



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# NDT-TARKASTAJAN TASO 3 -SERTIFIOINTI

## Röntgentarkastus

Antti Niemi



Opinnäytetyö  
Joulukuu 2016

Kone- ja Tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Modernit tuotantotekniikat

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Modernit tuotantotekniikat

NIEMI, ANTTI:  
NDT-tarkastajan taso 3 -sertifiointi  
Röntgentarkastus

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 6 sivua  
Joulukuu 2016

---

Työssä tarkasteltiin NDT-tarkastajan pätevyitymistä tasolle 3. Tarkastelun kohteeksi kaikista NDT-menetelmistä valittiin röntgentarkastus, koska työn teettäjällä on lähiaikoina tarkoitus vahvistaa osaamista erityisesti röntgentarkastuksen osalta. Työ tehtiin Patria Aerostructures Oy:lle. Aerostructures valmistaa komponentteja ilmailuteollisuudelle komposiittimateriaaleista. Ilmailuteollisuudessa toimintaa säädellään paljon erilaisilla standardeilla ja viranomaisohjeilla. Erityisesti tämä koskee tarkastus- ja laadunvalvontatoimintaa. Työn tarkoituksena oli selvittää henkilösertifiointin vaatimuksia ja mahdollisuuksia vaatimusten täyttämiseksi. Tavoitteena oli löytää toteuttamiskelpoinen koulutusohjelma tason 3 sertifiointitentin läpäisemiseksi.

NDT-menetelmäkohtaisten osaamisvaatimusten selvittämiseksi kaikki röntgentarkastusta säätelevät standardit kerättiin yhteen luetteloon. Henkilösertifiointin vaatimukset selvitettiin standardeista EN 4179 ja EN-ISO 7912. Henkilösertifiointin ja tentin rakenteen selvittämisessä oli merkittävänä apuna Inspecta Sertifiointi Oy:n liiketoimintapäällikkö Heikki Myöhänen ja laatupäällikkö Juha Visuri. Koulutusmahdollisuuksia tutkittiin sekä kotimaasta että ulkomailta. Suurin huomio kiinnitettiin kuitenkin Patrian omiin koulutusmahdollisuuksiin.

Työssä selvisi varsin perusteellisesti röntgentarkastuksen vaatimukset sekä toimintaa säätelevät standardit ja asetukset. Pieni yllätys oli NDT-toimintaan vaikuttavien ja sitä ohjeistavien järjestöjen määrä. Kaikkien niiden toiminnan perusteellinen selvittäminen ei ollut mahdollista tämän työn puitteissa. Henkilösertifiointin vaatimusten täyttämiseksi löytyi useita erilaisia vaihtoehtoja. Erityisesti huomioitiin, että Patrian yksiköissä käytetään hyvin laajasti erilaisia NDT-menetelmiä. Tämä antaa erittäin hyvät mahdollisuudet rakentaa koulutusjärjestelmä oman osaamisen varaan.

---

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering  
modern production techniques

NIEMI, ANTTI:  
Certification of NDT-inspector to level 3  
Radiography

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 6 pages  
December 2015

---

The study examined NDT inspector qualification process to level three. The analysis focused on the X-ray inspection of all the NDT methods needed to strengthen the NDT skills especially in the case of X-ray inspection. The thesis was commissioned by Patria Aerostructures Ltd. Aerostructures manufacture components from composite materials for aviation industry. There are a lot of different standards and authoritative norms to regulate the aviation industry. Especially concerning the inspection and quality control activities. The purpose of this thesis was to find out the requirements and opportunities to for personal certification. The aim was to find a viable training program to pass level three certification exam.

To determine the NDT method, specific skill requirements of all the X-ray inspection governed by the standards were collected into one list. The requirements for the personal certification were examined from standards EN 4179 and EN-ISO 7912. Concerning the personal certification and to clarify the structure of the exam, a great deal of help was received from Inspecta Certification Ltd business manager Heikki Myöhänen and quality manager Juha Visuri. Training opportunities were examined in both domestic and abroad. However, the greatest attention was paid to Patria's own educational opportunities.

The requirements of X-ray inspection and all the standards and regulations governing the operation became clear in this study. The amount of organizations that influence and give instructions to the NDT operations was surprising. It was not possible to examine their operations fully in this study so to meet the requirements of the personal certification, a number of different options were found. Special attention was paid to all Patria's departments, where different NDT methods are widely used. This gives them very good opportunities to develop a training system for their expertise.

---

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	10
2	PATRIA YRITYKSENÄ .....	11
3	NDT-TARKASTAJAN PÄTEVYYSTASOT .....	15
	3.1 Tasojärjestelmä .....	15
	3.2 Taso 1.....	15
	3.3 Taso 2.....	15
	3.4 Taso 3.....	16
4	SERTIFIOININ EDELLYTYKSET .....	17
	4.1 Näkökyky.....	17
	4.2 Koulutus.....	17
	4.3 Menetelmäkohtainen NDT-kokemus.....	19
5	SERTIFIOINTITUTKINNON RAKENNE JA VAATIMUKSET TASOLLA 3 .....	20
	5.1 Yleistä .....	20
	5.2 Tason 3 käytännönkoe .....	21
	5.3 Tason 3 perusosa.....	22
	5.4 Tason 3 NDT-erityisosa.....	24
6	RÖNTGENTARKASTUSTARVE PATRIALLA KÄYTÄNNÖSSÄ.....	25
	6.1 Komposiittimateriaalit .....	25
	6.2 Takeet.....	25
	6.3 Putket .....	26
	6.4 Laitteistot .....	26
	6.5 Röntgenkuvaustekniikat.....	26
7	PÄTEVÖITYMINEN SERTIFIOINTITENTTIIN.....	28
	7.1 Pätevöitymismahdollisuudet Patrialla.....	28
	7.1.1 Materiaalit .....	28
	7.1.2 Kuvauslaitteistot.....	29
	7.1.3 Kuvauksen laadunhallinta .....	29
	7.1.4 Muut NDT menetelmät .....	30
	7.1.5 Valmistustekniikka.....	30
	7.2 Koulutus Suomessa.....	30
	7.3 Koulutus ulkomailla.....	31
	7.4 Yhteys AMK opintoihin .....	32

8 POHDINTA.....	34
LÄHTEET .....	37
LIITTEET .....	39
Liite 1. NDT-tarkastuksen röntgen menetelmää säätelevät standardit 1 (6)..	39

## LYHENTEET JA TERMIT

Alkuaine	Alkuaine on aine, jonka kaikilla atomeilla on sama järjestysluku eli yhtä monta protonia (Kemian käsitteitä, n.d.)
ASNT	American Society for Nondestructive testing. Amerikkalainen järjestö joka ylläpitää ja julkaisee NDT henkilösertifiointiin liittyviä standardeja ja ohjeita sekä ylläpitää Amerikkalaista NDT henkilösertifiointijärjestelmää. Aiemmin American Industrial Radium ja X-Ray Society, josta toiminta on laajentunut kattamaan kaiken NDT toiminnan
ASTM	ASTM International, aiemmin the American Society for Testing and Materials. Julkaisee laatustandardeja yli 140 eri teollisuudenalalle (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, n.d.)
Auditointi	Toimenpide, jossa todennetaan miten yrityksen laadunhallinta ja laadunvarmistus täyttävät sille asetetut vaatimukset (Laatu-keskus Excellence Oy, n.d.)
CR järjestelmä	Computed radiography. Digitaalinen radiografiamenetelmä, jossa kuva muodostetaan fosforilevyille ja skannataan tietokoneelle
Digitaalitekniikka	Röntgenkuvaustekniikka, jossa kuvattavasta kohteesta muodostetaan välitallenteelta kuva tietokoneelle tai läpivalaisumenetelmällä suoraan näyttöruudulle
DR järjestelmä	Direct radiography. Digitaalinen radiografiamenetelmä jossa digitaalinen ilmaisipaneli mittaa materiaalia läpäisevää säteilyä ja muodostaa siitä kuvan tietokoneelle
ECNDT	European Conference on Non-Destructive Testing. EFNDT:n järjestämä vuotuinen NDT toimijoiden konferenssi
EFNDT	European Federation for Non-Destructive Testing. Eurooppalaisten kansallisten NDT toimielinten yhteistyöjärjestö. Toimipaikka sijaitsee Brysselissä. Edistää NDT toimintaan liittyvää tutkimusta, kehitystä, koulutusta, sertifiointia ja akkreditointia
Filmitekniikka	Röntgenkuvaustekniikka, jossa kuvattavasta kohteesta muodostetaan kuva erikseen kehitettävälle filmille

Gammakuvauslaitteisto	Röntgenkuvauksiin käytettävä gammasäteilylähteen sisältävä laite, johon kuuluvat säteilylähde (umpilähde), sen suoja-säiliö, käyttölaite, ohjausputki, siirtovaijeri suoja-putkineen sekä tarvittavat lisävarusteet, kuten säteilykeilan rajoittimet (kollimaattorit) ja statiivit. Gammakuvauslaitetta kutsutaan myös isotooppilaitteeksi tai gammaradiografialaitteeksi (Säteilyturvallisuus teollisuusradiografiassa ST 5.6 2012, 11). Gammasäteilylähteellä voidaan myös korvata röntgenputki läpivalaisutekniikassa.
Insertti	Rakenteen sisään asetettu tukikappale. Käytetään yleensä kiinnitysalustana osaan kiinnitettävälle komponentille
Ionisoiva säteily	Suurienergistä säteilyä tai elektroneja, jotka kykenevät ionisoimaan atomin irrottamalla elektronin atomin ulkokuorelta
Isotoopit	Ovat saman alkuaineen atomeja, joilla on erisuuruiset massaluvut. Niiden ytimessä on eri määrä neutroneja (Kemian käsitteitä n.d.)
Kokelas	Henkilö, joka pyrkii hankkimaan pätevyyden ja sertifiointin ja hankkii kokemusta pätevän sertifiointielimen hyväksymän pätevyyden omaavan henkilön ohjauksessa (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 12)
Kontrasti	Kohteen luminanssin ja taustan luminanssin erotuksen suhde taustan luminanssiin (Kurki 2007, 6)
Level	Kts. taso
Menetelmä	Fysikaalisen ilmiön sovellus NDT-tarkastuksessa (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 14)
NANDTB	National Aerospace NDT Board, valvoo ja ohjeistaa ilmailuteollisuuden NDT-toimintaa. Suomessa NANDTB:a edustaa NDTBF (NDT Board Finland), jonka jäseninä ovat Finnair, Trafi, Patria ja GA Telesis Engine Services
NDT	Nondestructive testing. Rikkomaton aineenkoetus (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 8)

Optroniikka	Optinen laite, johon tuodaan elektroniikan avulla joko uusia ominaisuuksia tai vahvistetaan laitteen optisia ominaisuuksia. Esimerkiksi yö käyttöön tarkoitettut pimeänäkölaitteet kuuluvat tähän ryhmään
Pintamenetelmät	Ryhmä NDT-menetelmiä, joissa tarkastetaan kappaleen pinnasta havaittavissa olevia vikoja kuten säröjä. Ryhmään kuuluvat magneettijauhe-, pyörrevirta- ja tunkeumanestetarkastus
Pätevyys	Todisteet fyysisestä edellytyksestä, tiedoista, taidoista, koulutuksesta ja kokemuksesta, jotka vaaditaan NDT-tehtävien asianmukaiseen suorittamiseen (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 14)
Pätevyystutkinto	Sertifiointielimen tai valtuutetun elimen valvonnassa järjestetty tutkinto, jossa todetaan kokelaan yleiset, erityiset ja käytännön tiedot ja taidot (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 14)
Radiografia	Yleisnimitys, joka pitää sisällään kaiken ionisoivan säteilyn avulla kuvan muodossa tarkasteltavan lopputuloksen tuottavat tutkimusmenetelmät
Röntgenlaite	Kuvauksin käytettävä röntgensäteilyä synnyttävä laite, joka sisältää putkiyksikön, muuntajat, verkko- ja suurjännitekaapelit, ohjausyksikön sekä tarvittavat lisävarusteet, kuten säteilykeilan rajoittimet, suodattimet ja statiivit (Säteilyturvallisuus teollisuusradiografiassa ST 5.6 2012, 11)
Sektori	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Erityinen teollisuuden tai teknologian alue, jossa sovelletaan erityisiä NDT-käytäntöjä, jotka vaativat tuotekohtaista tietoa, taitoa, laitteita tai koulutusta</li> <li>2) Tuotesektori kuten hitsatut tuotteet, valut, komposiittimateriaalit jne.</li> <li>3) Teollisuuden haara kuten ilmailuteollisuus, metallinvalmistus jne. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 16)</li> </ol>



Sertifiointi	Sertifiointielimen sertifikaatin julkaisemiseen johtava menettely, jossa todetaan, että tietylle menetelmälle, tasolle ja sektorille määritetyt pätevyysvaatimukset täyttyvät (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevyinti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 12)
Sertifiointielin	Elin tai taho, joka hoitaa sertifiointia määrättyjen vaatimusten mukaan (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevyinti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 12)
Taso	Määrittää numeroarvolla kuinka vaativiin tehtäviin tarkastaja on pätevyity. Taso 1 on alin ja taso 3 ylin mahdollinen
Vertailukuvasto	Vikatyyppien röntgenkuvakokoelma johon on kuvattu jokaisen vikatyypin jokaiselle laatuluokalle tyypillinen vikanäky-mämalli
Vierasmateriali	Osaan vahingossa joutunutta ja rakenteeseen kuulumatonta materiaalia. Esimerkiksi komposiittirakenteissa useimmiten kuitumaton poistamatta jäänyt suojamateriaali
Volumetrinen menetelmä	NDT-menetelmä, jolla voidaan tarkastaa kappaleen kokoluokitus

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan NDT-tarkastajan pätevyysvaatimuksia ja kouluttautumismahdollisuuksia tasolle kolme. Työn teettäjänä oli Patria Aerostructures Oy ja työssä keskityttiin erityisesti ilmailuteollisuuden vaatimuksiin. Tarkastustehtävät on jaettu kolmeen eri tasoon joista taso 3 on korkein mahdollinen. Työ on rajattu kattamaan eri NDT-menetelmistä erityisesti röntgentarkastus, mutta yleisperiaatteiltaan pätevyysvaatimukset ja koulutusmahdollisuudet soveltuvat pääosin myös muihin käytössä oleviin NDT-menetelmiin. Työssä esitetyt viittaukset standardeihin koskevat vain röntgentarkastusta.

Työn tavoitteena on selvittää röntgentarkastajan tason kolme henkilökohtaiset vaatimukset ja tason kolme sertifiointitentin rakenne sekä löytää mahdollinen koulutusreitti sertifiointitentin vaatimusten täyttämiseksi.

NDT-tarkastus on erityisalue, jossa materiaalin tai kappaleen rakenteen vaatimustenmukaisuus selvitetään käyttämällä sellaisia tarkastusmenetelmiä, että tarkastuksen kohde jää ehjäksi ja käyttökelpoiseksi. Tarkastajalle ei ole varsinaisia koulutusohjelmia, vaan pätevyys perustuu henkilösertifiointijärjestelmään. Henkilösertifiointijärjestelmää Suomessa ylläpitää ja sertifiointitentejä järjestää Inspecta Sertifiointi Oy. Tentissä todennetaan, että henkilöllä on riittävät tiedot ja taidot tehtävän suorittamiseksi. Ennen sertifiointitentin suorittamista henkilön tulee hankkia riittävä määrä työkokemusta ja koulutusta. Työkokemuksen ja koulutuksen määrä riippuu sekä tentittävästä menetelmästä että tarkastustasosta. Tässä työssä tarkastellaan näiden vaatimusten täyttämistä röntgentarkastuksen tason kolme saavuttamiseksi.

## 2 PATRIA YRITYKSENÄ

Patria Oyj on puolustus-, turvallisuus- sekä ilmailualan elinkaaren tukipalveluihin ja teknologiaratkaisuihin keskittynyt yhtiö. Patria Oyj:n omistaa 50,1 %:n osuudella Suomen valtio ja 49,9 %:n osuudella Norjalainen Kongsberg Defence & Aerospace AS. Patrialla on toimintaa ja erilaisia hankkeita Suomen lisäksi muun muassa Ruotsissa, Norjassa, Virossa, Puolassa, Arabiemiraateissa, USA:ssa ja Etelä-Afrikassa. Vuonna 2015 henkilöstön määrä Patriassa oli 2806 henkilöä ja liikevaihto oli 427,7 miljoonaa euroa. Liikevaihdosta 69 % tuli Suomesta ja 31 % Suomen ulkopuolelta. Toiminnallisesti Patria jakautuu kuuteen liiketoimintayksikköön. Yksiköt ovat Aerostructures, Aviation, Land, Systems, Millog ja Nammo.



KUVA 1. Patrian tavoitteet ja arvot (Patria n.d.)

Aerostructures-yksikön erikoisosaamista on komposiittirakenteiden suunnittelu ja niiden valmistuksen tehokkaat tuotantoprosessit. Aerostructures valmistaa erilaisista komposiittimateriaaleista komponentteja lentokoneisiin, helikoptereihin satelliitteihin ja tutkiin. Asiakkaina ovat useat Euroopan ilmailu- ja avaruusteollisuuden toimijat.



KUVA 2. Aerostructures toimittaa komponentteja lentokoneisiin ja satelliitteihin (World Aircraft Design 2011 ja Patria n.d.)

Aviationin toimintaan kuuluu ilma-alusten elinkaaren tukipalvelut ja lentäjäkoulutus. Elinkaaren tukipalvelut käsittävät lentokoneiden ja helikoptereiden rakenteen, moottorin ja laitteiden huolto-, korjaus- ja modifiointipalvelut. Lentäjäkoulutusta järjestetään sekä sotilas- että siviili-ilmailualoille. Asiakkaina ovat puolustusvoimat ja siviiliviranomaiset Pohjois-Euroopasta.



KUVA 3. Aviation on suorittanut NH-90 helikopterin kokoonpanoa. Kopterin perärungon on valmistanut Aerostructures (Patria n.d.)

Land yksikön tuotteisiin kuuluu Patria AMV tuoteperhe sekä Patria Nemo 120 mm:n ja AMOS-kranaatinheitinjärjestelmät. Lisäksi Patria toimittaa niihin liittyviä järjestelmäratkaisuja sekä vastaa niiden elinkaaren tukipalveluista. Patria AMV panssaroituja pyöräajoneuvoja on toimitettu muun muassa Suomeen, Ruotsiin, Puolaan, Sloveniaan, Kroatiaan, Arabiemiraatteihin ja Etelä-Afrikkaan. Kranaatinheitinjärjestelmiä on toimitettu Suomeen, Arabiemiraatteihin sekä Yhdysvaltoihin.



KUVA 4. Patria AMV tuoteperhe kuuluu Land yksikön tuotantoon (Patria n.d.)

Systemsin erikoisosaamisalueina ovat tiedustelu-, valvonta- ja johtamisjärjestelmät sekä niiden integrointi, ohjelmistot ja elinkaaren tuki. Järjestelmä- ja laitetöitä tehdään sekä puolustusvoimille että turvallisuusviranomaisille Pohjois-Euroopassa.



KUVA 5. Systems on valmistanut miehittämättömiä lentokoneita (Patria n.d.)

Millog on yhteisyritys, josta Patria omistaa 62 % ja Insta group 38 %. Millog vastaa Suomen maa- ja merivoimien materiaalien kunnossapidosta. Millog valmistaa myös optrooniikkalaitteita, joiden valmistajana se on Pohjoismaiden suurin.



KUVA 6. Millog valmistaa mm. LISA pimeänäkö- ja maalinsoituslaitteistoja. Laitteistot ovat Millogin omaa tuotantoa linssien hiontaa myöden (Army Recognition 2014)

Nammo on puolustusvälinekonserni, josta Patria omistaa 50 % ja Norjan valtio 50 %. Nammon kotipaikka on Raufoss Norjassa. Nammo tuottaa ampumatarvikkeita käsiaseisiin, keski- ja suurikaliiperisiin aseisiin, panssarivaunujen, lentokoneiden ja alusten asejärjestelmiin sekä suorittaa tuotteiden demilitarisointia. Lisäksi tuotteisiin kuuluu rakettimootorit ja niihin liittyvä teknologia. Nammolla on tytäryhtiöt Australiassa, Espanjassa, Kanadassa, Norjassa, Ruotsissa, Saksassa, Suomessa, Sveitsissä ja Yhdysvalloissa.



KUVA 7. Ariane 5 raketti sisälsi moottoritekniikkaa Nammolta (Arianespace 2016)

### **3 NDT-TARKASTAJAN PÄTEVYYSTASOT**

#### **3.1 Tasojärjestelmä**

NDT-tarkastajat on jaettu tarkastajan pätevyuden mukaan tasoille 1-3, joista taso 1 on alin ja taso 3 ylin. Standardit EN-4179 ja SFS-EN ISO 9712 määrittävät kullekin tasolle oikeudet, joiden mukaisia tehtäviä tasolle pätevä henkilö voi suorittaa. SFS-EN ISO 9712 käytetään perusteellisuuden ja käytönaikaisen tarkastuksen tehtävissä. Ilmailuteollisuudessa käytetään standardia EN-4179 European Aviation Safety Agency:n julkaiseman Annex II (PART 145) (2014, 15) vaatimusten mukaisesti. Tasosta käytetään myös usein englannista lainattua termiä level.

#### **3.2 Taso 1**

Tasolle 1 sertifioitu henkilö voi suorittaa tarkastuksia kirjallisten ohjeiden mukaan, jos tarvittaessa on saatavilla tasoille 2 tai 3 sertifioidun henkilön ohjausta. Hän voi laittaa laitteiston toimintakuntoon ja suorittaa ohjeessa kuvattu tarkastus. Tarkastuksen tulokset voidaan kirjata, luokitella ja raportoida kirjallisten ohjeiden mukaan. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 22-24).

#### **3.3 Taso 2**

Tasolle 2 sertifioitu henkilö on pätevä suorittamaan ja raportoimaan ohjeiden mukaisia tarkastuksia itsenäisesti. Hän voi valita käytettävän tekniikan ja määrittellä sovellettavan tekniikan rajoitukset. Tason 2 henkilö voi valvoa laitteistojen toimintakuntoa ja suorittaa tarvittavat kalibroinnit ja tarkastukset. Hän voi laatia tarkastusohjeita soveltaen standardeja ja menettelytapoja, ohjeiden on kuitenkin oltava tasolle 3 pätevidyn henkilön hyväksymiä. Tarkastustulokset voi luokitella ja arvioida soveltaen standardeja ja spesifikaatioita. Henkilö voi valvoa ja opastaa kaikkia tasoilla 1 tai 2 olevia henkilöitä. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 24).

### 3.4 Taso 3

Tasolle 3 sertifioidun henkilön on oltava pätevä johtamaan ja suorittamaan sertifiointinsa mukaista NDT-toimintaa. Hänen on tunnettava valmistus- ja tuotantotekniikat sekä käytettävät materiaalit riittävän hyvin käytännön tasolla, jotta hän pystyy avustamaan hyväksymisrajojen määrittelyssä ja valitsemaan kulloinkin sovellettavat NDT-menetelmät. Tämän vuoksi tasolle 3 sertifioidulla henkilöllä pitää olla hyvät yleistiedot myös muista NDT-menetelmistä. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 24).

Tason 3 henkilöllä pitää olla myös hyvä tuntemus käytettävistä standardeista, spesifikaatioista ja säännöstoistä voidakseen tulkita ja soveltaa niitä sekä vahvistamaan tarkastusohjeet käytettäväksi. Henkilö voi myös valvoa ja opastaa kaikille tasoille sertifioituja tarkastajia. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 24).

Tason 3 henkilö voidaan valtuuttaa ottamaan täysi vastuu kaikista tarkastuslaitteistoista ja –henkilöistä. Hänen on myös kyettävä määrittämään ja antamaan koulutusta sekä laatimaan tutkintoja alemman tason tarkastajille. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 24).



## 4 SERTIFIOININ EDELLYTYKSET

### 4.1 Näkökyky

Kokelaan on esitettävä ennen pätevyystutkintoa kirjallinen todistus tyydyttävästä näkökyvystä vähintään toisessa silmässä joko ilman laseja tai lasien kanssa. Jos näkökykyvaatimusten täyttymiseen tarvitaan lasit, on siitä oltava maininta todistuksessa. Näkökyvylle esitetään vaatimukset sekä lähinäkökyvylle että värinäkökyvylle. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 32).

Lähinäkökyvyn on oltava vähintään toisen silmän osalta niin hyvä, että kokelas kykenee tunnistamaan vähintään 30 cm:n etäisyydeltä joko Jäger-taulun nro 1 tai Times Roman N 4,5 tekstiä tai vastaavia kirjaimia joiden korkeus on 1,6 mm. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 32).

Värinäkökyvyn on oltava sellainen, että kyetään tunnistamaan työnantajan käyttämissä NDT-menettelmissä esiintyvien harmaasävyjen ja värisävyjen kontrastit. Yleensä tämä todennetaan Ishihara-testillä, jossa pyritään erottamaan värikkäistä palloista muodostuvia kuvioita. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 32).

### 4.2 Koulutus

Jokaiselle tasolle ja NDT menetelmälle esitetään koulutuksen minimivaatimukset standardissa EN 4179. Vaatimukset perustuvat kokelaan aiemmin hankkimiin tietoihin ja taitoihin materiaaleista, prosesseista ja matematiikasta. Harkintansa mukaan sertifiointielin voi asettaa koulutukselle lisävaatimuksia. Soveltuvaksi koulutus pohjaksi katsotaan tekniikan tai tieteen opinnot teknisessä koulussa, korkeakoulussa tai yliopistossa. (prEN 4179:2014, 9) Kaikista koulutuksista on esitettävä sertifiointielimelle hyväksyttävä todistus (prEN 4179:2014, 40).

Röntgenmenetelmän kohdalla koulutuksen minimivaatimukset sertifioitavasta menetelmästä ovat 40 tuntia sekä tasolle 1 että 2, jos sertifiointi koskee joko filmikuvaustekniikkaan tai digitaalikuvaustekniikkaan. Jos sertifiointia haetaan molemmille tekniikoille, on koulutusvaatimus 60 tuntia molemmille tasoille. (prEN 4179:2014, 16)

Tasolla kolme vaadittavan NDT-menetelmäkohtaisen koulutuksen määrä riippuu kokeeseen tekniikan alan peruskoulutuksesta. Mikäli kokelaalla ei ole tekniikan alan peruskoulutusta, vaadittava menetelmäkohtaisen koulutuksen määrä on 80 tuntia. Jos kokelaalla on vähintään kahden vuoden opinnot teknillisestä koulusta, korkeakoulusta tai yliopistosta on menetelmäkohtainen koulutusvaatimus 60 tuntia. Vähintään neljän vuoden edellä mainittujen opintojen jälkeen tarvittava menetelmäkohtainen koulutus on 40 tuntia. (prEN 4179:2014, 21)

Yleensä kelpuutus hankitaan siten, että edetään alemmalta tasolta ylemmälle. Tällöin koulutustunnit kertyvät aina saavutettujen tasojen mukana. Kelpuutus voidaan kuitenkin hankkia myös suoraan halutulle ylemmälle tasolle. Tällöin koulutustuntivaatimus on halutun tason ja alempien tasojen summa. (prEN 4179:2014, 16)

Tason 3 vastuiden mukaan pitää kokelaalla olla riittävät tiedot ja taidot myös muista NDT-menetelmistä (prEN 4179:2014, 15). Tällöin on usein tarpeen lisätä koulutustunteja muiden NDT-menetelmien kohdalla. Muiden menetelmien kohdalla koulutukselle ei kuitenkaan ole asetettu määrällisiä vaatimuksia, mutta tietämys on osoitettava tason 3 perustentissä. Muiden menetelmien tietämys tulee kattaa vähintään kaikki työssä käytettävät NDT menetelmät. Jos myöhemmin otetaan käyttöön uusia menetelmiä, on tietämys osoitettava laajennustentillä.

Harjoittelun kestoon voidaan kaikilla tasoilla myöntää enintään 50 %:n vähennys, jos kokelaalla on vähintään kahden vuoden opinnot tai tutkinto insinööri-, teknisen alan-, korkeakoulu-, tai yliopisto-opinnoista. Vähennys voidaan antaa myös toisen menetelmän kohdalla, mikäli kokelaalla on aiemmin suoritettuja voimassa olevia sertifiointeja muista menetelmistä. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 28).

### 4.3 Menetelmäkohtainen NDT-kokemus

Kokelaan on hankittava standardin EN 4179 määrittämä minimi käytännön kokemus ennen sertifiointitutkintoa. Käytännön kokemus on dokumentoitava tason 3 henkilön toimesta ja kyettävä todentamaan auditoinneissa (prEN 4179:2014, 19).

Röntgentarkastuksen kohdalla kokemuksen minimivaatimukset ovat 200 tuntia tasolla 1 ja 600 tuntia tasolla 2, kun sertifiointia haetaan joko filmitekniikalla tai digitaalitekniikalla. Jos Sertifiointin tavoitteena on molemmat tekniikat, ovat harjoitteluajat 220 tuntia tasolla 1 ja 780 tuntia tasolla 2. (prEN 4179:2014, 19) Aika tarkoittaa sitä kokemuksen hankinta-aikaa, joka kokelaan on työskenneltävä alemmalla tasolla ennen kuin hän saapuu sertifioidun tason mukaiseen tenttiin. Kokelas voidaan sertifioida myös suoraan jollekin ylemmälle tasolle. Tällöin kokemusvaatimus on sertifioidun tason ja sitä alempien tasojen kokemuksen summa. (prEN 4179:2014, 19)

Tasolle 3 vaadittava kokemus riippuu kokelaan aiemmasta tekniikan alan koulutuksesta. Jollei kokelaalla ole aiempia tekniikan alan opintoja, hänen pitää toimia tason 2 vaatimusten mukaisessa tehtävässä neljä vuotta ennen sertifiointia tasolle 3. Jos kokelaalla on vähintään kahden vuoden tekniikan alan opinnot teknillisessä koulussa, korkeakoulussa tai yliopistossa, vaaditaan häneltä kahden vuoden NDT kokemus tason 2 vaatimusten mukaisessa tehtävässä. Jos kokelaalla on 3-4 vuoden opinnot tiede- tai tekniikan alalta vaaditaan häneltä vähintään yhden vuoden kokemus tason 2 vaatimusten mukaisessa tehtävässä. (prEN 4179:2014, 20).

## 5 SERTIFIOINTITUTKINNON RAKENNE JA VAATIMUKSET TASOLLA 3

### 5.1 Yleistä

Menetelmäkohtainen tason 3 tutkinto koostuu kolmesta osasta. Tutkinnossa suoritetaan tason 2 käytännön koe, perusosa ja NDT-menetelmäkohtainen koe. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 36-38). Tutkinnon kaikki osat arvioidaan erikseen ja jokaisesta osasta on saavutettava vähintään 70 % maksimipisteistä ja kaikkien osien tulosten keskiarvo on vähintään 80 %. Kokelaan on läpäistävä kaikki osat ollakseen sertifiointikelpoinen. Osatutkintojen tulokset ovat voimassa viisi vuotta, jona aikana sertifiointi on saatettava päätökseen. (prEN 4179:2014, 24).

Sertifiointia voidaan hakea jollekin yksittäiselle tuotesektorille tai kokonaiselle teollisuussektorille. Erityisosan koetehtävät valitaan halutun sektorin mukaiseen alaan kuuluviksi. Kokelas voi halutessaan suorittaa yhdessä erityisosan kokeessa useita eri tuotesektoreita. Jos myöhemmässä vaiheessa halutaan sertifikaattiin lisätä uusia tuotesektoreita, on niiden osalta suoritettava halutun sektorin mukainen erityisosan koe. Perusosaa ei tarvitse suorittaa, mikäli sen suorittamisesta on kulunut aikaa enintään viisi vuotta. Mahdolliset tuotesektorit ovat (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 50):

- Valut
- Takeet
- Hitsatut tuotteet
- Putket
- Muokatut tuotteet pl. takeet
- Komposiittimateriaalit

Jos halutaan teollisuussektorin mukainen sertifiointi, valittavissa on seuraavat sektori- vaihtoehdot (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 50):

- Metallin valmistus
- Laitteiden, laitosten ja rakenteiden valmistuksen- ja käytönaikainen tarkastus
- Rautateiden ylläpito
- Ilmailuteollisuus

Yleensä teollisuussektori koostuu useista eri tuotesektoreista, joiden mukaiset tuotteet ovat yleisiä kyseisellä teollisuuden alalla. Esimerkiksi metallin valmistus sektoriin kuuluu kaikki muut tuotesektorit paitsi komposiittimateriaalit. Ilmailuteollisuudessa määrittelyn tekee alemmille tasoille tason 3 tarkastaja ja tasolle 3 NANDTB. Ilmailuteollisuudessa saattaa esiintyä mihin tuotesektoriin tahansa kuuluvia tarkastuskohteita, joten sertifiointissa on valmistauduttava vastaamaan kaikkien tuotesektorien mukaisiin kysymyksiin. (Heikki Myöhänen 2016). Tehtävät tukeutuvat kyseisten tuotesektorien tarkastustoimintaa sääteleviin yleisiin standardeihin (Liite 1.).

## 5.2 Tason 3 käytännönkoe

Kokeessa kokelas määrittelee käytettävän NDT-tekniikan sekä valitsee laitteet ja määrittää laiteparametrit (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 34). Tarkastus suoritetaan valitun tekniikan mukaan ja tulokset kirjataan, tulkitaan sekä raportoidaan vaaditussa laajuudessa. Koe on vastaava kuin tason 2 käytännönkoe, eikä sitä välttämättä tarvitse suorittaa tason 3 tutkinnon yhteydessä, mikäli kokelaalla on voimassa oleva tason 2 sertifiointi halutun mukaiselta teollisuus- tai tuotesektorilta. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 36).

Käytännöntesti suoritetaan yleisesti käytössä olevilla röntgen- tai gammakuvauslaitteistoilla sertifiointielimen antamien ohjeiden ja standardien mukaan. Käytetty kuvausmenetelmä voi olla joko filmi- tai digitaalitekniikkaa soveltava tai molempia, jolloin standardin

vaatimukset koulutukselle ja kokemuksella ovat hieman korkeammat. Tarkastus suoritetaan kahdelle testikappaleelle, joka sisältää yhden tai useampia osan valmistusmenetelmälle tyypillisiä vikoja. Mikäli sertifiointi suoritetaan jollekin tietylle tuotesektorille, on koekappale tuotesektorin mukainen. Esimerkiksi komposiittisektorin kokeessa käytetään jostain komposiittimateriaalista valmistettua kappaletta. Mikäli sertifiointia haetaan teollisuussektorille, voi kohteena olla mikä tahansa teollisuussektoriin kuuluva tuote. Esimerkiksi ilmailusektorin mukaisessa sertifiointissa voi kyseeseen tulla valu-, hitsi-, tae- tai komposiittirakenne. Tarkastuksen tulos tulkitaan rakenteeseen liittyvien standardien ja säännösten mukaan sekä kaikki viat raportoidaan. Lisäksi tarkastuksesta on laadittava annettujen ohjeiden ja standardien kanssa yhdenmukainen tarkastusohje. (prEN 4179:2014, 23)

### 5.3 Tason 3 perusosa

Kokeessa arvioidaan kokelaan perusasioiden tietämys NDT-menetelmästä, johon sertifiointia haetaan (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 36). Koe suoritetaan kirjallisesti ja koostuu vähintään 95 kysymyksestä. Kysymyksistä 25 kohdennetaan materiaali- ja tuotantotekniikkaan, 10 standardin mukaiseen pätevänti- ja sertifiointijärjestelmään sekä 60 kysymystä vähintään neljän eri NDT-menetelmän yleistietojen testaamiseen. (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012, 38). Mikäli pätevänti suoritetaan standardin EN 4179 mukaan ja kokelaalla on voimassa oleva ASNT tai EN 9712 mukainen sertifiointi tasolla 3, se voidaan katsoa tyydyttäväksi näytöksi, että standardin EN 4179 vaatimukset täyttyvät perusosan kohdalta. (prEN 4179:2014, 22). Perusosa suoritetaan vain kerran, riippumatta siitä, mille menetelmälle pätevyttä haetaan.

40 kysymystä kohdennetaan siihen menetelmään, johon sertifiointia haetaan. Tässä osiossa testataan kokelaan tietämys laitteistoista, kuvaustavoista ja -menetelmistä, standardien tuntemuksesta, kuvausprosessin laadunvalvonnasta ja säteilyn käyttöön liittyvästä matematiikasta. Jos sertifiointia ollaan hakemassa filmimenetelmään, myös filmijärjestelmät, filmien kehitys ja kehitysprosessin laadunvalvonta kuuluu tähän osioon. Kaikki röntgentarkastusta määrittelevät standardit on lueteltu liitteessä 1.

Tähän osioon vaikuttava merkittävin tekijä on kuvausmenetelmä, joka voi olla joko filmikuvaus- tai digitaalikuvausmenetelmä. Molemmat menetelmät määritellään tarkemmin omissa standardeissaan. Filmikuvausmenetelmän pääosat määritellään standardissa SFS-EN ISO 5579. Lisäksi filmikuvaukseen liittyy myös filmijärjestelmiä ja filmin kehitystä määrittävät standardit SFS-EN ISO 11699-1 ja SFS-EN ISO 11699-2 sekä filmin tarkastelua määrittävä standardi SFS-EN 25580. Digitaalitekniikka määritellään standardeissa SFS-EN 14784-1 ja SFS-EN 14784-2. Standardit käsittelevät metallien röntgentarkastuksia. Ilmailuteollisuussektorin tai komposiittimateriaalien tuotesektorin mukaisessa sertifiointikokeessa on kyettävä käyttämään ja soveltamaan näitä standardeja komposiittimateriaaleille. Digitaalitekniikan standardit SFS-EN 14784-1 ja SFS-EN 14784-2 käsittelevät vain fosforilevykuvausta, mutta kuva voidaan tuottaa myös digitaalisella detektoripanelilla. Tällöin standardia on käytännön tehtävissä kyettävä soveltamaan molemmille menetelmille. Sertifiointitilanteessa voidaan käyttää vain fosforilevy menetelmää, koska digitaalipanelille ei vielä standardia ole. Tämä johtuu digitaalitekniikan nopeasta kehitymisestä viime aikoina ja standardien valmistaminen ei ole pysynyt aivan samassa vauhdissa. Esimerkiksi Patrialla on käytössä molempia menetelmiä. Patria Aviation käyttää fosforilevy menetelmää ja Patria Aerostructures digitaalipanelia.

Kuvan tuottamiseen tarvittava säteily voidaan tuottaa neljällä erityyppisellä laitteistolla. Jokaiselle näistä on omat soveltuvuusalueensa ja rajoitteensa. Yleisimmin käytössä on joko röntgenputki tai gammakuvauslaitteisto. Näiden ohella käytössä voi olla myös lineaarikiihdytin, betatroni tai mikrotroni. Patrialla näistä käytetään vain röntgenputkea.

Säteilymatematiikan osalta eri menetelmät ja laitteistot ovat hyvin samankaltaisia. Poikkeuksen tähän tekee kuitenkin gammakuvauslaitteisto. Gammakuvauslaitteistossa säteily tuotetaan alkuaineen luonnollisesti säteilevällä isotoopilla. Yleisimmin on käytössä Iridium-192, Koboltti-60 tai Seleen-75. Näiden kohdalla on tunnettava myös radioaktiivisen materiaalin hajoamiseen liittyvä matematiikka.

Tässä osiossa testataan myös perustiedot muista NDT-menetelmistä. NDT-menetelmiä ja tekniikoita on kaikkiaan n. 240, joissa jokaisessa sovelletaan eritavoin jotain fysikaalista ilmiötä (Thomas Åström 2016). Standardi EN-4179:2014 (2014, 4) sisältää näistä seitsemän ilmailuteollisuudessa yleisimmin käytettyä menetelmää: Pyörrevirta-, magneettijauhe-, tunkeumaneste-, radiografia- (röntgen), ultraääni-, termografia- ja shearografia-

menetelmät. Patrialla näistä menetelmistä on käytössä kuusi ensin mainittua. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että perusosan kokeessa tullaan esittämään kysymyksiä näistä kuudesta Patrialla käytössä olevasta menetelmästä. Kaikki menetelmät on tunnettava niin hyvin, että kyetään tunnistamaan eri menetelmien soveltuvuus sekä rajoitukset ja valitsemaan haluttuun tarkastukseen parhaiten soveltuva menetelmä.

#### **5.4 Tason 3 NDT-erityisosa**

Koe voi olla avoin, jolloin tarvittava lähdemateriaali saa olla käytettävissä ja on myös kirjallinen. Se sisältää sertifioitavasta NDT-menetelmästä 30 kysymystä, jotka kattavat sellaiset spesifikaatiot, toimintatavat, laitteet ja tarkastustekniikat joita tarvitaan suorittamaan työnantajan määrittämiä tehtäviä. Referenssimateriaali on oltava määriteltynä ja vaatimuksena on ymmärtää materiaalin sisältö eikä vain löytää tarvittavan tiedon sijainti. (prEN 4179:2014, 22)

Hitsaus-, putki- ja valutarkastukset on jokainen säädelty omilla standardeillaan, joissa kuvataan tarkastustekniikat ja virheiden luokittelut (Liite 1.). Virheiden luokitteluun liittyy myös ASTM vertailukuvastot. ASTM vertailukuvastoissa on röntgenkuvat erilaisista tyyppivirheistä ja niiden laatuluokista. Komposiittimateriaalien tuotesektorille ei omaa standardia ole, mutta siihen on kyettävä soveltamaan metallien kuvaukseen tarkoitettuja standardeja.

Ilmailuteollisuuden teollisuussektorin mukaiseen sertifiointiin ei ole myöskään dokumentoitua määrittelyä mistä tuotesektoreista sertifiointitentti koostuu. Tuotesektorit huomioidaan kulloinkin kyseessä olevan yrityksen tarpeiden mukaan. Tentin koostamisen suorittaa NANDTB:n nimeämä tason 3 tarkastaja, joka ei voi olla suorassa esimiessuhteessa kokelaaseen. Nimetty tarkastaja toimii myös asiantuntijana tentin tarkastamisessa. (Heikki Myöhänen 2016). Patrialla kyseeseen tulevat ainakin komposiittimateriaalit, taakkeet ja putket. Komposiittimateriaalien tarkastusta suoritetaan Aerostructures ja Aviation Halli yksiköissä. Muokattuja tankoja tarkastetaan Aviation Halli yksikössä ja putkia Aviation Linnavuori yksikössä.



## 6 RÖNTGENTARKASTUSTARVE PATRIALLA KÄYTÄNNÖSSÄ

### 6.1 Komposiittimateriaalit

Komposiittimateriaaleja tarkastetaan sekä Patria Aerostructures että Patria Aviation/Halli yksiköissä. Aerostructures valmistaa ilmailuteollisuuden komponentteja komposiittimateriaaleista. Tarkastustoiminnassa etsitään valmistuksen aikaisia vikoja. Tarkastuksen kohteina on yleisimmin vierasmateriaalit, kennovirheet, liimasaumat ja insertit. Aviation suorittaa huoltotoimintaan liittyviä käytönaikaisia tarkastuksia. Tarkastuskohteina ovat liima- ja tiivistesaumat, kennot ja niihin kulkeutunut vesi, erilaisten kolhujen ja iskujen aiheuttamat vauriot.

Komposiittien tarkastusta säätelevää standardia ei ole, mutta siihen sovelletaan metallien tarkastukseen luotuja standardeja. Lisäksi valmistajilla on käytössään omia standardeja, joiden soveltuvuus on varmistettava tapauskohtaisesti. Tarkastusta ohjeistettaessa ja suoritettaessa on tunnettava osan rakenne, valmistusmenetelmät ja vikaantumistavat, jotta voidaan määrittellä oikeat tarkastustekniikat ja toimintatavat.

### 6.2 Takeet

Patria Aviation/Halli yksikössä tarkastetaan takeisiin luettavia tankomaisia tukirakenteita. Tarkastuksissa etsitään käytönaikaisia vikoja kuten säröjä ja murtumia. Tarkastusta ohjeistettaessa ja suoritettaessa on tunnettava tankoon vaikuttavat voimat ja vikaantumistapa eli onko kyseessä rasituksen aiheuttama vaurio vai hetkellisen pistemäisen kuorman (esim. isku) aiheuttama vaurio, jotta voidaan arvioida vian mahdollinen sijainti ja suunta oikeiden tarkastustekniikoiden määrittämiseksi. Näitä tarkastuksia suoritetaan myös pyörrevirtamenetelmällä.

### 6.3 Putket

Patria Aviation/Linnavuori yksikössä tarkastetaan lentokoneen moottoreihin liittyviä polttoaine- ja hydraulikkaputkia. Tarkastuksissa etsitään käytönaikaisia vikoja kuten säröjä, murtumia ja vuotoja. Oikeiden tarkastustekniikoiden määrittämiseksi on vikatyypit ja vikaantumiseen johtaneet tekijät tunnistettava. Putkien tarkastusta säädellään standardeilla SFS-EN 10893-6 ja SFS-EN 10893-7.

### 6.4 Laitteistot

Tarkastettavat materiaalipaksuudet ovat melko ohuita ja varsinkin komposiittimateriaalit läpäisevät säteilyä hyvin helposti. Röntgentarkastuksiin riittää hyvin pienienergiset säteilylähteet. Säteilylähteinä käytetään pienienergisii röntgenputkia, joiden kiihdytysjännitteet ovat enimmillään 100 kV. Tehokkaampien säteilylähteiden käyttöön ei ole ollut tarvetta.

### 6.5 Röntgenkuvaustekniikat

Aerostructures käyttää pääosin suoraa digitaalikuvaustekniikkaa jossa röntgenkuva tuotetaan kuvauskohteelta digitaalisella detektoripaneelilla suoraan tietokoneen näytölle. Aerostructuresilla on myös valmius ottaa käyttöön filmikuvaustekniikka, joka tällä hetkellä toimii lähinnä varatekniikkana digitaalitekniikan häiriöiden varalta. Filmikuvaus määritetään standardissa SFS-EN ISO 5579. Lisäksi on huomioitava mitä eri standardit määrittelevät filminkehitysprosessista sekä filminkatselulaitteesta ja -olosuhteista. Suoralle digitaalikuvaustekniikalle ei ole omaa standardia, mutta siinä on otettava huomioon soveltuvien osien mitä digitaalisesta fosforilevykuvauksesta määrätään.

Aviation käyttää digitaalista fosforilevytekniikkaa. Tässä tekniikassa kuva tuotetaan fosforilevyille, jolta se skannataan erityisellä tähän tarkoitukseen valmistetulla skannerilla tietokoneelle. Tämän tekniikan vaatimukset määritetään standardissa SFS-EN 14784-1 ja SFS-EN 14784-2.



## 7 PÄTEVÖITYMINEN SERTIFIOINTITENTTIIN

### 7.1 Pätevöitymismahdollisuudet Patrialla

#### 7.1.1 Materiaalit

Patria Aerostructures yksikössä on erinomaiset mahdollisuudet hankkia kattava kokemus komposiittimateriaalien röntgentarkastuksiin. Tuotanto-ohjelmassa on kattava valikoima erilaisia kuitukomponentteja, kuitujen yhdistelmiä, kenno sandwich rakenteita ja kuitu-metalliyhdistelmiä. Kaikki osat eivät tule röntgentarkastukseen, koska niille saattaa olla määritelty vain ultraäänitarkastus, joten niiden tarkastuksia pitäisi kyetä järjestämään normaalin tuotanto-osien tarkastuksen lomaan. Tämän kaltaiset lisätarkastukset pitäisi huomioida kuten todelliset tarkastuskohteet jolloin niille tulisi valmistaa tarkastus- ja kuvausohjeet. Tällöin saataisiin kokemusta alan standardeista ja asiakasvaatimuksista sekä ohjeiden valmistamisesta joka on oleellinen osa tason 3 sertifiointitestiä. Harjoitukset tulisi suorittaa Patrian röntgen tason 3 henkilön ohjauksessa jolloin tulisi varmistettua, että on kyetty huomioidaan kaikki tarkastuksiin vaikuttavat tekijät. Tasolle 3 pätevöityvää henkilöä tulisi myös mahdollisuuksien mukaan pitää mukana uusien tuotantoon tulevien osien aloitusprosesseissa. Tällä saataisiin parannettua myös valmistustekniikoiden tietämystä, joka on myös tason 3 sertifiointivaatimuksissa. Tämän kaltaista perehdytystä voidaan järjestää valmistussuunnittelijoiden toimesta jo tuotannossa olevillakin osilla, mikäli uusia komponentteja ei ole tuotanto-ohjelmaan tulossa.

Patria Aviation yksikössä voidaan hankkia kokemusta takeiden ja putkien tarkastuksesta. Näiltä osin tarkastustoiminta on kuitenkin hiukan suppea, koska se keskittyy lähinnä käytön aikaisten vikojen etsimiseen. Tällöin kyseeseen tulevat lähinnä säröt ja syöpymät. Perehdyttämisessä tulisikin huomioida näitä tarkastuksia määrittelevät standardit ja suorittaa myös näille osille soveltuvia lisätarkastuksia riittävän laajan kokemuksen varmistamiseksi.

Suurimpana puutteena on hitsien ja valujen puuttuminen tarkastusohjelmista. Näihin perehtyminen voidaan suorittaa vain teoria tasolla tason 3 henkilön ohjauksessa. Apuna voidaan käyttää alan standardeja sekä ASTM:n vertailukuvastoja.

### 7.1.2 Kuvauslaitteistot

Patrialla on varsin hyvät mahdollisuudet saada riittävä kokemus laitteistoista, joissa säteilylähteenä käytetään röntgenputkea. Aerostructures yksikössä on mahdollisuus filmikuvaukseen, vaikka tällä hetkellä se ei olekaan aktiivisessa käytössä. Se antaa kuitenkin mahdollisuuden tutustua filmijärjestelmiin ja filmikuvauksen erityispiirteisiin. Myös kehitysprosessi ja sen laadunvalvontaan voidaan saada riittävä kokemus. Tarkastustehtävissä on kuitenkin huolehdittava, että filmikuvauksen erityispiirteisiin suhtaudutaan riittävällä kattavuudella. Esimerkiksi valotusarvotaulukoiden laatiminen ja filmijärjestelmien muutoksiin liittyvät toimet on huomioitava vaikka normaalissa toiminnassa niihin ei tarvetta olisikaan.

Kahdesta käytössä olevasta digitaalijärjestelmästä Patrialla on käytössä molemmat. Aerostructures käyttää DR järjestelmää ja Aviation CR järjestelmää. Näihin järjestelmiin ja kuvauksen laadunhallintaan voidaan hankkia riittävä kokemus Patrian tason 3 henkilön ohjauksessa.

Kun tavoitellaan laajaa kokemusta radiografiasta, laitteistojen merkittävin puute on gammaradiografian puuttuminen. Gammalaitteisto on yleisesti käytössä metallien tarkastuksissa silloin, kun tarvitaan röntgenputkea suurempaa materiaalin läpäisykykyä. Ilmailuteollisuudessa röntgenputket ovat kuitenkin riittävän tehokkaita. Edelleen suurempaa läpäisykykyä vaadittaessa voidaan käyttää myös mikrotronia, betatronia tai lineaarikiihdytintä. Nämä ovat kuitenkin niin harvinaisia teollisuuskäytössä, että niistä riittää toiminta-periaatteen ymmärtäminen teoriassa.

### 7.1.3 Kuvauksen laadunhallinta

Kuvauksen laadunhallintaa säädellään useilla eri standardeilla. Laitteiston osalta tärkeimmät standardit liittyvät kuvan terävyyden hallintaan ja säteilylähteen kunnan tarkistukseen. Terävyyttä hallitaan pääosin oikealla kuvaustekniikalla ja kuvausgeometrialla. Säteilylähteen kunnan tarkistukseen liittyvät standardit määrittelevät putkijännitteen mitauksia ja focuksen koon määrittämisen. Näistä focuksen koolta on vaikutusta myös kuvan

terävyyteen. Useat näistä tekijöistä tulisi tutuksi, jos tarkastuksia suoritettaisiin vaihtuvissa olosuhteissa. Patrialla kuvaukset suoritetaan stabiileissa laboratorio-olosuhteissa, jolloin näiden vaikuttavien tekijöiden arviointi jää hyvin vähäiseksi. Näihin vaatimuksiin perehtyminen voidaan suorittaa oman tason 3 pätevyyden omaavan henkilön toimesta.

#### **7.1.4 Muut NDT menetelmät**

Standardin vaatimusten mukaan tason 3 henkilöllä on oltava riittävä käytännön tuntemus myös muista NDT menetelmistä. Patrialla on käytössä viisi erilaista NDT menetelmää, radiografia-, ultraääni-, magneettijauhe-, pyörrevirta- ja tunkeumanestemenetelmät. Näihin menetelmiin tutustuminen voidaan suorittaa yrityksen sisäisillä koulutusmenetelmillä oman tason 3 pätevyyden omaavan henkilön ohjauksessa. Aviation yksikössä käy tarvittaessa, yleensä 1-2 kertaa vuodessa, VTT:n tarkastaja suorittamassa termografia tarkastuksia. Standardin edellyttämistä menetelmistä jää kattamatta vain shearografia. Shearografia on kuitenkin varsin uusi tarkastusmenetelmä ja sen soveltaminen käytäntöön on vielä varsin suppealla tasolla, joten menetelmän ymmärtäminen teoriassa on todennäköisesti riittävä taso.

#### **7.1.5 Valmistustekniikka**

Patrialla valmistetaan hyvin laajasti kuitukomposiittikomponentteja erilaisilla valmistustekniikoilla. Niiden valmistustekniikkaan perehtyminen voidaan helposti toteuttaa omien valmistussuunnittelijoiden toimesta. Metallit ovat kuitenkin vielä merkittävä osa tarkastustehtäviä ja siksi niiden merkitys korostuu myös sertifiointitenteissä. Ongelmaksi saattaa muodostua se, ettei Patrialla valmisteta ilmailuteollisuuden metalliosia. Metallien tarkastamisen erityispiirteistä voidaan kyllä hankkia kokemusta myös muillakin kuin ilmailuteollisuuden komponenteilla.

### **7.2 Koulutus Suomessa**

Suomessa on kaksi varsinaista koulutusorganisaatiota, jotka järjestävät NDT koulutusta pintamenetelmille, radiografiaan ja ultraäänitarkastukseen. Tasolle 2 saakka koulutusta

järjestää AEL, mutta AEL:llä ei ole suunnitelmia laajentaa koulutustarjontaa niin, että se kattaisi myös tasolle 3 vaadittavan koulutuksen.

Tasolle kolme vaadittavaa koulutusta järjestää Metropolia Ammattikorkeakoulu yhteistyössä Inspecta Sertifiointi Oy:n kanssa. Metropolian koulutusrytmi on ollut yksi peruskurssi ja yksi menetelmäkohtainen kurssi vuodessa. Menetelmäkohtaista koulutusta järjestetään pintamenetelmiin, ultraäänitarkastukseen ja radiografiaan. Menetelmäkohtaisen rytmityksen vuoksi eri menetelmät tulevat koulutusohjelmaan varsin harvoin, joten yritysten on valmistauduttava tuleviin koulutustarpeisiin varsin hyvissä ajoin. Seuraava radiografian menetelmäkohtainen kurssi alkaa todennäköisesti syksyllä 2017. Peruskurssin laajimmat koulutusalueet ovat metallurgia, hitsaustekniikka, käytönaikaiset vikaantumistavat ja NDT-menetelmien perusteet. Peruskurssi on lähes samankaltainen menetelmästä riippumatta, joten sen voi suorittaa milloin tahansa riippumatta siitä, minkä menetelmän kokelas aikoo sertifioida. Metropolia raportoi koulutuksiin osallistuneiden tunnit suoraan Inspecta Sertifiointi Oy:lle. Menettelyllä varmistutaan standardin vaatimusten mukaisten koulutustuntien täyttymisestä.

Molemmat koulutusohjelmat ovat päteväntandardin SFS-EN ISO 9712 mukaisia ja rakenteeltaan lähes täysin metallitekniikkaan painottuneita. Metallit ovat vielä ylivoimaisesti suurin NDT tarkastusten kohde. Patrialla tarkastustoiminta keskittyy vahvasti komposiittimateriaaleihin, joten koulutukset ovat osaltaan tärkeitä elementtejä hankittaessa kokemusta metallien tarkastustekniikoista sertifiointitentejä varten. Työpaikalla olisi kuitenkin huolehdittava riittävän laaja-alaisista ja monipuolisista käytännön tehtävistä, jotta kokelas voisi saavuttaa riittävän laajan rutiinitason eri materiaalien tarkastustoiminnasta. Sertifiointitentissä on tehtäviin käytettävissä oleva aika usein ratkaisevassa roolissa.

### **7.3 Koulutus ulkomailla**

Ruotsissa NDT-koulutus on keskittynyt Vesteråsissa sijaitsevaan NDT koulutuskeskukseen, joka on ammattikorkeakoulu tasoinen oppilaitos. Oppilaitos järjestää kaksi vuotista tarkastus- ja testausinsinöörin koulutusta tasolle 2 saakka. Tasolle 3 on oma 40 tunnin laajuinen jatkokurssi. Koulutus on kuitenkin EN-9712 standardin mukainen. Ruotsalai-

sista NDT-tarkastajista 70-80 % sertifioidaan NDT koulutuskeskuksen perehdytysohjelman kautta (NDT Training Center Inspektions- och Provningsingenjör 2016, 7). Voidaan olettaa, että jäljellejäävä osa ei sisällä juuri muita tarkastushenkilöitä, kuin ilmailualan EN-4179 standardin mukaan yritysten omissa pätevöittämisohjelmissa sertifioidut henkilöt.

Englannissa NDT-koulutusta järjestetään varsin kattavasti ja koulutus sekä sertifiointi on mahdollista suorittaa lähes minkä tahansa standardin mukaisesti. Ilmailualalla koulutusta järjestää ainakin International School of Aerospace NDT Ltd Norwichissa. Iso-Britanniassa on myös useita muita alan toimijoita, jotka ovat luetteloituna British Institute of Non-destructive testing (BINDT) organisaation sivulla (<http://www.bindt.org/education-and-training/training-courses/Training-Courses-Part-Three/>). Luettelosta on mainittuna myös joidenkin muiden maiden koulutusorganisaatioita, jotka suorittavat koulutusta BINDT:n hyväksyminä kouluttajina. Suomalaiseen koulutusjärjestelmään verrattuna voidaan olettaa, että BINDT:n hyväksymä koulutusohjelma ei ole ainakaan röntgentarkastuksen kohdalla aivan laajaa kuin suomalainen koulutus. Oletus perustuu siihen, että Brittiläisessä koulutuksessa säteilysuojelu on osa koulutusohjelmaa ja Suomessa se kuuluu tason 1 koulutukseen, jonka jälkeen se muodostaa oman koulutuskokonaisuutensa. Näin ollen Suomessa voidaan käyttää standardin vaatimat koulutustunnit kokonaisuudessaan NDT-menetelmän koulutukseen.

Iso-Britanniassa Sheffieldissä NDT-koulutusta järjestää myös Lavender International NDT, jonka verkkokaupasta on saatavilla runsaasti itseopiskelumateriaalia.

#### **7.4 Yhteys AMK opintoihin**

Ammattikorkeakoulun konetekniikan opintolinjan koulutusohjelmassa on useita kursseja joilla on yhteys NDT-tarkastukseen. Seuraavassa koosteessa esitetään AMK:n kurssit ja niiden merkitys NDT-tarkastuksen näkökulmasta. Kurssit ovat satunnaisessa järjestyksessä.

Fysiikka on ehkä tärkein kurssi NDT-tarkastuksen näkökulmasta. Röntgentarkastus on suora sovellutus värähdys- ja aaltoliikeoppi sekä atomi- ja ydinfysiikkakurssista, samoin



kuin ultraäänitarkastus. Myös kaikissa muissa NDT menetelmissä sovelletaan jotain fyysikaalista ilmiötä.

Kemia käsittelee alkuaineita ja niiden isotooppeja. Radiografiassa käytetään säteilylähteenä alkuaineiden radioaktiivisia isotooppeja, jotka säteilevät gammasäteilyä.

Materiaalitekniikan perusteet selvittää perusteellisesti metallien mikro- ja makrorakenteen. Niillä on vaikutusta aaltoliikkeen hyödyntämiseen tarkastusmenetelmänä, eli materiaalin tarkastettavuuteen. Metallin rakenne vaikuttaa myös osan vikaantumiseen ja rakenteen ymmärtäminen auttaa kohdistamaan tarkastukset oikeisiin kohtiin.

Valimo-, hitsaus- ja levytyötekniikka. Hitsit ovat ehkä yleisin NDT-tarkastuskohde ja menetelmänä hyvin vika-altis. Valutekniikan kurssi käsittelee valuvirheet varsin yksityiskohtaisesti. NDT-tarkastuksella on suora yhteys näiden valmistusmenetelmien käyttöön. NDT-menetelmien kehittyminen on tehnyt mahdolliseksi, että näillä menetelmillä voidaan kilpailla vaativissakin rakenteissa vika-alttiudesta huolimatta.

Laadunvarmistus- ja mittaustekniikassa käsitellään laadunhallintatekniikoita ja tarkastustoiminnan tuottaman tiedon käsittelyä.

Statiikka, dynamiikka ja lujuusoppi ovat merkityksellisiä lähinnä käytönaikaisten tarkastusten kannalta. Ne kertovat erisuuntaisten voimien vaikutuksista kappaleisiin ja auttavat vikaantumistavan ja todennäköisen vikakohdan määrittelyssä.

Yllä mainituilla on suora yhteys varsinaiseen tarkastustyöhön. Lisäksi AMK koulutus käsittelee useita eri osa-alueita, joilla on epäsuora yhteys NDT-tarkastukseen. Esimerkiksi robotiikkaa voidaan käyttää tarkastuslaitteiden ohjaamiseen ja laitteissa saattaa olla NC-ohjauksia.

## 8 POHDINTA

Käytännön pätevoitymisessä NDT tasolle 3 ei menetelmäkohtaisen osaamisen tietojen ja taitojen hankkiminen ole useinkaan hankalimmin hoidettava osuus sertifiointista. Pätevoitymisjärjestelmä on rakennettu siten, että osaamisen pitäisi kehittyä itsestään kokemuksen karttumisen myötä. Erityisen hyvät mahdollisuudet tähän on varsinkin silloin, kun pätevoityminen suoritetaan EN 4179 standardin mukaan, kuten Patrialla. Ilmailualan toimijat ovat kokeneet, että EN 9712 mukainen pätevointi tuo mukanaan liikaa muodollisuuksia ja kustannuksia ilman merkittävää hyötyä turvallisuusseikoissa. Hyvin toimiva työnantajan sertifiointijärjestelmä on osoittautunut hyväksi ja toimivaksi järjestelmäksi, koska tällöin voidaan ottaa tarkemmin huomioon jokaisen työnantajan yksilölliset tarpeet. Tällöin on myös joustavampaa ottaa käyttöön uusia valmistusmenetelmiä ja materiaaleja. (EFNDT, ECNDT Vol. 3, No 9 Aerospace session 10.1998, 1).

Jotta ilmailuteollisuuden pätevoitistandardin antamista mahdollisuuksista saataisiin mahdollisimman suuri hyöty, edellyttää se yrityksen tason 3 tarkastajilta aktiivista otetta koulustustoimintaan ja yritykseltä myönteistä asennetta tarkastustoiminnan osaamisen kehittämiseen ja hankittujen tietojen ylläpitämiseen. Esimerkiksi Inspectalla tämä varmistetaan viikoittaisella harjoittelu ja koulutuspäivällä. Päivä voi pitää sisällään joko tason 3 tarkastajan järjestämää koulutusta, omaehtoista harjoittelua ja tiedon hankintaa tai molempia. Tälläkin koulutus ja harjoittelumäärällä tasolle 3 pätevoityminen tapahtuu Inspectalla keskimäärin seitsemän vuoden tason 2 kokemuksen jälkeen. (Juha Visuri, 2016). Käytännön tarkastustoiminta valitulla menetelmällä ja tekniikalla ei eroa toimitaan sitten tasolla 2 tai 3. Tason 2 pätevyys pitää sisällään jo tarkastajan työohjeen kirjoittamisoi-keudet. Siitä ei ole kovin iso kouluttautuminen tarkastusohjeen kirjoittamiseen, johon tarvitaan tason 3 pätevyys. Tällöin on huolehdittava, että kokelas saa riittävän opastuksen alan standardeihin ja säädöksiin. Tämä voidaan hoitaa hyvin yritysten sisäisellä koulutuksella. Kuvaustekniikoista ja tarkastuksen laadunhallinnasta saadaan hyvä kuva tutustumalla röntgentarkastusta sääteleviin standardeihin, jotka on lueteltu liitteessä 1. Mikäli käytännön tarkastustoiminnan laajuus ei riitä kattamaan kaikkia standardeissa kuvattuja toimia, on näiden suorittamiseen luotava suunniteltuja, keinotekoisia harjoittelutilanteita.

Sertifiointitentin yhtenä osiona on tarkastusohjeen laatiminen. Tähän osaan valmistautumisessa olisi eduksi, jos kokelas voisi olla mukana jonkin uuden komponentin tuotannon

valmisteluvaiheessa ja mahdollisesti laatia tarkastusohjeita tason 3 henkilön ohjauksessa. Samalla olisi mahdollista tutustua normaalia tarkastustyötä laajemmin alan säännöstöihin ja standardeihin. Tämän osion kokemusta voi hankkia myös arvioimalla ja uudistamalla vanhoja tarkastusohjeita. Tämä osio voidaan sertifiointitestissä korvata myös laatimalla kriittinen arvio valmiista tarkastusohjeesta. Omien tason 3 tarkastajien lisäksi Patrialla on varsin paljon erilaisissa laatutehtävissä työskenteleviä henkilöitä. Näihin tehtäviin tutustumalla voidaan rakentaa varsin vahva käsitys ilmailuteollisuuden standardeihin, säännöstöihin ja laadunvarmistustoimintaan.

Riittävä valmistustekniikan tuntemus oli myös tason 3 vaatimuksia. Koska Patria Aerostructures on valmistava yritys, on tähän osioon valmistautuminen helppoa ainakin komposiittimateriaalien osalta. Osittain tämä tapahtuu luonnostaan normaalien työtehtävien ohessa. Lisäksi omilta valmistussuunnittelijoilta saa varmasti riittävän tietopaketin komposiittisuunnittelusta sellaisessa laajuudessa kuin se tarkastustoiminnan kannalta on tarpeen. Tämän kaltaisesta perehdytyksestä on joskus aiemmin silloisen laadunvarmistuspäällikön kanssa sovittukin ja se nähtiin hyödylliseksi, mutta sittemmin se on hautautunut muiden kiireiden taakse. Pienenä ongelmana tässä osassa on metallitekniikan kokemuksen hankinta. Tässä on kuitenkin syytä muistaa, että EN 4179 standardin lähtökohdina ovat yrityksen yksilölliset tarpeet. Aerostructures yksikön tapauksessa metallitekniikkaan varmasti riittää varsin teoreettinen tietous, koska Aerostructures on yksinomaan komposiittituotteiden valmistaja. Hyvänä lähtökohtana metallitekniikan hallitsemiseksi voidaan pitää AMK koulutusta. Myös tason 3 peruskurssi käsitteli metallitekniikkaa varsin perusteellisesti. Hyvänä tukena voi toimia esimerkiksi valuatlas-tyyppiset nettisivustot(<http://www.valuatlas.fi/>). Lisäksi Aerostructuresilla on käytettävissä ASNT:n vertailukuvastot, joista voi harjoitella hitsien ja valujen tyyppivirheiden tunnistamista.

Tason 3 vaatimuksista ehkä eniten perehtymistä vaativa osio on muiden NDT menetelmien hallinta. Menetelmistä ehkä vaativimmat ovat röntgen ja ultraääni, jotka molemmat ovat käytössä Aerostructures yksikössä. Molemmat menetelmät ovat niin läheisessä suhteessa keskenään, että jos on tekemisissä toisen kanssa, ei voi olla muodostamatta jonkinlaista peruskäsitettä myös toisesta menetelmästä jos vain vähänkin tuntee mielenkiintoa menetelmää kohtaan. Muiden NDT menetelmien kohdalla vaatimusten täyttäminen vaatii jonkin verran yhteistyötä Patrian eri yksiköiden välillä. Patrian eri yksiköissä käytetään varsin kattavasti eri NDT menetelmiä. Käytössä ovat magneettijauhe-, tunkeumaneste- ja

pyörrevirtamenetelmät. Näihin menetelmiin voidaan perehtyä omien, kokeneiden tarkastajien ohjauksessa. Termografia on myös käytössä, joskin se on vähemmän käytetty ja ulkopuolisen asiantuntija avulla suoritettava tarkastusmenetelmä. Tähänkin menetelmään on kuitenkin mahdollisuus tutustua Patrian omassa toiminnassa. Vaikeimmin toteutettavissa on shearografiaan perehtyminen. Suomessa tämä menetelmä ei ole tiettävästi käytössä missään tarkastustoimintaa suorittavassa yksikössä. Menetelmä on niin harvinainen, että jo aiemmin mainitun Lavenderin itseopiskelumateriaaleistakaan ei löydy viittauksia tähän menetelmään. Verkkosivustoilta on kuitenkin saatavissa materiaalia sen verran, että menetelmästä kykenee kohtuullisen kuvan muodostamaan. Esimerkkeinä voidaan mainita vaikka Dante Dynamics (<http://www.dantecdynamics.com/measurement-principles-of-shearography>) ja ndt.net (<http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn732/idn732.htm>). Näistä varsinkin ndt.net sivusto tarjoaa valtavan määrän tietoa lähes kaikista tarkastusmenetelmistä.

Ulkomailla tarjolla olevia koulutusvaihtoehtoja voi harkita, jollei Suomesta ole soveltuvaa koulutusta saatavilla. Siinä määrin kuin ulkomaisesta koulutustarjonnasta oli saatavilla sisältötietoa, ne eivät ole ainakaan laaja-alaisempia kuin kotimainen koulutus. Pääasiassa niiden sisältö oli samantasoinen, kuin kotimaisissa koulutusohjelmissä. Kustannuksiltaan kurssit ovat noin 40 % kalliimpia kuin Suomessa. Lisäksi tulee vielä koulutettavien henkilöiden ulkomaille matkustamisesta aiheutuvat kustannukset. Ulkopuolisen kouluttajatahon järjestämä koulutus on aina jollain tavalla yleispätevää, oli se sitten kotimaisen tai ulkomaisen toimijan järjestämää. Niissä ei voida huomioida erikseen jokaisen kurssille osallistujan erityistarpeita. Yrityksen itse suunnittelemat koulutukset ovat paljon kustannustehokkaampia, koska silloin voidaan keskittyä juuri niihin asioihin, jotka kulloinkin ovat tarpeen. Tämä on ollut myös yhtenä johtoajatuksena, kun standardi EN 4179 on luotu.

## LÄHTEET

Annex II (PART 145). European Aviation Safety Agency.2014. Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex II (PART-145) to Regulation (EU) No 1321/2014. Tulostettu 27.8.2016

Arianespace, 2016. <http://www.arianespace.com/missions/> Luettu 1.12.2016

Army Recognition 2014. [http://www.armyrecognition.com/eurosatory\\_2014\\_show\\_daily\\_news\\_coverage\\_report/millog\\_to\\_supply\\_target\\_acquisition\\_sensors\\_lisa\\_to\\_the\\_finnish\\_defence\\_forces\\_eurosatory\\_2014\\_news.html](http://www.armyrecognition.com/eurosatory_2014_show_daily_news_coverage_report/millog_to_supply_target_acquisition_sensors_lisa_to_the_finnish_defence_forces_eurosatory_2014_news.html) Luettu 4.12.2016

British Institute of Nondestructive testing (BINDT) (<http://www.bindt.org/education-and-training/training-courses/Training-Courses-Part-Three/>) Luettu 27.11.2016

Dante Dynamics, n.d. <http://www.dantecdynamics.com/measurement-principles-of-shearography> Luettu 29.11.2016

EFNDT, ECNDT Vol 3, No 9 Aerospace session 10.1998. Qualification and Certification of Inspection Personnel in the European Aerospace Industry, <http://www.ndt.net/article/ecndt98/aero/056/056.htm> Tulostettu 27.8.2016

Heikki Myöhänen, Liiketoimintapäällikkö, Inspecta Sertifiointi Oy. Puhelinhaastattelu 10.10.2016, Haastattelija Antti Niemi

International School of Aerospace NDT Ltd <http://www.isandt.co.uk/> Luettu 27.11.2016

Juha Visuri, 2016, Laatuspäällikkö Inspecta, Puhelinhaastattelu 9.11.2016. Haastattelija Antti Niemi

Kemian käsitteitä Opettajan verkkopalvelu. Opetushallitus. Helsinki. <http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/kemia1/index.html> Luettu 9.10.2016

Kurki 2007. Oulun Ammattikorkeakoulu. Automaatiolabrat 21 Valaistustekniikka. Oulu. 2007. [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/21\\_Valaistustekniikka.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/21_Valaistustekniikka.pdf) Tulostettu 13.11.2016

Laatukeskus Excellence Finland Oy. Helsinki. Auditointi. <http://www.laatukeskus.fi/palvelut-asiantuntijapalvelut/auditointi> Luettu 28.9.2016

Lavender International NDT <https://www.lavender-ndt.com/> Luettu 28.11.2016

ndt.net n.d. <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn732/idn732.htm> Luettu 29.11.2016

NDT Training Center Inspektions- och Provningsingenjör 2016, [http://a18524.actonsoftware.com/acton/attachment/18524/f-0002/0/-/-/-/Presentation\\_IPI.pdf](http://a18524.actonsoftware.com/acton/attachment/18524/f-0002/0/-/-/-/Presentation_IPI.pdf) Tulostettu 27.11.2016

Patria, n.d. <http://patria.fi/fi> Luettu 1.12.2016

prEN 4179:2014 Aerospace series — Qualification and approval of personnel for non-destructive testing. Tulostettu 27.8.2019

Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet 2012. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. SFS-EN ISO 9712:2012. Tulostettu 27.8.2016

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. ASME, ASTM ja SAE.  
[http://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/julkaisut/ulkomaiset\\_julkaisut/astm\\_asme\\_ja\\_sae](http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/julkaisut/ulkomaiset_julkaisut/astm_asme_ja_sae) Luettu 9.10.2016

Säteilyturvallisuus teollisuusradiografiassa ST 5.6 2012. Säteilyturvakeskus. Helsinki.  
<http://plus.edilex.fi/content/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/ST5-6/> Luettu 4.10.2016

Thomas Åström 2016. Luento: NDT Päämenetelmät ja käytetyimmät muut menetelmät. NDT taso 3 peruskurssi. Metropolia 2.11.2016

Valuatlas, 2014. Valimoinstituutti, Teknologia Teollisuus ry., Aalto-yliopisto, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampereen Ammattikorkeakoulu, Tampereen Ammattiopisto, Suomen Valimotekninen Yhdistys. <http://www.valuatlas.fi/> Luettu 29.11.2016

World Aircraft Design. <https://worldofaircraftdesign.wordpress.com/2011/11/11/airbus-a380-flight-control-surfaces-during-landing/> Luettu 1.12.2016

**LIITTEET**

Liite 1. NDT-tarkastuksen röntgen menetelmää säätelevät standardit 1 (6)

**PAINELAITE:**

**PED 97/23/EU**

**ASME Section V, Article 2, 3 and 22** Boiler & Pressure vessel code

**PÄTEVÖINTI:**

**EN 4179** Aerospace series — Qualification and approval of personnel for nondestructive testing (EN 4179:2014)

**SFS-EN ISO 9712** Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet. Nondestructive testing. Qualification and certification of NDT personnel. General principles (ISO 9712:2012)

**YLEIS:**

**SFS-EN 25580** Rikkomaton aineenkoetus. Teollisen radiografisen kuvauksen katselulaitteen luminanssin vähimmäisarvot. Non-destructive testing. Industrial radiographic illuminators. Minimum requirements (ISO 5580:1985)

**SFS-EN ISO 5579** Rikkomaton aineenkoetus. Metallisten materiaalien radiografisen kuvaus käyttäen filmitekniikkaa ja röntgen- tai gammasäteilyä. Non-destructive testing. Radiographic testing of metallic materials using film and X- or gamma-rays. Basic rules (ISO 5579:2013)

**SFS-EN 14784-1** Rikkomaton aineenkoetus. Digitaalinen teollisuusradiografia fosforilevyjen avulla. Osa 1: Järjestelmien luokittelu. Non-destructive testing. Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates. Part 1: Classification of systems (EN 14784-1:2005)

**SFS-EN 14784-2** Rikkomaton aineenkoetus. Digitaalinen teollisuusradiografia fosforilevyjen avulla. Osa 2: Yleisohjeet metallisten materiaalien testauksesta röntgen- ja gammakuvauksella. Non-destructive testing. Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates. Part 2: General principles for testing of metallic materials using X-rays and gamma rays (EN 14784-2:2005)

**SFS-EN ISO 19232-1** Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 1: Determination of the image quality value using wire type image quality indicators (ISO 19232-1:2013)

**SFS-EN ISO 19232-2** Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 2: Determination of the image quality value using step/hole-type image quality indicators (ISO 19232-2:2013)

**SFS-EN ISO 19232-3** Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 3: Image quality classes (ISO 19232-3:2013)

**SFS-EN ISO 19232-4** Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 4: Experimental evaluation of image quality values and image quality tables (ISO 19232-4:2013)

**SFS-EN ISO 19232-5** Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 5: Determination of image unsharpness value using duplex wire-type image quality indicators (ISO 19232-5:2013)

**SFS-EN ISO 11699-1** Non-destructive testing. Industrial radiographic film. Part 1: Classification of film systems for industrial radiography (ISO 11699-1:2008)



**SFS-EN ISO 11699-2** Non destructive testing. Industrial radiographic films. Part 2: Control of film processing by means of reference values (ISO 11699-2:2011)

**SFS-EN 12543-1** Non-destructive testing. Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing. Part 1: Scanning method (EN 12543-1:1999)

**SFS-EN 12543-2** Non-destructive testing. Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing. Part 2: Pinhole camera radiographic method (EN 12543-2:2008)

**SFS-EN 12543-3** Non-destructive testing. Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing. Part 3: Slit camera radiographic method (EN 12543-3:1999)

**SFS-EN 12543-4** Non-destructive testing. Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing. Part 4: Edge method (EN 12543-4:1999)

**SFS-EN 12543-5** Non-destructive testing. Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing. Part 5: Measurement of the effective focal spot size of mini and micro focus X-ray tubes (EN 12543-5:1999)

**SFS-EN 12544-1** Rikkomaton aineenkoetus. Röntgenputken jännitteen mittaaminen ja arviointi. Osa 1: Potentiometrinen menetelmä Non-destructive testing. Measurement and evaluation of the X-ray tube voltage. Part 1: Voltage divider method (EN 12544-1:1999)

**SFS-EN 12544-2** Non-destructive testing. Measurement and evaluation of the X-ray tube voltage. Part 2: Constancy check by the thick filter method (EN 12544-2:2000)

**SFS-EN 12544-3** Rikkomaton aineenkoetus. Röntgenputken jännitteen mittaaminen ja arviointi. Osa 3: Spektrometrinen menetelmä Non-destructive testing. Measurement and evaluation of the X-ray tube voltage. Part 3: Spectrometric method (EN 12544-3:1999)

**SFS-EN 12679** Rikkomaton aineenkoetus. Säteilylähteen koon määrittäminen. Radiografinen menetelmä Nondestructive testing. Determination of the size of industrial radiographic sources. Radiographic method (SFS-EN ISO 12679:1999)

**SFS-EN 13068-1** Rikkomaton aineenkoetus. Radioskopia. Osa 1: Kuvaominaisuuksien kvantitatiivinen mittaus Non-destructive testing. Radioscopic testing. Part 1: Quantitative measurement of imaging properties (EN 13068:1999)

**EN 13068-2** Rikkomaton aineenkoetus. Radioskopia. Osa 2: Katselulaitteiden laadunvalvonta ja pitkäaikainen vakavuus Non-destructive testing. Radioscopic testing. Part 2: Check of long term stability of imaging devices (EN 13068:1999)

**EN 13068-3** Rikkomaton aineenkoetus. Radioskopia. Osa 3: Yleisohjeet metallisten materiaalien röntgen ja gammaradioskopiaan Non-destructive testing. Radioscopic testing. Part 3: General principles of radioscopic testing of metallic materials by X- and gamma rays (EN 13068:2001)

**SFS-EN 1330-3** Rikkomaton aineenkoetus. Sanasto. Osa 3: Teollisuusradiografiassa käytetyt termit Nondestructive testing. Terminology. Part 3: Terms used in industrial radiographic testing (SFS-EN 1330:1997)

#### **HITSIT:**

**SFS-EN ISO 17635** Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Yleisohjeet metallisille materiaaleille Non-destructive testing of welds. General rules for metallic materials (SFS-EN ISO 17635:2010)

**SFS-EN ISO 17636-1** Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus. Osa 1: Röntgen- ja Gammakuvaus filmitekniikalla. Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 1: X-and gamma-ray techniques with film (SFS-EN ISO 17636-1:2013)

**SFS-EN ISO 17636-2** Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus. Osa 2: Röntgen- ja Gammakuvaus digitaalitekniikalla. Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 2: X-and gamma-ray techniques with digital detectors (SFS-EN ISO 17636-2:2013)

**SFS-EN ISO 5817** Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat Welding. Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded). Quality levels for imperfections (SFS-EN ISO 5817:2014)

**SFS-EN ISO 10675-1** Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografisen kuvauksen hyväksymisrajat. Osa 1: Teräs, nikkeli, titaani ja niiden seokset. Non-destructive testing of welds. Acceptance levels for radiographic testing. Part 1: Steel, nickel, titanium and their alloys (SFS-EN ISO 10675-1:2013)

**SFS-EN ISO 10675-2** Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografisen kuvauksen hyväksymisrajat. Osa 2: Alumiini ja niiden seokset. Non-destructive testing of welds. Acceptance levels for radiographic testing. Part 2: Aluminium and their alloys (SFS-EN ISO 10675-2:2013)

#### **VALUT:**

**SFS-EN 12681** Valut. Radiografinen tarkastus Founding. Radiographic examination (SFS-EN ISO 12681:2003)

**PUTKET**

**SFS-EN 10893-6** Non destructive testing of steel tubes. Part 6: Radiographic testing of the weld seam of welded steel tubes for the detection of imperfections (SFS-EN ISO 10893-6:2011)

**SFS-EN 10893-7** Non destructive testing of steel tubes. Part 7: Digital radiographic testing of the weld seam of welded steel tubes for the detection of imperfections (SFS-EN ISO 10893-7:2011)