

Henri Koskela

## **AINEENVAHVUUSMITTAUSTOIMINNAN KEHITTÄMINEN**

# **AINEENVAHVUUSMITTAUSTOIMINNAN KEHITTÄMINEN**

Henri Koskela  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, Raahen yksikkö

---

Tekijä: Henri Koskela  
Opinnäytetyön nimi: Aineenvahvuusmittaustoiminnan kehittäminen  
Työn ohjaajat: Esa Törmälä, Jarmo Valtokari  
Työn valmistumislukukausi ja vuosi: kevät 2014  
Sivumäärä: 69 + 17 liitettä

---

Opinnäytetyössä laadittiin painelaitteiden aineenvahvuusmittaustoiminnasta selvitys, jota voitaisiin käyttää työkaluna kehittämiseen. Mittaustoiminnasta tarvittiin kokonais selvitys, sillä vuonna 2013 vastuu painelaitteiden aineenvahvuusmittaustoiminnasta siirtyi osastoilta kunnonvalvontaorganisaatiolle. Toimeksianto opinnäytetyölle tuli Ruukki Metalsin kunnonvalvontaorganisaatiolta.

Työssä perehdyttiin painelaitteiden aineenvahvuusmittaustoiminnan käytäntöön, mittauslaitteistoihin, mittaajien pätevyysiin, kriittisyyskartoitukseen, painelaitteisiin liittyviin velvoitteisiin ja toiminnassa ilmenneisiin kehityskohteisiin ja esitettiin vaihtoehtoja niiden parantamiseksi. Lisäksi työssä käytiin läpi laitteiden kunnon mittaukseen soveltuvia NDT-tekniikoita, joita myös vertailtiin keskenään.

Mittaustoiminnan käytännön selvityksessä havaittiin mittausryhmien poikkeavan toisistaan dokumenttien laadinnassa ja niiden tallentamisessa. Lisäksi havaittiin, että mittauksien seurantaan ja hallintointiin käytetään pääosin Excel-listaa eikä Arttu-kunnossapitojärjestelmää. Käytössä olevien mittauslaitteiden osalta selvisi, että käytössä on vanhoja ja uusia laitteistoja, jotka eivät ole kaikki keskenään yhteensopivia. Työssä selvisi myös, että mittaajien tietotaidon lisäämiseen hyödynnetään vain kokeneemman mittaajan kokemusta.

Työssä selvisi mittauskohteiden koostuvan kaasu-, polttoaine- ja kemikaalisäiliöistä, höyrykattiloista, lämmönvaihtimista, putkistoista ja paineenalaisista lisälaitteista sekä painelaitekokonaisuuksista, joiden tarkastuksiin hyödynnetään tarvittaessa ulkopuolisen tarkastuslaitoksen palveluita ja osaamista ohjeistuksien laatimiseen. Työssä kävi ilmi, että tehtaalla laitteiden kriittisyyksien kartoitukseen on jo osittain sovellettu PSK 6800 -kriittisyysluokittelua.

Työssä selvitettiin painelaitteisiin liittyvät olennaisimmat säädökset. Käyttäjällä ja omistajalla on vastuu painelaitteiden käytön turvallisuudesta ja heidän on huolehdittava määräaikaistarkastuksien suorittamisesta ja varmistettava mittaajien riittävä pätevyys mittauksien suorittamiseksi.

---

Asiasanat:  
aineenvahvuusmittaus, painelaite, ultraäänipaksuusmittaus, kunnonvalvonta

## ALKULAUSE

Tämä insinöörityö on tehty vuoden 2014 kevään aikana Ruukki Metals Oy:lle Raahen tehtaan kunnonvalvontaorganisaatiolle. Työn valvojana toimi lehtori Esa Törmälä ja ohjaajana kehitysinsinööri Jarmo Valtokari.

Haluan osoittaa kiitokset työn valvojalle, ohjaajalle ja myös työn yhteydessä haastatetuille henkilöille. Työ oli mielenkiintoinen ja haastava, minkä vuoksi neuvot ja ohjeistukset olivat tärkeitä.

Raahessa 27.5.2014

Henri Koskela

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	8
2 RUUKKI	9
2.1 Konsernirakenne	9
2.2 Ruukki Metals	10
2.2.1 Terässulatto	11
2.2.2 Masuuni	11
2.2.3 Valssaamo	11
2.2.4 Voimalaitos	11
2.2.5 Koksaamo	12
2.2.6 Satama	12
3 MITTAUSTOIMINTAYMPÄRISTÖ	13
4 PAINELAITTEISIIN LIITTYVÄÄ LAINSÄÄDÄNTÖÄ JA OHJEITA	14
5 AINEENVAHVUUSMITTAUS RAAHEN TEHTAALLA	17
5.1 Mittaustoiminta	17
5.2 Kehityskohtia	18
6 ULTRAÄÄNIPAKSUUSMITTAUS, UTM	20
6.1 Ultraäänipaksuusmittari	21
6.2 Ultraäänipaksuusluotain	21
6.3 Luotaimen valinta	23
6.4 KytKentäaine	24
6.5 Ultraäänipaksuusmittarin kalibrointi ja säätö	25
6.5.1 Vertailupala	25
6.5.2 Luotaimen nolla kompensatio	25
6.5.3 Äänenjohtavuuden säätäminen	26
6.5.4 Nollakalibrointi	26

7 KÄYTÖSSÄ OLEVAT TYÖKALUT	27
7.1 Ultraäänipaksuusmittauslaitteet	27
7.1.1 Echo-to-Echo	28
7.1.2 THRU-COAT	29
7.2 Luotaimet	29
7.3 Vertailupala	30
7.4 Dokumentointi	30
7.4.1 Olympus GageView	30
7.4.2 Microsoft Office Excel	31
7.4.3 Arttu	31
8 MITTAUSKOHTEET	32
8.1 Mittauskohteiden kartoitus	32
8.2 Mittauskohteiden kriittisyys arviointi	33
8.2.1 PSK 6800 standardi	33
8.2.2 Painelaitteiden riskiperusteinen kunnossapito ja tarkastus menettely, RMBI	34
8.2.3 Käytössä oleva kriittisyyskartoitus	35
9 MITTAAJIEN PÄTEVYYS	36
9.1 Pätevyystasot	36
9.2 Voimassaolo	38
10 MITTAUKSEN OHJEISTUS	39
10.1 Kalibrointi	39
10.2 Tarkastus	39
11 DOKUMENTOINNIN KEHITTÄMINEN	41
12 RIKKOMATON AINEENKOETUS (NDT)	43
12.1 Yleisimpiä menetelmiä	43
12.1.1 Visuaalinen tarkastus, VT	43
12.1.2 Tunkeumanestetarkastus, PT	44
12.1.3 Magneettijauhetarkastus, MT	44
12.1.4 Radiografinen tarkastus, RT	45
12.1.5 Ultraäänitarkastus, UT	46
12.1.6 Pyörrevirtatarkastus, ET	47
12.2 Muita menetelmiä	48

12.2.1 Pitkän kantaman ultraäänimittaus, LRUT	48
12.2.2 Akustinen emissio, AE	50
12.2.3 Kulkuairotekniikka, TOFD	51
12.2.4 Internal Rotating Inspection System, IRIS	51
12.2.5 Vaiheistettu ultraäänimittaus, PA	53
12.2.6 Digitaalinen radiografia, DR	53
12.2.7 Infrapunatermografia, IRT	54
12.2.8 Alternating Current Field Measurement, ACFM	55
12.2.9 Electro-Magnetic Acoustic Transducer, EMAT	56
12.2.10 Tärinälämpökuvauus, Vibrothermography	57
13 NDT-MENETELMIEN VERTAILUA	58
14 YHTEENVETO	59
LÄHTEET	63
LIITTEET	70

# 1 JOHDANTO

Ruukin Raahen tehtaalla painelaitteiden aineenvahvuusmittaustoiminta on ollut kauan aikaa osana osastojen kunnossapitoryhmien toimintaa, kunnes vuonna 2013 aineenvahvuusmittaustoiminta siirtyi kunnonvalvontaorganisaation vastuulle. (1.) Painelaitteiden aineenvahvuusmittaustoiminnan tavoitteena on varmistaa painelaitteiden turvallinen ja häiriötön käyttö.

Tässä työssä oli alun perin lähtökohtana parantaa painelaitteiden aineenvahvuusmittaustoimintaa käytännön tasolla, mutta se todettiin suppeaksi näkökulmaksi mittaustoiminnan kokonaisuuden kehittämiseksi. Aineenvahvuusmittaustoiminnan kehittämiseksi asetettiin työn tavoitteeksi laatia mittaustoiminnan kokonaisuudesta selvitys, jota voitaisiin käyttää edessäpäin kehittämisen työkaluna.

Selvitystyössä käydään läpi mittaustoiminnan työkaluja, mittauksien suorittamista, tarkastuskohteita, kriittisyysarviointia, mittaajien pätevyyyksiä, dokumentointia, painelaitteiden vaatimuksia ja NDT-menetelmiä. Lisäksi aineenvahvuusmittaustoiminnassa ilmenneihin kehityskohteiden parantamiseksi pyritään löytämään mahdollisia ratkaisuehdotuksia.



## 2 RUUKKI

Ruukin historiaa on kertynyt 1960-luvulta saakka, jolloin Rautaruukki perustettiin. Alun perin yhtiön perustamisen tarkoituksena oli turvata kotimaisen telakka- ja muun metalliteollisuuden raaka-ainehuolto. Ruukki on vuosikymmenien aikana muuttunut perinteisestä terästuottajasta kansainväliseksi teräs- ja konepajateollisuuden moniosaajaksi. Nykyisin liiketoiminta on keskittynyt erikoisteräksen ja teräsrakentamiseen. (2.)

Ruukki on erikoistunut teräkseen ja teräsrakentamiseen. Ruukki toimittaa asiakkailleen energiatehokkaita ratkaisuja asumiseen, työhön ja liikkumiseen. Yhtiössä on noin 8 600 työntekijää sekä laaja jakelu- ja jälleenmyyntiverkosto noin 30 maassa, muun muassa Pohjoismaissa, Venäjällä ja muualla Euroopassa sekä kehittyvillä markkinoilla, kuten Intiassa, Kiinassa ja Etelä-Amerikassa. (3.)

### 2.1 Konsernirakenne

Ruukki uudisti liiketoimintarakenteensa keväällä 2013 kolmeen osaan, mikä nähdään kuviossa 1. Uudella liiketoimintarakenteella selkeytettiin johtamista ja toiminnanohjausta. (4.)



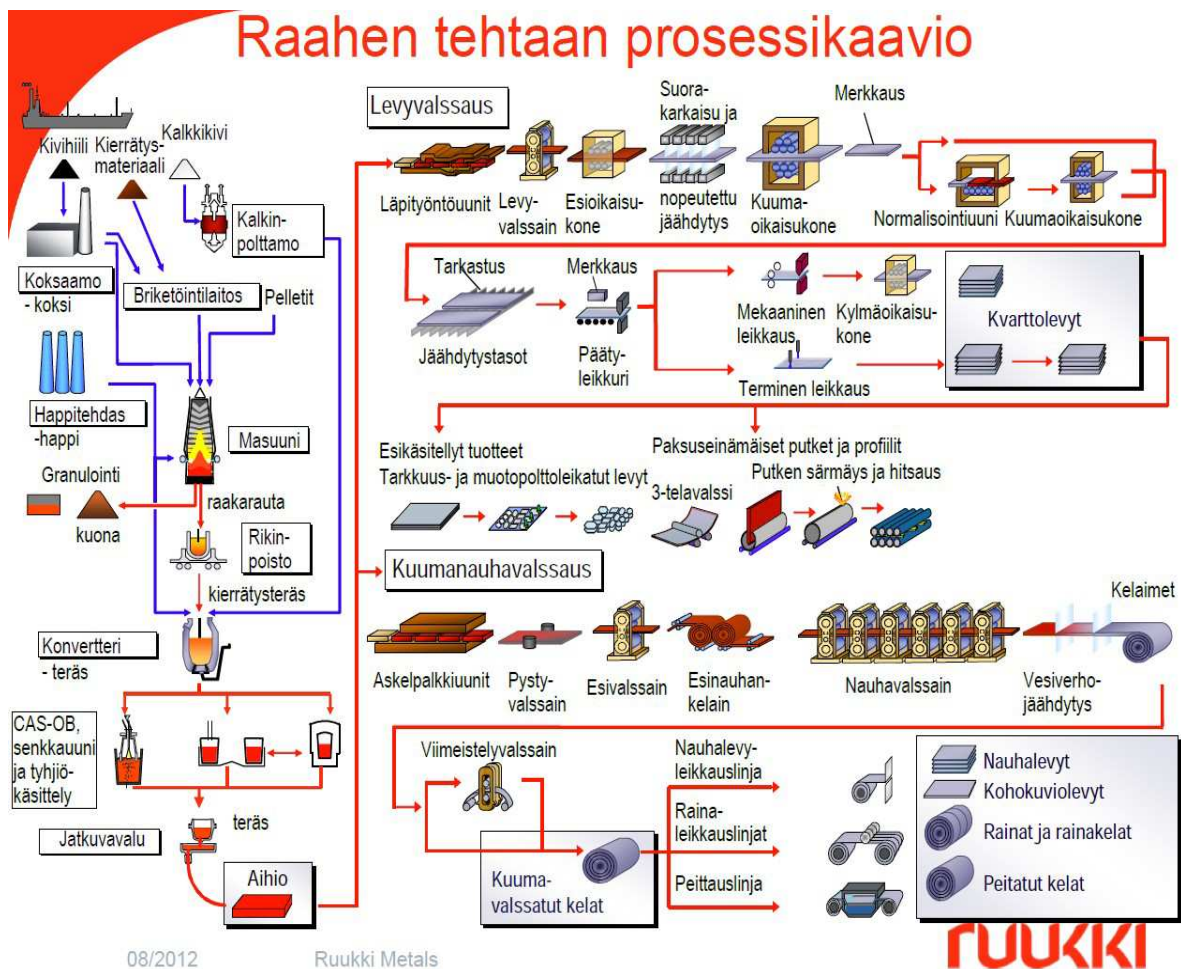
\* 2013, vertailukelpoinen liikevaihto

KUVIO 1. Ruukin liiketoiminta-alueet (4)

## 2.2 Ruukki Metals

Teräsluokittominta toimittaa vaativiin sovelluksiin muun muassa erikoislujuja, kulutusta kestäviä ja erikoispinnoitettuja erikoisterästuotteita. Teräspalvelukeskukset toimittavat terästuotteita sekä niihin liittyviä esikäsittely-, logistiikka- ja varastointipalveluita. Ruukki Metals valmistaa ja toimittaa myös standarditeräkseen levy-, nauha- ja profiilituotteita. Keskeiset painopisteet ovat erikoisterästuotteisiin perustuvan liiketoiminnan kehittäminen, markkina-aseman vahvistaminen Pohjoismaissa ja Baltiassa sekä kustannustehokkuuden jatkuva kehittäminen. (5.)

Ruukki Metals Raahen tehtaalla tuotanto sisältää raudantuotanto-, terästuotanto- ja kuumavalssausyksiköt. Raudantuotantoyksikkö sisältää masuunin, koksauksen, briketointi- ja kalkkilaitoksen. Terästuotantoyksikkö muodostuu terässlatasta. Kuumavalssausyksikköön kuuluvat levy- ja nauhavalssaus. Lisäksi tehtaalla sijaitsevat satama, ilmakaasu- ja voimalaitos. Kuviossa 2 nähdään Raahen tehtaalla prosessikaavio. (6, s. 21.)



KUVIO 2. Raahen tehtaalla prosessikaavio (6, s. 66)

### **2.2.1 Terässulatto**

Terästuotantoprosessi on ketju peräkkäisiä toimintoja, joissa masuuneiden tuottamasta raakaraudasta valmistetaan erilaisia teräslaatuja, jotka valetaan edelleen teräsaihioiksi. Aihiot varastoidaan aihiohalleihin ja varastokentälle valssaamon tarpeisiin. Tyypillistä toiminnalle on senkoissa olevan sulan metallin siirto nostureilla ja siirtovaunuilla käsittelyvaiheittain ketjussa eteenpäin. (7, s. 9.)

### **2.2.2 Masuuni**

Tehtaalla tuotetaan raakaraudaa kahden masuunin avulla. Lisäksi raakaraudan valmistuksessa syntyy masuunikaasua ja -kuonaa. Alueella huomioitavaa ovat kaasuvaarallinen alue, sula raakarauda, pöly ja rautatieliikenne. Raudantuotannon henkilöstö vastaa briketin ja raudan valmistuksesta ja niiden valmistukseen tarvittavien raaka-aineiden varastoinnista ja käsittelystä. Rautatuotannon henkilöstö hoitaa myös poltetun kalkin valmistuksen Nordkalk Oy Ab:n hallinnoimalla tuotantolaitoksella. (6, s. 195 - 199.)

### **2.2.3 Valssaamo**

Valssaamorakennuksessa toimii nauha- ja levyvalssaamo sekä testauslaboratorio. Valssaamon prosessissa terässulatolla valmistetut aihiot kuumennetaan ja muokataan levy- ja nauhatuotteiksi. Alueella on huomioitava kaasuvaara ja työmaaliikenne, erityisesti vetomestarien ja nosturien liikkuminen. (6, s. 1324 - 1327.)

### **2.2.4 Voimalaitos**

Tehtaalla sijaitsee höyryvoimalaitos, joka käyttää pääpolttoaineena masuuni- ja koksikaasua, jonka varapolttoaineena voidaan käyttää raskasta polttoöljyä että kivihiilitervaa. Voimalaitoksesta saatava teho vaihtelee käytössä olevan kaasumäärän mukaan. Voimalaitoksella liikuttaessa on huomioitava alueella oleva kaasuvaara. (6, s. 653.)

Voimalaitoksen päätoimintoja ovat höyryn ja sähkön tuotanto sekä jakelu, puhallusilman tuotanto masuuneille, kaukolämmön kehitys ja jakelu tehtaalle sekä Raahen kaupunkiin. Lisäksi voimalaitos vastaa kattilaveden valmistuksesta kattiloiden lisävedeksi valssaamolle, koksamolle

ja omaan tarpeeseen, polttonesteiden ja kaasujen jakelusta niitä käyttäville osastoille, tehtaan jäähdytysvesien pumppauksesta osastoille sekä paineilman tuotannosta ja jakelusta ja sähkön jakelusta osastoille. (6, s. 653.)

### **2.2.5 Koksaamo**

Koksaamon tehtävänä on tuottaa masuuneille soveltuvaa koksia. Tuotettavan koksen laadusta sovitaan masuuninosaston kanssa vuosittain toimintasuunnitelmaa tehtäessä. Koksen tuotannosta syntyviä sivutuotteita ovat koksikaasu, kivihiiliterva, bentseeni ja rikki. Erityisesti on huomioitava kaasuvaarallisuus koko alueella. (6, s. 398.)

### **2.2.6 Satama**

Satama on ympäri vuoden täyspäiväisesti toiminnassa, ja sen yhteydessä on tehtaan teollisuus- ja Raahen kaupungin Lapaluodon satama. Talvella satama-altaat pysyvät terästehtaan jäähdytysvesien ansiosta sulana. Satama palvelee pääasiassa Raahen terästehtaan ja Ruukin putkitehtaiden tarpeita sekä konsernin ulkopuolisia asiakkaita. Alueella liikuttaessa on tarkkailtava tarkasti vetomestarien ja nosturien liikennettä. (6, s. 1390.)

### 3 MITTAUSTOIMINTAYMPÄRISTÖ

Tehtaan kunnonvalvonnan aineenvahvuusmittausryhmät tekevät mittauksia eri osastoilla, joita ovat koksaamo, masuuni, voimalaitos, terässulatto ja valssaamo. Satama-alueella sijaitsevien mittauskohdeiden kunnonvalvonnan vastuut jakautuvat niiden osastojen kesken, joiden prosessiin ovat yhteydessä. Toimintaympäristönä osastot ei juuri poikkea toisistaan, jolloin mittaukseen liittyvät vaikutustekijät ovat samankaltaiset. (8;9;10;11;12.)

Mittauksien suorittamisen, tuloksien tulkintaan ja niiden luotettavuuteen vaikuttavat mittaajien kokemuksen ja tietotaidon lisäksi myös toimintaympäristössä olevat vaikutustekijät. Aineenvahvuusmittaustoiminnassa huomioitavia tekijöitä ovat seuraavat (8;9;10;11;12):

- ahtaus
- kaasuvaara
- kalibrointi
- kiire
- korkeus, putoamisvaara
- lika
- liukastumisvaara
- lämpötila
- mahdollisesti mittauspisteen puhdistamisesta aiheutuvat haittakaasu ja pöly
- materiaali
- melu
- pimeys
- pääsy
- pöly
- rakenteen ja materiaalin pinta.

## 4 PAINELAITTEISIIN LIITTYVÄÄ LAINSÄÄDÄNTÖÄ JA OHJEITA

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES) valvoo ja edistää Suomessa monialaisesti teknistä turvallisuutta ja vaatimustenmukaisuutta sekä kuluttaja- ja kemikaaliturvallisuutta. Tukesin kautta painelaitteiden ja kemikaaliturvallisuuteen löytyvät ajan tasalla olevat lainsäädökset, ohjeet ja oppaat niiden soveltamiseen. (13.)

Painelaitteita ovat säiliöt, putkistot, höyryn tai ylikuumennetun veden tuotannon painelaitteet, varolaitteet, paineenalaiset lisälaitteet ja muut tekniset kokonaisuudet, joissa on tai voi kehittyä ylipainetta sekä painelaitteen suojaamiseksi tarkoitettuja teknisiä kokonaisuuksia. Painelaitteista aiheutuvat onnettomuudet voivat aiheuttaa omaisuus-, ympäristö- tai vakavia henkilövahinkoja, joiden vuoksi painelaitteisiin on lainsäädännössä asetettu vaatimuksia niiden suunnittelulle, valmistukselle ja käytölle. (14, s. 3, 5.)

Vaativimmat painelaitteet ja -kokonaisuudet tulee rekisteröidä ja niihin on suoritettava määräaikaistarkastuksia (kuvio 3). Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta (953/1999) olevassa lakisäännöksessä kerrotaan painelaitteiden käyttöön liittyvistä pakollisista tarkastuksista. (15.)

	Toimenpide	Tavallinen aikaväli	
		Painesäiliöt	Kattilat
Ensimmäinen määräaikaistarkastus	Tarkastetaan, että painelaite voidaan ottaa turvallisesti käyttöön	Käyttöönoton yhteydessä	Käyttöönoton yhteydessä
Käyttötarkastus	Käyttöä vastaavissa olosuhteissa tarkastetaan, että painelaitteen ja sen käytön osalta asiat ovat kunnossa	4 vuotta	2 vuotta
Sisäpuolinen tarkastus	Laite tyhjennetään, puhdistetaan ja sen kunto tarkastetaan perusteellisesti	4 vuotta	4 vuotta
Määräaikainen painekoe	Tehdään painekoe ja tutkitaan mahdollisia vuotoja ja muodonmuutoksia	8 vuotta	8 vuotta
Muutostarkastus	Kunto ja turvallisuus tarkastetaan korjausten ja erilaisten muutosten yhteydessä	Tarvittaessa	Tarvittaessa

KUVIO 3. Painelaitteisiin kohdistuvat määräaikaistarkastukset (15)

Painelaitesäädöksissä painotetaan valmistajan, omistajan ja käyttäjän vastuuta painelaitteiden turvallisuudesta (kuvio 4). Omistajan ja käyttäjän tulee huolehtia painelaitteen sijoituksesta ja käytön turvallisuudesta, joten kaikkien painelaitteiden kuntoa on seurattava, eikä ainoastaan vain rekisteröidyistä painelaitteista. (14, s. 15.)

1. Rekisteröitävästä painelaitteesta on riittävät asiakirjat määräaikaistarkastuksia ja painelaitte-kirjaa varten (ks. kohta 3.8).
2. Painelaitteen sijoitus on turvallinen ja säädösten edellyttäessä tarkastuslaitos tarkastaa sijoitus-suunnitelman.
3. Rekisteröitävälle painelaitteelle nimetään pätevä ja asiantunteva käytön valvoja.
4. Tarkastuslaitos tekee rekisteröitävälle painelaitteelle käyttöönoton yhteydessä ensimmäisen määräaikaistarkastuksen, jossa painelaitte rekisteröidään ja sen tiedot ilmoitetaan TUKESin ylläpitämään painelaiterekisteriin.
5. Tarkastuslaitos tekee rekisteröidylle painelaitteelle määräaikaistarkastukset säädetyin aikavälein.
6. Rekisteröidyn painelaitteen omistajaa, haltijaa, sijaintia ja käytön valvojaa koskevien tietojen muutoksista sekä painelaitteen käytöstä poistamisesta ilmoitetaan TUKESin painelaitte-rekisteriin.

#### *KUVIO 4. Painelaitteen omistajan/haltijan vastuut ja velvoitteet (14)*

Painelaitteisiin liittyviä lainsäädäntöjä, ohjeita ja oppaita löytyy TUKESin säädöstietopalvelusta. Seuraavana on lista painelaitteisiin liittyvistä olennaisimmista säädöksistä, sekä TUKESin ohjeista ja oppaista painelaitteista.

Painelaitteisiin asetettuja kansallisia säädöksiä ovat (16)

- painelaki, 869/1999
- asetus painelaitelaisissa tarkoitetuista tarkastuslaitoksista, 890/1999
- asetus kattilalaitosten käytön valvojien pätevyyskirjoista, 891/1999
- kauppa- ja teollisuusministeriön päätös yksinkertaisista painesäiliöistä, 917/1999
- kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista, 938/1999
- kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta, 953/1999
- kemikaalilakiasetus, 675/1993.

EU:n painelaitteita koskevat säädökset ovat (16)

- yksinkertaisten painesäiliöiden direktiivi, 87/404/ETY
- painelaittedirektiivi, 97/23/EY.

TUKESin laatimia ohjeita ja oppaita painelaitteita varten ovat (16;17;18)

- painelaiterekisteri, P1-2002
- painelaitteiden seuranta, P1-2000
- painelaitteiden kunnonvalvonta, P2-2000
- painelaitteet
- painelaitteiden kunnossapito
- painelaitteiden määräaikaistarkastukset
- painelaittedirektiivin soveltamisohjeet
- kemikaaliputkistot
- vaarallisten kemikaalien varastointi.



## 5 AINEENVAHVUUSMITTAUS RAAHEN TEHTAALLA

Tehtaan kunnonvalvontaorganisaatio vastaa aineenvahvuusmittauksista, kuitenkin hyödyntäen DEKRAn tai Inspectan palveluita tarpeen vaatiessa. Aineenvahvuusmittaustoiminta muodostuu eri osastoilla toimivista mittausryhmistä, jotka ovat kahden henkilön ryhmiä. Mittausryhmät suorittavat alueillaan mittauksia määräaikaaisesti ja kun tarvetta mittaukseen ilmenee. Lisäksi ryhmät tukevat ja auttavat toisiaan tarvittaessa. (1;19.)

### 5.1 Mittaustoiminta

NDT-menetelmänä ryhmät käyttävät lähinnä ultraäänipaksuusmittausta, jonka tukena hyödynnetään visuaalista tarkastusta. Ultraäänipaksuusmittauksessa ryhmien toimintatavat ovat samankaltaiset ja vuosia kertynyttä kokemusta mittauksista, mittauskohteista ja -laitteista siirretään hiljaista tietoa kokeneempien henkilöiden avulla. (1.)

Mittauskohteisiin on laadittu kuvat, joissa kohde on jaettu useampaan alueeseen eli segmenttiin, jotta mittaus voidaan tehdä järjestelmällisesti. Kohteiden segmenteistä taas löytyy kuvia, joissa on määritelty mittauspisteet. Mittauspisteiden määrittelyssä käytetään tarvittaessa Inspectan tai DEKRAn palveluita. (1;19.)

Ultraäänipaksuusmittarit kalibroidaan tietyn välein tehtaan laboratorion palveluiden avulla. Mittarin säätämiseen käytettävä ohjeistus on suomennettu ultraäänipaksuusmittarin mukana tulleesta ohjekirjasta. Mittarit säädetään mittauskohteen mukaan käyttämällä 5-portaista vertailukappaletta. (8;9;10;11;12.)

Mittauksen suorittaminen lähtee huomioimalla tarvittavat välineet ja laitteet mittauskohteessa sekä sen alueella, minkä jälkeen mittalaite säädetään kohteen mukaan. Mittauskohteessa ensin suoritetaan visuaalinen tarkastus, jossa nähdään, miten rakenne on käyttäytynyt käytössä. Seuraavaksi mitattavat kohdat puhdistetaan tarvittaessa, levitetään kytkentäainetta pinnalle ja suoritetaan ultraäänipaksuusmittaus. Mittaus tallentuu ultraäänipaksuusmittarin omaan muistiin, josta mittaustulokset siirretään GageView-ohjelmaan, josta tulokset käännetään Excel-ohjelmaan. Tulokset havainnollistetaan erilaisiksi kuvannoiksi Excel-ohjelmassa ja dokumentoidaan tietokoneelle. Tulokset esitetään mittauksen jälkeen kohteesta vastaavalle kunnossapidon

työnjohtajalle, joka tekee johtopäätökset mahdollisesti korjauksesta. Määräaikaistarkastuksista raportoidaan tarvittaessa Inspectalle tai DEKRAlle. (1;8;9;10;11;12;19.)

## 5.2 Kehityskohtia

Aineenvahvuusmittaustoiminnassa ilmenneitä kehityskohtia ovat dokumentointi, tietotaidon kartuttaminen ja sen jatkuvuus vähemmän kokeneelle henkilölle sekä toiminnan hallinnointi ja seuranta, johtuen Arttu-järjestelmän puutteellisesta hyödyntämisestä. Kehityskohtia varten tulee laatia kokonaissuunnitelman, jonka mukaan voidaan edetä järjestelmällisesti.

Jokaisen aineenvahvuusmittausryhmän vahvuus ja samalla myös heikkous vuosien saatossa kertynyt kokemus, koska nyt vähemmän kokenut työpari oppii pääsääntöisesti ns. ”hiljaisen tiedon” avulla, jolloin oppiminen on riippuvainen molempien henkilöiden luonteesta ja kyvyistä. Lisäksi pitkän kokemuksen kautta on syntynyt ajatus ”ennenkin on riittänyt” mittauksien suorittamisesta ja dokumentointitavoista. Näin ollen aineenvahvuusmittauksia tekevälle henkilöstölle tulisi saada koulutusta ultraäänestä ja ultraäänipaksuusmittauslaitteista ja myös tulisi olla suunnitelma henkilöpätevyyksistä, jotta henkilöiden riittävä tietotaito varmistettaisiin.

Koulutuksen avulla voidaan vahvistaa henkilöstön toiminta- ja suorituskkyä ja karsia mahdollisia epävarmuustekijöitä mittaustoiminnassa, varsinkin vähemmän kokeneiden työntekijöiden kohdalla. Aineenvahvuusmittaustoiminnan kehitys, kommunikaatio ja henkilöstön oma vaikutus mahdollisuus työhönsä paranee, kun henkilöstön käsitys ultraäänen ja -paksuusmittauksen käyttäytymisestä lisääntyy.

Aineenvahvuusmittaustoiminnassa on käytössä ultraäänipaksuusmittareista uusia ja vanhoja malleja, joiden yhteensopivuus Olympuksen GageView-ohjelman kanssa on välillä ongelmia tullut vastaan, varsinkin sitä mukaan kun ohjelmaan on tullut uusia päivityksiä. Lisäksi vanhimman käytössä olevan mittarin käyttöön joudutaan soveltamaan DOS-pohjaista ohjelmaa mittaustuloksien ulossaantiin, jonka rikkoutuessa ei samanlaista enää voi saada laitevalmistajalta. Ultraäänipaksuusmittarit tulisi olla mittausrhymillä ainakin samaa sukupolvea, jolloin mahdolliset yhteensopivuusongelmat GageView-ohjelman kanssa vähentyisivät, kaikki osaisivat käyttää samaa laitetta yhtä hyvin ja laitevalmistajan laitetuki olisi saatavissa.

Dokumentoinnissa on vasta hiljalleen siirrytty sähköiseen muotoon, minkä vuoksi on ongelmia tarkastuksien seurannassa, hallinnoimisessa ja varsinkin mittaustuloksien löytämisessä. Tarkastustöistä vain osasta löytyy merkintä Arttu-järjestelmästä ja ryhmät käyttävät töiden kirjaamiseen pääosin ns. "piikkitöitä". Kun käytetään piikkitöitä järjestelmään jää vain tieto, minä päivänä on tehty tarkastuksia, mutta ei tietoa, mikä tarkastus ja mihinkä kohteeseen. (1;8;9;10;11;12.)

Tarkastuksien seurantaan, hallinointiin ja suunnitteluun käytetään henkilöstön omaa tietoasemaa, yhteistä tietoasemaa, mittarin omaa muistia, sähköpostia ja Excel-taulukoita, joten tarkastuksien hallinnointi ja seuranta on hankalaa ja eritoten aikaa vievää. Sähköisen muodon dokumentointien sijainnit ja niiden tyylit vaihtelevat suuresti ryhmien välillä, koska raporttien osalta on päätösvalta jätetty lähes kokonaan ryhmille hoidettavaksi.

Yhtenäistä mallia tarvitaan tuloksien sähköiseen raportointiin, jotta niitä olisi selkeämpi käydä läpi ja laatia mahdollisesti nopeammin, kun olisi tiedossa mitä tietoja haluttaisiin raportissa olevan. Kunnossapidon aineenvahvuusmittaustoiminnan suurimmat haasteet ovat toimivan dokumentointitavan toteuttamisessa, mittausryhmien tietotaidon ylläpitämisessä ja raportointi menettelyn yhtenäistämässä. Vaikka ongelmia on toiminnassa, niin ne ovat kuitenkin selvitettävissä, sillä kokemusta ja tietoa aineenvahvuusmittauksista Ruukin henkilöstöltä löytyy paljon.

## 6 ULTRAÄÄNIPAKSUUSMITTAUS, UTM

Ultraäänipaksuusmittaus eli ultrasonic thickness measurement on luotettava, tarkka ja käyttäjäystävällinen, jota käytetään muun muassa laadun tarkkailussa, kriittisten osien tarkastamisessa ja putkistojen sekä säiliöiden kunnonvalvonnassa. Ultraäänipaksuusmittausta voidaan käyttää metalleihin, muoviin, komposiitteihin, lasikuituun, keraamiin ja lasiin. Materiaalin paksuuden mittaukseen menetelmä on muihin menetelmiin nähden yksinkertaisin, taloudellisin ja helppokäyttöisin. Ultraäänipaksuusmittauksen käytöstä esimerkkikuva on kuviossa 5. (20.)



*KUVIO 5. Ultraäänimittauksen suorittamisesta*

Ultraäänipaksuusmittaukseen liittyy seuraavia etuja (20):

- on luotettava
- on tarkka
- on nopea
- menetelmällä on laaja mittausala (0,08 mm – 635 mm)
- laitteistoa on helppo käyttää
- voidaan soveltaa monille materiaaleille.

Ultraäänipaksuusmittaukseen liittyy seuraavia haittoja (20):

- menetelmässä on käytettävä vertailukappaletta, jonka materiaali on vastattava mittavan kohteen materiaalia
- mittaaminen vaatii hyvän kosketuksen kohteeseen.

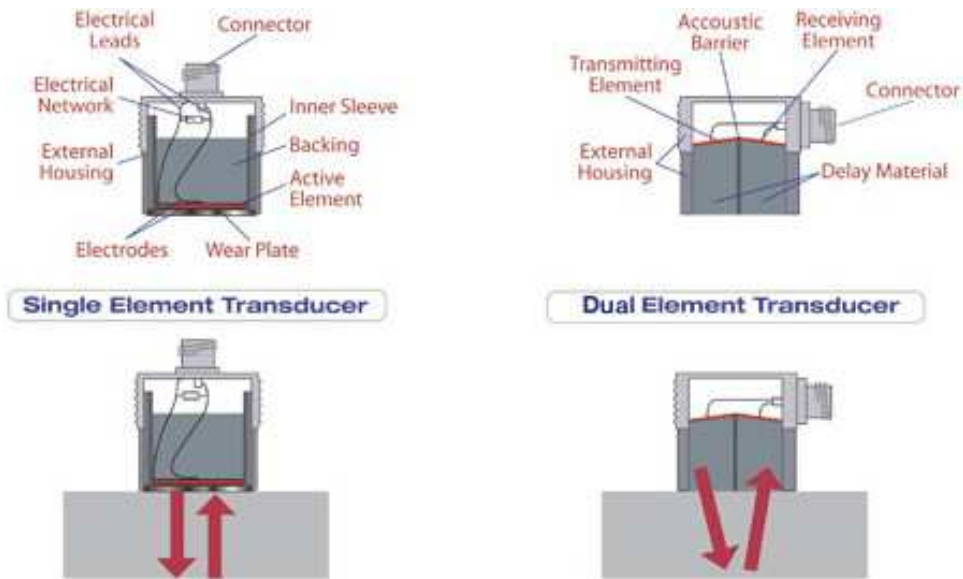
### **6.1 Ultraäänipaksuusmittari**

Ultraäänipaksuusmittarin luotain sisältää pietsosähkö elementin, joka on virittäytynyt lyhyellä sähköimpulssilla luodakseen ultraääniaaltoja. Ultraääniaallot kulkevat testattavan kohteen materiaalin läpi, kunnes ne kohtaavat takaseinän tai muun rajapinnan. Heijastukset palaavat takaisin luotaimen, joka muuntaa äänienergian takaisin sähköenergiaksi. Mittariin asetetun testattavan materiaalin äänenjohtavuuden ja kohteesta saatujen heijastuksien avulla mittari laskee materiaalin paksuuden. Eri materiaalit välittävät ääniaaltoja eri nopeuksissa, yleisesti nopeammin kovissa materiaaleissa ja hitaammin pehmeissä materiaaleissa. Myös lämpötila voi vaikuttaa huomattavasti nopeuteen. Materiaalit, jotka ei yleensä sovellu mitattavaksi tavallisilla ultraäänipaksuusmittareilla, ovat puu, betoni, paperi ja vaahtokappaleet. (20.)

Ultraäänipaksuusmittaukseen on olemassa tarkkuus- ja korroosiomittareita. Tarkkuusmittareita hyödynnetään tarkkojen mittojen saamiseen ja kaikkiin muihin mittauksiin paitsi korroosion tarkastamiseen. Tarkkuusmittarit käyttävät yksielementtiluotaimia. Korroosiomittareita sovelletaan korroosion tarkastamiseen. Korroosiomittarit käyttävät kaksoiselementtiluotaimia. (20.)

### **6.2 Ultraäänipaksuusluotain**

Ultraääniluotain muuttaa sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi, ultraääniaaltomuotoon. Paksuusmittaukseen luotaimia löytyy erikokoisia, muotoisia ja taajuuksisia, mutta lähes kaikissa rakenne on samankaltainen. Luotaimen pääkomponentit ovat aktiivielementti, materiaali ja suojaus. Yksi- ja kaksoiselementti luotaimien rakenteet on nähtävissä kuviossa 6. (21.)



KUVIO 6. Kuva luotainrakenteista, vas. yksielementti luotain ja oik. kaksoselementti luotain (21)

Ultraäänipaksuusmittaukseen soveltuvat ultraääniluotaimet voidaan jakaa seuraaviin neljään luokkaan (22):

- Kosketusluotain on mittauksessa suorassa kosketuksessa kohteeseen. Kosketusluotain on paksuusmittauksessa käytetyin luotaintyyppi
- Viiveluotain, jossa aktiivi elementin jälkeen on alue, joka aiheuttaa viiveen mittaukseen. Suurin hyöty viiveestä on ohuen materiaalin mittauksessa, missä on tärkeää erottaa oikea pulssi muista tausta heijastuksista. Viivealue toimii myös elementin suojana mitattaessa kuumia kohteita. Lisäksi viivealueen ansiosta luotain on muokattavissa sopivaksi erimuotoisiin kohteisiin
- Upotusluotain, joka upotetaan veteen, mikä toimii kytkentäaineena kohteen ja luotaimen välillä. Suurimmat edut muihin luotaintyypeihin ovat yhtenäisen kytkentäaineen ansiosta vähemmän herkkyys vaihteluita, nopea automaattinen kuvaus ja luotaimen mittauksen keskittäminen
- Kaksoselementti luotain, jota yleensä käytetään epätasaisten ja korrosoituneiden kohteiden mittaukseen. Luotaimessa on viivealue, lähetin ja vastaanotin elementit, jotka ovat pienessä kulmassa.

### 6.3 Luotaimen valinta

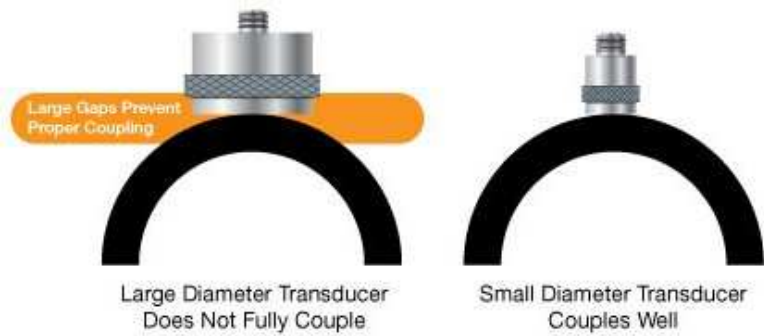
Paksuusmittauksissa on tärkeää valita kohteeseen soveltuva luotain. Luotaimen valinnassa huomioitavaa on tarkastus kohteen materiaali, pinnanmuoto, pinnan lämpötila ja tarvittava mittausalue. Matalataajuuksisia (2,25 MHz ja alle olevia) luotaimia käytetään kohteisiin, jotka ovat materiaaltaan tiheitä, ääniaaltoja vaimentavia tai materiaalin rakenteeltaan ääniaaltoja korkeasti heijastava. Korkeataajuuksisia (5 MHz ja yli olevia) soveltuu ohuille, hyvin johtaville tai vähän ääniaaltoja heijastaville materiaaleille. (23.)

Lähes kaikki metallit, keraamit ja lasi johtavat ultraääniaaltoja tehokkaasti ja ovat helposti mittavissa. Muoveihin voidaan rajallisesti tehdä ultraäänipaksuusmittauksia, koska niille on ominaista nopeasti absorboida ultraääniaaltoja. Kumi-, lasikuitu- ja komposiittimateriaaleilla on ominaista vaimentaa ultraääniaaltoja. Mittauksessa tarvitaan mittari, jossa on korkea läpäisykyky ja matalataajuuksinen pulssi/vastaanotin toiminto. (23.)

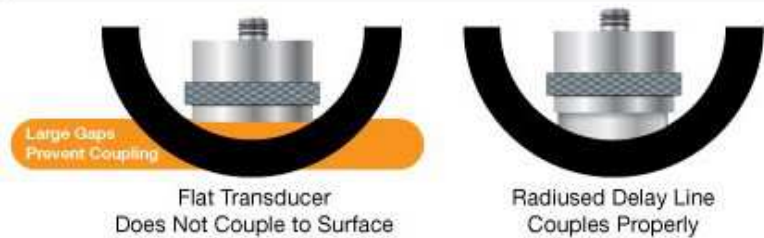
Ohuiden materiaalien paksuuden mittaamiseen käytetään korkeataajuuksista ja paksuihin tai heikosti ääniaaltoja johtaviin materiaaleihin sovelletaan matalataajuuksista luotainta. Hyvin ohuisiin kappaleisiin voidaan käyttää viive- ja upotusluotaimia. (23.)

Kohteen pinnan muodot vaikuttavat luotaimen ja kohteen kosketuksen laatuun, jolloin paremman kosketuksen saamiseksi on mahdollista käyttää vaikeisiin pintoihin upotus, viiveluotainta tai pienempää luotainta (kuvio 7). Kohteen pinnan lämpötila ei saa ylittää luotaimelle asetettua toimintalämpötilaa, muuten kuumuus voi aiheuttaa pysyvän vaurion luotaimen. Kuumia olosuhteita varten on olemassa kuumuuden kestäviä viive-, upotus- ja kaksoiselementti luotaimia. (23.)

## Convex Radius



## Concave Radius



KUVIO 7. Ylhäällä näkyy kosketus ero kuperalla pinnalla suuri luotain vs. pieni luotain, kun taas alhaalla kosketus ero koveralla pinnalla tasapäinen luotain vs. viiveluotain, joka pinnan muotoa varten suunniteltu (23)

### 6.4 Kytkeäaine

Ultraäänimittauksissa tulee käyttää luotaimen ja tarkastuskohteen välillä kytkeäainetta, jotta ultraääniaallot kulkeutuisivat paremmin luotaimesta kohteen materiaaliin. Kytkeäaineita ovat muun muassa glyseroli, geeli, vesi, tahna. (24.) Taulukkoon 1 on kerätty NDT-laittevalmistaja Olympuksen tarjoamat kytkeäaineet. (25.)

TAULUKKO 1. Olympuksen tarjoamat kytkeäaineet ja niiden käyttökohteet (25)

Kytkeäaine	Koko	Käyttökohteet
Glyseroli	0,06 l	Yleiskäyttöinen, suositellaan epätasaisiin pintoihin.
Geeli	0,35 l	Karkeisiin pintoihin, hitsien tarkastukseen, ylä- ja pystypintoihin.
Ultratherm	0,12 l	260 °C ja 504 °C välisiin lämpötiloihin sopivin.
Medium Temp	0,12 l	Lämpötilojen -12 °C ja +315 °C välille käytettävä
Shear Wave	0,12 l	Korkea viskositeettisyys, shear wave mittauksen yhteyteen tarkoitettu

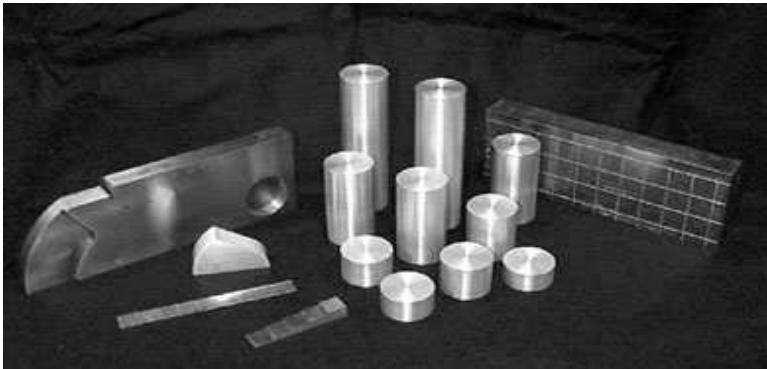


## 6.5 Ultraäänipaksuusmittarin kalibrointi ja säätö

Kalibrointi on erittäin tärkeä osa-alue ottaa huomioon ultraäänimittauksessa, sillä mittauksen tarkkuus ja luotettavuus on riippuvainen miten hyvin kalibrointi on tehty. Kalibrointi koostuu äänenjohtavuuden säätämisestä, nolla kalibroinnista ja kaksoiselementtiluotaimen käytössä myös luotaimen nolla kompensatiosta. (26, s. 60.)

### 6.5.1 Vertailupala

Äänenjohtavuuden säätämiseen ja nolla kalibrointiin käytetään vertailukappaletta, jonka koko, materiaali ja paksuus vaihtelevat mittauskohteen mukaan (kuvio 8). Vertailukappaleen ja tarkastettavan kohteen materiaalin vastatessa toisiaan saadaan mittaukseen asetettua oikea äänenjohtavuus. Lisäksi vertailukappaleesta mitattavien kohtien paksuusmitat on tunnettava, jotta voitaisiin asettaa niiden todelliset arvot mitattujen tuloksien tilalle. (27.)



KUVIO 8. Ultraäänipaksuusmittaukseen soveltuvia vertailupaloja (27)

### 6.5.2 Luotaimen nolla kompensatio

Luotaimen nolla kompensatio käytetään vain kaksoiselementtiluotaimien yhteydessä. Nolla kompensatio sallii mittarin tunnistaa luotaimella optimaaliset asetukset. Mittari mittaa signaalin kulkuajan luotaimessa ja kompensoi mahdolliset suuret lämpötilan muutokset ja luotaimen pinnan kulumisen. (26, s. 60.)

### **6.5.3 Äänenjohtavuuden säätäminen**

Äänenjohtavuus on ominaisuus, joka vaihtelee materiaalin mukaan (liite 1). Äänenjohtavuuden säätämiseen käytetään vertailupalaa, jonka eri paksuudet tunnetaan ja tarkastettavan kohteen arvioitua maksimi paksuusarvoa. Vertailupalasta mitataan paksuuskohta, joka vastaa tarkastettavan kohteen maksimi paksuusarvoa. Vertailupalan kohdasta mitattu tulos korjataan vastamaan kohdan jo tunnettuun paksuusarvoon. (26, s. 60.)

### **6.5.4 Nollakalibrointi**

Nollakalibroinnissa asetetaan paksuusmittaukseen tarvittava ala-raja. Kalibroinnissa vertailupalasta mitataan ohuinta kohtaa, joka vastaa tarkastuskohteen mahdollista minimi paksuusarvoa. (26, s. 60.)

## 7 KÄYTÖSSÄ OLEVAT TYÖKALUT

Aineenvahvuusmittaukseen on olemassa erilaisia tapoja niiden suorittamiseen, mutta paksuusmittauksiin Ruukin oma henkilöstä soveltaa vain ultraäänipaksuusmittausta, koska sen on menetelmänä helppo, yksinkertainen, nopea ja tarkka. Tässä osioissa käydään läpi aineenvahvuusmittaustoiminnan työkaluja ultraäänipaksuusmittaukseen. (1.)

### 7.1 Ultraäänipaksuusmittauslaitteet

Kunnossapidon aineenvahvuusmittauksen käytössä olevia ultraäänipaksuusmittareita ovat Olympus 38DL Plus, 37DL Plus ja 26DL Plus. Mittarit pyritään uusimaan 38DL Plus –malliin (kuvio 9), tai vähintään saamaan mittarit samaksi sukupolveksi keskenään, jotta mittaustoiminta tulisi yhtenäisemmäksi ja saataisiin pidettyä laitteiden ja ohjelmistojen päivitykset ja ylläpito kunnossa. (1.)

Olympus 38DL Plus-mittarilla voidaan käyttää yksi- tai kaksoiselementti luotaimia. Yksielementtiluotain soveltuu parhaiten ohuiden materiaalien tarkkaan mittaukseen ja kaksoiselementtiluotain soveltuu kohteisiin, joihin korroosio on vaikuttanut. Mittarista löytyy erikoisominaisuudet Echo-to-Echo, jonka avulla saadaan paksuusmittaus suoritettua ilman maalipinnan tai pinnoitteen häiriötä ja THRU-COAT, jolla voidaan mitata maalipinnan tai pinnoitteen paksuus. Seuraavaksi mittaussaitteen ominaisuuksia (29):

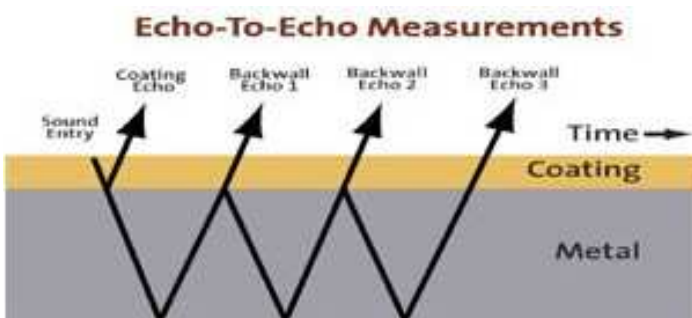
- mittauskyyky 0,08 mm – 635 mm riippuen luotaimesta, materiaalista, lämpötilasta, kohteen pinnasta ja mittarin asetuksista
- soveltuvuus yksi ja kaksoiselementti luotaimen käyttöön
- mittarilla on ominaisuus mitata myös maalipinnan tai pinnoitteen paksuus (Echo-to-Echo ja THRU-COAT)
- toimintakyky -10 °C ja + 50 °C lämpötiloissa
- soveltuu materiaaleihin, joiden äänen johtavuus on alueella 0.508 mm/μs to 13.998 mm/μs
- soveltuu luotain taajuuksiin 0,5 – 30 MHz.



KUVIO 9. Olympus 38DL Plus ultraäänipaksuusmittari (29)

### 7.1.1 Echo-to-Echo

Echo-to-Echo-ominaisuus hyödyntää kohteen pinnoitteen rajapinnasta ja takaseinämästä aiheutuvia kaiuja (kuvio 10). Mittari osaa jättää paksuuden mittauksessa pinnoitteesta aiheutuvan kaiun ja pystyy saamaan materiaalin paksuuden vähintään kahden takaseinämästä lähtevän kaiun avulla. Yleensä ominaisuuden hyödyntämiseen käytettävät ovat kaksoiselementtiluotaimia: D790, D791, D797 ja D798. (30.)



KUVIO 10. Echo-to-Echo periaatekuva (30)

Echo-to-Echolla on seuraavia etuja (30):

- ominaisuus toimii useilla tavallisilla luotaimilla
- signaali läpäisee karkeapintaisen pinnoitteen

- on toimintakykyinen kuumissa olosuhteissa, 500 °C.

Echo-to-Echolla on seuraavia haittoja (30):

- tarvitsee vähintään kaksi takaseinämästä tulevaa kaikua, joita ei välttämättä saada pahoin korroosioituneesta metallista
- paksuusmittauksen mitta-alue voi olla heikompi kuin THRU-COAT ominaisuuden paksuusmittaus.

### 7.1.2 THRU-COAT

THRU-COAT-ominaisuus pystyy tunnistamaan aikavälin, jonka signaali kulkee pinnoitteessa. Tunnistetun aikavälin ja pinnoitteen tiheyden avulla mittarin ohjelma saa laskettua pinnoitteen paksuuden. Ominaisuus voi todentaa myös metallin paksuuden. Tähän ominaisuuteen soveltuvat erikoiskaksoiselementti luotaimet D7906-SM ja D7908. (30.)

THRU-COAT-ominaisuuteen liittyviä etuja ovat seuraavia (30):

- voidaan myös mitata teräksen paksuuksista noin 1 mm yli 50 mm asti
- mittaukseen tarvitaan vain yksi kaiku takaseinämästä
- mahdollista mitata tavallista luotainta tarkemmin metallin minimi paksuus pistesyöpymästä.

THRU-COAT-ominaisuuteen liittyviä haittoja ovat seuraavia (30):

- pinnoite täytyy olla ei-metallinen ja paksuudeltaan vähintään 0,125 mm
- vaatii sileän pinnan pinnoitteelta
- pinnan lämpötila tulee olla maksimissaan noin 50 °C
- ominaisuutta voidaan soveltaa vain luotaimilla D7906-SM ja D7908.

### 7.2 Luotaimet

Paksuusmittauksessa käytössä olevat luotaimet ovat kaksoiselementtiluotaimia, Panametrics D790, 5MHz ja Panametrics D794, 5MHz. (8;9;10;11;12.) Luotain D790 soveltuu hyvin kohteen paksuusmittaukseen, johon korrosio on vaikuttanut. Luotaimen mittapään koko on 11 mm ja se kykenee mittaamaan teräksen paksuuksia 1,00 mm – 500 mm alueelta, toimintakyky -20 °C -

+500 °C lämpötiloissa. Luotaimen D794 mittapäänkoko on 7,2 mm ja pystyy mittaamaan teräksen paksuuksia 0,75 mm – 50 mm alueelta, toimintakyky 0 °C – 50 °C lämpötilassa. (31.)

### 7.3 Vertailupala

Mittarin säätöön käytetään erilaisia portaikko vertailukappaleita, jotka vastaavat mittauskohteiden materiaalia ja paksuuksia (kuvio 11). Vertailukappaleessa tärkeimmät asiat ovat materiaali vastaavuus tarkastuskohteeseen nähden ja että paksuusarvot tunnetaan. (8;9;10;11;12.)



KUVIO 11. 5-portainen vertailukappale

### 7.4 Dokumentointi

Aineenvahvuusmittaustoiminnassa on siirrytty mittaustuloksien raportoinnissa paperisesta sähköiseen muotoon. Sähköisessä raportoinnissa hyödynnetään ultraäänipaksuusmittarin omaa muistia ja ohjelmaa sekä yleiseen raportointiin käytetään Microsoft Office Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. (8;9;10;11;12.)

#### 7.4.1 Olympus GageView

Olympuksen oma mittaustuloksien hallinnointi ja raportointi ohjelma. Mittaustuloksia voidaan havainnoida, käsitellä monipuolisesti ja asettaa mm. värikoodeja eri tuloksille, jolloin voidaan nähdä paksuuksien vaihtelut nopeasti. Ohjelmalla voidaan myös määritellä mittauspisteitä sekä muodostaa niistä reittejä, jotka ovat ladattavissa mittariin. (32.)

#### **7.4.2 Microsoft Office Excel**

Ohjelmalla on mahdollista havainnoida mittaustuloksia monipuolisesti. Ohjelmaa käytetään mittaustulosten raportointiin, jotta olisi mahdollista käyttää tuloksien yhteydessä ohjelmaa, joka ei ole riippuvainen Olympuksesta. (1.)

#### **7.4.3 Arttu**

Arttu on tehtaalla 2009 vuonna käyttöön otettu kunnossapitojärjestelmä, jota käytetään työkaluna kunnossapitotöiden ja -huoltojen hallinnoimisessa, kunnossapidon varastotoiminnassa ja myös varaosien ja uusien tarvikkeiden ostossa. Aineenvahvuusmittaustoiminnassa käytetään Arttu-järjestelmää mittaustöiden kirjaamiseen ja seurantaan. (1.)

## 8 MITTAUSKOHTEET

Tehtaan kunnonvalvonnan aineenvahvuusmittaustoiminta koostuu eri osastoilla olevista aineenvahvuusmittausryhmistä (masuuni, koksaamo, voimalaitos, terässulatto ja valssaamo). Mittausryhmät suorittavat ultraäänipaksuusmittauksia pääosin putkistoista, mutta myös säiliöistä, kattiloista ja muista kulumisen alttiista osista. Mittauksia tehdään määräaikaisesti ja myös tarpeen mukaan, lisäksi DEKRA tai Inspecta tekee tehtaalla ainevahvuusmittauksia, kun kunnonvalvonnalla ei ole riittäviä resursseja tai tietotaitoa. (1;19.)

### 8.1 Mittauskohteiden kartoitus

Mittauskohteista laadittiin yleiskartoitus eri osastojen kohdalta, jonka avulla voi suoraan nähdä kokonaisuudessa kunnonvalvonnan aineenvahvuusmittauksen kohteet (taulukko 2). Kartoitusta voidaan myös hyödyntää aineenvahvuusmittaustoiminnan kehittämisessä ja työntekijän perehdyttämisessä. Kartoitukseen on hyödynnetty aineenvahvuusryhmien haastatteluita. (1;8;9;10;11;12;19.)

*TAULUKKO 2. Aineenvahvuusmittaustoiminnan kohteet eri osastoilla ja mitä niistä tarkastetaan omalla ja/tai ulkopuolisella henkilöstöllä*

	MASUUNI		VOIMALAITOS		KOKSAAMO		SULATTO		VALSSAAMO	
	Ulkopuolinen	Oma	Ulkopuolinen	Oma	Ulkopuolinen	Oma	Ulkopuolinen	Oma	Ulkopuolinen	Oma
Kaasusäiliöt	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Polttoainesäiliöt					x	x				
Kemikaalisäiliöt		x		x	x	x				
Höyrykattilat			x	x						
Kuumavesikattilat										
Lämmönvaihtimet	x	x	x	x				x		
* Muut	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Putkistot	Ulkopuolinen	Oma	Ulkopuolinen	Oma	Ulkopuolinen	Oma	Ulkopuolinen	Oma	Ulkopuolinen	Oma
Paineilmaputket		x		x				x		x
Pölykanavat		x						x		x
Kemikaaliputket	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kaasuputket		x		x		x		x		x
Liuosputket		x		x		x		x		x
Merivesiputket		x		x		x		x		x
Vesiputket		x		x		x		x		x

\* Varoventtiilit, paineenalaiset lisälaitteet ja painelaite kokonaisuudet



## 8.2 Mittauskohteiden kriittisyys arviointi

Kriittisyys arvioinnissa kriittisyydellä tarkoitetaan kohteeseen liittyvän riskin suuruutta eli vikaantumisen vaikutuksen ja todennäköisyyden tuloa. Kohde on kriittinen, jos siihen kohdistuva riski turvalliseen käyttöön, ympäristö vahinkoon, merkittäviin korjaus- tai seurauskustannuksiin ja tuotanto tappioihin ei ole hyväksyttävissä. Tunnettaessa painelaitteeseen kohdistuva riski voidaan harkita tarkastusvälin lyhentämistä tai pidentämistä ja tarkastuksentehokkuuden vähentämistä tai lisäämistä. (33, s. 2.)

Kriittisyyskartoituksen avulla pyritään tunnistamaan ja ennakoimaan kohteiden riskit. Kartoituksella havainnoidaan riskien kohteet, laadut ja niiden toteutumisen todennäköisyydet seurauksineen. Aineenvahvuusmittaustoiminnan kohteista tulisi laatia kriittisyys arviointi, jotta voitaisiin kohdistaa mittauksien tarve niiden kriittisyyden mukaan. Painelaitteiden kriittisyyksien arviointiin olisi hyvä tehdä kriittisyyskartoitus hyödyntäen jo olevia PSK 6800 ja/tai TUKESin RBMI-malleja. (33, s. 2)

### 8.2.1 PSK 6800 standardi

PSK 6800 standardin avulla saadaan kartoitus koneiden ja laitteiden kriittisyyksistä, mitä voidaan hyödyntää aineenvahvuusmittaustoiminnan hallinnoinnissa ja kehittämisessä. Menetelmää käytetään kunnossapitosuunnitelman lähtötiedon tuottamiseen. Standardissa PSK 6800 kriittisyyden arviointiin käytettäviä tekijöitä ovat turvallisuus- ja ympäristövaikutukset, tuotantovaikutukset, korjaus- ja seurauskustannukset. (33, s. 2 - 3.)

Menetelmässä kohteista laaditaan lista, jolle valitaan kertoimet käyttäen niistä kertynyttä kokemusta. Toimivien kertoimien saamiseksi olisi muodostettava työryhmä, jonka tehtävänä olisi määrittää kohteista kertyneen kokemuksen ja osaamisen avulla kertoimet, niin että ne vastaisivat todellisuutta. Valituista kertoimien ja parametrien avulla suoritetaan taulukkolaskenta, joka antaa kohteelle kriittisyysarvon. Kohteiden kriittisyysarvoja vertailemalla toisiinsa nähdään niiden tärkeysjärjestys. Standardissa annetut painoarvot ovat ohjeellisia. Ensimmäinen kriittisyyskartoituksen tehtävä on arvioida, soveltuvatko painoarvot sellaisinaan mittauskohteisiin vai onko niitä muutettava (taulukko 3). (33, s. 3.)

TAULUKKO 3. Kriittisyyskartoituksen parametreista ja kertoimista (33, s. 7)

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetyt $W_p = 0 \dots 100$	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	
		$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi $\leq 3$ h)	
		$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi $\leq 10$ h)	
		$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)	
		$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi $> 24$ h)	
	Laatukustannus $W_q = 30$	$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.	
		$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 1$ h)	
		$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 3$ h)	
		$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)	
		$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $> 8$ h)	
Korjaus- tai seurauskustannukset	Korjaus- tai seurauskustannus $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.	
		$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 2$ h)	
		$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 10$ h)	
		$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)	
		$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $> 24$ h)	

Laitteen kriittisyysindeksin K laskenta:

$$K = p \times (W_s \times M_s + W_e \times M_e + W_p \times M_p + W_q \times M_q + W_r \times M_r)$$

## 8.2.2 Painelaitteiden riskiperusteinen kunnossapito ja tarkastus menettely, RMBI

Risk Based Maintenance and Inspection eli painelaitteiden riskiperusteinen kunnossapito ja tarkastus menettelyllä pyritään kehittämään painelaitteiden kunnossapitoa riskiperusteiseen tarkastukseen. RMBI-menettelyn tavoitteena on painottaa kunnossapidon- ja tarkastustoimenpiteitä suuren riskin laitteisiin. RMBI-menettelyssä laaditaan analyysit yksiköistä ja painelaitteista. Analyysien kautta saatujen riskimatriisien avulla tehdään kunnossapito- ja tarkastusohjelma (kuviot 12). Kunnossapitotoimenpiteiden ja tarkastusten tavoitteena on

pienentää vaurioiden todennäköisyyttä. Riskiperusteisen kunnossapito- ja tarkastusmenettelyn tehokkuuden arviointi edellyttää, että laitos on asettanut RMBI-menettelyn tuloksille tavoitteet. Tuloksia verrataan asetettuihin tavoitteisiin. (35, s. 9.)

### Vaurion todennäköisyys

Hyvin todennäköinen 5					<b>Suuri riski</b>
Todennäköinen 4					
Mahdollinen 3					
Epätodennäköinen 2					
Erittäin epätodennäköinen 1	<b>Pieni riski</b>				
	Erittäin pieni A	Pieni B	Keskinkertainen C	Suuri D	Hyvin suuri E

**Vaurion vaikutus**

KUVIO 12. Riskimatriisi, jota käytetään yksiköiden ja painelaitteiden analyysissä (35, s.13)

### 8.2.3 Käytössä oleva kriittisyyskartoitus

Tehtaalla käytössä olevan kriittisyyskartoituksen pohjana käytetään PSK 6800 standardia, jota on kehitetty käytäntöön sopivaksi. Jalostettua kriittisyyskartoitusta ei kuitenkaan ole toistaiseksi otettu laajaan käyttöön. Käytössä olevasta kriittisyyskartoituksesta on esimerkkinä liite 2. (1.)

## 9 MITTAAJIEN PÄTEVYYS

NDT-tarkastajan on tunnettava tarkastuskohteeseen sovellettava NDT-menetelmä. Työnantajan/laitetarkastajan tulee varmistaa, että NDT-tarkastajalla on riittävä pätevyys ja tietotaito NDT-tarkastuksen asianmukaiseen suorittamiseen. (36, s. 24.)

Kunnonvalvonnan aineenvahvuusmittauksia suorittavat mittaajat ovat koulutukseltaan mekaanikkoja, joilla on käytyä ammattiopiston toisen asteen tutkinto ja tehtaan teollisuusoppilaitoksella suoritettu koulutus. Nykyisin olevilla mittaajilla ei ole käytyä ultraäänimittaukseen tai -paksuusmittauslaitteisiin liittyviä koulutuksia. Kunnossapidon aineenvahvuusmittaustoiminnassa mittaukseen ja laitteisiin on perehdytty itsenäisesti ja myös hyödynnetty vuosien saatossa niin sanottua hiljaista tietoa kokeneemmalta asentajalta. (1;19.)

Mittaustehtävien suorittaminen, arviointi ja valvonta vaativat henkilöltä asianmukaista teoreettista ja käytännön tietoa rikkomattomasta aineenkoetuksesta. NDT-tarkastusta varten on kehitetty menetelmä huolehtimaan henkilöstön pätevyyden arvioinnista ja ylläpitämisestä, koska mittauksien luotettavuus ja tehokkuus riippuu niiden suorittavasta tai vastaavasta henkilön kyvyistä. Painelaitteiden lainsäädöksen vaatiessa henkilöltä pätevyyden mittaamiseen on henkilöllä oltava riittävä voimassa oleva sertifikaatti. Varmistukseksi henkilön pätevyydestä työtehtäväänsä työntuoja voi halutessaan vaatia henkilösertifikaatin, vaikka säädökset eivät sitä vaatisi. (37, s. 12.)

Inspecta tarjoaa NDT-tarkastaja pätevyys henkilösertifikaatin EN ISO 9712/NORDTEST, joka pohjautuu SFS-EN ISO 9712 standardiin. Kansainvälinen standardi SFS-EN ISO 9712 määrittää periaatteet henkilöstön päteväntä ja sertifiointiin, jotka suorittavat teollisuudessa NDT-mittauksia. Standardi sisältää kolme pätevyystasoa, joilla osoitetaan henkilön tietty soveltuvuus NDT-mittauksiin. (38, s. 3, 5.)

### 9.1 Pätevyystasot

Tason 1 henkilö osaa tehdä NDT-tarkastuksia kirjallisten ohjeiden mukaan, joko tason 2 tai 3 henkilön valvonnassa. Henkilö ei vastaa käytettävän testausmenetelmän tai -tekniikan valinnasta

eikä tarkastustulosten arvioinnista. Tason 1 henkilö voi suorittaa seuraavat ohjeiden mukaisesti (37, s. 26, 28):

- asettaa NDT-laitteisto toimintakuntoon
- suorittaa tarkastuksia
- kirjata ja luokitella tulokset annettujen kirjallisten vaatimusten mukaan
- raportoida tuloksista.

Tason 2 henkilö on pätevä tekemään NDT-mittauksia ohjeiden mukaan. Tason 2 pätevyys mukaan voidaan työnantajan toimesta valtuuttaa (37, s. 28):

- valitsemaan sovellettavan NDT-tekniikan kyseiselle NDT-menetelmälle
- määrittämään kyseisen NDT-menetelmän sovellutuksen rajoitukset
- muuttamaan NDT-standardeja, -säännöstyä, -spesifikaatioita ja -menettelyjä käytännön NDT-työohjeiksi todellisiin työolosuhteisiin
- asettamaan ja tarkistamaan laitteiston toimintakunto
- suorittamaan ja valvomaan tarkastuksia
- tulkitsemaan ja arvioimaan tarkastustuloksia sovellettavan standardien, säännöstyjen, spesifikaatioiden tai menettelyjen mukaan
- toteuttamaan ja valvomaan kaikkia tason 2 ja sen alapuolella olevia tehtäviä
- opastamaan tason 2 tai sen alapuolella olevia henkilöitä
- raportoimaan rikkomattoman aineenkoetoksen tuloksia.

Tason 3 henkilö on soveltuva tekemään ja johtamaan hänen sertifiointialueensa piiriin kuuluvaa NDT-toimintaa. Henkilö voidaan valtuuttaa (37, s. 28):

- ottamaan täysi vastuu tarkastuslaitteista ja tarkastushenkilöistä tai tutkintokeskuksesta
- laatimaan, tarkistamaan toimituksellista ja teknistä oikeellisuutta ja vahvistamaan noudatettaviksi NDT-työohjeita ja -ohjeita
- tulkitsemaan standardeja, säännöstyä, spesifikaatioita ja ohjeita
- valitsemaan käytettävät NDT-menetelmät, -ohjeet, -työohjeet
- toteuttamaan ja valvomaan kaikkien tasojen tehtäviä
- tarjoamaan opastusta NDT-henkilöille kaikilla tasoilla.

## 9.2 Voimassaolo

Henkilösertifikaatin voimassaoloaika on viisi vuotta, joka alkaa sen myöntämispäivästä. Sertifikaatin kelvollisuuden voi menettää mm. liian pitkällisen tauon takia, epäeettisestä toiminnasta tai henkilön siirtyessä teollisuusosalalle, jota sertifikaatti ei kata. Lisäksi sertifikaatti on voimassa vain siinä ilmoitetun työnantajan palveluksessa. (38, s. 8 - 9.)

## 10 MITTAUKSEN OHJEISTUS

### 10.1 Kalibrointi

Kalibrointi on tärkeä osa-alue mittauksien suorittamisessa, jonka avulla varmistetaan mittalaitteiden luotettavuus. Kalibroinnin suorittamiseksi on tunnettava tarkastuskohde ja sen materiaali, jotta voitaisiin valita oikea vertailupala. Käytettäessä kaksoiselementtiluotainta kalibrointi sisältää kolme toimintoa, jotka ovat luotaimen nolla kompensatio, äänenjohtavuuden säätö ja nollakalibrointi. (26, s. 60, 67.)

Äänenjohtavuuden säätöön käytetään vertailupalaa, jonka eri paksuudet tunnetaan ja tarkastettavan kohteen arvioitua maksimi paksuusarvo. Äänenjohtavuuden säätämiseksi vertailukappaleen ja tarkastettavan kohteen materiaalien on vastattava toisiaan. Vertailupalasta mitataan paksuuskohta, joka vastaa tarkastettavan kohteen maksimi paksuusarvoa. Mitattu tulos korjataan vastamaan kohdan jo tunnettuun paksuusarvoon. (26, s. 60 - 61.)

Nollakalibroinnissa asetetaan paksuusmittauksen ala-rajaa. Kalibroinnissa vertailupalasta mitataan ohuinta kohtaa, joka vastaa tarkastuskohteen mahdollista min. paksuusarvoa. (26, s. 60, 62 - 63.)

Luotaimen nolla kompensatio käytetään vain kaksoiselementtiluotaimien yhteydessä. Nolla kompensatio sallii mittarin tunnistaa luotaimella optimaaliset asetukset. Mittari mittaa signaalin kulkuajan luotaimessa ja kompensoi mahdolliset suuret lämpötilan muutokset ja luotaimen pinnan kulumisen. (26, s. 57 – 60.)

### 10.2 Tarkastus

Painelaitteiden mittauspisteiden valintaan tulee hyödyntää kunnossapidon ja aineenvahvuusmittaustoiminnan kokemusta ja tietotaitoa, jotta ne kuvaisivat mittaushetken heikoimman alueen kuntoa. Yleisiä tarkastuspisteitä ovat seuraavat (18, s. 32):

- putkikäyrien alueet
- muodonmuutosalueet (kartiot ja supistukset)
- varusteiden (venttiilien ja pumput) ympäristöt
- kannakoiden alueet

- ulkopuolisen korroosion alueet
- alueet joissa aineet sekoittuvat, lämpötilat muuttuvat tai sisällössä voi olla kiinteitä ainesosia.

Tarkastuksien raportointiin tarvitaan yhtenäistä mallia, jotta ne olisivat käytännöllisempiä käyttää, nopeampia laatia ja oikein kohdennettuja. Raportissa tulisi olla osiot tarkastukseen liittyville tiedoille, tarkastajan kommenteille ja tuloksille. Tarkastuksessa tulisi olla tietoja tarkastuksesta, ajoituksesta, tarkastuksen tyypistä, tarkastajasta, menettelystä, mittauksesta, mitattavasta kohteesta, mittauslaitteista ja kalibroinnista. Kommentointi kohtaan tarkastaja kirjaisi ohjeistuksen mahdollisesti tarvittavista toimenpiteistä. Tuloksia tulisi esittää tavalla, jolla voidaan osoittaa saatu mittatulos sen mittapisteeseen. Tuloksien yhteyteen olisi hyvä olla liitettynä piirustus tarkastusalueista ja sen mittapistestä. Lopuksi esitettyjen tuloksien jälkeen voitaisiin havainnoida kuvien tai diagrammien avulla kohteesta saatuja paksuusmittoja. Työssä laadittu tarkastuspöytäkirja malli on nähtävissä liitteessä 5. (19;40, s. 22;39.)

Vaativimpien painelaitteiden tarkastusohjeissa ja raportoinnissa tulee käyttää asiantuntijan apua, jotta varmistetaan niissä olevan tiedon riittävyys ja kelpoisuus. Ultraäänipaksuusmittaukseen voidaan soveltaa jo olemassa olevaa Ruukin laboratorion laatimaa tarkastusohjetta LAB 507 (liite 4).

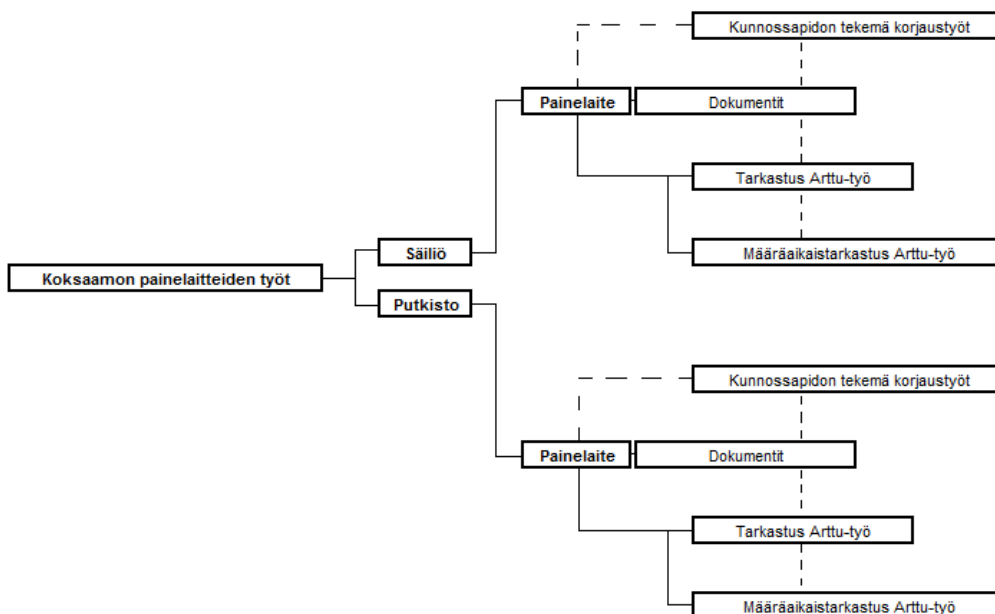
Tarkastuksien raporttien laadinnan lisäksi tulee muistaa tarkastuksen jälkeen ilmoittaa tarkastuskohteesta vastaavan kunnossapidon työnjohtajalle mittaustuloksista ja mahdollisesti tarvittavista toimenpiteistä. Kommunikaation avulla tieto mittaustulosten kunnosta välittyy nopeasti kunnossapidolle, jolloin voidaan suorittaa mahdollisesti tarvittavat toimenpiteet.



# 11 DOKUMENTOINNIN KEHITTÄMINEN

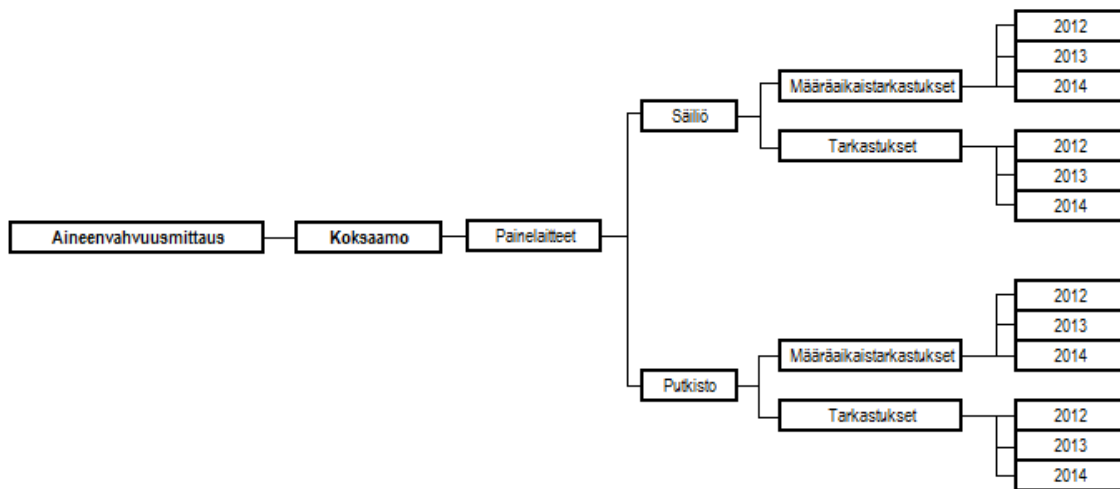
Mittaustuloksien dokumentointi on tärkeä osa-alue kunnonvalvonnassa, koska sen avulla saadaan vanhat että uudet toimintatavat ja menettelyt koottua, jolloin ne ovat myöhemminkin hyödynnettävissä. Lisäksi dokumentointia voidaan käyttää työkaluna kehityksessä, töiden hallinnoinnissa ja sillä todistetaan määräaikaistarkastusten seuranta hyväksynnästä päättävälle tarkastuslaitokselle. Toimiva dokumentointi parantaa työskentelyä, säästää aikaa ja myös auttaa uuden henkilön perehdyttämisessä. Dokumenttien tulee olla sellaisia, että niihin voidaan tarvittaessa palata ja ne on mahdollista kohdistaa tarkastettuun kohteeseen. (40, s. 22.)

Aineenvahvuusmittausryhmät käyttävät oman osaston mittaustarkastuksiin ns. ”piikkitöitä”, minkä vuoksi Arttu-kunnossapitojärjestelmän avulla ei tällä hetkellä voi seurata mittaustarkastuksien suorituksia. (1;19.) Osastojen ”piikkityöt” on muutettava päätöiksi, jonka alla olisi jokaisesta painelaitteen tarkastuksesta oma Arttu-työ. Arttu-töiden laadinta vaatii myös painelaitteiden tietojen asettamisen Arttu-järjestelmään. Kun painelaitteet saadaan laadittua kunnossapitojärjestelmään, niin voidaan kohdentaa painelaitteisiin tehtävät korjaus- ja tarkastustyöt, jolloin järjestelmään jäisi automaattisesti historiatieto tehdyistä töistä ja mittauskohteiden tarkastusväli olisi helposti nähtävissä. Lisäksi dokumenttien soveltaminen painelaitteeseen parantuisi, koska silloin ne olisivat suoraan liitettävissä painelaitteen tietoihin ja sen Arttu-työhön.



KUVIO 13. Esimerkki miten voitaisiin painelaitteelle kohdistuvat työt jaotella Arttu-kunnossapitojärjestelmään

Sähköisen muodon dokumentoinnissa tarkastuksien tiedot eivät ole tällä hetkellä ole helposti löydettävissä, eikä tarkastuksien raportointiin ole yhtenäistä mallia. (1;19.) Dokumenttien löydettävyyden parantamiseksi ne tulisi saada tallennettua johonkin mihin kaikilla asianosaisilla olisi mahdollista päästä. Yksi ratkaisu olisi käyttää dokumentointi sijaintina yhteistä tiedostoasemaa, joka on jo olemassa. Tiedostoasemaan dokumenttien tallennus tulisi jaotella esim. osastojen, vuoden ja kohdetyypin mukaan, jolloin nähtäisiin mitä tarkastuksia on osastolla tehty minäkin vuonna.



KUVIO 14. Esimerkki yhteisen tietoaaseman tallennuspolusta, joka tulisi tehdä jokaiselle osastolle

## 12 RIKKOMATON AINEENKOETUS (NDT)

Rikkomaton aineenkoetus eli non-destructive testing menetelmiä hyödyntäessä tarkastuskohteen materiaalia ei rikota. Niitä voidaan soveltaa muun muassa materiaalien kunnan määrittelyssä, tuotekehityksessä, valmistuksen seurannassa, kehittämisessä, valvonnassa sekä valmistuksen ja asennuksen laadunvalmistuksessa. (42.)

NDT-menetelmillä pyritään havaitsemaan ja kuvaamaan olemassa olevia vikoja, ennakoimaan niiden syntymistä ja myös tunnistamaan rakenteessa olevia kriittisiä kohtia. Niiden avulla voidaan parantaa kunnossapidon toimintaa ja sekä ehkäistä mahdollisia ympäristöön ja henkilöihin ja tuotantoon kohdistuvia vaaroja. Lisäksi NDT-tekniikoiden saadun informaation avulla voidaan kehittää kunnossapidon ja kunnanvalvonnan suunnitelmallisuutta ja myös fokusoida paremmin käytettävissä olevat resurssit. Tässä osiossa käydään läpi erilaisia NDT-tapoja, joita on olemassa muun muassa kunnanvalvonnan aineenvahvuusmittauksia varten. (43.)

### 12.1 Yleisimpiä menetelmiä

Nykyään on käytössä useita erilaisia NDT -menetelmiä materiaalien, osien ja hitsien arviointiin ja tässä osiossa käydään läpi yleisimmät menetelmät. Tavallisimmat menetelmät ovat seuraavia (44, s. 10):

- visuaalinen tarkastus, VT
- tunkeumanestetarkastus, PT
- magneettijauhetarkastus, MT
- radiografinen tarkastus, RT
- ultraäänitarkastus, UT
- pyörrevirtatarkastus, ET.

#### 12.1.1 Visuaalinen tarkastus, VT

Visuaalinen tarkastus tukeutuu pintavirheiden havaitsemiseen silmämääräisesti. Normaalisti ei käytetä apuvälineitä, mutta tarvittaessa voidaan käyttää suurennuslaseja ja mikroskooppeja. (44, s. 10.)

Visuaalisella tarkastuksella on seuraavia etuja (44, s. 10 – 11):

- on ainoa vaihe tarkastuksessa
- tarkastus on jatkuva
- on kaikista menetelmistä taloudellisin
- voidaan soveltaa missä vaiheessa halutaan.

Visuaalisella tarkastuksella on seuraavia haittoja (44, s. 10 – 11):

- tarkastajalla on oltava hyvä näkökyky
- valaistus on oltava hyvä
- tarkastus rajoittuu kohteen pintaan
- tarkastaminen vaatii tarkastajalta kokemusta ja tietoa virheiden havaitsemiseksi.

### **12.1.2 Tunkeumanestetarkastus, PT**

Tunkeumanestettä levitetään kohteen puhdistetulle tarkastuskohdalle ja annetaan imeytyä riittävän kauan, minkä jälkeen mahdollisten pintavirheiden kohdat ovat nähtävissä. Sitä käytetään materiaalin tai hitsien pinnan tarkastukseen, varsinkin kohteisiin, joihin ei voida soveltaa magneettijauhetarkastusta. (44, s. 11 – 12.)

Tunkeumanestetarkastuksella on seuraavia etuja (44, s. 13):

- tarkastaminen taloudellista
- voidaan soveltaa laaja eri materiaalien ja komponenttien tarkastamiseen.

Tunkeumanestetarkastuksella on seuraavia haittoja (44, s. 12):

- tarkistettavan kohteen pinta on esikäsiteltävä ja puhdistettava
- voidaan havaita vain materiaalin pinnalla olevia virheitä
- tarkastus on epäkäytännöllinen huokoisilla pinnoilla.

### **12.1.3 Magneettijauhetarkastus, MT**

Menetelmää käytetään pinnan virheiden havaitsemiseen, myös materiaalin pinnan läheisyydessä sijaitsevia virheitä on mahdollista havaita. Tarkastettava kohde magnetisoidaan, jonka jälkeen levitetään magneettijauhe alueelle. Magneettijauhe tuo esiin kohteessa olevan magneettivuon kulun, missä taas jauhe kasaantuu mahdollisten virheiden kohdalla. (44, s. 13 – 14.)

Magneettijauhetarkastukseen liittyy seuraavia etuja (44, s. 14):

- tarkastusmuotona on taloudellinen
- tarkastus voidaan heti toistaa
- menetelmä on tehokas
- tarkastusta voidaan parantaa fluorisoivan aineen ja ultraviolettilon avulla.

Magneettijauhetarkastukseen liittyy seuraavia haittoja (44, s. 14):

- menetelmä soveltuu vain ferromagneettisille materiaaleille
- havaitsee ainoastaan pintavirheitä ja mahdollisesti pinnan läheisyydessä olevia virheitä
- maali tai jonkin muu ei-magneettinen pintakerros voi vaikuttaa tulokseen.

#### **12.1.4 Radiografinen tarkastus, RT**

Radiografinen tarkastus perustuu lyhyen aaltopituuden sähkömagneettisen säteilyn kulkuun materiaalin lävitse, jonka jälkeen se kohtaa säteilyherkän filmin. Tarkastettavan kohteen filmissä näkyvissä olevat tummat alueet kertovat säteilyn on matalasta imeytyvyydestä eli virheistä. Vaaleissa alueissa taas imeytyvyys ollut korkea, joka kertoo aineentiheyden laadusta. (44, s. 14 – 15.)

Radiografiseen tarkastukseen kuuluu seuraavia etuja (44, s. 16):

- Radiografisella tarkastuksella havaitaan materiaalissa olevat virheet pinnalta ja sisältä
- tarkastustulokset ovat hyvin dokumentoitavissa
- tarkastuksen laatu on hyvin kontrolloitavissa.

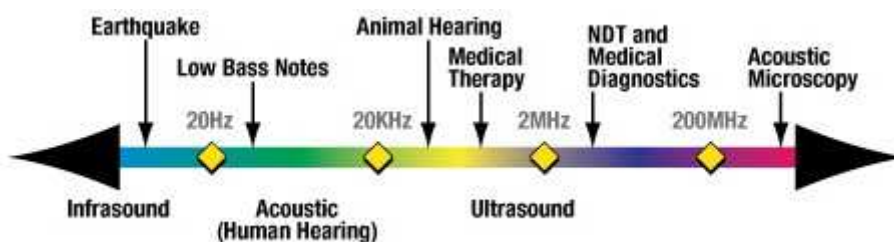
Radiografiseen tarkastukseen liittyy seuraavia haittoja (44, s. 15):

- tarkastuksesta aiheutuva säteilyvaara
- tarkastusvälineet isoja ja raskaita
- testausalue tulee olla kontrolloitu
- tarkastettavan kohteen molemmille puolille tulee olla pääsy
- tarkastusmuotona on kallis ja aikaa vievä
- tuloksien tulkinta vaatii kokeneen henkilön
- tarkastus vaatii pimeän tilan.

### 12.1.5 Ultraäänitarkastus, UT

Ääniaalto on väliaineessa kulkeutuvaa mekaanista aaltoliikettä, joka voi olla kiinteää, nestettä tai kaasua. Tämä pätee jokapäiväisiin ääniin joita kuulemme, sekä ultraääneen jota käytämme vian etsinnässä. Ääniaalto kulkee väliaineessa tietyllä nopeudella tietyssä suunnassa, joka heijastuu kohdatessaan eri väliaineen rajan. Testikohteessa ultraääniaallot heijastuvat halkeamista tai muista epäjatkuvuuksista, jolloin seuraamalla heijastuksien liikettä voidaan havaita ja paikallistaa piilossa olevia sisäisiä vikoja. Tärkeimmät käyttökohteet ovat hitsien tarkastus ja säröjen havaitseminen. (45.)

Kaikki ääniaallot värähtelevät tietyllä taajuudella tai kierroksella per sekunti, joita me äänissä kuulemme äänenkorkeuksina. Ihminen kykenee kuulemaan maksimiltaan n. 20 000 kierrosta per sekunti eli 20 KHz, kun taas suurin osa ultraääni vianetsintä laitteista käyttää taajuuksia 500 000 - 10 000 000 välillä kierrosta sekunnissa eli 500 KHz – 10 MHz. Taajuuksien ollessa megahertsin luokkaa äänienergia ei liiku tehokkaasti ilmassa tai kaasussa, mutta se kulkee vapaasti useimpien nesteiden ja yleisien rakenne materiaalien kuten metallien, muovien, keraamien ja komposiittien läpi. Ultraäänialueella ääniaallot ovat paljon tarkemmin suunnattavissa kuin ihmisen kuuloalueella olevat ääniaallot, ja niiden lyhyet aallonpituuksien ansiosta ne ovat huomattavasti herkempiä pienille heijastuksille joita tulee vastaan. Väliaine vaikuttaa tiheyden ja elastisen ominaisuutensa avulla sen kautta kulkevan ääniaallon nopeuteen. Ääniaaltojen taajuusalueet ovat esillä kuviossa 15 ja liitteessä 1 on nähtävissä materiaalien äänenjohtavuudet. (45;46.)



KUVIO 15. Ääniaaltojen taajuusalueet (46)

Ultraäänitarkastuksen seuraavia etuja ovat (45):

- tarkastamiseen riittää pääsy kohteeseen yhdeltä puolelta
- tarkastusmuoto ei ole vaarallinen käyttäjälle

- tarkastusmenetelmä on mahdollista automatisoida
- on helposti toistettavissa
- voidaan soveltaa laajasti eri materiaaleihin
- voidaan havaita virheet kohteen pinnalta ja sisältä.

Ultraäänitarkastuksen seuraavia haittoja ovat (45):

- tarkastuspisteen pinta tulee olla sileä
- tarkastajan on tunnettava hyvin menetelmä tarkastuksien suorittamiseksi ja tuloksien tulkitsemiseksi.

### **12.1.6 Pyörrevirtatarkastus, ET**

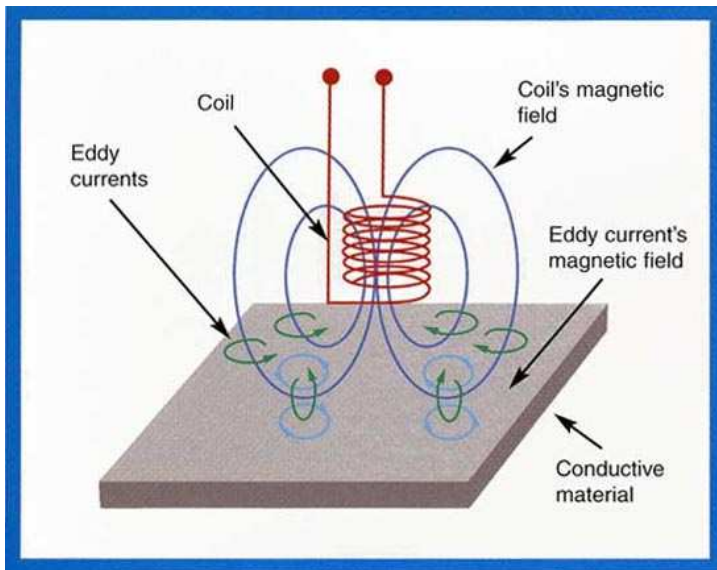
Pyörrevirtatarkastuksella voidaan havaita pinnalta ja sen läheisyydessä olevia virheitä. Tekniikassa sähkövirtaa syötetään kelaan, joka asetetaan tarkastettavan kohteen lähelle tai ympärille. Sähkövirta kelassa luo pyörrevirtoja tarkastettavan kohteen pinnan lähellä, jotka vuorostaan muodostavat sähkömagneettisen kentän kelan ja tarkastettavan kohteen välille (kuvio 16). Virheet ja epäjohtavuudet materiaalissa vaikuttavat pyörrevirtojen voimakkuuksiin. Näin ollen sähkövirran vaihteluista vikojen ja epäjohtavuuksien kohdalla voidaan mitata. (47.)

Pyörrevirtatarkastuksen etuja ovat (47):

- voidaan automatisoida
- on monipuolinen
- luotaimen ja testattavan kohteen välillä ei tarvita kontaktia.

Pyörrevirtatarkastuksen haittoja ovat (47):

- soveltuu vain sähköä johtaville materiaaleille
- tarkastus vaatii erittäin kokeneen käyttäjän.



KUVIO 16. Pyörrevirtatarkastus periaatekuva (47)

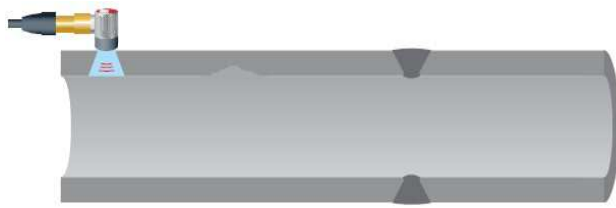
## 12.2 Muita menetelmiä

Jotta voitaisiin ymmärtää ja tutkia rakenteita sekä materiaalien käyttäytymistä eri olosuhteissa niin tarvitaan yleisten NDT-tekniikoiden lisäksi tarkempia ja tehokkaampia ratkaisuja. Seuraavaksi muita ndt-menetelmiä, joita muun muassa on olemassa aineenvahvuusmittaukseen ja muihin kunnossapidon mittauksiin.

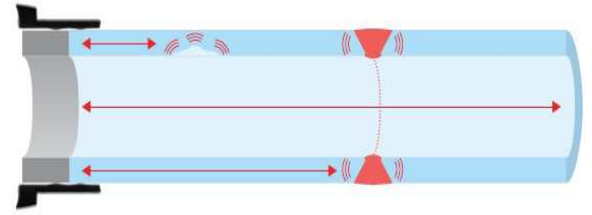
### 12.2.1 Pitkän kantaman ultraäänimittaus, LRUT

Pitkän kantaman ultraäänimittausta käytetään havainnoimaan ja analysoimaan metallin syöpymiä, kuten korroosiota ja eroosiota putkissa. LRUT avulla voidaan mitata putkea huomattavan pitkältä alueelta (tavallisesti 60 m, mutta jopa 350 m) yhdestä mittauspisteestä, havaita ja paikallistaa korroosion alueita nopeasti. Tekniikka kykenee havaitsemaan 9 % metallin syöpymä virheet. Muita tarkastusmenetelmiä on käytettävä itse virheiden arvioinnissa. (48, s. 1.) Kuviossa 17 on nähtävissä tavallisen ja pitkän kantaman ultraäänimittauksen eroavaisuus. (49, s. 2.)





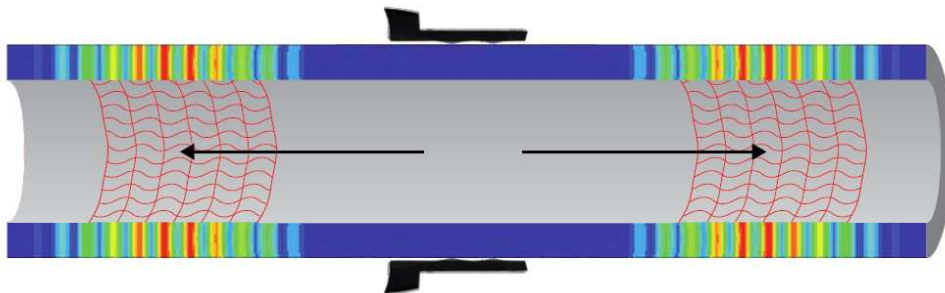
Conventional UT provides localized inspection, underneath or in the vicinity of the probe location.



Guided wave inspection allows for the entire pipe wall to be screened over tens of meters from each side of the probe collar location.

KUVIO 17. Perinteinen ultraäänipaksuusmittaus vasemmalla ja pitkän kantaman ultraäänimittaus oikealla (49, s. 2)

LRUT-menetelmässä luotainpannan avulla putkeen lähetetään pulssiohjattua ultraääniaaltoa, joka kulkee putken suuntaisesti. Luotainpanta vastaanottaa ultraääniaallot, jotka heijastuvat laipoista, kehäsuuntaisista hitseistä, putkien jakaantumista ja seinämien vioista (kuvio 18). Näin ollen kaikki putken piirteet mitatulta matkalta havaitaan saman mittauksen aikana. (48, s. 1.) Pitkän kantaman ultraäänimittaukseen liittyviä vaikutustekijät on nähtävissä taulukossa 4. (48, s. 3.)



KUVIO 18. LRUT-mittauksen havainnekuva (47, s. 3)

Pitkän kantaman ultraäänimittauksella on seuraavia etuja (48, s. 3 – 5):

- voidaan käyttää vaikeasti tarkasteltaviin kohteisiin, kuten maan alla kulkeviin ja pinnoitettuihin putkiin ilman kaivamista tai eristeiden poistamista
- tarkastuksen laaja-alaisuus ja nopeus
- tarkastus ei häiritse tuotantoa
- on taloudellinen
- on mahdollista mitata 1,5 – 48 tuuman (38,1 mm – 1219,2 mm) halkaisijaltaan olevia putkia.

Pitkän kantaman ultraäänimittauksella on seuraavia haittoja (48, s. 3 – 5):

- voidaan vain havaita ja paikallistaa vikoja
- luotainpanta vaatii kiinnitykseen putken päältä 0,5 m paljasta pintaa.

TAULUKKO 4. Pitkän kantaman ultraäänimittauksen vaikutustekijät (48, s. 5)

Degree of difficulty	Surface condition	Geometry	Contents
Easy	Bare metal	Straight lengths	Gas
	Smooth well bonded paint Mineral wool insulation Fusion bonded epoxy	Infrequent swept/ pulled bends	Low-viscosity liquid
Difficult	Light pitting	Attachments/brackets	High-viscosity liquid
	Heavy pitting Plastic coating Buried lines	Branches	Waxy or sludgy deposits
	Bitumastic coating Concrete coating	Many bends	

### 12.2.2 Akustinen emissio, AE

Kun rakenteeseen kohdistuu jokin ulkoinen voima (esim. painemuutos, paino tai lämpötila), niin rakenteen tietyt kohdat lähettävät energiaa elastisina ääniaaltoina, joka materiaalin pintatasolle saapuessa voidaan mitata sensorin avulla. Akustinen emissio tarkoittaa elastisia ääniaaltoja, jotka ovat syntyneet materiaaliin kohdistuneen rasituksen synnyttämästä säröstä tai särön etenemisestä. Akustisen emission avulla saadaan tietoa materiaalissa olevien epäjatkuvuuskohtien sijainneista ja kestävyyksistä. Tekniikkaa käytetään esimerkiksi rakenteiden kestävyysien arvioimisessa, vikojen havaitsemisessa, vuotojen testaamisessa, hitsilaatujen tarkkailussa ja paljon myös tutkimustyökaluna. (50.)

Akustisen emission seuraavia etuja (50):

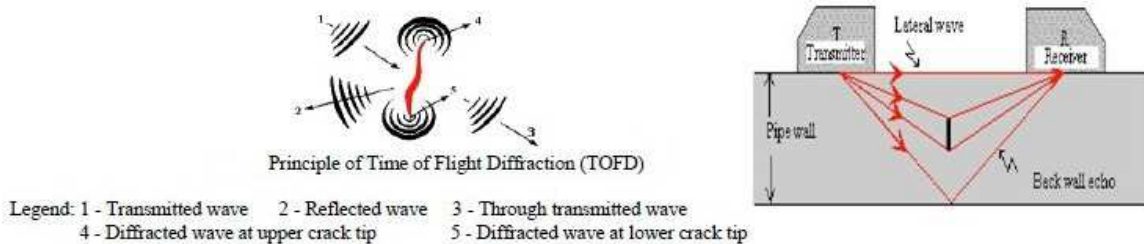
- menetelmä on hyvä paikallistamaan rakenteessa tapahtuvia muutoskohtia
- on tarkka.

Akustisen emission seuraavia haittoja (50):

- menetelmällä havaitaan vain rakenteen materiaalin kestävyyttä
- toimintaympäristötekijät vaikeuttavat mittausta
- on vaativa tarkastusmenetelmä.

### 12.2.3 Kulkuaikatekniikka, TOFD

TOFD-menetelmä on yksi ultraäänimittauksesta kehitetty muoto, missä epäjohtavuuskohtien heijastuksien sijaan mitataan 2 luotaimen avulla (lähetin ja vastaanotin) ultraääniaaltojen diffraktioita eli ”taipumisia”, jotka muodostuvat epäjatkuvuuskohtien ”kärjistä” (kuvio 19). Lisäksi menetelmässä ultraääniaallot kulkevat sekä kohteen pinnan kautta luotaimesta toiseen, että kohteen takaseinämän heijastuksen kautta (kuvio 20). TOFD tapaa hyödynnetään pääosin hitsauslaadun tarkastukseen. (51, s. 1;52.)



KUVIO 19. Vasemmalla on TOFD-menetelmän periaatekuva ja oikealla havaintokuva asettelusta (51, s. 2 – 3)

Kulkuaikatekniikan etuja ovat (51, s. 7):

- on erittäin tarkka vikojen paikallistamisessa
- voidaan mitata vian koko
- tarkastus ei häiritse tuotantoa.

Kulkuaikatekniikan haittoja ovat (51, s. 7):

- tarkastus vaatii kokeneen mittaajan
- kulkuaikatekniikka ei ole tehokas havaitsemaan vikoja, jotka ovat samansuuntaisia tarkastuskohteen pintaan nähden.

### 12.2.4 Internal Rotating Inspection System, IRIS

IRIS-menetelmässä luotain kulkee putkessa veden mukana tarkastaen ultraääniaaltojen avulla putkea sen kehän mukaisesti luotaimen päässä olevan peilin ja sitä pyörittävän turbiinin ansiosta. Ultraääniaaltojen avulla saadaan kuvattua ulkoisesti ja sisäisesti koko putken profiilin mahdollisineen vikoineen. Yleisin IRIS-luotain malli on nähtävissä kuviossa 20. (53, s. 1 – 2.)



KUVIO 20. IRIS-luotain, missä vasemmalla on luotaimen kiinnityspaikka, keskellä luotaimen keskittäjä ja oikealla luotaimen turbiini, jonka päässä on luotain (54)

Menetelmän avulla voidaan tarkastaa putkia, jotka ovat sisähalkaisijaltaan n. 8,6 mm - 1100 mm. Ennen tarkastusta putki tulee puhdistaa sisältä öljystä, rasvasta ja muista mahdollisista epäpuhtauksista. Tarkastuksen aikana putki tulee olla täynnä vettä. IRIS-menetelmää käytetään putkistojen tarkastamiseen. (53, s. 1, 9.) Yleisimpiä tarkastuskohteita ovat lämmönvaihtimet ja putkistot. Erilaisia keskitin malleja kuviossa 21. (53, s. 9 – 10.)



KUVIO 21. Keskitinmalleja

IRIS-menetelmän etuja ovat (54):

- voidaan soveltaa reaaliaikaiseen tarkastukseen
- tarkastuksen laaja-alaisuus
- menetelmä on erittäin hyvä paikallistamaan viat
- on tarkka.

IRIS-menetelmän haittoja ovat (54):

- ennen tarkastusta putki täytyy puhdistaa sisältä kunnolla
- tarkastuksessa virtaavan veden laatu voi häiritä mittausta
- tarkastus on hidasta.

### 12.2.5 Vaiheistettu ultraäänimittaus, PA

Siinä missä tavallisessa ultraäänimittauksessa luotaimessa on yksi tai kaksi aktiivi elementtiä, niin vaiheistetussa ultraäänimittauksessa elementtejä on useita (yleensä 16 – 256 kpl), joita voidaan ohjelmoida mittauslaitteiston avulla. Ohjelmoinnilla voidaan säätää mittauksen säteiden kulmia, kohdistuksen kokoa ja polttoväliä. Vaiheistetussa ultraäänimittauksessa elementtien lähettämät säteet yhdistetään yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin saadaan laaja-alainen kuvaus kohteesta (kuvio 22). Käytetään samoin kohteisiin kuin tavallisessa ultraäänimittauksessa, mutta tehokkaammin. Käyttökohteita lähinnä ovat hitsien tarkastus ja säröjen havaitseminen. (55.)



KUVIO 22. Tavallinen ja vaiheistettu ultraäänimittaus (56)

Vaiheistetun ultraäänimittaukseen liittyviä etuja ovat (56):

- on ohjelmoitavissa
- yhdellä luotaimella saadaan laaja-alainen kuvaus
- tarkastaminen on nopeaa.

Vaiheistetun ultraäänimittaukseen liittyviä haittoja ovat (56):

- tarkastusvälineet ovat kalliit
- vaiheistetun ultraäänimittaus vaatii kokeneen mittaajan.

### 12.2.6 Digitaalinen radiografia, DR

Digitaalinen eroaa tavallisesta radiografiasta sillä, että kuvaa ei tuoteta filmille, vaan säteily otetaan vastaan digitaalisella tunnistin paneelilla, mistä kuva siirtyy tietokoneelle. Kuvauksen jälkeen tarkastaja voi tutkia ja käsitellä kuvaa tietokoneella erikoisohjelman avulla. Digitaaliseen radiografiaan tarvittavia välineitä nähdään kuviossa 23. Käyttökohteita ovat mm. hitsit, muovit,

komposiittimateriaalit, painelaitteiden kunnan tarkastaminen, vikojen ja muiden epäjatkuvuuksien havaitseminen. (57, s. 2.)



- Kantopakkaus renkailla
- Kannettava tietokone (Laptop)
- Litteä paneeli (Flat Panel)
- Paneelin ohjausyksikkö (ICU)
- XRS-3 Pulssikone
- 50m kevyttä CDU/ICU kaapelia irrotettavassa kelassa.
- Vara-akku.
- Kaapelit:
  - Pulssikone → ICU
  - ICU:sta → Paneeliin
  - ICU:n latauskaapeli
  - AC kaapeli

KUVIO 23. Esimerkinä Vidiscon DR mittalaitteistosta (58)

Digitaalisella radiografialla on seuraavia etuja (57, s. 2, 4):

- laitteisto on kannettavissa
- on nopea ja tarkka
- tarkastus ei häiritse tuotantoa
- digitaalinen radiografinen aiheuttaa vähemmän säteilyä kuin tavallinen radiografia
- tarkastus ei vaadi pimeää tilaa tai kemikaaleja prosessissa.

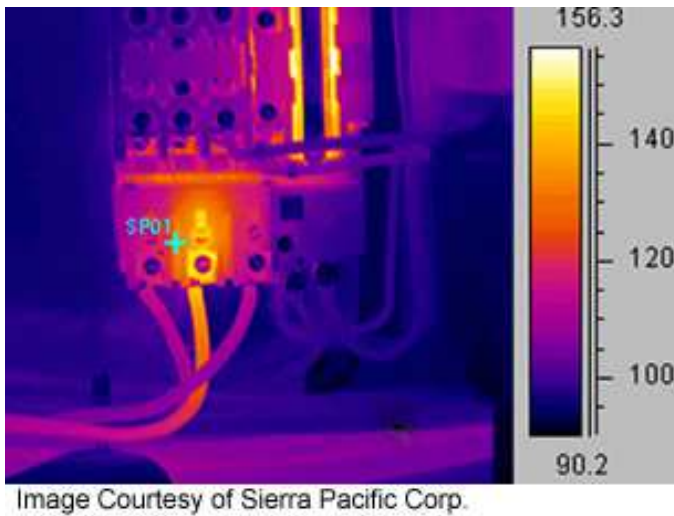
Digitaalisella radiografialla on seuraavia haittoja (57, s. 2, 5):

- laitteisto on kallis
- digitaalista tunnistin paneelia ei voi taittaa tai leikata tarkastuskohteeseen sopivaksi.

### 12.2.7 Infrapunatermografia, IRT

Infrapunatermografialla saadaan kohteen pintalämpötila havaittua mittaamalla tai kuvaamalla kohteesta säteilevää infrapunasaateilyä. Tavallisin muoto on pistemittaus, jossa säteily mitataan tietyistä kohdasta esim. laakerin kulumiskohtan kuumeneminen lisääntyneen kitkan takia. Menetelmän kehittyneemmissä muodoissa käytetään lämpökameraa, jonka avulla saadaan havainnointua laaja-alaisesti säteilyn virtaus kohteessa. Yleisimpiä käyttökohteita ovat sähkö- ja

mekaanisten laitteiden ja elektronisten komponenttien kunnan diagnosointi, vian etsintä ja materiaalin ohenemisen havaitseminen (kuvio 24). (59.)



*KUVIO 24. Kunnan diagnosointi kuvassa nähdään 3 sähköliitintä, joista keskimääräinen on muita kuumempi. Liitos voi yli kuumentuessaan tai korroosion aiheuttaman resistanssin vuoksi irrota (59)*

Infrapunatermografialla on seuraavia etuja (59):

- on nopea
- on taloudellinen
- tarkastus voidaan suorittaa reaaliaikaisesti.

Infrapunatermografialla on seuraavia haittoja (59):

- tarkastus havaitsee vain kohteen pinnalla olevan lämpösäteilyä
- ympäristötekijät voivat vääristää tuloksen.

### 12.2.8 Alternating Current Field Measurement, ACFM

ACFM tekniikassa luotaimella tuotetaan kohteen pintaan yhtenäinen vaihtovirta kenttä, joka indusoi pintaan magneettikentän. Magneetti- ja vaihtovirta kenttä häiriköityy vikojen kohdalla, jolloin sensori avulla voidaan viat mitata (kuvio 25). Menetelmää käytetään painelaitteissa ja putkistoissa havaitsemaan halkeamia ja säröjä sekä määrittämään niiden kokoja, ilman pinnoitteen ja maalin poistamista. (60.)

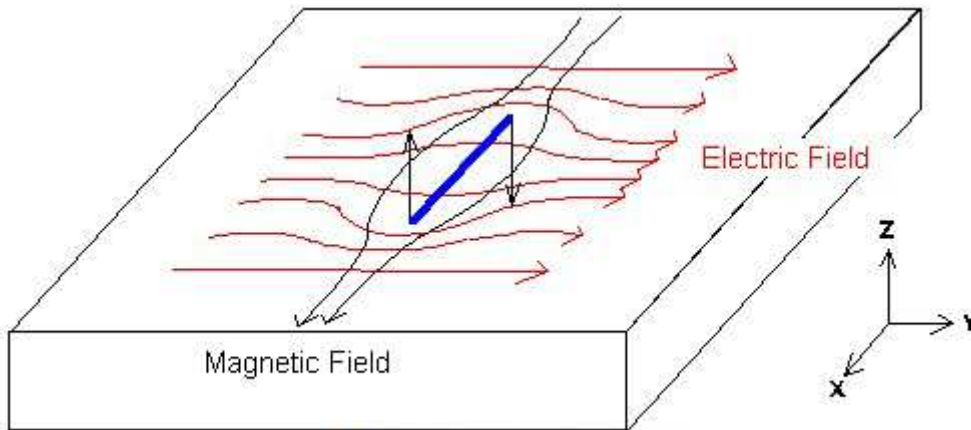


Fig 1: Current flow around a defect

KUVIO 25. Kohteessa olevien sähkö ja magneettikenttien virtaukset vian kohdalla (60)

ACFM:n etuja ovat (61):

- tarkastus on robotisoitavissa
- tarkastuskohteen pinnoitetta tai maalikerrosta ei tarvitse poistaa
- laitteisto on kannettavissa
- voidaan käyttää erittäin kuumissa olosuhteissa + 500 °C.

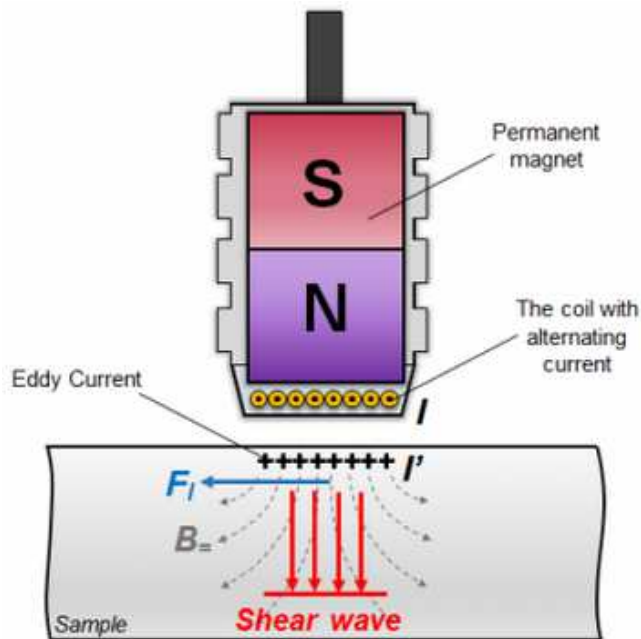
ACFM:n haittoja ovat (61):

- tarkastus vaatii erittäin kokeneen mittaajan
- on tarkka teräs materiaalin yhteydessä, mutta muiden materiaalien tutkimuksessa tulee käyttää tuloksien tulkinnassa kalibrointitalukkoa.

### 12.2.9 Electro-Magnetic Acoustic Transducer, EMAT

EMAT on ultraääneen pohjautuva tekniikka, jossa sähkömagnetismin avulla lähetetään ja vastaanotetaan ultraääniaaltoja ilman kytkentäaineen käyttöä luotaimen ja kohteen välillä (kuvio 26). Menetelmässä luodaan kohteeseen pyörrevirtoja luotaimessa olevan magneetin ja sähkökelan avulla. Pyörrevirtaukset muodostavat magneettisen kentän eli Lorentzin voiman, joka luo kohteessa ultraääniaaltoja. Ultraääniaallot johtuvat magneettikentän avulla luotaimeen. Tekniikkaa hyödynnetään epäjohtavuuksien ja korroosion havainnoinnissa, materiaalin paksuuden ja ominaisuuksien mittauksessa, putkien, säiliöiden ja hitsien tarkastamisessa. (62, s. 1.)





KUVIO 26. EMAT-tekniikan periaatekuva (63)

EMAT-menetelmään kuuluu seuraavia etuja (62, s. 1 – 2):

- tarkastus ei tarvitse kytkentäainetta
- kohteen pintaa ei tarvitse esikäsitellä
- menetelmä kestää hyvin kuumia ja kylmiä pintalämpötiloja (-40°C to +650°C).

EMAT-menetelmään kuuluu seuraavia haittoja (62, s. 1 – 2):

- soveltuu vain sähköä johtaville materiaaleille
- ei yhtä tehokas signaalin vastaanotossa ja myös kalliimpi kuin tavallinen UT.

### 12.2.10 Tärinälämpökuvaus, Vibrothermography

Tärinälämpökuvauksella havaitaan kohteen pinnalta ja sen välittömästä läheisyydestä epäjatkuvuuskohtia niiden aiheuttaessa lämpösäteilyä, kun niihin kohdistetaan tärinää ja/tai ultraääniaaltoja. Lämpösäteilyä kuvataan erikoislämpökameralla, jolloin havaitaan ja paikallistetaan vikakohtat. Menetelmä on vielä kehitysvaiheessa, mutta saatujen lupaavien tuloksien mukaan voidaan olettaa sen oleva nopea ja luotettava NDT-menetelmä erilaisten rakenteiden kunnan arviointiin. (64, s. 2, 6.)

## 13 NDT-MENETELMIEN VERTAILUA

Aiemmin esitettyjen NDT-tekniikoiden kuvauksien ja niiden lähteiden perusteella muodostettiin vertailutaulukko, jotta nähtäisiin yksinkertaisemmin menetelmien eroavaisuuksia (taulukko 5). Vertailun menetelmän suorittamisen nopeus -osiossa on nopeus todettu mittaukseen liittyvien vaiheiden avulla (esivalmistelu, mittaus, tulosten tulkinta). Esivalmisteluun on huomioituna mittauskohdan puhdistaminen, luotaimen kalibrointi ja mahdolliset suojausien teot. Vertailu on laadittu taulukkoon helppolukuisuuden vuoksi.

TAULUKKO 5. NDT-tekniikoiden vertailu

	VT	PT	MT	RT	ET	UT	UTM	LRUT	AE	TOFD	IRIS	PA	DR	IRT	ACFM	EMAT
Pinta virheet	x	x	x	x	x	x	(x)	(x)	(x)	x	x	x	x	(x)	x	x
Pinnan välittömässä läheisyydessä olevat virheet			x	x	x	x	(x)	(x)	(x)	x	x	x	x		x	x
Sisäiset virheet				x		x	(x)		(x)	x	x	x	x			x
Materiaalin todellinen paksuus				x		x	x	(x)			x		x	(x)		x
Pinnoitteen todellinen paksuus				x	x		x						x			
Puhdistus ennen mittausta		x	x			x	x			x	x	x				
Pinnoite tai maali voi häiritä	x	x	x		x	x	x			x		x		x		
Hitsin tarkastus	x	x	x	x	x	x	x	(x)		x	x	x	x			x
Virheiden rakenne				x		x				x	x	x	x		x	
Vaatii kosketuksen kohteeseen		x	x			x	x	x		x	x	x			x	x
Vaatii sähköä johtava materiaali					x											x
Mahdollista automatisoida	x				x	x	x	x	x	x		x		x	x	x
Menetelmän suorittamisen nopeus +, hidas ++, kesk. +++, nopea	+++	+++	+++	+	++	+++	+++	+++	++	++	+	++	+++	+++	+++	+
Vaativuustaso H, helppo K, keskitaso V, vaativa	K	H	H/K	V	K	K/V	H	K/V	K	K	H/K	K	H/K	H	K	H

Mittausmenetelmän suorittamisen nopeuteen on pyritty huomioimaan siihen liittyvät eri vaiheet (esivalmistelu, mittaus ja tulosten tulkinta).

Helppo: Ei vaadi paljoa tietotaitoa käyttäjältä, eikä juurikaan kohteelta esivalmisteluja

Keskitaso: Kohde tulee esivalmistella, vaatii keskinkertaisen tietotaidon mittauksen suorittamiseen ja tuloksien tulkintaan

Vaativa: Mittauksen suorittamiseen vaaditaan esivalmisteluja, mittaustuloksien tulkinta vaatii paljon kokemusta.

UTM, (x) = ultraäänipaksuusmittauksessa paksuustuloksien vaihtelevuudesta voidaan päätellä onko kyseessä kuluminen vai jonki vika (halkeama)

LRUT, (x) = menetelmässä tarkastus tapahtuu putken sisällä ja sillä voidaan vain havaita/paikallistaa vikakohdat, myös putken vahvuudesta voidaan todeta materiaalin ohenema

AE, (x) = mittauksessa seurataan kohteen materiaalin käyttäytymistä käytönaikana

IRT, (x) = kuvastusta lämpösaiteilystä voi päätellä kuumentuneessa kohdassa olevan materiaalin ohentuman, jossa mahdollisesti sijaitsee virhe

## 14 YHTEENVETO

Työ vastasi asetettuun tavoitteeseen selvittää ja tutkia aineenvahvuusmittaustoiminnan kokonaisuutta. Selvityksen ja tutkinnan avulla työstä luotiin työkalu aineenvahvuusmittaustoiminnan kehittämiseen. Työssä pyrittiin käymään läpi mittaustoimintaan liittyviä osa-alueita eikä keskitytty vain yhteen osa-alueeseen. Aineenvahvuusmittaustoiminnan kokonaisuuden tutkinnassa ilmeni monia kehityskohtia, joiden parantamiseksi ehdotettiin erilaisia jatkotoimenpiteitä. Kokonaisuuden hahmottamisella lisättiin tietoisuutta painelaitteisiin kohdistuvista vastuista ja velvoitteista sekä parannettiin käsitystä käytössä olevista resursseista. Lisäksi työssä selvitettiin olemassa olevia NDT-tekniikoita painelaitteiden kunnontarkastamiseen.

Esiin tulleita kehityskohteita aineenvahvuusmittaustoiminnassa ovat tarkastajien tietotaidon varmistaminen ja ylläpitäminen, dokumentointi, toiminnan hallinnointi ja seuranta, koska Arttu-kunnossapitojärjestelmää ei juurikaan hyödynnetä. Osastojen mittausryhmien vastuulle on mittauksien suorittamisen lisäksi jätetty päätösvalta, mihin sähköinen dokumentti tallennetaan ja mitä tietoja raportti sisältää, joten dokumentointitavat osastojen välillä vaihtelee suuresti. Kehityskohteiden parantamiseksi tulee laatia kokonaissuunnitelma, jonka avulla voidaan edetä järjestelmällisesti.

Aineenvahvuusmittaustoiminnassa uuden henkilön perehdyttämiseen ja kouluttamiseen on hyödynnetty lähinnä kokeneemman tarkastajan niin sanottua hiljaista tietoa, jolloin aineenvahvuusmittauksen oppiminen on hyvin riippuvainen henkilöiden luonteista ja kyvyistä. Mittausryhmille tulisi saada koulutusta ultraäänestä, ultraäänipaksuusmittauslaitteista ja tarkastustoiminnasta, jotta varmistettaisiin henkilöstön riittävä osaaminen. Koulutuksen avulla vahvistetaan henkilöstön toiminta- ja suorintakykyä ja karsitaan mahdollisia mittauksen suorittamiseen liittyviä epävarmuustekijöitä.

Tarkastajilla tulisi olla pätevyystaso 1 ja yhdellä toimihenkilöllä pätevyystaso 2, jotta varmistettaisiin mittaustoiminnan tehokkuus ja toimivuus. Aineenvahvuusmittaustoiminnan kehitys, kommunikaatio ja henkilöstön oma vaikuttamisen mahdollisuus kehittämiseen paranevat, kun henkilöstön käsitys ultraäänen ja ultraäänipaksuusmittauksen käyttäytymisestä lisääntyy.

Mittausryhmät kirjaavat tehtyjä tarkastuksia Arttu-järjestelmään niin sanotuille piikkitöille, jolloin yksittäisen tarkastuksen seuranta ja hallinnointi eivät ole helppoa. Tarkastuksen jälkeen mittaajat lähettävät tulokset esimiehilleen, jotka kirjaavat tarkastuksen omaan Excel-taulukkoon. Tarkastuksien seurannan ja hallinnoinnin parantamiseksi tulee Artussa olevat piikkityöt käännettävä päätöksi, joiden alle voitaisiin jokaisesta kohteesta laatia oma määräaikaistarkastus- ja tarkastustyö. Tarkastustöiden laitimiseksi tulee myös laittaa painelaitteet tietoineen Arttuun, jolloin niihin tehtävät korjaustyöt voitaisiin yhdistää oikeaan painelaitteeseen. Arttu-järjestelmään kertyisi automaattisesti historiatietoa töistä sitä mukaan, kun niitä käytetään ja samalla nähtäisiin niiden aikataulutus. Mittaus- ja korjaustöihin sekä painelaitteisiin liittyvät dokumentit on Artussa mahdollista liittää niihin, jolloin parannettaisiin myös dokumenttien käyttöä.

Painelaitteiden ja töiden tietojen laadinnassa on tärkeää käyttää yhdenmisiä nimityksiä Artussa, koska järjestelmän hakuominaisuudesta johtuen on tiedettävä vähintään osittain järjestelmässä oleva nimi. Arttu-töihin tulisi laatia tai liittää olemassa olevia piirustuksia ja kuvia, joiden avulla nähdään painelaitteen kokonaisuus, mittausalueet ja niiden mittauspisteet. Arttu-kunnossapitojärjestelmän avulla voidaan parantaa huomattavasti mittaustoiminnan hallinnointia, seuranta ja dokumenttien käytettävyyttä.

Mittaustoiminnan sähköisen muodon dokumentoinnissa on tarkastuksia tallennettu pääosin henkilöstön omille tietokoneille, minkä vuoksi yhtenäistämistä tarvitaan myös tarkastuksen sähköisen muodon tallennukseen. Lisäksi mittausryhmien tietokoneisiin tallennettujen tiedostojen tallennuspolun pohjana käytetään koko osastojen toimintoja kattavaa tietopohjaa, joka ei vastaa mittaustoiminnan tarpeita, minkä vuoksi dokumenttien hakeminen on hidasta ja epäkäytännöllistä. Tarkastuksen sähköisen muodon tallentaminen tulisi tehdä yhteiseen tietoaasemaan, johon kaikilla asianosaisilla olisi pääsy. Tallennuspolun on vastattava mittaustoiminnan tarpeita, jolloin sen tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen.

Aineenvahvuusmittaustoiminnan mittauskohteiden kriittisyyskartoitukseen käytetään PSK 6800 -standardia, jota on kehitetty vastaamaan mittaustoiminnan tarpeita. Kriittisyyskartoitus tulisi laatia jokaisesta rekisteröidystä ja tuotannolle kriittisestä painelaitteesta, jolloin saataisiin kattava kohteista kriittisyyskartoitus. Kriittisyyskartoituksen avulla voidaan kohteisiin suoritettavien mittaustarkastuksien ajoitusta ja tarvittavaa tehokkuutta säätää vastaamaan siitä saadun kriittisyyden mukaan. Lisäksi kriittisyyskartoituksen avulla voidaan parantaa tuotannon, kunnossapidon ja kunnonvalvonnan kommunikaatiota ja yhteistyötä.

Tarkastustoimintaan tarvitaan yhtenäistää tarkastuksien raportointi, sillä mittausryhmien raportointityylit vaihtelevat suuresti, koska ryhmät ovat itse saaneet päättää sisällöstä. Raportoinnin yhtenäistämällä parannetaan että selkeytetään niiden lukemista ja laatimista.

Työssä laadittiin raportointimalli, jota voidaan käyttää raportoinnin pohjana. Raportoinnissa tulee olla tietojen ja tuloksien lisäksi osio, johon tarkastaja voi kommentoida tarkastettavaa kohdetta ja huomioida tarvittavia jatkotoimenpiteitä. Tarkastusta varten tulisi olla selvillä tarkastuskohteen paksuuden minirajat, jotta voidaan osoittaa tarvittavat jatkotoimenpiteet. Raportointimallin luomiseen hyödynnettiin Inspectan ja DEKRAn tarkastuspöytäkirjoja. Määrätarkastuksien suorittamiseen ja raportointiin tulee hyödyntää asiantuntijan osaamista, jotta varmistuttaisiin riittävästä tiedosta, mittausohjeiden tarkkuudesta ja viranomaisvaatimuksista. Vaativimpien painelaitteiden määräaikaistarkastuksia varten tulisi käyttää niistä laadittuja painelaiterekisteritietoja.

Mittaustoiminnassa on käytössä uusia ja vanhoja mittalaitteita, jotka olisi hyvä päivittää uuteen 38DL Plus -malliin tai ainakin mittarit tulisi olla samaa sukupolvea keskenään. Vanhimmista mittareista ei laitetukea ole saatavilla enää, tuloksien yhteyteen käytettävään DOS-pohjaiseen ohjelmaan ei ole tukea eikä voida käyttää uudempien mittarien luotaimia. Lisäksi aineenvahvuusmittausryhmien haastattelujen mukaan yhteensopivuus ongelmia GageView-ohjelman kanssa on esiintynyt kaikissa mittarimalleissa paitsi 38DL Plus -mallissa. On huomioitava, että mittarin ja GageView-ohjelman väliset yhteensopivuusongelmat tulevat hyvin todennäköisesti jatkumaan sitä mukaan, kun laitevalmistaja päivittää ohjelmaa.

Työssä selvitettiin myös, mitä mahdollisia NDT-menettelyjä mittaustoimintaan on olemassa, ja laadittiin niistä vertailutaulukko. Aineenvahvuusmittaustoiminnassa on keskitytty soveltamaan mittauksiin ainoastaan ultraäänipaksuusmittausta, mutta sen lisäksi voitaisiin hyödyntää ulkopuolisen tarkastuslaitoksen mittauspalveluiden tarjoamia LRUT- ja EMAT-menetelmiä. LRUT-menetelmällä olisi mahdollista havaita putkistossa olevien epäjohtavuuksien sijainnit laajalta alueelta, joiden kohdalta suoritettaisiin tarkempi tarkastus. EMAT-menetelmään perustuva Inspectan luoma TSCAN-tarkastus mahdollistaa nopean ja helpomman tavan tarkastaa putkikattilan paksuusmittaus. TSCAN-tekniikassa käytetään EMAT-luotaimia, jotka on asetettu kelkka rakenteeseen, jonka avulla voidaan liikkua pintaa myöten. Mittauspalveluiden tarjoamia

LRUT- ja EMAT-tekniikoita olisi hyvä kokeilla käytännössä, jotta voitaisiin todeta niiden todellinen hyödyllisyys tehtaalla oleviin mittauskohteisiin.

Tulevaisuudessa tulisi tehtaalla yleisesti parantaa osastojen, toimihenkilöiden ja mittaajien välistä kommunikaatiota, jotta voitaisiin hyödyntää enemmän käytössä olevia resursseja. Lisäksi tulisi miettiä Arttu-järjestelmän sijaan uutta käyttäjäystävällisempää ja monipuolisempaa kunnossapitojärjestelmää, koska sen käytettävyys ja käyttöominaisuudet ovat liian vanhat. Arttu-järjestelmän isoimmat ongelmat ovat tietojen hakeminen ja ei käyttäjäystävällisyys. Tietojen hakemiseksi käyttäjän on tiedettävä vähintäänkin osittain haettavan asian nimi, minkä takia haettavan asian metatiedot, eli asiaa kuvailevat ja määrittävät tiedot, jäävät kokonaan hyödyntämättä. Järjestelmän käyttötavan takia se ei ole käyttäjäystävällinen, koska käyttäjän on tiedettävä, mitä mihinkin tulee, mikä aiheuttaa tulkinnanvaraisuutta. Tulkinnanvaraisuuksia varten ei järjestelmässä ole juuri tiettyä kohtaa varten nopeasti tai helposti löytyvää infoa, vaan ainoastaan koko järjestelmän kattava ohjeistus.

Painelaitteiden käytössä on muistettava omistajan ja käyttäjän velvollisuudet. Omistajan ja käyttäjän tulee huolehtia painelaitteen sijoituksesta ja käytön turvallisuudesta, joten kaikkien painelaitteiden kuntoa on seurattava, ei vain rekisteröidyistä painelaitteista. Jos yrityksen oma henkilöstö suorittaa mittauksia ja raportoi tarkastuksista viralliselle tarkastuslaitokselle, tarkastukseen liittyvät vastuut eivät siirry tarkastuslaitokselle.

## LÄHTEET

1. Valtokari, Jarmo 2014. Kehitysinsinööri, Ruukki Metals Oy. Keskustelu 5.2.2014.
2. Historia. 2014. Ruukki Oy. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Historia>. Hakupäivä 6.2.2014.
3. Tietoa yhtiöstä. 2014. Ruukki Oyj. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta>. Hakupäivä 6.2.2014.
4. Konsermirakenne. 2014. Ruukki Oy. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Konsermirakenne>. Hakupäivä 6.2.2014.
5. Strategia liiketoiminta-alueittain. 2014. Ruukki Oy. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Strategia/Strategia-liiketoiminta-alueittain>. Hakupäivä 6.2.2014.
6. Turvallisuus selvitys. Raahen tehdas. 2013. Sisäinen dokumentti. Ruukki Metals Oy.
7. Terästuotannon työsuojelun yleisturvaohjeet. 2010. Ruukki Metals Oy, Raahen tehdas.
8. Hannuksela, Rauno 2014. Mekaanikko. Ruukki Metals Oy. Keskustelu 17.2.2014.
9. Hämäläinen, Vesa 2014. Mekaanikko. Ruukki Metals Oy. Keskustelu 17.2.2014.
10. Kuorilehto, Esa 2014. Mekaanikko. Ruukki Metals Oy. Keskustelu 10.2.2014.
11. Mällinen, Pekka 2014. Mekaanikko. Ruukki Metals Oy. Keskustelu 19.2.2014.
12. Vatjus, Jouni 2014. Mekaanikko. Ruukki Metals Oy. Keskustelu 26.2.2014.
13. Tietoa meistä. 2013. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Tietoa-meista/>. Hakupäivä 7.2.2014.

14. Painelaitteet opas. 2014. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Saatavissa: [http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet\\_ja\\_opaat/painelaitteopas.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/painelaitteopas.pdf). Hakupäivä 7.2.2014.
15. Painelaitteiden määräaikaistarkastukset. 2000. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Saatavissa: [http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet\\_ja\\_opaat/Painelait.mraikaist.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/Painelait.mraikaist.pdf). Hakupäivä 7.2.2014.
16. Painelaitteet. Lainsäädäntö. 2014. Säädospalvelu. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Saatavissa: <http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/?open=OT1-3>. Hakupäivä 6.2.2014.
17. Kemikaaliputkistot. 2007. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Saatavissa: [http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset\\_aineet/esitteet\\_ja\\_opaat/kemikaaliputkistot\\_esite.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/kemikaaliputkistot_esite.pdf). Hakupäivä 7.2.2014.
18. Vaarallisten kemikaalien varastointi opas. 2013. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Saatavissa: [http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit\\_kaasu/Vaarallisten\\_kemikaalien\\_varastointi.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit_kaasu/Vaarallisten_kemikaalien_varastointi.pdf). Hakupäivä 17.2.2014.
19. Vääräkoski, Jari 2014. Projektin insinööri, Ruukki Metals Oy. Keskustelu 6.3.2014.
20. Ultrasonic Thickness Gaging. 2014. Knowledge. Olympus. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/applications-and-solutions/introductory-ultrasonics/introduction-thickness-gaging/>. Hakupäivä 8.2.2014.
21. Transducer Construction. 2014. Thickness Gage Tutorial. Olympus. Saatavissa: [http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/thickness\\_gage/transducers/construction/](http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/thickness_gage/transducers/construction/). Hakupäivä 8.2.2014.
22. Transducers for Thickness Gaging. 2014. Thickness Gage Tutorial. Olympus. Saatavissa: [http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/thickness\\_gage/transducers/](http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/thickness_gage/transducers/). Hakupäivä 6.2.2014.



23. Transducers Selection. 2014. Thickness Gage Tutorial. Olympus. Saatavissa: [http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/thickness\\_gage/transducers/selection/](http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/thickness_gage/transducers/selection/).  
Hakupäivä 12.2.2014.
24. Couplant. 2014. NDT Resource Center. Saatavissa: <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/Couplant.htm>.  
Hakupäivä 6.2.2014.
25. Couplant & Adaptors. 2014. Flaw Detectors. Olympus. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/ultrasonic-transducers/couplant/>. Hakupäivä 8.2.2014.
26. 38DL Plus. Ultrasonic Thickness Gage. User's Manual. 2010. DMTA-10004-01EN – Revision A. Olympus. Saatavissa: [ftp://ftp.olympusndt.com/public/Thickness%20Gages/Interface%20Development%20Documentation%20for%20the%2038DLP,45MG,%20%20MG2DL%20&%2035DL/38DL\\_PLUS-Full%20USER%20Manual\\_REV%20A\\_\(EN\).pdf](ftp://ftp.olympusndt.com/public/Thickness%20Gages/Interface%20Development%20Documentation%20for%20the%2038DLP,45MG,%20%20MG2DL%20&%2035DL/38DL_PLUS-Full%20USER%20Manual_REV%20A_(EN).pdf). Hakupäivä 12.2.2014.
27. Calibration Methods. 2014. NDT Resource Center. Saatavissa: <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/CalibrationMeth/calibrationmethods.htm>. Hakupäivä 12.2.2014.
28. UT-Technotes 2011 EN. 2011. Ultrasonic Transducer Technical Notes. Olympus. Saatavissa: [http://www.olympus-ims.com/downloads/download/?file=285213010=en\\_US/](http://www.olympus-ims.com/downloads/download/?file=285213010=en_US/). Hakupäivä 12.2.2014.
29. 38DL Plus. 2014. Thickness Gages. Olympus. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/38dl-plus/>. Hakupäivä 12.2.2014.
30. Measuring Metal Thickness Through Paint. 2014. Application Notes. Application. Olympus. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/applications/measuring-metal-thickness-paint/>.  
Hakupäivä 13.2.2014.

31. Dual Element Transducers. 2014. Thickness Gages. Olympus. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/transducers-and-accessories/dual-element-transducers/>. Hakupäivä 15.2.2014.
32. GageView. 2014. Flaw Detectors. Olympus. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/products/gageviewall/>. Hakupäivä 10.2.2014.
33. PSK 6800. 2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. Helsinki: PSK-Standardisointi.
34. Koksipatterin laitteiden kriittisyysanalyysi. 2014. Sisäinen dokumentti. Ruukki Metals Oy.
35. Painelaitteiden riskiperusteinen kunnossapito ja tarkastus. Kansallinen menettelyohje. 2003. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Saatavissa: [http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/2\\_2003.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/2_2003.pdf). Hakupäivä 9.2.2014.
36. Teollisuuden nosturit. Yleisohjeet tarkastukselle. Aluehallintovirasto Etelä-Suomi. 2013. Saatavissa: <http://www.tyosuojelu.fi/upload/130705%20Teollisuusnosturit%20-%20tarkastusohjeet.pdf>. Hakupäivä 5.3.2014.
37. SFS-EN ISO 9712. 2012. Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
38. Hakuohje NDT-testaajat. 2013. Henkilösertifiointi. Inspecta. Saatavissa: <http://www.inspecta.com/Documents/Finland/Henkilösertifiointin%20asiakirjat/ndthakuohjeet.pdf>. Hakupäivä 12.2.2014.
39. Maliniemi, Risto 2014. NDT- tarkastaja. DEKRA. Keskustelu 21.3.2014.
40. STUK-YTO-TR165. 2000. Tarkastusohje ja olennaiset muuttujat NDT-pätevöinnissä. Helsinki: Säteilyturvakeskus STUK.
41. Ultraäänipaksuusmittauksen tarkastusohje. 2008. Sisäinen dokumentti. Ruukki Metals Oy.

42. Rikkomaton aineenkoetus. 2014. Inspecta. Saatavissa: <http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Testaus/Rikkomaton-aineenkoetus-NDT-Non-Destructive-Testing/>. Hakupäivä 6.2.2014.
43. Putkistojen testaus. 2014. Inspecta. Saatavissa: <http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Testaus/Putkistojen-testaus/>. Hakupäivä 6.2.2014.
44. Guidebook for the Fabrication of Non-Destructive Testing (NDT) Test Specimens. 2001. International Atomic Energy Agency. Saatavissa: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TCS-13.pdf>. Hakupäivä 11.2.2014.
45. Ultrasonic Flaw Detection. 2014. Knowledge. Olympus. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/applications-and-solutions/introductory-ultrasonics/introduction-flaw-detection/>. Hakupäivä 8.2.2014.
46. Theory of Operation. 2014. Thickness Gage Tutorial. Olympus. Saatavissa: <http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/thickness-gage/introduction/operation/>. Hakupäivä 8.2.2014.
47. NDT Method Summary. 2014. NDT Resource Center. Saatavissa: <http://www.ndt-ed.org/GeneralResources/MethodSummary/MethodSummary.htm>. Hakupäivä 11.2.2014.
48. Birch, Stephen – Baker, Floyd 2007. Long-Range Guided-Wave Ultrasonics: A New Age in Pipeline Inspection. American Welding Society. Saatavissa: <http://www.aws.org/itrends/2007/10/it200710/it1007-13.pdf>. Hakupäivä 18.2.2014.
49. UltraWave LRT. Guided Wave System for In-Service Pipe Inspection. 2014. Flaw Detectors. Olympus. Saatavissa: [http://cache.olympus-ims.com/downloads/storage/276825449/UltraWave\\_EN\\_20130531.pdf?\\_gda\\_=1400620189\\_0858a4945ac57552c307c97e49c386a8](http://cache.olympus-ims.com/downloads/storage/276825449/UltraWave_EN_20130531.pdf?_gda_=1400620189_0858a4945ac57552c307c97e49c386a8). Hakupäivä 18.2.2014.
50. Introduction to Acoustic Emission Testing. 2014. NDT Resource Center. Saatavissa: <http://www.ndt->

[ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/AE/AE\\_Intro.htm](http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/AE/AE_Intro.htm).

Hakupäivä 8.2.2014.

51. Time of Flight Diffraction (TOFD), An Advanced Non-Destructive Testing Technique for Inspection of Welds for Heavy Walled Pressure Vessels. 2014. Kochi Refineries Ltd.  
Saatavissa:  
[http://www.ndt.net/article/wcndt2004/pdf/petrochemical\\_industry/208\\_murugaiyan\\_corrected.pdf](http://www.ndt.net/article/wcndt2004/pdf/petrochemical_industry/208_murugaiyan_corrected.pdf). Hakupäivä 11.2.2014.
52. Time of Flight Tip Diffraction (TOFD). 2014. IRISNDT. Saatavissa:  
<http://irisndt.ca/specialized-ndt/time-of-flight-tip-diffraction-tofd/>. Hakupäivä 11.2.2014.
53. Internal Ultrasonic Pipe & Tube Inspection – IRIS. IV Conferencia Panamericana de END Buenos Aires. 2007. Pan American Industries. Saatavissa:  
<http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/149.pdf>. Hakupäivä 11.2.2014.
54. Ultrasonic Internal Rotating Inspection System (IRIS). 2014. ESCON. Saatavissa:  
<http://www.escon-ndt.com/iris.html>. Hakupäivä 11.2.2014.
55. Intro to Ultrasonic Phased Array. 2014. Knowledge. Olympus. Saatavissa:  
<http://www.olympus-ims.com/en/ultrasonics/intro-to-pa/>. Hakupäivä 11.2.2014.
56. What Are the Advantages?. 2014. Phased Array Tutorial. Olympus. Saatavissa:  
<http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/intro/advantages/>. Hakupäivä 11.2.2014.
57. Digital Applications of Radiography. 2005. Qatargas Operating Company Limited.  
Saatavissa: <http://www.ndt.net/article/mendt2005/pdf/08.pdf>. Hakupäivä 11.2.2014.
58. Digitaalinen radiografia. 2014. Esite. Inspecta.
59. Introduction to Thermal Testing. 2014. NDT Resource Center. Saatavissa: [http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/IRT/IR\\_Intro.htm](http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/IRT/IR_Intro.htm).  
Hakupäivä 11.2.2014.

60. Quantitative In-Service Inspection using the Alternating Current Field Measurement (ACFM) Method. 2000. Technical Software Consultants Limited. Saatavissa: <http://www.ndt.net/article/v05n03/topp/topp.htm>. Hakupäivä 11.2.2014.
61. Alternating Current Field Measurement ACFM. 2014. IRISNDT. Saatavissa: <http://irisndt.ca/specialized-ndt/alternating-current-field-measurement-acfm/>. Hakupäivä 11.2.2014.
62. Non-Contact Ultrasonic Testing with EMAT. 2008. Innerspec Technologies INC. Saatavissa: <http://www.innerspec.com/sites/default/files/In-Service%20EMAT%20Applicaitons.pdf>. Hakupäivä 12.2.2014.
63. EMAT (Electro-Magnetic Acoustic Transducer). 2014. NORDINKRAFT. Saatavissa: <http://www.nordinkraft.de/technology/emat/>. Hakupäivä 12.2.2014.
64. Application of Vibrothermography in Non-Destructive Testing of Structures. European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM). Saatavissa: <http://www.ewshm2012.com/Portals/98/BB/fr2a2.pdf>. Hakupäivä 15.2.2014.
65. Tehdasalueen koksikaasuputkiston mittauspisteet. 2014. Sisäinen dokumentti. Ruukki Metals Oy.
66. Koksaamon koksikaasuputkiston mittauspisteet. 2014. Sisäinen dokumentti. Ruukki Metals Oy.

## LIITTEET

Liite 1 Materiaalien äänenjohtavuudet (28, s. 10.)

Liite 2 Laitetason kriittisyystekijät (33, s. 7.)

Liite 3 Koksipatterin laitteiden kriittisyysanalyysi (34.)

Liite 4 Ultraäänipaksuusmittauksen tarkastusohje (41.)

Liite 5 Painelaitteen tarkastuspöytäkirja malli

Liite 6 Tehdasalueen koksikaasuputkiston mittauspisteet (65.)

Liite 7 Koksaaamon koksikaasuputkiston mittauspisteet (66.)

Table 2 – Acoustic Properties of Materials					
Material	Longitudinal Velocity		Shear Velocity		Acoustic Impedance (Kg/m <sup>2</sup> s x 10 <sup>6</sup> )
	(in./μs)*	(m/s)	(in./μs)*	(m/s)	
Acrylic resin (Perspex)	0.107	2,730	0.056	1,430	3.22
Aluminum	0.249	6,320	0.123	3,130	17.06
Beryllium	0.508	12,900	0.350	8,880	23.5
Brass, naval	0.174	4,430	0.083	2,120	37.30
Cadmium	0.109	2,780	0.059	1,500	24.02
Columbium	0.194	4,920	0.083	2,100	42.16
Copper	0.183	4,660	0.089	2,260	41.61
Glycerine	0.076	1,920	—	—	2.42
Gold	0.128	3,240	0.047	1,200	62.60
Inconel	0.29	5,820	0.119	3,020	49.47
Iron	0.232	5,900	0.127	3,230	45.43
Iron, cast					
(slow)	0.138	3,500	0.087	2,200	25.00
(fast)	0.220	5,600	0.126	3,220	40.00
Lead	0.085	2,160	0.028	700	24.49
Manganese	0.183	4,660	0.093	2,350	34.44
Mercury	0.057	1,450	—	—	19.66
Molybdenum	0.246	6,250	0.132	3,350	63.75
Motor Oil (SAE 20 or 30)	0.069	1,740	—	—	1.51
Nickel, pure	0.222	5,630	0.117	2,960	49.99
Platinum	0.156	3,960	0.066	1,670	84.74
Polyamide, (nylon, Perlon)					
(slow)	0.087	2,200	0.043	1,100	.40
(fast)	0.102	2,600	0.047	1,200	3.10
Polystyrene	0.092	2,340	—	—	2.47
Polyvinylchloride, PVC, hard	0.094	2,395	0.042	1,060	3.35
Silver	0.142	3,600	0.063	1,590	37.76
Steel, 1020	0.232	5,890	0.128	3,240	45.63
Steel, 4340	0.230	5,850	0.128	3,240	45.63
Steel, 302	0.223	5,660	0.123	3,120	45.45
Austenitic stainless Steel, 347	0.226	5,740	0.122	3,090	45.40
Austenitic stainless Tin	0.131	3,320	0.066	1,670	24.20
Titanium, Ti 150A	0.240	6,100	0.123	3,120	27.69
Tungsten	0.204	5,180	0.113	2,870	99.72
Uranium	0.133	3,370	0.078	1,980	63.02
Water (20°C)	0.058	1,480	—	—	1.48
Zinc	0.164	4,170	0.095	2,410	29.61
Zirconium	0.183	4,650	0.089	2,250	30.13

\* Conversion Factor: 1 m/s = 3.937 x 10<sup>-5</sup> in/μs

Source: Nondestructive Testing Handbook 2nd Edition Volume 7  
Ultrasonic Testing ASNT 1991 ed Paul McIntire

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri	
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$		$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä	
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski	
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski	
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski	
	$M_s = 16$		Vakava turvallisuusriski		
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä	
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski	
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski	
$M_e = 8$		Merkittävä ympäristöriski			
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetykset $W_p = 0 \dots 100$	<p>1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta</p> <p>2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta</p> <p>4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta</p> <p>8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta</p>	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	
			$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi $\leq 3$ h)	
			$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi $\leq 10$ h)	
			$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)	
	Laatukustannus $W_q = 30$		$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi $> 24$ h)	
			$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.	
			$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 1$ h)	
			$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 3$ h)	
			$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)	
			$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $> 8$ h)	
			Korjaus- tai seurauskustannukset $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.
				$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 2$ h)
$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 10$ h)				
$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)				
		$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $> 24$ h)		

Laitteen kriittisyysindeksin K laskenta:

$$K = p \times (W_s \times M_s + W_e \times M_e + W_p \times M_p + W_q \times M_q + W_r \times M_r)$$

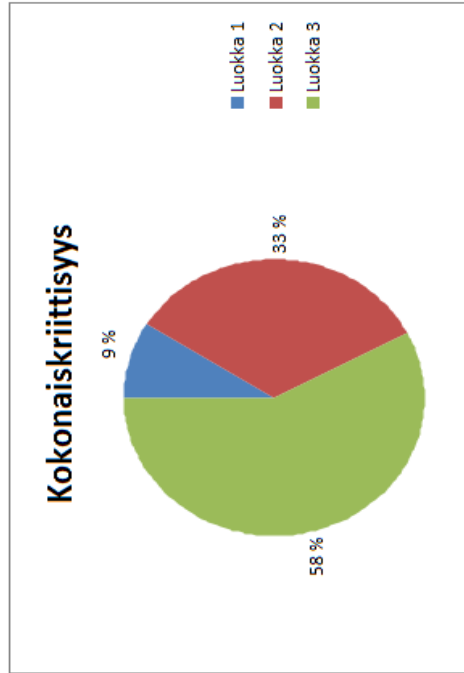
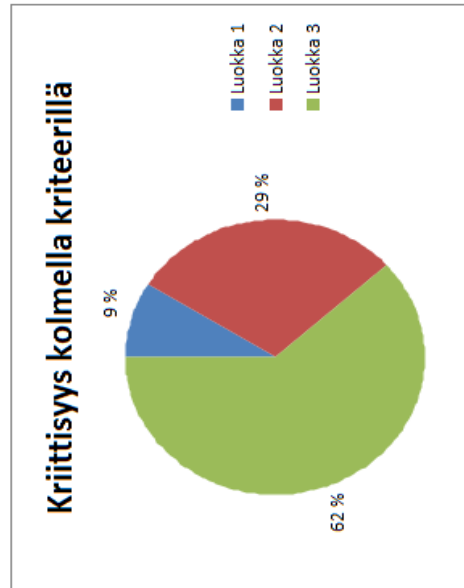


KOKSIPATTERIN LAITTEIDEN KRIITTISYYSANALYYSI				Tuotannon noreyksien hinta = 596,90e/m <sup>3</sup> (oman ja oskoojan hintaero)				Raja 800						
Mukana: Nieminen Ari, Sarpola Aavo, Flink Seppo, Kaniela Yrjö ja Juola Antti				Tiedot: 231 x 5 wuotta tunnistaa				100 = WP (vähimmäis)						
				Menesty tuotanto =				5750 €/h						
Toimintopalkka	Toimintopalkan nimi	Objektin nimi	Arvioitu vuokratuotanto (1...4)	Arvioitu vuokratuotanto (1...4)	Tuotannon noreyminen (1...4)	Varaosat (1...4)	Turvallisuus (1...4)	Ympäristö (1...4)	Loppuaste (1...4)	Kriittisyys Korjauksittain (1...4)	Kriittisyys Tutkiminen (1...3)	Kriittisyys Ympäristö (1...3)	Kriittisyys Kriittisin (1...3)	Kriittisyys Lopullinen (1...3)
2520020	PATTERIN TUENKESTÄVÄ MUIRPAUS		4	4	4		4	4	4	3	3	3	3	3
2530020	PATTERIN TUENKESTÄVÄ MUIRPAUS		1	1	1		3	3	4	1	1	2	2	1
2530010	PATTERIN TUENKESTÄVÄ MUIRPAUS		1	1	1		3	3	4	1	1	2	2	1
2530010	RUNSON TERASRAKENTEET		1	2	4		3	3	4	1	2	2	2	1
2530010	RUNSON TERASRAKENTEET		1	2	4		3	3	4	1	2	2	2	1
2532010	OVET JA LUUKUT		1	3	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	OVET JA LUUKUT		1	3	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	OVET JA LUUKUT		1	3	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	OVET JA LUUKUT		1	3	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	HILJENPÄÄNSTUVAUSVAUUNU SCHALKE/LSIP (PL)		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	1
2532010	Sekoraukkaosajit		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	1
2532010	Sekoraukkaosajit		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	1
2532010	Silit		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Vaakaalajat		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Vaakaalajat		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Pajarit nousupöykä		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Ruuvit		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Ruuvit		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Teleskoopit		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Kamerat nostimet		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Kamerat nostimet		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Pöydäsuojat kansit		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Pöydäsuojat pans. avoat		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Logiikka	ENITEN HÄRÖITÄ!!!!!!!!!!!!	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Logiikka	kamerat nostimet ohjauspaneeli	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Logiikka	ENITEN HÄRÖITÄ!!!!!!!!!!!!	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Logiikka	ENITEN HÄRÖITÄ!!!!!!!!!!!!	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Sip		1	3	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	HILJENPÄÄNSTUVAUSVAUUNU SCHALKE/TSP (P)		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Sekoraukkaosajit		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Silit		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Vaakaalajat		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Vaakaalajat		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Pajarit nousupöykä		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Ruuvit		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Ruuvit		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Teleskoopit		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Kamerat nostimet		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Kamerat nostimet		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Pöydäsuojat kansit		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Pöydäsuojat pans. avoat		2	4	4		4	4	4	3	2	3	3	2
2532010	Logiikka	ENITEN HÄRÖITÄ!!!!!!!!!!!!	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Logiikka	ENITEN HÄRÖITÄ!!!!!!!!!!!!	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Logiikka	kamerat nostimet ohjauspaneeli	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Logiikka	ENITEN HÄRÖITÄ!!!!!!!!!!!!	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Logiikka	ENITEN HÄRÖITÄ!!!!!!!!!!!!	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	Sip		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	PUTKISTOT		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	PUTKISTOT		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	PUTKISTOT		1	3	4		4	3	3	4	1	2	2	1
2532010	PUTKISTOT		1	3	4		4	3	3	4	1	2	2	1
2532010	TYÖTÖVAUUNU KERAMINEN (RPO)		1	3	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	KOKSINSERTTÖVAUUNUEN KULKUKISKO		1	1	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	PANOUSTUVAUUNU 1 (PI)	M	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	PANOUSTUVAUUNU 2 (PI)	M	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	PANOUSTUVAUUNU 1 (PI)	M	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	PANOUSTUVAUUNU 2 (PI)	M	1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	PATTERIN PITKÄTISET KEFANSPUTKET sis. pikaakko		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	PATTERIN PITKÄTISET KEFANSPUTKET sis. pikaakko		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	RAAKAKOKKIMÄÄSÄN PIKITTÄTISET KEFANSPUTKET sis. pikaakko		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	HUHTILVESPUTKISTO		3	3	4		3	3	4	3	3	2	2	2
2532010	HUHTILVESPUTKISTO		3	3	4		3	3	4	3	3	2	2	2
2532010	KERTOHUULETTELIVEN PUTKISTO		3	3	4		3	3	4	3	3	2	2	2
2532010	KERTOHUULETTELIVEN PUTKISTO		3	3	4		3	3	4	3	3	2	2	2
2532010	TYÖTÖLAFE (VAUUNU) 3 SCHALKE		1	2	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	TYÖTÖLAFE (VAUUNU) 3 SCHALKE		1	2	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	OVENVAUVAUUNU LÄNTINEN		1	2	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	OVENVAUVAUUNU LÄNTINEN		1	2	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	OVENVAUVAUUNU LÄNTINEN		1	3	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	POLYMEROT LUKKISKO PUTKISTONKEEN		1	3	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	POLYMEROT LUKKISKO PUTKISTONKEEN		1	3	4		4	4	4	1	2	2	2	1
2532010	NOUSUPUTKET 00023		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	NOUSUPUTKET		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	NOUSUPUTKET		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2
2532010	NOUSUPUTKET		1	4	4		4	4	4	2	2	2	2	2

	0-1 v	1-3 v	3-10 v	yli 10 v
<b>KORJAUSKUSTANNUS</b>				
1 = > 50 k€				
2 = 10 - 50 k€				
3 = 5 - 10 k€				
4 = 0 - 5 k€				
<b>KRIITTISYYSTAULUKKO</b>				
Kriittisin seuraus	Todennäköisyys			
	1	2	3	4
1	1	1	1	2
2	1	1	2	3
3	2	2	3	3
4	3	3	3	3
<b>TUOTANNON MENETYS</b>				
1 = Alasajo > 8 h tai kustannus > 100 k€				
2 = Alasajo 0 - 8 h (trippi) tai kustannus 20 - 100 k€				
3 = Tuotannon rajoitus tai kustannus < 20 k€				
4 = Ei vaikutusta				
<b>KRIITTISYYSTAULUKKO</b>				
Kriittisin seuraus	Todennäköisyys			
	1	2	3	4
1	1	1	1	2
2	1	1	2	2
3	2	2	2	3
4	3	3	3	3
<b>VAROSIEN SAATAVUUS</b>				
1 = > 6 kk				
2 = 1 kk - 6 kk				
3 = 2 pv - 1 kk				
4 = 0 pv - 2 pv				
<b>KRIITTISYYSTAULUKKO</b>				
Kriittisin seuraus	Todennäköisyys			
	1	2	3	4
1	1	1	1	2
2	1	1	2	3
3	1	2	3	3
4	2	3	3	3
<b>LOPPUTUOTTEEN LAATUKUSTANNUS</b>				
Laitteen toimimattomuus				
1 = Aiheuttaa kustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotantokatkoa				
2 = Aiheuttaa kustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotantokatkoa				
3 = Aiheuttaa kustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotantokatkoa				
4 = Ei aiheuta laatukustannuksia				
<b>KRIITTISYYSTAULUKKO</b>				
Kriittisin seuraus	Todennäköisyys			
	1	2	3	4
1	1	1	2	2
2	1	2	3	3
3	2	3	3	3
4	3	3	3	3



Anviointi	Anviointi				Kriittisyys matriisien mukaisesti				Kriittisin kolmella kriteerillä		Turvallisuus ja ympäristö		Laitteen lopullinen kriittisyysluokka			
	Vikaantumisen todennäköisyys	Vikaantumiskustannus	Tuotannon menetykset	Varaosien saatavuus	Turvallisuus (työ)	Ympäristö	Tekninen tuki	Kriittisyys vikaantumiskustannus	Kriittisyys tuotannon menetykset	Kriittisyys varaosat	Kriittisyys lopputuotteen laatu	Turvallisuus (työ)		Ympäristö		
1	56	3	2	0	0	0	20	2	0	20	8,89 %	0	0	Luokka 1	20	8,9 %
2	30	8	0	0	0	0	40	84	56	66	29,33 %	16	14	Luokka 2	75	33,3 %
3	8	13	4	16	14	14	165	139	169	139	61,78 %	209	211	Luokka 3	130	57,8 %
4	131	201	219	209	211	211										
Tarkastus	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225



*-Tämän ohjeen sähköinen versio on virallinen ja voimassa oleva-*

**Työohje** LAB\_507

Tulostuspvm: 02.04.2014

Tuotannon ohjeisto RA

Hannu Repola

10.12.2007

Katselmoitu:Hannu

Hyväksytty: Minna

Korvaa:

Repola 01.04.2014

Valkama 25.03.2008

Toiminto: 080 Tarkastus; 150 Jäähdytystaso\020 Tarkastus; 200 Korjaamo\100

Konetekniset korjaamotyöt; 010 Johtaminen\020 Tutkimus ja kehitys; 050

Testauslaboratoriot\110 NDT-tarkastukset

---

## Ultraäänipaksuusmittauksen tarkastusohje

### SISÄLLYS

1. SOVELTAMISALA
2. VIITTEET
3. MITTAUSTAVAT
4. YLEISET VAATIMUKSET
5. LAITTEISTON SÄÄTÄMINEN
6. TARKASTUS
7. KIRJAAMINEN
8. RAPORTOINTI

#### 1. SOVELTAMISALA

Tätä ohjetta käytetään ultraäänimenetelmällä suoritettaviin paksuusmittauksiin erilaisille kohteille kuten levy- ja nauhatuotteet, putkistojen määräaikaistarkastukset yms. Ohje soveltuu kaikille materiaaleille, jotka läpäisevät ultraääntä.

#### 2. VIITTEET

SFS-EN 14127 RIKKOMATON AINEENKOETUS. PAKSUUSMITTAUS ULTRAÄÄNELLÄ.  
ASME SE-797.2 STANDARD PRACTICE FOR MEASURING THICKNESS BY MANUAL  
ULTRASONIC PULSE-ECHO CONTACT METHOD

#### 3. MITTAUSTAVAT

Mittaustapa 1: Mitataan kulku-aika lähtökaiusta ensimmäiseen kaikuun ja vähennetään siitä luotaimen viive. Viive vastaa luotaimen kulutuspinnan ja kytkentäaineen vaikutusta (mittaus yhdestä kaiusta).

Mittaustapa 2: Mitataan takaseinäkaikujen välinen kulku-aika (mittaus monikertakaiuista).

## 4. YLEISET VAATIMUKSET

### 4.1 Mittaajan pätevyys

Paksuuksia mittaavalla henkilöllä on oltava perustiedot ultraäänestä ja yksityiskohtainen paksuuden mittaamiseen liittyvä koulutus ja osaaminen. Lisäksi mittaajan on tiedettävä kohde ja sen materiaali.

### 4.2 Tekniikka

Tarkastus tapahtuu pitkittäisaaltoluotaimella pulssikaikutekniikalla, kontaktimenetelmällä ja manuaalisella/automaattisella rekisteröinnillä.

### 4.3 Pinnanlaatu

Mittauskohteen pinnan tulee olla sellainen, että kytkentäaineen kanssa saadaan riittävä akustinen kytkentä. Pinnalta pitää poistaa kaikki irtonainen lika, hiekka, ruoste, hilse, maali yms. ylimääräinen aine, joka voi vaikeuttaa mittauksen suorittamista. Jos kohde on maalattu, tulee maalin olla pinnassa hyvin kiinni, muussa tapauksessa irtonainen maali tulee poistaa ennen mittausta. Maalikalvon paksuuden vaikutus tulee huomioida laitteen säätämisessä. Maalipinnoille suositellaan kaiusta - kaikuun mittaustapaa. (Mittaustapa 2)

### 4.4 Pinnan lämpötila

Tarkastettavan kappaleen pinnan lämpötila saa olla korkeintaan + 60 °C. Korkeammissa lämpötiloissa tulee käyttää ns. kuumen kestäviä luotaimia, ja kuumen kestäviä kytkentäaineita.

Vastaavasti kylmässä tehtävässä tarkastuksissa (yli -20 °C) tulee huolehtia siitä, että kytkentäaineen ominaisuudet eivät muutu esim. se ei saa jäätyä. Kuumassa ja kylmässä tehtävissä tarkastuksissa on lisäksi huomioitava, että laite säädetään vertailukappaleeseen, jonka lämpötila on mahdollisimman lähellä tarkastettavan kappaleen lämpötilaa. Tarkastettavan kappaleen ja vertailukappaleen lämpötilaero saa olla enintään 15 °C.

#### 4.5 Laitteet

##### 4.5.1 Paksuusmittari

Paksuus voidaan mitata seuraavilla laitteilla:

- ultraäänipaksuusmittarilla, jossa on numeronäyttö
- ultraäänipaksuusmittarilla, jossa on numeronäyttö ja A-kuva (kaiun näyttö)
- voidaan suorittaa myös A-kuvallisella ultraäänilaitteella, joka näyttää myös paksuuden numeroarvon (käyttö vaati ultraäänitarkastajan pätevyyden)

Laitteita ovat esim. Panametrics MG2-DL tai vastaava sekä Sonymex UTM 2000 tai vastaava

##### 4.5.2 Luotaimet

Luotainten tulee olla sopivia käytettävään laitteeseen.

##### 4.5.3 Kaapelit

Käytetään paksuusmittariin ja luotaimen sopivia kaapeleita. Kaapeleiden kunto on aina tarkastettava ennen käyttöä silmämääräisesti.

##### 4.5.4 Kytkenäaine

Kytkenäaineena käytetään mitattavalle pinnalle ja lämpötilalle soveltuvaa ainetta. Laitteiston säätämisessä tulee käyttää samaa kytkenäainetta kuin mittaustapahtumassakin.

##### 4.5.5 Vertailukappaleet

Mittauslaitteisto säädetään yhden tai useamman kohdetta vastaavan tarkistuskappaleen avulla, siten että tarkistuskappaleen mitat, materiaali ja mikrorakenne ovat vastaavia kuin mitattava materiaalikin. Tarkistuskappaleiden paksuuksien on katettava mitattava paksuusalue. Tarkistuskappaleista on tiedettävä joko paksuus tai äänennopeus.

Mikäli ei ole käytettävissä mitattavan kohteen kanssa samaa koostumusta olevaa vertailukappaletta käytetään vertailupalana tätä varten valmistettuja yleispaloja, jotka on valmistettu yhteisesti sovitusta keskiverto tuotelaadusta (porraspalat). Nämä palat on valmistettu samasta materiaalista kaikille käyttäjille sekä kalibrointilaboratorion kalibroimia.

Palat tilataan korjaamolta työtilauksella ryhmänumerosta 528. Tilaustiedoista pitää ilmetä palojen

tarvittavat pituudet. Mukaan merkintä yhdyshenkilöstä joka on Esko Mattila. Tätä kautta saadaan myös tarvittaessa säilytyssalkku paloille.

Mikäli tarkastettava kohde on pinnoitettu sellaisella aineella, jonka voidaan katsoa vaikuttavan mittaustuloksiin, tulee vertailukappaleen olla pinnoitettu myös samalla aineella tai muuten selvittää ko. aineen, kuten maalin, vaikutus mittaustuloksiin.

Vertailukappaleen ei tarvitse olla pinnoitettu mikäli tarkastuslaitteella voidaan mitata ensimmäisen ja toisen takaseinäkaiun väliä, jolloin pinnoitteen vaikutus voidaan poistaa mittaustuloksista.

(Mittaustapa 2)

#### 4.5.6 Kohteen tunnistus

Tarvittaessa tarkastettava kohde on oltava yksilöitynä siten, että se on yksiselitteisesti tunnistettavissa myös jälkikäteen.

### 5 LAITTEISTON SÄÄTÄMINEN

Laite säädetään käyttäen samaa kokoonpanoa kuin mitattaessa. Sääto suoritetaan mittausta vastaavissa olosuhteissa.

Paksuusmittari voidaan säätää kahdella tavalla:

- Porraspalan avulla
- Säättämällä mitattavan materiaalin tunnettuun paksuuteen

#### 5.1 Säättäminen porraspalalla

Säädettäessä paksuusmittaria porraspalan avulla täytyy mitattavan paksuuden olla kahden portaan välillä. Mitä lähempänä portaiden väli on mitattavaa paksuutta, sitä luotettavampi mittaustulos on.

Luotain asetetaan vertailukappaleelle sellaisen portaan kohdalle, joka on suurempi kuin mitattava nimellispaksuus ja säädetään laite siten, että näyttää vertailukappaleen portaan paksuutta.

Seuraavaksi luotain asetetaan vertailukappaleelle sellaisen portaan kohdalle, joka on pienempi kuin mitattava nimellispaksuus ja säädetään laite siten, että se näyttää vertailukappaleen paksuutta. Tämän jälkeen siirrytään laitteen mittaustilaan ja varmistetaan porraspalan avulla, että laitteen säätäminen on onnistunut.

## 5.2 Säättäminen mitattavan materiaalin tunnettuun paksuuteen

Paksuus tunnetaan esim. mittaamalla saksimitalla tai mikrometrillä aineen vahvuus reuna-alueella. Huomioitava että säättämiseen käytetyn paksuuden mittaamiseen on käytetty mittalaitetta joka tarkkuus on riittävä mitattavan kohteen mittatarkkuuden toteamiseen.

Liitetään luotain mitatulle kohdalle kappaleeseen, ja säädetään laite siten, että se näyttää mitattua vahvuutta. Laite on säädetty ja voidaan siirtyä mittaustilaan.

## 5.3 Säättöjen tarkistus

Säättöjen tarkistuksella varmistetaan, etteivät säädöt ole muuttuneet tarkastuksen aikana. Säädöt tarkistetaan

- tarkastusjakson alussa
- tarkastajan vaihtuessa
- virtalähdettä (akkua) vaihdettaessa
- tarkastuksen aikana vähintään joka toinen tunti
- tarkastusjakson lopussa
- aina kun epäillään säättöjen muuttuneen

Jos säädöt ovat muuttuneet, säättäminen on uusittava ja kaikki edellisen tarkistuksen jälkeen mitatut kohdat mitataan ja kirjataan uudestaan.

## 5.4 Säättöjen uusiminen

Säättöjä uusittaessa tehdään kaikki samat toimenpiteet kun säättöjä tehdessä. Laite säädetään uudestaan, kun

- laite vaihdetaan,
- luotain vaihdetaan tai
- kaapeli vaihdetaan
- tarkastettavan kohteen vaihtuessa

Tarkemmat ja yksityiskohtaisemmat ohjeet paksuusmittareiden säättämiseksi saadaan laitevalmistajien käyttöohjekirjoista.

# 6 TARKASTUS

## 6.1 Tarkastuslaajuus

Tarkastuslaajuus sovitaan ennen tarkastuksen aloittamista.



## 6.2 Tarkastuksen suoritus

Tarkastus suoritetaan kytkemällä luotain mitattavaan kohteeseen ja lukemalla mittaustulos laitteen näytöltä.

Maalatulla tai muulla tavalla pinnoitetulla levyllä paksuus mitataan kaiusta kaikuun menetelmällä, jotta pinnoitteen vaikutus mittaustulokseen voidaan poistaa. (Mittaustapa 2)

Mittaustuloksen poiketessa huomattavasti mitattavasta paksuudesta on kohde tarkastettava ultraäänilaitteella mahdollisen sisäisen vian havaitsemiseksi.

## 7 KIRJAAMINEN

Mitatusta kohteesta kirjataan mittaustulos, paikkatiedot ja kohdetiedot.

## 8 RAPORTOINTI

Tarvittaessa tarkastuksesta laaditaan pöytäkirja, johon kirjataan mittaustulokset.

### Muutoshistoria

	Hyväksytty Minna Valkama/Rautaruukki 25.03.2008 08:27:48
Katselmointiväli:	24 kk
Katselmoitu:	01.04.2014
Seuraava katselmointi:	01.04.2016

## PAINELAITTEEN TARKASTUSPÖYTÄKIRJA

Tarkastaja:  
Osasto:

Tarkastuksen päivämäärä:  
Arttu-työ:

Tarkastuksen laji:

Määräaikaistarkastus

Sisäpuolinen

Käyttö

Painekoe

Muu:

Painelaite:

Tyyppi:

Sijainti:

Sallittu min/max käyttöpaine:

Sallittu min/max lämpötila:

Painelaitteen materiaalin sallittu min. paksuusmitta:

Painelaitteen tunnus:

Sisältö:

Tilavuus:

Materiaali:

Painekokeen koepaine:  
Varolaitteen asetuspaine:

Painekokeen väliaine Neste  Kaasu

Mittausmenetelmä:  
Kytkeväaine:  
Vertailukappale:

Mittalaite tyyppi:  
Luotain tyyppi:  
Kalibroinnin pvm:

Tarkastusohje:  
Mittatavat alueet:

Tarkastusväli:

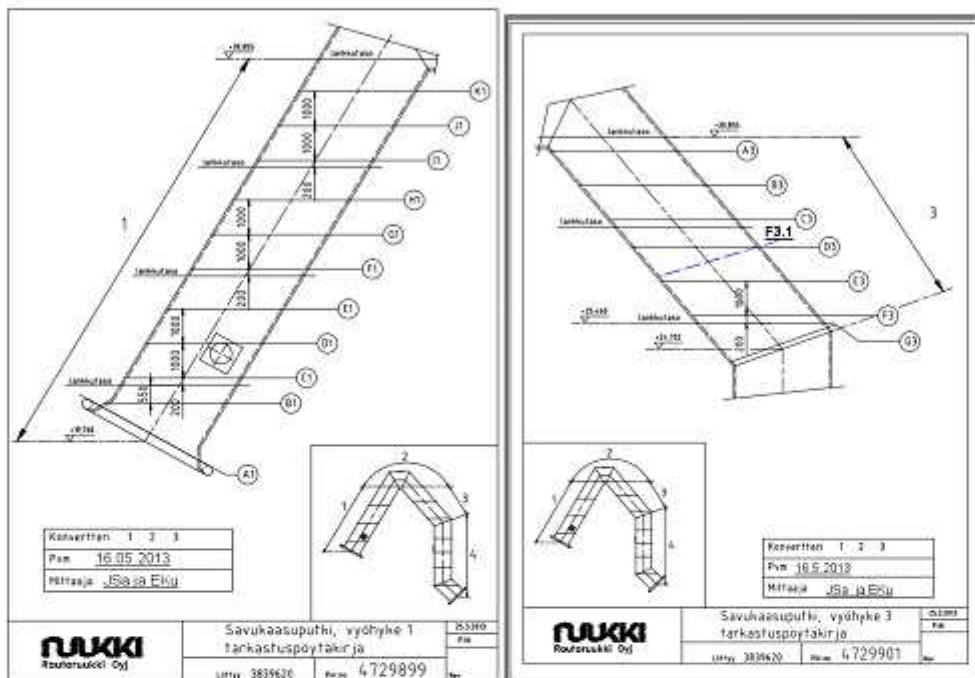
Tarkastajan kommentit ja huomautukset:

Paikka ja päivämäärä:

Tarkastajan allekirjoitus:

MITTAUSTULOKSET

Tarkastuskohteesta tulisi laatia pürustus, jossa nähtäisiin kohteen mittausalueiden jaottelu. Seuraavaksi esitetään esimerkkejä mittausalueiden jaottelu kuvasta.



Seuraavaksi esimerkkejä miten tulisi esittää alueiden mittaukset ja alueista havaitut min. paksuusmitat. Mittaukset olisi hyvä esittää käyttäen taustaväritystä, jotta nähtäisiin arvojen vaihtelut selkeästi ja niiden lukeminen olisi käytännöllisempää.

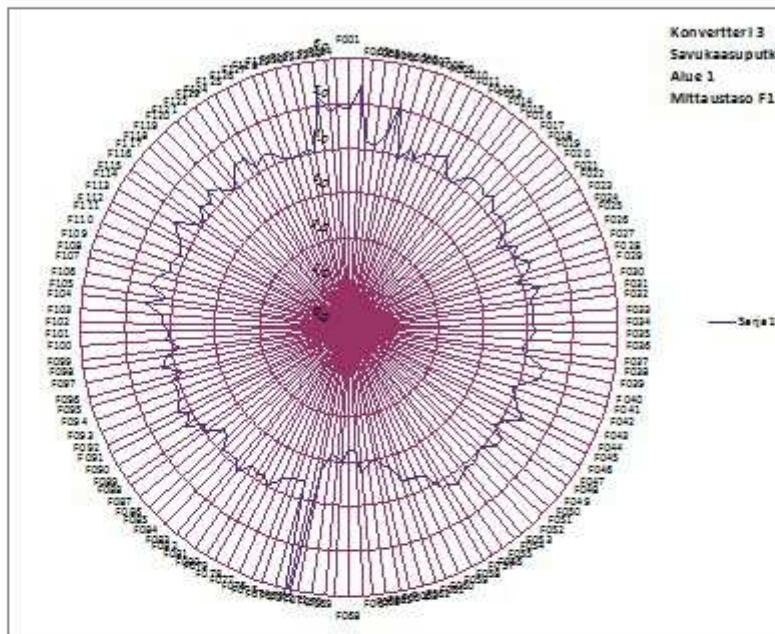
Mittauslinjojen min. paksuudet

A3	Ei mitattu
B3	Ei mitattu
C3	Min. 3,0 mm
D3	Ei mitattu
F3.1	Min. = 3,06 mm
E3	Min. 2,94 mm
F3	Ei mitattu
G3	Min. 1,39 mm

	A	B	C	D			
A001	1,990	B001	2,870	C001	1,780	D001	3,010
A002	3,040	B002	2,750	C002	1,700	D002	2,870
A003	1,840	B003	3,050	C003	2,450	D003	1,850

## HAVAINNOINTI

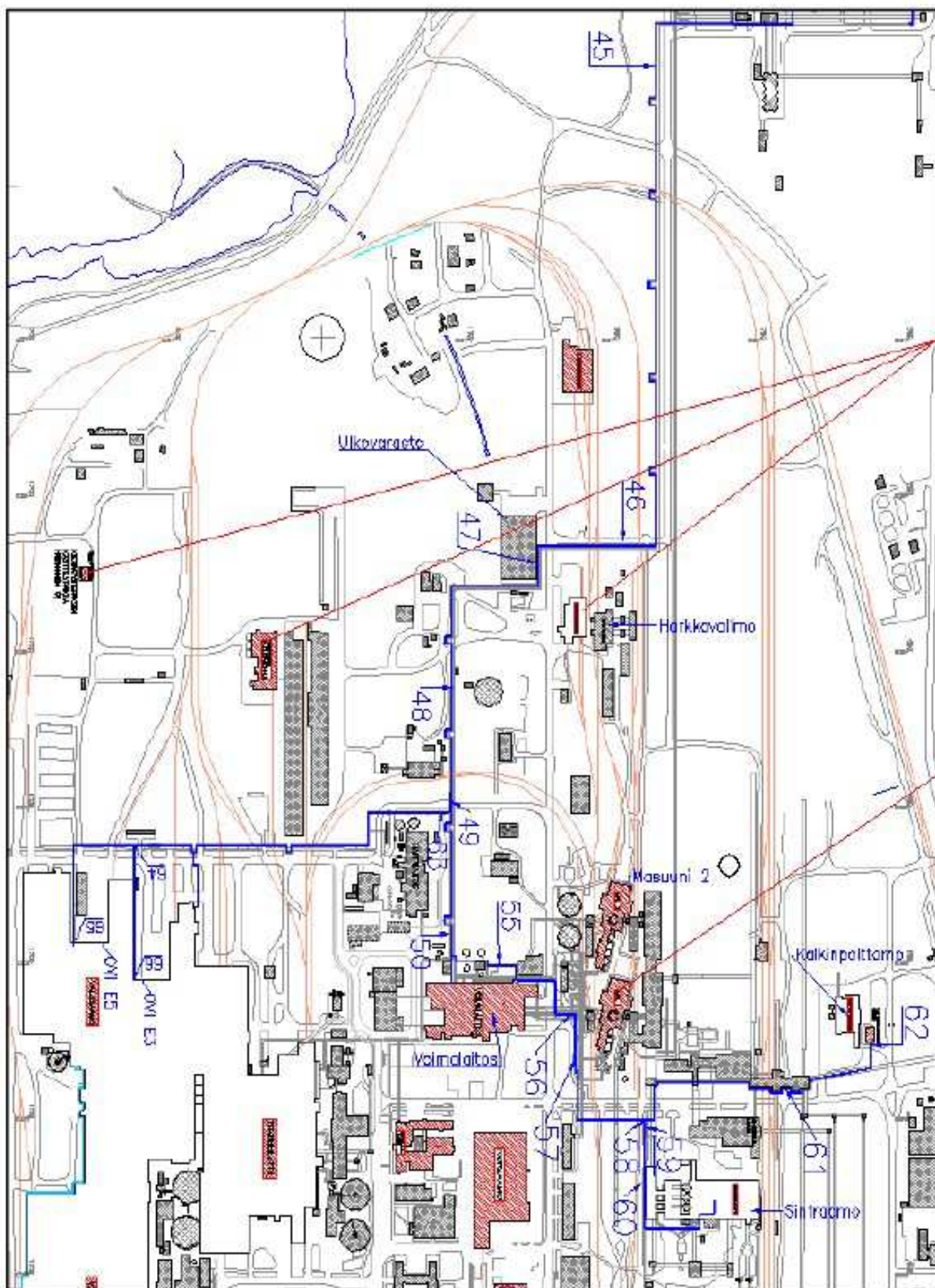
Tässä osiossa esitetään mahdolliset havainnointi diagrammi tai kuva, jossa nähdään alueiden mittatuloksien esiintyminen kohteessa. Seuraavaksi esitellään esimerkkejä tuloksien havainnoista.



Taulukko 1. Koksikaasuputken paksuusmittaustulokset graafisena käyränä, min. 5.26 mm.



TEHDASALUEEN KOKSIKAASUPUTKISTON MITTAUSPISTEET :  
KOKSAAMO – VALSSAAMO - VOIMALAITOS – SINTRAAMO - KALKINPOLTTAMO



KOKSIKAASUPUTKISTON MITTAUSPISTEET : KOKSAAMOALUE

