta alapinnan vioista saadaan näyttämät. Kentänvoimakkuuteen vaikuttavat magneetin voimakkuuden lisäksi pohjalevyn paksuus ja ilmaväli magneetin ja pinnan välillä. Magneettikenttä voidaan synnyttää sähkömagneeteilla tai kestromagneeteilla. Sähkömagneettien etuna on hyvä säädettävyys. Haittana on suuri koko ja paino (jopa 100 kg) sekä suuri tehon tarve ja lämpeneminen.



Kuva 1. Vuotokenttämenetelmän periaate, yllä magneutoiva ies, alla magneutoitava pohjalevy keskellä anturi (sensor).

Menetelmä on jonkin verran herkempi yläpinnan kuin alapinnan vaurioille eikä sillä voida erottaa toisistaan niistä aiheutuvia näyttämiä. Menetelmällä havaitaan jyrkkäreunaisia kuoppia. Yleinen ohentuma ei aiheuta näyttämiä. Vuon mittauksella on mahdollista arvioida keskimääräinen pohjan paksuus. Vuotokenttämenetelmää käytetään etsintään. Näyttämien korkeuteen vaikuttavat vian syvyys, tilavuus ja muoto. Mikäli ilmaisimina käytetään keloja, kuten tavallista, näyttämien korkeuteen vaikuttaa myös anturin siirtonopeus. Näyttämien korkeutta ei voida käyttää vikojen syvyyden arviointiin. Paikat, joista testauksessa on saatu näyttämiä, merkitään pohjalevyyn. Merkatut alueet tutkitaan erikseen ultraäänimenetelmällä jäljellä olevan materiaalin paksuuden määrittä-

miseksi. Testauksessa käytettävä herkkyys määräytyy testattavan pohjan ylä- ja alapinnan kunnosta. Mikäli yläpinnalla on runsaasti korroosiokuoppia, herkkyys on valittava niin, että yläpinnan korroosiokuopista ei saada liian paljon näyttämiä. Vikojen syvyyden määrittäminen muuttuu toivottomaksi, mikäli määritettäviä alueita on satoja. Vastaavasti myös alapinnan kunto vaikuttaa käytettävään herkkyyteen.

Eräs vuotokenttälaitteiden valmistajista (Magnetic Analysis Corporation) ilmoittaa, että laitteella voidaan havaita alapinnalla oleva tasapohjainen kolo ( $\Phi$  3 mm), jonka syvyys on 20 % pohjan paksuudesta. Tätä herkkyyttä valmistaja pitää jossain määrin harhaanjohtavana ja ilmoittaa, että testauksessa käytetään yleensä herkkyyttä, jolla voidaan havaita 40 - 50 % syvät syöpymät. Selityksenä lienee yläpinnan korroosion aiheuttama ”kohina”. On huomattava, että pohjalevyille tyypillinen aaltoilun aiheuttama etäisyyden vaihtelu vaikuttaa herkkyyteen.

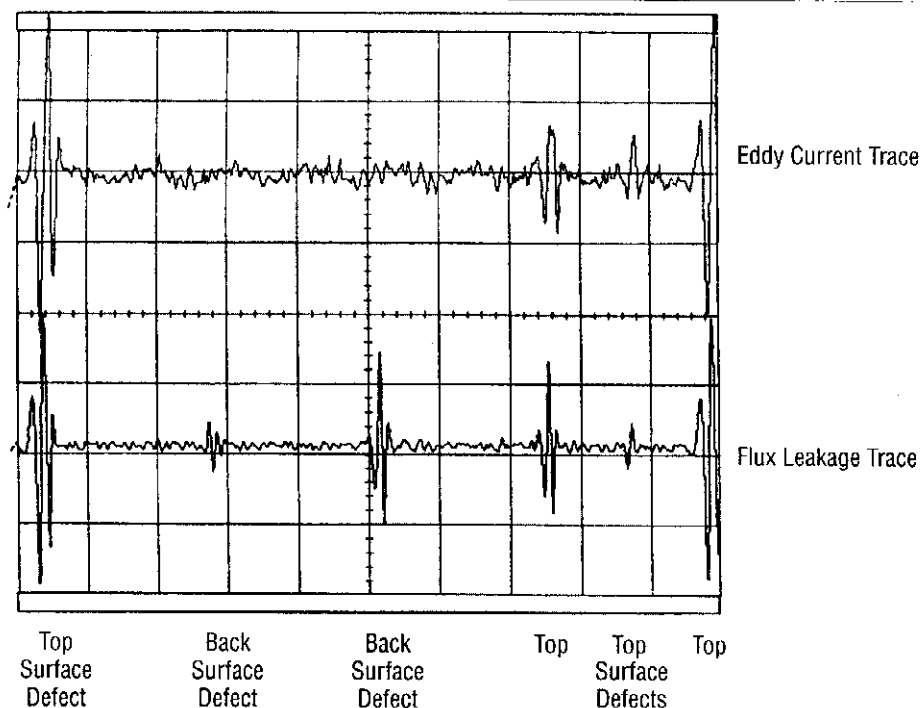
Pohjan testauksessa on käytössä erilaisia vuotokenttämenetelmän tekniikoita. MFE Enterprises Incorporatedin valmistamat vuotokenttälaitteistot MFE 2412 ja MFE 1412 ja ovat 12-kanavaisia. Kultakin kanavalta saatavan signaalin voimakkuutta voidaan seurata pylväsnäytön avulla. Ennalta asetetun hälytystason ylitystä valvotaan äänihälytyksen ja merkkivalojen avulla. Laitteistot ovat akkukäyttöisiä. Testausleveydet ovat 300 mm ja 150 mm (Johnston 1992). Magneettikenttä synnytetään kestromagneeteilla ja magneettikentän voimakkuuden mittaukseen käytetään keloja. Laitteiden massat ovat 40 kg ja 10 kg. Laitteistot mahtuvat sisään 450 mm:n miesluukusta. Pienempi laite on rakenteeltaan sellainen, että sillä voidaan testata lähempää säiliön seinämää ja levyjen liitoksia. Suurimmaksi testausnopeudeksi on ilmoitettu 50 m/min. Käytännössä mahdolliset näyttämät on merkattava säiliön pohjaan, joten edellä annettua nopeutta voidaan käyttää vain, jos pohjasta ei saada näyttämiä. Laitteistolla ei voida erottaa toisistaan ylä- ja alapinnalta saatavia näyttämiä.

Magnetic Analysis Corporationin testauslaitteet TBT-III ja TBT-III-S muistuttavat lattiankiillotuskonetta (kuva 2). Niissä anturiosa pyöri vakionopeudella hieman pohjan pinnan yläpuolella. Pyörimisnopeudet ovat 320 ja 390 r/min. Anturissa voidaan käyttää jousikuormitettua ilmaisosaa, joka laahaa säiliön pohjaa. Tällä pyritään eliminoimaan pohjan aaltoilun aiheuttama etäisyyden ja herkkyyden vaihtelu. Laitteessa on pyörrevirta- ja vuotokenttäkanavat. Vuotokenttäantureita on 2 kpl ja pyörrevirta-antureita 1 kpl. Vuotokenttäkanava antaa näyttämien sekä ylä- että alapinnan koloista. Pyörrevirtakanava antaa näyttämiä yläpinnan koloista. Vuotokenttä- ja pyörrevirtakanavien näyttämiä vertaamalla voidaan erottaa toisistaan ylä- ja alapinnan kolot. Näyttämien vertailu tapahtuu automaattisesti. Valitettavasti pyörrevirtakanava antaa näyttämien myös syvistä alapinnan koloista. Lisäksi on muistettava, että ylä- ja alapinnalla voi olla koloja suunnilleen samalla kohdalla. Tämän takia myös testaajan on tarkkailtava näyttämien amplitudeja ja niiden suhteita. Laitteeseen kuuluu myös pyörrevirtakanava, joka on tarkoitettu keskimääräisen levynpaksuuden mittaukseen.

Anturin halkaisija on 13 mm. Valmistajan mukaan on mahdollista havaita ohentuma, joka on yhtä suuri tai suurempi kuin 1,3 mm. Kerrallaan tarkastettavan alueen leveydet ovat 313 mm (TBT III) ja 225 mm (TBT IIIS). Testausnopeudeksi ilmoitetaan noin 25 m/min. Laitteet mahtuvat miesluukun läpi, jos halkaisijat ovat vähintään 550 mm ja 431 mm. Laitteiden massat ovat 151 kg (333 lbs) ja 88 kg (195 lbs). Kuvassa 3 esitetään ko. laitteilla säiliön pohjasta saatuja näyttämiä.



*Kuva 2. Vuotokenttämenetelmään perustuva pohjantestauslaite TBT IIIS.*



Kuva 3. Pohjantestauslaitteella TBT IIS saatuja näyttämiä, ylempänä pyörrevirta-kanavalla ja alempana vuotokenttäkanavalla saadut näyttämät.

## 2.3 Pyörrevirtamenetelmä

Yhdysvaltalaisen Testex Inc:n kehittämät Falcon 2000 Jr ja 2000 Sr -laitteistot perustuvat pyörrevirtamenetelmään. Pienemmässä, Jr-laitteistossa, on 16 kanavaa ja suuremmissa, Sr-laitteistossa, 32 kanavaa. Jokaiseen kanavaan kuuluu kaksi impedanssikela. Mittaustapa on absoluuttinen. Testauksessa käytetään alhaista testaustaajuutta. Jokaiselta kanavalta saadaan näyttämien korkeus ja vaihe kuvan 4 mukaisesti. Kuvan mukaisesti alapinnan kolot havaitaan vain vaiheen muutoksen ansiosta. Amplitudin muutos ei erotu kohinasta. Yläpinnan kolot aiheuttavat muutoksen signaalin amplitudissa ja vaiheessa. Edellä mainitun ominaisuuden ansiosta ylä- ja alapinnan koloista saatavat näyttämät pystytään erottamaan toisistaan. Testauslaitteistolla pystytään havaitsemaan alapuolinen kolo, jonka syvyys on 50 - 75 % seinämäpaksuudesta ( $\Phi$  3 mm). Laaja-alaisien ohentumien osalta mittaustarkkuudeksi ilmoitetaan 5 - 10 % seinämäpaksuudesta. Suurin testausnopeus on 33 cm/s. Kerrallaan testattavan alueen leveys on 400 mm. Laitteistolla voidaan testata jopa 6 mm paksujen eristävien ja epämagneettisten pinnoitteiden läpi. Sr- ja Jr-laitteistojen anturien massat ovat 11 kg ja 2 kg. Kuvassa 4 on pyörrevirtamenetelmään perustuvalla laitteella saatuja näyttämiä pistemäisistä ja laaja-alaisista alapinnan ohentumista.

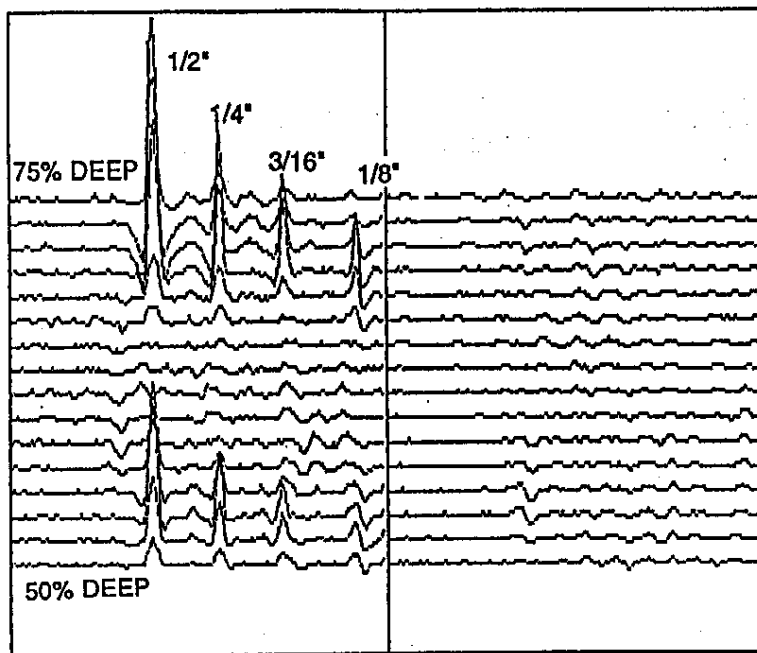


PLATE WITH  
UNDER SIDE PITS

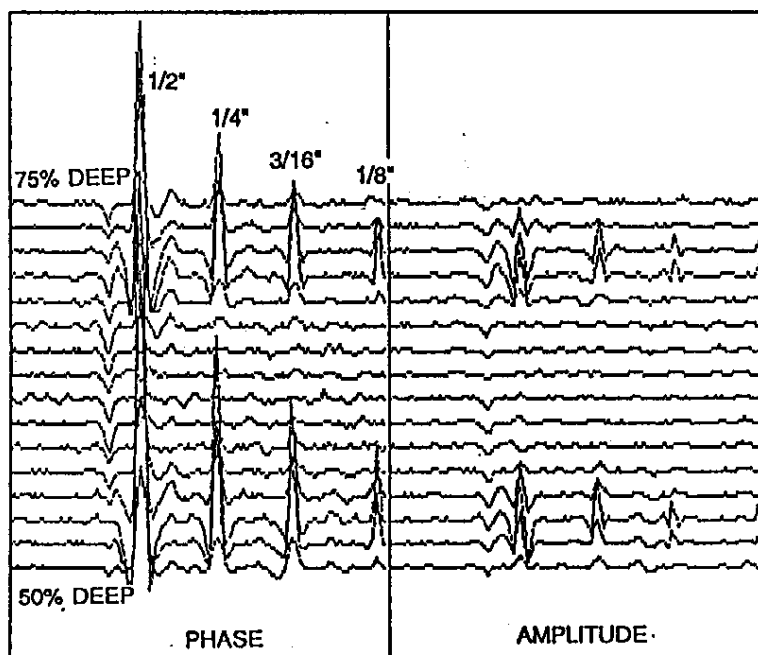


PLATE WITH  
ABOVE SIDE PITS

Kuva 4. Pyörrevirtamenetelmällä erisyyisistä vertailuvioista saatuja näyttämiä, yläkuvan näyttämät aiheutuvat levyn yläpinnalla ja alakuvan näyttämät levyn alapinnalla olevista vertailuvioista.

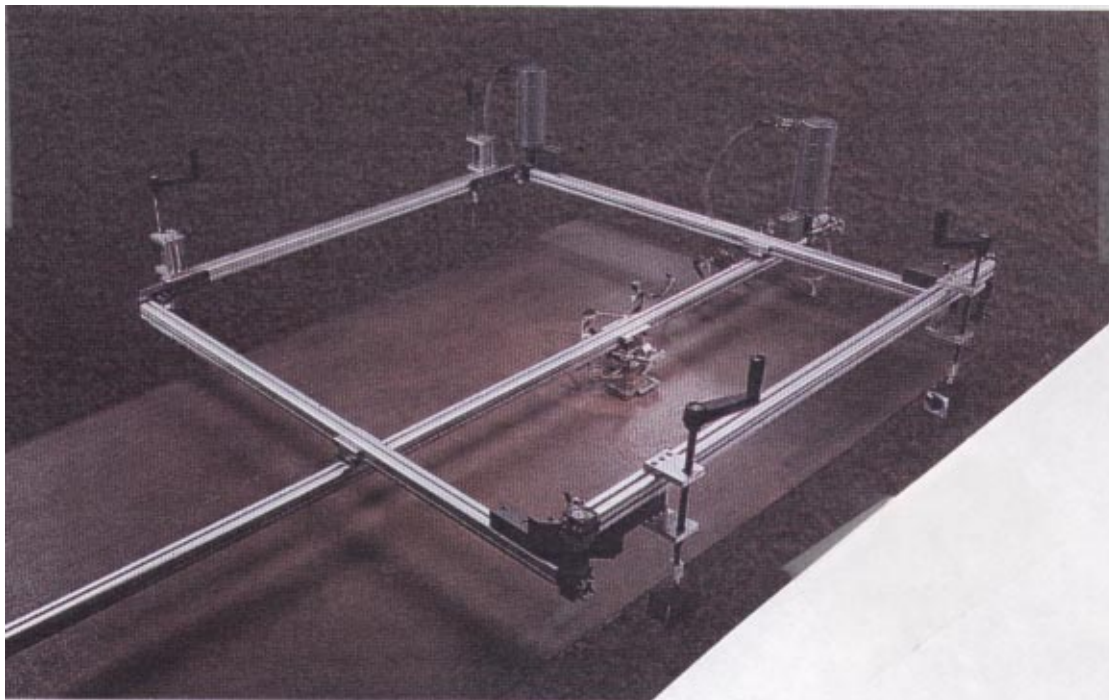
## 2.4 Ultraäänitestaus

Ultraäänitestauksessa alapohjan korroosion etsintään ja määrittämiseen voidaan käyttää normaaliluotausta ja kulmaluotausta. Kulmaluotauksen avulla löydetään sekä korroosiokuopat että matala, vasta alkava yleiskorroosio. Löydettyjen korrodoituneiden alueiden vikasyvyys voidaan määrittää normaaliluotauksella. Pelkällä normaaliluotauksella voidaan määrittää materiaalin paksuus. Mikäli yläpinta on tasaisesti korrodoitunut, paksuusmittauksen perusteella ei voida päätellä, onko mahdollinen ohentuma aiheutunut ala- vai yläpinnan korroosiosta. Pistemäisten korroosiokuoppien tapauksessa alapinnan korroosio voidaan yksiselitteisesti todeta. Toisinaan pohjalevyissä esiintyy laminaatioita. Niistä saadaan näyttämää sekä kulma- että normaaliluotauksessa. Kokenut tarkastaja pystyy erottamaan toisistaan pistekorroosion ja pienen laminaation aiheuttamat näyttämät. Jos laminaatioiden määrä on suuri, näyttämien analysointi voi tulla niin työlääksi, että se käytännössä estää laajan ultraäänimenetelmällä suoritettavan testauksen.

Varastosäiliöiden pohjien ultraäänitestaukseen on kehitetty erilaisia luotausautomaatteja. Kuvassa 5 on VTT:llä säiliöiden pohjien testaukseen kehitetty nelivetoinen luotausautomaatti (mönkijä). Laitteisto kulkee säiliön pohjalla tai vaikkapa katossa neljän magneettipyörän avulla. Tällainen rakenne sopeutuu paremmin pohjan aaltoiluun eikä sitä tarvitse erikseen kiinnittää pohjaan, kuten kuvassa 6 esitetty pitkien jäykkien johteiden käyttöön perustuva laitteisto. Laitteiston avulla voidaan nopeasti testata suuriakin alueita. Luotaus voidaan suorittaa maalikerroksen läpi. Kontaktinesteenä käytetään yleensä vettä. Sahausliikettä suorittavaan varteeseen voidaan kiinnittää useita luotaimia. Tällä tavalla voidaan kasvattaa testauksen nopeutta lisäämättä anturin kuljetusnopeutta. Laitteistoa on käytetty vaakasuoran lieriömäisen säiliön vaipan testaukseen.



*Kuva 5. VTT:n käyttämä säiliöiden testaukseen soveltuva luotausautomaatti.*



*Kuva 6. Jäykkien johteiden käyttöön perustuva luotausautomaatti (Alara III).*

Kokonaan toisenlaista rakennetta on käytetty ALARA III -laitteistossa (valmistaja Virginia Corporation of Richmond). Kuvan 6 mukaiseen laitteistoon kuuluvat testattavalle pohjalle kiinnitettävä kehikko (johteet). Testaus suoritetaan johteiden rajaamalla alueella. Laitteistolla ei pystytä testaamaan kaarevia pintoja. Laitteistoon kuuluvat em. johteet, moottorit vaihteistoinen ja PC:hen liitetty elektroniikkaosa. Ultraäänikortti ja moottoreiden ohjauspiirit on suoraan liitetty PC:n väylään. Akustisen kontaktin synnyttämiseksi kontaktinesteinä käytetään vettä. Akustinen signaali syötetään säiliön pohjaan vesipatsaan kautta yhtä luotainta käyttäen. Anturin vetopituus on maksimissaan 2,7 m ja kerrallaan luodattavan alueen leveys 1,5 m. Anturin nopeus on maksimissaan 2,25 m/s. Tavalliseksi luotauspisteiden väliksi mainitaan 9 mm.

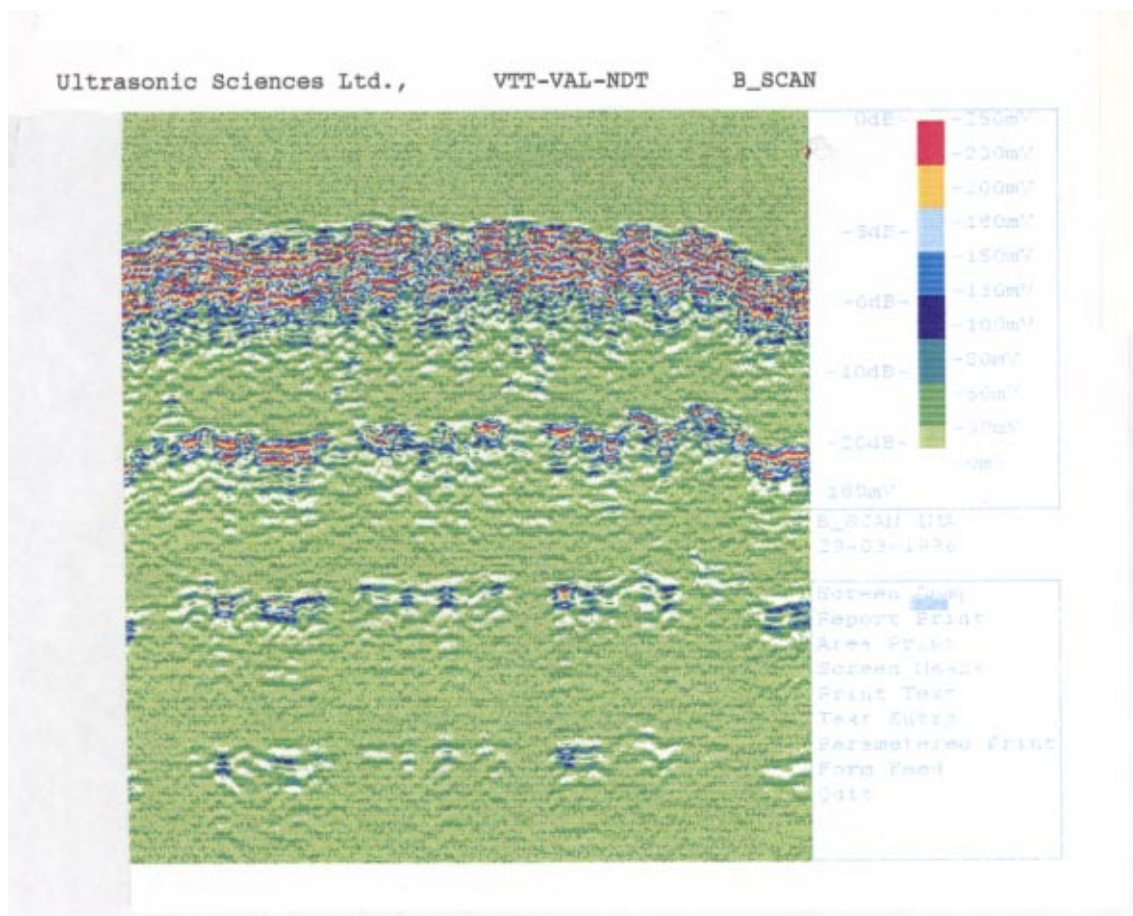
Pohjan testausta voidaan suorittaa myös kontaktittomalla ultraäänimenetelmällä. Tässä käytetään hyväksi vaakapolarisoitua levyaaltoa. Vaakapolarisoituja levyaaltoja käyttämällä voidaan havaita usean sadan millimetrin päässä olevia ylä- ja alapinnan kuoppia. Edellytyksenä on kuitenkin, että pohjan laatu on muutoin hyvä. Käytännössä pohjat ovat korrodoituneita. Korroosion aiheuttama epätasaisuus lisää levyaalton vaimenemista alhaisesta taajuudesta huolimatta (600 - 700 kHz). Tämän takia vaakapolarisoituja levyaaltoja kannattaa käyttää pohjan testaukseen vain poikkeustapauksessa. Sama koskee myös pystypolarisoituneita levyaaltoja.

Ultraäänimenetelmällä testattavan pohjan on oltava puhdas. Yleensä se edellyttää pohjan hiekkapuhallusta. Mikäli pohja on maalattu, testaus voidaan tehdä maalikerroksen läpi. Normaaliluotauksessa maalikerros pidentää merkittävästi yläpinnasta saatavaa kaikua (lähtöpulssia). VTT:ssa upotusmenetelmällä suoritettussa kokeessa pintakaiun pituus vastasi noin 2,5 mm:n teräskerrosta. Tämä merkitsee sitä, että mikäli aineenpaksuus on vian alla alle 2,5 mm, niin vian kohdalta saatava pohjakaiku ei erotu pintakaiusta. Ultraäänisignaalin taajuus oli 5 MHz. Taajuuden korottaminen 15 Mhz:iin lyhensi pintakaiun pituuden hieman alle 2 mm:iin (kuva 7). Koekappale oli käytössä ollut pohjalevy, joka oli maalattu äskettäin. Maalikerroksen nimellispaksuus oli 200 µm. Koska maalattu pinta oli korrodoitunut, maalikerroksen paksuus oli tosiasiaassa vaihteleva.

Ultraäänitestauksen etuna on se, että sillä on mahdollista nähdä jo matalatkin kolot ja ohentumat. Yläpinnan ja alapinnan ohentumat voidaan erottaa toisistaan. Menetelmällä on omat ongelmansakin. Ensimmäinen ongelma syntyy kontaktinesteestä. Hiekkapuhallettu pinta alkaa välittömästi ruostua kytkentänesteenä käytetyn veden vaikutuksesta. Mikäli veden sijasta käytetään liisteriä tai rasvaa, ruostuminen voi vähentyä, mutta maalausta varten tarvittava puhdistus on edelleen suuritöinen. Puhdistustyön minimoimisen kannalta testaus kannattaisi suorittaa vasta maalauksen jälkeen. Tällöin voi syntyä sellainen tilanne, että pohja osoittautuu testauksessa niin huonokuntoiseksi, että maalausta ei olisi kannattanut suorittaa ollenkaan. Lisäksi näyttämien määrittäminen



edellyttää usein pohjan paikallista hiomista. Tämä edellyttää joka tapauksessa näiden kohtien huolellista puhdistusta ja uusintamaalausta.



Kuva 7. Maalattusta 6 mm paksusta näytelevystä normaaliluotauksessa saatu B-kuva (fokusoitu luotain,  $f = 15$  MHz).

Toinen suuri ongelma aiheutuu pinnan laadusta. Mikäli pinta on hyvä (uutena maalattu), testauksessa voidaan käyttää mekanisoitua kulmaluotausta kontaktimenetelmää käyttäen. Mahdollisten korrodoituneiden alueiden aineenpaksuus määritetään käsin normaaliluotauksella. Tällainen testausmenettely edellyttää sitä, että alapinnalla on vain vähän syöpyneitä kohtia. Mikäli alapinta on kauttaaltaan syöpynyt, käsivarainen määrittäminen käy liian työlääksi. Tässä tilanteessa on parempi käyttää mekanisoitua normaaliluotausta. Luotausnopeus kuitenkin hidastuu, koska paksuusmittaukseen on valittava anturi, jolla on mahdollisimman pieni fokuspisteen halkaisija levyn alapinnalla. Tämän takia testaurasteria joudutaan merkittävästi tihentämään kulmaluotaukseen verrattuna, jotta säilytettäisiin 100 %:inen kattavuus. Anturina voidaan käyttää laajakaistaista fokusoitua noin 10 MHz:n anturia.

Mikäli yläpinta on pistekorroosion vaurioittama, mekanisoitu ultraäänitestaus on hankalaa. Hankaluudet aiheutuvat yläpinnan koloista saatavista kaiuista ja niiden monikerroista. Mekanisoidussa testauksessa on parasta käyttää normaaliluotausta. Ääni voidaan parhaiten kytkeä pohjaan vesisuihkun avulla. Tämä merkitsee vedenkulutuksen kasvua ja lattialle kertyvän vesikerroksen aiheuttamien ongelmien lisääntymistä. Pinta- ja pohjakaiun kulkuaikeerosta ei voida yksinään päätellä, onko ohentuma aiheutunut ylä- vai alapinnan korroosiosta. Huomioimalla pintakaiun kulkuaike voidaan ala- ja yläpinnan korroosiokuopat erottaa toisistaan.

Säiliön pohjan alapinnan kunnon selvittämiseksi riittää usein, että vain osa säiliön pohjasta testataan. Testaus voidaan suorittaa esimerkiksi pitkin testauslinjoja. Testauslinjat kannattaa valita niin, että todennäköisimmät vaurioitumiskohdat tulevat katettua. Usein oletetaan, että ulkopuolelta säiliön alle pääsevä vesi lisääsi kuningaslevyn alapinnan korroosiota. Tämän takia kannattaa valita yksi tarkastuslinja siten, että se kiertää säiliön pohjan ympäri pitkin ulkoseinämää. Muut testauslinjat voivat ulottua muutamasta kohdasta säiliön poikki. Testauksen yksityiskohtainen suoritus riippuu pinnan laadusta. Yleensä kuitenkin käytetään kulmaluotausta ja paksuusmittausta. Testauksen laajuus määräytyy sen mukaan, mikä on alapinnan kunto.

### 3. Säiliön pohjien testaukset

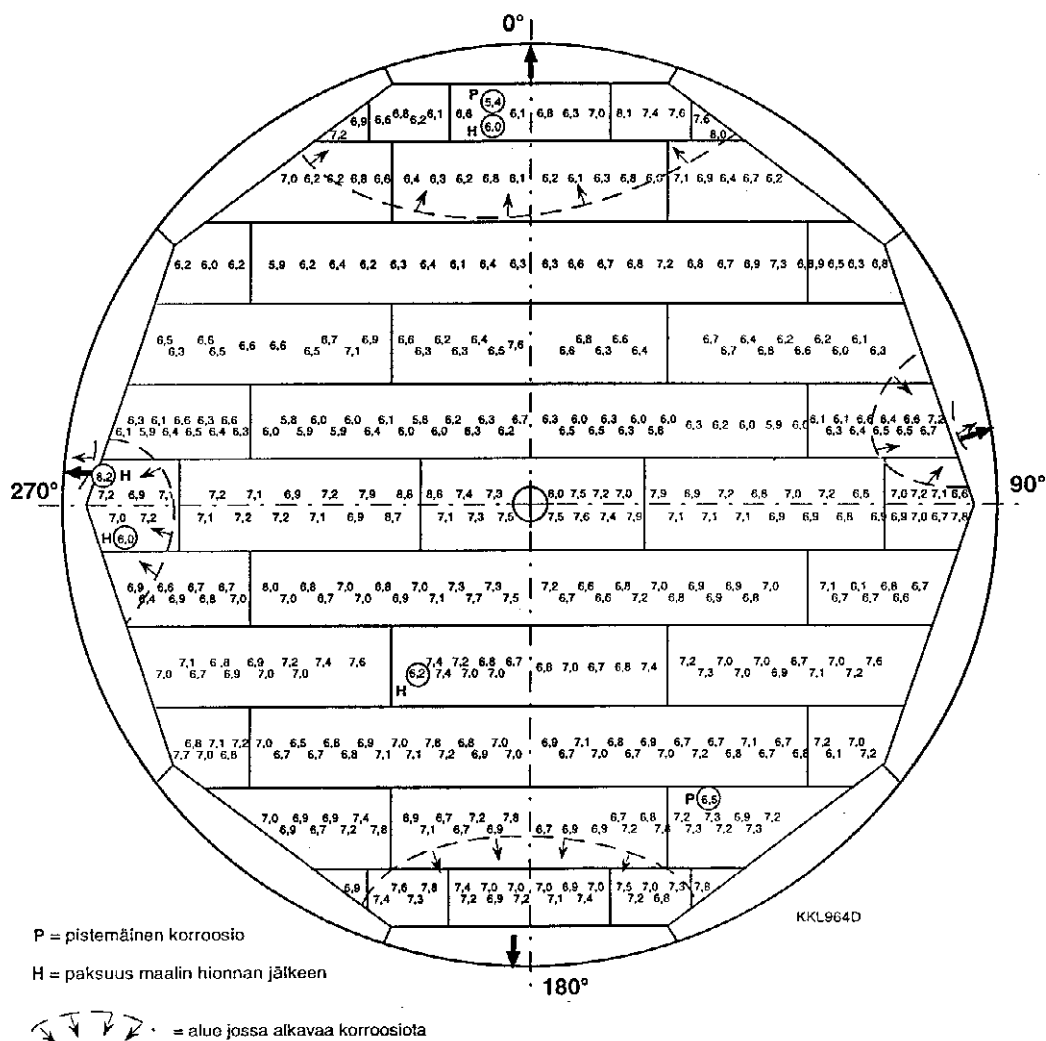
Seuraavassa tarkastellaan eri ultraäänitekniikoilla suoritettuja säiliön pohjan testauksia. Tutkimuksen kuluessa käytetyt tekniikat ovat vaihdelleet säiliön kunnon mukaan. Ensimmäisissä testeissä käytettiin kontaktitonta ultraäänimenetelmää yhdessä paksuusmittauksen kanssa. Sittenkin käytettiin käsivaraisesti suoritettua kulmaluotausta ja paksuusmittausta. Eräs säiliö testattiin käyttäen hyväksi läpäisytekniikkaa. Ne alueet, joilla vaimeneminen oli suurta, tutkittiin paksuusmittauksen avulla. Tällä tekniikalla löydettiin suuri määrä alapinnan korroosion vaurioittamia alueita. Kahden säiliön testauksessa käytettiin mekanisoitua kulmaluotausta.

#### 3.1 Kontaktiton ultraäänimenetelmä

Kontaktittomalla ultraäänimenetelmällä suoritettua testauksessa käytettiin ultraäänilaitteistoa EMUS SWS. Laitteistokokoonpanoon kuuluivat lisäksi esivahvistin ja anturi (VTT SH SM8-1). Anturilla synnytetään testattavaan pohjaan epäsymmetrinen levyaalto AS1 (vaakapolarisoiduneiden poikittaisaaltojen muodostama levyaalto). Vaakapolarisoidussa poikittaisaallossa materiaali värähtelee kappaleen pinnan suuntaisesti. Vertailukappaleena oli 6 mm paksu levy. "Vertailuvikana" oli 50 % syvä upotus (halkaisija 20 mm). Vertailukappaletta käytettiin vain laitteiston toimintakunnon toteamiseen. Säiliön S testauksessa levyaalton taajuus oli 673 kHz.

Testattavana olivat noin 20 vuotta vanhat varastosäiliöt S ja K. Säiliön S pohja muodostui teräslevyistä, jotka on hitsattu yhteen limiliitoksien, kuten kuvan 8 säiliö KX. Pohja oli hiekkapuhallettu yläpinnaltaan ennen testausta. Kohteen yläpinta oli laajalti pistekorroosion syövyttämä. Testauksessa pyrittiin löytämään mahdolliset alapinnan pistemäiset syöpyvät. Levyaaltotestauksessa anturia kuljetettiin levyn poikki testauslinjoja pitkin. Testauslinjojen väli oli 200 mm. Levyaalto suunnattiin kohtisuoraan testauslinjasta pois päin. Ultraäänilaitteen näytön aika-akseli oli säädetty 200 mm:ksi. Koko säiliön pohja testattiin levyaaltotekniikkaa käyttäen lukuun ottamatta kuningaslevyä, hitsejä ja yläpinnaltaan pahasti syöpyneitä alueita.

Kaikki alueet, joista saatiin taustasta erottuvia näyttämiä, merkittiin pohjaan. Näyttämien korkeudet mitattiin huipusta huippuun (rf-signaali). Kaikki merkatut alueet hiottiin puhtaaksi (noin 60 mm × 60 mm). Näiden kohtien eheys tutkittiin tavanomaisella ultraäänitekniikalla normaali- ja toisinaan myös kulmaluotausta käyttäen. Pohjan alapinnasta löydettiin yksi kohta, jossa on joko rakokorroosiota, ylivalssauma tai valmistuksen aikainen kolo. Vaurion syvyys oli 0,6 mm. Säiliöstä K ei löydetty alapinnan korroosiota. Yläpinnan korroosiokuopat estivät levyaaltotestauksen joillakin alueilla.



Kuva 8. Säiliön KX pohjan testauksessa saadut tulokset

### 3.2 Testaus kontaktimenetelmällä

Kontaktimenetelmällä suoritettua testauksessa pyrittiin selvittämään alapinnan yleistä kuntoa. Tavoitteena oli selvittää mahdollisesti korrodoituneiden alueiden laajuus, korrosioaurion vakavuus (keskimääräinen syvyys), eikä etsiä yksittäisiä korrosio-kuoppia. Testauksessa käytettiin kulmaluotausta ja normaaliluotausta. Kulmaluotauksella pyrittiin havaitsemaan mahdollinen alapinnan korroosio. Normaaliluotauksella mitattiin pohjan paksuus. Kulma- ja normaaliluotaus suoritettiin testauslinjoja pitkin. Kulmaluotaus tehtiin linjan suuntaan. Menetelmää sovellettiin säiliöiden A, B, C ja KX pohjien testaukseen. Testauslinjat valittiin kohteen mukaan. Esimerkiksi säiliössä D testauslinjat olivat levyjonojen suuntaisia ja kulkivat levyjen keskellä.

Säiliön KX testauksessa keskityttiin keskilevyihin. Testauksen tulokset ovat kuvassa 8. Keskimääräinen pohjan mitattu paksuus oli 5,6 - 8 mm. Paksuusmittauksessa pienin mitattu seinämänpaksuus oli 5,4 mm. Kyseessä oli pistemäinen minimi, joka aiheutui alapinnalla olevasta kolosta (merkintä P). Seinämänpaksuuden arvoja tarkasteltaessa on huomattava, että ne sisältävät maalikerroksen vaikutuksen. Muutamista kohdista maali hiottiin pois (merkintä H). Näistä kohdista suoritettut paksuusmittaukset osoittivat, että maalikerros kasvatti levyn paksuudeksi saatua tulosta 0,5 - 1,5 mm. Maalikerros näyttää todellista paksummalta, koska äänen nopeus maalissa on alle puolet äänen nopeudesta teräksessä. Kulmaluotauksessa alapinnan alkavaa korroosiota havaittiin reuna-alueilla katkoviivoituksella rajatulla alueella. Korrosio lisääntyi reunoja kohti. Kaikissa kuningaslevyn alueella suoritetuissa mittauksissa havaittiin alkavaa alapinnan korroosiota, joka lisääntyi reunoja kohti (kuva 8, paksu nuoli).

Säiliön C testauksessa keskityttiin kuningaslevyjen alueeseen. Testauslinjat olivat kuningaslevyjen alueella pohjan säteen suuntaisia ja ulottuivat kuningaslevyjen poikki. Testauslinjojen väli oli noin 1 m (5 linjaa/levy). Kaikki 20 kuningaslevyä testattiin. Keskialueella testauslinjat olivat levyjonojen suuntaisia ja kulkivat levyjen keskellä. Testauslinjat olivat kahdeksannella ja kuudennellatoista levyjonolla. Testauksessa käytettiin kulmaluotausta ja paksuusmittausta. Kulmaluotaus suoritettiin testauslinjan suuntaan. Testaus suoritettiin maalipinnan läpi. Mikäli havaittiin poikkeavia alapinnan kuoppia, ne raportoitiin erikseen. Vaikkakin kuningaslevyjen alapinta oli toisin paikoin selvästi korrodoitunut, paksuusmittauksessa ei havaittu vakavaa alapinnan pistekorroosiota. Pienin mitattu pohjanpaksuus oli 9,9 mm. Keskimääräinen kuningaslevyn paksuus oli noin 11,5 mm. Seinämänpaksuuden arvoja tarkasteltaessa on huomattava, että ne sisältävät maalikerroksen vaikutuksen (0,5 - 1,5 mm).

Keskilevyjen alueella linja jaettiin noin 1 m:n pituisiin osiin. Kultakin osalta ilmoitettiin pienin mitattu pohjan paksuus. Mittaustulokset olivat 7,5 - 8,6 mm. Tulokset sisältävät maalikerroksen. Alapinnan vakavaan korroosioon viittaavia tuloksia ei saatu. Testauksen kuluessa löydettiin useita kohtia, joissa näytti olevan alapinnan pistemäisiä koloja. Pohjasta otetun näytekappaleen ja lisämittausten perusteella voitiin kuitenkin todeta, että ko. poikkeamat aiheutuivat levyjen sisäisistä laminaatioista. Kulmaluotauksessa havaittiin keskialueella alkavaa alapinnan korroosiota. Yläpinnan huonon ja laminaatioiden vuoksi keskialueen kulmaluotauksen tulosten tulkinta on vaikeaa. Samoilta alueilta, mistä löydettiin laminaatioita, löydettiin myös voimakkaampaa alapinnan korroosiota. Havaitut korroosion aiheuttamiksi tulkitut näyttämät saattoivat osittain aiheutua em. laminaatioista.

Noin 10 vuotta vanhan säiliön D testauksessa etsintämenetelmäksi valittiin läpäisytekniikka (200 mm:n etäisyydellä toisistaan oleva lähetinvastaanotinpari, 2 kpl WB 45°, poikittaisaaltoluotaimia). Koekappaleen avulla voitiin todeta, että äänitielle osuessaan jos sangen pieni ja matala korroosioaurio vaimensi voimakkaasti vastaanotossa havaittavaa kaikukorkeutta. Tavoitteena oli siis havaita korrodoituneet alueet ja määrittää vaurioiden

syvyys tarkemmin normaaliluotauksella. Pohjasta oli löydetty silmämääräisessä tarkastuksessa kaksi reikää. Molempien reikien kohdalla pohjahiekassa oli pystyssä oleva puutappi, joka oli koskettanut pohjalevyä. Näytekappaleesta voitiin nähdä, että vaurioitunut alue oli halkaisijaltaan noin 100 mm. Reikä oli tosin selvästi pienempi. Testausta aloitettaessa oletettiin, että muutkin mahdolliset alapinnan vauriot ovat selvästi keskittyneitä vastaavasta syystä aiheutuneita pienehköllä alueella olevia syöpymiä. Pohja oli yläpinnaltaan sileä ja hiekkapuhallettu ennen testausta. Maalaus oli aikanaan suoritettu ennen käyttöön-ottoa.

Testaus suoritettiin kuljettamalla luotainparia pohjaa pitkin niin, että kerrallaan tuli testattua 200 mm leveä kaista. Limittämällä kaistat sopivasti voitiin keski- ja kuningaslevyjen alue testata 100-prosenttisesti. Korrodoituneet alueet tutkittiin tarkemmin normaaliluotauksella. Vastoin alkuperäistä oletusta pohjan alapinta oli melko laajoilta alueilta syöplynyt ja normaaliluotauksella suoritettava paksuuden mittaus vei runsaasti aikaa. Ohuimmillaan pohjan paksuus oli paksuusmittauksen mukaan 1,2 mm. Pohjasta otettu näytelevy vahvisti paksuusmittauksen tulokset. Kuningaslevyn alueelta ei löydetty mainittavaa alapinnan korroosiota. Tässä käytettyä korrodoituneiden alueiden etsintämenetelmää voitiin käyttää, koska yläpinta oli hyvä. Tällaisen menetelmän käyttö edellyttää sitä, että alapinta on vain paikoitellen korrodoitunut. Muussa tapauksessa paksuusmittauksessa kuluva aika nousee kohtuuttoman suureksi. Korrodoituneiden alueiden etsintään olisi voitu käyttää myös kontaktitonta menetelmää vastaavalla tavalla.

Mekanisoitua ultraäänitestausta käytettiin vaakasuorassa olevien lieriömäisten säiliöiden testauksessa. Tehtävänä oli selvittää vaipan kunto ja etsiä testattavaksi valituille alueille osuvien hitsien mahdolliset säröt. Hitsikuvut oli poistettu. Säiliöt oli upotettu maan sisään. Ulkopinta oli pietty. Säiliön materiaali oli hiiliterästä. Luotauksessa käytettiin magneettipyörillä varustettua nelivetoista luotausautomaattia. Magneettipyörien ansiosta automaatti pystyi kulkemaan niin säiliön katossa kuin lattialla. Luotaus suoritettiin ajamalla automaattia lieriön kehän suunnassa. Kerrallaan luodattavan alueen leveys oli 500 mm. Testauksessa käytettiin kerrallaan useimmiten kahta anturia. Nopeus oli parhaimmillaan 6 m<sup>2</sup>/h. Testauksessa käytettiin 45° kulmaluotausta. Ne kohdat, joista saatiin näyttämiä, tutkittiin tarkemmin normaaliluotauksella. Silloin, kun näyttämän aiheuttajaksi epäiltiin säröä, käytettiin myös kulmaluotausta. Testauksen laajuus oli kaikkiaan noin 300 m<sup>2</sup>. Säiliöistä ei löydetty ulkopuolista korroosiota eikä säröjä.

## 4. Yhteenveto

Tutkimuksessa keskityttiin säiliöiden pohjien perusaineen alapinnan kunnonvalvonnassa käytettävään tekniikkaan. Alun perin tarkoituksena oli keskittyä enemmän tulosten tilastolliseen analysointiin. Projektin kuluessa ei kuitenkaan saatu aineistoa, joka olisi mahdollistanut tilastollisen tarkastelun. Kullakin testausmenetelmällä on omat erityispiirteensä ja vahvuutensa. Ei ole olemassa yhtä menetelmää, jolla voitaisiin ratkaista kaikki pohjien testaukseen liittyvät odotukset. Vuotokenttämenetelmällä voidaan havaita pistemäiset jyrkkäreunaiset ala- ja yläpinnan korroosiokuopat. Mikäli korrosio on hitaasti syvenevää, vaurio voi jäädä havaitsematta. Yläpinnan kunto ratkaisee saavutettavan herkkyuden. Tavanomaisissa pohjissa, joissa maalaus on tehty vasta sitten, kun on havaittu yläpinnan korrosiovauriot, voitaneen parhaimmillaan löytää vauriot, joiden syvyys on yli 50 % materiaalin paksuudesta. Pyörrevirtamenetelmällä voidaan saavuttaa lähes sama herkkyys kuin vuotokenttämenetelmällä. Koska mittaus tapa on absoluuttinen, sillä voidaan havaita myös hitaasti syvenevät laaja-alaiset ohentumat. Pyörrevirtamenetelmä lienee herkempi yläpinnan epätasaisuudelle. Pyörrevirta- ja vuotokenttämenetelmillä saatavat näyttämät ovat verrannollisia vikojen tilavuuteen ja muotoon. Näillä menetelmillä ei pystytä arvioimaan löydettävien vikojen syvyyttä, vaan vikojen määrittäminen on aina tehtävä ultraäänimenetelmällä. Poikkipinnaltaan pieniä vikoja ei myöskään havaita, vaikka ne ulottuisivat materiaalin läpi. Näiden menetelmien etuna on suuri nopeus ja yksinkertaisuus. Ne eivät myöskään ole herkkiä laminaatioille, jotka runsaana esiintyessään vaikeuttavat ultraäänitestauksen suoritusta.

Vain ultraäänimenetelmällä saadaan tarkkoja tuloksia pohjan paksuuden arvioinnissa. Ongelmana on kuitenkin se, että normaaliluotauksessa hyvän poikittaisen erotuskyvyn saamiseksi on käytettävä joko fokusoitua yksikiteistä luotainta tai sopivalle etäisyydelle fokusoitua suuritajuista SE-luotainta. Kapea keila johtaa tiheään vetoväliin ja hitaaseen testaukseen. Tätä voidaan kiertää niin käsivaraisessa kuin automatisoidussa testauksessa käyttämällä kulmaluotausta alapinnan korroosion etsintään. Tällöin normaaliluotausta tarvitaan vain korrodoituneiden alueiden testauksessa. Kulmaluotauksessa voidaan käyttää leveämpää keilaa, joten testauksessa voidaan käyttää suurempaa vetoväliä ja saavutetaan suurempi testausnopeus. Kulmaluotauksella saavutetaan nopeusetua vain, mikäli pääosa alapinnasta on hyväkuntoista.

Mekanisoitua ultraäänimenetelmää voidaan käyttää pohjan testaukseen, mikäli testattavan alueen pinta on hyvä. Tällöin pohja voidaan testata jopa 100-prosenttisesti. Mikäli testattava materiaali on ohutta (esim. 7 mm) ja yläpinta on korrodoitunut, testauksen suoritus tulee vaikeaksi kontaktimenetelmää käytettäessä. Ongelmia aiheuttavat korrodoituneen levyn yläpinnan kuopista saatavat ”geelikaiut”. Tämän takia kulmaluotaus suoritetaan tällaisissa tapauksissa käsivaraisesti, jolloin pahimpia kuoppia voidaan kierrellä. Lisäksi testauksen hidastuminen antaa tarkastajalle aikaa seurata kaikkudynamiikkaa. Testauksen hitauden takia testaus suoritetaan testauslinjoja pitkin.

Testauslinjojen väliksi voidaan valita esimerkiksi 2 m. Tällä saadaan kuva siitä, missä laajuudessa alapinnalla esiintyy korroosion vaurioittamia alueita. Tällaisten alueiden kohdalla suoritetaan tarkempi tutkimus normaaliluotausta käyttäen.

Tässä tutkimuksessa testattiin kahdeksan säiliön pohjaa ja kahden sylinterimäisen säiliön vaippaa. Tehtävänä oli etsiä ja määrittää mahdollisia alapinnan korroosiovaurioita. Testaukseen käytettiin erilaisia ultraäänitekniikoita ja -menetelmiä. Luotaukseen käytettiin sekä käsivaraista että mekanisoitua tekniikkaa. Vaurioiden syvyydet määritettiin normaaliluotauksella. Useimmista säiliöistä ei löydetty mainittavia alapinnan vikoja. Kahdessa säiliössä oli särömäisen vian aiheuttama vuoto. Toinen vika oli syntynyt pohjalla seisovan maston kiinnityshitsin viereen. Toinen vuoto oli kahden levyn päittäishitsissä. Vain yhdestä säiliöstä löydettiin alapinnan vakavaa korroosiota. Tämä korroosiovaurio muodostui laajoista sangen tasaisesti syöpyneistä alueista eikä yksittäisistä pistekorroosion aiheuttamista kuopista, kuten oli alun pitäen oletettu. Samassa pohjassa oli lisäksi kaksi korroosion aiheuttamaa reikää. Reiät olivat sikäli poikkeuksellisia, että niiden kohdalla pohjahiekassa oli pystyyn asetettu puutappi.



## **Lähde**

Johnston, D. 1992. Aboveground storage tank floor inspection using magnetic flux leakage. *Materials performance*, Vol. 31, nro 10, s. 36 - 39.