

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / merenkulkualan insinööri

Tuomo Piipari

YLEISIMMÄT NDT-TEKNIIKAT, JA NIIDEN SOVELTAMINEN LAIVOJEN
KUNNOSSAPIDOSSA

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulku

PIIPARI, TUOMO

Yleisimmät NDT-tekniikat, ja niiden soveltaminen laivojen kunnossapidossa

Opinnäytetyö

142 sivua + 12 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Ari Helle

Toimeksiantaja

Merenkulun ja logistiikan painoala; KYAMK

Maaliskuu 2014

Avainsanat

NDT, rikkomaton aineenkoetus, kunnossapito, merenkulku

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää yleisimmin käytetyt ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät (NDT-menetelmät) sekä niiden soveltaminen laivojen kunnossapidossa. Työssä on perehdytty viiteen yleisimmin käytettyyn NDT-tekniikan toimintaperiaatteeseen sekä niiden käyttökohteisiin laivaolosuhteissa.

Lähdemateriaalina NDT-tekniikoiden toimintaperiaatetta koskevassa osuudessa on käytetty aiheesta julkaistua kirjallisuutta, verkkojulkaisuja, tuote-esitteitä sekä alaa koskevia standardeja. Osuudessa, jossa käsitellään NDT-menetelmien käyttöä laivoilla, tietolähteenä on käytetty kyselylomakkeella saatuja vastauksia. Kyselylomake lähetettiin merenkulku- ja NDT-alalla vaikuttaville tahoille. Lisäksi tietolähteenä on käytetty aloilla toimivien henkilöiden haastatteluja.

Vaikka NDT-menetelmiä on maalaitoksissa, kuten voimalaitoksissa ja tehtaissa, käytetty pitkään, monipuolisesti ja menestyksekkäästi hyödyksi, ei merenkulkualalla ole osattu käyttää NDT-menetelmien täyttä hyötyä hyväksi. Nykyään NDT-tarkastuslaitteiden hinnat ovat tulleet huomattavasti edullisemmiksi ja laitteiden käyttö helpommaksi, joten on odotettavissa, että NDT-menetelmiä hyödynnetään laivoilla tulevaisuudessa nykyistä paremmin.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Marine Technology

PIIPARI, TUOMO

The Most Common NDT Techniques and Their Application in Ship Maintenance

Bachelor's Thesis

142 pages + 12 pages of appendices

Supervisor

Ari Helle, Senior Lecturer

Commissioned by

Merenkulun ja logistiikan painoala; KYAMK

March 2014

Keywords

NDT, non-destructive testing, maintenance, seafaring

The aim of this thesis was to determine the most commonly used non-destructive inspection (NDT) methods and their application to ship's maintenance. This thesis examines the five most commonly used non-destructive methods operating principles, as well as their onboard application.

The source material of the section which explains the NDT techniques operating principle has been gathered from literature, online publications, product brochures, as well as the standards. In the section which explains the NDT methods use on the ships, the source of information was the questionnaire responses. The questionnaire was sent to the active parties of the shipping industry and NDT field. In addition, information was obtained by interviewing people who work in the shipping industry and NDT field.

Although the NDT methods have been used on land-based industrial facilities such as power plants and factories for a long time, the shipping industry has not been able to use NDT methods full potential. Today, the NDT inspection equipment prices have become much more reasonable and it is much easier to use them, so it is expected that the NDT testing methods will be used on ships in the future to better advantage.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEET

8

1 JOHDANTO

12

2 AINEENKOETUS

13

3 NDT- RIKKOMATON AINEENKOETUS

14

3.1 NDT-menetelmien jaottelu

14

3.2 NDT-menetelmien valinta

15

3.3 NDT-tarkastukset Suomessa

18

3.4 Merenkulun sovelluksia

20

3.5 Merenkulkualasta aiheutuvia ongelmakohtia

21

4 SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTUS

22

4.1 Toimintaperiaate ja käytettävät laitteet

22

4.2 Silmämääräinen tarkastus ilman apuvälineitä

23

4.3 Silmämääräinen tarkastus yksinkertaisilla apuvälineillä

23

4.4 Silmämääräinen tarkastus endoskooppisilla menetelmillä

24

4.4.1 Boroskooppi

25

4.4.2 Fiberoskooppi

27

4.4.3 Videoskooppi

29

4.4.4 Stroboskooppi

30

4.5 Hyvät puolet

30

4.6 Huonot puolet

31

4.7 Sovellukset/käyttökohteet laivojen kunnossapidossa

31

5 TUNKEUMANESTETARKASTUS

34

5.1 Tunkeumanestetarkastuksella löydettävissä olevat vikatyypit

35

5.2 Tarkastuksessa tarvittavat tunkeumanestetarkastusaineet

37

5.2.1 Tunkeumaneste

37

5.2.2	Puhdistin	40
5.2.3	Kehite	41
5.3	Toimintaperiaate	43
5.3.1	Tarkastettavan kappaleen esikäsittely, puhdistus ja kuivaus	44
5.3.2	Tunkeumanesteen levitys	45
5.3.3	Ylimääräisen tunkeumanesteen poistaminen	46
5.3.4	Kehitteen levitys	47
5.3.5	Kuivaus	48
5.3.6	Näyttämien tarkastelu	48
5.3.7	Kappaleen puhdistus ja suojaus tarkastuksen jälkeen	50
5.4	Menetelmän valinta	51
5.5	Työturvallisuus	53
5.6	Hyvät puolet	54
5.7	Huonot puolet	55
5.8	Sovellukset/käyttökohteet laivojen kunnossapidossa	55
6	MAGNEETTIJAUHETARKASTUS	58
6.1	Toimintaperiaate	58
6.2	Tarkastusaineet ja kontrastiväri	60
6.2.1	Tarkastusaineet	60
6.2.2	Tarkastusaineen valinta	62
6.2.3	Kontrastiväri	63
6.3	Magnetointi	64
6.3.1	Yleiset vaatimukset	65
6.3.2	Virtamagnetointimenetelmät	67
6.3.3	Napa- eli vuomagnetointimenetelmät	70
6.3.4	Käytetyn virtalajin vaikutus magnetointiin	76
6.3.5	Magnetointimenetelmän valinta	77
6.4	Tarkastuksen suorittaminen	78
6.4.1	Pinnan valmistelu	79
6.4.2	Näyttämien eli indikaatioiden arvostelu	80
6.4.3	Näyttämien dokumentointi	82
6.4.4	Demagnetointi	83

6.4.5 Pinnan jälkikäsitteily	84
6.5 Hyvät puolet	84
6.6 Huonot puolet	84
6.7 Sovellukset/käyttökohteet laivojen kunnossapidossa	85
7 PYÖRREVIRTATARKASTUS	86
7.1 Toimintaperiaate	87
7.1.1 Sähkömagneettinen induktio	87
7.1.2 Materiaalin muutosten havainnointi	88
7.1.3 Pyörrevirtojen tunkeutumissyvyys	91
7.1.4 Mittaamismenetelmät	92
7.2 Pyörrevirtatarkastuslaitteet	95
7.2.1 Pyörrevirtalaite	95
7.2.2 Pyörrevirta-anturi	97
7.2.3 Pyörrevirtalaitteiston tarkastus, säätäminen ja kalibrointi	99
7.3 Pyörrevirtatarkastusten suorittaminen	101
7.3.1 Pyörrevirtatarkastuksen dokumentointi	102
7.3.2 Säröjen ja muiden epäjatkuvuuskohtien etsiminen	104
7.3.3 Sähkönjohtavuuden ja lämpökäsittelyn tason määrittäminen	105
7.3.4 Paksuuden mittaukset	107
7.3.5 Lämmönvaihtimien tuubistojen tarkastukset	108
7.4 Hyvät puolet	109
7.5 Huonot puolet	110
7.6 Sovellukset/käyttökohteet laivojen kunnossapidossa	110
8 ULTRAÄÄNITARKASTUS	110
8.1 Ultraääni	111
8.1.1 Ääniaaltojen eteneminen	112
8.1.2 Ultraäänen äänikeila	113
8.2 Ultraäänitarkastuslaitteet	114
8.2.1 Ultraäänilaite	114
8.2.2 Ultraääniluotaimet	116

8.2.3	Kytkennäaine	123
8.2.4	Tarkastus- ja vertailukappaleet	123
8.3	Ainepaksuuden mittaus	126
8.3.1	Mittaustavat	127
8.3.2	Käytettävän luotaimen valinta	131
8.3.3	Laitteiston kalibrointi	133
8.4	Aineen sisäisten virheiden etsiminen	136
8.4.1	Normaaliluotaus	136
8.4.2	Kulmaluotaus	137
8.5	Hyvät puolet	138
8.6	Huonot puolet	139
8.7	Sovellukset/käyttökohteet laivojen kunnossapidossa	139
9	YHTEENVETO	141

LIITTEET

Liite 1. Kysymykset NDT-tarkastuksia suorittaville yrityksille

Liite 2. Kysymykset varustamoille ja laivoille

Liite 3. Kysymykset luokituslaitoksille

Liite 4. Kysymykset englanniksi

Liite 5. Magneettijauhetautarkastuksen päävaiheet käytettäessä värillistä tarkastusainetta

Liite 6. Magneettijauhetautarkastuksen päävaiheet käytettäessä fluoresoivaa tarkastusainetta

KÄSITTEET

Akustinen emissio	NDT-menetelmä, joka perustuu jonkin ilmiön materiaaliin sitoutuneen energian vapauttamisesta johtuvan korkeataajuisen värähtelyn mittaamiseen.
ASME	American Society of Mechanical Engineers, amerikkalainen standardisoimisliitto, joka laatii ja ylläpitää yli kuuttasataa standardia ja niiden kokoelmaa
Austenointi	Teräksen, rautapohjaisen metallin tai raudan kuumentaminen lämpötilaan, jossa aineen kiderakenne muuttuu austeniittiseksi ferriittisestä kiderakenteesta.
Boroskooppi	Jäykkä tekninen endoskooppi.
CCD-kenno	Valoherkkä kenno, jota käytetään erilaisissa optisissa ratkaisuisissa infrapunasäteilyn tai valon muuntamiseksi digitaaliseksi eli sähköiseksi signaaliksi. Lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Charge-Coupled Device .
DT	Rikkova aineenkoetus, lyhenne englanninkielisistä sanoista destructive testing
Emulgaattori	Aine, joka veteen liukenemattoman tunkeumanesteen kanssa sekoituessaan muodostaa vesiliukoisemulsion. Tai aine, joka edistää emulsion muodostumista.
Emulsio	Seos, joka muodostuu kahdesta luonnostaan toisiinsa sekoittumattomasta nesteestä, esimerkiksi vedestä ja jostain liuottimesta.

Emulsioliuotin	Emulgaattori
Endoskooppi	Optinen tähystin, joka sisältää taipuisan putken, jonka sisällä kulkee instrumenttikanava.
Endoskopia	Tähystys eli toimenpide jossa tutkitaan laitteiden, ihmisten, yms. sisäosia endoskoopilla
Fiberoskooppi	Taipuvia tekninen endoskooppi.
H	SI-järjestelmän yksikkö, jolla kuvataan magneettikentän voimakkuutta, yksikkö A/m (ampeeri/metri).
IACS	International Annealed Copper Standard, sähkönjohtavuuden yksikkö, jota käytetään yleisesti teollisuudessa. Puhtaan kuparin sähkönjohtavuus on 100% IACS.
Liuos	Seos, jossa vähintään kaksi aineita on sekoitunut toisiinsa. Tällainen seos on liuos, kun ainehiukkasia ei voida havaita edes mikroskoopilla eivätkä ne liuoksen seistessä suljetussa astiassa saostu
Luksi	Lx, on SI-järjestelmän mukainen yksikkö valaistusvoimakkuudelle.
Luokituslaitos	Merenkulun alalla toimiva yksityinen laitos, joka määrittää alusten merikelpoisuuden ja turvallisuuden niin rahtaaajia, vakuuttajia kuin viranomaisia varten ja antaa alukselle luokitustodistuksen.
Magneettinen kyllästyminen	Piste, jonka jälkeen magneettikentän voimakkuus ei voi enää kasvaa.

NDT	Rikkomaton aineenkoetus, lyhennys englanninkielisistä sanoista non-destructive testing .
Peittaus	Metallien peittauksella tarkoitetaan rasvanpoiston jälkeen pinnalle jäävien oksidien ja metallisten epäpuhtauksien poistoa happokylvyssä.
Permeabiliteetti	μ , on SI-järjestelmän mukainen suure, joka kuvaa aineen magneettista käyttäytymistä ja kertoo lisäksi, miten aine reagoi ulkoiseen magneettikenttään.
Päästö	Sammutetun teräksen, rautapohjaisen metallin tai raudan lämmittämistä kerran tai useammin tiettyyn lämpötilaan ja niiden pitämistä siinä, kunnes saadaan niille halutut ominaisuudet.
Sammutus	Teräksen, rautapohjaisen metallin tai raudan nopea jäähdytys.
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
Standardi	Jonkin organisaation esittämä normi, joka määrittelee sen, miten jokin asia tulee tehdä.
Stroboskooppi	Laite, jolla voidaan mitata pyörimisnopeutta ja mekaanisen värähtelyn taajuutta.
Suspensio	Heterogeenistä seosta, jossa kiinteää ainetta on sekoittunut nesteeseen niin hienojakoisesti, että seos saostuu hitaasti.
Tesla	T, on SI-järjestelmän mukainen suure magneettivuon tiheydelle.

Ultraääni

Ultraääni on korkeataajuista ääntä, jonka taajuus on ihmisen kuuloalueen, yli 20 kHz, yläpuolella.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä olen pyrkinyt selvittämään yleisimmät merenkulun sovelluksissa käytetyt NDT-menetelmät, joita ovat silmämääräinen tarkastus, tunkeumanestetarkastus, magneettijauhetaarkastus, pyörrevirtataarkastus sekä ultraäänitarkastus. Lisäksi selvitän, miten edellä mainittuja menetelmiä voidaan käyttää merenkulkualalla hyväksi. Muista yleisinä pidetyistä menetelmistä rajasin pois tästä työstä esimerkiksi radiograafisen tarkastuksen, värähtelyn mittaamiseen perustuvan tarkastuksen sekä lämpötilan mittaamiseen perustuvan tarkastuksen sekä kehittyneemmät vaiheistetut ultraääni- sekä pyörrevirtataarkastuksen muodot. Pois rajatuista menetelmissä voisi kenties olla sopiva kokonaisuus toisen opinnäytetyön aiheeksi.

Katsoin työlleni olevan tarvetta, koska vaikka NDT-menetelmistä onkin jo tehty joitain opinnäytetöitä aiemmin, niin juuri merenkulkualan kannalta asiaa ei käsittäkseni ole vielä käsitelty. Lisäksi uskon, että merenkulkualalla ei käytetä NDT-menetelmien täyttä potentiaalia hyväksi. Toivoisin, että tästä opinnäytetyöstä saisi hyvää ajankohtaista tietoa esimerkiksi luentomateriaaliksi ja että tulevat merenkulkijat saisivat tästä opinnäytetyöstä hyviä vinkkejä tuleviin työtehtäviinsä.

Itse NDT-menetelmistä löytyi erittäin hyvää ja kattavaa lähdemateriaalia, joskin sain tehdä kohtuullisen paljon töitä, että sain erityylistä ja tarpeeksi kattavaa materiaalia kasaan, koska pyrin löytämään uutta, tai ainakin harvemmin käytettyä, materiaalia opinnäytetyöni lähteiksi. Esimerkkinä voisin mainita, että etsin aiemmin tehtyjen NDT-menetelmiä käsittelevien opinnäytetöiden lähteiden alkuperäisiä lähteitä.

Työn toiseen pääteemaan, jossa käsittelin merenkulkualan sovelluksia, oli huomattavasti suurempi työ saada koottua kelpollista aineistoa kasaan. Lähetin sähköpostitse liitteiden 1-4 mukaisen pienimuotoisen kyselylomakkeen usealle merenkulkualalla vaikuttavalle taholle niin Suomessa kuin ulkomailla. Kysely lähetettiin useiden varustamoiden teknisille tarkastajille, luokituslaitosten tarkastajille, suoraan laivoille sekä sertifioituja NDT-tarkastuksia tekeville yrityksille. Sain myös mahdollisuuden tehdä lyhyen puhelinhaastattelun entiselle Dekra Oy:n NDT-tarkastajalle Olli Palmrothille.

Lisäksi sain vielä mahdollisuuden tehdä noin tunnin mittaisen haastattelun ESL-Shippingillä teknisenä tarkastajana työskentelevälle Oskari Sängille. Haastattelun ajankohtana hänellä oli hoidossaan sillä hetkellä vanhimmat, ja eniten huoltoa vaati-

vat, ESL-Shippingin käytössä olevat alukset, M/S Tali, M/S Pasila ja lisäksi puskijat M/S Steel ja M/S Rautaruukki sekä puskuproomut Botnia, Board, Kalla sekä Tasku.

Valitettavasti edellä mainituilla tahoilla, pois lukien aiemmin mainitsemani henkilöt, halukkuus vastailta lähettämiini kyselyihin ei ollut toivotun aktiivista. Tähän johtopäätökseen tulin, koska vaikka lähetin noin 3000 kyselylomaketta, vastauksia kyselyyni tuli vain kolmisenkymmentä. Mutta siitäkin huolimatta sain kuitenkin tarpeellisen määrän aineistoa kasaan. Vaikka vastauksia tulikin odotettua vähemmän, oli annettujen vastausten laatu kauttaaltaan hyvää ja laaja-alaista, lisäksi Oskari Sántin haastattelu oli erittäin hyödyllinen ja paljon tietoja antava.

2 AINEENKOETUS

Aineenkoetuksella tarkoitetaan erilaisia menetelmiä, joilla pyritään saamaan erilaisten materiaalien ominaisuuksia selville. Erilaiset aineenkoetusmenetelmät ovat yleensä pitkälti standardisoituja, ja näin eri aikoina tehdyistä mittauskerroista saadaan helposti vertailukelpoisia keskenään. Aineenkoetus voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan, rikkovaan aineenkoetukseen sekä rikkomattomaan aineenkoetukseen. (1, s. 15.)

Rikkovassa aineenkoetuksessa (DT-destructive testing) nimensä mukaisesti rasitetaan testattavaa kappaletta aina materiaalin rikkoutumispisteeseen saakka. Koska aineenkoetuskokeissa testattava kappale rikkoutuu, saadaan testissä käytetty materiaali yleensä joko itse testattavasta kappaleesta tai sen jatkeesta olleesta koesauvasta. (1, s. 32.)

Rikkovassa aineenkoetuksessa saadaan materiaalin erilaisia mekaanisten ominaisuuksien, kuten esimerkiksi lujuuden, sitkeyden ja kovuuden, arvoja luotettavasti selville. Rikkovan aineenkoetuksen ehkä tärkein, ja yleisin, testausmenetelmä on vetokoe. Muita yleisiä testausmenetelmiä ovat muun muassa taivutuskoee, iskusitkeyskoeeet, väsytytkoe, murtokoe, virumiskoe ja erilaiset kulumiskoeet. (1, s. 15–32.)

Rikkomattomassakin aineenkoetuksessa (NDT-Non-destructive testing) nimensä mukaisesti testataan kappaleen materiaalia kuitenkin itse kappaletta rikkomatta. Tämän opinnäytetyön seuraavissa luvuissa käsitellään kohtalaisen tarkasti erilaiset ainetta rikkomattomat testausmenetelmät. Etenkin silmämääräisen, tunkeumaneste- magneet-

tijauhe-, pyörrevirta- ja ultraäänitarkastuksen käsittelen, koska näitä menetelmiä voisi olettaa laivoilla käytettävän.

Yhdistelemällä molempia testausmenetelmiä voidaan saavuttaa kappaleiden ja materiaalin ominaisuuksien hyvin kattava tarkastus.

3 NDT- RIKKOMATON AINEENKOETUS

Kuten jo aiemmin on mainittu, pyritään NDT-tarkastuksella selvittämään kappaleen tai materiaalin ominaisuuksia kuitenkin itse kappaletta tai materiaalia rikkomatta tai että kappaleeseen tai materiaaliin syntyy käyttöä haittaavia muodonmuutoksia tai kappale muuten tulee käyttökelvottomaksi.

NDT-tarkastusten pääasiallisena tavoitteena on antaa luotettavaa tietoa tarkastettavan kappaleen, materiaalin tai rakenteen ominaisuuksista, laadusta, puutteista, poikkeamista ja muista mahdollisista virheistä (2, s. 21).

3.1 NDT-menetelmien jaottelu

Tarkastusmenetelmät voidaan jakaa monella eri tavalla. Yksi käyttökelpoinen tapa on ASME:n mukainen jaottelu kolmeen pääryhmään.

- Ryhmä I muodostuu visuaalisesta tarkastuksesta, joko apuvälineillä tai ilman apuvälineitä, joihin kuuluu esimerkiksi erilaiset endoskoopit.
- Ryhmä II muodostuu pintatarkastusmenetelmistä, joihin kuuluu magneettijauhetarkastus, tunkeumanestetarkastus ja pyörrevirtatarkastus sekä muut sähköiset tarkastusmenetelmät.
- Ryhmä III muodostuu volymetrisistä tarkastusmenetelmistä, joihin kuuluu ultraäänitarkastus ja radiograafinen tarkastus, jolle yleisimmin käytetty nimitys on röntgentarkastus. (3, s. 8.)

Toinen yleisesti käytetty jaottelutapa on standardin SFS-EN ISO 9712 mukainen jaottelu (taulukko 1), joka on tehty NDT-päämenetelmien mukaan.

Taulukko 1. NDT-menetelmien jako SFS-EN ISO 9712:n mukaan (4, s. 18–19).

NDT-menetelmä	Tunnus/lyhenne	NDT-method
Akustinen emissio	AT	Acoustic emission testing
Pyörrevirtatarkastus	ET	Eddy current testing
Infrapunalämpökameratarkastus	TT	Infrared thermographic testing
Vuototarkastus	LT	Leak testing
Magneettijauhetarkastus	MT	Magnetic particle testing
Tunkeumanestetarkastus	PT	Penetrant testing
Radiograafinen kuvaus	RT	Radiographic testing
Venymäliuskatarkastus	ST	Strain gauge testing
Ultraäänitarkastus	UT	Ultrasonic testing
Silmämääräinen tarkastus	VT	Visual testing

Yllä olevasta taulukosta saadaan lisäksi standardin SFS-EN ISO 9712 mukaiset lyhenneet NDT-menetelmille (4, s. 18–19).

3.2 NDT-menetelmien valinta

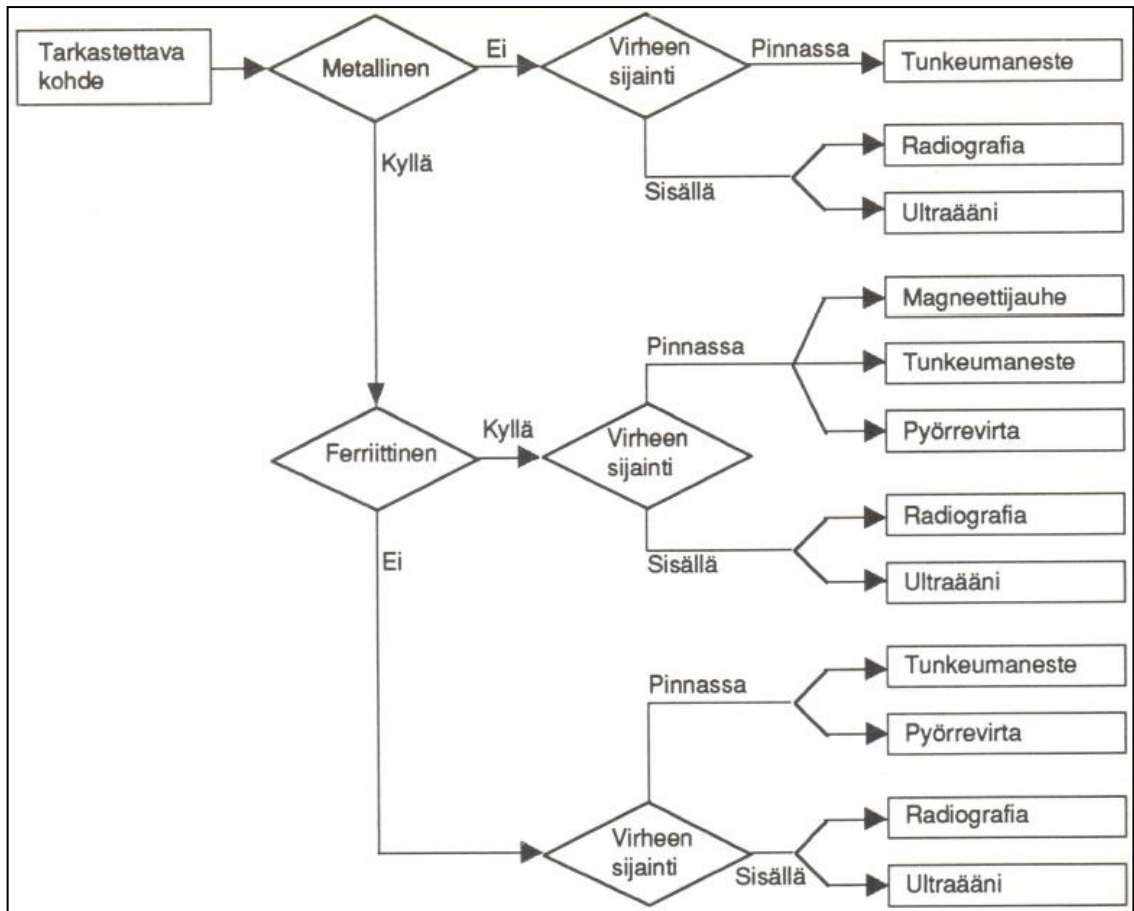
Kun valitaan käytettävää NDT-testausmenetelmää, on tunnettava eri NDT-menetelmien heikkoudet ja vahvuudet. Lisäksi on tiedettävä, millaiselle rasiukselle tutkittava kohde on joutunut ja millainen vaurioitumismekanismi siihen on kohdistunut, eli toisin sanoen millaista vikaa ollaan etsimässä. (5, s. 253.)

Pintatarkastusmenetelmien heikkoutena voidaan pitää, sitä että siinä tarkastuslaajuus ulottuu ainoastaan tarkastettavan kappaleen pintaan asti ulottuviin tai pinnan välittömässä läheisyydessä sijaitseviin vikoihin. Tästä luonnollisestikin seuraa, että kappaleen sisällä mahdollisesti olevista vioista nämä menetelmät eivät anna tietoa. (5, s. 253.)

Jos epäillään, että tutkittavassa kappaleessa on mahdollisesti sisäisiä vikoja, tulee käyttää volymetrisiä tarkastusmenetelmiä eli aineen sisäisten vikojen etsimiseen käytettyjä menetelmiä.

Parhaan testaustuloksen saavuttamiseksi kannattaa käyttää useampaa testausmenetelmää, jotka antavat tietoa sekä pintaan asti ulottuvista että kappaleen sisäisistä vioista. Yhdistelemällä eri tarkastusmenetelmiä voidaan saavuttaa parempia tarkastustuloksia. (5, s. 253.)

Tutkittavan kappaleen materiaali vaikuttaa myös omalta osaltaan valittavaan tarkastusmenetelmään. Kun tiedetään, onko tarkastettava kappale metallia vai ei, ja jos tiedetään vielä kappaleen ollessa metallia, onko se ferromagneettista vai ei, voidaan käyttää kuvan 1 mukaista taulukkopuuta valittaessa sopivaa tarkastusmenetelmää.



Kuva 1. NDT-menetelmän valinta (2, s. 28).

Valittavan tarkastusmenetelmän tulisi olla myös kustannuksiltaan järkevä, eli ei kannata tehdä tarkoituksenmukaista monimutkaisempaa tutkimusta, jos samaan tulokseen päästään toisella, yksinkertaisemmalla, tutkimusmenetelmällä. Usein ei ole kannattavaa käyttää tarkastuksiin uusinta monimutkaista tarkastusmenetelmää, koska niiden käyttö on usein huomattavan kallista, varsinkin jos tarpeeksi tarkkaan tulokseen päästään käyttämällä perinteistä yksinkertaisempaa tarkastusmenetelmää. (6, s. 29.)

NDT-tarkastuksia tehtäessä ei kuitenkaan voida pelkästään miettiä kustannuksia. Tärkein kriteeri valittaessa tarkastusmenetelmää ei saa olla tavoite löytää edullisinta ja helpointa tarkastusmenetelmää. Usein tarkastuksille on määritelty erilaisissa ohjeistuksissa ja standardeissa oikea tarkastusmenetelmä sekä oikeanlaiset hyväksymisrajat. Näissä tapauksissa on seurattava ohjeistuksia tai standardeja. (6, s. 29.)

Taulukossa 2 on esitetty eri tarkastusmenetelmien kustannusvertailua. Taulukon avulla voidaan karkeasti arvioida eri tarkastusmenetelmien kustannuksia.

Taulukko 2. Tarkastusmenetelmien kustannusarvio (6, s. 29).

Mene- telmä	Perustamiskus- tannukset	Lisälait- teet	Esival- mistelu	Tar- kastus	Ammatti- taito	Kokonaiskus- tannukset
ET	M	M	L	M	M	M
MT	M	L	L	L - M	L	L
PT	L	-	M	L	L	L
RT	H	L	L	H	H	H
UT	M	M	L	M	H	M

L = Alhainen (Low), M = Keskisuuri (Medium), H = korkea (High)

Valittaessa kustannuksiltaan sopivinta tarkastusmenetelmää tulee valita tarkoituksenmukainen testausmenetelmä. Tarkastusmenetelmän valinta perustuu tarkastettavassa kappaleessa mahdollisesti olevien vikojen haitallisuuteen ja niiden kokoon. Esimerkiksi joissain kappaleissa voi sen käytöstä hylkäämiseen riittää yksikin pintaan asti ulottuva vika, kun taas jossakin tapauksessa pitää selvittää pintaan asti ulottuvien vikojen suuruus, sijainti ja esiintymistiheys ennen kuin voidaan päättää, hylätäänkö kappale vai voidaanko se korjata. Sopivimman tarkastusmenetelmän valintaa auttaa suuresti myös, jos tarkastukselle on asetettu järkevät hyväksymisrajat. (6, s. 28–29.)

3.3 NDT-tarkastukset Suomessa

Suomessa tehdään seuraavia virallisia NDT-tarkastuksia:

- akustinen emissio
- pyörrevirtatarkastus
- vuototarkastus

- magneettijauh tarkastus
- tunkeumanestetarkastus
- radiograafinen kuvaus
- ultraäänitarkastus.

Tarkastuksia suorittavien henkilöiden tulee olla sertifioituja ja päteviä standardin SFS-EN ISO 9712 mukaisesti. Suomessa SFS-EN ISO 9712:n vaatimukset täyttäviä tutkintoja vastaanottaa Inspecta Sertifiointi Oy. Lisäksi se antaa tutkinnoista standardin vaatimukset täyttävän sertifikaatin. Poikkeuksen sertifiointista tekee henkilö, joka suorittaa silmämääräisiä tarkastuksia ilman apuvälineitä tai suorittaa toisen NDT-menetelmään kuuluvaa silmämääräistä tarkastusta. (4, s. 10.)

Tarkastajien pätevyys on jaettu kolmeen tasoon niiden vaativuuden mukaan. Standardissa SFS-EN ISO 9712 on esitetty, mihin toimenpiteisiin kukin taso oikeuttaa sekä velvoittaa. (4, s. 22–24.)

Kun suoritetaan NDT-tarkastuksia, perustuu tarkastajan työ hänelle annettuun tarkastusohjeeseen tai tarkastussuunnitelmaan. Laadittaessa kyseistä ohjetta tai suunnitelmaa tulee ottaa huomioon ainakin seuraavat seikat:

- kohteen pinnanlaatu
- luoksepäästävyys, muodot, materiaali
- kohteesta oletettavasti esiintyvät virheet
- esiintyvien virheiden hyväksymisrajat
- valmistuksen vaiheisiin nähden oikea-aikainen tarkastuksen ajoittaminen. (2, s. 25–26.)

Ohjeen tai suunnitelman pitää olla kirjallisessa muodossa jokaisesta tehtävästä NDT-suoritteesta. Lisäksi ohjeessa tai suunnitelmassa tulee olla tarvittavat standardit ja muut ohjeet liitteenä, jos tiedot eivät ole jo tarkastajan tiedossa. (2, s. 25–26.)

Tarkastusohje tai tarkastussuunnitelma voidaan jaotella esimerkiksi seuraaviin osiin:

- käytettävä tarkastusmenetelmä
- käytettävät tarkastusvälineet
- valittu tarkastuslaajuus
- tarkastusvaatimukset
- hyväksymisrajat
- tarkastuksen raportointi (2, s. 25–26).

Tämän jälkeen tarkastuksesta ja tarkastustuloksista laaditaan erillinen tarkastuspöytäkirja. Tässä pöytäkirjasta tulee ilmetä tarpeelliset tiedot, jotta tarpeen niin vaatiessa voidaan tarkastus toistaa samalla tavalla. (2, s. 25–26.)

Vaikkakin NDT-tarkastukset on säädelty hyvin tarkasti, suoritetaan laivoilla hyvin monenlaisia NDT-tarkastuksia laivaväen omin voimin. Näitä tarkastuksia ei täten voida pitää virallisina tarkastuksina. Siitä huolimatta ne kuitenkin antavat erittäin hyödyllistä ja tarpeeksi tarkkaa tietoa laivalla paikan päällä tehtäviin kunnossapitotoimiin sekä toimivat erinomaisena tukena päätettäessä tulevista huoltotoimenpiteistä.

3.4 Merenkulun sovelluksia

Liitteiden 1–4 mukaisten kyselyiden perusteella voidaan päätellä, että merenkulun piirissä NDT-tarkastuksia käytetään ehdottomasti laajimmin hyödyksi alusten rakennusaikana. Tuolloin esimerkiksi aluksista tarkastetaan vähintään kaikkein kriittisimmät hitsisaumat. Yleensä kuitenkin NDT-tarkastuksia käytetään huomattavasti laajempiin hitsisaumojen tarkastukseen.

Toinen hyvin yleinen käyttökohde NDT-tarkastuksille on erilaisten telakointien yhteydessä tehtävät luokitukset, jolloin yleensä luokituslaitosten tarkastajat käyttävät hyväkseen NDT-tarkastuksia tekeviä asiantuntijoita.

Lisäksi, kuten aiemmin mainittiin, tehdään aluksilla normaalien huoltotöiden yhteydessä huomattava määrä erilaisia NDT-tarkastuksia. Näitä tarkastuksia käsitellään tässä opinnäytetyössä myöhemmin kunkin NDT-menetelmän yhteydessä.

Tässä vaiheessa lienee syytä mainita, että eri NDT-menetelmien yhteydessä esiin otamistani tarkastuskohteista on saattanut jäädä joitain oleellisia kohteita pois tai mainitsemieni tarkastuskohteiden painotus on todellisuuteen nähden liian kansi- tai telakointipainotteinen. Tämä johtuu siitä, että aikaisempi seilauskokemukseni muodostuu pääasiassa kansiosastolla perämiehenä seilaamisesta, sekä lähettämäni kyselyn vastuksista valtaosa tuli erilaisten telakointien yhteydessä NDT-tarkastuksia tekeviltä yrityksiltä tai luokituslaitosten tarkastajilta.

3.5 Merenkulkualasta aiheutuvia ongelmakohtia

Lähettämissäni kysymyksissä kysyin NDT-tarkastusten piirissä toimivilta asiantuntijoilta merenkulkualan ympäristöstä johtuvia NDT-tarkastusten suorittamista koskevia haasteita.

Suurimmaksi ongelmaksi koettiin, varsinkin pohjoisemmilla leveysasteilla, sään kylmyys ja sateisuus. Etenkin kylmyys, koska tarkastuksia joudutaan tekemään usein myös talviaikaan. Lämpötilan laskeminen lähelle nollaa astetta, tai jopa sen alle, aiheuttaa joidenkin NDT-tarkastuksissa käytettävien kemikaalien käyttöön huomattavia hankaluuksia. Lisäksi, jos lämpötila on alle nollan, jäätyy kaikki kosteus ja vesi tarkastettaville pinnoille, mikä usein tekee tarkastukset mahdottomiksi. Esimerkiksi pintaan asti ulottuvia vaurioita ei pystytä havaitsemaan ennen jään poistoa tarkastettavasta kohteesta.

Vastauksista ilmeni myös, että muta ja muu liete käytössä olleissa tankeissa, esimerkiksi painolastitankeissa ja bunkkeritankeissa, koettiin usein ongelmalliseksi. Myös sopivan sertifioidun tarkastuksia suorittavan henkilöstön löytäminen tarpeeksi nopealla aikataululla aiheutti ongelmia.

Muita ongelmakohtia ei mainittu kyselyn vastauksissa, mutta omasta mielestäni ongelmia aiheuttavia asioita ovat vielä ainakin muutamia mainitakseni seuraavat: aluksilla usein hyvin ahtaat paikat, tarkastuskohteille pääsy ja siellä työskentely hyvin hankalaa, ellei jopa mahdotonta, alusten erittäin kireiksi laaditut aikataulut, määrättyjen komponenttien tarkastamiseen käytettävissä oleva rajallinen, usein jopa riittämätön, aika.

4 SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTUS

Silmämääräinen eli visuaalinen tarkastus on ehdottomasti eniten käytetty NDT-tarkastusmenetelmä. Silmämääräinen tarkastus tulee tehdä aina, ennen kuin käytetään muita NDT-menetelmiä, tai silmämääräistä tarkastusta voidaan käyttää myös muiden tarkastustekniikoiden yhteydessä. (5, s. 256; 7, s. 10)

Vaikka silmämääräisen tarkastuksen mahdollisuuksia usein aliarvioidaan, on se huolellisuutta noudattaen suoritettuna erittäin käyttökelpoinen, ja usein riittävä, menetelmä useissa tapauksissa (2, s. 27).

Silmämääräisten tarkastusten näennäisestä helppoudesta huolimatta tarvitaan luotettavien tarkastuksien tekemiseen koulutusta ja kokemusta, selkeät hylkäämis-/hyväksymisrajat sekä hyvät ohjeet. Lisäksi voidaan tarvittaessa laatia vertailukuvastot tai valmistaa vertailukappaleet. (2, s. 30.)

Jos tarkastus on epämääräinen, tulee sitä täydentää muilla NDT-tarkastusmenetelmillä, kuten esimerkiksi tunkeumaneste- tai magneettijauhetarkastuksella (8, s. 8).

4.1 Toimintaperiaate ja käytettävät laitteet

Silmämääräisiä tarkastuksia voidaan suorittaa joko ilman apuvälineitä tai käyttämällä erilaisia apuvälineitä. (5, s. 256–257.)

Yksinkertaisimmillaan silmämääräisissä tarkastuksissa käytettäviä apuvälineitä voivat olla erilaiset suurennuslasit, valaisimet, peilit sekä hitsien tarkastamisessa käytettävät mittauslaitteet. (5, s. 256–257.)

Kehittyneimpiä optisia apuvälineitä edustavat erilaiset tekniset tähytyslaitteet eli endoskoopit, joihin kuuluvat esimerkiksi boroskooppi, fiberoskooppi ja videoskooppi. Lisäksi voidaan käyttää erilaisia videokameroita sekä stroboskooppeja. (5, s. 256–257.)

4.2 Silmämääräinen tarkastus ilman apuvälineitä

Sopivissa katseluolosuhteissa, jotka esimerkiksi standardissa SFS-EN ISO 17637 on määritelty:

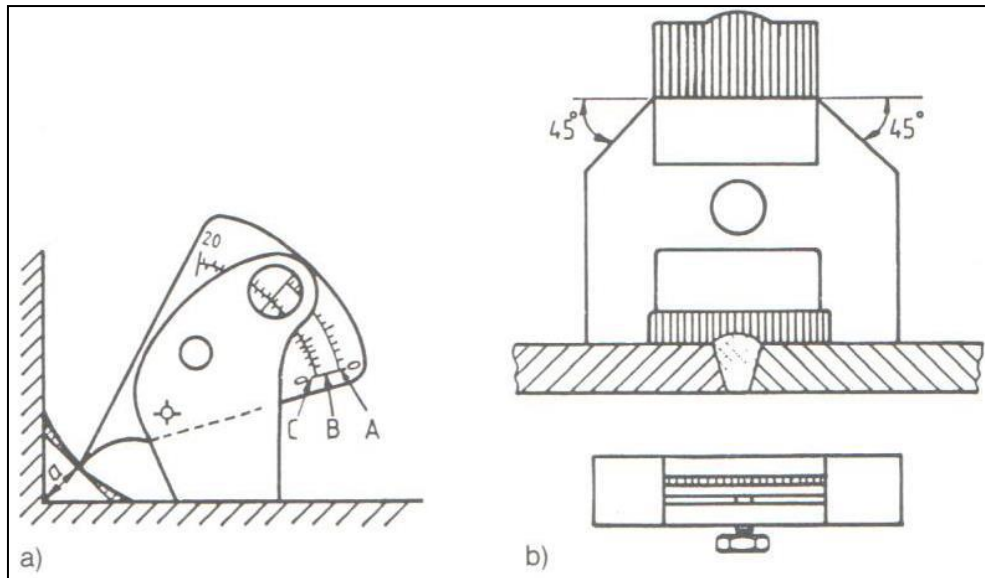
- Valaistuksen tulee olla vähintään 350 luksia, mutta suositeltu valonvoimakkuus tulisi olla 500 luksia.
- Tarkasteluetaäisyyden tulee olla korkeintaan 600 millimetriä tarkastettavasta pinnasta.
- Katselukulma ei saa olla pienempi kuin 30°. (8, s. 8.)

Edellä mainituissa olosuhteissa ihmissilmä kykenee havaitsemaan noin 0,05 millimetriä (50 mikrometriä) paksun taustaltaan värillisesti erottuvan viivan. Pyöreitä väriltään taustalta eroavia pisteitä pystyy ihmissilmä havaitsemaan, jos niiden halkaisija on yli 0,10 millimetriä (100 mikrometriä). (5, s. 256)

4.3 Silmämääräinen tarkastus yksinkertaisilla apuvälineillä

Kuten edellä on mainittu, yksinkertaisia apuvälineitä ovat ainakin erilaiset suurennuslasit, valaisimet, peilit sekä hitsien tarkastamisessa käytettävät mittauslaitteet.

Kuvassa 2 on esitetty muutamia hitsien tarkastamisessa käytettyjä mittalaitteita. Muita käytettäviä laitteita ovat muun muassa suorakulma, työntömitta, rakomitta, sädetulkki. (8, s. 16.)



Kuva 2. Hitsien tarkastuksen mittavälineitä a) pienahitsin a-mitan mittauslaita, b) päittäishitsin profiilikampa (3, s. 17).

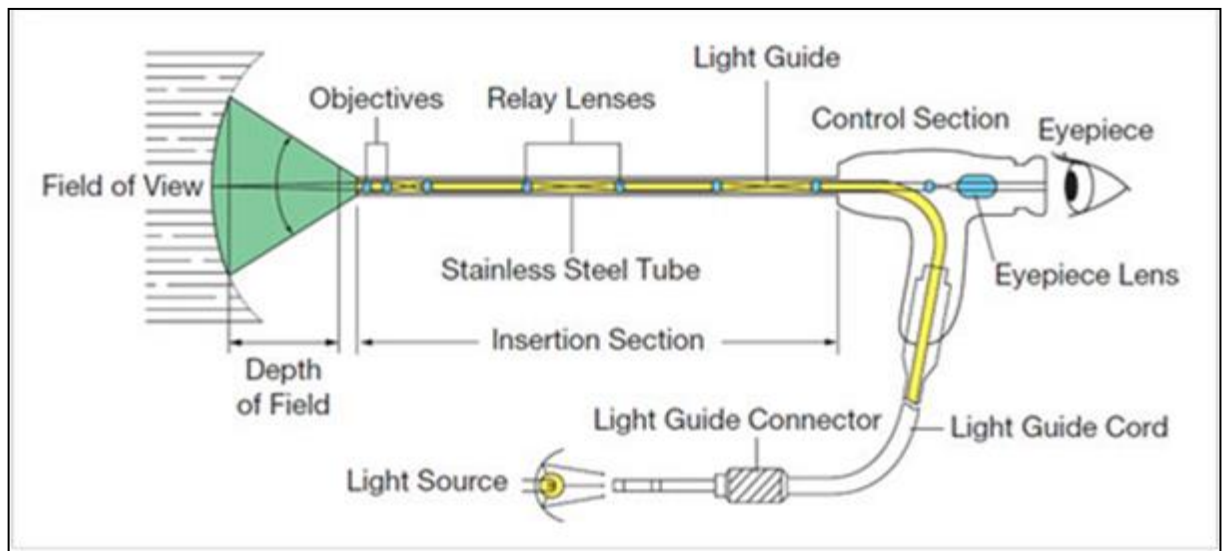
4.4 Silmämääräinen tarkastus endoskooppisilla menetelmillä

Silmämääräisten tarkastusten apuvälineistä kehittyneimpiä ovat erilaiset endoskopian laitteet. Näiden avulla voidaan tehdä silmämääräisiä tarkastuksia vaikeapääsysisissäkin paikoissa, kuten esimerkiksi laitteiden ja koneiden sisäpuolisista osista, putkista ja kotelosta, valo- ja kuvajohteita hyväksi käyttäen. (9, s. 447.)

Endoskopiassa käyttävät endoskoopit voidaan jakaa kolmeen ryhmään: jäykkiin kiinteäputkisiin boroskooppeihin, taipuisiin fiberoskooppeihin sekä videoskooppeihin, joilla voidaan joko katsoa tai katsoa ja tallentaa videokuvaa tarkastettavasta kohteesta (5, s. 256–257).

4.4.1 Boroskooppi

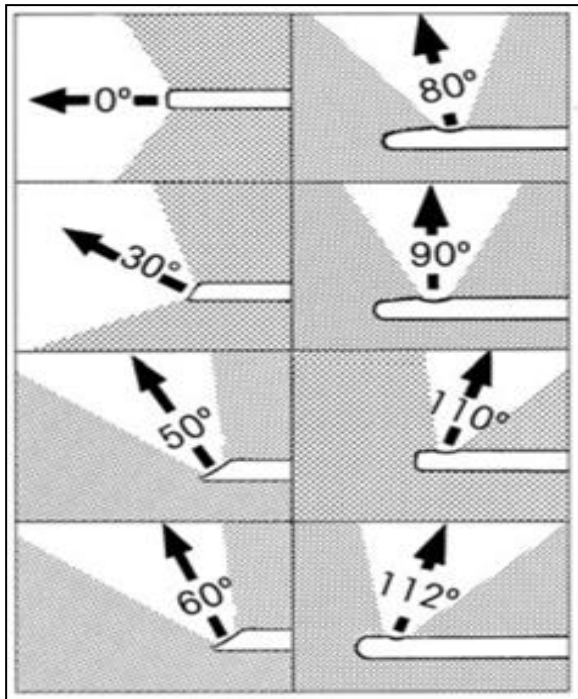
Boroskooppi koostuu kolmesta rakenneosasta: okulaariosasta, linssijärjestelmästä ja objektiivista (kuva 3). Boroskooppia käytettäessä johdetaan tarkastukseen tarvittava valo kuituvalolla tarkastettavaan kohteeseen. Boroskooppi ylittää endoskoopeista parhaaseen optiseen tarkkuuteen. Boroskooppien varsien halkaisijat ovat tyypillisesti 2-20 millimetriä, ja niiden varsien pituus on yleensä 50 – 100 kertaa niiden halkaisija. (5, s. 256; 11, s. 6)



Kuva 3. Boroskooppi (10).

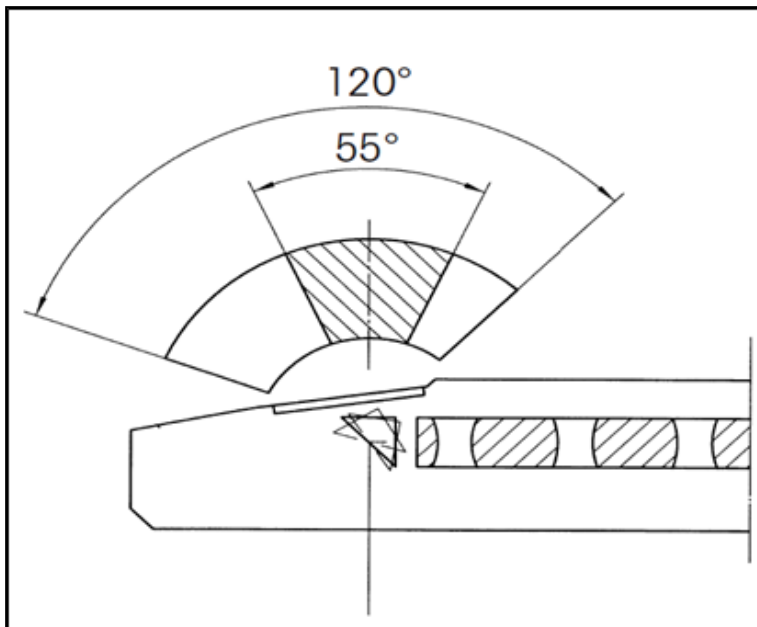
Boroskooppien rakennusaineena käytetään usein ruostumatonta terästä. Näin saavutetaan työskentelyalueelle vesitiivis rakenne. Työskentelylämpötila voi olla jopa -50 ... +135 astetta ja paineen kesto maksimissaan 4 baaria. (11, s. 2.)

Nykyaikaisilla boroskoopeilla kiinteä katselusuunta voi olla 0° - 112° (kuva 4), ja kuvakulmat 35° - 100° . Tai vaihtoehtoisesti boroskooppi voidaan varustaa säädettävällä kääntöprismalla, joka sijaitsee laitteen objektiivin puoleisessa päässä. (12, s. 3-6.)



Kuva 4. Katselusuunnat (12, s. 3).

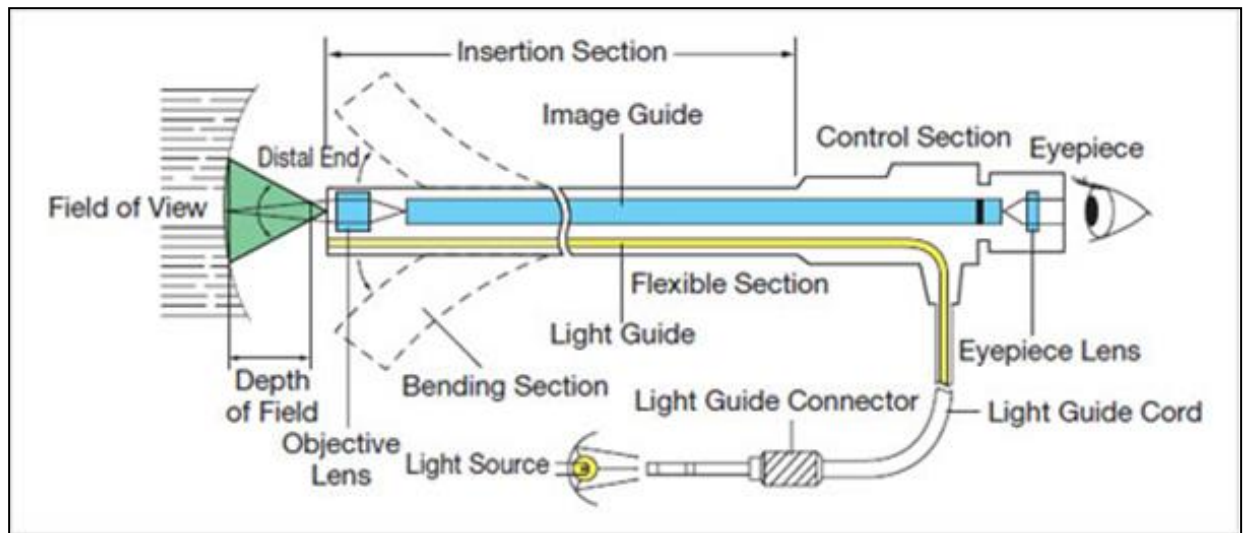
Jos boroskooppi on varustettu kääntöprismalla (kuva 5), mahdollistaa se portaattoman kuvakulman säädön tarkastuksen aikana. Esimerkiksi kuvakulman ollessa 55° voidaan kääntöprismaa käyttämällä saada tarkastettua 120° alue, kuvan 5 mukaisesti. (12, s. 3-6.)



Kuva 5. Kääntöprisma (12, s. 6).

4.4.2 Fiberoskooppi

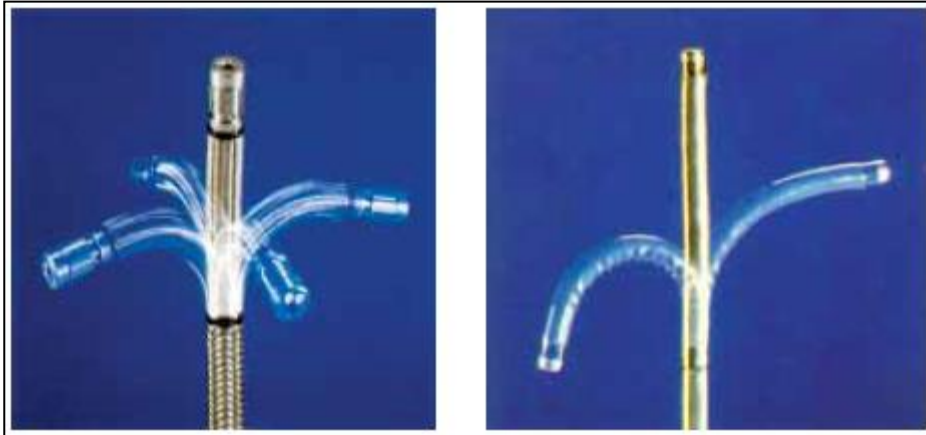
Fiberoskooppeja käytetään boroskooppien sijaan silloin, kun tarkastusta vaativa kohde on boroskoopin jäykän varren johdosta saavuttamattomissa. Boroskooppien tapaan myös fiberoskoopit rakentuvat kolmesta päärakennosasta eli okulaariosasta, optisista valokuiduista, jotka korvaavat boroskoopin linssijärjestelmän, sekä objektiiviosasta (kuva 6). Kun boroskoopissa kuva tarkastelukohteesta tuodaan okulaariosaan linssijärjestelmän kautta, tuodaan kuva tarkastettavasta kohteesta fiberoskoobissa okulaariin valokuitujen avulla. Tutkittavaan kohteeseen viedään valokuituja hyväksi käyttäen myös tarkastuksessa tarvittava valo. Fiberoskooppien varsien halkaisijat ovat tyypillisesti 2–11,5 millimetriä, ja niiden varsien pituus on 0,4–3 metriä. (10, s. 11–12.)



Kuva 6. Fiberoskooppi (13).

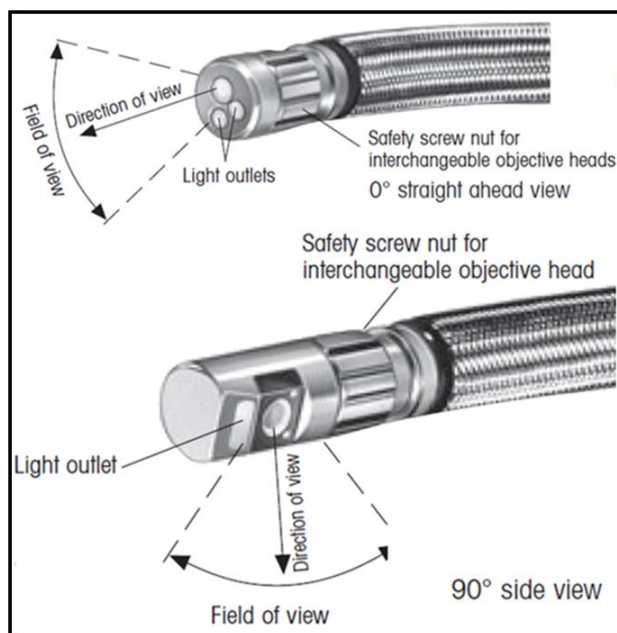
Fiberoskooppien vaipan materiaaleina käytetään yleisesti joko polyuretaania tai ruostumattomasta teräksestä valmistettua verkkoa. Polyuretaanin etuina voidaan pitää sen hyviä liukuominaisuuksia sekä helpohkoa puhdistettavuutta, hyvin ohuissa fiberoskoopeissa polyuretaania käytetään sen hyvien elastisuus ominaisuuksien vuoksi. Ruostumattomasta teräksestä valmistettua verkkoa puolestaan käytetään tarkastuskohdeissa, joissa vaaditaan fiberoskoopin vaipalta suurta kuluvuuden kestävyyttä, kuten esimerkiksi erilaisia valettuja kappaleita tarkastettaessa. Fiberoskoopit ovat boroskooppien tapaan työskentelyalueestaan vesitiiviitä. (14, s. 4.)

Fiberoskoopit on varustettu joko kahteen tai neljään suuntaan kääntyvällä päällä (kuva 7) riippuen siitä, minkälaisilla ominaisuuksilla varustettu fiberoskooppi on kyseessä (14, s. 4).



Kuva 7. Fiberoskoopin kääntyvä pää, neljään ja kahteen suuntaan (14, s. 4).

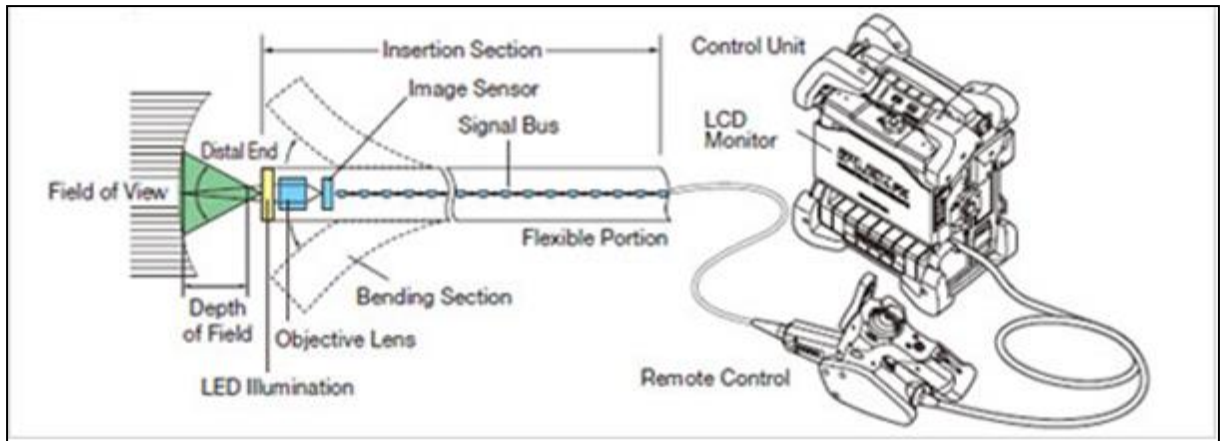
Fiberoskoopit voivat olla varustettuja joko vaihdettavilla tai kiinteillä objektiivipäillä. Kiinteällä objektipäällä varustettujen fiberoskooppien katselusuunta on suoraan eteenpäin, eli toisin sanoen kuvasuunta on 0° , kuvakulmat voivat olla $60^\circ - 90^\circ$. Vaihdettavalla objektiivipäällä varustettujen fiberoskooppien katselusuuntaa voidaan vaihtaa joko suoraan eteenpäin tai suoraan sivulle, eli toisin sanoen kuvasuunta voi olla 0° tai 90° , kuvakulmat voivat tällöin olla $30^\circ - 120^\circ$ (kuva 8). (14, s. 4.)



Kuva 8. Fiberoskoopin kuvasuunnat ja kuvakulmat (15, s. 3).

4.4.3 Videoskooppi

Videoskooppi (kuva 9) on tekniseltä toteutukseltaan hyvin paljon fiberoskoopin kaltainen, käytännössä ainoa erottava tekijä on tapa, jolla tarkastettavasta kohteesta saatava kuva välitetään katsottavaksi. Videoskoopissa kuva välitetään sähköisesti sen tähytyspäähän sijoitetusta kamerasta monitoriin, kun fiberoskoopissa kuva välitetään valokuitujen avulla okulaariin. (15, s. 5.)



Kuva 9. Videoskooppi (16).

Koska tarkastettavasta kohteesta saatava kuvamateriaali muutetaan CCD-kennossa digitaaliseen muotoon, voidaan se tallentaa esimerkiksi tietokoneen kovalevyille tai nykyään erilaisiin pilvipalveluihin, joista sitä voidaan myöhemmin katsella uudestaan. Myös kuvan digitaalinen muokkaaminen on mahdollista, jolloin saadusta kuvasta saadaan huomattavasti enemmän tarpeellista tietoa. (5, s. 257.)

Markkinoilla on myös malleja, joihin on mahdollista saada sisäänrakennettuja mittaus- toimintoja tai asentaa esimerkiksi pyörrevirta-antureita, jolloin niillä voidaan suorittaa pyörrevirtatarkastuksia. Saatavilla on myös pieniä työkaluja, joilla voidaan esimerkiksi tehdä pienimuotoisia hiontatöitä tarkastettavasta kohteesta tai poimia pudonneita/unohdettuja työkaluja, muttereita, pultteja, yms. (5, s. 257.)

Videoskooppien varsien halkaisijat ovat tyypillisesti n.3,5–8,3 millimetriä ja niiden varsien pituus voi olla 0,3–30 metriä. Videoskoopeissa kuvasuunta on suoraan eteenpäin ja kuvakulmat vaihteleva paljon, esimerkiksi horisontaalisesti kuvakulma eräässä mallissa on 80° ja vertikaalisesti 60°. (14, s. 5.)

4.4.4 Stroboskooppi

Stroboskooppi (kuva 10) on mittalaite, joka lähettää kirkasta tasaisesti välkkyvää valoa. Stroboskooppia käytetään, kun halutaan saada pyörivän kappaleen pyörimisnopeus tai mekaanisesti värähtelevän kappaleen värähtelytaajuus selville. Kun stroboskooppista saadaan säädetyksi valon välähtelytaajuus samaksi kuin pyörivän kappaleen pyörimisnopeus tai värähtelemään kappaleen värähtelyn taajuudella, näyttää kappaleen liike pysähtyneeltä. Valon värähtelytaajuutta laskettaessa, tai nostettaessa hieman, näyttää tarkasteltava kohde joko pyörivän tai värähtelevän hitaasti; näin saadaan esimerkiksi pyörivää akselia tarkasteltua näennäisesti hitaasti pyörivässä liikkeessä. Stroboskooppien kenties tärkeimpiä tarkastuskohteita ovat erilaiset pyörivien kappaleiden tarkastukset, esimerkiksi erilaiset akseleiden joustavat kytkimet ja akseleiden pintavauriot, puhaltimien siivet sekä akseleiden pyörimisnopeudet yms. (9, s. 448.)



Kuva 10. Pyörimisnopeuden mittausta stroboskoopilla (17, s. 15).

Suoritettaessa stroboskooppisia tarkastuksia täytyy erityisesti kiinnittää huomiota työturvallisuuteen, koska stroboskooppi antaa vaarallisesti näennäisen vaikutelman siitä, että esimerkiksi pyörivässä liikkeessä oleva kappale olisi pysähtynyt ja sitä näin ollen olisi turvallista mennä käsin koskemaan (9, s. 448).

4.5 Hyvät puolet

Yksinkertaisimmillaan silmämääräinen tarkastus on todella halpa tarkastusmenetelmä. Tarkastuksia suoritettaessa ei tarvitse käytännössä minkäänlaisia laitteita tai selvittää hyvin yksinkertaisilla laitteilla, kuten esimerkiksi suurennuslasilla, peilillä, taskulam-

pulla yms. Käytettäessä esimerkiksi endoskooppisia laitteita voi hinta nousta korkeaksi, mutta pääasiallisesti voidaan menetelmää pitää suhteellisen edullisena.

Silmämääräinen tarkastus on myös todella helppo ja yksinkertainen tarkastusmenetelmä, käytännössä jokainen asiaan vähänkään perehtynyt henkilö kykenee suorittamaan yksinkertaisimpia silmämääräisiä tarkastuksia. Tosin tulee pitää mielessä, että suoritettaessa silmämääräisiä tarkastuksia vaikeimmissa tapauksissa tulee tarkastajalla olla tarkastukseen tarvittavaa ammattitaitoa, mikä tarkastusten vaikeutuessa korostuu. Jos on erikoisempia tarkastuksia, ei maallikko välttämättä osaa katsoa/tutkia oikeista paikoista oikeilla menetelmillä tai laitteilla.

4.6 Huonot puolet

Silmämääräisillä tarkastuksilla ei voida havaita kuin pintaan asti ulottuvat vauriot tarkastettavasta kappaleesta. Erityiskohteissa saattaa menetelmän näennäinen helppous houkutella tarkastuksiin henkilöitä, joilla ei välttämättä ole tarpeellista tietotaitoa tarkastuksen tekemiseen.

Tarkastettaessa erilaisia tankkeja, esimerkiksi painolastitankkeja, voi tankeissa oleva liete, ruoste yms., haitata huomattavasti tarkastusten suorittamista.

Endoskoppisiin tarkastuksiin tarvittavien välineiden hinnat saattavat olla huomattavan korkeita.

4.7 Sovellukset/käyttökohteet laivojen kunnossapidossa

Silmämääräisiä tarkastuksia suoritetaan käytännössä jatkuvasti normaaleiden huoltojen yhteyksissä, niin erilaisia apuvälineitä käyttäen kuin ilmankin.

Osin omista kokemuksistani ja osin lähettämäni kyselyn vastauksista ilmeni, että ainakin seuraavissa kohteissa laivoilla on käytetty silmämääräisiä tarkastuksia:

Kansiosastolla kahmareissa kaikki rasitukselle alttiit paikat, esimerkiksi kahmarin nurkat, hitsaussaumot, murtumat ja rakenne yleensä, ploki, plokkin akseli, vaijerit, vaijerin läpiviennit (kuva 11).



Kuva 11. Pahoin kulunut vaijerin läpivientikappale (Omista arkistoista).

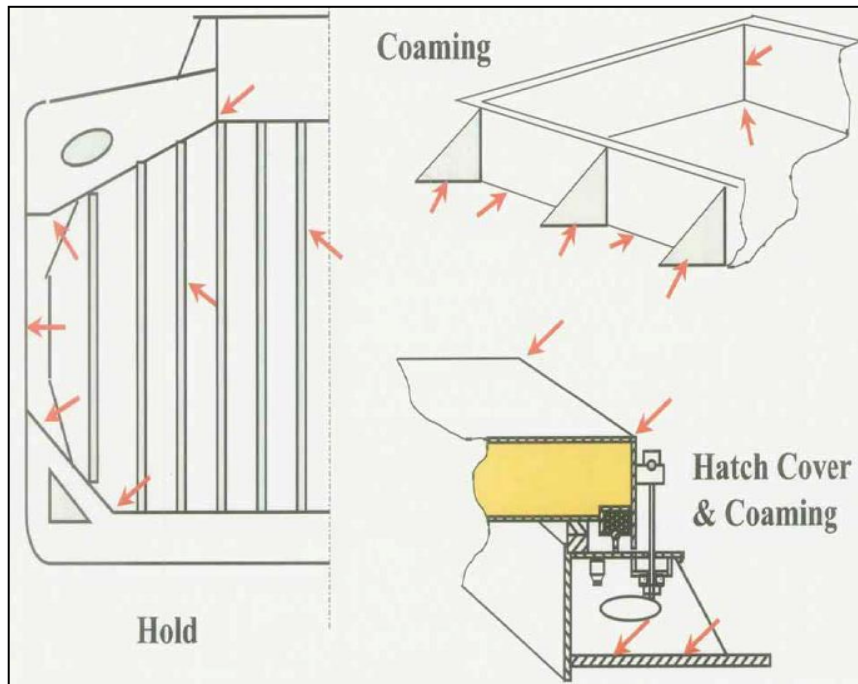
Nostureissa nostureiden jalat ja armit, rakenteessa olevat kulmat / nurkat, hitsisaumat, muut rasitukselle joutuvat paikat, joihin kokemukseräisesti tiedetään murtumien syntyvän, vaijerit, plokki akselieineen.

Painolastitankeissa yleinen kunto (kuva 12), murtumat, painaumat, maalipinnan paksuus ja kunto, sinkkien kunto, murtumat jäykkäajissa.



Kuva 12. Kuvia painolastitankkien tarkastuksista. Vasemmalla hyvässä kunnossa oleva tankki, keskellä kohtalaisessa kunnossa oleva tankki ja oikealla huonossa kunnossa oleva tankki. (18.)

Lastitiloissa (kuva 13) luukut, rampit yms., yleinen kunto, murtumat, painaumat. Ruuman luukkujen akseleiden, pyörästöjen yms. kunto, tiivisteet, ramppien vaijerit, plokkit akseleineen hydraulisylintrit.



Kuva 13. Ruumatiloissa erityisesti tarkastettavia kohteita (18).

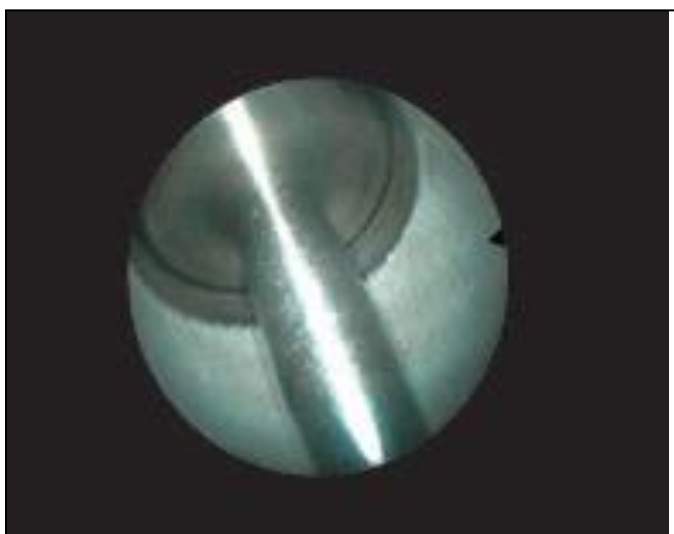
Yleinen kansitilojen kunto, maalipinnan paksuus, ruostumisen aste (kuva 14), murtumat hitsausaumoissa, jäykkäjissä ja muissa rasitukselle alttiissa paikoissa.



Kuva 14. Pahoin ruostunut vahvike kannella (omista arkistoista).

Koneosastolla silmämääräisiä tarkastuksia suoritetaan siinä laajuudessa, etten katsonut aiheelliseksi niitä erikseen luetella. Kuten aiemmin mainitsin, silmämääräisiä tarkastuksia suoritetaan käytännössä jatkuvasti normaaleiden huoltojen yhteyksissä.

Koneosastolla suoritettavista endoskooppisista tarkastuksista kuitenkin voisi mainita muutamia esimerkkejä. Moottoreista suuret turboahtimet, sylinterin kannet (kuva 15), kaksitahtimoottoreiden pakoventtiilit, kaksitahtimoottoreissa imuilmanaukoista sylinterin ja männän kunto yms. Muut paikat, joissa tarkastuksia suoritetaan, ovat kattiloiden tuli- ja vesipuolen tuubit, suuret paineilmasäiliöt, putkistot, lisäksi muut ahtaat paikat yleensä.



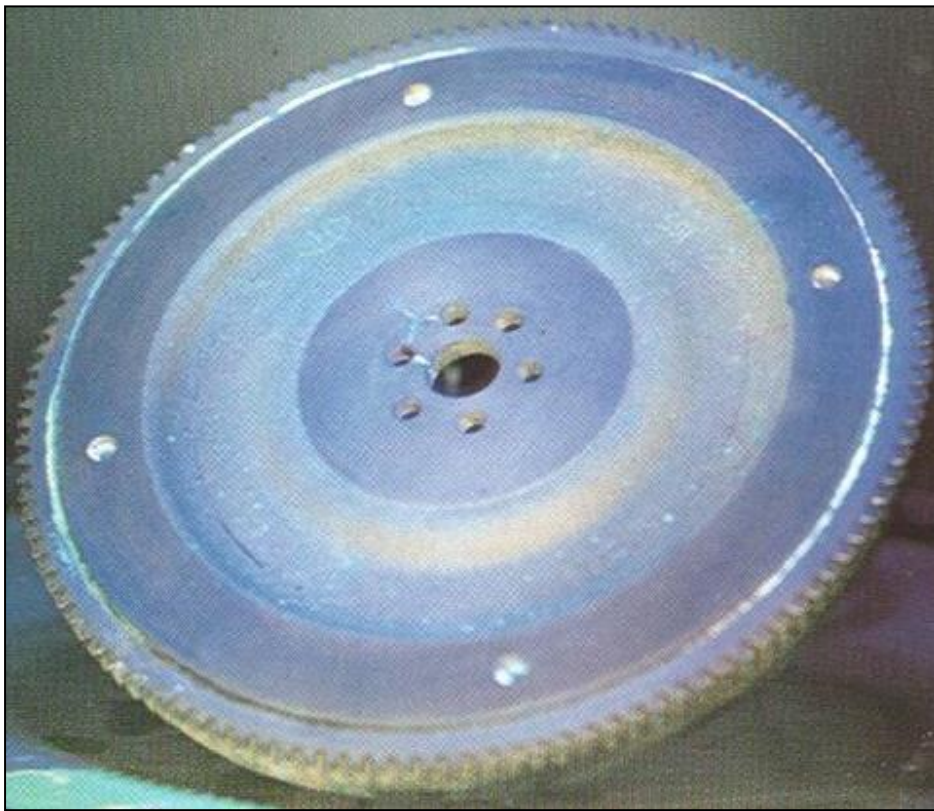
Kuva 15. Endoskooppinen sylinterinkannen / venttiilin tarkastus (15, s. 5).

Rakennusaikana ja luokitusten yhteydessä tarkastetaan kaikki hitsausseamat, niin rakentamiseen liittyvät kuin korjausten yhteydessä, tankit, painelaitteet, yleinen kunto.

5 TUNKEUMANESTETARKASTUS

Tunkeumanestetarkastus on NDT-menetelmä, jolla saadaan pintaan asti ulottuvat viat selville tarkastettavista kappaleista. Parhaimmillaan tunkemanestetarkastuksella voidaan havaita jopa 0,0001 millimetrin (0,1 mikrometrin) säröt, tosin tällöin särön tulee olla pituudeltaan muutamia millimetrejä pitkä luotettavan tuloksen saamiseksi. Tarkastettava kappale ei saa olla pinnanlaadultaan liian huokoinen, koska tällöin tunkeumaneste tunkeutuu pinnan huokosiin, eikä tällöin voida saada luotettavia havaintoja oikeista vioista. (19, s. 1-3.)

Tunkeumanestetarkastusten teho riippuu hyvin pitkälti siitä, kuinka huolellisesti ja oikein jokainen tarkastuksen eri vaihe suoritetaan. Huolimaton toteutus tarkastuksen yhdessäkin vaiheessa saattaa merkittävästi pienentää tarkastuksen luotettavuutta sekä tarkkuutta. Tunkeumanestetarkastuksen luotettavuuteen vaikuttaa merkittävästi myös tarkastusta suorittavan henkilön ammattitaito sekä kokemus, erityisesti hänen kykynsä erottaa toisistaan oikeat virheet niin kutsutuista valenäyttämistä (kuva 16). Lisäksi hyvän ja oikean tarkastustuloksen saavuttamiseksi tulee tunkeumanestetarkastuksia suoritettaessa noudattaa tarkoin tunkeumanestetarkastusaineiden valmistajien antamia käyttöohjeita. (20, s. 17.)

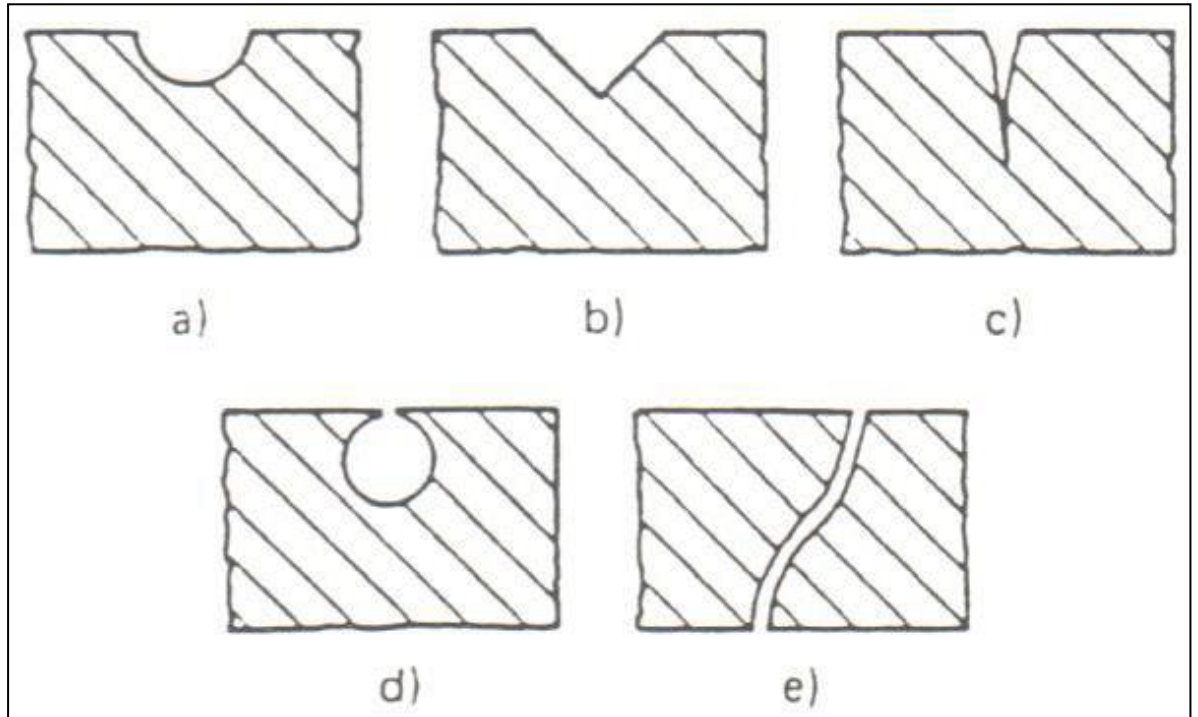


Kuva 16. Valenäyttämä, hammaspyörän keskiössä todellinen vika, reunalla epätäydellisen puhdistuksen aiheuttama valenäyttämä (19, s. 21).

5.1 Tunkeumanestetarkastuksella löydettävissä olevat vikatyypit

Tunkeumanestetarkastusta voidaan käyttää lähes kaikille materiaaleille, joiden pinnalaatu ei ole liian huokoinen, metalleille, myös ei ferro-magneettisille metalleille kuten esimerkiksi austeniittinen ruostumaton teräs sekä alumiini, lasille, muoveille, keramiikalle yms. Tarkastuksia suoritettaessa tulee kuitenkin varmistua, että tarkastuksissa käytettävä aine ei vaikuta esimerkiksi syövyttävästi tai muulla haitallisella tavalla tarkastettavan materiaaliin. (20, s. 17–18.)

Tunkeumanestetarkastuksella voidaan tarkastaa kappaleista erilaisia säröjä, huokosia, leveitä ja kapeita halkeamia, liitosvikoja sekä vuotokohtia tai näiden kaltaisia epäjatkuuuskohtia. Kuvassa 17 on esitetty helposti tunkeumanestetarkastuksella havaittavissa olevat pintaan asti ulottuvien vikojen perustyyppit. (20, s. 16–18.)



Kuva 17. Tunkeumanestetarkastuksella löydettävissä olevat pintavikojen perustyyppit, a) painauma, b) leveä halkeama, c) kapea halkeama, d) huokonen ja e) vuotokohta (21, s. 2 osa V).

Kuvan 17 kohdassa a) esiintyviä painaumia on usein valssatuissa tai taotuissa kappaleissa, vastaavanlaisen vian voi aiheuttaa myös jonkin esineen isku materiaalin pintaan (20, s. 18).

Tunkeumanestetarkastuksella kuitenkin etsitään yleisimmin tutkittavasta kappaleesta kuvan 17 kohdissa b) ja c) esiintyviä leveitä tai kapeita halkeamia. Tämän kaltaisia halkeamia syntyy tavallisesti kappaleeseen valun jäähtymisen tai itse valun aikana. Myös väsyminen, jännityskorroosio, hionta tai erilaiset lämpökäsittelyt voivat synnyttää tämän tyyliä vikoja kappaleeseen. (20, s. 18.)

Yllä mainitut halkeamat ovat useimmiten tyypiltään kohdan c) kaltaisia kapeita halkeamia, joiden havaitsemiseksi edellytetään tarkastuksessa käytettävältä tunkeumanesteeltä suurta herkkyyttä, kun taas kohdassa b) esitettyjen leveiden halkeamien etsinnässä usein vaikeudeksi muodostuu se, että poistettaessa ylimääräistä tun-

keumanestettä pestään epähuomiossa tunkeumaneste myös itse halkeamasta pois, eikä näin ollen voida havaita virhettä. (19, s. 3.)

Kuvan 17 kohdassa e) esityttyä vuotokohdan etsintään voidaan pitää eräänä tunkeumanestetarkastuksen erikoissovelluksena. Sovelluksen käytön edellytyksenä on, että tarkastajalla on pääsy tarkastettavan kappaleen molemmille puolille. Vuodon etsinnässä tunkeumaneste levitetään tarkastettavan kappaleen toiselle puolelle ja vastavasti kehite kappaleen toiselle puolelle. Jos tunkeumanestettä havaitaan kappaleen vastakkaisella puolella olevassa kehitteessä, voidaan mahdollinen vuotokohta havaita ja paikallistaa. Vuotokohtia voidaan etsiä esimerkiksi putkistoista, paineastioista, venttiileistä ja erilaisista korjaushitsauksista. (19, s. 3.)

5.2 Tarkastuksessa tarvittavat tunkeumanestetarkastusaineet

Tunkeumanestetarkastuksen tekemiseksi tarvitaan kolme eri ainetta eli itse tunkeumanestettä, puhdistusainetta sekä kehittä. Nämä kolme ainetta muodostavat yhdessä niin kutsutun tuoteperheen. Tuoteperheeseen kuuluvien aineiden tulee olla yhteensopivia keskenään, tarkastettavan kohteen materiaalin kanssa sekä tarkastettavan kohteen tulevan, suunnitellun, käytön kanssa. Erilaisia, tai eri valmistajan, aineita ei pidä sekoittaa keskenään. (22, s. 14–15.)

Tunkeumanestetarkastusaineet toimivat parhaiten lämpötila-alueella $+10\text{ °C} \dots +50\text{ °C}$. Kylmemmissä lämpötiloissa on vaarana, että ilmassa oleva ilmankosteus kondensoituu tarkastettavan materiaalin pinnalle ja estää tunkeumanestettä tunkeutumasta mahdollisiin vikakohtiin. Tai vaihtoehtoisesti saattaa kondensoitunut vesi laimentaa tunkeumanestettä siinä määrin, että sen ominaisuudet huononevat merkittävästi. Vastavasti jos tarkastettavan kappaleen lämpötila on korkeampi, on vaarana, että tunkeumaneste ehtii haihtua pois kappaleen pinnasta ennen sen tunkeutumista mahdollisiin vikakohtiin. Markkinoilla on olemassa myös tunkeumanesteitä, jotka toimivat esimerkiksi lämpötila-alueilla $-30\text{ °C} \dots +10\text{ °C}$ tai $+30\text{ °C} \dots +200\text{ °C}$ (23). (20, s. 22; 22, s. 5.)

5.2.1 Tunkeumaneste

Tunkeumaneste on tärkein käytetyistä tunkeumanestetarkastusaineista tunkeumanestetarkastuksessa. Tunkeumanesteen tärkeimmät ominaisuudet ovat kyky tunkeutua

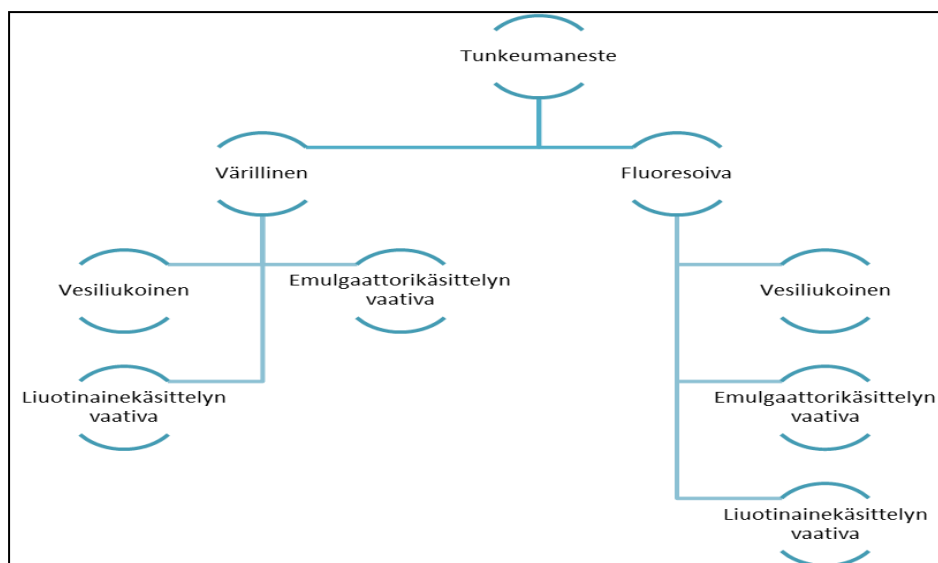
mahdollisiin vikakohtiin sekä myös kyky imeytyä mahdollisista vikakohdista kehitteeseen. Lisäksi tunkeumanesteen tulee ainakin

- kuivua sopivalla nopeudella, ei liian hitaasti eikä nopeasti
- olla helposti pestävissä pois tarkastettavan kappaleen pinnalta
- jäädä myös mataliin ja suuriin vikakohtiin, myös pestäessä tarkastettavan kappaleen pinnalta ylimääräistä tunkeumanestettä pois
- olla levitettävissä todella ohueksi kerrokseksi
- tunkeutua mahdollisimman kapeisiin vikakohtiin
- tunkeutua tarpeeksi nopeasti mahdollisiin vikakohtiin sekä imeytyä riittävän nopeasti kehitteeseen vikakohdista
- tunkeumanesteen tulee sisältää voimakkaasti värjäävää, yleensä punaista, väriainetta tai fluoresoivaa ainetta
- olla reagoimatta kemiallisesti tarkastettavan materiaalin kanssa
- olla hajutonta
- olla ei-tulenarkaa
- olla myrkytöntä ja halpaa. (19, s. 4.)

Tunkeumanesteet voidaan yleisesti jaotella kahteen pääryhmään (kuva 18) eli fluoresoivat ja värilliset tunkeumanesteet. Jako riippuu valon laadusta ja lähteestä, jossa näyttämiä tarkastellaan. Nykypäivänä on lisäksi saatavissa monikäyttötunkeumanesteitä, jotka sisältävät sekä fluoresoivaa että värillistä ainetta. Värillisten, yleensä punaisten, tunkeumanesteiden näyttämät näkyvät vaaleassa kehitteessä, kun niitä tarkastellaan voimakkuudeltaan riittävässä näkyvässä eli niin sanotussa normaalissa valaistuksessa. Vuorostaan fluoresoivaa ainetta sisältävien tunkeumanesteiden näyttämät saadaan näkyviin, kun tutkitaan tarkastettavaa kappaletta ultravioletivalossa normaali-

lilta päivänvalolta suojassa. Fluoresoivaa sekä värillistä ainetta sisältävien tunkeumanesteiden suurena etuna on, että niillä saadaan näyttämät näkyviin tarkastettava kohteesta lähes samalla tarkkuudella kuin yksinomaan jompaakumpaa edellä mainituista menetelmistä käytettäessä. (19, s. 6-8.)

Edellisen jaon lisäksi voidaan tunkeumanesteet jakaa edelleen kolmeen eri ryhmään (kuva 18) riippuen siitä, miten ylimääräinen tunkeumaneste poistetaan tarkastettavan kappaleen pinnalta: vesiliukoisiin tunkeumanesteisiin, emulgaattorikäsitellyn vaativiin tunkeumanesteisiin sekä liuotainekäsittelyn vaativiin tunkeumanesteisiin (19, s. 6-7).



Kuva 18. Erityyppiset tunkeumanesteet (19, s. 6).

Vesiliukoiset tunkeumanesteet ovat yli 90-painoprosenttisesti alkoholiperusteisia orgaanisia yhdisteitä, kuten esimerkiksi etanolia, isopropyylialkoholia tai butanolia. Nämä tunkeumanesteet ovat nimensä mukaisesti sellaisia, että kappaleen pinnalta ylimääräinen tunkeumaneste voidaan poistaa vedellä. Eli toisin sanoen vesiliukoiset tunkeumanesteet sisältävät niin kutsutun emulgaattorin (emulsioliuottimen). Emulgaattori tekee esimerkiksi petrolipohjaisista nesteistä vesiliukoisia. (19, s. 7-8.)

Emulgaattorikäsitellyn vaativat tunkeumanesteet koostuvat yleensä alifaattisista hiilivedyistä, kuten esimerkiksi petrolista, moottoribensiinistä, tolyeenistä, ksyleenistä, tai kresolista. Kun tällaisen tunkeumanesteen pinnalle levitetään emulgaattori (emulsioliuotin), saadaan tunkeumanesteestä vesiliukoista. (19, s. 7-9.)

Liutinkäsittelyn vaativat tunkeumanesteet koostuvat hiilivedyistä, ja ne voidaan jakaa kolmeen ryhmään liuotinainetyypin mukaan aromaattisista, alifaattisista tai klooratuista hiilivedyistä koostuviin tunkeumanesteisiin. Nimensä mukaisesti nämä tunkeumanesteet ovat sellaisia, että kappaleen pinnalta ylimääräinen tunkeumaneste voidaan poistaa orgaanisella liuottimella, esimerkiksi liuottimeen kastetulla nukkaamattomalla rievulla. (19, s. 7-8.)

Tunkeumanesteet voidaan levittää tarkastettavaan kohteeseen sivelemällä, ruiskuttamalla, huuhtomalla, upottamalla tai kastamalla. Emulgaattori levitetään kohteeseen vaahdotuslaitteella tai upottamalla. Sen jälkeen kun tunkeumaneste on saatu levitettyksi tarkastettavaan kappaleeseen, tulee sen antaa vaikuttaa kappaleen pinnalla niin kutsutun tunkeuma-ajan verran. Sopiva tunkeuma-aika riippuu tunkeumanesteen ominaisuuksista, tarkastuskohteen materiaalista, käyttölämpötilasta ja siitä, millaisia vika-kohtia halutaan saada esiin. Tunkeuma-aika voi vaihdella viidestä minuutista aina kuuteenkymmeneen minuuttiin asti. On kuitenkin huolehdittava siitä, ettei tunkeumaneste pääse kuivumaan tunkeuma-aikana. (22, s. 5-6.)

5.2.2 Puhdistin

Aineita, joilla poistetaan ylimääräinen tunkeumaneste tarkastettavan kappaleen pinnasta, kutsutaan yleisesti puhdistin- tai poistoaineiksi. Aiemmin jaoteltiin tunkeumanesteet kolmeen ryhmään sen mukaan, millä tavalla ylimääräinen tunkeumaneste poistettiin tarkastettavan kappaleen pinnalta. (19, s. 8.)

Ensimmäisessä ryhmässä olivat emulgaattorin sisältävät vesiliukoiset tunkeumanesteet, eli tässä ryhmässä puhdistinaineena toimii vesi. Sopivia pesutaktiikoita ovat esimerkiksi pyyhkiminen kostealla nukkaamattomalla rievulla tai spraypesu. On kuitenkin pidettävä huolta, ettei pesuveden lämpötila ylitä 50 °C:ta. (19, s. 8; 22, s. 6.)

Toisessa ryhmässä olivat tunkeumanesteet, jotka vaativat erillisen emulgaattorikäsittelyn. Emulgaattorikäsittelyn jälkeen myös tämän ryhmän tunkeumanesteistä tulee vesiliukoisia, joten puhdistinaineena toimii jälleen vesi. Jotta saataisiin valtaosa ylimääräisestä tunkeumanesteestä poistetuksi, olisi hyvä suorittaa tarkastettavalle kappaleelle vesipesu ennen emulgaattorikäsittelyä. Lisäksi on syytä huomioida, ettei ylitetä emulgaattorin ennalta määritettyä vaikutusaikaa. (19, s. 9; 22, s. 6.)

Kolmannessa ryhmässä olivat tunkeumanesteet, jotka vaativat erillisen liuotinkäsittelyn, eli tämän ryhmän puhdistinaineena käytetään erilaisia liuottimia. Tarvittavan liuotinnesteen valinta riippuu käytetystä tunkeumanesteestä; tunkeumanesteen ja liuotinaineen pitää olla kemiallisesti yhteensopivia. (19, s. 10.)

Puhdistinainetta levitettäessä tulee kaikkien kolmen ryhmän kohdalla huolehtia, ettei puhdistinaineen levitykseen aikana poisteta tunkeumanestettä itse vikakohdista (22, s. 6).

5.2.3 Kehite

Kehitteen tärkein tehtävä on imeä mahdolliseen vikakohtaan tunkeutunut tunkeumaneste itseensä ja näin lisätä näyttämän kokoa, jolloin saavutetaan mahdollisten virheiden luotettavampi havaitseminen. Kun vikakohdassa oleva tunkeumaneste imeytyy kehitteeseen, leviää se virheestä joka suuntaan riippumatta itse virheen muodoista. Tästä seuraa, ettei näyttämästä voida välttämättä vetää suoria johtopäätöksiä virheen koosta, erityisesti leveydestä. (2, s. 30; 19, s. 10–11.)

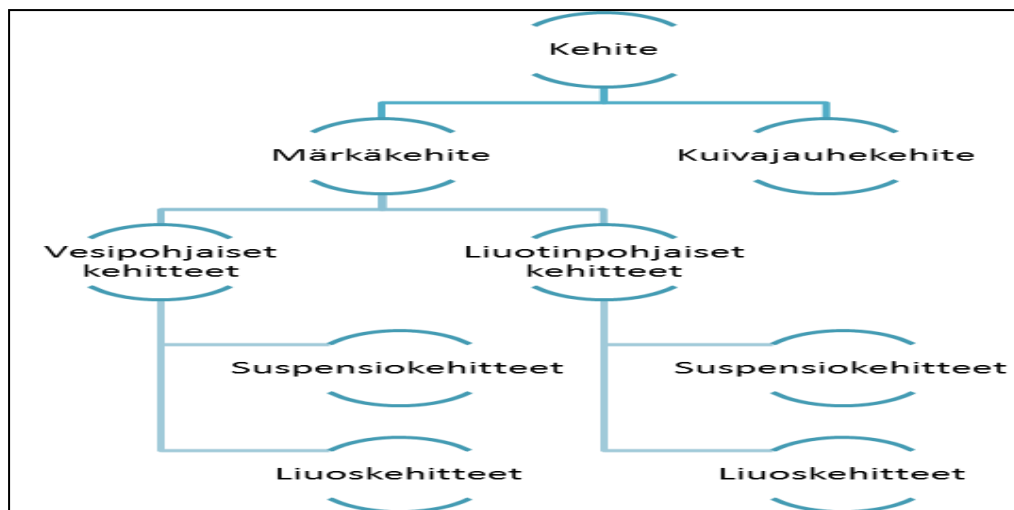
Kehitteen käyttö ja toiminta perustuu kolmeen eri mekanismiin eli valon hajontaan, kapillaari-ilmiöön sekä liuottavaan vaikutukseen, riippuen siitä mitä tunkeumaneste- ja kehitetyyppejä on käytetty. Mekanismissa, joka perustuu kapillaari-ilmiöön, vetää kapillaari-ilmiö virhekohtaan tunkeutuneen tunkeumanesteen kehitteeseen. Mekanismissa, joka käyttää hyväkseen valon hajontaa, tarvitaan, kun tarkastellaan fluoresoivan tunkeumanesteen näyttämiä ultraviolettivalossa. Ultraviolettisäteily hajaantuu kehitteen hiukkasten välille ja täten vahvistaa syntyvää keltavihreää valoa. Jos tunkeumaneste, tai siitä osa, on kuivunut vikakohtaan esimerkiksi liian korkean lämpötilan tai liian pitkän kuivumis- tai tunkeuma-ajan vuoksi, tarvitaan kehitteen liuottavaa ominaisuutta. Kun tunkeumaneste on jälleen liennut, voi se jälleen imeytyä kapillaari-ilmiön johdosta kehitteeseen. (19, s. 10.)

Hyvän kehitteen tulisi

- olla helposti levitettävissä tasaiseksi, ohueksi kerrokseksi
- imeä tunkeumaneste mahdollisesta virhekohdasta ja muodostaa luotettava ja selvä näyttämä

- olla poistettavissa helposti suoritettun tarkastuksen jälkeen
- olla kemiallisesti inertti eli ei saa reagoida kemiallisesti muiden tunkeumanestetarkastusaineiden tai tarkastettavan kohteen kanssa (19, s. 11).

Kehitteet voidaan jakaa (kuva 19) kahteen pääryhmään, märkäkehiteisiin ja kuivajauhekehiteisiin. Märkäkehitteet jaotellaan edelleen liuotinpohjaisiin kehiteisiin ja vesipohjaisiin kehiteisiin. Tämän lisäksi liuotin- ja vesipohjaiset kehitteet voidaan edelleen jakaa kahteen alaryhmään, liuoskehiteisiin ja suspensiokehiteisiin. Jako riippuu siitä, minkälaisen seoksen kehitejauhe muodostaa kantajanesteen kanssa. Vesipohjaisissa kehiteissä kehitejauhe on kantajanesteessä lietemäisessä muodossa, eli ne muodostavat niin kutsutun suspension, kun taas liuotinpohjaisissa kehiteissä kehitejauhe on liuennut kantajanesteeseen. (19, s. 11.)



Kuva 19. Erityyppiset kehitteet (19, s. 11; 22, s. 7-8).

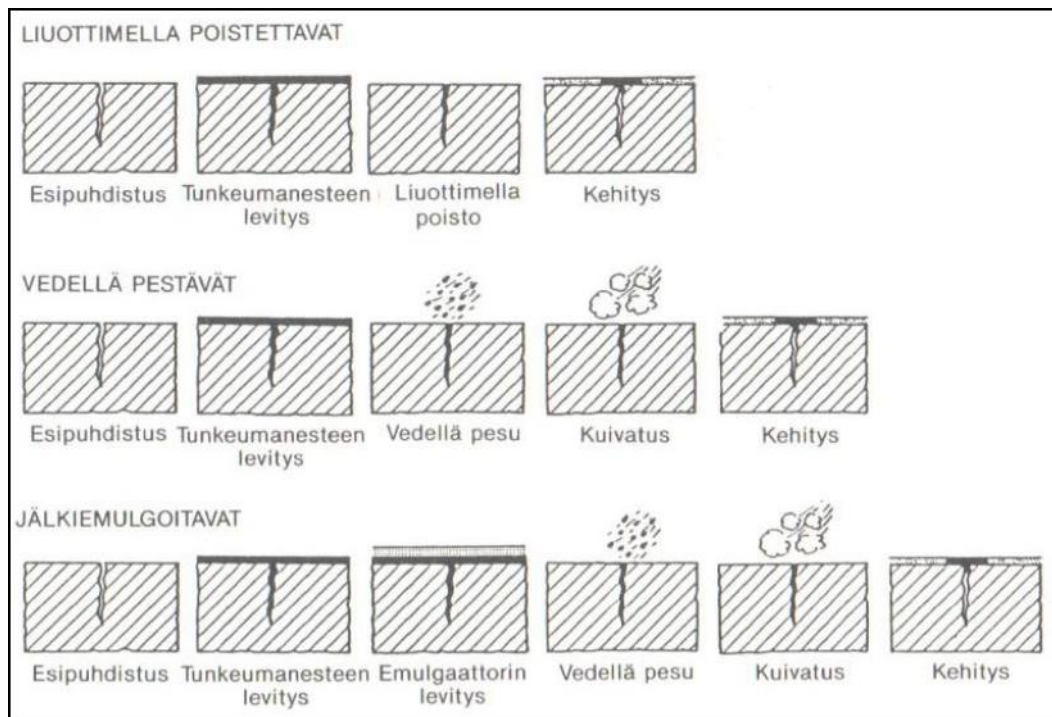
Kuivajauhekehitteet koostuvat erilaisista metallioksidoista tai niiden yhdisteistä, esimerkiksi pii- tai magnesiuminyhdisteistä, jotka muodostavat hienojakoista valkeata jauhetta. Kuivajauhekehite on sovellettu käytettäväksi ainoastaan fluoresoivien tunkeumanesteiden kanssa. Kuivajauhekehite voidaan levittää tarkastettavan kappaleen pinnalle sähköstaattisella levityksellä, sumuttamalla, upottamalla ilmavaan, kuivaan kehitejauheeseen tai jauhepistoolilla. (19, s. 11; 22, s. 7.)

Vesipohjaisen ja liuotinpohjaisen suspensiokehitteen kehitejauheet koostuvat valkeista metallioksidoista, esimerkiksi magnesiumoksidista tai titaanioksidista, tai veteen tai liuottimeen liukenemattomista karbonaateista. Vuorostaan liuoskehite-

teen kehitinjauheet koostuvat yleisimmin kaliumin tai natriumin karbonaateista tai sulfaateista, jotka liukenevat veteen tai liuottimeen. Vesipohjaisten suspensiokehitteiden sekä liuoskehitteiden kantajanesteenä käytetään vettä, kun taas liuotinpohjaisten suspensiokehitteiden sekä liuotinpohjaisten liuoskehitteiden kantajanesteenä klooratuista, alifaattista tai aromaattisista hiilivedyistä koostuvaa liuotinta riippuen siitä, minkälaista tunkeumanestettä on käytetty. Vesipohjaisia suspensiokehitteitä sekä liuoskehitteitä voidaan levittää ruiskuttamalla sopivilla laitteilla tai upottamalla tarkastettava kappale suspensiokehitteeseen, liuotinpohjaisia suspensiokehitteitä voidaan levittää tasaisesti ruiskuttaen. (19, s. 11–12; 22, s. 8.)

5.3 Toimintaperiaate

Tunkeumanestetarkastus voidaan jakaa kuvassa 20 esitettyihin työvaiheisiin. Ensin tarkastettavan kappaleen pinta tulee puhdistaa ja kuivata huolellisesti. Puhdistuksen ja kuivauksen jälkeen levitetään tarkastukseen sopiva tunkeumaneste tarkastettavan kappaleen pinnalle. Kun tunkeumaneste on vaikuttanut tarkastettavan kappaleen pinnalla tunkeumanesteelle sopivan tunkeutumisaikan verran, jonka aikana se on tunkeutunut pintaan asti ulottuviin vikakohtiin, joita tarkastettavassa kappaleessa mahdollisesti on, poistetaan ylimääräinen tunkeumaneste sopivia poistoaineita käyttäen. Ylimääräisen tunkeumanesteen poiston jälkeen joissain tapauksissa voidaan tarvita kuivaus ennen kuin levitetään tarkastettavaan kohteeseen sopiva kehite. Kehite imee kapillaari-ilmiön avulla itseensä tunkeumanestettä, joka on imeytynyt vikakohtiin ja näin ollen antaa virhekohdasta suurentuneen, selvästi havaittavan, näyttämän. Lisäksi omina työvaiheina voidaan pitää näyttämän tarkastelua sekä tarkastettavan kappaleen puhdistusta tunkeumanestetarkastusaineista ja mahdollista suojausta, esimerkiksi korroosiota vastaan, tarkastuksen jälkeen (22, s. 2.)



Kuva 20. Eri tunkeumanestetyyppien työjärjestykset (3, s. 28).

5.3.1 Tarkastettavan kappaleen esikäsittely, puhdistus ja kuivaus

Tunkeumanestetarkastus tulee aina aloittaa tarkastettavan kappaleen esikäsittelyllä, johon kuuluu tarkastettavan kappaleen erittäin huolellinen puhdistus ja puhdistuksen jälkeinen kuivaus, koska tarkastettavan kappaleen mahdollisissa vikakohtissa oleva öljy, rasva, ruoste, hilse, kuona, maali, muu irtonainen lika tai vaikka pelkkä vesi saattaa estää tunkeumanesteen tunkeutumisen vikakohtaan tai ainakin olennaisesti hidastaa sitä. Tästä seuraa tarkastustuloksen huomattava heikkeneminen tai jopa koko tarkastuksen epäonnistuminen. Puhdistuskeinoina voidaan käyttää joko mekaanista puhdistusta tai kemiallista puhdistusta. (19, s. 13; 20, s. 20; 22, s. 5.)

Mekaanisen puhdistuksen keinoin, joita ovat esimerkiksi kiillotus, harjaus, erilaiset puhallustekniikat, kaavinta sekä peseminen painepesurilla tai höyryllä, poistetaan tarkastettavasta kappaleesta irtonainen, pinnalla oleva lika, esimerkiksi maali, valssihilse, ruoste tai muu vastaava lika, josta saattaisi tarkastuksen yhteydessä tulla virheellisiä näyttämiä tai joka saattaa estää tunkeumanesteen tunkeutumisen vikakohtaan. Suorittaessa mekaanista puhdistusta tulee ottaa huomioon varsinkin erilaisia puhallustekniikoita käytettäessä, joita ovat esimerkiksi teräsjauhe-, hiekka- ja muovikuulapuhallus, että kyseiset menetelmät saattavat tukkia pieniä vikakohtia. Lisäksi voimakas puhdistus esimerkiksi teräsharjalla saattaa aiheuttaa tarkastettavaan kappaleeseen pieniä naarmuja, joita voi olla erittäin hankala erottaa todellisista virhenäyttämistä var-

sinkin, jos tarkastusta suorittaa hieman kokemattomampi tarkastaja. (19, s. 13; 20, s. 21; 22, s. 5.)

Kemiallisen puhdistuksen keinoin tarkastettavan kappaleen pinnalta poistetaan sopivien kemiallisten puhdistusaineiden avulla esimerkiksi öljyn, rasvan ja maalin jäännökset tai metallin hapettumisen johdosta muodostuneet oksidikerrokset. Sopivia kemiallisia puhdistusaineita ovat esimerkiksi orgaaniset liuottimet. Myös metallin peittäusta voidaan pitää kemiallisena puhdistuskeinona; peittäuksessa poistetaan metallin pinnalle muodostuneita oksidikerroksia. Koska kemiallisessa puhdistuksessa käytetyt kemikaalit voivat reagoida joutuessaan kosketuksiin tunkeumanesteen kanssa ja huonontaa suuresti tarkastuksen luotettavuutta, on erityisen tärkeää, että tarkastettava kappale pestään vedellä tai muulla tavalla huolehditaan, että puhdistuksessa käytetyt kemikaalit saadaan poistetuksi tarkastettavan kappaleen pinnalta. (19, s. 13; 22, s. 5.)

Muita puhdistustapoja, joita on käytetty, ovat ultraäänipuhdistus tai kappaleen kuumentaminen esimerkiksi hitsausliekillä. Näillä menetelmillä voidaan poistaa erityisesti öljy ja rasva tarkastettavasta kappaleista. (19, s. 13.)

Puhdistuksen viimeisenä työvaiheena on kappaleen erittäin huolellinen kuivaus. Kuivauskeinona voidaan käyttää esimerkiksi tarkastettavan kappaleen pitämistä uunissa tai puhaltamalla kuivaa lämmintä ilmaa siihen. On kuitenkin huomioitava, ettei ylitetä suurinta sallittua tunkeumanesteen käyttölämpötilaa. (19, s. 13; 22, s. 5.)

5.3.2 Tunkeumanesteen levitys

Ennen tunkeumanesteen levitystä on varmistettava, että tarkastettavan kappaleen pinnalle tai mahdollisiin virhekohtiin ei ole jäänyt puhdistuksen aikana käytettyjä puhdistusaineita ja että tarkastettavan kappaleen pinta on kuiva. Lisäksi on tarkastettava, että tarkastettavan kappaleen lämpötila on sopiva käytettävälle tunkeumanesteelle. Tämän jälkeen levitetään tunkeumaneste käyttäen soveliaista levitysmenetelmää. Valittaessa menetelmää tulee ottaa huomioon tarkastettavan kappaleen muoto, koko, materiaali sekä käytettävän tunkeumanesteen ominaisuudet. (19, s. 13–14; 20, s. 22.)

Levityksen jälkeen tunkeumanesteen annetaan vaikuttaa tarkastettavan kappaleen pinnalla sopiva tunkeutumisaika, joka riippuu etsittävien vikakohtien luonteesta, tunkeumanesteen ominaisuuksista, tarkastuslämpötilasta sekä tarkastettavan kohteen ma-

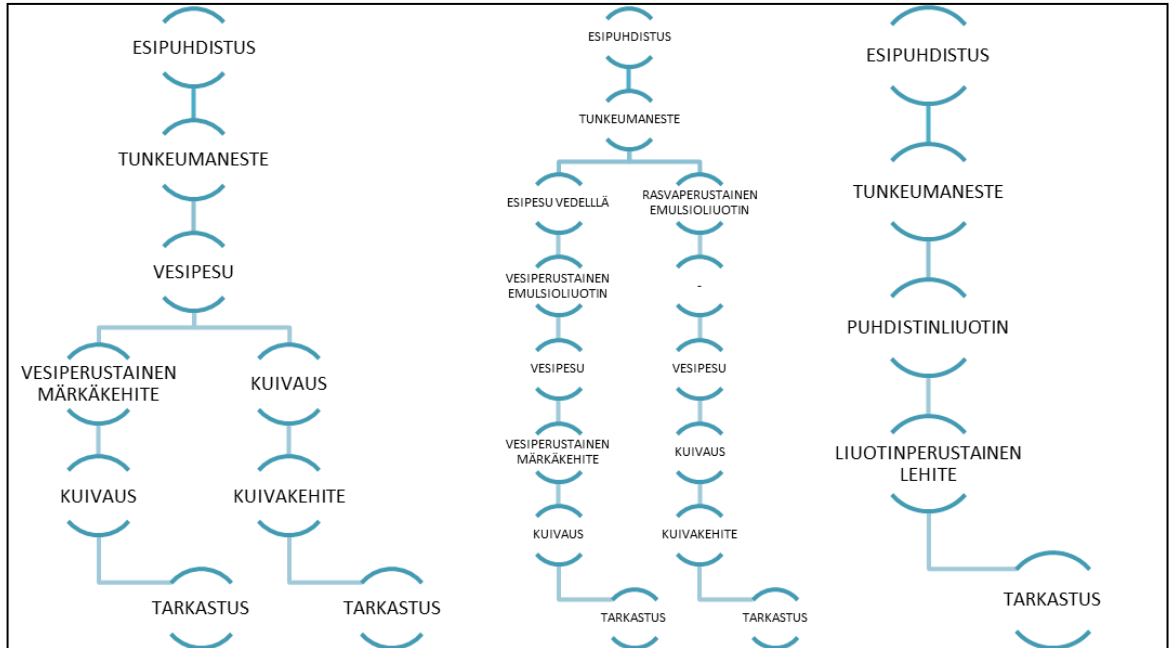
teriaalista. Yleisesti mitä alhaisempi tarkastuslämpötila on, tulee tunkeutumisaika olla pidempi, kun taas korkeammissa lämpötiloissa tunkeutumisaika on lyhyempi. Myös kapeissa ja pienissä virhekohtissa on vaadittava tunkeutumisaika pidempi kuin leveissä ja suurissa virhekohtissa. (19, s. 14; 20, s. 22; 22, s. 6.)

Erikoistapauksissa tunkeumanesteen tunkeutumista vikakohtiin voidaan tietyin toimenpitein edistää. On kuitenkin huomioitava, että tällaiset toimenpiteet ovat soveltuvia käytettäväksi vain erikoistapauksissa. Silloinkin tulee suorittaa pienemmillä testikappaleilla kokeita menetelmien toimivuuden takaamiseksi ennen varsinaiseen tarkastukseen ryhtymistä. Tällainen menetelmä on esimerkiksi tunkeumanesteen lämmitys ennen suurten kylmien pintojen tarkastusta. Tätä menetelmää käytettäessä on huolehdittava, ettei tunkeumanesteen suurinta sallittua käyttölämpötilaa ylitetä. Myös tarkastettavaa kappaletta voidaan joissain tapauksissa lämmittää. Tästä saadaan se hyöty, että lämpölaajenemisen johdosta pienet vikakohdat saattavat avautua enemmän. Tässäkin menetelmässä on huolehdittava, ettei ylitetä sallittuja lämpötiloja. Tarkastettavan kappaleen täristyksen on joissakin tarkastuksissa havaittu edistäneen tunkeumanesteen tunkeutumista vikakohtiin. (19, s. 14.)

5.3.3 Ylimääräisen tunkeumanesteen poistaminen

Kun tunkeumaneste on vaikuttanut tarkastettavan kappaleen pinnalla sopivan tunkeutumisaikan, ylimääräinen tunkeumaneste poistetaan tarkastettavan kappaleen pinnalta. Poistettaessa ylimääräistä tunkeumanestettä tulee se tehdä siten, että tunkeumanestettä ei vahingossakaan poisteta mahdollisista vikakohtista, vaan ainoastaan tarkastettavan kappaleen pinnalta. Poistaminen tulee suorittaa huolellisesti, ettei kappaleen pinnalle jää virhenäyttämiä antavia tunkeumanestejäämiä, eli toisin sanoen tunkeumanestettä jää vain virhekohtiin, jotta saadaan virheistä selkeät näyttämät. (19, s. 14–15; 20, s. 23.)

Kuten aiemmin on jo mainittu, voidaan poistomenetelmät jaotella kolmeen ryhmään riippuen siitä, minkälaista tunkeumanestettä tarkastuksessa on käytetty. Kuvassa 21 on esitetty vedellä, emulsioliuottimella ja liuottimella poistettavien tunkeumanesteiden eri työvaiheet. On huomioitavaa, että jos poistomenetelmänä on käytetty vettä, on kuivaus suoritettava ennen kehitteen levitystä (19, s. 14–15; 20, s. 20.)



Kuva 21. Tunkeumanestetarkastuksen eri vaiheet ylimääräisen tunkeumanesteen poistomenetelmän mukaan. Kuvassa on esitetty vasemmalla poisto vedellä, keskellä poisto emulsioliuottimella ja oikealla poisto liuottimella. (19, s. 15.)

5.3.4 Kehitteen levitys

Sen jälkeen kun tarkastettava kappale on saatu puhdistettua ylimääräisestä tunkeumanesteestä, levitetään sen pinnalle ohut, tasainen, kerros kehitettä. Kehitteen tulee antaa vaikuttaa tarkastettavan kappaleen pinnalla riittävän kauan, jotta vikakohdissa oleva tunkeumaneste ehtii imeytyä kehitteeseen kapillaari-ilmion vaikutuksesta ja muodostaa vikakohdasta selkeän näyttämän. (19, s. 18; 20, s. 23.)

Kehite tulisi levittää tarkastettavaan kappaleeseen mahdollisimman nopeasti, välittömästi kun ylimääräinen tunkeumaneste on saatu poistettua, ettei vikakohtaan tunkeutunut tunkeumaneste pääsisi kuivumaan, koska kuivunut tunkeumaneste ei nouse kapillaari-ilmion voimasta kehitteeseen, eikä näin ollen muodosta virheestä selkeää näyttämää (22. s. 7).

5.3.5 Kuivaus

Käytetty kehitysmenetelmä määrää, suoritetaanko kuivaus ennen kehitteen levitystä vai kehitteen levityksen jälkeen. Kuivaus suoritetaan ennen kehitteen levitystä, jos ylimääräinen tunkeumaneste on poistettavissa vedellä eli on käytetty vesiliukoisia tunkeumanesteitä tai emulsioliuottimella poistettavia tunkeumanesteitä. Lisäksi käytettävän kehitteen pitää olla muunlaista kuin vesipohjaista, joko kuivajauhekehittä tai liuotinpohjaista märkäkehittä. Vuorostaan jos käytetään vesipohjaisia märkäkehittä, suoritetaan kuivaus kehitteen levityksen jälkeen. Jos käytetään liuottimella poistettavia tunkeumanesteitä tai liuotinperusteisia kehitteitä, ei erillistä kuivausvaihetta välttämättä tarvita, koska liuottimet ovat yleensä melko nopeasti haihtuvia. (19, s. 17.)

Kuivumista voidaan edesauttaa esimerkiksi seuraavilla menetelmillä: pyyhkimällä nukkaamattomalla, kuivalla, puhtaalla kankaalla, nopeuttamalla haihtumista esimerkiksi käyttämällä tarkastettavaa kappaletta uunissa tai käyttämällä lämminilmapuhallusta, kiihdyttämällä ilmanvaihtoa. Käytettäessä paineilmaa kiihdytettyyn ilmanvaihtoon, tai lämminilmapuhallukseen, tulee huolehtia erityisesti, ettei paineilman mukana tarkastettavaan kohteeseen joudu öljyä tai vettä. Tulee myös huolehtia, että paineilman paine tarkastettavan kappaleen pinnalla pidetään niin pienenä kuin mahdollista. Lisäksi tulee ottaa huomioon, ettei tarkastettavan kappaleen lämpötila ylitä tunkeumanesteen sallittua ylärajaa tai ettei tunkeumaneste pääse kuivumaan mahdollisissa vika-kohdissa kuivauksen aikana. (19, s. 18; 22, s. 7.)

5.3.6 Näyttämien tarkastelu

Mahdollisten näyttämien ensimmäinen tarkastelu olisi tarkoituksenmukaista tehdä välittömästi, kun kehite on levitetty, ja lopullinen tarkastelu viimeistään, kun kehite on saanut vaikuttaa sille ominaisen vaikutusajan tai on kuivunut. Liian pitkä kehitteen vaikutusaika saattaa vaikuttaa huomattavasti näyttämien luonteeseen. Tarkastuksessa voidaan käyttää hyväksi silmämääräisessä tarkastuksessa käytettäviä apuvälineitä, kuten esimerkiksi kontrastilaseja tai suurennuslaseja. (20, s. 24; 22, s. 9.)

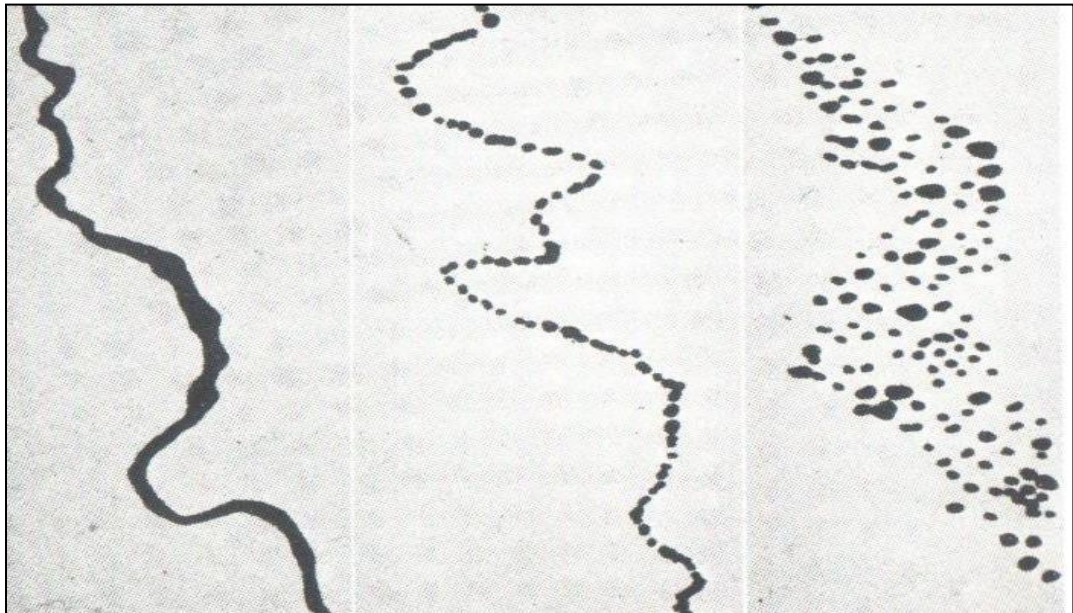
Näyttämiä tarkastellessa tulee ensiksi tehdä päätös, onko näyttämä aiheellinen eli merkityksellinen, merkityksetön eli aiheeton vai niin sanottu valenäyttämä. Tämän jälkeen, jos kyseessä on merkityksellinen näyttämä, tulee pyrkiä määrittämään sen

vian vakavuusaste, josta näyttämä on tullut. Tätä tehdessä tulee ottaa huomioon esimerkiksi vian muoto, koko, sijainti sekä tarkastettavan kappaleen tuleva käyttötarkoitus. (20, s. 24)

Merkitykselliset näyttämät (kuva 22) aiheutuvat todellisista vioista, joita ovat esimerkiksi erilaiset huokokset, liitosvirheet ja säröt. Tällaiset näyttämät erottuvat erittäin selvästi vaaleapohjaisissa kehitteissä. (19, s. 20.)

Merkityksettömät näyttämät (kuva 22) aiheutuvat yleensä tarkastettavan kappaleen pinnassa olevista epätasaisista kohdista. Tällaisia epätasaisia kohtia voivat aiheuttaa esimerkiksi teräsharjaus ja hiekkapuhallus, lisäksi epätasainen pinta voi syntyä erilaisista valuprosesseista. Tällaiset näyttämät ovat huomattavasti heikompia kuin todellisista vioista tulleet näyttämät. (19, s. 20; 20, s. 24.)

Valenäyttämät (kuva 22), aiheutuvat hyvin usein huolimattomasta tai muuten riittämättömästä ylimääräisen tunkeumanesteen poistosta tai tunkeumanestettä on voinut joutua tarkastettavan kappaleen pinnalle esimerkiksi roiskumalla tai tarkastusta suorittavan henkilön välityksellä. Mikäli on syytä epäillä näyttämän todenperäisyyttä, tulee tarkastus tehdä uudelleen aivan alusta asti. (19, s. 20; 20, s. 24.)



Kuva 22. Tarkastuksesta saatuja näyttämiä. Kuvassa vasemmalla syvästä halkeamasta saatu merkityksellinen näyttämä, keskellä kapeasta naarmusta saatu merkityksetön näyttämä, oikealla huokosryhmän aiheuttama valenäyttämä. (19, s. 21.)

Tehtäessä virallisia tunkeumanestetarkastuksia on standardeissa SFS-EN ISO 3452-1 ja SFS-EN ISO 3059 fluoresoivien tunkeumanestetarkastusten osalta tarkastusolosuhteista ohjeistettu seuraavaa (22, s. 9; 24, s. 16.):

- Tarkastusta suorittava henkilö ei saa käyttää tummennettuja silmälasia.
- Tarkastusta suorittavan henkilön silmien on annettava sopeutua riittävän ajan tarkastuskopissa vallitsevaan pimeään. Tavallisesti tämä vie vähintään minuutin.
- Tarkastuskopissa tarkastusta suorittavan henkilön näkökentässä ei mikään pinta saa olla fluoresoiva, eikä UV-säteilyä saa suunnata siten, että se voi osua tarkastusta suorittavan henkilön silmiin.
- UV-A-taustavalaistusta voidaan tarvittaessa käyttää, jotta saavutetaan tarkastusta suorittavan henkilön vapaa liikkuminen tarkastuskopissa.
- UV-säteilyn voimakkuuden tulee olla vähintään 10 W/m² tarkastettavalla pinnalla.

Kaikkia edellä mainittuja ohjeita noudatetaan silloin, kun tarkastuksia suoritetaan pimennetyssä tilassa. Pimennetyllä tilalla tarkoitetaan tilaa, jossa näkyvän valon määrä on enimmillään 20 luksia. (22, s. 9; 24, s. 12.)

Vuorostaan käytettäessä värillisiä tunkeumanesteitä tulee tarkastettavan kappaleen pinnan olla valkoisessa, joko päivänvalossa tai keinovalossa, jonka valaistusvoimakkuus ei saa alittaa 500 luksia. Lisäksi tarkastuspaikka tulee valita siten, että heijastumat ja häikäisy vältetään. (22, s. 9.)

5.3.7 Kappaleen puhdistus ja suojaus tarkastuksen jälkeen

Kun näyttämät on saatu dokumentoitua ja tarkastus saatu suoritettua, tulee tarkastettava kappale puhdistaa käytetyistä tunkeumanestetarkastusaineista kullekin aineelle soveliaalla menetelmällä. Jotkut tunkeumanestetarkastusaineista saattavat olla vahingollisia tarkastettavan kappaleen materiaaleille. (19, s. 20; 20, s. 24–25.)

Puhdistuksen jälkeen tarkastettaville kappaleille olisi useimmassa tapauksessa hyvä tehdä, ainakin väliaikainen, korroosion suojaus siihen soveltuvalla menetelmällä. (19, s. 20; 20, s. 24–25;.)

5.4 Menetelmän valinta

Koska tunkeumanestetarkastusten luotettavuus ja tarkkuus riippuvat paljolti valittavasta menetelmästä, on harkittava ennen tarkastukseen ryhtymistä, minkä menetelmän valitsee. Menetelmän valintaan vaikuttavat ainakin seuraavat seikat:

- etsittävien vikojen sijainti, koko ja luonne
- tarkastettavan kappaleen materiaali, koko, pinnan laatu, muoto sekä tarkastuksen laajuus
- työturvallisuusnäkökohdat. (19, s. 23.)

Päätettäessä mitä menetelmää tarkastuksessa käytetään, suoritetaan valinta ensin fluoresoivan ja värillisen tunkeumanesteen välillä. Koska molemmat aineet voivat olla vesiliukoisia emulgaattori- tai liuotainekäsittelyn vaativia, ovat niiden tunkeutumiskyvyt vikakohtiin hyvin samanlaisia. (19, s. 23.)

Käytettäessä fluoresoivia tunkeumanesteitä saadaan kuitenkin yleensä varmemmin esille myös pienemmistä vikakohdista tulleet näyttämät, koska ihmissilmä reagoi fluoresoivalle keltavihreälle valolle normaalilta päivänvalolta suojassa herkemmin. Toisaalta menetelmä on kalliimpi kuin värillisen tunkeumanesteen menetelmä, koska käytettäessä fluoresoivaa menetelmää joudutaan ostamaan erillinen ultraviolettivalo. (19, s. 7, 23.)

Käytettäessä värillisen tunkeumanesteen menetelmää voidaan etuina pitää halvempia hankintakustannuksia verrattuna fluoresoivan menetelmään sekä sitä, että menetelmä on yksinkertaisempi käyttää. Lisäksi koska tarkastelu tapahtuu normaalissa valossa, voidaan näyttämiä dokumentoida helpommin esimerkiksi valokuvaamalla. (19, s. 7, 23.)

Kun on päätetty, käytetäänkö fluoresoivia vai värillistä tunkeumanesteitä, pitää seuraavaksi tehdä päätös, käytetäänkö vesiliukoista emulgaattori- vai liuotainainekäsittelyn vaativaa tunkeumanestettä.

Vesiliukoisten tunkeumanesteiden hyviä puolia on, että niiden käyttö on halpaa ja yksinkertaista, koska poistoaineeksi riittää vesi. Lisäksi menetelmä on tarkastajan työturvallisuuden kannalta paras, koska haihtuvia liuotainaineita tarvitaan hyvin vähän. Huonoista puolista merkittävin on menetelmän huono soveltuvuus suurille ja matalille vioille, koska se vesiliukoisena, poistettaessa ylimääräistä tunkeumanestettä, poistetaan usein myös itse virhekohdasta. (19, s. 7, 23)

Emulsioliuottimella poistettavien tunkeumanesteiden hyviin puoliin kuuluu, että niillä on huomattavasti parempi tunkeutumiskyky kuin esimerkiksi vesiliukoisilla tunkeumanesteillä, joten pienet viat ja kapeat halkeamat saadaan paremmin havaittua. Ylimääräisen tunkeumanesteen poistomenetelmän ansiosta löydetään näillä tunkeumanesteillä parhaiten myös leveät ja matalat virheet. Näiden menetelmien huonoihin puoliin kuuluu, että yksi ylimääräinen työvaihe tarkastuksessa vie enemmän aikaa ja lisää tarkastuksen kustannuksia, lisäkustannuksia tuo myös itse emulgaattori. (19, s. 7, 23.)

Liuottimella poistettavien tunkeumanesteiden hyviin puoliin kuuluu, että tarkastuksessa ei tarvita vettä. Lisäksi, koska tarvittavat aineet myydään yleisimmin spray-pulloissa, voidaan ne kuljettaa helposti työpaikalle. Huonoihin puoliin kuuluu, että tarkastuksessa tarvitaan erilaisia liuottimia, mistä aiheutuu tarkastusta suorittavalle henkilöstölle terveyshaittoja. (19, s. 7, 23.)

Valittu tunkeumaneste määrää myös valittavan poistoaineen. Myös valittavaan kehitteeseen vaikuttaa paljon valittu tunkeumaneste, lisäksi tarkastettavan kappaleen koko ja pinnan laatu vaikuttavat omalta osaltaan kehitteen valintaan. (19, s. 23–24.)

Kuivajauhekehiteitä käytetään, kun tarkastellaan suuria kappaleita tai jos tarkastettavan kappaleen pinta on karhea, koska kuivajauhekehite leviää tasaiseksi, ohueksi, kerrokseksi kierteisiin, poimuihin ja uritetuille pinnoille, ilmavirran avulla. Kuivajauhekehitteiden hyviin puoliin lukeutuu niiden myrkyttömyys, eli ne eivät aiheuta tarkastusta suorittavalle henkilöstölle erityistä vaaraa. Huonoihin puoliin puolestaan lukeu-

tuu, että varsinkin suurille tasaisille pinnoille kehitteen levittäminen saattaa muodostua ongelmalliseksi kehitteen huonon tarttuvuuden vuoksi. (19, s. 11.)

Koska vesipohjaiset suspensiokehitteet ovat suhteellisen halpoja käyttää, käytetään niitä yleisesti, kun tarkastetaan hyvin suuria kohteita. Lisäksi verrattuna vesiperusteisiin liuoskehitteisiin, saavutetaan suspensiokehitteillä hieman parempi herkkyys. (19, s. 12.)

Vesipohjaisten liuoskehitteiden hyviin puoliin lukeutuu se, että itse kehiteliuokseen saadaan helposti oikea koostumus. Lisäksi tarkastettavan kappaleen puhdistettavuus on suhteellisen helppoa tarkastuksen jälkeen, koska kehitin on vesiliukoista. (19, s. 11.)

Liutinpohjaisten suspensiokehitteiden hyviin puoliin lukeutuu, että niiden herkkyys on esitetyistä kehitteistä paras. Lisäksi tarkastettavan kappaleen lämpötilalla ja kuivausmenetelmällä ei ole kovin suurta merkitystä tarkastuksen tulokseen, koska liutinpohjainen kehite liuottaa mahdollisesti kuivuneen tukkeumanasteen virhekohdasta. Huonoihin puoliin liutinpohjaisten suspensiokehitteiden kohdalla kuuluu liuottimista haihtuvat terveydelle vaaralliset höyryt ja kaasut, jotka aiheuttavat merkittävän työturvallisuusriskin tarkastusta suorittavalle henkilöstölle sekä alhaisen leimahduspisteen vuoksi selvästi kohonneen tulipalon vaaran. (19, s. 12.)

Liutinpohjaisten liuoskehitteiden hyviin puoliin voidaan katsoa kuuluvan samat asiat kuin suspensiokehitteidenkin kohdalla, pois lukien suspensiokehitteen hyvä herkkyys. Myös huonot puolet ovat samoja kuin edellä suspensiokehitteiden kohdalla. (19, s. 12.)

5.5 Työturvallisuus

Useat tunkeumanestetarkastusaineet sisältävät ainesosia, jotka ovat erittäin haihtuvia ja joilla on huomattavan alhainen leimahduspiste, joten nämä haihtuvat kaasut voivat olla terveydelle erittäin haitallisia. Tunkeumanestetarkastusaineet yleensä sisältävät myös öljyä liuottavia aineita, ja nämä aineet ärsyttävät ihoa, sillä ne poistavat iholta rasvakerroksen, joka suojaa ihoa. Lisäksi haihtuvat kaasut ovat alhaisen leimahduspistensä takia erittäin tulenarkoja. Näiden epätoivottujen ominaisuuksien vuoksi tarkas-

tusta suorittavan henkilöstön tulee noudattaa tiettyjä varotoimenpiteitä. (19, s. 28; 22, s. 1-2.)

Limakalvon tai ihon toistuvaa tai pitkittynyttä kontaktia öljyä liuottavien aineiden kanssa tulee välttää. Tällaisten aineiden pääsy iholle voidaan estää käyttämällä esimerkiksi asianmukaisia suojakäsineitä. (19, s. 28; 22, s. 2.)

Työskentelyalueelle pitää järjestää riittävän voimakas ilmanvaihto, hyvän ilmanvaihdon lisäksi on erittäin suositeltavaa käyttää tehokkaita hengityssuojaimia. Työskentelyalueiden tulee myös sijaita tarpeeksi kaukana lämmönlähteistä, esimerkiksi avoimesta tulesta, kipinöistä tai muuten kuumista pinnoista. (19, s. 28; 22, s. 2.)

Jos käytetään fluoresoivaa menetelmää ja siten UV-A-lamppuja, pitää varmistaa, ettei UV-A-lampun suodattamaton säteily osu suoraan tarkastusta suorittavan henkilön silmiin. Tämä voidaan varmistaa pitämällä UV-A-suodattimet ehjinä ja hyväkuntoisina, olivat ne sitten kiinteänä osana UV-A-lamppua tai erillisenä osana. (19, s. 28; 22, s. 2.)

Tunkeumanestetarkastuslaitteita ja -aineita pitää käyttää valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti ja muutenkin työskennellessä on noudatettava suurta huolellisuutta (19, s. 28; 22, s. 2).

5.6 Hyvät puolet

Tunkeumanestetarkastuksen parhaisiin ominaisuuksiin kuuluu sen halpuus, sekä jos noudatetaan tarkoin toimintatapaohjeita, sen yksinkertaisuus. Muina hyvinä puolina voidaan mainita esimerkiksi tunkeumanestetarkastuksen nopeus. Jos tarkastettava kappale on sopiva, voidaan tarkastus suorittaa jopa noin 10 minuutissa. Menetelmällä voidaan tarkastaa hyvin erimuotoisia ja -kokoisia kappaleita, esimerkiksi paineastioita, suuria säiliöitä, monimutkaisia teräsrakenteita sekä erilaisia valuja ja takeita. Lisäksi menetelmä sopii erilaisille materiaaleille, esimerkiksi metalleille, myös ei ferromagneettisille, lasille, muoville ja keramiikalle. (19, s. 3; 20, s. 18–19; 25, s. 5.)

Oikein suoritettuna ja valittaessa tarkastettavan kappaleen materiaalille paras menetelmä on tunkeumanestetarkastus riittävän luotettava ja tarkka menetelmä, kun etsitään pintaan asti ulottuvia vikoja (19, s. 3).

5.7 Huonot puolet

Tunkeumanestetarkastuksen merkittävimpana huonona puolena, ja rajoituksena, on sen soveltuvuus ainoastaan vikojen etsintään, jotka ulottuvat pintaan asti. Jos vika ei ulotu tarkastettavan kappaleen pintaan asti, ei tunkeumaneste pysty tunkeutumaan vikakohtaan ja siten antamaan näyttämää kehittyneeseen. Menetelmän käyttökelpoisuutta rajoittaa myös se, että kappaleen pinta ei saa olla liian huokoinen. Lisäksi jotkut tunkeumanestetarkastusaineet voivat vahingoittaa joitakin materiaaleja, esimerkkejä tällaisista materiaaleista ovat eräät muovit, lasittamaton savi sekä sintraamattomasta jauheesta puristetut kappaleet. (19, s. 3; 20, s. 19.)

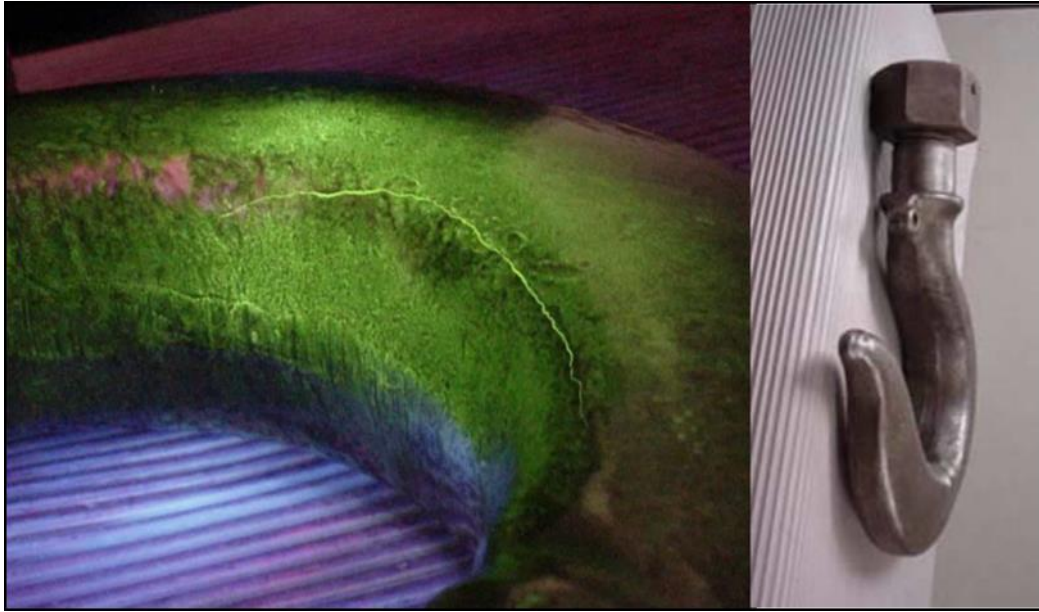
Omat rajoituksensa tarkastukselle asettaa myös menetelmän toimivuus tietyllä lämpötila alueella, eli jos olosuhteet, tai itse tarkastettava kappale, on liian kylmä tai kuuma, ei tunkeumanestetarkastusta voida suorittaa (19, s. 3).

5.8 Sovellukset/käyttökohteet laivojen kunnossapidossa

Tunkeumanestetarkastus on silmämääräisten tarkastuksen jälkeen eniten käytetty tarkastusmenetelmä laivaolosuhteissa, koska menetelmä on suhteellisen halpa ja yksinkertainen käyttää. Lisäksi menetelmällä saavutetaan usein riittävän tarkka ja luotettava tulos laivojen kunnossapidon tarpeisiin.

Lähtämäni kyselyn vastauksista ilmeni, että ainakin seuraavissa kohteissa laivoilla on käytetty tunkeumanestetarkastuksia. Koska omakohtaisia kokemuksia ei ollut, jouduin turvautumaan täysin annettuihin vastauksiin.

Kansiosastolla menetelmää oli käytetty ainakin tarkastettaessa kahmareita tai muita nostovälineitä, esimerkiksi nostokoukkuja (kuva 23). Niissä tarkastuksia oli suoritettu erityisesti kaikissa rasitukselle alttiissa paikoissa, esimerkiksi kahmarin nurkat, hitssaussaumot, murtumat ja rakenne yleensä.



Kuva 23. Kuvassa vasemmalla nostokoukussa havaittu särö tarkastettaessa sitä fluoresoivalla tunkeumanesteellä, oikealla koukku ennen tunkeumanesteen levitystä (18).

Nostureissa oli tarkastettu nostureiden jalat ja armit, rakenteessa olevat kulmat / nurkat, hitsisaumat ja muut rasitukselle joutuvat paikat, joihin kokemukseräisesti tiedetään murtumien syntyvän.

Menetelmää oli käytetty myös vuotokohtien etsintään, erityisesti korjaushitsausien lopputarkastuksessa (kuva 24), muiden kolhujen ja painaumien tarkastusten yhteydessä sekä tarkastettaessa muita rasitukselle alttiita paikkoja, joissa voitiin olettaa esiintyvän vuotoja.



Kuva 24. Laivan painolastitankin vaihdettu tyhjennystulppa, testattu korjatun hitsisauman vuototiiviyttä tunkeumanesteellä. Kuvassa vuoto kierteistä, ei saumasta. (26.)

Lisäksi kansitiloissa oli tarkastettu kansitilojen yleistä kuntoa, jos voitiin epäillä, että niissä saattaisi esiintyä pintaan asti ulottuvia vikoja esimerkiksi hitsaussaumoissa, jäykkääjissä, lastiluukuissa, rampeissa ja muissa rasitukselle alttiissa paikoissa sekä kaikenlaisissa korjaushitsauksissa.

Koneosastolla tunkeumanestetarkastusta oli käytetty kaikenlaisten valettujen kappa-
leiden, esimerkiksi sylinterin kannet (kuva 25), pumppujen rungot yms. särötarkastuk-
siin. Menetelmää oli käytetty myös koneistojen ja muiden laitteiden osien tarkastuk-
siin, joissa voi esiintyä pintaan asti ulottuvia vikoja, esimerkiksi hammaspyörät, akse-
lit, myös potkuriakselit, peräsintukki, kiertokanget (kuva 25) yms. Telakointien yhte-
yksissä oli menetelmää käytetty potkurin ristikappaleen ja potkurin (kuva 25) särötar-
kastuksessa, potkurin lavoista erityisesti kärjet ja juuret ovat olleet tarkastuksen koh-
teina. Lisäksi eräässä laivassa oli korjattu hitsaamalla potkurin kärkiä, jotka välittö-
mästi ennen ultraäänitarkastusta tarkastettiin tunkeumanesteellä.



Kuva 25. Vasemmalla potkurin lapojen tarkastusta, oikealla ylhäällä sylinterinkansien tarkastusta, oike-
alla alhaalla kiertokangen tarkastusta (18).

6 MAGNEETTIJAUHETARKASTUS

Magneettijauh tarkastus on NDT-menetelmä, jolla saadaan ferromagneettisista kappaleista pintaan asti ulottuvat, sekä välittömästi pinnan alla olevat viat selville. Tällaisista vioista voisi mainita esimerkiksi ylivalssautumat, huokokset, taontapoinmut, halkeamat, säröt ja kuonansulkeumat. (9, s. 452; 27, s. 26.)

Parhaimmillaan magneettijauh tarkastuksella voidaan havaita 0,00001 millimetriä (0,01 mikrometriä) leveät säröt edellyttäen, että säröllä on pituutta muutamia millimetrejä ja olosuhteet ovat ihanteelliset. Kuitenkin lähes aina huolellisesti tehtynä magneettijauh tarkastuksella voidaan havaita muutamien mikrometrien levyiset viat. Lisäksi määrättyillä magneettijauh tarkastusmenetelmillä voidaan havaita jopa 6 millimetrin syvyydessä (kuva 25) olevia vikoja tarkastettavista kappaleista. (1, s. 32; 21, s. 2 osa IV.)

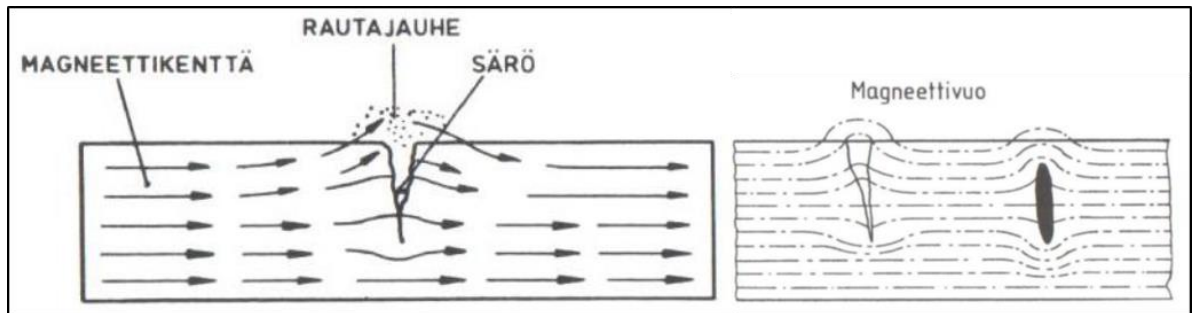
Koska magneettijauh tarkastus perustuu aineen magneettisiin ominaisuuksiin, tulee tarkastettavan kappaleen olla ferromagneettinen, jotta se saadaan magnetisoitua erilaisia magnetoimismenetelmiä käyttäen. Tästä johtuen osaa teollisuudessa yleisesti käytetyistä materiaaleista ei voida tarkastaa tätä menetelmää käyttäen. Hyviä esimerkkejä tällaisesta ei-ferromagneettisista aineista ovat austeniittinen ruostumaton teräs, titaani ja alumiini. (5, s. 257.)

6.1 Toimintaperiaate

Magneettijauh tarkastuksessa tarkastettava kappale magnetisoidaan erilaisilla magnetoimismenetelmillä, tällaisia menetelmiä ovat erilaiset virtamagnetoiminnan ja napamagnetoiminnan menetelmät. Tarkastettava kappale voidaan magnetoida ennen tarkastuksen alkua, jolloin käytetään niin sanottua remanenssimenetelmää, tai kappale voidaan magnetoida tarkastusta suorittaessa, jolloin on käytössä niin sanottu jatkuva menetelmä. Kyseiset menetelmät on tässä opinnäytetyössä selvitetty myöhemmin tarkemmin. (27, s. 10.)

Magnetoiminnalla kappaleen pintaan saadaan aikaan voimakas magneettinen vuo, joka kuvassa 25 on esitetty voimaviivoina tarkastettavan kappaleen poikkipinnassa. Kun kappaleessa ei ole vikoja, pysyy tämä aikaansaatu magneettinen vuo kappaleen sisällä.

Jos kuitenkin magneettivuon eteen tulee vian tai kappaleen geometrian takia este, osa vuosta kulkee vian läpi, osa ali ja osa vuotaa ulos, eli ohittaa vian ilman kautta muodostaen vian kohdalle vuotokentän (kuva 26). Syntyneellä vuotokentällä on tarkastettavaan kappaleen magneettikenttään nähden vastakkainen napaisuus eli se toimii tavallaan pienoismagneettina. Tätä ilmiötä hyväksikäytetään vikakohtien havaitsemiseen. (21, s. 2 osa IV; 27, s. 1.)

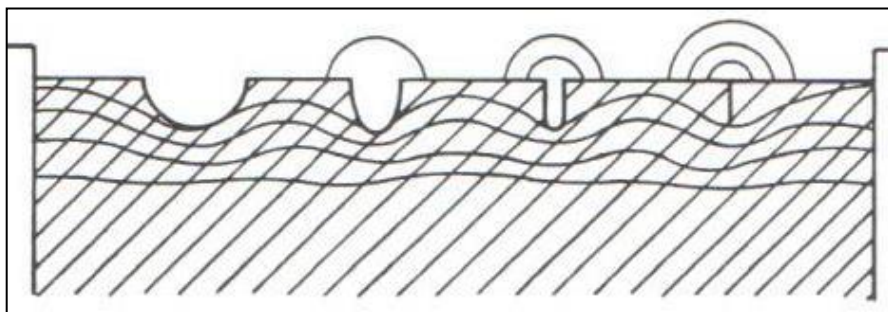


Kuva 26. Vasemmalla, magneettivuon kulku kappaleessa, jonka pinnalla on särö, oikealla vuon kulku kappaleessa jossa on särö ja sisäinen virhe (1, s. 32; 3, s. 20).

Kun tarkastettavan kappaleen pintaan tämän jälkeen sirotellaan rautaoksidihiuksia, saadaan tarkastettavassa kappaleessa olevat viat ja epäjatkuvuuskohdat näkyviin niihin muodostuvan hiukkaskasauman, eli indikaatioiden, johdosta. Eli muodostunut indikaatio kertoo vikakohtien muodon, sijainnin ja myös osittain laajuuden. (21, s. 2 osa IV; 27, s. 1.)

Vikakohtien muodolla on suuri merkitys sille, kuinka suuren vuotokentän se muodostaa, millä vuorostaan on todella suuri merkitys magneettijauhetarkastuksen onnistumiselle. Mitä teräväpohjaisempi kappaleessa oleva vika on, sitä tehokkaammin se katkaisee magneettisen vuon ja siten muodostaa voimakkaamman vuotokentän (kuva 27).

(27, s. 1)



Kuva 27. Vikakohtien muodon vaikutus vuotokentän suuruuteen (27, s. 1).

Indikaatioiden havaittavuutta voidaan parantaa aikaansaamalla taustan ja hiukkasten välille mahdollisimman suuri kontrasti. Saavuttaakseen mahdollisimman suuren kontrastin, käytetään magneettijauhetarkastuksissa joko fluoresoivaa tai värillistä menetelmää. Värillisessä menetelmässä kappale maalataan ohuella vaalealla kontrastivärillä ja käytetään värillisiä rautahiukkasia ja fluoresoivassa menetelmässä ei tarvita kontrastiväriä vaan käytetään fluoresoivia rautahiukkasia. Tähän ilmiöön perustuu magneettijauhetarkastuksen erinomainen kyky löytää hyvin kapeita ja pieniä vikoja. (5, s. 257–258; 21, s. 2 osa IV.)

6.2 Tarkastusaineet ja kontrastiväri

Magneettijauhetarkastuksessa käytettävät tarkastusaineet ovat erityyppisiä. Tarkastusaineet voivat olla joko kuivia, jolloin käytetty tarkastusmenetelmä on kuivajauhemenetelmä tai nestemäisiä suspensioita, jolloin käytetty menetelmä on märkäjauhemenetelmä. (28, s. 22.)

Molemmissa, sekä kuivajauhemenetelmässä että märkäjauhemenetelmässä, voidaan käyttää joko värillistä tarkastusainetta, jolloin käytössä on värillinen menetelmä, tai fluoresoitua tarkastusainetta, jolloin käytössä on fluoresoivan menetelmä (27, s. 1; 29, s. 16).

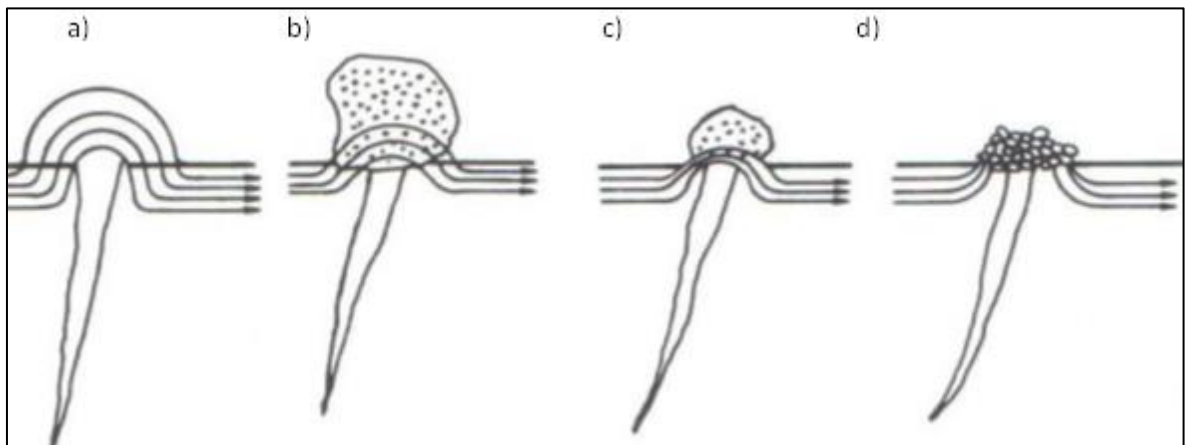
Kontrastivärillä, josta myös jossain yhteyksissä on käytetty nimitystä peittoväri, on kaksi pääasiallista tehtävää. Ensimmäinen, ja ehdottomasti tärkein tehtävä, on toimia optisen kontrastin parantajana, kun käytetään värillisiä tarkastusaineita. Kontrastivärin toinen tehtävänä on toimia tarkastettavan kappaleen pintaa tasoittavana aineena, koska pienentynyt kitka tarkastettavan kappaleen pinnan ja tarkastusaineen välillä auttaa indikaatioiden muodostusta. (27, s. 10.)

6.2.1 Tarkastusaineet

Magneettijauhe, jota käytetään tarkastusaineena magneettijauhetarkastuksissa, valmistetaan yleensä joko rautaoksidista, hematiitista, magnetiitista tai puhtaasta karbonyyli-raudasta. Tarkastusaineen hyvyyteen vaikuttavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi jauheen väri, erityisesti tarkastettavan pinnan ja jauheen kontrastin suuruus, jauheen magneettiset ominaisuudet ja raekoko. (27, s. 16.)

Käytettäessä värillistä menetelmää, voidaan jauhe tarpeen niin vaatiessa värjätä sopivalla värillä, jotta saavutetaan tarpeeksi suuri kontrastiero jauheen ja tarkastettavan kappaleen pinnalla olevan kontrastivärin välille. Vuorostaan käytettäessä fluoresoivan menetelmää, värjätään jauhe fluoresoivalla epämagneettisella aineella, jolloin vikakohdat loistavat keltavihreinä UV-valossa tarkastettavan kappaleen pinnalla eikä erillistä kontrastiväriä tarvita. (27, s. 16.)

Käytettävän magneettijauheen raekoko vaikuttaa huomattavasti tarkastuksen tulokseen, koska vuotokenttään kerääntyy parhaiten jauhetta, jonka raekoko on samaa koluokkaa vikakohdan, esimerkiksi särön, leveyden kanssa. Vikakohdan leveyttä pienemmät rakeet eivät muodosta helposti siltaa vikakohdan yli ja vikakohdan leveyttä suuremmat rakeet eivät puolestaan painonsa takia pysy muodostuneessa vuotokentässä (kuva 28). Koska tarkastusta aloitettaessa ei voida tietää kuinka suuria vikakohtia tarkastettavasta kappaleista löytyy, käytetään tarkastuksessa jauhetta, joka on eri raekokojen sekoitus, standardissa SFS-EN ISO 9934-2 on määritelty tarkemmin raekokojen seossuhteet. Käytettäessä kuivajauhemenetelmää on käytetty raekoko 40–100 mikrometriä, ja vuorostaan märkäjauhemenetelmässä käytetty raekoko on yleensä 1-5 mikrometriä. (27, s. 16.; 30, s. 6)



Kuva 28. Erikokoisten rakeiden sillanmuodostamismekanismit, a) magneettinen vuotokenttä, b) liian suuri raekoko, c) optimaalinen raekoko, d) liian pieni raekoko (27. s. 16).

Kuten aiemmin on mainittu, voidaan magneettijauhetarkastus suorittaa käyttämällä, joko kuivaa magneettijauhetta tai magneettijauheen ja kantajannesteen muodostamaa suspensiolta.

Kun tarkastettava kappale on saatettu valmiiksi tarkastusta varten, tulee tarkastusaine levittää välittömästi ennen magnetoitua käytettäessä remanenssimenetelmää tai jos käytetään jatkuvaa menetelmää, magnetoinnin aikana. Tarkastusaineen levittämisen jälkeen ennen magnetoimisen lopettamista, tai itse tarkastukseen ryhtymistä, tulee antaa riittävästi aikaa indikaatioiden muodostumista varten. (28, s. 16; 29, s. 24.)

Käytettäessä kuivajauhemenetelmää, levitetään tarkastusaine tarkastettavan kappaleen pinnalle sellaisella tavalla, joka häiritsee mahdollisimman vähän indikaatioiden muodostumista tarkastettavan kappaleen pinnalle. Tällaisia menetelmiä voivat olla esimerkiksi tarkastusaineen levittäminen sumuttamalla tai pölyttämällä. (27, s. 16; 28, s. 16; 29, s. 24.)

Vuorostaan käytettäessä märkää menetelmää, voidaan magneettijauhesuspensio, joka on magneettijauheen ja kantonesteen, esimerkiksi veden, puhdistetun petrolin, kristalliöljyn tai muun öljyn muodostama suspensio, levittää tarkastettavan kappaleen pintaan esimerkiksi ruiskuttamalla, huuhtelemalla tai erilaisilla sumutepulloilla sumuttamalla. Tarkastuksen aikana magneettijauhesuspension annetaan varovasti valua pitkin tarkastettavan kappaleen pintaan siten että hiukkaset voivat muodostaa indikaation viikakohtiin. Suorittaessa tarkastusta tulee kuitenkin huomioida, ettei magneettijauhesuspension anneta valua liian voimakkaasti, ettei se huuhtelee indikaatioita kappaleen pinnalta pois. (27, s. 17; 28, s. 16.)

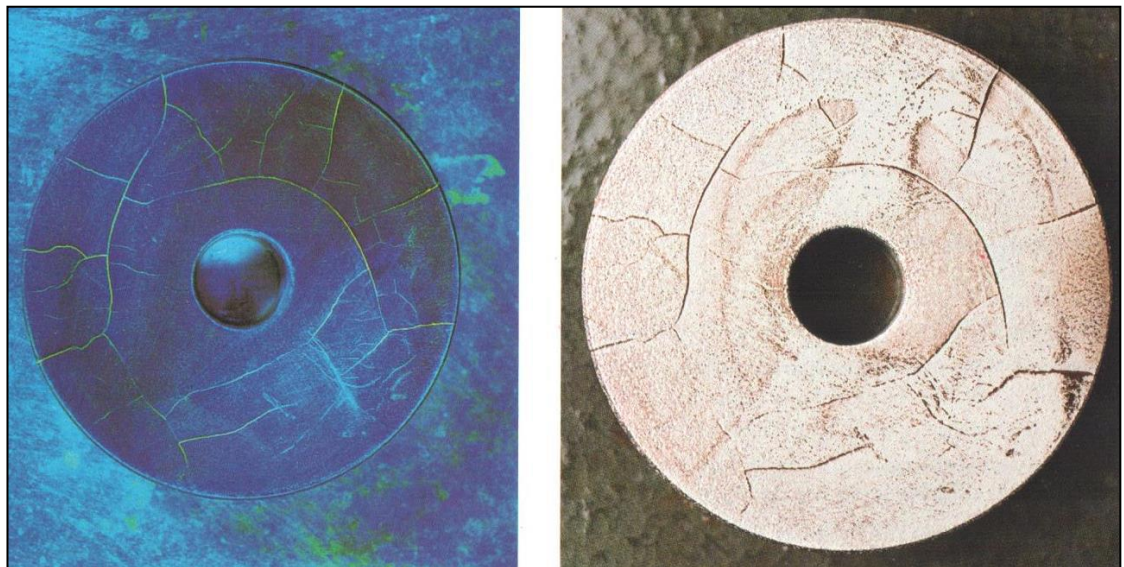
6.2.2 Tarkastusaineen valinta

Valittaessa magneettijauhetarkastukseen käytettävää tarkastusainetta, tulee valinta tehdä ensin käytetäänkö kuivajauhemenetelmää vai märkäjauhemenetelmää. Kun on tehty päätös kumpaa edellä mainitusta menetelmistä käytetään, voidaan seuraavaksi päättää käytetäänkö värillistä menetelmää vai fluoresoivaa menetelmää.

Magneettijauhetarkastuksissa kuivajauhemenetelmä on huomattavasti vähemmän käytetty kuin märkäjauhemenetelmä menetelmän selvästi huonomman erottelukyvyn johdosta. Huonompi erottelukyky johtuu lähinnä tarkastusaineen suuremmasta raekoosta. Kuivajauhemenetelmän hyviin puoliin lukeutuu se, että sillä saadaan selvemmin näkyviin vikoja jotka eivät sijaitse kappaleen pinnassa. Kuivajauhemenetelmää voidaan käyttää myös sellaisten kohteiden tarkastuksessa, joiden lämpötila ylittää märkäjauhemenetelmän suurimman sallitun lämpötilan tai jos kappaleen pinta ei ole, esimer-

kiksi kemiallisesti yhteensopiva magneettijauhesuspension kanssa. Vuorostaan jos käytetään märkäjauhemenetelmää, mikä on selvästi enemmän käytetty menetelmä, saavutetaan tarkastuksessa selvästi parempi pintavirheiden havaitsemisten tarkkuus. (21, s. 4-5 osa IV; 27, s. 16; 29, s. 28.)

Seuraavaksi tulee valita, käytetäänkö värillistä menetelmää vai fluoresoivaa menetelmää. Värillisen menetelmän tarkkuus on pienempi kuin fluoresoivan menetelmän. Fluoresoivan menetelmän parempi tarkkuus aiheutuu paremmasta kontrastista fluoresoivan indikaation ja tumman taustan välillä (kuva 29), eli parempi tarkkuus ei perustu magneettisiin ilmiöihin. Fluoresoivan menetelmän tarkkuus kuitenkin huononee, jos tarkastettavan kappaleen pinnankarheus kasvaa. Tämä johtuu siitä, että fluoresoivalla aineella käsitelty magneettijauhe tarttuu pinnassa oleviin epätasaisuuksiin aiheuttaen häiritsevän taustafluoresenssin, joka saattaa hävittää varsinaiset indikaatiot. Käytettäessä värillistä menetelmää, ei tarvita erillistä UV-valoa toisin kuin fluoresoivassa menetelmässä, vaan tullaan toimeen normaalissa valaistuksessa. (27, s. 8; 29, s. 28.)



Kuva 29. Vertailu vasemmalla olevan fluoresoivan menetelmän ja oikealla olevan värillisen menetelmän välillä. Tarkastus tehty erilliseen kalibrintikappaleeseen. (27, s. 8.)

6.2.3 Kontrastiväri

Kontrastiväri on yleensä väriltään vaalea, ohut ja nopeasti kuivuva maali, jonka väriaineena yleensä käytetään titaanidioksidia. Yleisin kontrastivärin levitysmenetelmä on suihkuttaminen spraypullosta, jolloin saadaan ohut ja tasainen kerros kontrastiväriä tarkastettavan kappaleen pinnalle. Joissain tapauksissa kontrastiväri voidaan levittää

kappaleen pinnalle myös sivelemällä, mutta sivelemällä levitettynä kontrastivärikerros on selvästi epätasaisempaa, jolloin kontrastivärin pintaa tasoittava vaikutus käytännössä menetetään. (27, s. 10.)

Kun magneettijauhetarkastus on suoritettu, poistetaan kontrastivärikerros tarkastettavan kappaleen pinnalta. Tämän takia kontrastivärinä käytettävä maali on tehty helposti poistettavaksi. Yleensä poistamiseksi riittää kevyt harjaus, esimerkiksi teräsharjalla tai joskus poistokeinoksi riittää paineilmalla puhaltaminen. Jos tarkastettavan kappaleen pinta on ominaisuuksiltaan sellainen, ettei voida käyttää esimerkiksi teräsharjaa, joudutaan tällöin käyttämään erillistä värinpoistoainetta. (27, s. 10.)

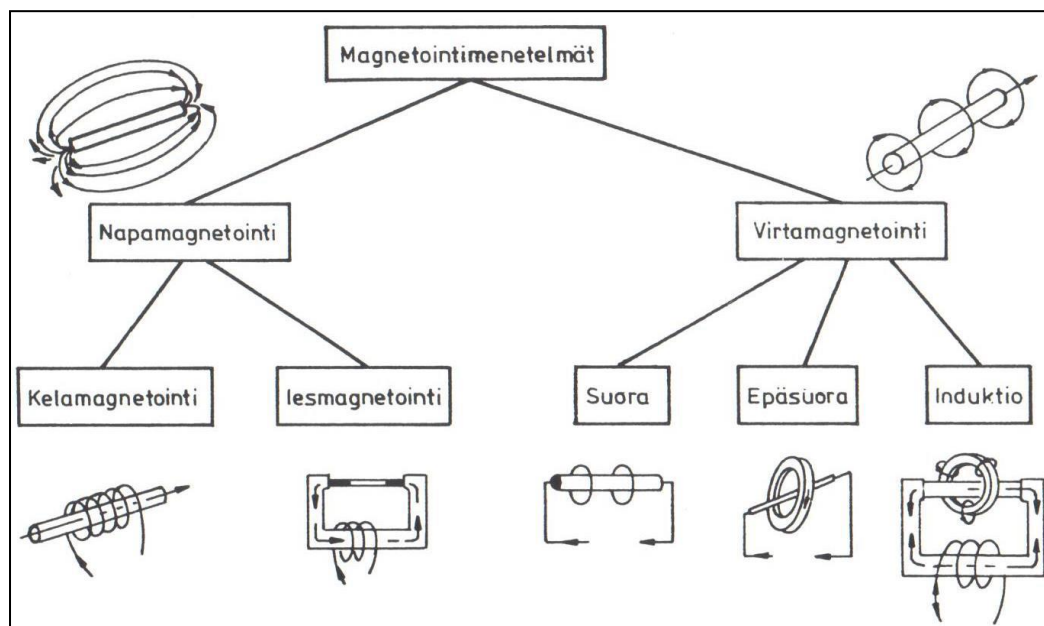
6.3 Magnetointi

Kun tarkastettava kappale magnetisoidaan, aikaansaadaan siihen magneettinen vuo. Tähän ilmiöön perustuu koko magneettijauhetarkastus.

Magnetointi voidaan suorittaa joko kestopagneetin tai sähkövirran avulla. Sähkövirtaa käytettäessä voidaan käyttää joko kelamagnetointia tai virtamagnetointia. Käytettävä sähkövirta voi olla joko tasavirtaa tai vaihtovirtaa. (27, s. 10.)

Nykyään tarkastettavien kappaleiden magnetointi suoritetaan ylivoimaisesti useimmin käyttämällä vaihtovirralla toimivia sähköisiä magneetoimislaitteita, koska käyttämällä vaihtovirtaa saavutetaan myöhemmin tarkemmin kerrottuja etuja. Kestomagneettia voidaan käyttää edelleenkin paikoissa, jossa ei ole sähkövirtaa käytettävissä tai esimerkiksi suljetuissa palovaarallisissa tiloissa. (27, s. 10; 29, s. 10.)

Syntyneen magneettikentän mukaan voidaan magnetointimenetelmät jakaa kahteen pääryhmään, virtamagnetointiin ja napamagnetointiin josta käytetään standardeissa nimitystä vuomagnetointi (kuva 30). Käytettäessä napamagnetointia polarisoituu koko tarkastettava kappale ja käyttäytyy siten kestopagneetin tavoin. Vuorostaan taas virtamagnetoinnin yhteydessä pysyy magneettikenttä tarkastettavan kappaleen sisällä, eikä näin ollen ilmene kestopagneeteille tyypillistä napaisuutta, pois lukien mahdollisten vikakohtien muodostamat vuotokentät. (27, s. 10.)



Kuva 30. Magnetointimenetelmät, syntyvän kentän mukaan jaoteltuna (27, s. 11).

Toinen tapa jakaa magnetointimenetelmät on käyttää magnetointikentän vaikutusai-
 kaa. Tätä jakotapaa käytettäessä voidaan menetelmät jakaa jatkuvaan menetelmään ja
 remanenssimenetelmään. Käytettäessä jatkuvaa menetelmää levitetään tarkastusaine
 magnetointilaitteen ollessa toiminnassa. Vuorostaan jos käytetään remanenssimene-
 telmää, silloin tarkastettava kappale magnetoidaan esimerkiksi suurella virtapulssilla,
 jolloin kappaleeseen jää huomattava jäännösmagnetismi, jonka jälkeen sen pinnalle
 levitetään tarkastusaine. Remanenssimenetelmää käytettäessä tulee tarkastettavan
 kappaleen olla sellaista materiaalia, jossa luonnostaan on voimakas jäännösmagnetis-
 mi tai siihen on tehtävissä helposti voimakas jäännösmagnetismi. Näistä kahdesta me-
 menetelmästä jatkuva menetelmä on selvästi yleisempi. (27, s. 10.)

6.3.1 Yleiset vaatimukset

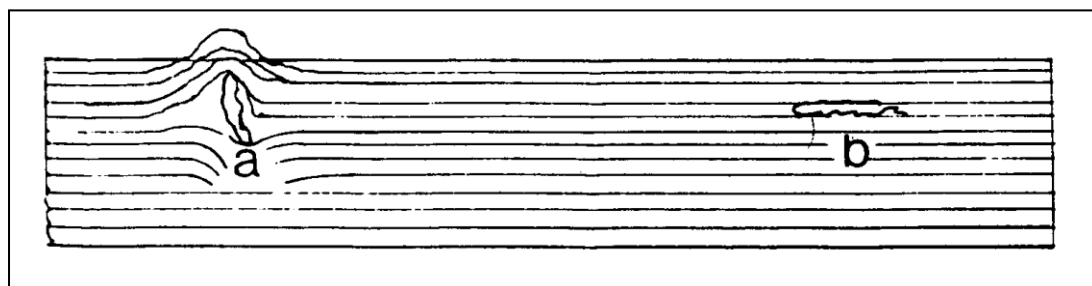
Standardissa SFS-EN ISO 9934-1 määritellään vähimmäisarvot magneettivuon tihey-
 delle ja magneettikentän voimakkuudelle, jolla tarvittava magneettivuon tiheys saavu-
 tetaan niukkaseoksilla tai seostamattomilla teräksillä, tällaisilla teräksillä on korkea
 permeabiliteetti. Magneettivuon tiheyden on oltava tarkastettavan kappaleen pinnassa
 vähintään 1 tesla. Tarvittavaan magneettivuon tiheyteen päästään, kun magneettiken-
 tän voimakkuus on 2 ... 6 kA/m. Käytettäessä toisenlaisia, permeabiliteetin omaavia
 teräslajeja, voidaan käyttää suurempaa magneettikentän voimakkuutta. Tulee kuiten-
 kin varmistaa ettei käytetä liian voimakasta magnetointia, koska tällöin saattaa taus-

tasta ilmaantua valeindikaatioita ja todelliset indikaatiot voivat jäädä näiden peittoon. (28, s. 8; 29, s. 12.)

Ennen magneettijauhetarkastukseen ryhtymistä, tulee magneettikentän riittävä voimakkuus todeta vähintään yhdellä, mutta mieluummin useammalla alla standardeissa SFS-EN ISO 9934-1 ja SFS-EN ISO 17638 esitetystä tavoista (28, s. 10; 29, s. 12.):

- Käyttämällä testikappaletta, jossa on keinotekoisia tai luonnollisia virhekohtia niin epäedullisissa kohdissa kuin mahdollista.
- Mittaamalla magneettikentän voimakkuus niin läheltä tarkastettavan kappaleen pintaa kuin mahdollista, käyttäen Hall-anturia.
- Laskemalla likimääräisesti tarvittavan virran määrä, jolla saavutetaan suositeltu magneettikentän voimakkuus. Tarvittavia laskukaavoja esitetään työn myöhemmässä vaiheessa.
- Käyttämällä muita menetelmiä, jotka perustuvat vakiintuneisiin periaatteisiin.

Tarkastettavassa kappaleessa mahdollisesti olevien vikakohtien havaittavuus riippuu magneettikentän suunnasta vikakohtien suuntaan nähden (kuva 31). Tämän ilmiön johdosta pitää tarkastettavat kappaleet magnetoida kahdesta toisiinsa kohtisuoraan olevasta suunnasta. Mikäli kappaleen muodosta tai muusta syystä ei ole mahdollista suorittaa magnetointia täysin kohtisuorassa voidaan kohtisuorasta suunnasta poiketa enintään 30 °. (29, s. 14.)

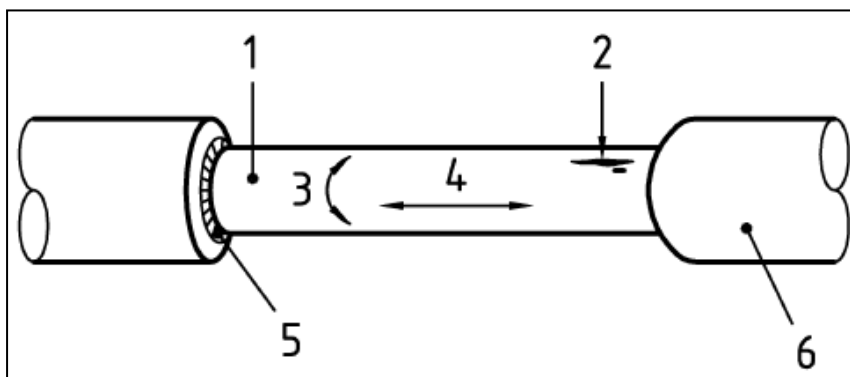


Kuva 31. Kappaleessa oleva virhe a) voidaan havaita magneettijauhetarkastuksessa, mutta virhettä b) ei (31, s. 187).

6.3.2 Virtamagnetointimenetelmät

Virtamagnetointimenetelmiä ovat suora virtamagnetointi, kohtiomagnetointi ja induktiomagnetointi (28, S. 12).

Suorassa virtamagnetoinnissa kulkee virta tarkastettavan kappaleen läpi (kuva 32). Paras tarkastusherkyys saadaan virran suuntaisien virheiden osalta. Käytettäessä suoraa virtamagnetointia tulee kiinnittää huomiota seuraaviin vaaratekijöihin, kipinäntointi ja pinnan palaminen niistä kohdista, joista virta syötetään tarkastettavaan kappaleeseen, sekä tarkastettavan kappaleen voimakas lämpeneminen. (28, s. 12.)



Kuva 32. Suora virtamagnetointi. 1) tarkastuskohde, 2) särö, 3) vuo, 4) virta, 5) kosketuskohta ja 6) kiinnityspää (28, s. 22).

Tarkastuksessa tarvittava likimääräinen virta saadaan kaavasta: (28, s. 28.)

$$I = H \times p$$

(1.)

I = virta ampeereina, A

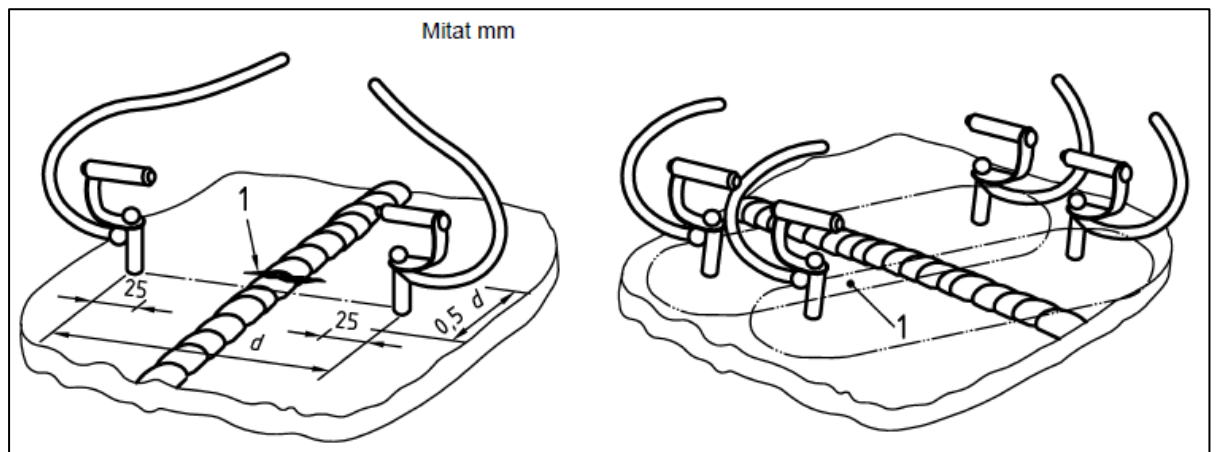
H = tarvittava magneettikentän voimakkuus, kA/m

p = tarkastettavan kappaleen ympäröimä millimetreinä

Kohtiomagnetoinnissa magnetointivirta johdetaan tarkastettavan kappaleen läpi joko kiinnipuristettujen kohtioiden tai käsikohtioiden kautta (kuva 33). Tällaisella järjestelyllä voidaan magnetoida vain pienempi osa suuremmalta pinnalta. Tarkastusta suoritettaessa tulee kuitenkin huomioida määrätty tarkastusjärjestys ja alueiden päällekkäi-

syys, jotta varmistetaan koko tarkastettavan alueen huolellisesta tarkastuksesta. Kuvassa 32. esimerkki tällaisesta päällekkäisyydestä. (28, s. 12.)

Myös kohtiomagnetoinnissa paras tarkastusherkyys saadaan virran suuntaisien virheiden osalta. Lisäksi myös käytönaikaiset vaaratekijät, joihin tulee kiinnittää huomiota, ovat samoja kuin suorassa virtamagnetoinnissa. Eli kipinöinti ja pinnan palaminen kohdista, mistä virta syötetään kohtioiden avulla tarkastettaviin kappaleisiin, sekä tarkastettavan kappaleen voima lämpeneminen. (28, s. 12.)



kuva 33. Kohtiomagnetointi. Vasemmalla 1) särö. Oikealla 1) esimerkki päällekkäisyydestä (28, s. 22).

Kuvassa 32 olevan suorakaiteen alueen $[0,5 d \times (d - 50 \text{ mm})]$ tarkastuksessa tarvittava likimääräinen virta saadaan kaavasta: (28, s. 28.)

$$I = 2,5 \times H \times d$$

(2.)

I = virta ampeereina, A

H = tarvittava magneettikentän voimakkuus, kA/m

d = kohtioiden etäisyys millimetreinä

Yllä oleva kaava on pätevä kun d on ≤ 200 millimetriä (28, s. 28).

Jos ajatellaan kohtioiden rajaavan alueen olevan ympyrä, pois lukien alueet jotka ovat 25 millimetrin etäisyydellä kohtioista, tulee käyttää kaavaa: (28, s. 28.)

$$I = 3 \times H \times d$$

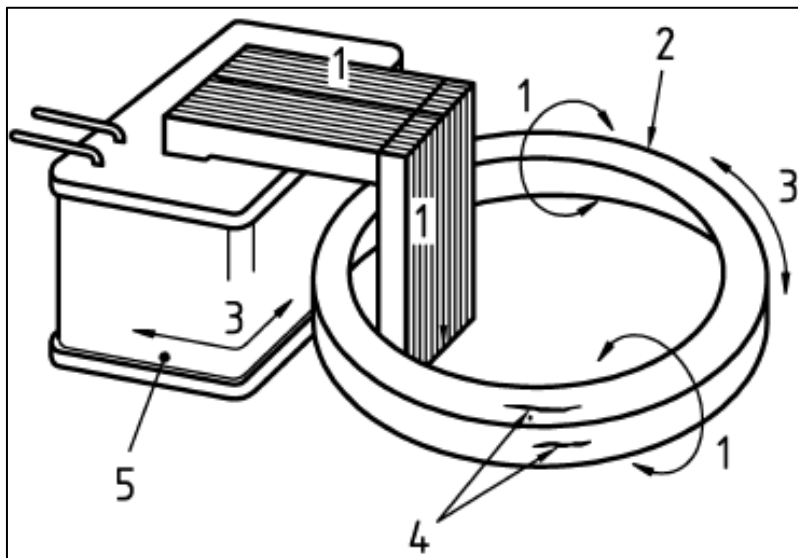
(3.)

I = virta ampeereina, A

H = tarvittava magneettikentän voimakkuus, kA/m

d = kohtioiden etäisyys millimetreinä

Induktiomagnetoinnissa virta saadaan renkaan muotoiseen tarkastettavaan kappaleeseen indusoimalla siten, että tarkastettava kohde muodostaa käytännössä muuntajan toisiopiirin (kuva 34) (28, s. 12).



Kuva 34. Induktiomagnetointi. 1) vuo, 2) tarkastuskohde, 3) virta, 4) särö, 5) muuntajan ensiökela (28, s. 24).

Tarkastuksessa tarvittava likimääräinen virta saadaan kaavasta: (28, s. 28.)

$$I_{ind} = H \times p$$

(4.)

I_{ind} = virta ampeereina, A

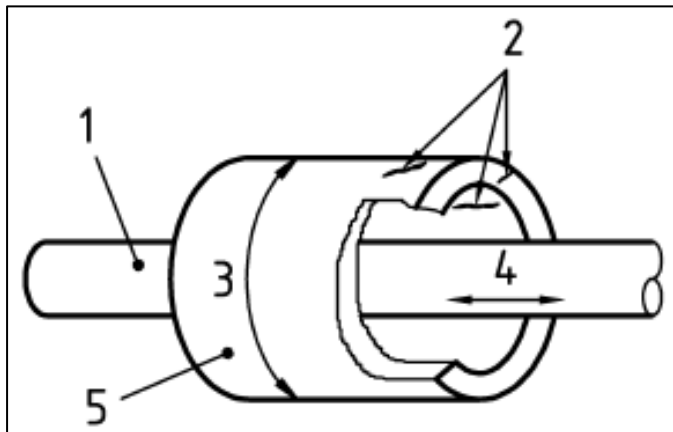
H = tarvittava magneettikentän voimakkuus, kA/m

p = tarkastettavan kappaleen ympärysmitta millimetreinä

6.3.3 Napa- eli vuomagnetoitimenetelmät

Napa- eli vuomagnetoitimenetelmiä ovat apujohdinmagnetointi, viereisjohdinmagnetointi, magnetointi kiinteässä magnetoitipenkissä, iesmagnetointi, magnetointi kiinteällä kelalla ja magnetointi taipuisalla kelalla (28, s. 12–14).

Apujohdinmagnetoinnissa johdetaan virta tarkastettavaan kappaleeseen taipuisan kaapelin tai eristetyn tangon läpi (kuva 35). Taipuisa kaapeli tai eristetty tanko asetetaan tarkastettavassa kohteessa olevaan aukkoon tai reikään kuvan 35 mukaisesti. Paras tarkastusherkkyys saadaan virran suuntaisien virheiden osalta. (28, s. 12–14.)



Kuva 35. Apujohdinmagnetointi. 1) apujohdin, 2) säröt, 3) vuo, 4) virta, 5) tarkastettava kohde (28, s. 24).

Tarkastuksessa tarvittava likimääräinen virta saadaan kaavasta: (28, s. 30.)

$$I = H \times p$$

(5.)

I = virta ampeereina, A

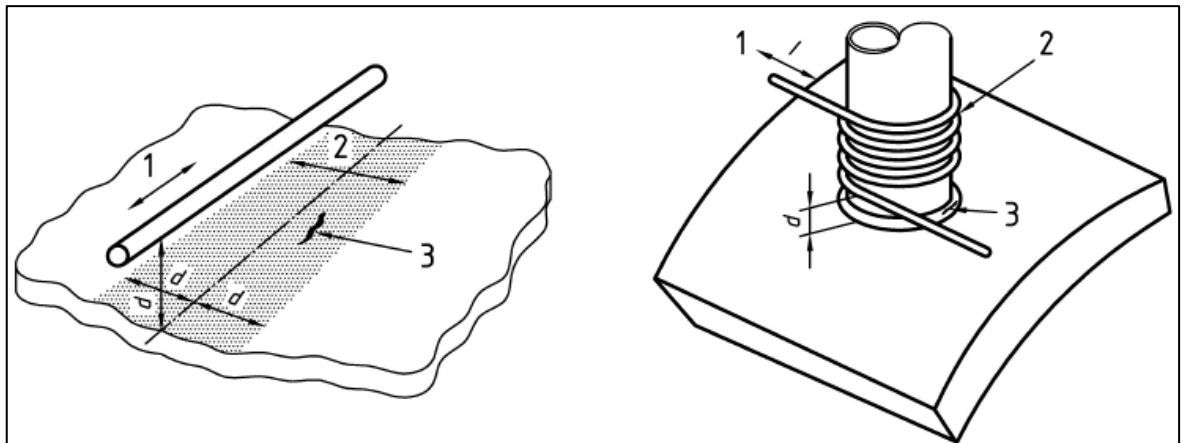
H = tarvittava magneettikentän voimakkuus, kA/m

p = tarkastettavan kappaleen ympärysmitta millimetreinä

Jos tarkastettava kohde on putki, tai muu vastaava ontto kappale, tulee tarvittava virran määrä laskea käyttäen ulkohalkaisijan mittoja jos tarkastetaan kappaleen ulkopintaa. Sisähalkaisijan mittoja käytetään silloin, jos tarkastetaan kappaleen sisäpintaa. (28, s. 30.)

Jos kuitenkin apujohdin, taipuisa kaapeli tai eristetty tanko, ei kulje tarkastettavassa kappaleessa olevan aukon tai reiän keskellä, eli käytetään niin sanottua epäkeskeistä apujohdinmagnetointia, tulee magneettikentän riittävä voimakkuus varmistaa mittamalla esimerkiksi käyttäen Hall-mittaria (28, s. 14).

Viereisjohdinmagnetoinnissa johdetaan virta tarkastettavaan kappaleeseen yhtä, tai useampaa, eristettyä virtaa johtavaa johdinta pitkin. Johdin, tai johtimet, asetetaan tarkastettavan kohteen pinnan kanssa yhdensuuntaisesti lähelle aluetta joka halutaan tarkastaa. Lisäksi johdin, tai johtimet, tuetaan tietylle etäisyydelle d tarkastettavan kappaleen pinnasta (kuva 36). (28, s. 14.)



Kuva 36. Vasemmalla viereisjohdinmagnetointi suoralla johtimella. 1) virta, 2) vuo, 3) särö. Oikealla viereisjohdinmagnetointi taipuisalla kaapelilla. 1) virta, 2) n kpl kierroksia, 3) särön suunta. (28, s. 24.)

Viereisjohdinmagnetoinnissa on virtaa tuova johdin, tai johtimet, kuljettava lähellä tarkastettavaa kohtaa. Johdin josta virta poistuu tarkastettavasta kappaleesta, tulee kulkea mahdollisimman kaukaa alueesta, joka aiotaan tarkastaa. Etäisyyden on kuitenkin oltava vähintään $10 \times d$ (kuva 36.). Alueen leveys jota tarkastetaan on $2 \times d$ (kuva 35.). (28, s. 14.)

Tarkastus suoritetaan liikuttamalla johdinta, tai johtimia, tarkastettavan kohteen yli siirtämällä niitä jaksoittain sivuttaisessa suunnassa, kunnes koko tarkastettava alue on saatu katettua. Kerrallaan liikutettu siirtymä on oltava pienempi kuin $2 \times d$ (kuva 35.),

tällöin voidaan varmistaa että tarkastettavat alueet ovat tarpeeksi limittäin toistensa kanssa, jotta saavutetaan varmasti kattava tarkastus. (28, s. 14.)

Tarkastuksessa tarvittava likimääräinen virta saadaan kaavasta: (28, s. 30.)

$$I = 4 \times \pi \times d \times H$$

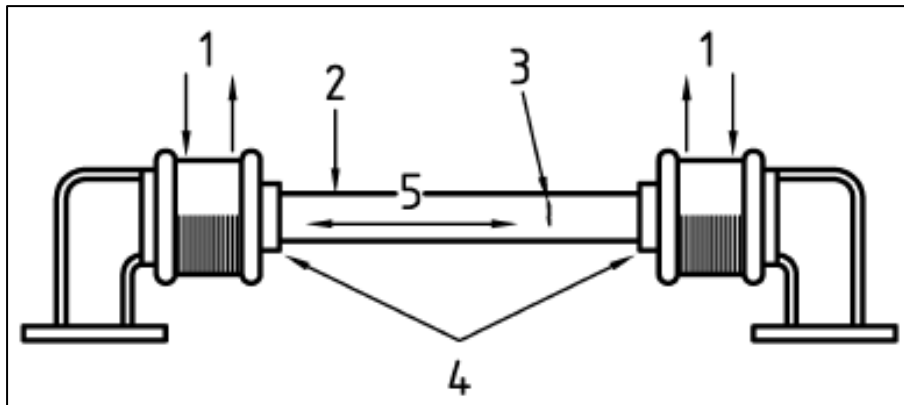
(6.)

I = virta ampeereina, A

H = tarvittava magneettikentän voimakkuus, kA/m

d = johtimen etäisyys tarkastettavan kappaleen pinnasta millimetreinä

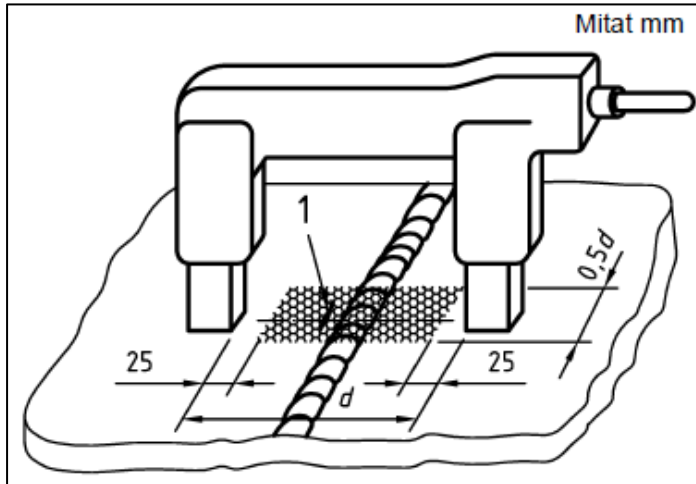
Tarkastettava kappale, tai osa siitä, magnetoidaan kiinteässä magnetointipenkissä asettamalla tarkastuskohde, tai osa siitä, kiinteästi kosketuksiin magnetointipenkissä sijaitseviin sähkömagneetin napoihin (kuva 37) (28, s. 14).



Kuva 37. Magnetointi kiinteässä magnetointipenkissä. 1) virta, 2) tarkastettava kohde, 3) säro, 4) magneettinavat, 5) vuo (28, s. 26).

Koska kiinteässä magnetointipenkissä tarkastetaan hyvin monen muotoisia ja kokoisia kappaleita, ei ole tarkoituksenmukaista antaa edes likimääräistä sopivan magnetointivirran laskukaava, vaan riittävä magneettikentän voimakkuus tulee varmistaa mittaamalla esimerkiksi Hall-mittarilla (28, s. 14).

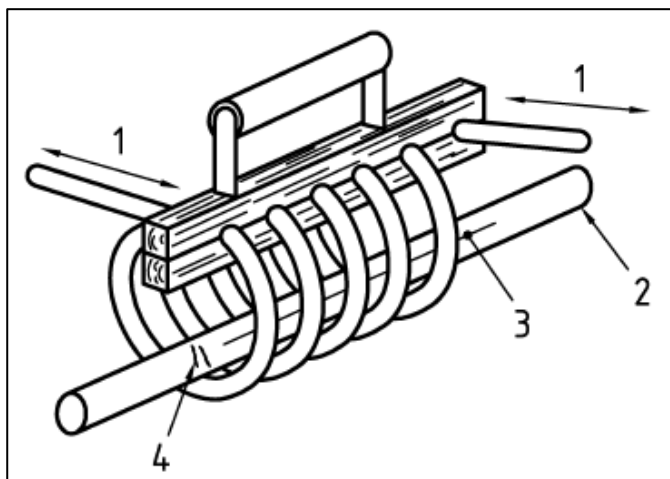
Iesmagnetoinnissa tarkastettava kappale, tai alue, magnetoidaan asettamalla ieksen, eli sähkömagneetin, navat kosketuksiin tarkastettavan kohteen pinnan kanssa. Tarkastettava alue on ympyrä, joka rajoittuu ieksen napojen väliin pois lukien alueet välittömästi napojen läheisyydessä (kuva 38). (28, s. 14.)



Kuva 38. Iesmagnetointi. 1) särö (28, s. 26).

Myöskään iesmagnetointiin ei ole annettu edes likimääräistä tarvittavan magnetointivirran laskukaava, joten myös tässä menetelmässä riittävä magneettikentän voimakkuus tulee varmistaa mittaamalla esimerkiksi Hall-mittarilla (28, s. 14).

Magnetoidaessa kiinteällä kelalla asetetaan tarkastettava kappale kelaan, joka johtaa virtaa (kuva 39). Kun tarkastettava kappale on virtaa johtavassa kelassa, magnetoituu se kelan akselin suuntaisesti kuvan 39 mukaisesti. Paras tarkastusherkyys saadaan vikakohdille, jotka ovat kelan akselin suhteen kohtisuorassa. (28, s. 14.)



Kuva 39. Magnetointi kiinteällä kelalla. 1) virta, 2) tarkastettava kohde, 3) vuo, 4) säröjä (28, s. 26).

Tarkastuksessa tarvittava likimääräinen virta sekä kelassa tarvittavien johdinten tehollinen kierrosmäärä saadaan kaavasta: (28, s. 30–32.)

$$NI = \frac{0,4 \times H \times K}{L/D}$$

(7.)

I= virta ampeereina, A

N= tehollisten johdinkierrosten määrä

H= tarvittava magneettikentän voimakkuus, kA/m

K= vakioarvo, vaihtovirralla ja kokoaaltotasasuunnatulle vaihtovirralla 22 000, puoliaaltosuunnatulle vaihtovirralla 11 000

L= tarkastettavan kappaleen pituus millimetreinä

D= tarkastettavan kappaleen halkaisija millimetreinä jos kappale on ympyränmuotoinen, muissa tapauksissa D= ympärysmitta/ π .

Jos pituuden ja halkaisijan suhde (L/D) on ≥ 20 , käytetään laskennassa arvoa 20. Lisäksi tarkastettaessa lyhyitä kappaleita, joiden pituuden ja halkaisijan suhde on pienempi kuin viisi, antaa kaava 7 virralla suuria arvoja. Tällöin tulee käyttää jatkopaloja tarkastettavan kappaleen pidentämiseksi, jolloin saadaan tarvittava virta pienemmäksi. (28, s. 32.)

Jos tiedetään virta ampeereissa, voidaan kaavasta 7 johtaa tehollinen johdinten määrän kaava:

$$N = \frac{\text{Kaavan 7 tulos}}{I}$$

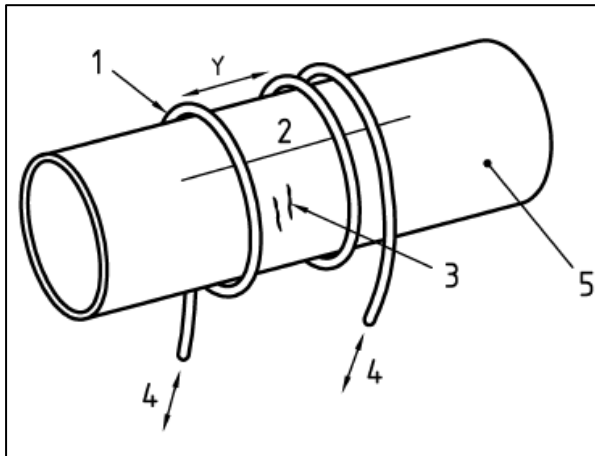
(8.)

Jos vuorostaan tiedetään kelassa olevien tehollinen johdinten määrä, voidaan tarvittava virta laskea:

$$I = \frac{\text{Kaavan 7. tulos}}{N}$$

(9.)

Magnetoitaessa taipuisalla kelalla, kierretään virtaa johtava taipuisa kaapeli tiiviisti tarkastettavan kohteen ympärille, jolloin se muodostaa siihen kelan (kuva 40). Tarkastettavan alueen tulee sijaita kelan muodostavan kaapelin kierrosten välissä kuvan 40 mukaisesti. (28, s. 14.)



Kuva 40. Magnetointi taipuisalla kelalla. 1) eristetty kaapeli, 2) vuo, 3) säröjä, 4) virta, 5) tarkastettava kohde (28, s. 26).

Käytettäessä tasavirtaa tai tasasuunnattua vaihtovirtaa, saadaan tarkastuksessa tarvittava likimääräinen virta kaavasta: (28, s. 32.)

$$I = 3 \times H \times [T + (Y^2/4 \times T)]$$

(10.)

I= virta ampeereina, A

H= tarvittava magneettikentän voimakkuus, kA/m

T= tarkastettavan kappaleen ainepaksuus, akselin säde millimetreinä

Y = tarkastettavalla alueella kelan muodostavien johdinten viereisten kierrosten välinen etäisyys millimetreinä

Käytettäessä vaihtovirtaa, saadaan tarkastuksessa tarvittava likimääräinen virta kaavasta: (28, s. 32.)

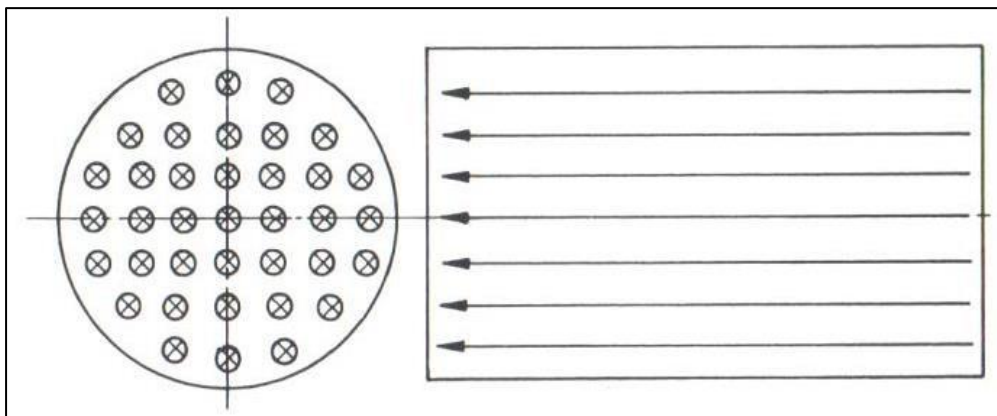
$$I = 3 \times H \times [10 + (Y^2/40)]$$

(11.)

6.3.4 Käytetyn virtalajin vaikutus magnetointiin

Kuten aiemmin mainittu, voidaan tarkastettavan kappaleen magnetointiin käyttää joko tasavirtaa tai vaihtovirtaa. Näistä virtalajeista magneettijauhetarkastuksiin käytetään huomattavasti useimmin vaihtovirtaa. (21, s. 5 osa IV; 27, s. 6-7.)

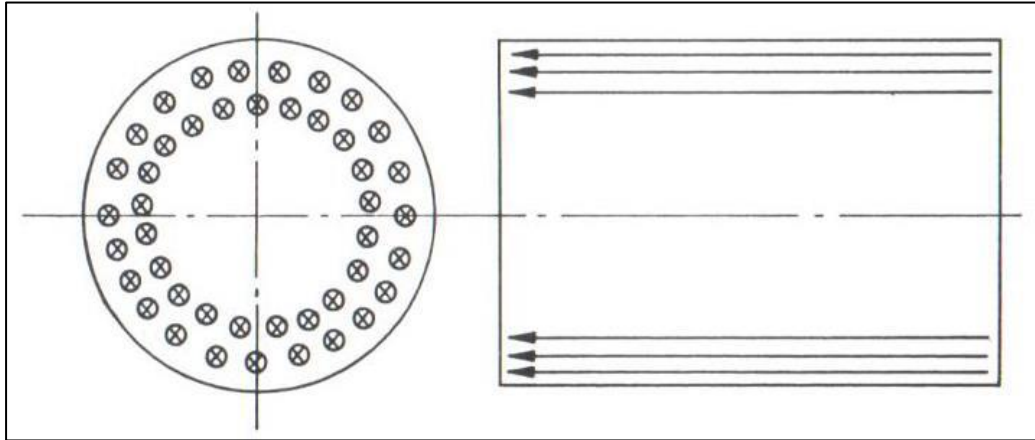
Jos tarkastettavan kappaleen magnetointiin käytetään tasavirtaa, jakautuu aikaansaatu magneettikenttä käytännössä tasaisesti koko kappaleen poikkipinnalle (kuva 41). Koska magneettijauhetarkastuksessa pyritään pääasiallisesti selvittämään tarkastettavassa kappaleessa mahdollisesti olevia pintavikoja, ei tästä ilmiöstä ole varsinaista hyötyä tarkastusta suorittaessa. (27, s. 7.)



Kuva 41. Magneettikentän muodostuminen tasavirtaa käytettäessä (27, s. 7).

Vuorostaan magnetoitaessa tarkastettava kappale vaihtovirralla, jakautuu aikaansaatu magneettikenttä pintaefektin vuoksi lähelle tarkastettavan kappaleen pintaa (kuva 42). Käytännössä tämän ilmiön ansiosta saadaan halutunlainen ja riittävän voimakas magneettikenttä tarkastettavaan kappaleeseen helpommin kuin käytettäessä tasavirtaa. Käytettäessä tasavirtaa tarvitaan vähintään kaksinkertainen virran voimakkuus, jotta

saataisiin samansuuruinen magneettikentän voimakkuus verrattuna vaihtovirtaan. (27, s. 6-7.)



Kuva 42. Magneettikentän muodostuminen vaihtovirtaa käytettäessä (27, s. 7).

6.3.5 Magnetointimenetelmän valinta

Kun valitaan sopivaa magnetointimenetelmää, valintaan vaikuttavia seikkoja ovat, esimerkiksi tarkastettavan kappaleen muoto, koko, olotila ja geometria. Ensimmäiseksi voidaan valita käytetäänkö virtamagnetointia vai napa- eli vuomagnetointia. (27, s. 12.)

Virtamagnetoinnin huonoihin puoliin lukeutuu se, että aina on olemassa huomattava vaara, että tarkastettavan kappaleen ja välineen, jolla magnetointivirta saadaan tarkastettavan kappaleeseen, esimerkiksi kohtioiden, välille syntyy kipinöitä huonon kosketuksen takia. Kipinöitä syntyy varsinkin magnetointia aloitettaessa. Hyviin puoliin virtamagnetoinnissa puolestaan kuuluu että se on erittäin tehokas magnetointitapa, koska magneettikenttä muodostuu itse tarkastettavaan kappaleeseen. (27, s. 12.)

Napa- eli vuomagnetoinnin huonoihin puoliin lukeutuu se, ettei se ole aivan yhtä tehokas magnetointitapa kuin virtamagnetointi, koska magneettikenttä tavallaan pakotetaan tarkastettavaan kappaleeseen ulkoapäin. Hyviin puoliin napa- eli vuomagnetoinnissa kuuluu se, ettei tarkastettavan kappaleen pintaan synny minkälaisia polttojälkiä. Lisäksi tarkastettavista kappaleista ei tarvitse poistaa esimerkiksi maalipintaa kohdistusta, joista magnetointivirta johdetaan tarkastettavaan kappaleeseen. (27, s. 12.)

Kun on valittu, käytetäänkö virtamagnetointia vai napa- eli vuomagnetointia, voidaan päättää käytetäänkö tasavirtaa vai vaihtovirtaa. Joissain tapauksissa magnetointi voi-

daan suorittaa käyttämällä kestmagneettia, jolloin ei tarvitse käyttää minkäänlaista virtaa. Kestomagneettia voidaan käyttää paikoissa, joissa ei ole saatavilla sähkövirtaa tai esimerkiksi suljetuissa palovaarallisissa tiloissa (27, s. 10.)

Tasavirtamagnetoinnin huonoihin puoliin kuuluu sen selvästi huonompi tehokkuus verrattaessa vaihtovirtamagnetointiin. Tasavirtamagnetoinnin etuihin kuuluu, että sillä voidaan saada esiin tarkastettavasta kappaleesta välittömästi pinnan alapuolella esiintyviä vikoja. On kuitenkin huomioitava, että magneettijauh tarkastuksessa pyritään pääasiallisesti etsimään vain pintaan asti ulottuvia vikoja. Jos epäillään tarkastettavassa kappaleissa olevan sisäisiä vikoja, tulisi käyttää muita NDT-menetelmiä, esimerkiksi ultraäänitarkastusta tai radiograafista tarkastusta. Tasavirtamagnetointia voidaan käyttää hyödyksi, jos halutaan käyttää remanenssi menetelmää, koska tasavirralla magnetoitaessa tarkastettavaan kappaleeseen jää huomattavasti enemmän jäännösmagnetismia kuin magnetoitaessa vaihtovirralla. Tästä ilmiöstä on myös haittaa, jos tarkastettava kappale pitää demagnetoida tarkastuksen jälkeen. (27, s. 12–13.)

Vaihtovirtamagnetoinnin hyviin puoliin kuuluu se, että sitä käytettäessä saadaan huomattavasti varmemmin ja helpommin riittävä magneettikentän voimakkuus pintaefektin johdosta. Lisäksi tarkastettavaan kappaleeseen jäävä jäännösmagnetismi on huomattavasti vähäisempää kuin käytettäessä tasavirtamagnetointia. Huonoihin puoliin vaihtovirtamagnetoinnissa kuuluu se, että tarkastettava kappale lämpenee tarkastuksen aikana siihen indusoituneiden pyörrevirtojen johdosta. (27, 13.)

6.4 Tarkastuksen suorittaminen

Magneettijauh tarkastuksen onnistumisen edellytyksenä on että käytettävä laitteisto ja välineet toimivat oikealla tavalla. Laitteiston ja välineiden toiminta voidaan varmistaa suorittamalla kalibrointimenettely tai toimintakoe ennen magneettijauh tarkastuksen aloittamista, jolloin tarkastuksessa käytettyjen tarkastusaineiden, magnetointimenetelmien ja tarkastusohjeiden heikkoudet paljastuvat ennen tarkastusta, eivätkä tarkastuksen aikana. Lisäksi saatu tarkastustulos on näin selvästi luotettavampi kuin ilman kalibrointia tai toimintakoetta. (27, s. 18; 28, s. 18.)

Paras ja luotettavin tapa suorittaa toimintakoe on tehdä magneettijauh tarkastus sellaiselle kappaleelle, jossa on keinotekoisia tai luonnollisia virheitä ja epäjatkuvuuskoh-
tia, joiden koko, sijoitus, tyyppi ja jakauma ovat ennalta tiedossa. Ellei tällaista tarkas-

tuskappaletta ole käytettävissä, voidaan käyttää erilaisia keinotekoisia kalibrointikapaleita, kuten esimerkiksi rako- tai ristityyppisiä vuindikaattoreita. (28, s. 18; 29, s. 24.)

Magneettijauh tarkastuksen suorittamiseen vaikuttaa suuresti käytettäväksi valittu menetelmä. Kaikille menetelmille yhteisiä työvaiheita ovat tarkastettavan kappaleen pinnan valmistelu, tarkastettavan kappaleen magnetointi, valitun tarkastusaineen levittäminen kappaleen pinnalle, saatujen tarkastustulosten arvostelu, tarkastustulosten ja havaittujen virheiden dokumentointi, demagnetointi ja pinnan jälkikäsitteily. Näistä työvaiheista voidaan joissain tapauksissa jättää tarkastettavan kappaleen pinnan puhdistus tai demagnetointi pois. (27, s. 7.)

Jos on valittu käytettäväksi värillistä tarkastusainetta, pitää pinnan puhdistuksen jälkeen levittää kontrastinväri tarkastettavaan kohteeseen, kuten liitteessä 5 on esitetty. Liitteessä 5 on esitetty tarkastuksen päävaiheet käytettäessä värillistä tarkastusainetta. Jos taas on valittu käytettäväksi fluoresoiva tarkastusaine, tapahtuu tulosten tarkastelu UV-valossa, tämä on vuorostaan esitetty liitteessä 6. Liitteessä 6 on esitetty tarkastuksen päävaiheet, kun käytetään fluoresoivaa tarkastusainetta. (27, s. 2-3.)

Molemmista tapauksista eli sekä värillistä että fluoresoivaa tarkastusainetta käytettäessä, voidaan magnetoinnissa käyttää joko jatkuvaa menetelmää tai remanenssimenetelmää. Magnetoinnin lopetusajankohta vaihtelee riippuen siitä, kumpaa menetelmää käytetään. Jatkuvassa menetelmässä tarkastusten tulosten tarkastelu ja dokumentointi suoritetaan magnetointivirran ollessa kytkettynä, kun taas remanenssimenetelmässä kappale magnetoidaan ennen tarkastusaineen levittämistä. Magnetoinnin aloitus- ja lopetusajankohdat on esitetty liitteissä 5-6. (27, s. 2-3.)

6.4.1 Pinnan valmistelu

Tarkastettavan kappaleen pinnan tulee olla puhdas irtonaisesta ruosteesta, liasta, hilseestä, koneistusjäljistä, öljystä, rasvasta, irrallisesta tai paksusta maalista tai ylipäänsä kaikesta vieraista aiheista, joilla voi olla huonontava vaikutus tarkastusherkkyyteen. Kuitenkin epämagneettiset päällysteet, esimerkiksi tarkastettavan kappaleen pinnassa hyvin kiinni oleva ehjä ja ohut maalikerros, eivät yleensä heikennä tarkastusherkkyyttä. Ohuena päällystekerroksena voidaan pitää päällysteitä aina 50 mikrometriin (0,05 millimetriin) asti. (28, s. 8; 29, s. 10.)

Tarkastettavassa kappaleessa mahdollisesti olevien, tai siitä haettavien, vikakohtien koko ja suunta määrittelevät tarkastettavan kappaleen pinnan laatuvaatimukset. Tarkastettavan kappaleen pinta pitää valmistella siten, että todelliset indikaatiot ovat selkeästi irrotettavissa valenäyttämistä. Tarkastettaessa karkeita pintoja tulee ottaa huomioon, että pienin varmasti havainnoitavissa oleva virhe ja pinnan karheus ovat riippuvaisia toisistaan. Helpottaakseen todellisten indikaatioiden erottamista valenäyttämistä, voidaan tarvittaessa tarkastettavan kappaleen pinnan laatua parantaa esimerkiksi paikallisesti hiomapaperilla hiomalla. (27, s. 7; 28, s. 8; 29, s. 10.)

Kun suoritetaan tarkastettavan kappaleen pinnan puhdistusta ja esivalmistelua tulee kuitenkin muistaa, etteivät ne saa vahingoittaa tarkastettavan kappaleen pintaa, pinnan laatua tai muutenkaan kappaleen materiaalia. Lisäksi tulee huolehtia, ettei näillä toiminnoilla ole huonontavaa vaikutusta tarkastusaineen toimivuuteen. (29, s. 10.)

Jos tarkastuksessa käytetään värillistä tarkastusainetta eli on tarvetta käyttää kontrastiväriä, voidaan sen levityksen katsoa kuuluvan myös pinnan valmisteluun. Jos tarkastettavan kappaleen pinnassa on jo väriltään sopiva, ohut ja ehjä päällystekerros, esimerkiksi maali, voidaan tätä päällystettä käyttää kontrastiväriä. (27, s. 8; 28, s. 8.)

6.4.2 Näyttämien eli indikaatioiden arvostelu

Koska seuraavat työvaiheet, kappaleen magnetointi sekä tarkastusaineen levitys, on tässä työssä jo aiemmin käsitelty, siirrytään seuraavaksi käsittelemään näyttämien, eli indikaatioiden, arvostelua.

Kun magneettijauhetaarkastusta suorittava tarkastaja arvostelee saatuja indikaatioita, tulee hänen suurta huolellisuutta noudattaen erotella todelliset näyttämät valenäyttämistä tai satunnaisista näyttämistä tekemällä tarvittavat tarkastukset ja havainnot joilla tällaiset näyttämät voidaan todentaa. Lisäksi tarkastajan on poistettava tällaisten näyttämien syyt, jos se on mahdollista. Valenäyttämiä voi syntyä esimerkiksi

- tarkastuskohteen paksuusvaihteluista
- naarmuista
- hitsien reunahaavoista
- hitsien eri vyöhykkeistä
- alueiden rajoista, joilla on erilaisia magneettisia ominaisuuksia

- tarkastettavan kappaleen pinnan epätasaisuuksista
- tarkastettavan kappaleen liiasta magnetoitumisesta. (27, s. 19; 28, s. 18; 29, s. 24.)

Kun on saatu erotelluksi satunnais- ja valenäyttämät, tulee kaikkia muita näyttämiä kohdella todellisina näyttäminä. Tämän jälkeen todelliset näyttämät voidaan luokitella pyöreiksi tai lineaarisiksi näyttämiksi. Näyttämän voi luokitella pyöreäksi, jos sen pituus on enintään kolme kertaa sen leveys ja lineaariseksi näyttämäksi, jos sen pituus on enemmän kuin kolme kertaa sen leveys. (28, s. 18.)

Tehtäessä virallisia magneettijauh tarkastuksia on standardeissa SFS-EN ISO 9934-1 ja SFS-EN ISO 3059 magneettijauh tarkastusten osalta tarkastusolosuhteista ohjeistettu seuraavaa (24, s. 16; 28, s. 18.):

- Tarkastusta suorittava henkilö ei saa käyttää tummennettuja silmälasia.
- Tarkastusta suorittavan henkilön silmien on annettava sopeutua riittävän ajan tarkastuskopissa vallitsevaan pimeään. Tavallisesti tämä vie vähintään minuutin.
- Tarkastuskopissa tarkastusta suorittavan henkilön näkökentässä ei mikään pinta saa olla fluoresoiva, eikä UV-säteilyä saa suunnata siten että se voi osua tarkastusta suorittavan henkilön silmiin.
- UV-A-taustavalaistusta voidaan tarvittaessa käyttää, jotta saavutetaan tarkastusta suorittavan henkilön vapaa liikkuminen tarkastuskopissa.
- UV-säteilyn voimakkuuden tulee olla vähintään 10 W/m² tarkastettavalla pinnalla.

Kaikkia edellä mainittuja ohjeita noudatetaan silloin, kun tarkastuksia suoritetaan pimennetyssä tilassa. Pimennetyllä tilalla tarkoitetaan tilaa jossa näkyvän valon määrä on enimmillään 20 luksia. (24, s. 12; 28, s. 18.)

Vuorostaan käytettäessä värillisiä tarkastusaineita tulee tarkastettavan kappaleen pinnan olla valkoisessa, joko päivänvalossa tai keinovalossa, jonka valaistusvoimakkuus

ei saa alittaa 500 luksia, sekä saatava riittävä kontrasti tarkastettavan pinnan ja tarkastusaineen välille. Lisäksi tarkastuspaikka tulee valita siten että heijastumat ja häikäisy vältetään. (28, s. 16.)

6.4.3 Näyttämien dokumentointi

Kun todelliset näyttämät on saatu esille ja ne on arvosteltu, tulee todelliset näyttävät dokumentoida. Dokumentointi sisältää ainakin näyttämien kirjaamiseen. Lisäksi koko tarkastus tapahtumasta voidaan mahdollisesti laatia erillinen tarkastuspöytäkirja. (27, s. 21; 29, s. 26.)

Standardin SFS-EN ISO 17638 mukaan voidaan näyttämät kirjata käyttämällä yhtä tai useampaa seuraavista tavoista:

- laatimalla tarkastuksesta kirjallinen selostus
- laatimalla tarkastuksesta piirros
- ottamalla saaduista näyttämistä valokuva
- ”sieppaamalla” saatu näyttämä käyttämällä läpinäkyvää teippiä
- käyttämällä läpinäkyvää lakkaa, joka ”jäädyyttää” näyttämään tarkastettavan kappaleen pintaan
- käyttämällä kuorittavaa kontrastiväriä
- ottamalla saaduista näyttämistä videokuvaa
- käyttämällä kemiallisia tai epoksisia magneettijauhesekoituksia. (29, s. 26.)

Jos lisäksi laaditaan erillinen tarkastuspöytäkirja suoritetusta magneettijauhetaarkastuksesta, tulee sen standardin SFS-EN ISO 9934-1 mukaan sisältää vähintään seuraavat tiedot:

- tarkastuksen suorittaneen yrityksen nimi
- tarkastuspaikka
- tarkastuskohteen yksilöinti ja kuvaus
- valmistustila (esimerkiksi ennen tai jälkeen lopullisen työstön, ennen tai jälkeen lämpökäsittelyn)
- viittaus käytettyihin työohjeisiin ja kirjalliseen tarkastusohjeeseen
- tarkastuksessa käytetty tarkastuslaitteisto

- magnetointimenetelmä, joka sisältää esimerkiksi käytetyt magneettikenttien voimakkuudet, virta-arvot, aaltomuodon, kelan koon, kohtio- tai napaetäisyyden.
- tarkastukseen käytetty tarkastusaine sekä kontrastiväri, jos sellaista on käytetty
- tarkastettavan kappaleen pinnan esikäsitteily
- katseluolosuhteet jossa tarkastus on suoritettu
- tarkastuksen jälkeinen maksimijäännösmagnetismi, jos tarkastusohjeessa näin edellytetään
- näyttämien merkintä- tai kirjaamistapa
- päiväys jolloin tarkastus suoritettiin
- tarkastajan nimi, pätevyys ja allekirjoitus. (28, s. 20.)

Yllä mainitut dokumentoitavat koskevat lähinnä virallisia magneettijauhetarkastuksia, eivät esimerkiksi laivalla laivahenkilökunnan omaan käyttöön tehtyjä tarkastuksia. Tällaisissa tarkastuksissa dokumentointi on yleensä huomattavasti vähäisempää ja vaipaampaa.

6.4.4 Demagnetointi

Demagnetoinnissa tarkastettavasta kappaleesta poistetaan siihen jäänyt jäännösmagnetismi joko vastakkaissuuntaisella magneettikentällä tai vaihtovirralla. Vaihtovirralla demagnetointi tapahtuu siten, että aluksi tarkastettavaa kappaletta magnetoidaan niin suurella virralla että saavutetaan magneettinen kyllästyminen. Tämän jälkeen vähitellen lasketaan kentän voimakkuutta, jolloin jäännösmagnetismi saadaan laskettua hyväksytylle tasolle. Jos tarkastettavasta kappaleesta tulee saada jäännösmagnetismi kokonaan pois, onnistuu se käytännössä ainoastaan lämmittämällä se Curie-lämpötilan yläpuolelle. Teräksen seostuksesta riippuen on Curie-lämpötila 700–800 °C. (32, s. 13; 33; s. 12.)

Demagnetointi suoritetaan jos tarkastettava kappale tulee myöhemmin käyttöön, jossa suuresta jäännösmagnetismista on haittaa, esimerkiksi aiheuttaa liikkuvien osien enenaikaista kulumista, tarkastettavaa kappaletta tullaan myöhemmin työstämään tai koneistamaan lastuavalla menetelmällä, tarkastettava kappaleella on tarkoitus kaarihitata, tarkastettavan kappaleen puhdistaminen on vaikeaa tai mahdotonta. Demagne-

tointia ei välttämättä tarvitse tehdä, jos jäännösmagnetismista ei ole erityistä haittaa. (27, s. 21; 32, s. 13.)

6.4.5 Pinnan jälkikäsittely

Kun magneettijauhetarkastus on saatu suoritettua, tulee tarkastettavan kappaleen pinnalta poistaa käytetyn tarkastusaineen jäänteet sopivaa menetelmää käytetään. Tarkastusaineessa käytetään pieniä metallihiukkasia, jotka ruostuvat helposti tarkastettavan kappaleen pintaan. (27, s. 22.)

Lisäksi jos tarkastuksessa on jouduttu poistamaan päällysteitä, esimerkiksi maalia kohtioiden kohdalla, tulee paljastuneet kohdat suojata korroosiolta päällystämällä ne uudestaan sopivaa menetelmää käyttäen (27, s. 22).

6.5 Hyvät puolet

Magneettijauhetarkastuksen etuihin kuuluu, että se on yksi parhaimpia ja herkimpiä tapoja löytää pintavikoja ferromagneettisista materiaaleista. Magneettijauhetarkastus on myös melko yksinkertainen ja nopea tarkastusmenetelmä varsinkin, jos noudatetaan annettuja ohjeita. Poiketen tunkeumanestetarkastuksesta, voidaan magneettijauhetarkastuksella löytää sellaisetkin vikakohdat, jotka ovat täyttyneet vieraista aiheista, kuten esimerkiksi rasvasta, maalista tai hiekkapuhalluksen jäänteistä. Lisäksi magneettijauhetarkastuksessa saatavat näyttämät antavat vikakohdista melko luonnollisen kuvan. (27, s. 4.)

Magneettijauhetarkastus voidaan suorittaa myös ohuiden ja ehjien epämagneettisten päällystekerrosten lävitse. Tarkastettavien kappaleiden koolla tai muodolla ei ole tarkastuksen suorittamisen kannalta suurta merkitystä. Oikeita menetelmiä käyttämällä voidaan magneettijauhetarkastuksella löytää myös tarkastettavassa kappaleessa välittömästi pinnan alla sijaitsevia vikoja. (27, s. 4.)

6.6 Huonot puolet

Magneettijauhetarkastuksen huonoihin puoliin kuuluu, että sillä voidaan tarkastaa vain ferromagneettisia materiaaleja, jolloin esimerkiksi alumiinia, austeniittista ruostumatonta terästä eikä titaania voida tällä menetelmällä tarkastaa (27, s. 4).

Tarkastuksen aikana saattaa syntyä polttojälkiä tarkastettavaan kappaleeseen suurten magnetointivirtojen johdosta. Myös huonosti puhdistettu tarkastusaine saattaa vahingoittaa tarkastettavan kappaleen pintaa. Lisäksi tarkastusaineen puhdistaminen tarkastettavasta kappaleesta aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia. (27, s. 4.)

Huonoihin puoliin voidaan katsoa lukeutuvan myös se seikka, että tarkastusta suorittavalla henkilöllä tulee olla tarvittavat tiedot ja riittävästi kokemusta, että hän osaa erottaa todelliset näyttämät valenäyttämistä, lisäksi tarkastajan tulee ymmärtää kuinka suuri merkitys magneettivuon suunnalla on vikakohtien havaitsemisen mahdollisuuksiin nähden. (27, s. 4.)

6.7 Sovellukset/käyttökohteet laivojen kunnossapidossa

Magneettijauhemenetelmällä on, kyselystä saatujen vastausten perusteella hyvin samantyyllisiä käyttökohteita kuin tunkeumanestemenetelmällä. Luonnollisesti sillä erolla, että tarkastettavien kohteiden tulee olla magneettisia tai magnetoitavissa. Myös magneettijauhetarkastuksista, samoin kuin viimeksi käsitellystä tunkeumanestetarkastuksesta, ei minulla valitettavasti ole omakohtaisia kokemuksia tarkastusten suorittamisesta.

Saamieni vastausten perusteella magneettijauhemenetelmää on käytetty kansiosastolla ainakin tarkastettaessa erilaisia nostovälineitä, kuten esimerkiksi kahmareita sekä nostokoukkuja. Nosturissa on tarkastettu nostureiden jalkojen hitsisaumoja sekä muita kovalle rasitukselle joutuneita paikkoja minne kokemuspärisesti tiedetään syntyvän murtumia.

Aluksen rungossa, lastitiloissa sekä yleisesti kansitiloissa on tarkastettu pääasiassa erilaisia hitsisaumoja, kuten esimerkiksi lastitiloissa jäykistekaarien hitsejä. Myös kohteita, joissa voidaan erityisen kovan rasituksen johdosta olettaa olevan pintaan asti olevia murtumia, on tarkastettu, esimerkiksi poistettujen nostokorvakkeiden kohdat.

Koneosastolla magneettijauhetarkastuksia oli käytetty monenlaisten kovan rasituksen alaiseksi joutuvien osien tarkastuksissa, esimerkiksi potkuriakselien (kuva 43), moottorien petien, kampiakselien, kiertokankien, kiertokankien pulttien, peräsin-tukkien, muiden akselien (kuva 43) sekä pakoventtiileiden. Myös normaaleiden huoltojen yhteydessä oli tarkastettu rutiinomaisesti osia, joissa pintaan asti ulottuvia säröjä saattaisi esiintyä. Lisäksi magneettijauhetarkastusta oli käytetty eräässä tapauksessa combi-kattilan palotilan putkien tarkastuksessa. (kuva 43).



Kuva 43. Ylhäällä kaksi kuvaa erilaisten akselien tarkastuksesta, alhaalla kaksi kuvaa combi-kattilan palotilan putkien tarkastuksesta (18; 26).

7 PYÖRREVRTATARKASTUS

Pyörrevirtatarkastus on NDT-menetelmä, jossa käytetään hyväksi sähkömagnetismia. Sähkömagnetismi on fysikaalinen ilmiö, joka käsittelee magneettisia ja sähköisiä ilmiöitä sekä niiden keskinäisiä riippuvuuksia. Tämän johdosta pyörrevirtatarkastuksessa voidaan tarkastettavaa kappaletta tutkia ilman suoraa fyysistä tai sähköistä kontaktia. (34; 35, s. 6.)

Pyörrevirtatarkastuksella voidaan tarkastaa sähköä johtavien epämagneettisten sekä ferromagneettisten materiaalien rakenteellisia tiloja sekä fysikaalisia ominaisuuksia.

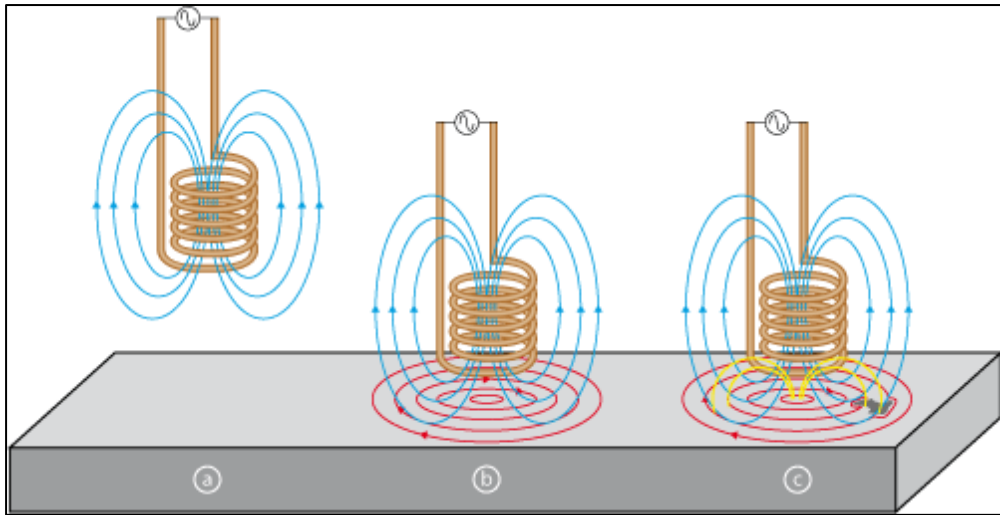
Tarkastettavan kappaleen rakenteesta voidaan pyörrevirtatarkastuksella selvittää kappaleen pinnalla tai välittömässä pinnan läheisyydessä olevia vikoja, esimerkiksi halkeamia, säröjä, sulkeumia sekä huokosia. Lisäksi pyörrevirtatarkastuksella voidaan mitata materiaalin sekä pinnoitteen paksuutta. Fysikaalisista ominaisuuksista pyörrevirtatarkastuksella voidaan tarkastaa kappaleen magneettista permeabiliteettia, lämpökäsittelyn tilaa tai sähkönjohtavuutta. (35, s. 3-6.)

7.1 Toimintaperiaate

Pyörrevirtatarkastus perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Sähkömagneettisessa induktiossa pyörrevirtatarkastuslaitteiston pyörrevirta-anturin ympärillä oleva magneettikenttä on sähkömagneettisesti yhteydessä tarkastettavaan kappaleeseen muodostuneen magneettikentän kanssa. Mikäli tarkastettavan kappaleen sähkömagneettiset ominaisuudet muuttuvat kappaleen materiaalissa olevien vaihteluiden johdosta, joita voivat olla esimerkiksi epäjatkuvuuskohdat, materiaalin paksuuden muutokset, voidaan nämä muutokset havaita pyörrevirtatarkastuslaitteiston avulla. (35, s. 8; 36.)

7.1.1 Sähkömagneettinen induktio

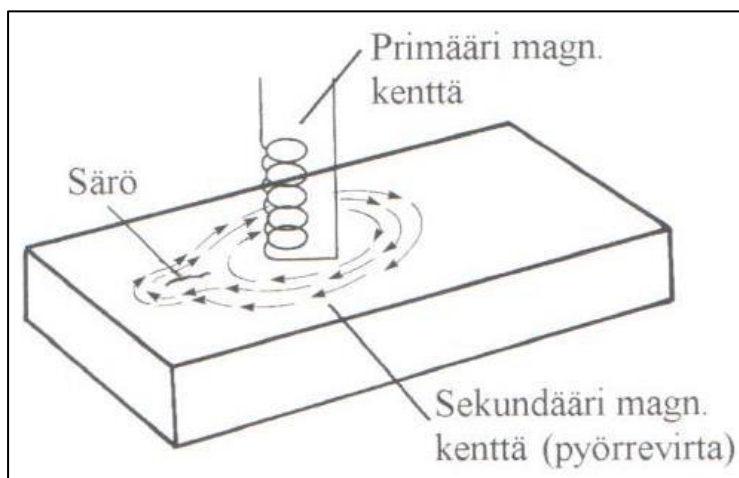
Pyörrevirtatarkastusta suoritettaessa johdetaan pyörrevirta-anturin kelaan vaihtovirtaa, jonka johdosta muodostuu kelan ympärille värähtelevä magneettikenttä. Tämä magneettikenttä on esitetty kuvan 44 kohdassa a) sinisillä viivoilla. Tätä magneettikenttää kutsutaan primäärimagneettikentäksi. Kun tämän jälkeen saatetaan pyörrevirta-anturissa sijaitseva kela ja syntynyt magneettikenttä sähköä johtavaan kappaleen, esimerkiksi metallisen levyn läheisyyteen, indusoituu, eli muodostuu levyyn pyörrevirta. Tämä on esitetty kuvan 44 kohdassa b) punaisilla viivoilla. Indusoituneet pyörrevirrat muodostavat ympärilleen uuden magneettikentän, tämä on esitetty kuvan 44 kohdassa c) keltaisilla viivoilla. Tätä magneettikenttää kutsutaan sekundäärimagneettikentäksi. Pyörrevirtojen synnyttämä magneettikenttä on sähkömagneettisesti yhteydessä pyörrevirta anturin käämien kanssa. (36.)



Kuva 44. Pyörrevirtojen synty sähkömagneettisessa induktiossa (37).

7.1.2 Materiaalin muutosten havainnointi

Pyörrevirtatarkastuksessa tarkastettavissa kappaleissa olevien muutosten havainnointi perustuu pyörrevirta-anturin käämin muodostaman primäärimagneettikentän ja tarkastettavaan kappaleeseen indusoituneiden pyörrevirtojen muodostaman sekundäärimagneettikentän tasapainon mittaamiseen. Jos tarkastettavassa kappaleessa on häiriö, esimerkiksi materiaalin oheneminen särö tai muu muutos materiaalissa, aiheuttaa sen indusoituneeseen pyörrevirtaan häiriön (kuva 45), joka vuorostaan vaikuttaa syntyvään magneettikenttään. Ja koska primäärimagneettikentän ja sekundäärimagneettikentän tasapaino on muuttunut, aiheuttaa se muutoksia pyörrevirta-anturin tarkastuskelan jännitteen ja virran amplitudiin ja vaihekulmaan sekä impedanssiin. (9, s. 449; 36; 38, s. 1.)

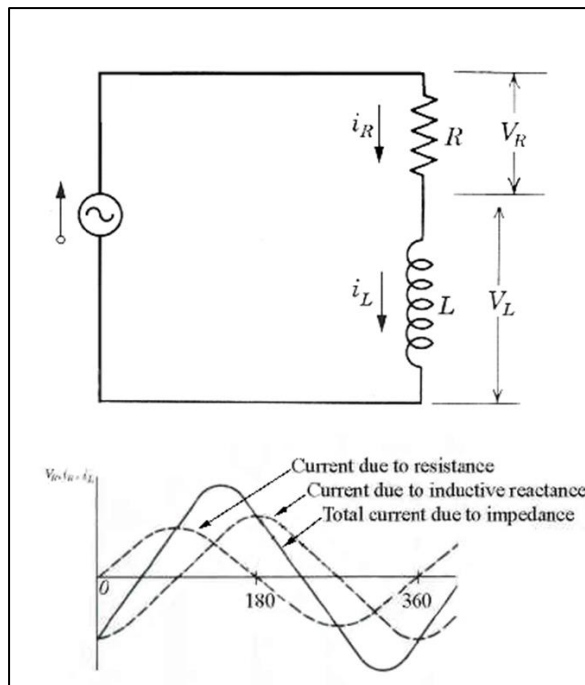


Kuva 45. Materiaalin muutoksen aiheuttama häiriö pyörrevirtaan (9. s. 449).

Koska nykyään hyvin useat pyörrevirtatarkastuslaitteet mittaavat pääasiassa impedanssin muutosta, lienee tässä vaiheessa hyvä kerrata impedanssin käsitettä.

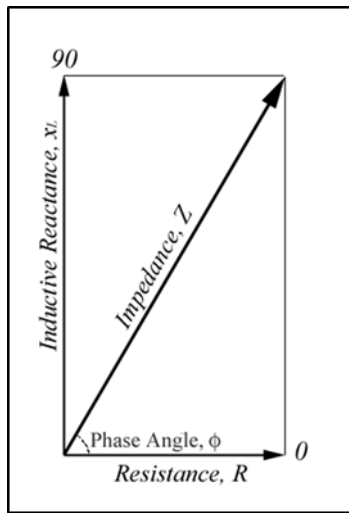
Impedanssi $[Z]$ on suure, jolla kuvataan vaihtovirtapiirin kokonaisvastusta. Impedanssin yksikkö on SI-järjestelmän mukaan ohmi $[\Omega]$. Impedanssi muodostuu resistanssista $[R]$, induktiivisesta reaktanssista $[X_L]$ ja kapasitiivisesta reaktanssista $[X_C]$. Tosin pyörrevirtatarkastuksessa ei yleensä huomioida kapasitiivistä reaktanssista. (34.)

Koska vaihtosähkössä resistanssilla ja induktiivisellä reaktanssilla on eri vaihekulma $[\phi]$ (kuva 46), ei niitä voida laskea yksinkertaisesti yhteen saadaksemme kokonaisimpedanssin laskettua, vaan se voidaan esittää yksinkertaisesti vektorimuodossa (34).



Kuva 46. Resistanssin ja induktiivisen reaktanssin vaihekulman ero vaihtosähköpiirissä (34).

Jos päätetään esittää impedanssi vektorimuodossa (kuva 47), voidaan impedanssin osien, resistanssin ja induktiivisen reaktanssin, suhde esittää koordinaatistossa siten, että koordinaatiston X-akselille tulee resistanssimäärä ja koordinaatiston Y-akselille induktiivinen reaktanssimäärä. Siten kokonaisimpedanssi on vektori, joka lähtee origosta ja loppuu resistanssin ja induktiivisen reaktanssin leikkauspisteeseen. Lisäksi saadaan impedanssin vaihekulma selville, se on kulma joka jää impedanssin vektorin ja X-akselin väliin. (34.)



Kuva 47. Impedanssin vektoriesitys (34).

Impedanssin itseisarvo sekä vaihekulma voidaan myös laskea, jos tiedetään resistanssin ja induktiivisen reaktanssin määrä. Impedanssin itseisarvo voidaan laskea kaavalla (34.):

$$Z = \sqrt{(X_L^2 + R^2)}$$

(12.)

Z= impedanssin itseisarvo, Ω

X_L = induktiivinen reaktanssi, Ω

R= resistanssi, Ω

Ja vuorostaan vaihekulma voidaan laskea kaavalla (34.):

$$\tan\phi = \frac{X_L}{R}$$

(13.)

ϕ = vaihekulma asteina

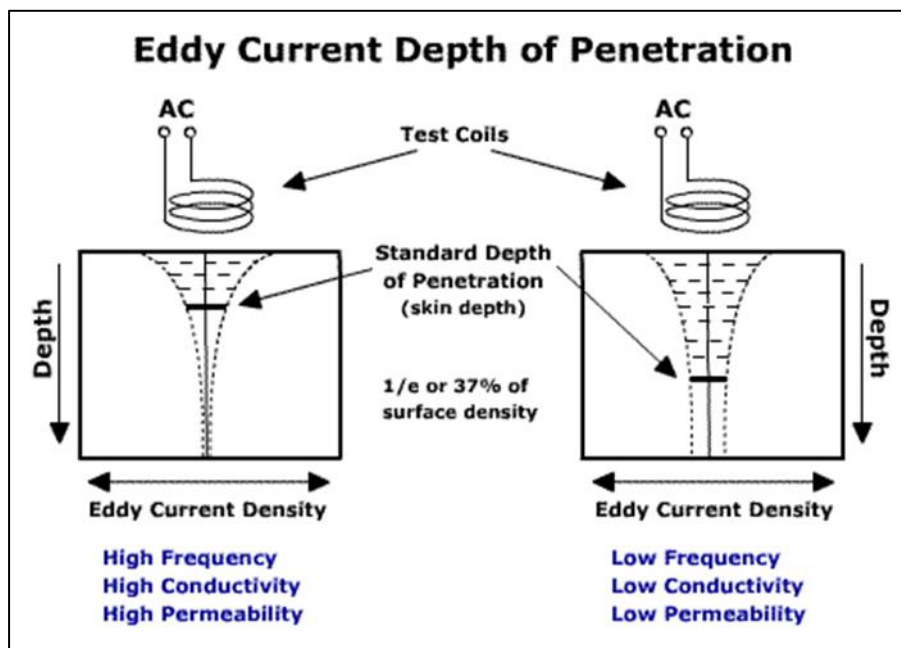
X_L = induktiivinen reaktanssi, Ω

R= resistanssi, Ω

7.1.3 Pyörrevirtojen tunkeutumissyvyys

Kuten aiemmin on mainittu, voidaan pyörrevirtatarkastuksella tutkia kappaleessa välittömästi pinnan alapuolella esiintyviä ilmiöitä. Suurin mahdollinen tarkastussyvyys määräytyy siitä, kuinka syvälle pyörrevirrat pystyvät tunkeutumaan tarkastettavassa kappaleessa.

Pintaefektin johdosta tarkastettavaan kappaleeseen indusoituneiden pyörrevirtojen tiheys on suurimmillaan välittömästi tarkastettavan kappaleen pinnalla pyörrevirta-anturin läheisyydessä ja vähenee lähes eksponentiaalisesti tunkeutumissyvyyden kasvaessa kappaleen pinnalta. Tunkeutumissyvyyteen vaikuttavat tarkastuksessa käytetty vaihtovirran taajuus, tarkastettavan kappaleen permeabiliteetti sekä tarkastettavan kappaleen sähkönjohtavuus. Jos taajuus, permeabiliteetti tai sähkönjohtavuus kasvaa, pienenee pyörrevirtojen tunkeutumissyvyys (kuva 48). (35, s. 9; 38, s. 1.)



Kuva 48. Pyörrevirtojen tiheys eri materiaaleissa (34).

Syvyys, missä pyörrevirtojen tiheys on riittävä vaihtelee tarkastettavan kappaleen materiaalin sekä tarkastuksessa käytettävän vaihtovirran taajuuden mukaan, on määritelty niin kutsuttu standardi tunkeutumisensyvyys. Standardiksi tunkeutumissyvyydeksi on päätetty se syvyys missä pyörrevirtojen tiheydestä on 37 % ($1/e$) jäljellä, verrattuna pyörrevirtojen tiheyteen tarkastettavan kappaleen pinnalla. (38, s. 1.)

Jos tiedetään tarkastettavien kappaleiden magneettinen permeabiliteetti ja sähkönjohtavuus sekä tarkastuksessa käytettävä vaihtovirran taajuus, voidaan standardi tunkeutumissyvyys laskea kullekin materiaalille erikseen kaavalla: (34.)

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \times f \times \mu \times \sigma}}$$

(14.)

δ = standardi tunkeutumissyvyys millimetreinä

f = vaihtovirran taajuus, Hz

μ = magneettinen permeabiliteetti, H/mm

σ = sähkönjohtavuus, % IACS

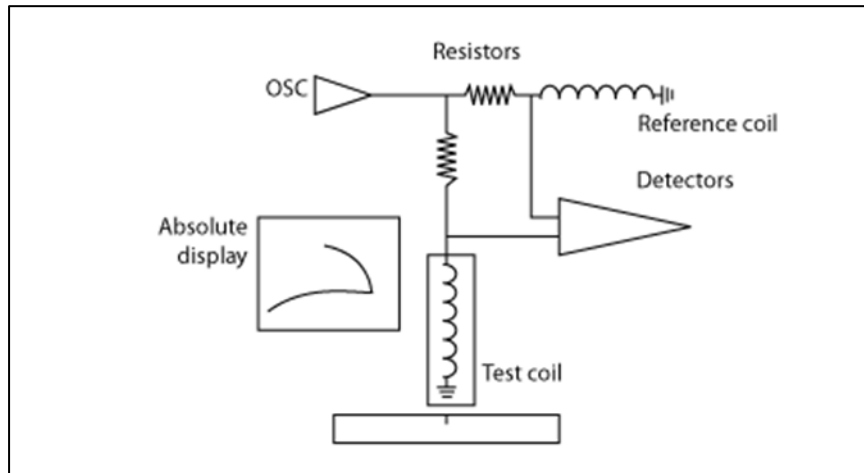
Kun tiedetään kuinka syvälle tarkastettavassa kappaleessa pyörrevirtatarkastus on luotettava saavutetaan se hyöty, ettei yritetä tarkastaa liian syvällä olevia vikakohtia. Toisaalta taas pyörrevirtatarkastuksessa, kuten muissakin NDT-tarkastuksissa, on tarkastajalla yleensä jonkinlainen tieto millaisia virheitä tai ilmiöitä hän pyrkii tarkastettavasta kappaleista saamaan esille. Jos tiedetään millä syvyydellä etsittävät viat tai ilmiöt ovat, voidaan pyörrevirtatarkastukseen valita paras mahdollinen taajuus, koska taajuudella on suuri merkitys tarkastuksen luotettavuuteen ja herkkyyteen (34).

7.1.4 Mittaamismenetelmät

Mittaamismenetelmät voidaan jaotella riippuen tavasta millä käämi, tai käämit, ovat kytkettynä pyörrevirta-anturissa tai millä tavalla pyörrevirta-anturi on liitettyä pyörrevirtatestauslaitteistoon. Mittausmenetelmät ovat yleensä jaettu neljään luokkaa absoluuttimenetelmään, differentiaalimenetelmään, heijastusmenetelmään ja hybridimenetelmään. (34.)

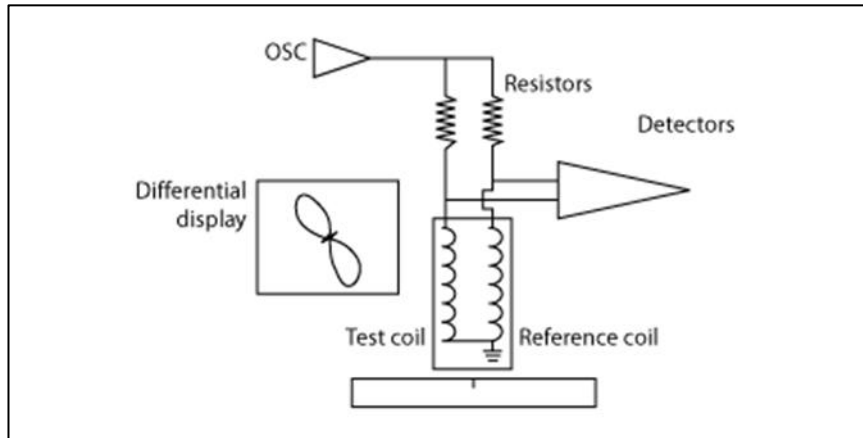
Absoluuttimenetelmässä (kuva 49) pyörrevirta-anturissa on yksi käämi, jota käytetään sekä indusoimaan pyörrevirrat tarkastettavaan kappaleeseen että havainnoimaan mahdolliset muutokset indusoituneissa pyörrevirroissa. Mittaamalla impedanssin absoluutt-

tista muutosta, saadaan tarkastettavan kappaleen materiaalista paljon hyödyllistä tietoa. Absoluuttimenetelmää voidaan käyttää virheiden havaitsemiseen, tarkastettavan kappaleen sähkönjohtavuuden mittaamiseen, tarkastettavan kappaleen materiaalin paksuuden mittaamiseen sekä tuotteiden lajitteluun mittojen, kemiallisen koostumuksen tai fyysisten ominaisuuksien, esimerkiksi kovuuden mukaan. (34; 39, s. 2-3; 40.)



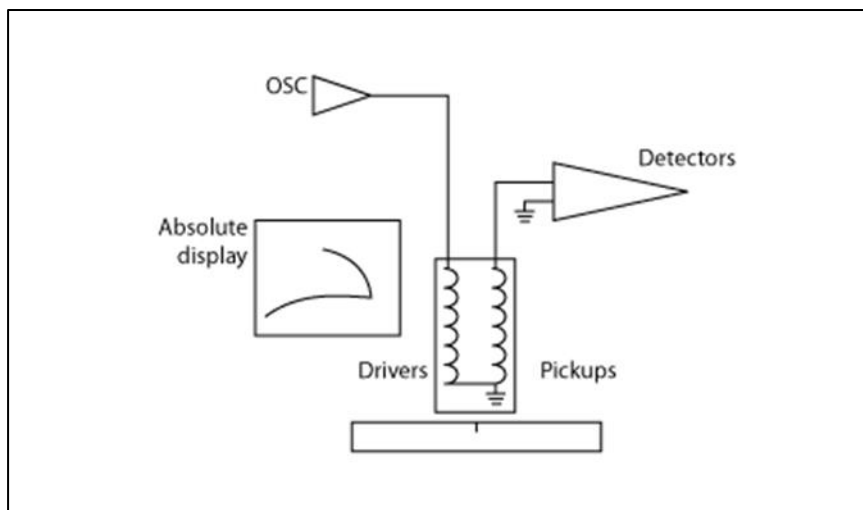
Kuva 49. Absoluuttimenetelmässä käytettävän pyörrevirta-anturin periaatekuva (40).

Differentiaalimenetelmässä (kuva 50) pyörrevirta-anturissa on kaksi käämiä, jotka ovat kytkettynä siltapiiriin eli ne ovat sähköisesti toisiinsa yhteydessä. Käytettäessä pyörrevirta-anturia tarkastettavan kappaleen sellaisella alueella, jossa sen materiaalis- sa ei ole poikkeamia, ei pyörrevirta-anturissa olevien keräämien signaalien välille tule eroavaisuutta. Jos vuorostaan pyörrevirta-anturin keloista toinen on sellaisella alueel- la, jossa on materiaalisia poikkeamia ja toinen sellaisella alueella, jossa ei vastaavan- laista poikkeamaa ole, muodostuu keräämien signaaleiden välille eroavaisuutta ja tä- mä voidaan havaita pyörrevirtatarkastuslaitteella. Etuina differentiaalimenetelmässä voidaan pitää, että se on erittäin herkkä havaitsemaan paikallisia vikakohtia. Differen- tiaalimenetelmän etuihin kuuluu myös, että se on suhteellisen piittaamaton tarkastetta- van kappaleen materiaalisia oleville hitaasti muuttuville ominaisuuksille, esimerkiksi hitaasti muuttuvalle materiaalin paksuudelle tai lämpötilan muutokselle. Differentiaa- limenetelmän huonoihin puoliin lukeutuu se, että sen aikaansaamia signaaleita voi olla ajoittain vaikea tulkita. Esimerkiksi jos tarkastettavassa kappaleessa oleva syöpymä on pidempi kuin kahden pyörrevirta-anturissa sijaitsevan käämin väli, havaitaan differen- tiaalimenetelmää käytettäessä vain virheen etu- ja takareuna, koska virheen keskellä molemmat käämit ovat samanlaisen materiaalin päällä. Tällaisessa tapauksessa jää materiaalin oheneminen helposti huomaamatta, koska tulkitaan helposti kappaleessa olevan kaksi erillistä vikakohtaa. (34; 39, s. 3; 40.)



Kuva 50. Differentiaalimenetelmässä käytettävän pyörrevirta-anturin periaatekuva (40).

Heijastusmenetelmässä (kuva 51) pyörrevirta-anturissa on kaksi tai useampia käämejä. Toista näistä käämeistä käytetään pyörrevirtojen indusoimiseen tarkastettavaan kappaleeseen ja kutsutaan usein herätekäämiksi. Toista, tai toisia, käämejä käytetään havainnoimaan muutoksia tarkastettavan kappaleen materiaalissa, tätä, tai näitä, käämejä ja kutsutaan usein tuntokäämiksi, tai käämeiksi. Lisäksi heijastusmenetelmässä heräte- ja tuntokäämit voivat sijaita tarkastettavan kappaleen eri puolilla, esimerkiksi putkia tarkastellessa herätekäämit voivat sijaita putken ulkopinnalla ja tuntokäämit putken sisäpinnalla. Tällöin tarkastuksesta voidaan käyttää nimitystä läpäisymenetelmä, muuten tarkastuksessa toimintaperiaate on samanlainen kuin heijastusmenetelmässä. Heijastusmenetelmän hyvin puoliin kuuluu se, että heräte- ja tuntokäämit voidaan optimoida kumpikin omiin tarkoituksiinsa. (34; 35, s. 41–42.)



Kuva 51. Heijastusmenetelmässä käytettävän pyörrevirta-anturin periaatekuva (40).

Hybridimenetelmässä pyörrevirta-anturit ovat yleensä suunniteltu johonkin tiettyyn tarkastuskohteeseen, joten pyörrevirta-anturissa sijaitsevat käämit voivat olla hyvin monenlaisia. Esimerkkinä voisi mainita pyörrevirta-anturin, missä yhtä herätekkäämiä käytetään pyörrevirtojen indusoimiseen tarkastettavaan kappaleeseen, sen lisäksi pyörrevirta-anturissa on kaksi muuta käämiä, jotka toimivat differentiaalimenetelmän tavoin. (34.)

7.2 Pyörrevirtatarkastuslaitteet

Pyörrevirtatarkastuslaitteisto käsittää vähintään pyörrevirtalaitteen, yhden tai useampia pyörrevirta-antureita, sekä eri osat yhdistävän kaapeloinnin. Myös erilaisten kalibrointikappaleiden voidaan katsoa kuuluvan pyörrevirtalaitteistoon. Lisäksi laitteistossa voi olla erilaisia lisätarvikkeita, esimerkiksi oheislaitteita tarkastuksesta saadun datan säilyttämiseksi, laitteisto millä tarkastettava kappale voidaan tarvittaessa kyllästä magneettiseksi tai demagnetisoida tai erilaisia merkkkaus systeemejä millä tarkastettavan kappaleen materiaalin poikkeamat voidaan merkata tarkastuksen aikana. (39, s. 3; 41, s. 2.)

7.2.1 Pyörrevirtalaite

Pyörrevirtalaite (kuva 52) on laite missä muodostetaan pyörrevirtatarkastukseen tarvittavat signaalit, lisäksi pyörrevirta laitteessa sijaitsevat tarkastus signaalien käsittelyyn ja esittämiseen liittyvät komponentit. Yleensä pyörrevirtalaitteet sisältävät vähintään generaattorin, vahvistimen, demodulaattorin ja näyttöyksikön. Lisäksi pyörrevirtalaitteet sisältävät usein monenlaisia signaalinsuodattamia. (42, s. 35.)



Kuva 52. Pyörrevirtalaitteita (34; 44, s. 5).

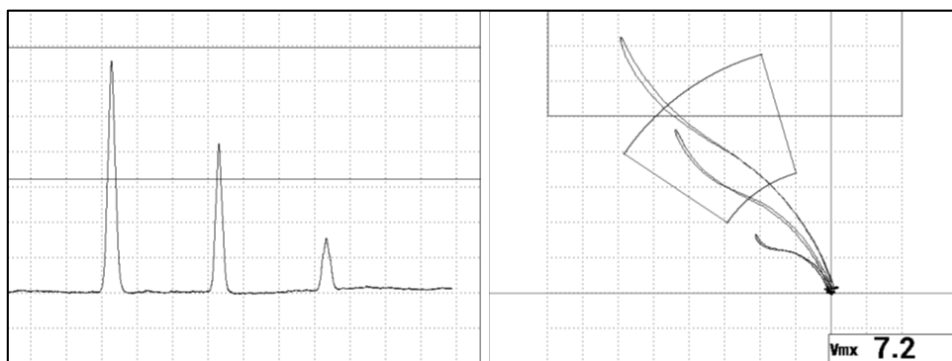
Valittaessa pyörrevirtalaitetta tulee valinnassa ottaa huomioon, mitä tarkastuksen avulla on tarkoitus saada selville tarkastettavasta kappaleesta. Erityisen tärkeää on selvittää onko pyörrevirtalaitteessa aiotulle tarkastukselle oikeanlaiset säädettävät parametrit, onko parametrien säätöalue riittävän laaja sekä miten signaalit on esitetty. (39, s. 3.)

Generaattori muodostaa pyörrevirta-anturin tarkastuskäämille herätesignaalin. Herätesignaali voi olla yksitaajuinen tai monitaajuinen ja koska virta, mistä signaali muodostetaan, on vaihtovirtaa voi muodostuneen signaalin muoto olla esimerkiksi siniaalto, kolmioaalto, kanttiaalto. (35, s. 31; 43, s. 3.)

Vahvistimessa, tai vahvistimissa, vahvistetaan generaattorin muodostamia herätesignaaleja, sekä tuntokäämiltä saatuja mittaussignaaleja (43, s. 4-5).

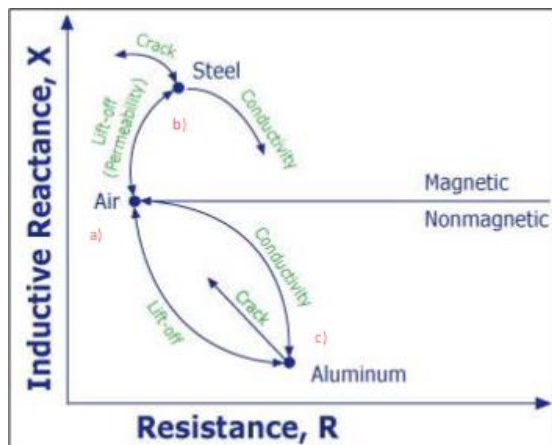
Demoduloinnissa erotetaan saaduista mittaussignaaleista impedanssin määrittämisessä tarvittavat vektorit, eli resistanssi ja induktiivinen reaktanssi (43, s. 4-5).

Näyttöyksikkö voi olla joko analoginen tai digitaalinen. Yksinkertaisimmillaan näyttöyksikkö voi olla analoginen mittari, jonka lukema muuttuu jos tarkastettavassa kappaleessa on muutoksia. Nykyään käytetään useimmiten kuitenkin digitaalisia näyttöyksiköitä, kuten esimerkiksi kompleksitason näyttöä (kuva 51), missä impedanssi esitetään XY-koordinaatistossa siten että X-akselilla esitetään resistanssin määrä ja Y-akselilla induktiivisen resistanssin määrä, tai näytöstä missä aika esitetään signaalin amplitudiin funktiona (kuva 53). Markkinoilta löytyy myös sellaisia näyttöyksiköitä, jotka kykenevät esittämään saadut signaalit useilla eri näyttömuodoilla. (34; 36.)



Kuva 53. Vasemmalla näyttötila missä aika on esitetty amplitudin funktiona ja oikealla absoluuttimennän kompleksitason näyttötila (44, s. 6).

Jos päädytään käyttämään sellaista pyörrevirtalaitetta, jossa on kompleksitason näyttötila, on näytön säätäminen ennen tarkastukseen ryhtymistä erittäin tärkeää. Tärkeimpänä säätötoimena voidaan pitää etäisyystekijän eli ”liftoffin” säätämistä. Etäisyystekijän suuruus riippuu siitä, kuinka kaukana pyörrevirta-anturi on tarkastettavan kappaleen pinnasta. Kuvassa 54 on esitetty, miten etäisyystekijä vaikuttaa näyttölaitteella esitettävään tietoon. Kuvan 54 pisteessä a) pyörrevirta-anturi on ilmassa. Jos pyörrevirta-anturi siirrettäisiin, esimerkiksi metallilevyn päälle, muuttuisi siihen vaikuttavan kokonaisimpedanssin määrä, mikä siirtäisi pistettä piste b) kohdalle. Jos tahtoisimme tarkastaa kyseisen metallilevyn, tulisi säätää näyttölaitteesta joko origo tai Y-akselin nollakohta b) pisteeseen. (9, s. 449; 34; 35, s. 24, 34–35.)



Kuva 54. Etäisyystekijän vaikutus (34).

7.2.2 Pyörrevirta-anturi

Pyörrevirta-anturi, jota voidaan kutsua myös tarkastuskelaksi, on laite joka yhdistää pyörrevirtalaitteen ja tarkastettavan kappaleen. Pyörrevirta-anturilla on pääasiassa kaksi tehtävää. Ensimmäinen tehtävä on saada aikaan sähkömagneettinen kenttä, joka indusoi pyörrevirran tarkastettavaan kappaleeseen ja toinen tehtävä on toimia vastaanottavana anturina, johon tarkastettavaan kappaleeseen indusoituneet pyörrevirrat vaikuttavat. (35, s. 37.)

Valittaessa sopivaa pyörrevirta-anturia suunnitelmissa olevaa tarkastusta varten, tulee ottaa huomioon, mitä tarkastuksen avulla on tarkoitus saada selville tarkastettavasta kappaleista, esimerkiksi etsitäänkö epäjatkuvuuskohtia, mitataanko tarkastettavan kappaleen materiaalin paksuutta vai yritetäänkö tarkastettavat kappaleet jaotella fyysi-

kaalisten ominaisuuksien perusteella. Tämän lisäksi valintaan vaikuttavat standardin SFS-EN ISO 15548-2 mukaan ainakin seuraavat seikat:

- Tarkastettavan kappaleen materiaali. Materiaalissa vaikuttavia seikkoja ovat esimerkiksi onko materiaali ferromagneettista vai ei tai onko materiaalilla korkea vai matala sähkönjohtavuus.
- Tarkastettavan kappaleen muoto, esimerkiksi levyjä tarkastettaessa voidaan käyttää erilaisia pinta-antureita ja putkia tarkastettaessa putkia ympäröiviä tai sisäpuolisia antureita.
- Mittaamismenetelmä, käytetäänkö esimerkiksi absoluuttimenetelmää tai differentiaalimenetelmää. (45, s. 1-2.)

Pyörrevirta-anturit voidaan jaotella aiemmin käsitellyn mittaussuomenetelmän mukaan neljään luokkaan, jotka olivat absoluuttimenetelmä, differentiaalimenetelmä, heijastusmenetelmä sekä hybridimenetelmä. Tämän lisäksi pyörrevirta-anturit voidaan jaotella ainakin neljään luokkaan niiden toimintatavan mukaan, pinta-anturit, pultinreikäanturit, sisäpuoliset anturit sekä ympäröivät anturit. (34; 35, s. 37.)

Pinta-antureita käytetään etsittäessä tarkastettavasta kappaleesta pinnassa tai välittömästi pinnan alapuolella, sijaitsevia löydöksiä. Pinta-anturit ovat yleensä joko melko suuria läpimitaltaan ja niissä käytetään suhteellisen matalaa herätesignaalin taajuutta tai vaihtoehtoisesti anturit ovat melko pieniä läpimitaltaan, jolloin niissä käytetään korkeampaa herätesignaalin taajuutta. Tällaisia pienempiä antureita voidaan kutsua myös kynäantureiksi. Ensimmäisellä järjestelyllä saavutetaan indusoituneille pyörrevirroille kohtuullinen tunkeutumissyvyys sekä voidaan tarkastaa suhteellisen suuri alue kohtuullisessa ajassa. Huonona puolena tällä järjestelyllä on, että pinta-antureiden herkkyys pienille löydöksille ei ole kovin hyvä. Toisella järjestelyllä saavutetaan matalampi tunkeutumissyvyys, mutta tarkastuksen herkkyys pienillekin löydöksille on melko hyvä (34; 35, s. 39; 36; 46, s. 4.)

Pultinreikäantureita käytetään nimensä mukaisesti pultinreikien tarkastamiseen. Pultinreikäanturit voidaan jaotella kahteen eri luokkaan, käsin pyöriteltävät anturit sekä automaattisesti pyörivät anturit. Antureita on läpimitaltaan erikokoisia, erikokoisille pultinrei'ille. (34; 36; 46, s. 4.)

Sisäpuolisia antureita, joita yleisesti kutsutaan myös Bobbin-antureiksi, sekä ympäröiviä antureita käytetään yleisesti putkien tarkastukseen. Ympäröiviä antureita käytetään myös erilaisten akseleiden sekä tankojen tarkastukseen. Suoritettaessa putkien tarkastusta sisäpuolisilla antureilla, asetetaan anturi putken sisään ja kuljetetaan se tarkastettavan putken läpi eli tarkastus suoritetaan sisältä ulospäin. Sisäpuolisia antureita on lukuisia eri kokoja läpimitaltaan erikokoisille putkille. Vuorostaan suoritettaessa putkien, akseleiden tai tankojen tarkastusta ympäröivällä anturilla, viedään tarkastettava kappale ympäröivän anturin lävitse, eli tarkastus suoritetaan ulkoa sisällepäin. (34; 36.)

7.2.3 Pyörrevirtalaitteiston tarkastus, säätäminen ja kalibrointi

Standardien SFS-EN ISO 15548-1-3 mukaan pyörrevirtalaitteisto on tarkastettava ja kalibroitava määrätyin väliajoin, jotta pyörrevirtatarkastus olisi johdonmukaista ja tehokasta. Standardeissa on esitetty kolme tasoa, joilla riittävä tarkastus ja kalibrointitaso saavutetaan. Standardeissa on esitetty jokaiselle kolmelle tasolle sopiva tarkastuksen välinen aika, sekä tarkastusten laajuus (taulukko 3). Ominaisuudet jotka tulee tarkastaa, ovat riippuvaisia valitusta tarkastusmenetelmästä. Oleelliset ominaisuudet sekä tarkastuksen taso, tulisi olla määriteltynä tarkastuksen toimintatapaohjeissa. (41, s. 3; 43, s. 7-8; 45, s. 4-5.)

Ensimmäinen taso, yleinen toiminnantarkastus: Tarkastus suoritetaan säännöllisin väliajoin pyörrevirtatarkastuslaitteistolle, tarkastuksessa käytetään apuna referenssi kappaleita, jolla tarkastetaan että laitteiston suorituskyky on määrätyissä rajoissa. Yleinen toiminnantarkastus suoritetaan yleensä tarkastuspaikalla. Jos tarkastuksessa havaitaan, ettei laitteisto ole määrätyissä rajoissa, tulee harkita pitääkö tuotteet jotka ovat tarkastettu edellisen hyväksytyin tarkastuksen jälkeen, tarkastaa uudelleen. (41, s. 3; 43, s. 7-8; 45, s. 4-5.)

Toinen taso, yksityiskohtainen toiminnantarkastus ja kalibrointi: Pidemmän aikavälin tarkastuksessa tarkastetaan pyörrevirtalaitteen, pyörrevirta-antureiden, tarvikkeiden ja referenssi kappaleiden valittujen ominaisuuksien vakaus ja niiden pysyminen määrätyissä rajoissa. (41, s. 3; 43, s. 7; 45, s. 4.)

Kolmas taso, laaja toiminnantarkastus: Tarkastus suoritetaan pyörrevirtalaitteelle, pyörrevirta-antureille, tarvikkeille ja referenssi kappaleille, jotta varmistutaan ominai-

suuksien yhdenmukaisuus valmistajan kalibroimien ominaisuuksien kanssa. Organisaation, joka edellyttää kyseistä tarkastusta tulee määrittää ominaisuudet jotka tulee tarkastaa. (41, s. 3; 43, s. 8; 45, s. 4.)

Taulukko 3. Tarkastuksen tasot (41, s. 3; 43, s. 8; 45, s. 4).

Taso	Kohde	Tyypillinen aikaväli	Instrumentit	Vastuullinen taho
Ensimmäinen	Järjestelmän suorituskyvyn vakaus	Toistuva, esim. tunneittain, päivittäin, yms.	Referenssi kappaleet	Käyttäjä
Toinen	Koko laitteiston valittujen ominaisuuksien vakaus	Vähemmän toistuva, mutta vähintään vuosittain tai korjausten jälkeen	Kalibroidut mittauslaitteet, referenssi kappaleet	Käyttäjä
Kolmas	Koko laitteiston kaikki ominaisuudet	Laitteiston luovutuksen yhteydessä, tai pyydettyäessä	Kalibroidut laboratorion mittauslaitteet, referenssi kappaleet	Valmistaja, käyttäjä

Lisäksi aina ennen uuden kohteen tarkastuksen aloitusta tulee pyörrevirtatarkastuslaitteisto säätää ja kalibroida tarkastettavana olevalle materiaalille ja vallitseville olosuhteille oikeanlaiseksi. Tämä voidaan tehdä tarkastettavana olevasta materiaalista tehdyllä vertailukappaleella (kuva 55). Vertailukappale on samaa materiaalia kuin tarkastettava kappale ja siinä on luonnollisesti syntyneitä tai keinotekoisesti tehtyjä virheitä. Koska virheiden ominaisuudet tunnetaan, voidaan pyörrevirtatarkastuslaitteisto säätää ja kalibroida virheiden avulla. Tällaisia virheitä voivat olla, esimerkiksi väsymysmurtumat, säröt, sulkeumat, erikokoiset poratut reiät tai erikokoiset lovet. Vuorostaan jos säädetään esimerkiksi maalin paksuuden mittaamiseen käytettävä laitetta, on vertailukappaleessa useita näytteitä kyseessä olevasta maalista joiden paksuudet tunnetaan. Varsinainen säätö ja kalibrointi menettely voi sisältää esimerkiksi, näyttölaitteen etä-

syystekijän säädön, pyörrevirta-anturin herätesignaalin taajuuden säädön ja pyörrevirtalaitteen vahvistuksen ja signaalin prosessoinnin säädön. (34; 36; 39, s. 4.)



Kuva 55. Erilaisia vertailukappaleita (34).

7.3 Pyörrevirtatarkastusten suorittaminen

Pyörrevirtatarkastusta voidaan käyttää hyvin moneen eri tarkastukseen. Yleisimpiä tarkastuksia mitä pyörrevirtatarkastuksella voidaan suorittaa ovat:

- säröjen ja muiden epäjatkuvuuskohtien etsiminen
- erilaisten materiaalien sähkönjohtavuutta ja magneetista permeabiliteettia
- lämpökäsittelyn tason määrittäminen
- paksuuden mittaukset
- erilaisten lämmönvaihtimien tuubistojen tarkastukset. (34; 35, s. 6; 36; 39, s. 1.)

Ennen tarkastukseen ryhtymistä tulee tarkastettavan kappaleen pinta saattaa tarkastusta varten soveliaaseen kuntoon, koska tarkastettavan kappaleen pinnanlaatu saattaa vaikuttaa tarkastuksen tehokkuuteen ja tarkkuuteen huomattavasti (39, s. 5).

Tehokkuuteen ja tarkkuuteen vaikuttavia asioita ovat standardin SFS-EN ISO 15549 mukaan ainakin seuraavat seikat:

- tarkastettavan kappaleen pinnassa oleva lika
- tarkastettavan kappaleen pinnassa oleva hilse

- sähköä johtamattomat pinnoitteet, varsinkin jos tällaisen pinnoitteen paksuus vaihtelee tarkastettavalla alueella
- muut sähköä johtavat pintakäsittelyt
- tarkastettavan kappaleen pinnankarheus
- tarkastettavan kappaleen pinnalla mahdollisesti olevat hitsausroiskeet
- tarkastettavan kappaleen pinnalla mahdollisesti oleva öljy, rasva tai vesi. (39, s. 5.)

Jos edellä mainittuja tehokkuuteen tai tarkkuuteen vaikuttavia seikkoja ei voida muuttaa aiotulle tarkastukselle sopiviksi, tulee tarkastuksen tehokkuus ja luotettavuus osoittaa muulla hyväksytyllä tavalla (39, s. 5).

Lisäksi tuotteella tai tuote-erällä, joka on tarkastuksen kohteena, on oltava yksilöivä tunnistekoodi jolla tuotetta tai tuote-erää voidaan varmuudella ja luotettavasti seurata tai tunnistaa myös tarkastuksen jälkeen (39, s. 5).

7.3.1 Pyörrevirtatarkastuksen dokumentointi

Jos suoritetaan virallisia pyörrevirtatarkastuksia, annetaan standardissa SFS-EN ISO 15549 ohjeet tarpeellisesta dokumentoinnista. Standardi sisältää vähimmäisvaatimukset tarkastusmenettelytapaohjeen ja tarkastuspöytäkirjan laatimiseen. Mutta jos aluksilla suoritetaan omaan käyttöön tarkastuksia, riittää standardin ohjeiden noudattaminen vain soveltuvin osin.

Tarkastusmenettelytapaohjeen yleiset vaatimukset saadaan kerättyä erilaisista dokumenteista, esimerkiksi tuotestandardeista, teknisistä tiedoista, tilauksen yksityiskohdista, työselityksistä, rakennemääräyksistä, laatuvaatimuksista ja valmistusohjeista, ja selventää kaikki olennaiset muuttuvat osatekijät sekä tarvittavat varotoimet joita on noudatettava tarkastusta suoritettaessa. Standardin SFS-EN ISO 15549 mukaan tarkastusmenettelytapaohje tulisi sisältää ainakin seuraavat seikat:

- pyörrevirtatarkastuksen tarkoitus ja tavoite
- kuvaus tuotteesta, joka aiotaan tarkastaa
- käytettävä tarkastusmenetelmä

- yksityiskohtaiset tiedot tarkastusta suorittavan henkilöstön kelpoisuudesta ja pätevyyydestä
- tarkastettava alue
- suunnitelma miten tarkastettava alue skannataan
- tiedot miten tarkastettavan kappaleen pinta on valmisteltu tarkastusta varten
- ympäristön olosuhteet
- tiedot referenssikappaleista, joita on käytetty järjestelmän säätämiseen
- tutkimuslaitteiston kokoonpano
- pyörrevirtalaitteen ja pyörrevirta-anturin tarkastusten aikaväli
- vaatimukset signaalin arviointiin
- asiat jotka tulevat sisällyttää tarkastuspöytäkirjaan. (39, s. 7.)

Standardin SFS-EN ISO 15549 mukaan ennen kuin aletaan laatia tarkastuksen menettelytapaohjetta, joitakin, tai kaikkia, seuraavista tiedoista tarvitaan:

- pyörrevirtatarkastuksen tarkoitus ja tavoite
- tiedot tutkittavasta tuotteesta
- tarkastettavan alueen tarkka sijainti tarkastettavassa kappaleessa
- vaatimukset miten tarkastettavan kappaleen pinta tulee valmistella tarkastusta varten
- tarkastettavan kappaleen muodonmuutoksen aste tarkastuksen aikana, joka voidaan hyväksyä ilman että tarkastuksen tarkoituksenmukaisuus pienenee
- tarkastettavan alueen tarkastuksen kattavuuden aste
- tarkastuksen ja tarkastuslaitteiston herkkyys
- menetelmät joilla laitteistolta vaadittava herkkyys varmistetaan
- tarkastuksen hyväksymisenkriteerit, jos sellaiset on määritelty
- vaatimukset tarkastuspöytäkirjan suhteen
- tiedot henkilökunnan pätevyyydestä. (39, s. 7.)

Standardin SFS-EN ISO 15549 mukaan tarkastuspöytäkirjan tulee sisältää riittävän määrän tietoja, jotta suoritettu pyörrevirtatarkastus on toistettavissa milloin tahansa tarkastuspöytäkirjassa olevien tietojen pohjalta. Tarkastuspöytäkirjan tulee sisällyttää vähintään seuraavat seikat:

- tiedot tarkastettavan tuotteen valmistajasta

- tiedot jokaisesta kohteesta, joka on tarkastettu
- viittaus käytetystä tarkastusmenetelmästä sekä tarkastuksen menettelytapaohjeesta joilla tutkimus suoritettiin
- tekniset ohjeet tai vastaavat, jotka antavat menettelytapaohjeet tapauksessa missä tarkastuksen menettelytapaohjeet mahdollistavat vaihtelun tutkimusmenetelmässä, tutkimuslaitteistossa tai laitteiston säädöissä
- tiedot käytetystä tarkastusjärjestelmästä, erityisesti riittävät tiedot jotta voidaan varmuudella tunnistaa käytetty pyörrevirtalaitteen tyyppi sekä pyörrevirta-anturit
- tarkastuslaitteiston asetukset jota käytettiin tarkastuksessa
- tiedot joilla voidaan varmasti yksilöidä kalibrointiin ja säätämiseen käytetyt vertailukappaleet.
- suoritetusta tarkastuksesta saadut tulokset
- mahdolliset poikkeamat tarkastuksen menettelytapaohjeista
- tiedot joilla voidaan yksilöidä tarkastuksen suorittanut organisaatiota tai yritys
- tarkastuksen suorittaneen henkilön nimi sekä pätevyys
- tarkastuksen suorittaneen henkilön, tai muun valtuutetun henkilön, allekirjoitus
- päivämäärä ja paikka, missä tutkimus suoritettiin. (39, s. 7-8.)

Tarkastuspöytäkirjan muoto tulee sopia samalla, kun tehdään sopimus pyörrevirtatarkastuksen suorittamisesta (39, s. 8).

7.3.2 Säröjen ja muiden epäjatkuvuuskohtien etsiminen

Säröjen ja muiden epäjatkuvuuskohtien havaitseminen pyörrevirtatarkastuksella perustuu siihen, että tarkastettavassa kappaleessa olevat viat heikentävät kappaleeseen indusoituneita pyörrevirtoja. Viat, jotka ovat poikittain pyörrevirtoihin nähden, ovat huomattavasti paremmin havaittavissa, kuin sellaiset virheet jotka ovat pyörrevirtojen kanssa samansuuntaisia. Tämän takia olisi hyvä ennen tarkastukseen ryhtymistä tietää suurin piirtein millaisia virheitä tarkastettavasta kappaleesta haetaan. Muita tarkastukseen vaikuttavia seikkoja ovat esimerkiksi tarkastettavan kappaleen materiaali, kappaleen sähkönjohtavuus ja magneettinen permeabiliteetti, kappaleen pinnanlaatu, käytettävän pyörrevirta-anturin ominaisuudet ja käytettävän pyörrevirtalaitteen ominaisuudet. (34.)

Jotta pyörrevirtatarkastus, jolla pyritään havaitsemaan tarkastettavan kappaleen pinnassa tai välittömästi pinnan alapuolella olevia vikoja onnistuisi, tulee tarkastusta suorittavan henkilön tietää ja ottaa huomioon muutamia seikkoja. Tällaisia seikkoja ovat esimerkiksi:

- Tarkastajalla tulee olla suurin piirtein tieto millaisia, missä sijaitsevia ja minkä suuntaisia vikoja tarkastettavasta kappaleista oletetaan löytyvän.
- Tarkastajan tulee valita oikeanlainen pyörrevirta-anturi aiottuun tarkastukseen.
- Tarkastajan tulee valita oikeanlainen tarkastustaajuus aiottuun tarkastukseen. Jos etsitään pinnassa olevia virheitä, tulee taajuuden olla mahdollisimman korkea, jotta saavutetaan mahdollisimman suuri herkkyys. Vuorostaan jos etsitään pinnanalaisia virheitä, tulee käyttää matalampaa taajuutta, jotta pyörrevirrat tunkeutuisivat syvemmälle.
- Tarkastajan tulee säätää pyörrevirtatarkastuslaitteisto vallitseviin olosuhteisiin ja tarkastettavalle materiaalille sopivaksi, käyttämällä sopivia vertailukappaleita. (34.)

Tarkastuksen kulku missä etsitään pinnassa tai pinnan läheisyydessä olevia vikoja voisi olla esimerkiksi seuraavanlainen:

1. Valitaan tarkastukseen sopiva pyörrevirtalaite sekä pyörrevirta-anturi.
2. Valitaan sopiva tarkastustaajuus, jolla päästään haluttuun tunkeutumissyvyyteen.
3. Säädetään pyörrevirtalaitteisto joko käyttämällä oikeanlaista vertailukappaletta tai käyttämällä aiemmista tarkastuksista hyväksi havaittuja säätöjä.
4. Asetetaan pyörrevirta-anturi tarkastettavan kappaleen pinnalle ja nollataan näyttö eli säädetään etäisyystekijä.
5. Suoritetaan tarkastus. Tarkastusta suoritettaessa tulee huomioida, että anturia liikutetaan kuviolla joka kattaa koko tarkastettavan alueen.
6. Seurataan näyttölaiteelta onko tarkastettavassa kappaleessa säröjä tai muita epäjatkuvuuskohtia. (34.)

7.3.3 Sähkönjohtavuuden ja lämpökäsittelyn tason määrittäminen

Eräs pyörrevirtatarkastuksen sovelluksista on materiaalin sähkönjohtavuuden mittaaminen. Tietoa materiaalin sähkönjohtavuudesta voidaan käyttää esimerkiksi materiaa-

lin lajitteluun, oikean lämpökäsittelyn tarkastamiseen sekä lämpövaurioiden määrittämiseen. (34.)

Materiaalin lajittelemisessa sähkönjohtavuuden mittaamisella voidaan lajitella metallit helposti magneettisiin ja ei-magneettisiin metalleihin. Magneettisia metalleja ei voida tutkia pyörrevirtamenetelmää käyttäen sähkönjohtavuuden avulla tarkemmin niiden korkean magneettisen permeabiliteetin takia. Ei-magneettisista metalleista sitä vastoin pystytään määrittelemään esimerkiksi mistä metallista on kyse ja minkälainen kyseisen metallin lämpökäsittelytaso on. (34.)

Jos pyritään tunnistamaan tutkittavaa materiaalia pyörrevirtalaitteella, jossa on kompleksitason näyttö, tulee mitattuja tuloksia verrata vertailukappaleen arvoihin. Nykyään on saatavilla myös sellaisia pyörrevirtatarkastuslaitteita, jotka antavat suoraan tarkastettavan materiaalin sähkönjohtavuuden esimerkiksi megasiemensinä/metri (MS/m) tai IACS arvona. Kyseisiä arvoja käyttäen saadaan erilaisista taulukoista tunnistettua tutkittava materiaali (34.)

Joillain materiaaleilla sähkönjohtavuuden mittausta käytetään varmistamaan oikea lämpökäsittelytaso. Koska joillain materiaaleilla, kuten esimerkiksi erkautuskarkaisemalla käsitellyillä alumiiniseoksilla, oikea lämpökäsittelyn taso vaikuttaa suuresti materiaalin ominaisuuksiin. (1, s. 166–168; 34.)

Oikeat lämpökäsittelyn tasot, esimerkiksi seostetun alumiinin lämpökäsittelyssä voidaan todeta sähkönjohtavuuden mittauksilla seuraavasti. Alumiinin erkautuskarkaisussa on kolme eri vaihetta. Ensimmäisenä vaiheena on liuotushehkuttaminen, siinä seostettu alumiini lämmitetään määrättyyn lämpötilaan, jotta seosaine liukenisi alumiiniin. Tässä vaiheessa ei vielä voida käyttää hyväksi sähkönjohtavuuden muutoksia alumiiniseoksessa. Toisena vaiheena alumiinin erkautuskarkaisussa on alumiiniseoksen sammuttaminen. Sammuttamisessa alumiiniseos jäähdytetään nopeasti huonelämpötilaan liuotushehkutuslämpötilasta, jolloin korkeassa lämpötilassa lienneet seosaineet eivät pääse erkanemaan. Sammuttamisen jälkeen voidaan liuotushehkuttamisen onnistuminen todeta mittaamalla alumiiniseokseen sähkönjohtavuus, koska alumiinin liennut seosaine vaikeuttaa elektronien kulkua kappaleessa vähentäen kappaleen sähkönjohtavuutta. Kolmantena vaiheena alumiinin erkautuskarkaisemisessa on erkautushehkutus. Erkautushehkutus tehdään joko lämmittämällä kappale määrättyyn lämpötilaan ja pitämällä sitä siinä määrätty aika, jolloin on kyseessä niin sanottu keino-

vanhentaminen, tai pitämällä kappale tarpeellinen aika huoneenlämmössä, jolloin on kyseessä niin sanottu luonnollinen vanheneminen. Erkautushehkutuksessa alumiiniin liuennut seosaine asettuu alumiinin atomihilaan alumiinin atomipaikoille, tästä seuraa alumiiniseoksen sähkönjohtavuuden kasvu, myös tämän vaiheen onnistuminen voidaan todeta mittaamalla kappaleen sähkönjohtavuutta (taulukko 4). (1, s. 166–168; 34.)

Taulukko 4. Erään alumiiniseoksen lämpökäsittelyn tason vaikutus sähkönjohtavuuteen ja lujuuteen (34).

Lämpökäsittelyn taso	Murtolujuus	Myötölujuus	Sähkönjohtavuus
Karkaistu	180 Mpa	45 Mpa	50 % IACS
Liutushehkutettu, ja keinovanhennettu	440 Mpa	290 Mpa	30 % IACS
Liutushehkutettu, ja luonnollisesti vanhennettu	485 Mpa	455 Mpa	38 % IACS

7.3.4 Paksuuden mittaukset

Pyörrevirtamenetelmällä voidaan mitata erilaisten materiaalien sekä pinnoitteiden paksuuksia, esimerkiksi ohuiden metallilevyjen paksuutta, putkien seinämien paksuutta, sähköä johtamattomien pinnoitteiden paksuutta sähköä johtavien epämagneettisten materiaalien pinnalla, epämagneettisten metallisten pinnoitteiden paksuutta metallisten ja ei-metallisten materiaalien pinnalla sekä sähköä johtamattomien pinnoitteiden paksuutta sähköä johtavien materiaalien pinnalla (34; 47, s. 8; 48, s. 8).

Ohuiden metallisten kappaleiden, kuten levyjen, paksuuden mittaamisella voi olla useita erilaisia käyttötarkoituksia. Pyörrevirtamenetelmällä voidaan tarkastaa esimerkiksi ohuiden metallituotteiden eroosion, korroosion tai muun kuluman astetta tai valssaamoilla suorittaa ohuiden metallilevytuotteiden laadunvalvontaa. Pyörrevirtamenetelmällä on joitakin etuja verrattuna esimerkiksi ultraäänimenetelmään tai radio-

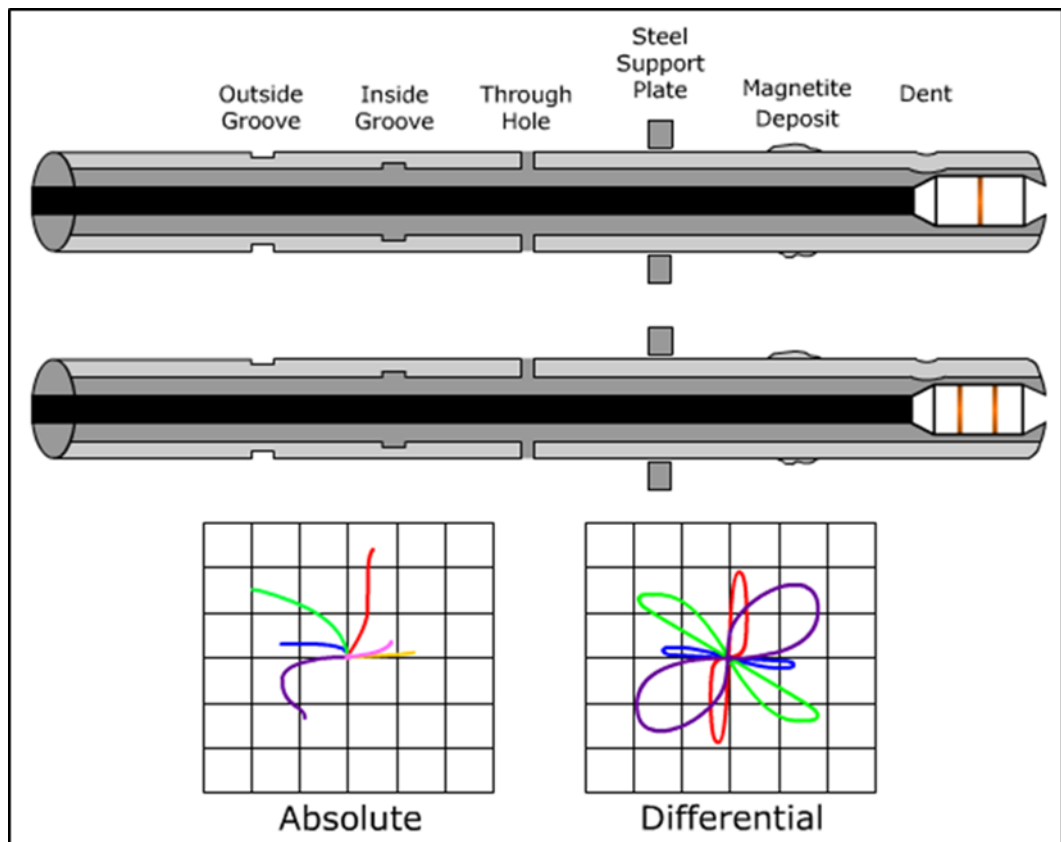
grafiseen menetelmään. Pyörrevirtamenetelmässä ei tarvita fyysistä kosketusta pyörrevirta-anturin ja tarkastettavan kappaleen välille, tällä saavutetaan se etu että voidaan tarkastaa myös monikerroksisten rakenteiden keskimmäisiä kerroksia. Lisäksi pyörrevirtamenetelmässä ei ole tarvetta saada tarkastettavan kappaleen taakse, esimerkiksi filmiä tai muuta kehitettä, kuten vaikkapa radiografisessa menetelmässä. Tällä saavutetaan se etu, ettei ole tarvetta purkaa ja paljastaa tarkastettavan kappaleen rakenteita turhaan. Putkien seinämien paksuuden tarkastuksella on usein samat tavoitteet kuin ohuiden metallituotteiden kohdalla, eli tarkastaa eroosion, korroosion tai muun kuluman aiheuttamaa materiaalin ohentumista sekä suorittaa valmistavalla laitoksella tuotteiden laadunvalvontaa. (34.)

Pyörrevirtamenetelmällä voidaan mitata myös erilaisten pinnoitteiden, niin sähköä johtavien kuin sähköä johtamattomien, metallisten ja ei-metallisten sekä magneettisten ja ei-magneettisten, paksuutta. Pinnoitteet voivat olla hyvin monenlaisten materiaalien pinnalla, niin metallisten kuin ei-metallisten, sähköä johtavien ja sähköä johtamattomien sekä magneettisten ja ei-magneettisten kappaleiden pinnalla. Tällaisia pinnoitteen ja perusaineen yhdistelmiä voivat olla esimerkiksi, teräksen kromi-, kadmium-, sinkki-, tina- tai kuparipinnoitteet tai komposiittimateriaalien hopea- tai kuparipinnoitteet sekä erilaisten metallisten perusaineiden maali- tai muovipinnoitteet. (34; 47, s. 8; 48, s. 8.)

7.3.5 Lämmönvaihtimien tuubistojen tarkastukset

Pyörrevirtamenetelmää käytetään hyvin laajalti erilaisten putkilämmönvaihtimen tuubistojen tarkastukseen. Tuubeista tarkastetaan esimerkiksi eroosion tai korroosion aiheuttamaa materiaalin ohentumista, mahdollisten reikien, erilaisten painaumien tai mutkien sekä magneettisten jäämien esiintymistä. Tarkastus suoritetaan viemällä sisäpuolinen anturi tarkastettaviin tuubeihin. Mahdollisten löydösten vakavuutta ja luonnetta voidaan arvioida niiden pyörrevirtalaitteen näyttöön jättämän jäljen perusteella. Kuvassa 56 on esitetty yleisimpien löydösten aikaansaamia jälkiä pyörrevirtalaitteen kompleksitason näytöllä. Punaiset jäljet ovat syntyneet ohenemasta, joka sijaitsee putken ulkopuolella. Siniset jäljet vuorostaan ohenemasta, joka sijaitsee putken sisäpuolella. Vihreät jäljet reiästä, joka on lävistänyt koko putken. Violetti syntyy vuorostaan tuubistoa kasassa pitävästä rakenteista ja on siten vaaraton. Keltainen jälki syntyy magneettisista jäämistä ja vaaleanpunainen pienestä painautumasta. Lisäksi tulee

huomata jälkien ero, kun on käytetty absoluutti-, tai differentiaalimenetelmän pyörrevirta-antureita. Pyörrevirtamenetelmää käyttämällä on tuubistojen tarkastuksesta saatu melko nopea ja luotettava tarkastustoimenpide. (34.)



Kuva 56. Erilaisten löydösten pyörrevirtalaitteen näytölle jättämiä näyttämiä (34).

7.4 Hyvät puolet

Yksi pyörrevirtamenetelmän suurimmista eduista on sen erittäin laaja soveltuvuus erilaisiin tarkastuksiin ja mittauksiin. Pyörrevirtatarkastus on oikein käytettynä myös erittäin herkkä pienillekin säröille ja muille epäjatkuvuuskohdille. Pyörrevirtatarkastuksella on esimerkiksi tunkeumanestetarkastukseen myös se etu, että tarkastuksesta saadut tulokset ovat välittömästi käytettävissä. Pyörrevirtatarkastuksen etuihin voidaan katsoa kuuluvan myös se, että pyörrevirtatarkastuslaitteet ovat kooltaan yleensä melko pieniä ja siten helposti siirreltäviä. Lisäksi pyörrevirtamenetelmällä voidaan tarkastaa hyvin erimuotoisia kappaleita eikä pyörrevirta-anturin tarvitse olla fyysisessä kontaktissa tarkastettavan kappaleen kanssa. (34.)

7.5 Huonot puolet

Pyörrevirtatarkastuksen yhtenä huonoimmista ja rajoittavammista puolista on se, että pyörrevirtatarkastuksella voidaan tarkastaa ainoastaan sähköä johtavia materiaaleja. Myös tarkastettavan kappaleen materiaalin korkea magneettinen permeabiliteetti haittaa tarkastusta. Pyörrevirtatarkastusta suorittavan henkilöstön tulee olla muihin NDT-menetelmiin verrattuna melko kokenutta ja pitkälle koulutettua johtuen pyörrevirtatarkastuksen teknisestä vaativuudesta. Pyörrevirtatarkastuksen huonoihin puoliin voidaan katsoa lukeutuvan myös, että pyörrevirtalaitteiston säätämiseen vaaditaan sertifioidut oikeanlaiset vertailukappaleet. Lisäksi pyörrevirtatarkastuksen huonoihin puoliin kuuluu, että pyörrevirtamenetelmällä on hyvin rajoitettu tarkastussyvyys. (34.)

7.6 Sovellukset/käyttökohteet laivojen kunnossapidossa

Pyörrevirtamenetelmä on käsittelemistäni NDT-menetelmistä vähiten käytetty laivaolosuhteissa. Lähettämäni kyselyn perusteella laivoilla oman miehistön toimesta ei ollut tietoisesti käytetty pyörrevirtamenetelmää kertaakaan. Joskin epäilen, että menetelmää on käytetty tietämättään esimerkiksi pinnoitteiden paksuuden mittaamisen yhteydessä.

NDT-tarkastuksia suorittavien yhtiöiden tarkastajat olivat käyttäneet pyörrevirtamenetelmää laivaolosuhteissa useimmiten lämmönvaihtimen tuubien sekä kattilan putkistojen tarkastuksiin. Muita mainittuja käyttökohteita olivat kampiakselin laakereiden kaulat, kiertokankien pultit, lastitankkien hitsisaumat pinnoitteiden läpi, jotkin nostureiden kriittisimmät hitsisaumat sekä kovassa kulutuksessa olevat hammaspyörät, esimerkiksi azipod-ruorilaitteiston kääntökehän hammaspyörät.

8 ULTRAÄÄNITARKASTUS

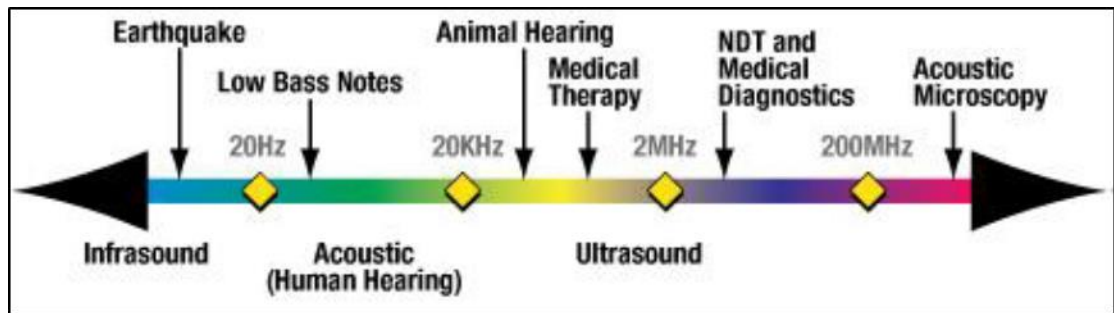
Ultraäänitarkastus on NDT-menetelmä, joka perustuu tarkastettavaan materiaaliin lähetettyjen ultraäänten heijastumisten tai siroamisten tutkimiseen. Ultraäänten heijastuminen tai siroaminen johtuu tarkastettavassa kappaleessa olevista epäjatkuvuuskohdista. Tällaisia epäjatkuvuuskohdista voivat olla esimerkiksi erilaisten materiaalien rajapinnat, huokokset, säröt, valuvirheet tai halkeamat. Myöhemmin tässä työssä tullaan käyttämään tällaisista epäjatkuvuuskohdista nimitystä heijastaja. (9, s. 450–451; 49, s. 14–16.)

Ultraäänimenetelmällä voidaan tarkastella tutkittavasta kappaleesta sen materiaalin ainepaksuutta sekä valmistuksessa tai käytön aikana syntyneitä sisäisiä vikoja. Lisäksi ultraäänimenetelmällä voidaan suorittaa erilaisia materiaalin tutkimuksia, kuten materiaalien lajittelua, materiaalin kimmokertoimen määrittelyä, erilaisten nesteiden väkyyden määrittämistä, keraamisten esineiden tiheyden määrittämistä sekä pintakarkaisun syvyyttä teräksessä. Tässä työssä käsittelemme pääasiassa ainepaksuuden mittauksen sekä yleiset periaatteet sisäisten vikojen etsinnästä. (9, s. 450; 50; 51.)

8.1 Ultraääni

Ultraääni on korkeataajuisia ääniaaltoja. Ääniaallot ovat yksinkertaisesti mekaanista värähtelyä, joka kulkee väliaineen läpi joka voi olla joko kaasua, nestettä tai kiinteää ainetta. Ääniaallot kulkevat tietyssä väliaineessa tarkoin määrättyllä nopeudella ennustettavissa olevaan suuntaan. Jos nämä ääniaallot kohtaavat toisenlaisen väliaineen rajan, ne joko heijastuvat tai läpäisevät tuon rajan noudattaen yksinkertaisia fysiikan sääntöjä. Näiden sääntöjen sovelluksiin perustuu koko ultraäänitarkastus. (52.)

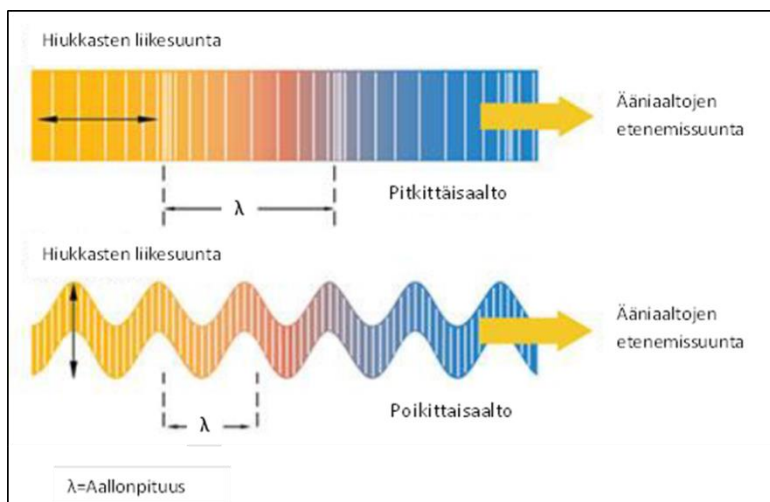
Kaikki ääniaallot värähtelevät tietyllä taajuudella (f), joka on mekaanisten värähtelyjen määrä sekunnissa, hertsi (Hz). Parhaimmillaan ihminen kykenee kuulemaan ääniaaltoja jotka ovat alle 20 KHz, sitä korkeampia ääniaaltoja kutsutaan ultraääniksi (kuva 57). Ultraäänitarkastuksessa käytetään ääniaaltoja joiden taajuus on 0,5 - 25 MHz. Noissa taajuuksissa äänen energia ei kulje tehokkaasti kaasuissa, kuten esimerkiksi ilmassa, mutta useimmissa nesteissä sekä konetekniikan materiaaleissa, kuten useimmissa metalleissa, muoveissa, keramiikassa sekä komposiittimateriaalissa ääniaaltojen energia kulkee tehokkaasti. Ultraäänitaajuuksissa ääniaallot ovat huomattavasti helpommin suunnattavia kuin kuuluvan äänen taajuuksissa. Lisäksi ultraäänien lyhyen aallonpituuden johdosta ne heijastuvat hyvinkin pienistä heijasteista. Näihin ominaisuuksiin perustuu ultraäänimenetelmän kyky havaita pieniä epäjatkuvuuskohtia tarkastettavasta materiaalista. Teoreettinen pienin heijaste tai ainepaksuus mikä voidaan havaita, on yhden aallonpituuden mittainen. (52; 53; 54, s. 4.)



Kuva 57. Ääniaallot jaoteltuna taajuusalueiden mukaan (52).

8.1.1 Ääniaaltojen eteneminen

Ääniaallot, joita käytetään ultraäänitarkastuksessa, liikkuvat tarkastettavan kappaleen materiaalissa erilaisissa aallon muodoissa. Käytettyjä aaltotyyppejä ovat poikittaisaallot, pitkittäisaallot, pinta-aallot sekä levyaallot. Ylivoimaisesti eniten käytettyjä näistä aaltotyypeistä ovat pitkittäisaallot sekä poikittaisaallot (kuva 58). (49, s. 14; 50; 52.)



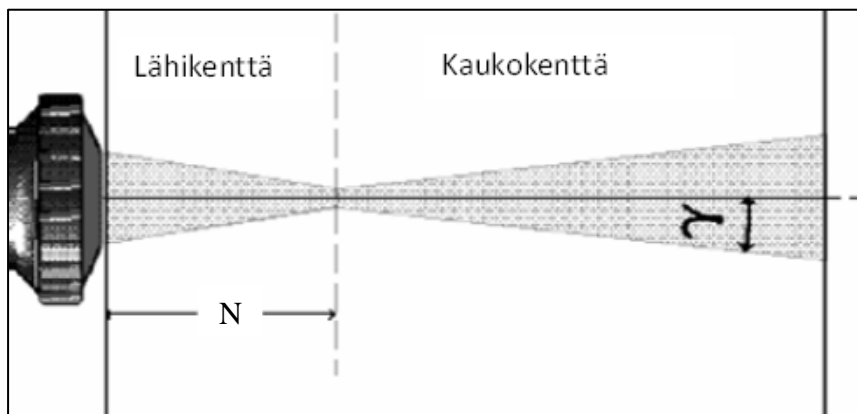
Kuva 58. Yleisimmin käytetyt aallon etenemismuodot (52).

Pitkittäisaalloissa väliaineen hiukkaset värähtelevät ääniaallon etenemissuunnassa ja niiden etenemisnopeus teräksessä on noin 5900 metriä sekunnissa. Ultraäänitarkastuksessa pitkittäisaaltoja voidaan muuttaa poikittaisaalloiksi käyttämällä hyväksi aallon taittumista erilaisista rajapinnoista. Tähän aiheeseen palaamme tässä opinnäytetyössä myöhemmin. (50; 52.)

Poikittaisaallossa väliaineen hiukkaset värähtelevät kohtisuoraan ääniaaltojen etenemissuuntaan nähden ja niiden etenemisnopeus teräksessä on noin 3250 metriä sekunnissa. Pitkittäisaallot pystyvät etenemään ainoastaan kiinteissä väliaineissa eivät nestemäisissä tai kaasumaisissa väliaineissa. (50; 52.)

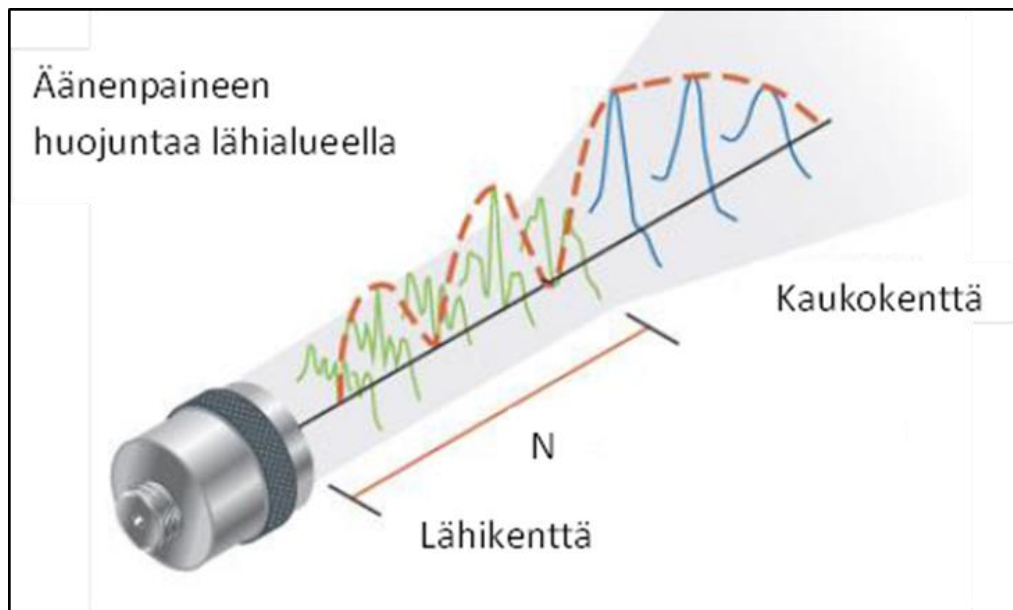
8.1.2 Ultraäänen äänikeila

Ultraäänitarkastuksessa käytettävät ääniaallot muodostetaan ultraääniluotaimessa, jonka toiminnasta kerrotaan tässä opinnäytetyössä myöhemmässä vaiheessa tarkemmin. Jokaisella luotaintyyppillä on erilainen vaikutusalue, joka riippuu luotaimen muodosta, ultraäänien taajuudesta sekä tarkastettavan kappaleen materiaalista. Tätä vaikutusaluetta kutsutaan äänikeilaksi. Luotaimen muodostama äänikeila muodostuu kahdesta eri alueesta, jotka ovat lähikenttä eli fokusoiva alue ja kaukokenttä eli laajeneva alue (kuva 59). (50; 52; 54, s. 5-6.)



Kuva 59. Äänikeilan kentät (54).

Lähikentän pituudella on suuri vaikutus materiaalin vikoja etsivälle ultraäänitarkastukselle. Lähikentässä luotaimen muodostamissa ääniaalloissa esiintyy voimakasta äänenpaineen vaihteluita sekä amplitudin huojuntaa (kuva 60). Tämä ilmiö tekee lähikentässä olevien heijasteiden havaitsemisen erittäin vaikeaksi, ellei peräti mahdottomaksi. Välittömästi lähikentän jälkeen ääniaallot ovat voimakkaimmillaan, jonka jälkeen äänikeila alkaa laajeta ja ääniaaltojen voimakkuus pienenee. Tästä ilmiöstä ei kuitenkaan ole merkittävää haittaa ainepaksuuksien mittaamisessa. (50; 52.)



Kuva 60. Ääniaaltojen käyttäytyminen eri kentissä (52).

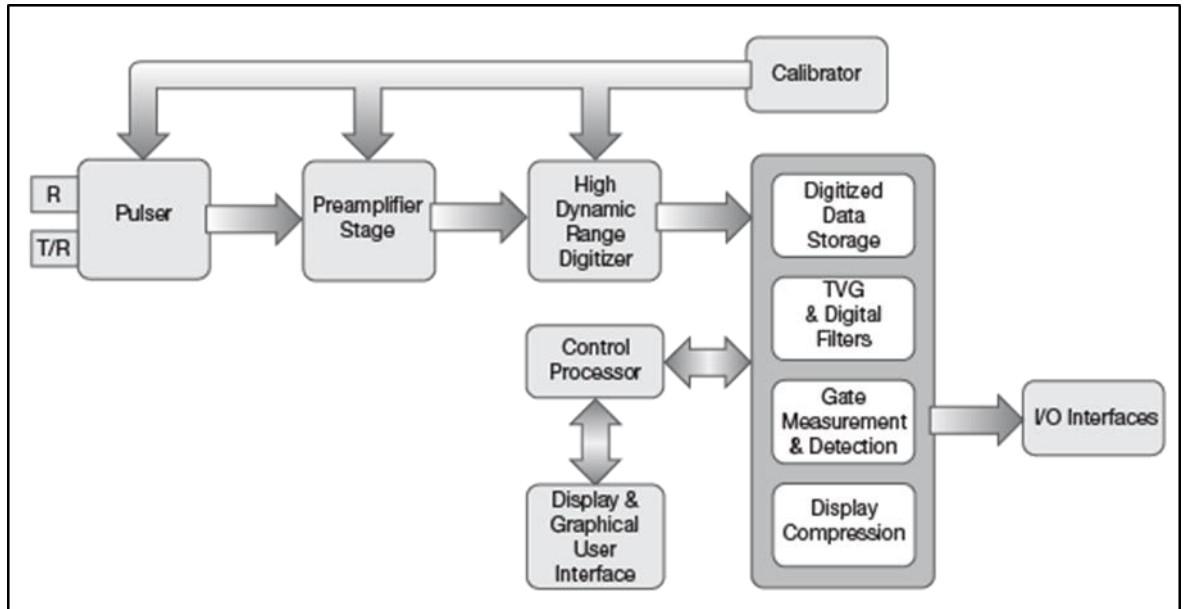
8.2 Ultraäänitarkastuslaitteet

Ultraäänitarkastuslaitteisto koostuu ultraäänilaitteesta, erilaisista luotaimista sekä erilaisiin käyttötarkoituksiin sopivista kytkentäaineista. Lisäksi ultraäänitarkastuslaitteistoon voidaan katsoa kuuluvaksi erilaiset tarkastus- sekä vertailukappaleet. (49, s. 16–20.)

8.2.1 Ultraäänilaite

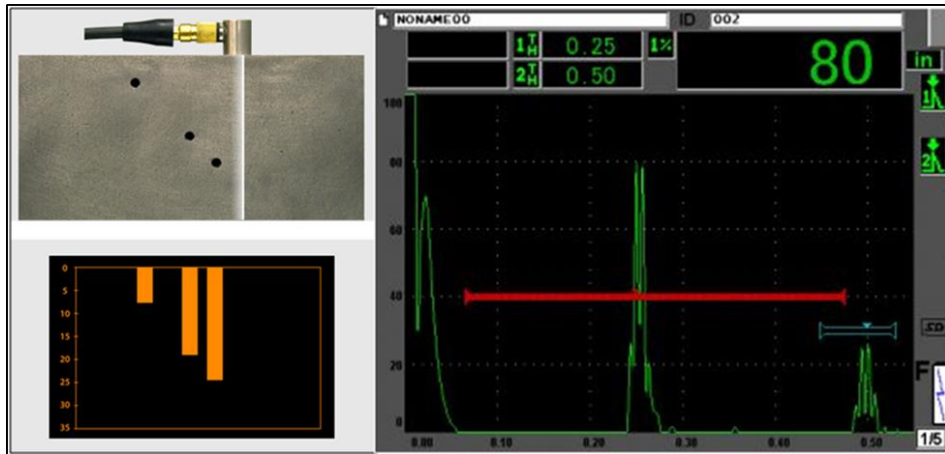
Nykyaikaiset ultraäänilaitteet ovat pieniä mikroprosessoripohjaisia laitteita, jotka sisältävät tyypillisesti ultraäänien lähetin / vastaanotinyksikön, laitteiston ja ohjelmiston signaalin vastaanottoon ja analysointiin, näyttölaitteen sekä tietojenkeruuyksikön. Kuvassa 61 on nykyaikaisen ultraäänilaitteen yksinkertaistettu kaaviokuva. Kaavion alkupäässä sijaitseva lähetin / vastaanottoyksikkö lähettää herätesignaalin luotaimelle, joka muuntaa sähköisen signaalin ultraääniaalloksi. Lähetin / vastaanotinyksikkö vastaanottaa saapuvat kaiut ja muuttaa ne takaisin sähköiseksi signaaliksi. Tästä signaali siirtyy esivahvistimelle, jossa signaalia vahvistetaan tarpeen mukaan. Vahvistimesta signaali kulkee digitalisointiyksikköön, joka muuttaa sähköisen signaalin digitaaliseksi pulssiksi. Nyt digitaalisen pulssin muodossa olevaa signaalia vahvistetaan, suodatetaan sekä muokataan monella eri tavoin. Käytettyjä muokkaustapoja ovat esimerkiksi pulssin amplitudin, muodon, kaistanleveyden ja vaimennuksen muokkaus. Pulssin muokkaus on suoritettava, jotta digitaaliselle signaalille saataisiin sopiva signaalikohinasuhde. Sopiva signaalikohinasuhde tarvitaan, jotta ultraäänilaitteen ohjelmisto ky-

kenee suorittamaan signaalille tarvittavat mittaus- ja analysointitoimet. Ultraäänilaitteiston suoritettua tarvittavat mittaus- ja analysointitoimet, esitetään saadut tulokset laitteen näytöllä. Yleisimmät käytössä olevat näyttömuodot ovat A-kuva ja B-kuva. Joissain laitteissa saadut tulokset voidaan myös tallentaa tietojenkeruuyksikköön, josta saatuja tuloksia voidaan tarkastella myöhemminkin. (52.)



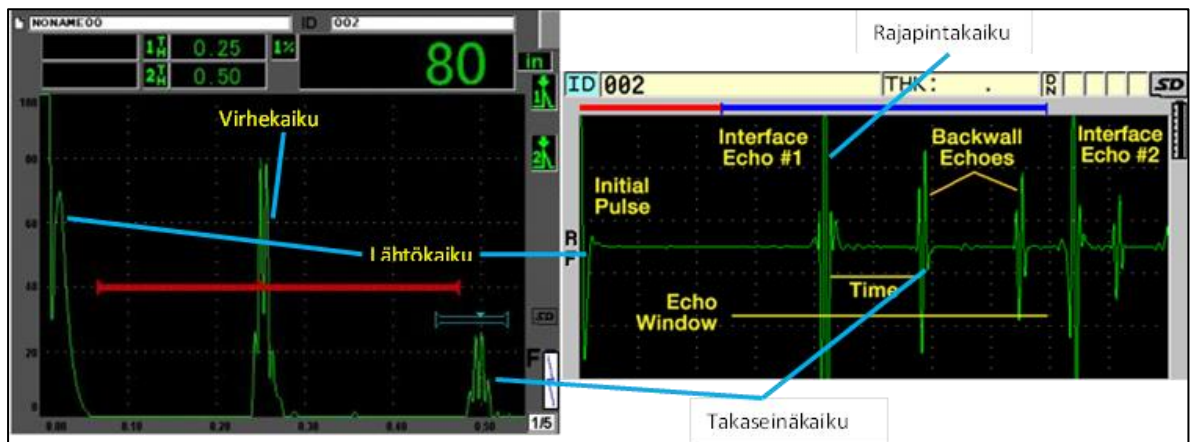
Kuva 61. Kaaviokuva nykyaikaisesta ultraäänilaitteesta (52).

A-kuvassa (kuva 62), josta joskus käytetään myös nimitystä aaltomuodon näyttö, esitetään heijasteista saadut kaiut ultraäänilaitteen näytöllä siten, että X-akselilla esitetään aika kuinka kauan kaiulta kestää palata luotaimeen ja Y-akselilla kuinka voimakas kaiku on. B-kuvassa (kuva 62) esitetään ultraäänilaitteen näytöllä kuva tarkastettavan kappaleen poikkileikkauksesta, Y-akselilta selviää kuinka syvällä havaittu heijastaja on ja X-akselilta selviää heijastajan paikka tarkastettavassa kappaleessa. (50; 52.)



Kuva 62. Vasemmalla tyypillinen B-kuva, oikealla tyypillinen A-kuva (52).

A-kuvassa (kuva 63) esiintyy yleensä useiden eri kaikujen signaaleja. Signaaleja muodostavia kaikuja ovat lähtökaiku, rajapintakaiku, virhekaiku sekä takaseinäkaiku. Lähtökaiku muodostuu nimensä mukaisesti siitä, kun luotain lähettää ääniaaltoja tarkastettavaan kappaleeseen. Rajapintakaiku syntyy kahden materiaalin rajapinnasta, joilla on erilaiset akustiset ominaisuudet. Virhekaiku syntyy nimensä mukaisesti jonkinlaisesta virheestä, eli heijasteesta, tarkastettavassa kappaleessa. Takaseinäkaiku vuorostaan syntyy tarkastettavan kappaleen takaseinästä. (55.)



Kuva 63. A-kuvan kaikujen tyypit (52; 55).

8.2.2 Ultraääniluotaimet

Ultraääniluotain on laite, joka muuttaa sähköistä energiaa korkeataajuisiksi ääniaalloiksi, sekä heijastuneita ultraääniaaltoja, eli kaikuja, takaisin sähköiseksi energiaksi. Tyypillinen ultraääniluotain koostuu aktiivielementistä, vaimentavasta materiaalista sekä kulumisleivystä. (50; 53; 56, s. 5.)

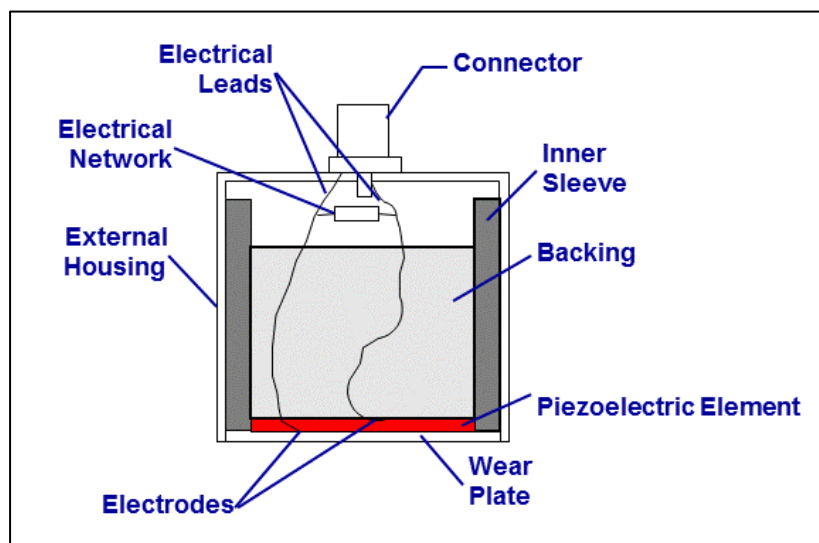
Aktiivielementti koostuu pietsosähköisestä tai ferrosähköisestä materiaalista, joka muuttaa ultraäänilaitteen lähetin/vastaanotinyksikön lähettämän herätesignaalin mekaaniseksi värähtelyksi, joka johtuu tarkastettavaan kappaleeseen ultraääni aalloiksi. Tarkastettavassa kappaleessa oleva heijaste heijastaa ultraääniaallon takaisin aktiivielementtiin, joka muuntaa mekaanisen värähtelyn sähköiseksi signaaliksi. (56, s. 5.)

Vaimentavan materiaalin tarkoituksena ultraääniluotaimessa on ohjata muodostuneet ultraääniaallot oikeaan suuntaan sekä muokata vastaanotetun signaalin amplitudia sekä aallonmuotoa (56, s. 5).

Kulumislevyn pääasiallinen tarkoitus on suojata ultraääniluotainta. Kulumissuojalevyn tulisi olla kulutusta kestävä ja ruostumatonta materiaalia, jotta se kestäisi kulutusta esimerkiksi teräksisillä pinoilla. Kulumislevyn toisena tehtävänä tietyntyyppisillä luotaimilla on toimia niin sanottuna viivemateriaalina. (56, s. 5.)

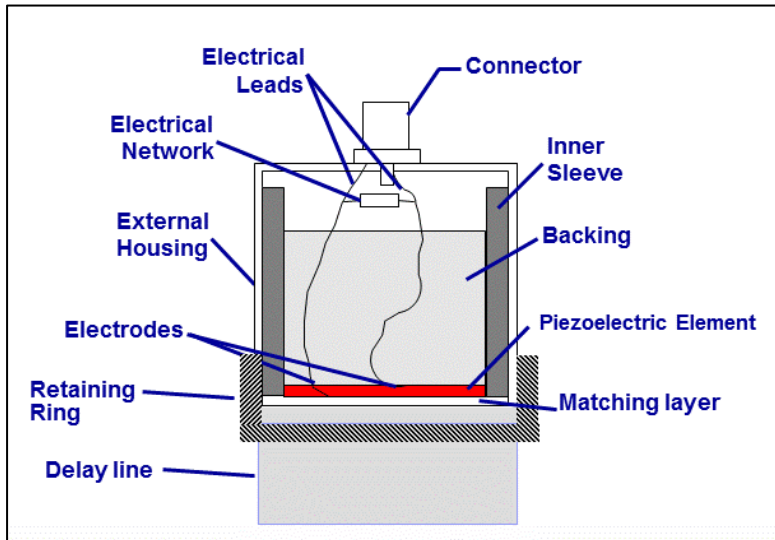
Ultraäänitarkastuksessa käytettävät ultraääniluotaimet voidaan jakaa viiteen luokkaan, jotka ovat kosketusluotain, viiveluotain, kaksoiselementti luotain, upotusluotain sekä kulmaluotain (53; 56, s. 5-8).

Kosketusluotaimet (kuva 64) ovat nimensä mukaisesti suorassa kosketuksessa tarkastettavan kappaleen kanssa. Kosketusluotaimet käyttävät tarkastukseen pitkittäisaaltoja ja niillä voidaan suorittaa ainepaksuusmittauksia sekä etsiä materiaalin sisäisiä vikoja. (53; 55; 57.)



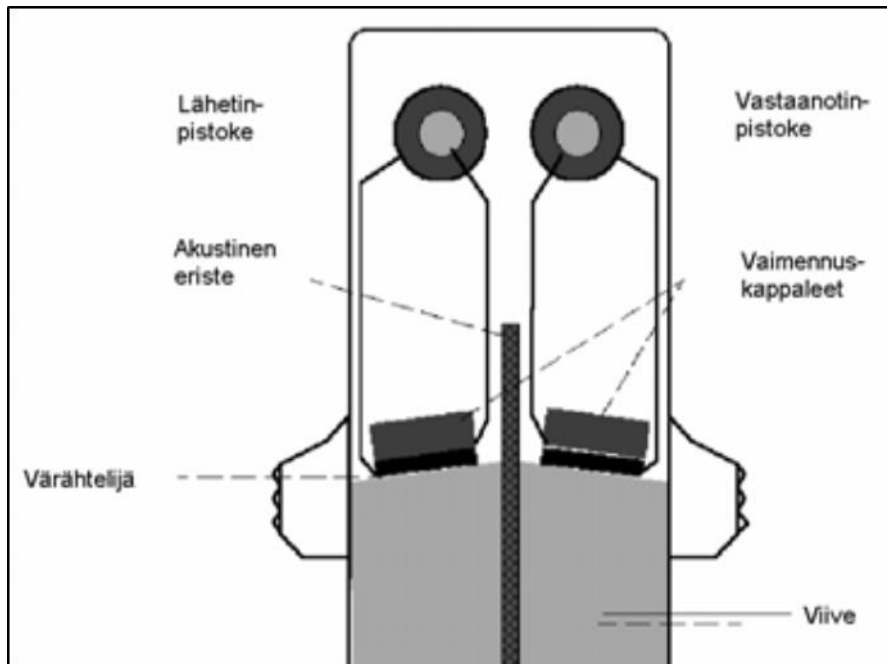
Kuva 64. Kosketusluotain (58).

Viiveluotaimessa (kuva 65) tarkastettavan kappaleen ja luotaimen aktiivielementin välissä on yleensä muovista, epoksista tai kvartsilasista valmistettu viivettä aiheuttava kappale. Tämän kappaleen aiheuttaman viiveen johdosta ehtii aktiivielementti lakata värähtelemästä ennen heijasteen aiheuttamaa kaiun palaamista aktiivielementille. Tällä saavutetaan se etu, että voidaan mitata ohuidenkin kappaleiden paksuutta sekä saavutetaan parempi erottelukyky etsittäessä kappaleen sisäisiä virheitä, jotka sijaitisivat lähellä kappaleen pintaa. Lisäksi viivekappale on hyvä lämmöneriste, joten viiveluotaimella voidaan tarkastaa myös kuumia kappaleita. Myös viiveluotaimet käyttävät tarkastuksiin pitkittäisaaltoja ja niillä voidaan suorittaa aineenpaksuusmittauksia sekä etsiä materiaalin sisäisiä vikoja. (53; 55; 56, s. 5.)



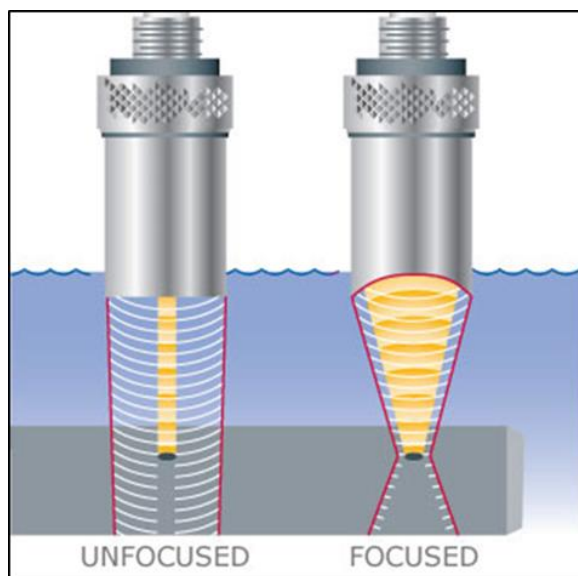
Kuva 65. Viiveluotain (58).

Kaksoselementtiluotain (kuva 66) sisältää samassa rungossa erilliset aktiivielementit lähettimelle sekä vastaanottimelle. Lisäksi kaksoselementtiluotaimissa käytetään samantyyllisiä viivekappaleita molempien elementtien edessä kuten viiveluotaimissa, sillä erolla että kaksoselementtiluotaimessa viivekappaleet ovat asennettu pieneen kulmaan. Tällä saavutetaan se etu, että kaksoselementtiluotaimessa ääniaallot voidaan keskittää halutulle etäisyydelle testattavassa kappaleessa. Myös kaksoselementtiluotaimissa käytetään tarkastuksiin pitkittäisaaltoja. Vaikka mittausten tarkkuus ei kaksoselementtiluotaimia käytettäessä välttämättä ole aivan muiden luotainten tasolla, saavutetaan niillä esimerkiksi korroosiotuneiden tai epä tasaisten kohteiden paksuusmittauksissa huomattavasti parempia tuloksia muihin luotaimiin verrattuna. Aineen sisäisiä vikoja tarkastettaessa kaksoselementtiluotaimet soveltuvat erittäin hyvin materiaaleille, joiden pinta on karkea tai joiden mikrorakenne on karkearakainen, kuten erilaiset valukappaleet tai austeniittinen ruostumatonteräs. Lisäksi viivekappaleiden ansiosta soveltuvat kaksoselementtiluotaimet myös kuumien kappaleiden tarkastukseen. (53; 56, s. 5; 57.)



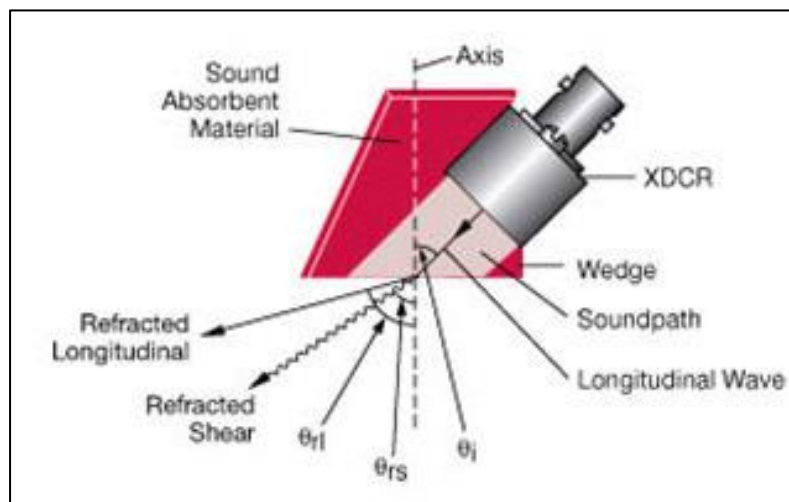
Kuva 66. Kaksoiselementti luotain (54, s. 19).

Upotusluotain (kuva 67) on toiminnaltaan hyvin samanlainen viiveluotaimen kanssa eli myös upotusluotaimella voidaan mitata ohuidenkin kappaleiden paksuutta sekä saavutetaan parempi erottelukyky etsittäessä kappaleen sisäisiä virheitä, jotka sijaitsivat lähellä kappaleen pintaa. Lisäksi ne käyttävät tarkastuksiin pitkittäisaaltoja. Merkittävin ero viiveluotaimen ja upotusluotaimen välillä on viivekappaleen materiaalissa. Kun viiveluotaimen viivekappale koostuu yleensä muovista, epoksisia tai kvartsilasista, niin upotusluotaimessa viiveen aiheuttaa nestepatja, yleensä vesipatja, tarkastettavan kappaleen ja luotaimen välissä. Tällä järjestelyllä saavutetaan muutamia etuja verrattuna muihin luotaintyyppeihin. Erilistä kytkentäainetta ei tarvita, koska nestepatja toimii kytkentäaineena. Lisäksi tarkastuksen herkkyys paranee, koska nestepatja kytkentäaineena aikaansaa tasaisen kontaktin luotaimen ja tarkastettavan kappaleen välille. (53; 55; 56, s. 6-7.)



Kuva 67. Upotusluotain (59).

Kulmaluotaimissa (kuva 68) luotaukseen tarvittava kulma saadaan asentamalla luotaimen muovista tai epoksista valmistettu kiila. Yleisemmin käytettyjä kulmia ovat 30° , 45° , 60° ja 70° . Kulmaluotauksessa käytetään poikittaisaaltoja, jotka saadaan fyysikan lakien mukaisesti muodostettua luotaimen alun perin lähettämistä pitkittäisaalloista. Kulmaluotaimia käytetään ainoastaan aineen sisäisten vikojen etsintään. Muista sisäisten vikojen etsintään käytetyistä luotaimista poiketen, käytetään kulmaluotaimia yleisesti sellaisten heijasteiden etsintään, jotka eivät ole tarkastettavan kappaleen pinnan kanssa yhdensuuntaisia. Tällaisia vikoja esiintyy hyvin yleisesti hitsisaumoissa sekä hitsauksen aikaansaamissa muutosvyöhykkeissä. Tästä johtuen kulmaluotaimia käytetäänkin hyvin yleisesti hitsisaumojen sekä muutosvyöhykkeiden tarkastukseen. (1, s. 118; 53; 56, s. 6.)



Kuva 68. Kulmaluotain (52).

Kuten aiemmin on jo mainittu, kulmaluotauksessa käytettävät poikittaisaallot saadaan muodostettua luotaimen lähettämistä pitkittäisaalloista. Tällä järjestelyllä saavutetaan kaksi merkittävää etua. Ensimmäiseksi ääniaaltojen energia saadaan siirretyksi tehokkaammin tarkastettavaan kappaleeseen pitkittäisaaltona. Toiseksi poikittaisaalloiksi muuttuneilla pitkittäisaalloilla on selvästi parempi kyky havaita pienempiä vikoja, koska samalla taajuudella poikittaisaalloilla ääniaaltojen pituus on noin 60 % verrattuna pitkittäisaaltoihin. Aaltojen muutoksessa käytetään hyväksi fysikaalista ilmiötä, jota kutsutaan taittumislaki eli Snelliuksen laiksi. Taittumislaki määrittää miten aalto liike, joka ei tule suorassa kulmassa rajapintaan nähden, taittuu kahden eri materiaalin rajapinnassa. Matemaattisesti tämä laki voidaan esittää seuraavasti: (50; 52; 53; 54, s. 15; 56, s. 6.)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

(15.)

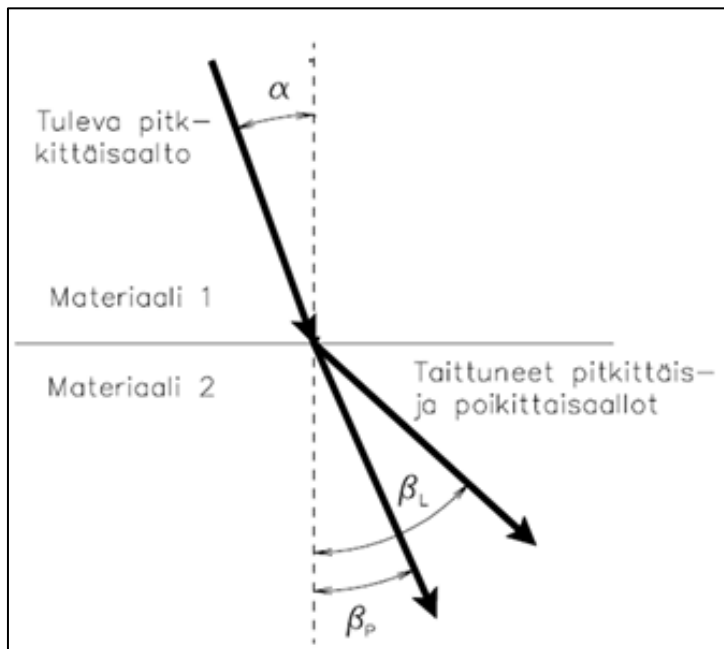
α = ääniaallon tulokulma asteina

β = ääniaallon taittumiskulma asteina

c_1 = äänennopeus materiaalissa 1, metriä sekunnissa

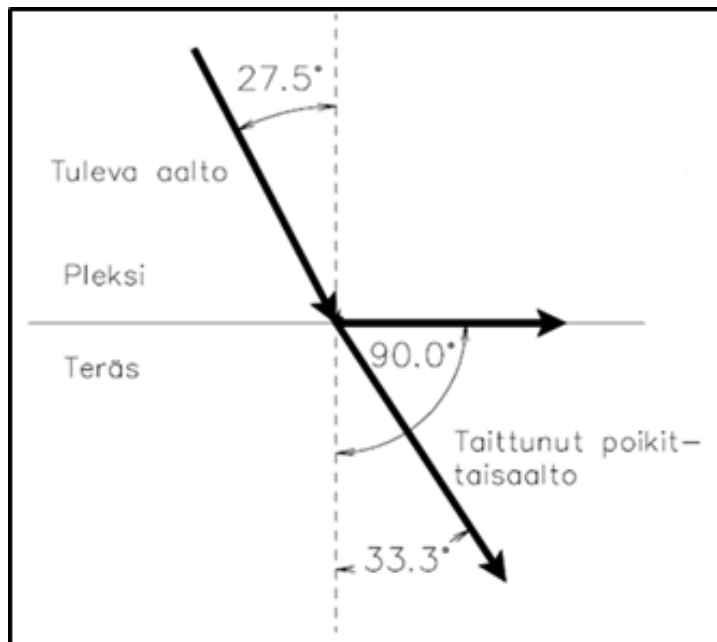
c_2 = äänennopeus materiaalissa 2, metriä sekunnissa

Kuvissa 69 – 71 on esitetty pitkittäisen ultraääniaallon käyttäytyminen taittumislain mukaan, kun se saapuu kulmaluotaimelta tarkastettavaan kappaleeseen. Kuvassa 69 luotaimesta tulee pitkittäisaalto kulmassa α pleksin ja teräksen rajapinnalle, jolloin teräkseen muodostuu taittuneita pitkittäis- sekä poikittaisaalloja. Koska poikittaisaaltojen etenemisnopeus on huomattavasti pienempi kuin pitkittäisaallolla, voidaan taittumislain laskentakaavalla todeta taittuneiden poikittaisaaltojen kulman β_P olevan selvästi pienempi kuin pitkittäisaaltojen kulman β_L . (54, s. 15–17; 56, s. 6.)



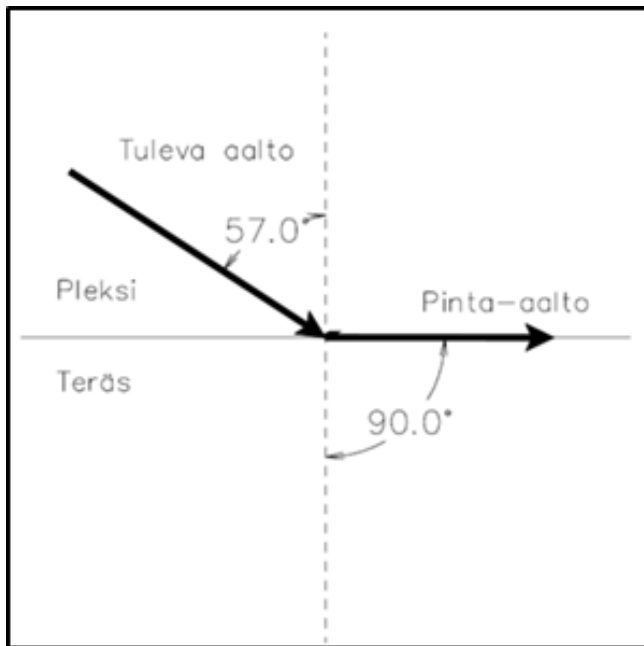
Kuva 69. Pitkittäisaaltojen taittuminen (54, s. 16).

Kuvassa 70 luotaimelta tuleva pitkittäisaalto on saavuttanut 27,5 asteen rajan eli niin kutsutun 1. kriittisen kulman. Tässä kulmassa teräkseen heijastuneet pitkittäisaallot saavuttavat pleksin ja teräksen rajapintaan nähden 90 asteen kulmaan eli tarkastettavassa teräksessä on vain yksi ääniaalto jäljellä. Tämä ilmiö mahdollistaa ultraäänitarkastuksen suorittamisen kulmaluotaimilla. (54, s. 15–17; 56, s. 6.)



Kuva 70. Ensimmäinen kriittinen kulma (54, s. 16).

Kuvassa 71 luotaimelta tuleva pitkittäisaalto on saavuttanut 57 asteen kulmaan eli niin sanotun 2. kriittisen kulman. Tässä vaiheessa myös heijastuneen poikittaisaallon kulma saavuttaa 90 asteen rajan, jolloin ääniaalto muuttuu pinta-aalloksi, mikä ei sovellu ultraäänitarkastukseen kovinkaan hyvin. (54, s. 15–17; 56, s. 6.)



Kuva 71. Toinen kriittinen kulma (54, s. 17).

8.2.3 Kytöntäaine

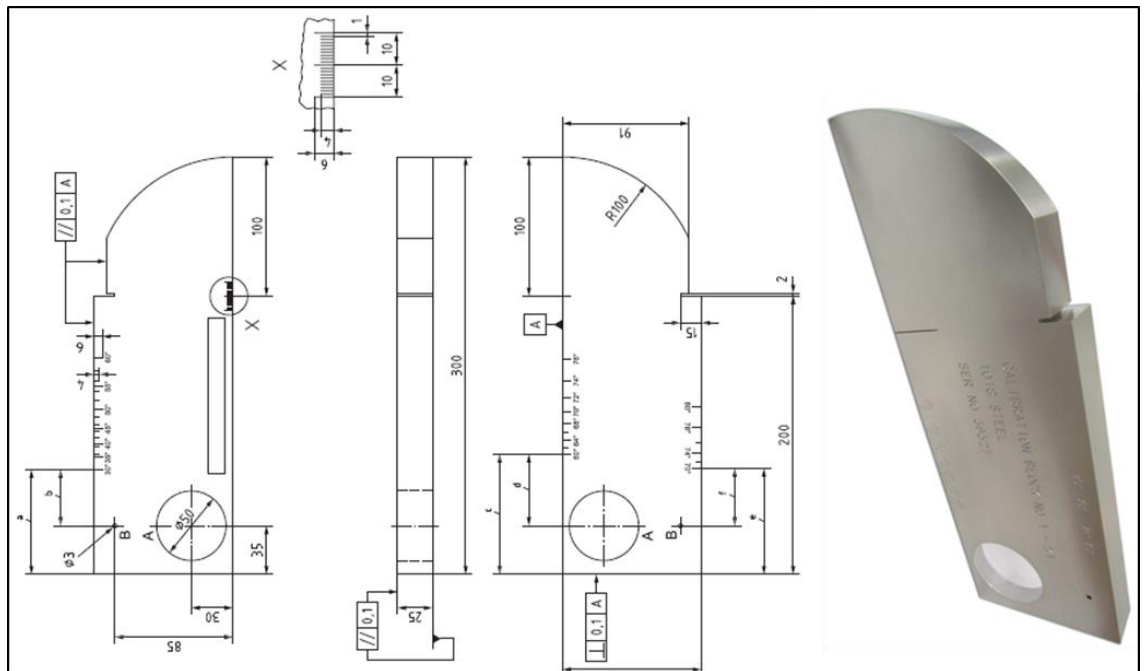
Koska ultraääniaallot kulkeva ilmassa todella huonosti tarvitaan ultraäänitarkastuksessa erillinen kytöntäaine, jotta tarkastettava kappale ja ultraääniluotain saisivat riittävän kontaktin keskenään. Kytöntäaineena voidaan käyttää kohtuullisen viskositeettiin omaavia myrkyttömiä nesteitä, geelejä tai tahnoja, kuten esimerkiksi vettä, glyserolia, erilaisia öljyjä tai liistereitä. (49, s. 18; 52.)

8.2.4 Tarkastus- ja vertailukappaleet

Ultraäänitarkastuksessa käytettävät tarkastuskappaleet ovat standardien mukaan valmistettuja kappaleita, joiden avulla ultraäänilaitteen toimivuus voidaan tarkastaa. Lisäksi tarkastuksessa käytettävät mitta-alueet ja muut parametrit voidaan säätää tarkasti oikeanlaisiksi. Vuorostaan ultraäänitarkastuksessa käytettävät vertailukappaleet ovat samasta, tai samankaltaisesta, materiaalista tehtyjä kuin tarkastettava kappale ja niillä voidaan säätää ultraäänilaitte tarkastettavalle kappaleelle sopiviin arvoihin. (50, 60, s. 30.)

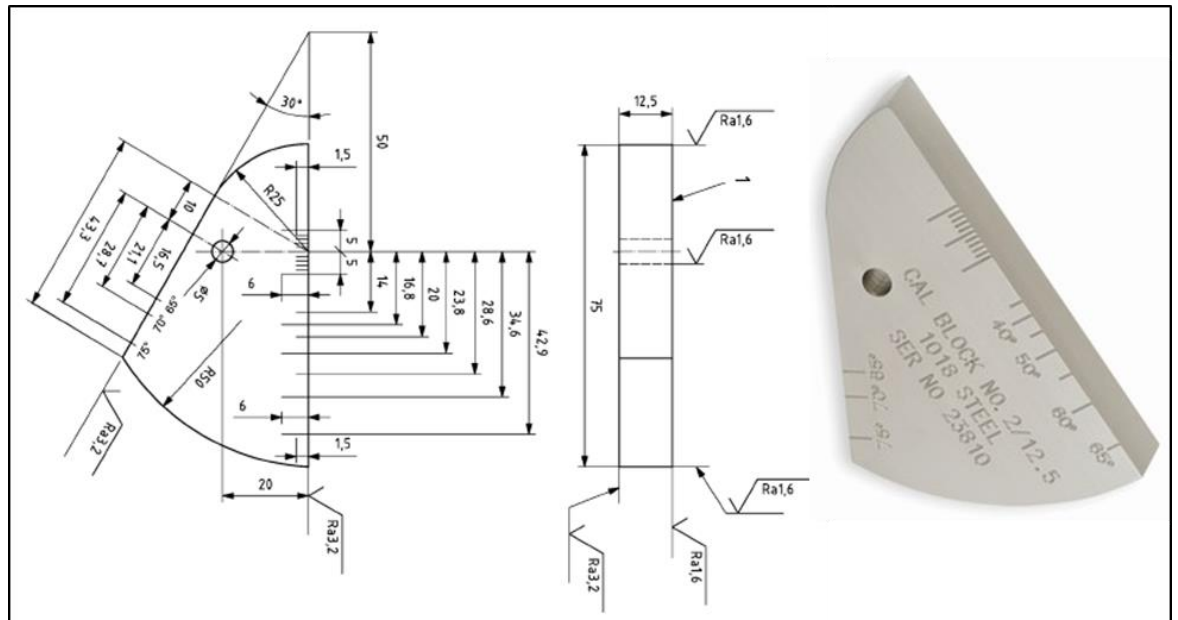
Ultraäänitarkastuksissa käytetään kahdenlaisia tarkastuskappaleita. Tarkastuskappaletta 1, jonka valmistuksen ja ominaisuudet standardi SFS-EN ISO 2400 määrittää sekä tarkastuskappaletta 2, jonka valmistus ja ominaisuudet määrittää standardi SFS-EN ISO 7963. (49, s. 20.)

Standardissa SFS-EN ISO 2400 määritellään tarkastuskappale 1:n (kuva 72) valmistusmateriaaliksi teräslaatu S 355 JO tai vastaava. Lämpökäsittelystä, pinnanviimeistelystä, hyväksynnästä sekä vaadittavista merkinnöistä standardissa määrätään seuraavasti. Valmistuksen aluksi teräsaihio austenoidaan 920 asteessa 30 minuutin ajan, austenoinnin jälkeen aihiot sammutetaan veteen. Sammutuksen jälkeen kappale päästetään 650 asteessa 3 tunnin ajan, jonka jälkeen se jäädytetään ilmassa. Tämän jälkeen kappaleen reunat ja pinnat työstetään arvoon $Ra \leq 0,8$ millimetriä. Kun pinnat on saatu työstetty määrättyyn arvoon, tarkastetaan kappale kaikilta neljältä pitkältä sivulta ulträänellä, jotta varmistetaan kappaleen eheys. Kappaleen ollessa kaikin puolin standardin mukainen, tulee siihen merkitä kiinteästi kansainvälisen standardin numero, jonka mukaan se on valmistettu, eli SFS-EN ISO 2400, valmistajan nimi sekä sarjanumero. (61, s. 8-10.)



Kuva 72. Tarkastuskappale 1 (61, s. 12; 62).

Standardissa SFS-EN ISO 7963 määritellään tarkastuskappale 2:n (kuva 73) valmistuksesta, lämpökäsittelystä, pinnanviimeistelystä, hyväksynnästä sekä vaadittavista merkinnöistä. Ohjeistus on hyvin pitkälti samanlainen kuin tarkastuskappale 1:n kohdalla, eroavaisuutta on päästöajan pituudessa, joka on tarkastuskappale 2:lla 2 tuntia, sekä pinnanviimeistelyn kohdalla. (63, s. 10–14.)



Kuva 73. Tarkastuskappale 2 (63, s. 12; 64).

Vertailukappaleet (kuva 74) ovat valmistettu tarkastettavan kappaleen kanssa samasta materiaalista. Jos tämä ei ole mahdollista, niin vertailukappaleiden materiaalin tulee olla akustisilta ominaisuuksiltaan niin lähellä kuin mahdollista tarkastettavan kappaleen materiaalia. Vertailukappaleiden mitat tiedetään tarkalleen ja niiden avulla voidaan säätää ultraäänilaite juuri tarkastettavan kappaleen materiaalille sopivaksi. Lisäksi näissä kappaleissa on usein keinotekoisesti tehtyjä heijasteita, joiden koko ja paikka tiedetään tarkasti, jolloin niiden avulla voidaan suorittaa vertailuja tarkastettavasta kappaleesta saatuihin heijasteiden kaikuihin. (49, s. 20, 55; 60, s.30.)



Kuva 74. Erilaisia vertailukappaleita (65, s. 5-7).

8.3 Ainepaksuuden mittaus

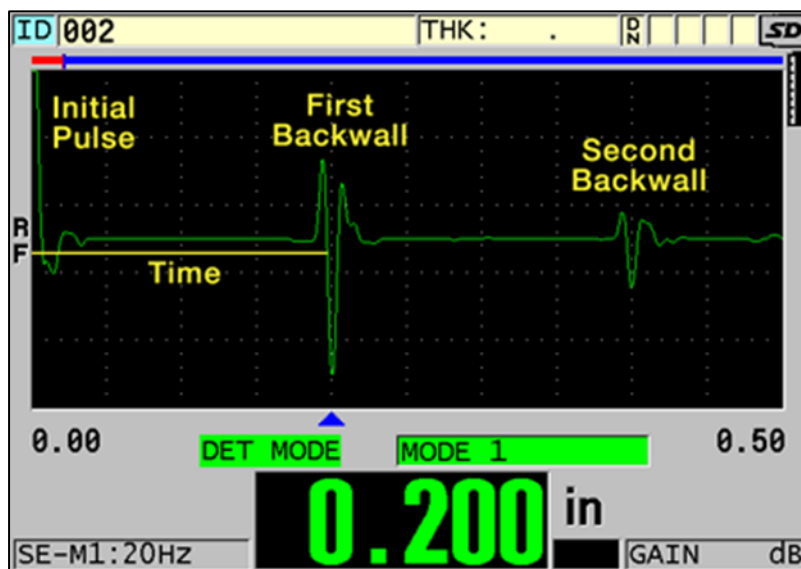
Materiaalin ainepaksuuden mittaaminen ultraäänellä perustuu erittäin tarkkaan ajan mittaamiseen, joka ultraäänipulssilla menee tarkastettavan materiaalin läpäisyyn yhden tai useamman kerran. Ultraäänilaite laskee tarkastettavan materiaalin paksuuden kertomalla selvitetyn ääniaaltojen kulkuun käytetyn ajan tarkastettavan materiaalin äänen nopeudella. Näin saatu tulos jaetaan läpäisykertojen lukumäärällä, jonka ultraäänipulssi kulkee materiaalissa. Siksi on erittäin tärkeää tietää tarkastettavan materiaalin äänennopeus sekä kalibroida testauslaitteisto tällä nopeudella. Kalibrointi suoritetaan käyttämällä yhtä tai useampaa vertailukappaletta, jonka materiaali on sama kuin tarkastettavan kohteen materiaali. Mikäli ei ole käytettävissä vertailukappaletta, joka olisi samaa materiaalia tarkastettavan kappaleen kanssa, voidaan käyttää tarkastettavaa kappaletta vastaavaa vertailukappaletta jonka materiaali, mitat sekä mikrorakenne ovat samat kuin tarkastettavalla kappaleella. (55; 66, s. 5-7.)

Ainepaksuusmittaukset voidaan jakaa karkeasti kahteen eri kategoriaan, korroosion mittaukseen sekä tarkkuusmittaukseen. Korroosion mittauksiin käytetään yleisesti kaksoiselementtiluotainta, kun taas vastaavasti tarkkuusmittauksiin käytetään kaikkia yhden elementin luotaimia, eli kosketusluotainta, viiveluotainta sekä upotusluotainta. Kulmaluotaimia ei käytetä ainepaksuusmittauksissa ensinkään. (55; 58.)

8.3.1 Mittaustavat

Ainepaksuuksien tarkkuusmittauksia voidaan suorittaa neljällä eli eri mittaustavalla. Mittaustavan valintaan vaikuttaa tarkastettavan kappaleen materiaali, lämpötila, geometria sekä mittaukselta vaadittava tarkkuus. (58.)

Ensimmäisessä mittaustavassa (kuva 75) käytetään kosketusluotaimia tai kaksoiselementtiluotaimia. Siinä mitataan lähtökaiusta ensimmäiseen takaseinäkaikuun kuluva aika, josta vähennetään luotaimen viive. Luotaimen viive syntyy ultraäänilaitteessa, kaapeloinnissa, luotaimessa sekä kytkentäaineessa esiintyvistä viiveistä. Tarkastettavan kappaleen lämpötilan on oltava alle 50 astetta käytettäessä kosketusluotainta. Mitattarkkuus tällä menetelmällä on +/- 0,01 millimetriä. Pienin mitattavissa oleva paksuus metalleilla on 0,38 millimetriä ja muoveilla 0,12 millimetriä. (55; 58; 66, s. 5.)

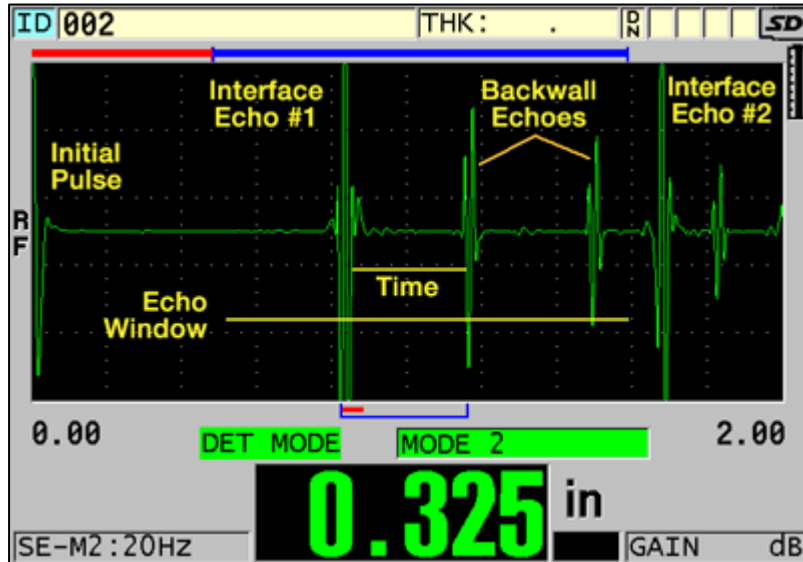


Kuva 75. Mittaustapa 1 (55).

Etuna tässä menetelmässä on suuri mitattavissa oleva paksuusalue (teräksellä 0,38 millimetriä – 2500 millimetriä), hyvä tunkeutumiskyky haastavampiinkin materiaaleihin, kuten esimerkiksi valuihin, muoveihin sekä kumiin. Haittana tässä menetelmässä on huonoin tarkkuus kaikista neljästä mittaustavasta. (55; 58.)

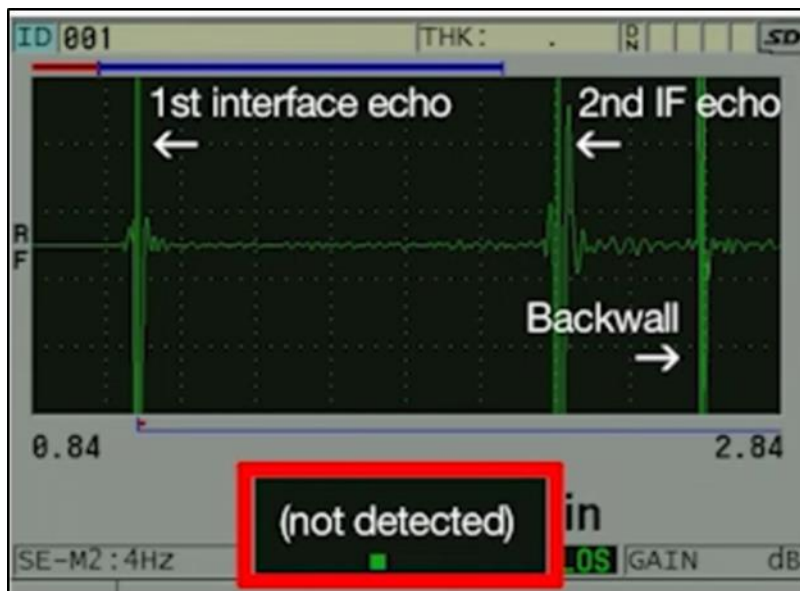
Toisessa mittaustavassa (kuva 76) käytetään viiveluotaimia tai upotusluotaimia. Siinä mitataan luotaimen viivekappaleen tai nestepatjan sekä tarkastettavan kappaleen rajapintakaiusta ensimmäiseen takaseinäkaikuun kuluva aika. Tarkastettavan kappaleen

lämpötila saa olla yli 50 asteesta aina niin korkealle kuin luotaimen viivekappale tai nestepatja soveltuu. Mittatarkkuus tällä menetelmällä on +/- 0,01 millimetriä. Mitattavissa oleva paksuusalue teräksellä nollapiste 0,5 millimetriä - 100 millimetriä. (55; 58; 66, s. 5.)



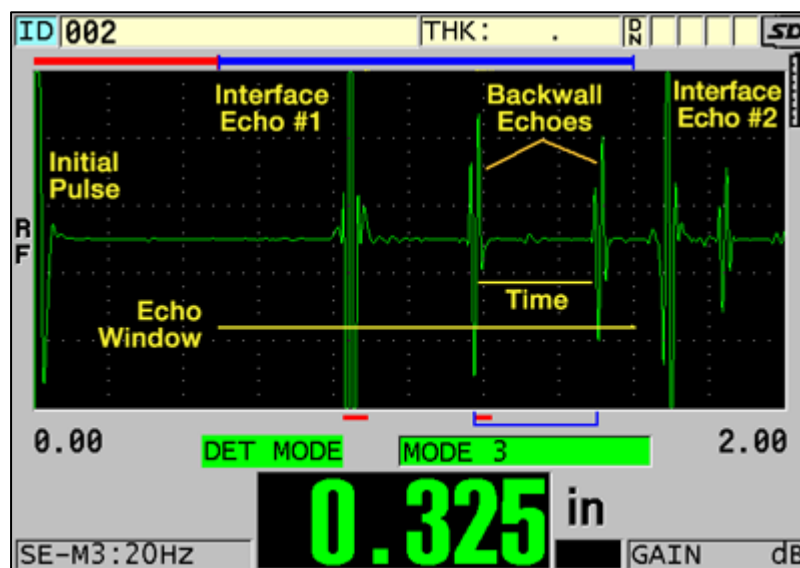
Kuva 76. Mittaustapa 2 (55).

Etuna tällä menetelmällä on, että menetelmällä voidaan mitata kappaleita, joiden geometrinen rakenne on monimutkainen varsinkin käytettäessä upotusluotainta. Lisäksi etuna voidaan pitää mahdollisuutta tarkastaa kappaleita, joiden lämpötila on huomattavankin korkea. Haittana tässä menetelmässä on, että viivekappaleen tai nestepatjan korkeus rajoittaa mitattavissa olevaa paksuusaluetta. Menetelmällä ei pystytä mittaamaan kohteen paksuutta, jos toinen rajapintakaiku muodostuu ennen ensimmäistä takaseinäkaikua (kuva 77). (55; 58.)



Kuva 77. Mittausta ei voida suorittaa koska toinen rajapintakaiku muodostuu ennen ensimmäistä takaseinäkaikua (58).

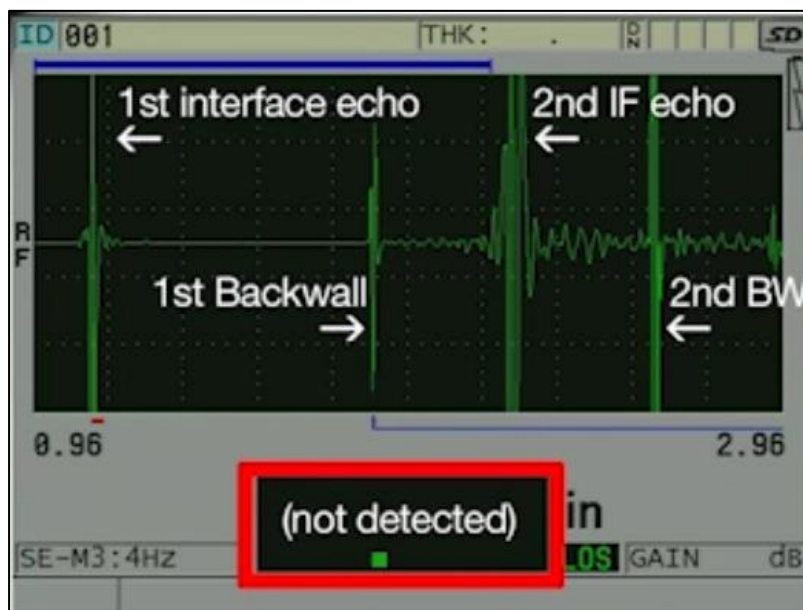
Kolmannessa mittaustavassa (kuva 78) käytetään myös viiveluotaimia tai upotusluotaimia. Siinä mitataan kahden onnistuneen takaseinäkaikun, yleensä ensimmäisen sekä toisen takaseinäkaikun, välissä kuluva aikaa. Myös kolmannessa mittatavassa tarkastettavan kappaleen pinnan lämpötila saa olla niin korkea kuin luotaimen viivekappale tai nestepatjan antaa myöten. Mittatarkkuus tällä menetelmällä on +/- 0,002 millimetriä ja mitattavissa oleva paksuusalue teräksille 0,150 millimetriä - 40 millimetriä. (55; 58; 66, s. 5.)



Kuva 78. Mittaustapa 3 (55).

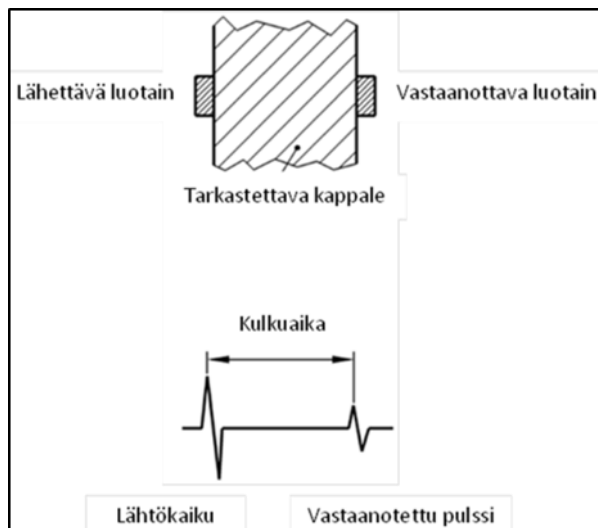
Tämän menetelmän etuihin kuuluu, että sillä on kaikista menetelmistä paras mittatarkkuus sekä menetelmällä pystytään mittaamaan hyvin ohuidenkin kappaleiden pak-

suutta. Lisäksi tätä menetelmää käytettäessä tarkastettavan kappaleen pinnassa oleva pinnoite, kuten esimerkiksi maalikerros, ei haittaa tarkastusta. Haittoina tässä menetelmässä on se, että menetelmällä kyetään mittaamaan vain sellaisia materiaaleja joista saadaan useita takaseinäkaikuja kuten esimerkiksi metalleja. Lisäksi haittana voidaan pitää, että viivekappaleen tai nestepatjan korkeus rajoittaa mitattavissa olevaa paksuusaluetta. Menetelmällä ei pystytä mittaamaan kohteen paksuutta, jos toinen rajapintakaiku muodostuu ennen kahden takaseinäkaikun muodostumista (kuva 79). (55; 58.)



Kuva 79. Mittausta ei voida suorittaa koska toinen rajapintakaiku muodostuu ennen toista takaseinäkaikua (58).

Neljännessä mittatavassa (kuva 80) käytetään niin kutsuttua läpäisyteknikkaa eli siinä tarkastettavan kappaleen toisella puolella on lähettävä luotain ja toisella puolella on vastaanottava luotain. Menetelmässä mitataan äänen kulku-aika sen kulkiessa lähettimestä vastaanottimeen. Tällä menetelmällä on kaikista neljästä mittaustavasta suurin mitattavissa oleva paksuusalue, lisäksi sillä on erinomainen tunkeutumiskyky haastavampiinkin materiaaleihin. Suurimpana haittatekijänä tällä menetelmällä on, että tarkastusta suoritettaessa on tarkastajalla oltava pääsy kappaleen molemmille puolille. (66, s. 5.)



Kuva 80. Mittaustapa 4 (66, s. 5).

8.3.2 Käytettävän luotaimen valinta

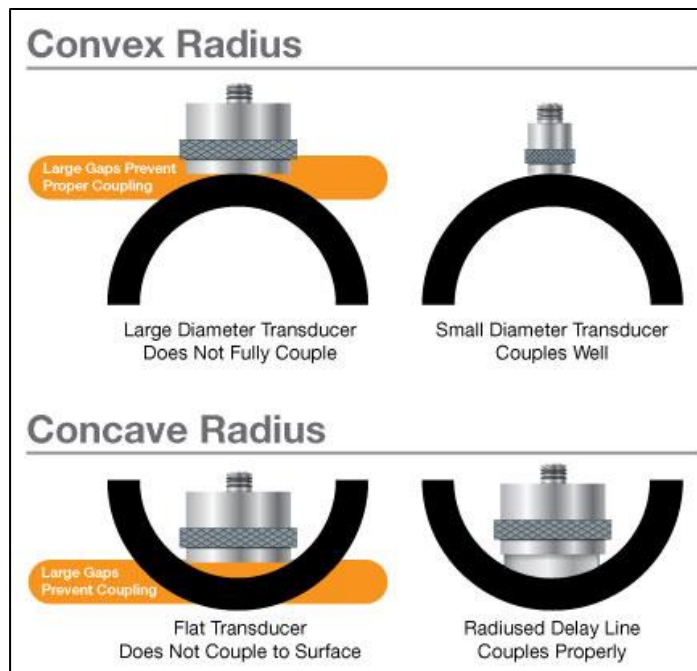
Suorittaessa ainepaksuuden mittauksia on erittäin tärkeää valita tarkastukseen soveltuva luotain. Soveltuvinta luotainta valittaessa on otettava huomioon tarkastettavan kohteen pinnanmuoto, materiaali, lämpötila sekä mittausalue, joka luotaimen on kyettävä mittaamaan. Nykyään on saatavilla laaja valikoima erilaisia luotaimia, joilla on erilaisia akustisia ominaisuuksia. Tyypillisesti matalataajuuksisia luotaimia, joiden taajuus on alle 2,25 MHz, käytetään kappaleille joiden materiaali on tiheää, ääniaaltoja voimakkaasti vaimentavaa tai mikrorakenteeltaan sellaista, että ääniaallot siroavat voimakkaasti. Korkeataajuuksisia luotaimia, joiden taajuus on yli 5 MHz, suositellaan käytettäväksi ohuille hyvin ääntä johtaville kappaleille sekä kappaleille, joiden materiaalin mikrorakenne on vähän ääntä sirottavaa. (55, 66. s. 9-10.)

Tarkastettavan kappaleen materiaali sekä mittausalue, jolla mittauksia aiotaan suorittaa, ovat tärkeimmät seikat, kun valitaan käytettävää luotainta. Lähes kaikki konetekniikan materiaalit, kuten useimmat metallit, lasi tai keramiikka johtavat tehokkaasti ultraääniaaltoja ja ovat siten helposti mitattavissa laajalla mitta-alueella. Sitä vastoin useat muovit absorboivat ääniaaltoja nopeammin, tämän johdosta niille voidaankin tehdä ultraäänipaksuusmittauksia rajatumminkin, mutta ne ovat kuitenkin mitattavissa. Lasikuidulla, kumilla ja komposiittimateriaaleilla on taipumus vaimentaa ääniaaltoja, minkä johdosta niitä mitattaessa tarvitaan laitteisto, jolla on hyvä läpäisykyky. (55.)

Tarkastuksessa käytettävä mittausalue vaikuttaa myös osaltaan sopivan luotaimen valintaan. Yleissääntönä voidaan pitää, että ohuita kappaleita mitattaessa tulee käyttää

korkeaa taajuutta ja vuorostaan paksuja tai voimakkaasti ääniaaltoja vaimentavia kappaleita mitattaessa tulee käyttää matalampia taajuuksia. Mitattaessa erittäin ohuiden kappaleiden paksuutta tulee käyttää viive- tai upotusluotaimia. (55.)

Tarkastettavan kappaleen pinnanmuodoilla on suuri vaikutus kohteen ja luotaimen kosketuksen laatuun. Tarkastettavan kappaleen pinnan ollessa kaareva on käytettävä läpimitaltaan pienempää luotainta, jotta kohteen ja luotaimen kosketus pysyisi hyvänä (kuva 81). Vuorostaan jos tarkastettava kappale on kovera tai muuten erikoisesti muotoiltu, voidaan käyttää erityisesti kappaleelle muotoiltua viiveluotainta (kuva 81). Jos muotoillun viiveluotaimen teko ei ole järkevää, voidaan myös käyttää upotusluotainta, joka ei vaadi fyysistä kosketusta tarkastettavaan kappaleeseen. (55; 66, s. 8.)



Kuva 81. Esimerkkejä geometrian vaikutuksesta luotaimen toimintaan (55).

Tarkastettavan kappaleen pintalämpötilan on oltava alle luotaimelle suunnitellun toimintalämpötilan, koska liiallinen kuumuus saattaa aiheuttaa luotaimen pysyviä vaurioita. Kuumia kohteita tarkastettaessa suositellaan käytettäväksi kuumuuden kestäviä upotus-, viive- tai kaksoiselementtiluotaimia. (55; 66. s. 10.)

Yleisesti ottaen luotettavimmat ja helpoiten toistettavissa olevat tulokset saadaan, kun käytetään mittauksessa suurinta mahdollista taajuutta sekä läpimitaltaan pienintä mahdollista luotainta, jotka omaavat riittävän suorituskyvyn aiottuun tarkastukseen. Läpimitaltaan pienemmät lähettimet ovat helpommin kytkettävissä tarkastettavaan kappaleeseen.

leeseen ja siten antavat luotettavimpia tuloksia, kun taas korkeampia taajuuksia käyttämällä saatu mittaustulos on tarkempi. (55; 66, s. 9.)

Korroosion mittauksissa käytetään yleensä kaksoiselementtiluotaimia. Kaksoiselementtiluotaimia käytetään, koska ne ovat erittäin herkkiä havaitsemaan pistemäisiä syöpymiä sekä muita paikallisia ohentumia. (55.)

8.3.3 Laitteiston kalibrointi

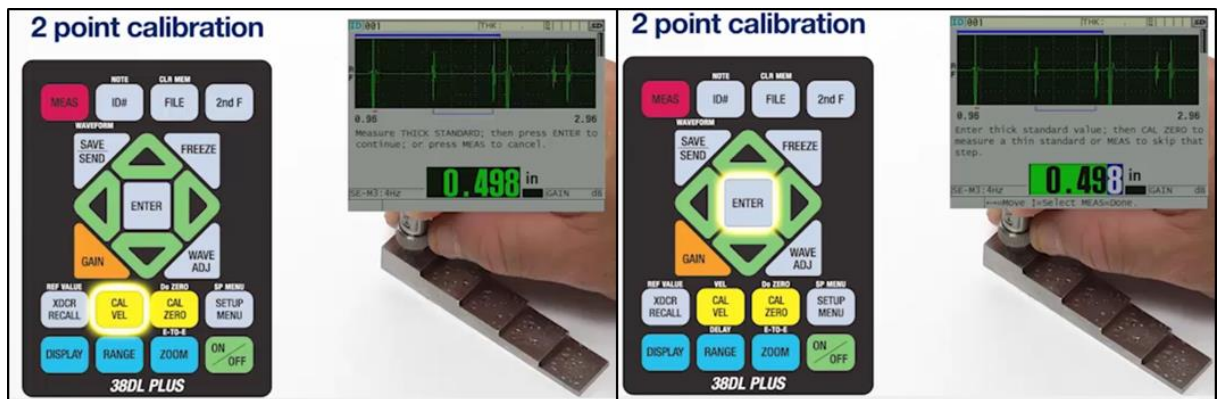
Kuten aiemmin on jo käsitelty, perustuu ainepaksuuden mittaaminen ultraäänellä erittäin tarkkaan ajan mittaamiseen, joka ääniaalloilla menee tarkastettavan materiaalin läpäisyyn yhden tai useamman kerran. Jotta nämä ajan mittauksesta saadut tulokset kyetään muuttamaan paksuusmitoiksi, tulee käytettävän laitteiston tietää tarkka äänen nopeus tarkastettavassa materiaalissa sekä luotaimesta ja muusta laitteistosta syntyvä viive. Toimintaa missä laitteistolle ohjelmoidaan tarkka äänen nopeus sekä luotaimesta tai muissa laitteistossa syntyvät viiveet kutsutaan kalibroimiksi. Kalibrointi on erittäin tärkeä osa paksuuden mittausta ultraäänellä, koska saavutettu mittaustulos riippuu täysin suoritetusta kalibroinnista. (55.)

Kalibrointi koostuu yleensä kahdesta osa-alueesta. Äänenjohtavuuden säätämisestä, missä laitteistolle säädetään tarkka äänennopeus, sekä nolla kalibroinnista, missä laitteiston sisäinen viive säädetään. Kalibrointi voidaan suorittaa helposti käyttämällä niin kutsuttua kahden pisteen kalibrointia. (55; 58.)

Käyttämällä kahden pisteen kalibrointia voidaan säätää sekä äänenjohtavuus että laitteiston sisäiset viiveet samalla kertaa. Kahden pisteen kalibroinnissa tarvitaan vertailukappale, joka on tarkastettavan kappaleen kanssa fyysisiltä ominaisuuksiltaan samanlainen ja jonka paksuudet tiedetään tarkalleen. Vertailukappaleen paksuuksien tulee edustaa suurinta ja pienintä paksuutta, joka aiotaan mitata. Mitattavien paksuuksien suhde tulisi kuitenkin olla suurempi kuin 2:1, optimaalisin tilanne olisi jos paksuuksia suhde olisi 5:1 tai suurempi. (55; 58.)

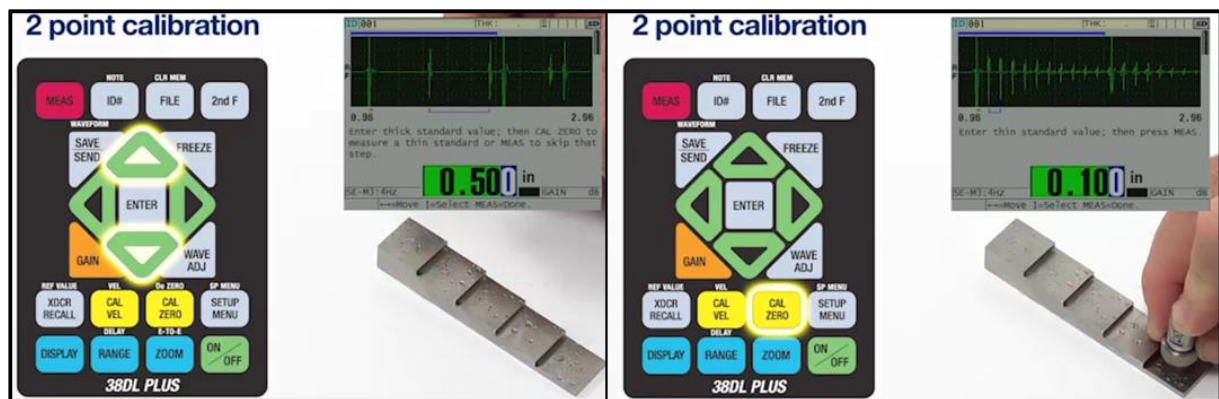
Erään valmistajan ohjeiden mukaan kahden pisteen kalibrointi pitää sisällään seuraavat vaiheet (55; 58.):

1. Kytke luotain sopivaa kytkentäainetta käyttäen paksumpaan vertailukappaleeseen (kuva 82).
2. Valitse ultraäänilaitteen näppäimistöstä ”Calibrate velocity” (kuva 82).
3. Odota, kunnes ultraäänilaitte näyttää vakaata paksuuslukemaa, minkä jälkeen paina ”Enter” (kuva 82).



Kuva 82. Kahden pisteen kalibroinnin kohdat 1-3 (58).

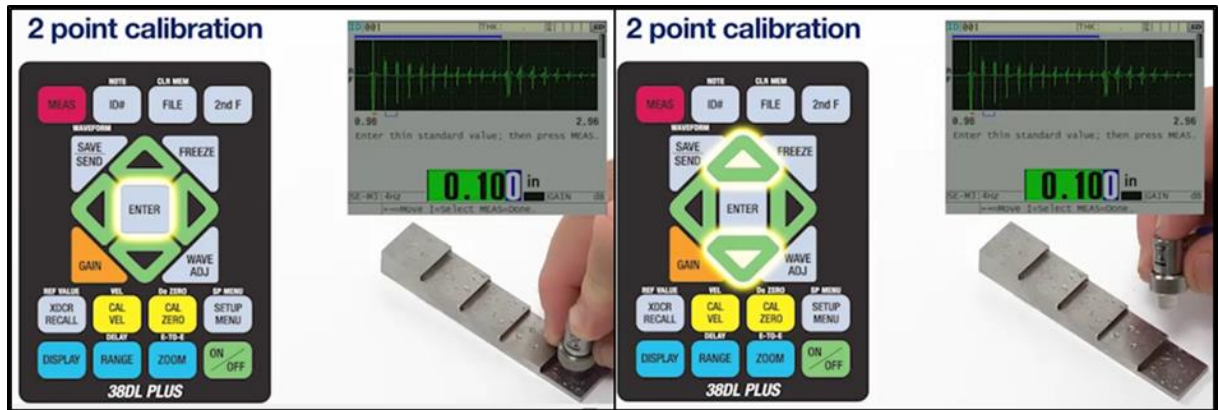
4. Irrota luotain vertailukappaleesta ja säädä vertailukappaleen tarkka tiedossa oleva paksuus ultraäänilaitteeseen käyttäen ultraäänilaitteen näppäimistön nuolinäppäimiä (kuva 83).
5. Kytke luotain sopivaa kytkentäainetta käyttäen ohuempaan vertailukappaleeseen (kuva 83).
6. Valitse ultraäänilaitteen näppäimistöstä ”Calibrate zero” (kuva 83).



Kuva 83. Kahden pisteen kalibroinnin kohdat 4-6 (58).

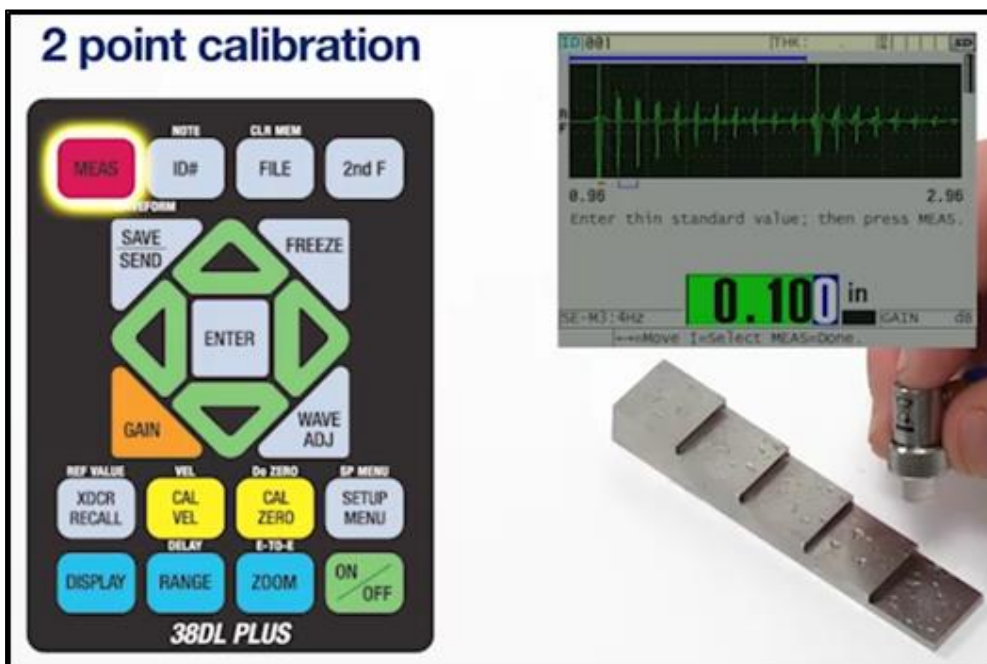
7. Odota, kunnes ultraäänilaitte näyttää vakaata paksuuslukemaa, minkä jälkeen paina ”Enter” (kuva 84).

8. Irrota luotain vertailukappaleesta ja säädä vertailukappaleen tarkka tiedossa oleva paksuus ultraäänilaitteeseen käyttäen ultraäänilaitteen näppäimistön nuolinäppäimiä (kuva 84).



Kuva 84. Kahden pisteen kalibroinnin kohdat 7-8 (58).

9. Valitse ultraäänilaitteen näppäimistöstä ”measure” viimeistelläksesi säädöt (kuva 85).



Kuva 85. Kahden pisteen kalibroinnin kohta 9 (58).

Eri valmistajien ultraäänilaitteissa saattavat näppäinkomennot hieman poiketa toisistaan, mutta kahden pisteen kalibroinnin perusidea säilyy laitevalmistajasta huolimatta samana.

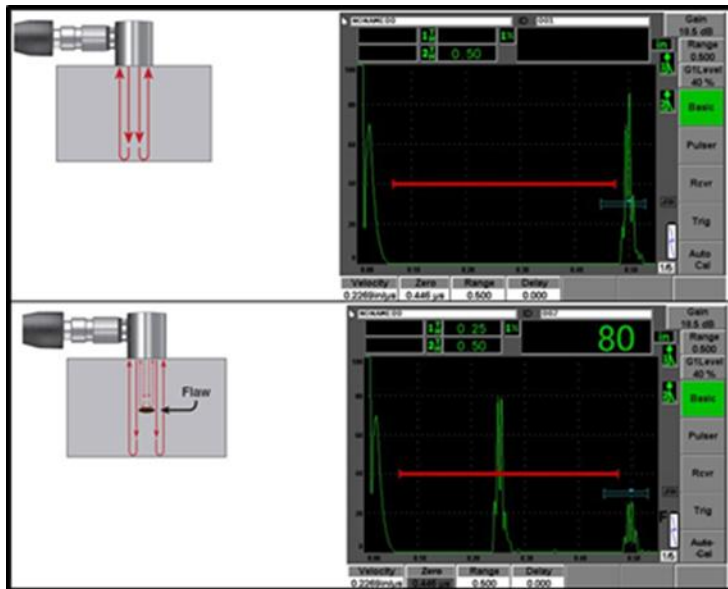
8.4 Aineen sisäisten virheiden etsiminen

Ultraäänitarkastuksessa on muihin NDT-menetelmiin nähden se merkittävä etu, että sillä pystytään näkemään myös aineen sisäisiä vikoja. Lisäksi mahdollisten vikojen paikka, koko ja muoto pystytään määrittelemään tarkastettavassa kappaleessa. Ultraäänitarkastuksessa tarkastettavan kappaleen sisäisiä vikoja voidaan hakea kahdella eri menetelmällä, normaaliluotauksella sekä kulmaluotauksella. (53.)

8.4.1 Normaaliluotaus

Normaaliluotauksia voidaan suorittaa kahdella eri tekniikalla, pulssikaikutekniikalla tai läpäisytekniikalla, joista pulssikaikutekniikka on selvästi enemmän käytetty tekniikka. Pulssikaikutekniikassa käytetään hyväksi ääniaaltojen heijastuneita kaikuja erilaisista heijasteista. Läpäisytekniikka nimensä mukaisesti perustuu ääniaaltojen mittaamiseen ja tulkintaan niiden läpäistessä tarkastettavan kohteen. Normaaliluotauksessa käytetään kosketus-, viive- sekä kaksoiselementtiluotaimia, niillä etsitään vikoja jotka sijaitsevat tarkastettavan kappaleen pinnan kanssa samassa suunnassa. (49, s. 16; 52; 53.)

Kuten aiemmin mainittu, perustuu pulssikaikutekniikka tarkastettavaan kappaleeseen lähetettyjen ääniaaltojen kulkemiseen väliaineessa. Ääniaallot kulkevat kappaleessa kunnes ne joko leviävät tarkastettavan kohteen materiaaliin tai kohtaavat rajapinnan tai muun heijasteen, josta ne heijastuvat kaikuna takaisin ultraääniluotaimeen. Haettaessa tarkastettavasta kappaleesta sisäisiä vikoja ensiksi tarkastaja kytkee ultraääniluotaimen tarkastettavan kappaleen ehjäksi tiedettyyn kohtaan ja tunnistaa minkälaisen takaseinäkaiun kyseinen kappale antaa (kuva 86). Tämän jälkeen tarkastaja siirtyy alueelle, joka kappaleesta halutaan tarkastaa. Jos tarkastettavalta alueelta tulee kaikuja, jotka esiintyvät ennen takaseinäkaiua voidaan todeta, että tarkastettavassa kappaleessa on jonkinasteinen sisäinen vika (kuva 81). (52; 53.)

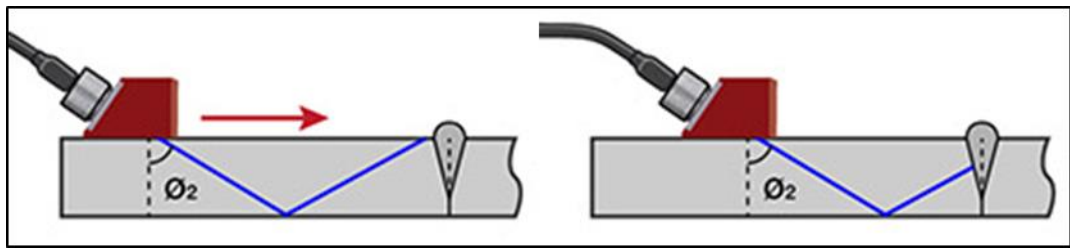


Kuva 86. Ylhäällä ehjän kappaleen luotaus, alhaalla kappaleen luotaus missä on vika (52).

Tarkastettavan kappaleen ollessa erittäin paksu tai jos kappale on rakennettu sellaisesta materiaalista, joka vaimentaa tai hajottaa ääniaaltoja voimakkaasti, tulee tällaisen kappaleen tarkastus suorittaa läpäisytekniikalla. Läpäisytekniikassa tarkastettavan kappaleen kummallekin puolelle asetetaan oma ultraääniluotain, toiselle puolelle lähettävä luotain ja toiselle puolelle vastaanottava luotain. Jos luotainten välillä on tarpeeksi suuri heijaste, eivät ääniaallot pääse kulkemaan lähettävältä luotaimelta vastaanottavalle luotaimelle, jolloin voidaan päätellä että kappaleessa on sisäinen vika luodatussa kohdassa. (52.)

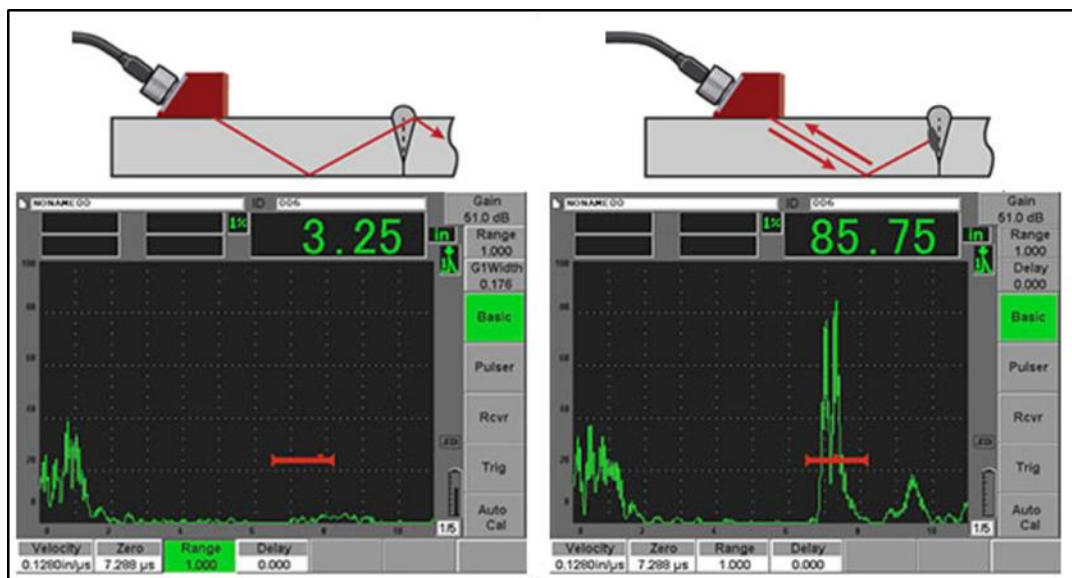
8.4.2 Kulmaluotaus

Jos viat tai muut epäjatkuvuuskohdat ovat pystysuorassa tarkastettavan kappaleen pintaan nähden, eivät ne ole varmuudella havaittavissa normaaliluotauksella. Etsittäessä tällaisia vikoja tulee käyttää kulmaluotausta. Juuri kuvailtuja vikoja esiintyy ehdottomasti yleisimmin erilaisissa hitsisaumoissa ja koska hitsisaumoja tarkastetaan ultraäänellä erittäin paljon, onkin hitsisaumojen kulmaluotaus ehdottomasti eniten käytetty ultraäänitarkastusmuoto, jossa etsitään kappaleen sisäisiä vikoja. Tyypillisesti kulmaluotausta suoritettaessa ääniaallot lähetetään tietyssä kulmassa tarkastettavaan kappaleeseen, jossa ne kulkevat tarkastettavan kappaleen toiselle puolelle. Ääniaaltojen saavuttaessa kappaleen toisen puolen ne heijastuvat siitä samassa kulmassa takaisin ylöspäin (kuva 87). Liikuteltaessa luotainta edestakaisin (kuva 87) saadaan tarkastetuksi koko hitsisauman sivuttaisprofiili, jolloin voidaan havaita mahdolliset virheet koko sauman alueelta. (52; 53.)



Kuva 87. Ääniaaltojen sekä luotauksen eteneminen kulmaluotauksessa (52).

Kulmaluotausta suorittaessa tarkastajan tulee ensimmäiseksi luoda ehjäksi tiedetty hitsisauma, jotta saadaan vertailunäyttämä johon voidaan verrata tarkastettavasta hitsisaumasta saatua näyttämää (kuva 88). Jos hitsisaumaa tarkastettaessa ilmenee ylimääräisiä kaikuja (kuva 88), voidaan epäillä että hitsisauma ei ole kelvollinen. (52; 53.)



Kuva 88. Vasemmalla ehjän sauman luotaus, oikealla sauman luotaus missä on vika (52).

8.5 Hyvät puolet

Ultraäänitarkastuksessa on useita etuja. Menetelmän etuihin voidaan katsoa kuuluvan ainakin seuraavat seikat (2, s. 37; 50):

- Ultraäänitarkastuksella voidaan havaita myös aineen sisäisiä vikoja.
- Ultraäänitarkastuksella on ehdottomasti suurin tunkeumasyvyyys kaikista NDT-menetelmistä, teräksestä sisäisiä virheitä haettaessa jopa useita metrejä.
- Tarkastuksia suoritettaessa tarvitaan yleensä pääsy vain kappaleen toiselle puolelle, pois lukien läpäisyteknikka.

- Ultraäänitarkastuksessa kyetään määrittelemään heijasteiden koko, paikka sekä muoto.
- Tarkastettavan kappaleen valmistelutyöt ovat yleensä vähäisiä.
- Koska nykyään laitteet ovat digitaalisia, saadaan tarkastusten tulokset välittömästi käyttöön.
- Koska tarkastuksen tulokset ovat digitaalisessa muodossa, voidaan ne tallentaa helposti myöhempää tarkastelua varten.
- Ultraäänitarkastuksella voidaan suorittaa usean tyyppisiä tarkastuksia. Sillä voidaan mitata ainepaksuuksia, etsiä kappaleen sisäisiä vikoja sekä suorittaa erilaisia materiaalin tutkimuksia.
- Ultraäänitarkastuksesta ei ole terveydelle haittaa.

8.6 Huonot puolet

Ultraäänitarkastuksessa on myös joitain haittapuolia. Menetelmän haittoihin voidaan katsoa kuuluvan ainakin seuraavat seikat (2, s. 38; 50):

- Ultraäänitarkastus vaatii tarkastusta suorittavalta henkilöstöltä korkeaa ammattitaitoa sekä paljon kokemusta.
- Tarkastusta suoritettaessa vaaditaan yleensä kytkentäaine ultraääniluotaimen ja tarkastettavan kappaleen välille.
- Menetelmä ei sovellu sellaisten materiaalien tarkastukseen joiden mikrorakenne on rakeinen, kuten esimerkiksi erilaiset valut.
- Menetelmän soveltuvuutta rajoittavat myös jotkin tarkastettavan kappaleen fyysiset ominaisuudet, kuten esimerkiksi materiaalin ohuus, tarkastettavan kappaleen pienuus tai tarkastettavan kappaleen liian karkea pinta.
- Haettaessa aineen sisäisiä vikoja ei ääniaaltojen kanssa samansuuntaisia vikoja välttämättä havaita.
- Menetelmässä pitää käyttää vertailukappaletta, jonka valmistusmateriaalin on vastattava tarkastettava kohteen materiaalia.

8.7 Sovellukset/käyttökohteet laivojen kunnossapidossa

Ultraäänimenetelmän merenkulun sovellutukset voidaan jakaa karkeasti kahteen eri kategoriaan, uudisrakennuksen tai korjaustelakoinnin aikaisiin tarkastuksiin sekä käy-

tönaikaisiin tarkastuksiin. Uudisrakennusten tai korjaustelakointien yhteydessä tarkastetaan ultraäänimenetelmällä nykyään valtaosa hitsisaumoista sekä kriittisimmistä hitsisaumoista käytännössä kaikki. Laivojen käytönaikaiset tarkastukset koostuvat valtaosin erilaisista materiaalien ainepaksuuksien mittauksista.

Uudisrakennustelakoilla tehdään ultraäänitarkastukset luokan hyväksymän NDT-tarkastussuunnitelman mukaan. Suunnitelmissa keskitytään yleensä esimerkiksi vesirajan alapuolelle jäävien rungon, erityisesti keulan alueen, päittäishitsien, potkuri-koneistojen hitseihin, akselitunneleiden hitseihin sekä putkilinjojen, erityisesti merivesi sekä painolastilinjojen, hitsien tarkastukseen. Lisäksi suunnitelmassa on ohjeet muiden kriittisten komponenttien, esimerkiksi potkuriakseleiden, tarkastukseen.

Korjaustelakointien yhteydessä tarkastettavia kohteita ovat esimerkiksi runkokorjauksen aikana tehdyt uudet hitsisaumat ja inserttilevyjen hitsisaumat. Lisäksi tarkastettavia asioita ovat muut rungon tarkastuksessa ilmenneet epäilyttävät kohteet, esimerkiksi pahasti ruostuneiden tai muuten huomattavasti kuluneiden kohteiden ainepaksuuksien mittaukset. Normaalien telakointien yhteydessä aluksen runkoa katsastettaessa tarkastetaan kriittisimpiä hitsisaumoja sekä mitataan runkolevyjen ainepaksuuksia.

Käytönaikaiset ultraäänimenetelmällä suoritettavat tarkastukset koostuvat lähestulkoon yksinomaan erilaisista ainepaksuuksien mittauksista (kuva 89). Näitä mittauksia voidaan suorittaa jopa laivan oman miehistön voimin normaalin operoinnin yhteydessä. Kyselyistä saamienei vastausten perusteella yleisimpiä paikkoja, joissa ainepaksuusmittauksia suoritetaan, ovat erilaisten lastitilojen, runkolevyjen sekä putkistojen rakennusmateriaalien paksuuksien mittaukset.



Kuva 89. Vasemmalla ainepaksuus mittausta panolastitankissa, oikealla hitsisauman tarkastusta (18).

9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön ensimmäisenä tarkoituksena oli selvittää yleisimmät merenkulqualalla käytettävät NDT-menetelmät. Toisena tavoitteena oli selvittää niiden käyttökohteet ja sovellukset laivaolosuhteissa.

Työssä on käsitelty kohtuullisen laajasti yleisimmät NDT-menetelmät, joihin kuuluvat silmämääräinen, tunkeumaneste-, magneettijauhe-, pyörrevirta- sekä ultraäänitarkastus. Työn tähän osioon löytyi hyvää lähdemateriaalia alan kirjallisista julkaisuista, tuotevalmistajien internetsivuilta sekä alaa koskevista standardeista.

Työn toisessa pääteemassa olen pyrkinyt selvittämään erilaisia käytännön sovelluksia edellä mainituille NDT-menetelmille. Työn tähän osioon pyrin saamaan materiaalia lähettämällä lyhyen kyselylomakkeen merenkulqualalla toimiville tahoille. Lisäksi sain haastattelun erään varustamon tekniseltä tarkastajalta sekä eräältä NDT-asiantuntijalta Haastatteluista sekä kyselyyn saamistani vastauksista sain jonkinlaisen käsityksen siitä, miten NDT-menetelmiä hyödynnetään laivoilla.

Saamieni vastausten perusteella tulin siihen johtopäätökseen, että varustamoiden teknisillä tarkastajilla sekä laivoilla seilaavilla konemestareilla on liian optimistinen käsitys siitä, miten laivoilla nykyään osataan käyttää NDT-menetelmiä hyödyksi verrattuna maalaitosten, kuten voimalaitosten ja tehtaiden, käyttöön. Käsittääkseni suurin syy NDT-menetelmien käyttämättömyyteen kyseisillä tahoilla on, ettei heillä ole tarpeeksi tietoa NDT-menetelmistä, jolloin he eivät osaa ottaa niistä täyttä hyötyä irti. Lisäksi NDT-tarkastuslaitteita pidetään usein hyvin kalliina sekä niiden käyttöä hankalana,

vaikka nykyään laitteiden hinnat ovat tulleet huomattavasti edullisemmiksi sekä laitteiden käyttäminen on tietotekniikan kehityksen ansiosta tullut yksinkertaisemmaksi. Toivoisinkin, että tämä opinnäytetyö omalta osaltaan lisää tietoisuutta NDT-menetelmistä tulevien konemestareiden keskuudessa. Lisäksi tilannetta saattaisi parantaa, jos varustamot investoisivat NDT-tarkastuslaitteistoon sekä järjestäisivät tekniselle henkilöstölleen koulutusta NDT-menetelmistä sekä laitteiden käytöstä.

Mielestäni varustamoiden kannattaisi investoida NDT-menetelmien koulutukseen sekä laitteisiin, koska investointien takaisinmaksuaika lyhentyneiden huoltoseisokkien sekä turhien varaosien vaihdon myötä olisi oletettavasti hyvin lyhyt. Lisäksi investointien myötä varustamo antaisi itsestään myönteisen kuvan, koska se huolehtisi henkilöstön tietotaidon ylläpitämisestä sekä käyttäisi uusinta saatavilla olevaa tekniikkaa.

Opin itse opinnäytetyötä tehdessäni todella paljon NDT-menetelmistä, koska opintojeni aikana NDT-menetelmistä oli melko vähän opetusta. Mielestäni, opintosuunnitelman sallimissa rajoissa, olisi erittäin hyödyllistä lisätä NDT-menetelmistä opetusta insinöörin opintoihin, koska käsittääkseni nykyinen opetuksen määrä ei ole riittävästi, kun otetaan huomioon asian tärkeys.

LÄHTEET

1. Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J., 2008. Konetekniikan materiaalioppi. 12.; uudistettu painos. Helsinki: Edita Primera Oy.
2. Martikainen, J. & Niemi, E. 1993. NDT-tarkastus. Käsikirja: Yleinen osa. 1. painos. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry. NDT-komitea.
3. Åström, T. 1990. NDT-menetelmien kehitysnäkymät hitsausliitosten tarkastuksessa: Tekninen tiedotus 2/90. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
4. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2012. SFS-EN ISO 9712. Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet. Non destructive testing. Qualification and certification of NDT personnel. General principles. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
5. Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T. & Åström, T. 2007. Kunnossapito: Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 10. 4.; uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.
6. Anttila, S. 2013. NDT-menetelmistä ja niiden valinnasta tutkimustyössä. Opinnäytetyö: Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu.
7. Räisänen, J. 2013. Karkeamurskaimen akselin kunnan mittaaminen ainetta rikkomattomilla menetelmillä. Opinnäytetyö: Kajaanin ammattikorkeakoulu.
8. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2011. SFS-EN ISO 17637. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. Non-destructive testing of welds. Visual testing of fusion-welded joints. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
9. Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sullo, P., Komonen, K., Lumme, V. E., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito, käsikirja. 1. painos. Helsinki: KP-Media Oy.

10. Olympus. What are Industrial Rigid Borescopes? Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/knowledge/remote-visual/rigid-bolescopes/> [Viitattu 18.5.2014].
11. Ahonen, T. & Walta, E. 2011. Boroskooppi työvälineenä Finnair Tekniikassa: näkeminen ja näön kuormittuminen. Opinnäytetyö: Metropolia Ammattikorkeakoulu.
12. Vizaar industrial imaging AG. Tuote-esite, Rigid bolescopes from Richard Wolf. Päivitetty 12.4.2012. Saatavissa: http://www.vizaar.de/fileadmin/user_upload/PDFs/T_622_Rigid-Scopes_EN_IV.06.GB4.pdf [Viitattu 18.5.2014].
13. Olympus. What are Industrial Fiberscopes? Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/knowledge/remote-visual/industrial-fiberscopes/> [Viitattu 18.5.2014].
14. Sähkölehto. Tuote-esite. Endoskoopit / teknooskopit. Päivitetty 4.2.2008. Saatavissa: www.sahkolehto.fi/tuotteet/mittaus_ja_valvonta/endoskoopit_teknooskopit/fi_FI/endoskoopit_teknooskopit/files/88629915523615227/default/Wolf_esite_08.indd.pdf [Viitattu 3.7.2014].
15. Vizaar industrial imaging AG. Tuote-esite, Rigid fiberscopes from Richard Wolf. Päivitetty 7.7.2011. Saatavissa: www.vizaar.de/fileadmin/user_upload/PDFs/T_623_Fiberscopes_IV.06.GB3.pdf [Viitattu 3.7.2014].
16. Olympus. What are Industrial Videoscopes? Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/knowledge/remote-visual/industrial-videoscopes/> [Viitattu 18.5.2014].
17. SKF. Instructions for use TKRS 20. Päivitetty 3.6.2014. Saatavissa: www.skf.com/binary/21-35653/MP5380.pdf [viitattu 9.7.2014].
18. Tuyen, T. Surveyor. Vastaus kyselylomakkeeseen 7.7.2014. Vietman: Bureau Veritas.

19. Suomen metalliteollisuuden keskusliitto ry. 1978. Tunkemanestetarkastus: Tekninen tiedostus 7/78. Helsinki: Uudenmaan kirjapaino Oy.
20. Valuatlas. Valukappaleen tarkastusmenetelmät. Päivitetty 21.3.2010. Saatavissa: http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.valuatlas.fi%2Ftietomat%2Fdocs%2FPN_jalkikasittely_E.pdf&ei=5dq8U-akOeL9ygO-1IKwDw&usg=AFQjCNEfIBp7Q3FbLa7ijyd03PqUWxe6ow&bvm=bv.70138588.d.bGQ&cad=rja [Viitattu 9.7.2014].
21. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, INSKO. 1989. Paineastioiden NDT-tarkastukset: Julkaisu 21–90. Helsinki: INSKO.
22. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2013. SFS 3452-1. Rikkomaton aineenکوetus. Tunkeumanestetarkastus. Osa 1: Yleisperiaatteet. Non-destructive testing. Penetrant testing. Part 1: General principles. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
23. NDT-Tukku. Tuote-esite. Päivitetty 11.7.2014. Saatavana: http://www.ndt-tukku.com/product_catalog.php?c=9 [Viitattu 11.7.2014].
24. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2013. SFS-EN ISO 3059. Rikkomaton aineenکوetus. Tunkeumaneste- ja magneettijauhetarkastus. Katseluolosuhteet. Non-destructive testing. Penetrant testing and magnetic particle testing. Viewing conditions Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
25. Lempinen, V. & Jönkkäri, I., Järvelä, P. 2012. Selvitys NDT-menetelmistä. Julkaisu: Tampereen teknillinen yliopisto.
26. Piipari, S. konetarkastaja. 2014. M/S Alppilan telakointi sekä M/S Kumpulän pakokaasukattilan korjaus. Suomi: ESL-Shipping.
27. Suomen metalliteollisuuden keskusliitto ry. 1978. Magneettijauhetarkastus: Tekninen tiedotus 10/78. Helsinki: Uudenmaan kirjapaino Oy.

28. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2002. SFS-EN ISO 9934-1. Rikkomaton aineenkoetus. Magneettijauh tarkastus. Osa 1: Yleisohjeet. Non-destructive testing. Magnetic particle testing. Part 1: General principles. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
29. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2010. SFS-EN ISO 17638. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Magneettijauh tarkastus. Non-destructive testing of welds. Magnetic particle testing. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
30. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2003. SFS-EN ISO 9934-2. Rikkomaton aineenkoetus. Magneettijauh tarkastus. Osa 2: Tarkastusaineet. Non-destructive testing. Magnetic particle testing. Part 2: Detection media. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
31. International Atomic Energy Agency IAEA. 2000. Liquid Penetrant and Magnetic Particle Testing at Level 2. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.
32. Rantala, J. 2012. Magneettijauh tarkastuspenkki. Opinnäytetyö: Seinäjoen ammattikorkeakoulu.
33. Mämmelä, T. 2014. Teräksen magneettiset ominaisuudet ja hitsattavuus. Opinnäytetyö: Oulun ammattikorkeakoulu.
34. NDT Resource center. Introduction to Eddy Current Testing. Saatavissa: https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/EddyCurrents/cc_ec_index.htm [Viitattu 9.9.2014].
35. Aho-Mantila, I. 1978. Pyörrevirtatarkastuksen perusteet ja soveltaminen putkien tarkastukseen: Kirjallisuustutkimus, metallilaboratorio. Tiedonanto 19. Otaniemi: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
36. Olympus. Introduction to Eddy Current Testing. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/eddycurrenttesting/> [Viitattu 8.9.2014].

37. Olympus. Eddy Current Array Tutorial. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/eca-tutorial/> [Viitattu 8.9.2014].
38. Aho-Mantila, I. 1978. Pyörrevirtatarkastus, perusteet ja soveltaminen putkien tarkastukseen. Lahti: Lahden kirjapaino Oy ja Sanomalehti Oy.
39. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2011. SFS-EN ISO 15549. Non-destructive testing. Eddy current testing . General principles. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
40. Olympus. Eddy Current Probe Selection Information. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/ec-probes/selection/> [Viitattu 11.9.2014].
41. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2008. SFS-EN ISO 15548-3. Rikkomaton aineenkoetus. Pyörrevirtatarkastus. Laitteiston ominaisuudet ja todentaminen. Osa 3: Järjestelmän ominaisuudet ja todentaminen. Non-destructive testing. Equipment for eddy current examination. Part 3: System characteristics and verification. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
42. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2009. SFS-EN ISO 12718. Rikkomaton aineenkoetus. Pyörrevirtatarkastus. Sanasto Non-destructive testing. Eddy current testing. Vocabulary. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
43. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2014. SFS-EN ISO 15548-1. Non-destructive testing. Equipment for eddy current examination. Part 1: Instrument characteristics and verification. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
44. Olympus. Tuote-esite, NORTEC 600 Eddy Current Flaw Detector. Päivitetty 29.5.2014. Saatavissa: www.olympus-ims.com/en/.downloads/download/?file=285214882&fl=en_US [Viitattu 12.9.2014].
45. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2014. SFS-EN ISO 15548-2. Non-destructive testing. Equipment for eddy current examination. Part 2: Probe characteristics and verification. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

46. Olympus. Tuote-esite, Eddy Current Probes and Accessories. Päivitetty 10.6.2010. Saatavissa www.olympus-ims.com/en/.downloads/download/?file=285213042&fl=en_US [Viitattu 8.10.2014].
47. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2004. SFS-EN ISO 2360. Epämagneettisten sähköä johtavien perusaineiden sähköä johtamattomat pinnoitteet. Paksuuden mittaaminen. Amplitudin mittaukseen perustuva pyörrevirtamenetelmä. Non-conductive coatings on non-magnetic electrically conductive basis materials. Measurement of coating thickness. Amplitude-sensitive eddy current method. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
48. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2005. SFS-EN ISO 21968. Metallisten ja ei-metallisten perusaineiden epämagneettiset metalliset pinnoitteet. Paksuuden mittaaminen. Vaiheen mittaukseen perustuva pyörrevirtamenetelmä Non-magnetic metallic coatings on metallic and non-metallic basis materials. Measurement of coating thickness. Phase-sensitive eddy-current method. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
49. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2014. SFS-EN ISO 16810. Rikkomaton aineen koetus. Ultraäänitarkastus. Yleisperiaatteet. Non-destructive testing. Ultrasonic testing. General principles. Suomen Standardisoimisliitto.
50. NDT Resource center. Introduction to Ultrasonic Testing. Saatavissa: https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/cc_ut_index.htm [Viitattu 23.10.2014].
51. Olympus. Ultrasonic Material Analysis. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/applications-and-solutions/introductory-ultrasonics/introduction-material-analysis/> [Viitattu 23.10.2014].
52. Olympus. Ultrasonic Flaw Detection Tutorial. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/flaw-detection/> [Viitattu 23.10.2014].

53. Olympus. Ultrasonic Flaw Detection. saatavilla: <http://www.olympus-ims.com/en/applications-and-solutions/introductory-ultrasonics/introduction-flaw-detection/> [Viitattu 23.10.2014].
54. Sonar. Ainettarikkoman ultraäänitarkastus. Johdatus perusteisiin. Saatavissa: www.sonar.fi/sites/default/files/ultraaanitarkastus.pdf [Viitattu 23.10.2014].
55. Olympus. Tuote-esite, Ultrasonic Transducers Technical Notes. Päivitetty: 5.5.2011. Saatavissa: www.olympus-ims.com/downloads/download/?file=285213010=en_US/ [Viitattu 27.10.2014].
56. Olympus. Thickness Gage Tutorial. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/ndt-theory/thickness-gage/> [Viitattu 27.10.2014].
57. Olympus. Ultrasonic Thickness Gaging. saatavilla: <http://www.olympus-ims.com/en/applications-and-solutions/introductory-ultrasonics/introduction-thickness-gaging/> [Viitattu 27.10.2014].
58. Olympus. PowerPoint esitys, Precision Thickness Gaging Theory. Saatavissa: http://static5.olympus-ims.com/data/Media/Precision_Thickness_Gaging_Theory/?rev=8DC6 [Viitattu 27.10.2014].
59. Olympus. Immersion. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/ultrasonic-transducers/immersion/> [Viitattu 27.10.2014].
60. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2010. SFS-EN ISO 1330-4. Rikkoman aineen koetus. Sanasto. Osa 4: ultraäänitarkastuksessa käytettävät termit. Non-destructive testing. Terminology. Part 4: Terms used in ultrasonic testing. Suomen Standardisoimisliitto.
61. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2013. SFS-EN ISO 2400. Rikkoman aineen koetus. Ultraäänitarkastus. Tarkastuskappale 1. Non-destructive testing. Ultrasonic testing. Specification for calibration block No. 1. Suomen Standardisoimisliitto.

62. PH Tools. Verkkokauppa, Standard Test Blocks. Saatavissa:
<http://www.phtool.com/store2/proddetail.asp?prod=CALBLK1.CS> [viitattu 29.10.2014].
63. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2010. SFS-EN ISO 7963. Rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Tarkastuskappale 2. Non-destructive testing. Ultrasonic testing. Specification for calibration block No. 2. Suomen Standardisoimisliitto.
64. PH Tools. Verkkokauppa, Standard Test Blocks. Saatavissa:
<http://www.phtool.com/store2/proddetail.asp?prod=CALBLK2.125.CS> [viitattu 29.10.2014].
65. PH Tools. Tuote-esite, 2014 Catalog Reference Standards and Calibration Blocks for the NDT industry. Päivitetty: 31.12.2013. Saatavissa:
http://www.google.fi/url?sa=t&ret=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCUQ-FjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.phtool.com%2Fcatalog%2Fphtoolcatalog.pdf&ei=_u1RVLW6OIbQygP3zYDoCA&usg=AFQjCNHSj6SwI4DMoJfPBb_Hf3rMhx9dAQ&bvm=bv.78597519,d.bGQ&cad=rja [viitattu 30.10.2014].
66. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2011. SFS-EN ISO 14127. Non-destructive testing. Ultrasonic thickness measurement. Suomen Standardisoimisliitto.

Kyselylomake NDT-testauksista

Ohessa muutamia kysymyksiä miten NDT-tekniikoita (NDT = rikkomaton aineenkoetus) on käytetty varustamossanne tai aluksellanne. Pyytäisin käyttämään hieman aikaa vastataksenne niihin. Vaikka kaikkiin kysymyksiin tuskin löytyy vastauksia, niin pyytäisin vastaamaan edes joihinkin niistä, koska kaikki vastaukset tulevat todella tarpeeseen. Vastaukset pyytäisin lisäämään tähän lomakkeeseen, sekä lähettämään ne sähköpostilla osoitteeseen tuomo.piipari@student.kyamk.fi.

1. Onko varustamossanne tai aluksellanne käytetty mitään seuraavista NDT-menetelmistä, tunkeumanestetarkastusta, ultraäänitarkastusta, silmä määräistä tarkastusta, pyörrevirtatarkastusta, magneettijauhetarkastusta, radiograafista tarkastusta (röntgeniä)?

Vastaus:

2. Jos olette päässeet käyttämään yllä olevia menetelmiä, niin mitä tarkastitte niiden kanssa?

Vastaus:

3. Oliko tarkastus mielestänne helppo suorittaa?

Vastaus:

4. Saitteko tarkastuksesta halutunlaisen tuloksen?

Vastaus:

5. Jos olette tehneet varustamossanne tai aluksillanne NDT-testauksia, niin oliko teillä laivalla omat mittausvälineet ja tekijät, vai käytittekö ulkoa hankittua ostopalvelua?

Vastaus:

6. Käytetäänkö mielestänne NDT-tarkastuksia riittävästi hyväksi merenkulkualalla?

Vastaus:

7. Jos vastasitte edelliseen kieltävästi, niin minkä tarkastusten käyttöä kannattaisi lisätä, ja mitä kyseisellä menetelmällä pitäisi tarkastaa?

Vastaus:

8. Muuta kommentoitavaa tai huomioitavaa?

Vastaus:

Lopuksi haluaisin esittää vielä kerran todella suuret kiitokset vaivannäöstänne osallistuessanne kyselyyn!!

Kunnioitavasti

Tuomo Piipari

Kyselylomake NDT-testauksista

Ohessa muutamia kysymyksiä miten NDT-tekniikoita voitaisiin soveltaa merenkulkualalla. Pyytäisin käyttämään hieman aikaa vastataksenne niihin. Vaikka kaikkiin kysymyksiin tuskin löytyy vastauksia, niin pyytäisin vastaamaan edes joihinkin niistä, koska kaikki vastaukset tulevat todella tarpeeseen. Vastaukset pyytäisin lisäämään tähän lomakkeeseen, sekä lähettämään ne sähköpostilla osoitteeseen tuomo.piipari@student.kyamk.fi.

1. Mitä NDT-tekniikoita olette päässyt käyttämään merenkulkualan piirissä?

Vastaus:

2. Käytittekö kyseisiä tekniikoita aluksen ollessa kulussa, satamassa vai telakalla?

Vastaus:

3. Käytittekö kyseisiä tekniikoita aluksen konetiloissa, vai rungon tai lastitilojen tarkastukseen? Vai jossain muussa kohteessa?

Vastaus:

4. Jos käytitte edellä mainittuja tekniikoita konetiloissa, niin mitä laitteita/koneistoja siellä tarkastitte?

Vastaus:

5. Jos taas käytitte edellä mainittuja tekniikoita rungon tai lastitilojen tarkastukseen, niin mitä niissä tarkastitte?

Vastaus:

6. Ilmenikö tarkastuksessa merenkulkualasta johtuvia ongelmia tai yllätyksiä?

Vastaus:

7. Käytetäänkö mielestänne NDT-tarkastuksia riittävästi hyväksi merenkulkualalla?

Vastaus:

8. Jos vastasitte edelliseen kieltävästi, niin minkä tarkastusten käyttöä kannattaisi lisätä?

Vastaus:

9. Muuta kommentoitavaa tai huomioitavaa?

Vastaus:

Lopuksi haluaisin esittää vielä kerran todella suuret kiitokset vaivannäöstänne osallistuessanne kyselyyn!!

Kunnioittavasti

Tuomo Piipari

Kyselylomake NDT-testauksista

Ohessa muutamia kysymyksiä miten NDT-tekniikoita voitaisiin soveltaa merenkulkualalla. Pyytäisin käyttämään hie-
man aikaa vastataksenne niihin. Vaikka kaikkiin kysymyksiin tuskin löytyy vastauksia, niin pyytäisin vastaamaan edes
joihinkin niistä, koska kaikki vastaukset tulevat todella tarpeeseen. Vastaukset pyytäisin lisäämään tähän lomakke-
eseen, sekä lähettämään ne sähköpostilla osoitteeseen tuomo.piipari@student.kyamk.fi.

1. Oletteko käyttänyt merenkulkualan piirissä silmämääräisiä tarkastuksia (VT), jos olette käyttänyt, niin minkä-
laisia apuvälineitä käytitte avuksi? Minkälaisia kohteita tarkastitte?

- Rungon osalta?

Vastaus:

- Lastitilojen osalta?

Vastaus:

- Koneistojen osalta?

Vastaus:

- Muilta osin?

Vastaus:

2. Oletteko käyttänyt merenkulkualan piirissä tunkeumaneste tarkastuksia (PT), jos olette käyttänyt, niin minkä-
laisia kohteita tarkastitte?

- Rungon osalta?

Vastaus:

- Lastitilojen osalta?

Vastaus:

- Koneistojen osalta?

Vastaus:

- Muilta osin?

Vastaus:

3. Oletteko käyttänyt merenkulkualan piirissä magneettijauhe tarkastuksia (MT), jos olette käyttänyt, niin minkälaisia kohteita tarkastitte?
- Rungon osalta?
Vastaus:

 - Lastitilojen osalta?
Vastaus:

 - Koneistojen osalta?
Vastaus:

 - Muilta osin?
Vastaus:
4. Oletteko käyttänyt merenkulkualan piirissä pyörrevirta tarkastuksia (ET), jos olette käyttänyt, niin minkälaisia kohteita tarkastitte?
- Rungon osalta?
Vastaus:

 - Lastitilojen osalta?
Vastaus:

 - Koneistojen osalta?
Vastaus:

 - Muilta osin?
Vastaus:
5. Oletteko käyttänyt merenkulkualan piirissä ultraääni tarkastuksia (UT), jos olette käyttänyt, niin minkälaisia kohteita tarkastitte?
- Rungon osalta?
Vastaus:

- Lastitilojen osalta?

Vastaus:

- Koneistojen osalta?

Vastaus:

- Muilta osin?

Vastaus:

6. Oletteko käyttänyt merenkulkualan piirissä radiograafisia tarkastuksia (RT), jos olette käyttänyt, niin minkälaisia kohteita tarkastitte?

- Rungon osalta?

Vastaus:

- Lastitilojen osalta?

Vastaus:

- Koneistojen osalta?

Vastaus:

- Muilta osin?

Vastaus:

7. Käyttekö kyseisiä tekniikoita aluksen ollessa kulussa, satamassa vai telakalla?

Vastaus:

8. Ilmenikö tarkastuksessa merenkulkualasta johtuvia ongelmia tai yllätyksiä?

Vastaus:

9. Käytetäänkö mielestänne NDT-tarkastuksia riittävästi hyväksi merenkulkualalla?

Vastaus:

10. Jos vastasitte edelliseen kieltävästi, niin minkä tarkastusten käyttöä kannattaisi lisätä?

Vastaus:

11. Olisiko mahdollista saada lisää esimerkkejä eri tekniikoiden käyttökohteista laivoilla, koska työni kantava idea on saada mahdollisimman paljon käytännön esimerkkejä laivoilla käytettävistä kohteista?

Vastaus:

12. Muuta kommentoitavaa tai huomioitavaa?

Vastaus:

Lopuksi haluaisin esittää vielä kerran todella suuret kiitokset vaivannäöstänne osallistuessanne kyselyyn!!

Kunnioittavasti

Tuomo Piipari

The questionnaire about NDT testing

Please find a few questions about how the NDT techniques could be applied to the maritime industry. I would ask you to spend a little time to answer them. Although all the questions can hardly find the answers, I would ask you to give an answer, even some of them, because all the answers are really going to need. I would ask you to include answers to this questionnaire, and to send them e-mail me at the address tuomo.piipari@student.kyamk.fi.

1. When you have been working within the maritime industry, do you become familiar with how to perform the visual testing (VT), if you have become familiar with the visual testing, and then what kind of assistive devices did you use to help the inspection? What types of items do you check?

- When inspection the hull?

Answer:

- When inspection the cargo space?

Answer:

- When inspection the machinery space?

Answer:

- When inspection every other parts?

Answer:

2. When you have been working within the maritime industry, do you become familiar with how to perform the penetrant testing (PT), if you have become familiar with the penetrant testing what types of items do you check?

- When inspection the hull?

Answer:

- When inspection the cargo space?

Answer:

- When inspection the machinery space?

Answer:

- When inspection every other parts?

Answer:

3. When you have been working within the maritime industry, do you become familiar with how to perform the magnetic particle testing (MT), if you have become familiar with the magnetic particle testing what types of items do you check?

- When inspection the hull?

Answer:

- When inspection the cargo space?

Answer:

- When inspection the machinery space?

Answer:

- When inspection every other parts?

Answer:

4. When you have been working within the maritime industry, do you become familiar with how to perform the ultrasonic testing (UT), if you have become familiar with the ultrasonic testing what types of items do you check?

- When inspection the hull?

Answer:

- When inspection the cargo space?

Answer:

- When inspection the machinery space?

Answer:

- When inspection every other parts?

Answer:

5. When you have been working within the maritime industry, do you become familiar with how to perform the eddy current testing (ET), if you have become familiar with eddy current testing what types of items do you check?

- When inspection the hull?

Answer:

- When inspection the cargo space?

Answer:

- When inspection the machinery space?

Answer:

- When inspection every other parts?

Answer:

6. When you have been working within the maritime industry, do you become familiar with how to perform the radiographic testing (X-ray) (RT), if you have become familiar with the radiographic testing (X-ray) what types of items do you check?

- When inspection the hull?

Answer:

- When inspection the cargo space?

Answer:

- When inspection the machinery space?

Answer:

- When inspection the every other parts?

Answer:

7. Did you use the above mentioned techniques while the ship was at sea, in port or shipyard?

Answer:

8. When you carried out your inspection where there any problems or surprises cousins the fact that the inspection was made in maritime industry?

Answer:

9. In your opinion, is the NDT inspections used to adequately benefit the shipping industry?

Answer:

10. If you answered no to the previous, what inspection use should be increased, and what that method should be checked?

Answer:

11. Would it be possible to have more examples of the different uses of techniques specially in vessels, because the main idea behind of this thesis is to get so many as possible the real-life examples of how the method been used in the vessels?

Answer:

12. Any other comments or aspects?

Answer:

Finally, I would like to once again express my sincerest thanks for the efforts you participate in the survey!

Yours sincerely

Tuomo Piipari

