

Juha Kumpulainen

DR-tekniikan käyttöönotto hydraulikorjaamolla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

12.12.2017

Tekijä Otsikko	Juha Kumpulainen DR-tekniikan käyttöönotto hydraulikorjaamolla
Sivumäärä Aika	33 sivua + 1 liite 12.12.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Pekka Salonen Tuotantoinsinööri Juha Silvola
<p>Tässä insinöörityössä perehdyttiin pulssiröntgenlaitteen ja digitaalisen detektoripaneelin käyttöönottoon Finnair Technical Operationsin hydraulikorjaamolla. Filmikuvaustekniikasta digitaalikuvaustekniikkaan siirtymisen etuna on röntgenkuvan tuottaminen tietokoneen näytölle. Digitaalisessa muodossa oleva röntgenkuva voidaan tulkita heti ja siirtää sen jälkeen digitaalisesti asiakkaalle.</p> <p>Röntgenlaitteen käytöstä syntyy muuhun tuotantotilaan säteilyä, joka ei saa ylittää asetettuja säteilyrajoja. Pulssiröntgenlaitteen suurin etu verrattuna perinteiseen röntgenlaitteeseen on alentunut säteily määrä. Alhaisemmasta säteily määrästä huolimatta pulssiröntgenlaite on teollisuusröntgenlaite, jonka käyttöä säätelevät säteilylaki ja -asetukset. Insinöörityössä selvitettiin laajasti teollisuusröntgenlaitteen käyttöönottoon liittyvät vaatimukset.</p> <p>Insinöörityössä selvitettiin röntgenkuvauksen suorittaminen siten, että hyväksyttävä digitaalinen kuvanlaatu saavutettiin. Pulssiröntgenlaitteen avulla voidaan tarkastettava osa kuvata niin, ettei muu tuotannollinen työ keskeydy röntgenkuvausten ajaksi.</p> <p>Siviili-ilmailupuoli on siirtynyt hitaasti filmitekniikasta digitaalitekniikkaan. Insinöörityössä selvitettiin lyhyesti siviili-ilmailualan päteväintijärjestelmän EN 4179 mukainen röntgenkuvauksen vaatimustaso, sekä eri lentokonevalmistajien röntgentarkastusohjeet. Filmitekniikasta kokonaan digitaalitekniikkaa siirtyminen vaatisi kuitenkin niin suurta perehtymistä aiheeseen, ettei asia ole vielä ajankohtainen.</p>	
Avainsanat	Hydraulikorjaamo, säteily

Author Title	Juha Kumpulainen DR Technique in a Hydraulic Work Shop
Number of Pages Date	33 pages + 1 appendix 12 December 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering and Production Technology
Instructors	Pekka Salonen, Senior Lecturer Juha Silvola, Production Engineer (M.Eng)
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to examine the replacement of film radiography (RT) by digital radiography (DR) in a hydraulic work shop of Finnair Technical Operations. The DR technique uses pulsed x-ray equipment and digital detector array panels (DDA). The result of an x-ray inspection is available in a digital form almost instantly.</p> <p>The use of industrial x-ray equipment produces scattered radiation. Therefore, the use of industrial x-ray equipment must comply with radiation safety regulations. The advantage of the pulsed x-ray equipment used in a hydraulic work shop is that it produces lower radiation dose than the traditional industrial x-ray equipment and meets the radiation safety regulations.</p> <p>The second objective of this Bachelor's thesis was to examine if DR techniques could be used in x-ray inspections of the aircraft. The transfer from film techniques to digital techniques must comply with European Civil Aviation NDT Standard EN 4179 and also with aircraft manufacturers' Nondestructive Testing Manuals.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, it was discovered that DR technique could replace film radiography in a hydraulic work shop environment. However, it was found out that currently the replacement of film radiography by digital radiography in aircraft x-ray inspections cannot be achieved yet since it requires more profound familiarization with the processes.</p>	
Keywords	Hydraulic Work Shop, Radiation

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Finnair yrityksenä	1
3	Kelpuutus- ja päteväintijärjestelmä	3
3.1	FTO:n myöntämät kelpuutukset	3
3.2	Ilmailualan NDT-päteväintijärjestelmä	3
3.2.1	Taso 1 ja rajoitettu taso 1	4
3.2.2	Taso 2	4
3.2.3	Taso 3	5
3.3	Koulutus- ja kokemusvaatimukset	5
3.4	Pätevyyksien voimassaoloaika	6
4	Teollisuusradiografia	7
4.1	Röntgen- ja gammasäteily	7
4.2	Radiografinen tarkastus	9
4.3	Filmikuvaustekniikka	10
4.4	Digitaalikuvaustekniikka	11
5	Säteilyn käytön säädökset	14
5.1	Säteilylaki ja asetukset	14
5.2	ST-ohjeet	15
5.3	Yleiset säteilyturvallisuusvaatimukset teollisuusradiografiassa	15
5.4	Työntekijöiden säteilysuojelukoulutus	16
5.5	Poikkeavat tapahtumat	16
5.6	Säteilymittarit ja -hälyttimet	17
6	Säteilysuojelu	20
6.1	Röntgenlaitteen tarkastukset	20
6.2	Säteilylähteiden turvajärjestelyt	21
6.3	Avoimen asennuksen kuvaustilanne	22
6.4	Suljetun asennuksen kuvaustilanne	23
6.5	TO 5697	23

7	Lentokoneiden röntgentarkastukset	24
7.1	Embraer	24
7.2	ATR	25
7.3	Airbus	25
8	BoltXPro DR-laitteisto	26
8.1	Laitekokonaisuuden osat	26
8.2	XRS-3 säteilylähde	27
8.3	BoltXPro-paneeli	28
8.4	XbitPro-ohjelma	29
9	Yhteenveto	30
	Lähteet	31
	Liite	
	Kuvauksen suoritus (vain työn tilaajan käyttöön)	

1 Johdanto

Finnairin hydraulikorjaamo toimii ilmavoimien erään lentokonetyypin hydraulilaitteen korjaukseen ja säätöön erikoistuneena yksikkönä. Eräs työvaihe edellyttää röntgenkuvaukseen, jonka avulla mahdollinen asennusvirhe osassa tarkistetaan. Ennen insinööriyön aloitusta hydraulikorjaamon röntgenkuvaukset suoritettiin filmitekniikalla.

Puoliaaltoröntgenlaitteen käytöstä aiheutuu röntgensäteilyä ympäröiviin tuotantotiloihin. Mikäli osa kuvataan asennustelineessä filmitekniikalla, on hydraulikorjaamo tyhjennettävä muista henkilöistä kuin röntgenkuvausryhmän jäsenistä. Tämän vuoksi osa irrotetaan asennustelineestä ja kuljetetaan muualle röntgenkuvattavaksi. Valotetut röntgenfilmit kehitetään lentokentän toisella puolella sijaitsevassa lentokonehallissa. Filmien edestakainen kuljettaminen, filminkehitys ja kuvaustulosten odottaminen vievät paljon tuotannollista työaika. Mikäli kuvausteknisten syiden vuoksi joudutaan röntgenkuvaukset uusimaan, kuluu aikaa suhteettoman kauan.

Tavoitteena tässä insinööriyössä on filmitekniikan korvaaminen digitaalitekniikalla siten, että hyväksyttävä kuvanlaatu saavutetaan. Lisäksi osa tulee voida röntgenkuvata sen ollessa kiinni asennuspenkissä niin, että säteilysuojelumääräykset täyttyvät.

2 Finnair yrityksenä

Finnair Oyj on lentoyhtiö, jonka pääkonttori sijaitsee Helsinki-Vantaan lentokentällä. Suurin osakkeen omistaja on Suomen valtio 55,8 %:n osuudella. Muita yhtiön osakkeenomistajia ovat julkisyhteisöt, rahoitus- ja vakuutuslaitokset, sekä muut yksityiset yritykset ja kotitaloudet. Yhtiön osakkeet noteerataan NASDAQ OMX Helsinki Oy:ssä. [1.]

Finnairin strategia perustuu Aasian ja Euroopan välisen matkustaja- ja rahtiliikenteen kasvavaan kysyntään, jonka tärkeimpänä solmukohtana toimii Helsinki-Vantaan lentokenttä. Helsinki-Vantaan lentokentän maantieteellinen sijainti toimii Finnairin kilpailuetuna muihin lentoyhtiöihin nähden, sillä nopein lentoyhteys Aasian ja Euroopan välillä kulkee Suomen ylitse. [1.]

Finnair tarjoaa Helsinki-Vantaan lentoasemalta jatkolentoyhteyksiä yli 70 kohteeseen Euroopassa ja 17 Aasiassa. Tämän lisäksi yhtiö lentää reittilentoja neljään kohteeseen Yhdysvalloissa, sekä lomalentoja vaihtuviin kohteisiin eri puolille maailmaa. [1.]

Finnairin laajarunkolaivasto koostuu Airbusin valmistamista lentokoneista, joilla lennetään pääasiassa mannertenvälisiä lentoja. A350-900 XWB -lentokoneiden (kuva 1) on tarkoitus tulevaisuudessa korvata kaikki muut yhtiön käytössä olevat laajarunkokoneet. Finnairin laajarunkolaivasto koostuu seuraavista lentokoneista:

- Airbus A350-900 XWB (11 kpl käytössä ja 8 kpl tilattuna)
- Airbus A330-300 (8 kpl) [2].

Kotimaan sekä Euroopan lennoilla lennetään kapearunkokoneilla. Finnairin kapearunkolaivasto koostuu kolmen eri valmistajan lentokoneista seuraavasti:

- Airbus A319 (8 kpl)
- Airbus A320 (10 kpl)
- Airbus A321 (15 kpl)
- Embraer ERJ-190 (12 kpl, operoijana Nordic Regional Airlines Oy)
- ATR 72 (12kpl, operoijana Nordic Regional Airlines Oy) [2].



Kuva 1. Airbus A350-900 XWB [22].

3 Kelpuutus- ja päteväintijärjestelmä

3.1 FTO:n myöntämät kelpuutukset

Finnair Technical Operations (FTO) vastaa lentokoneiden jatkuvasta lentokelpoisuudesta, sekä lentokoneiden ja laitteiden huoltotoiminnasta. Röntgentarkastuksia Finnairilla suorittavat NDT-tarkastajat, jotka ovat kaikki FTO:n työntekijöitä.

FTO:n ohje *TOPI 02.03.02 Qualifying Maintenance Staff* kuvaa lentokoneiden huoltotoimintaan osallistuvien henkilöiden osalta kelpuutukset seuraavasti:

Huoltotehtävien itsenäinen suoritus edellyttää niiden suorittajalta FTO:n arvioimaa ja hyväksymää kelpoisuutta [3].

Kelpuutus tarkoittaa FTO:n myöntämää oikeutta itsenäiseen työskentelyyn määrityllä alueella [3].

Kelpuutustodistusta myönnettäessä arvioidaan henkilön pätevyys työtehtäviin yhdessä esimiehen ja kelpuutuksen myöntäjän kanssa. Kelpuutetulle annetaan kelpuutusnumerolla varustettu leimasin sekä todistus, jossa määritellään kelpuutusten laajuus ja yksilöllinen kelpuutusnumero. FTO:n myöntämä kelpuutus pysyy voimassa kaksi vuotta, minkä jälkeen se arvioidaan uudelleen. [3.]

Finnairin ohje TO 5690 [4] kuvaa Finnairin menettelytavan NDT-tarkastajien päteväimisessä ja kelpuuttamisessa. Ohje täyttää eurooppalaisen siviili-ilmailualan NDT-standardin EN 4179 vaatimukset. [5.]

3.2 Ilmailualan NDT-päteväintijärjestelmä

Eurooppalaisessa siviili-ilmailussa käytetään NDT-tarkastajien päteväimiseen standardia EN 4179, jonka on Suomessa julkaissut Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. EN 4179 määrittää NDT-tarkastajien päteväimiselle asetetut vaatimukset eri tarkastusmenetelmien osalta. Standardin mukaisia vaatimuksia ovat esimerkiksi teoria- ja käytännön harjoittelutuntien määrä, päteväitymistasot, näkökyky ja päteväintikokeiden suoritus.

NDT-tarkastajat pätevöityvät standardin EN 4179 mukaisesti tasoille 1–3. NDT-tarkastaja aloittaa työuransa harjoittelijana, jolla ei ole vielä oikeuksia tulkita tai raportoida tarkastustuloksia. Harjoittelijan työtä valvoo ja opastaa samalle menetelmälle pätevöitetty tason 2 tai 3 NDT-tarkastaja. Henkilön kerättyä riittävästi dokumentoitua työkokemusta ja teoriakoulutusta, hän suorittaa menetelmäkohtaisen pätevöintikokeen. Pätevöintikokeen läpäistyään hän pätevöityy haetulle tasolle. Pätevöintikoe koostuu kahdesta kirjallisesta osasta sekä käytännön osasta.

3.2.1 Taso 1 ja rajoitettu taso 1

Tason 1 tarkastaja suorittaa kirjallisen tarkastusohjeen mukaisia NDT-tarkastuksia ja tarkastustulosten raportoinnin, mikäli yhtiö on valtuuttanut hänet tähän.

Rajoitetun tason 1 tarkastaja suorittaa kirjallisen tarkastusohjeen mukaan tietyille rakenteelle, osalle tai kokoonpanolle NDT-tarkastuksia, mikäli yhtiö on valtuuttanut hänet tähän. [5, s. 12–13.]

Finnairin valtuutusjärjestelmä ei tunnista tason 1 NDT-tarkastajaa, sillä kaikki suoritettavat NDT-tarkastukset vaativat kykyä itsenäiseen työskentelyyn.

3.2.2 Taso 2

Tason 2 tarkastaja suorittaa itsenäisesti NDT-tarkastuksia ja tarkastustuloksien raportoinnin. Hän kykenee hyväksymään ja hylkäämään tarkastustuloksia standardien ja kirjallisten ohjeiden mukaisesti. Tarkastaja kykenee kalibroimaan tarkastuslaitteita ja toimimaan harjoittelijan ja tason 1 tarkastajan tukena. Tarkastajalta edellytetään tarkastuskohtaisten käyttöalueiden ja rajoitusten tuntemista. [5, s. 13.]

3.2.3 Taso 3

Tason 3 tarkastaja toimii usein asiantuntijatehtävissä, minkä vuoksi hänellä tulee olla riittävän laaja tuntemus eri standardien ja tarkastusohjeiden tulkitsemisesta. Mikäli käytettävissä ei ole tarkastusohjeita, tulee hänen laatia kirjallinen tarkastusohje ja valita käytettävät tarkastusmenetelmät ja -laitteet. Lisäksi hänellä tulee olla riittävä tieto eri valmistus- ja tuotantotekniikoista, sekä hänen on tunnettava yleisesti muuten käytössä olevat NDT-tarkastusmenetelmät. Taso 3 kykenee kouluttamaan tason 1 ja 2 tarkastajia, sekä järjestämään menetelmäkohtaiset päteväntikokeet. [5, s. 14.]

3.3 Koulutus- ja kokemusvaatimukset

Standardin EN 4179 mukaisesti NDT-menetelmillä on omat kokemus- ja koulutusvaatimuksensa, jotka on täytettävä ennen pätevyystikkoa. Tason 3 tehtävänä on varmistaa, että koulutukset ovat hyväksyttävissä esimerkiksi silloin, kun koulutus on hankittu ulkopuolisessa koulutuslaitoksessa tai käytännön kokemus on hankittu muualla kuin oman yhtiön palveluksessa. Röntgentarkastusmenetelmässä voidaan pätevyitä joko filmi- tai digitaalikuvaustekniikkaan tai molempiin.

Röntgentarkastuksen teoriakoulutusvaatimus filmi- tai digitaalikuvaustekniikkaan on 40 tuntia tasolle 1 ja 80 tuntia tasolle 2. Mikäli pätevyyttä haetaan molemmille tekniikoille, on koulutusvaatimuksena tason 1 osalta 60 tuntia ja tason 2 osalta 120 tuntia. Mikäli tarkastajalla on jo pätevyys toisesta tekniikasta, on lisäkoulutusvaatimuksena tason 1 osalta 20 tuntia ja tason 2 osalta 40 tuntia. [5, s. 15.]

Käytännön kokemustuntivaatimuksena filmi- tai digitaalikuvaustekniikalla on 200 tuntia tasolle 1 ja 800 tuntia tasolle 2. Mikäli pätevyyttä haetaan molemmille tekniikoille, on kokemustuntivaatimuksena tason 1 osalta 220 tuntia ja tason 2 osalta 1000 tuntia. Mikäli tarkastajalla on jo pätevyys toisesta tekniikasta, on lisäkokemustuntivaatimuksena tason 1 osalta 20 tuntia ja tason 2 osalta 200 tuntia. [5, s. 17.]

3.4 Pätevyksien voimassaoloaika

Rajoitetun tason 1 pätevöntikokeet on uusittava vuoden välein.

Tason 1 ja 2 pätevydet ovat voimassa viiden vuoden ajan, minkä jälkeen on uusittava kirjallisen kokeen molemmat osat sekä käytännön koe.

Tason 3 pätevyys uusitaan viiden vuoden välein standardin EN 4179 pistejärjestelmän mukaisesti.

Kaikilta tarkastajilta edellytetään lisäksi jatkuvaa hyvää työsuoritusta, sekä hyväksytyä näkötodistusta.

Mikäli tarkastajalle tulee 12 kuukauden pituinen katkos työssään, pätevyden voimassaolo päättyy. Se voidaan palauttaa takaisin voimassaolevaksi, kun yhtiön taso 3 on yhdessä kelpuutetun kanssa suorittanut korjaavat toimenpiteet.

Mikäli NDT-tarkastaja ei ole tehnyt pätevyystasonsa mukaisia tarkastustöitä 24 kuukauden aikana, pätevyden katsotaan vanhentuneen. Pätevyys voidaan uusia suorittamalla kaikki pätevöntikokeet uudelleen.

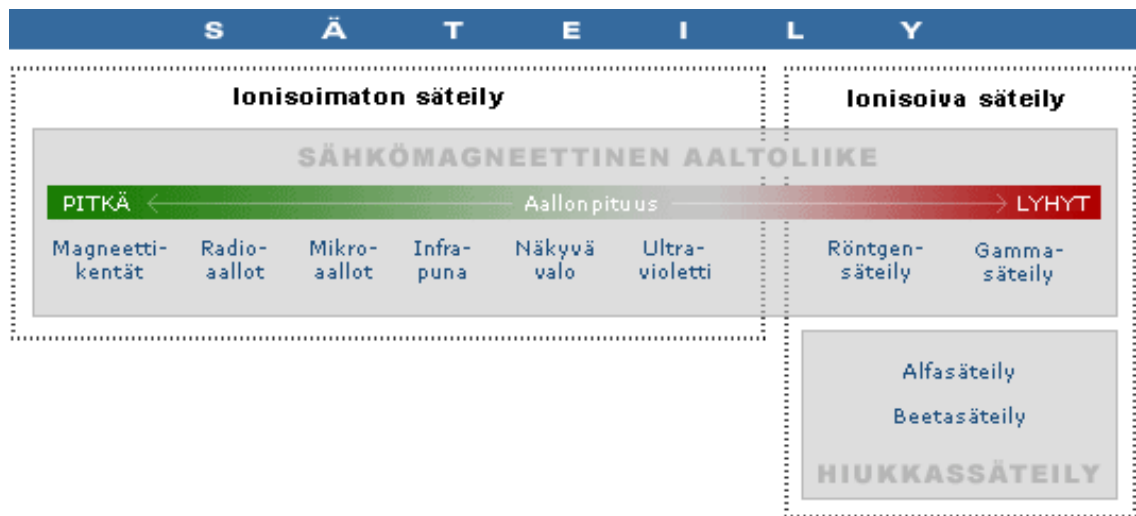
[5, s. 22–23].

4 Teollisuusradiografia

Radiografinen tarkastus on NDT-tarkastusmenetelmä, jossa ionisoivalla säteilyllä voidaan havaita tarkastettavassa kappaleessa olevia volymetrisiä vikoja. Vikoja voivat olla esimerkiksi särö tai sulkeuma. Radiografisella tarkastuksella voidaan tarkastaa erityyppisiä ja -paksuisia materiaaleja.

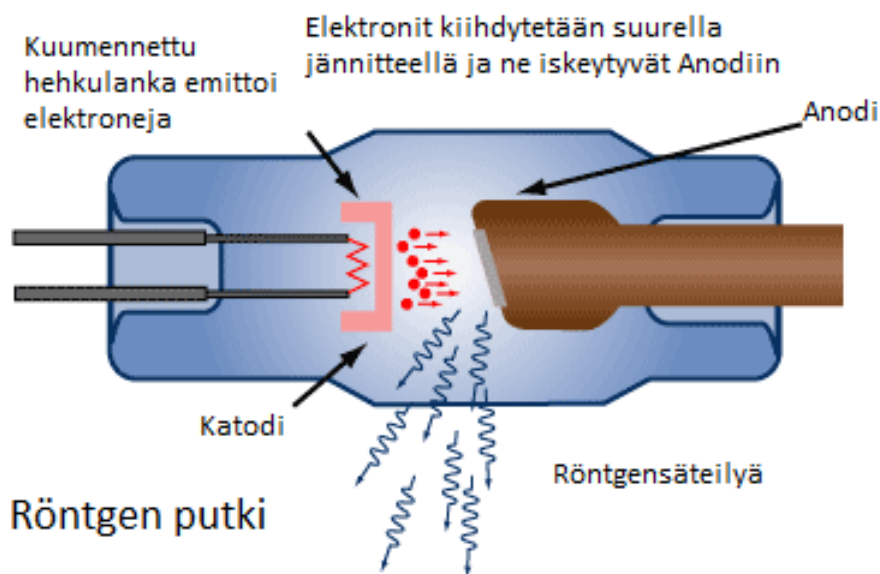
4.1 Röntgen- ja gammasäteily

Sähkömagneettinen säteily on valonnopeudella etenevää sähkömagneettista aaltoliikettä. Säteilyn tyypistä riippuen aallonpituudet eroavat toisistaan ja jaetaan ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn (kuva 2). Röntgen- ja gammasäteily ovat ionisoivaa säteilyä, joilla on lyhyt aallonpituus $10^{-6} \dots 10^{-12} \text{m}$. Röntgen- ja gammasäteily muodostuvat fotoneista eli aineettomista tai massattomista energiahiukkasista, joilla ei ole sähkövarausta. [6, s. 7.]



Kuva 2. Sähkömagneettinen aaltoliike [23].

Röntgensäteily syntyy röntgenputkessa, jonka sisällä olevassa tyhjiössä sijaitsee anodi-katodiyhdistelmä. Katodia hehkutetaan virran avulla, jolloin se alkaa emittoida elektroneja. Anodin ja katodin välillä on sähköinen jännite, jonka vaikutuksesta elektronit lähtevät kiihtyneellä vauhdilla kohti anodin kohtiota ja törmätessään siihen synnyttävät röntgensäteilyä (kuva 3). Säteilyn energia ja läpäisykyky riippuvat kohtion järjestysluvun suuruudesta ja elektronien nopeudesta. Lämpömäärä röntgensäteilyn syntyessä on niin suuri, että anodia on sulamisen estämiseksi jäähdytettävä. Röntgenlaitteen rakenteesta riippuen, jäähdytys tapahtuu joko johtamalla tai säteilyttämällä lämpöä pois röntgenputkesta. [7, s. 23.]



Kuva 3. Röntgensäteilyn synty [24].

Gammasäteilyn ominaisuudet ovat samantyyppisiä kuin röntgensäteilyn, mutta ne syntyvät radioaktiivisen aineen hajoamisesta. Toisin kuin röntgensäteilyä, gammasäteilylähdettä ei säädellä sähköisesti, vaan se säteilee jatkuvasti.

Kun kappale tarkastetaan teollisuusröntgenlaitteen avulla, sen lävitse kulkee säteilyä. Osa säteilystä kulkee aineen lävitse, osa heikentyy aineeseen ja osa siroaa siitä. Säteilyn heikentyminen aineessa riippuu sen järjestysluvusta, tiheydestä, paksuudesta ja energiasta. Röntgenkuva syntyy silloin, kun pienienerginen röntgensäteily kulkee aineen lävitse ja fotonit törmää aineen atomeihin. Kokonaisenergian vaikutuksesta elektroni sinkoutuu tällöin pois atomin sisäisistä kuorista. [6, s. 8–9.]

4.2 Radiografinen tarkastus

Radiografisessa tarkastuksessa röntgenkuva tuotetaan joko filmi- tai digitaalikuvaustekniikalla ja tarvittava röntgenlaitteisto valitaan käyttökohteen mukaan. Finnairilla käytetään lentokonekuvauksissa puoliaaltoröntgenlaitetta ja hydraulikorjaamolla pulssiröntgen- tai puoliaaltoröntgenlaitetta. Röntgenlaitteistoon kuuluu röntgenputki, ohjauspöytä ja tarvittavat välikaapelit (kuva 4).



Kuva 4. Yxlon SMART -puoliaaltoröntgenlaitteita [25].

4.3 Filmikuvaustekniikka

Filmikuvaustekniikassa yleisimmin käytössä olevat säteilylähteet ovat tasajännite- ja puolialtoröntgenlaitteet, sekä isotooppi- eli gammasäteilylähde. Puoliaaltolaitteet ovat kooltaan tasajännitelaitteita pienempiä ja kevyempiä, sillä röntgenputki ja muuntaja sijaitsevat samassa kuoressa. Tasajännitelaitteessa on suurempi aineen läpäisykyky, mutta kone vaatii erillisen jäähdytyksen ja painonsa vuoksi myös kuljetusalustan. Tasajännitelaitteessa putkiyksikkö on pienempi, joten sitä voidaan käyttää ahtaissa paikoissa, kunhan koko röntgenlaitteisto saadaan kuljetettua kuvauspaikalle. [6, s. 14.]

Pysyvän röntgenkuvan muodostamiseksi tarvitaan lisäksi filmiä ja pimennetty filminkehitystila. NDT-tarkastuksissa käytettävät filmit on yksittäispakattu suojakuoriin, jotka suojaavat filmiä valolta, likaantumiselta ja naarmuuntumiselta. Suojakuori sisältää usein ohuen lyijyvahvistuslevyn, joka lisäksi suojaa filmiä röntgenkuvauksen aikana sironneelta taustasäteilyltä.

Filmi on monipuolinen käyttää, sillä se on ohutta ja voidaan asettaa ahtaaseen väliin. Filmi taipuu ja voidaan asettaa esimerkiksi kaarevaa pintaa vasten, jolloin yhdellä valotuksella saadaan kuvattua filmin pituuden verran. Kuvauskohteesta ja materiaalista riippuen, on filmejä saatavilla eri kokoisina ja eri herkkyytetasoina (kuva 5). Huonona puoleena voidaan mainita filminkehitykseen kuluva aika, jonka lisäksi kehitysnesteet ovat ongelmajätettä. Mikäli röntgenkuvaus epäonnistuu, se havaitaan vasta kun filmi on kehitetty. Tällöin palataan uusintakuvausta varten takaisin kuvauskohteeseen.

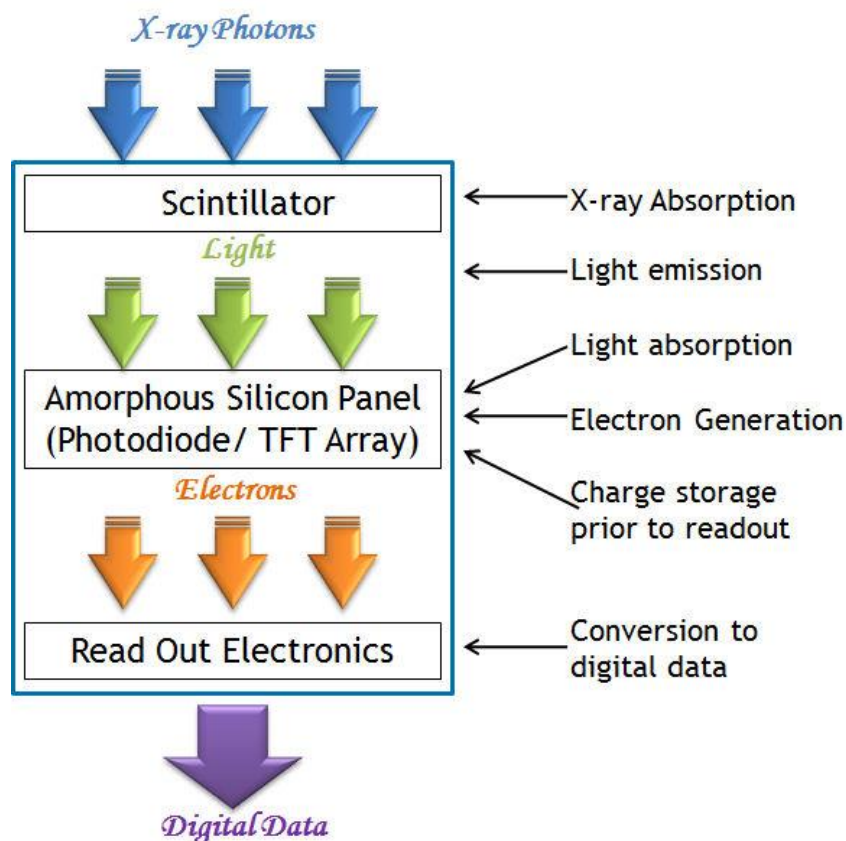


Kuva 5. Erikokoisia filmipakkauksia [26].

4.4 Digitaalikuvaustekniikka

Digitaalikuvaustekniikka käsittää CR-tekniikan (*Computed Radiography*) ja DR-tekniikan (*Digital Radiography*). CR-tekniikassa säteilylähteenä käytetään röntgenlaitetta tai gammalähdettä ja kuvan tallentamiseen fosforilevyä. Fosforilevyltä röntgenkuva siirretään tietokoneelle erillisen skannerin avulla. Kuvaa voidaan siirron jälkeen muokata kuvankäsittelyohjelmalla, sekä fosforilevy tyhjentää ja käyttää uudelleen. Filmin tavoin fosforilevyjä on saatavilla eri kokoina ja niitä voidaan taivuttaa, sekä tarvittaessa leikata. [8.]

DR-tekniikassa säteilylähteenä käytetään röntgenlaitteiden ja gammalähteen lisäksi pulssiröntgenlaitetta. Kuva tuotetaan tietokoneen näytölle detektoripaneelin eli DDA-paneelin (*Digital Detector Array*) avulla. Paneeli muuntaa ionisoivan säteilyn analogisesta signaalista digitaaliseen muotoon (kuva 6). Kun röntgenkuva on siirretty tietokoneelle, sitä voidaan muokata kuvankäsittelyohjelmalla. [9.]

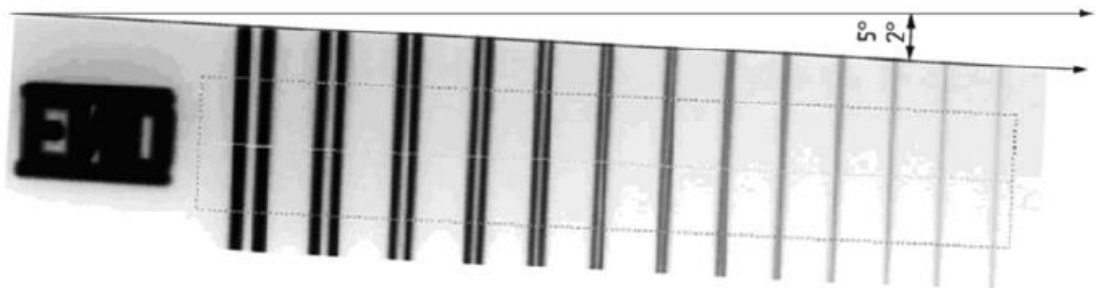


Kuva 6. DDA-paneelin toiminta [27].

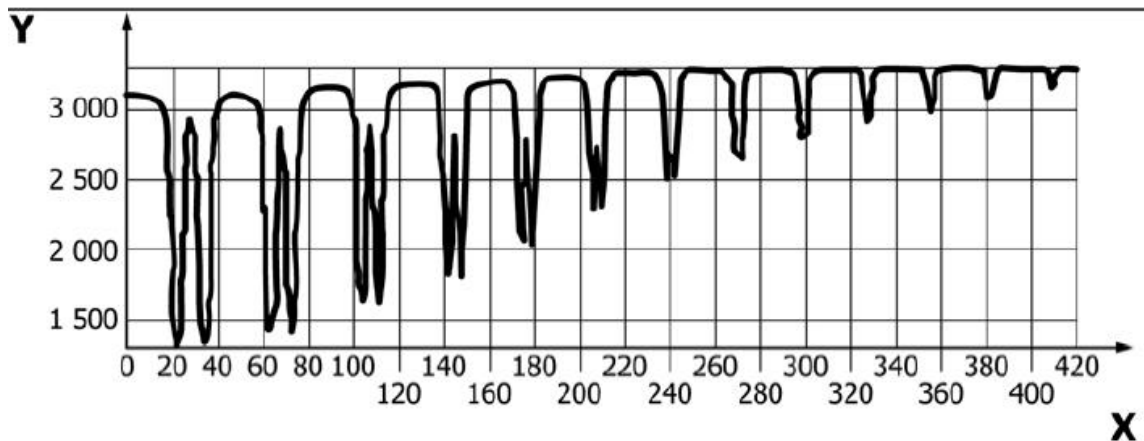
DDA-paneeleita on saatavilla useilta valmistajilta eri kokoina ja erotuskyvyillä. Paremmalla erotuskyvyllä varustetulla paneelilla pystytään saavuttamaan myös parempi signaali-kohinasuhde (SNR). [9].

Yleisiä digitaaliseen kuvanlaatuun (kuva 8) vaikuttavia tekijöitä ovat seuraavat:

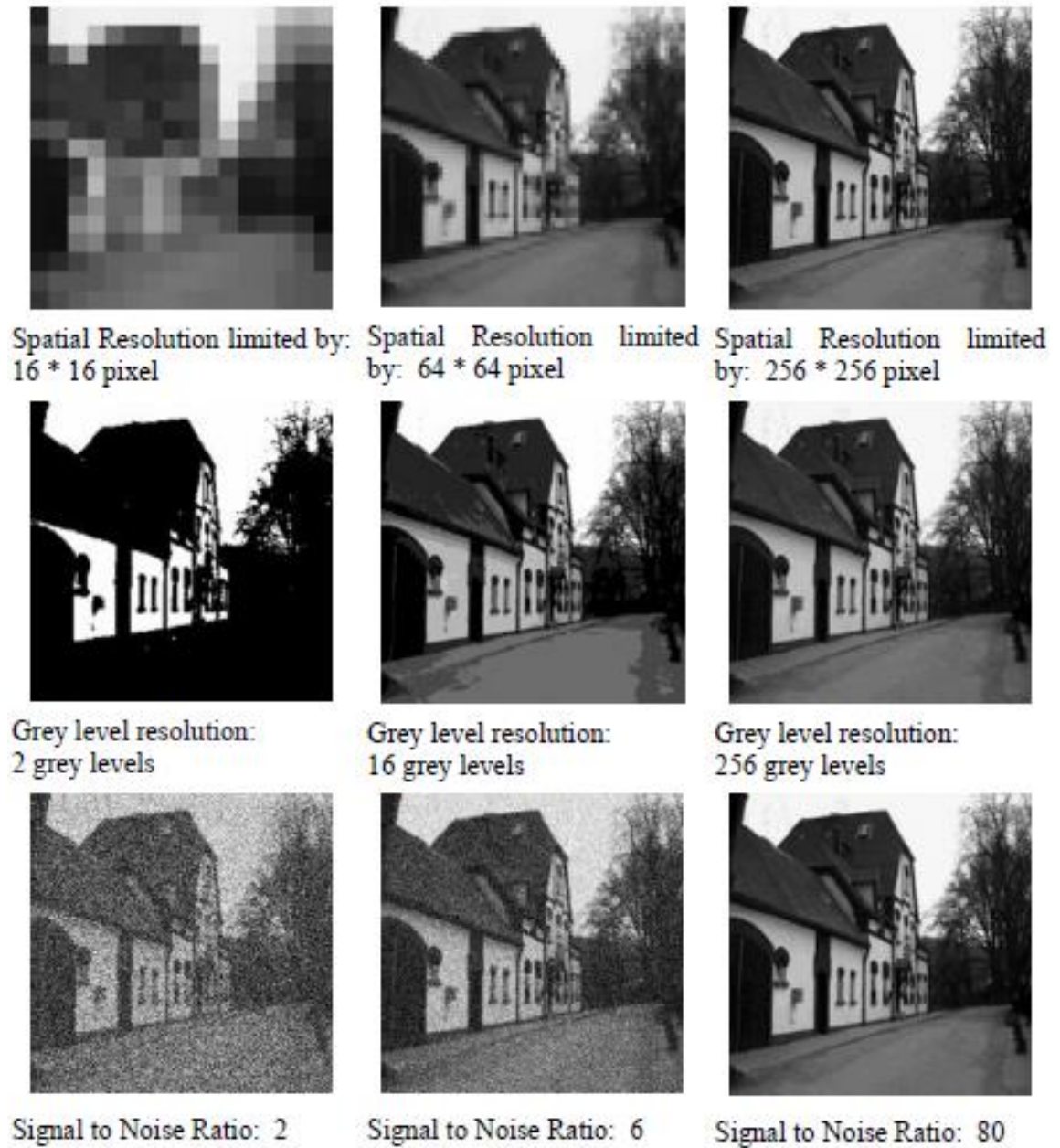
- Spatiaalinen resoluutio (SRb) on pienin kuvassa erotettavissa oleva yksityiskohta. SRb-arvo määritetään kaksoislankaindikaattorin avulla (kuva 7).
- Signaali-kohinasuhde (SNR) on DDA-paneelin kontrastin ja kohinan suhde. SNR-arvoa voidaan parantaa päällekkäisillä valotuksilla, nostamalla putkivirtaa tai kalibroimalla DDA-paneeli.
- Kontrasti-kohinasuhde (CNR) on pienin kuvassa erotettavissa oleva materiaalipaksuuden ero. CNR-arvo on SNR-arvon ja kuvattavan kohteen kontrastin suhde.
- Harmaasävyjen määrä. Esimerkiksi 8-bittisessä kuvassa on 256 harmaasävyä. [10.]



a. Image of duplex wire IQI as shown in a radiograph



Kuva 7. Kaksoislankaindikaattori [28].



Kuva 8. Digitaalinen kuvanlaatu [10].

Röntgenkuvaaminen DDA-paneelille on nopeaa, sillä valotusajat ovat filmikuvaamista lyhyempiä. Kuvaustulos on saatavilla heti, jolloin kuva voidaan tulkita kuvauspaikalla ja ilmoittaa tulos asiakkaalle. Mikäli röntgenkuva epäonnistuu, voidaan uusintakuvaus suorittaa uusilla kuvausarvoilla heti. Paneeli on kuitenkin huomattavasti paksumpi kuin filmi tai fosforilevy, eikä sitä voida sen jäykästä rakenteesta johtuen taivuttaa. Tämän vuoksi se ei sovellu ahtaisiin tai geometrisesti monimutkaisiin kuvauskohteisiin.

5 Säteilyn käytön säädökset

EU-maissa säteilyn käyttöä säädellään sekä kansallisin että EU-säädöksin. Lähes kaikki säädökset perustuvat ICRP:n (*International Commission On Radiology Protection*) antamiin säteilysuosituksiin. [11]. Tässä osassa tarkastellaan säteilyn käytön säädöksiä, joita on noudatettava otettaessa käyttöön uusi säteilylähde.

5.1 Säteilylaki ja asetukset

EU-säädökset:

- Euroopan neuvoston asetukset
- Euroopan neuvoston direktiivit, jotka toimeenpannaan kansallisin säädöksin
- Euroopan komission suositukset, jotka eivät ole sitovia

Euroopan neuvoston direktiivi (96/29/Euratom), on asetettu perusnormien vahvistamiseksi työntekijöiden ja väestön suojelemiseksi ionisoivasta säteilystä aiheutuvilta vaaroilta. Suomessa direktiivi on pantu täytäntöön säteilylailla ja -asetuksilla, sekä säteilyturvallisuusohjeilla. [11.]

Kansalliset säädökset:

- Eduskunnan säätämä säteilylaki
- Säteilyasetus
- Valtioneuvoston- ja ministeriön asetukset
- Säteilyturvakeskuksen säteilyturvallisuusohjeet, jotka annetaan säteilylain (70§) nojalla.

Säteilylaki (1991/592) sisältää viranomaisvelvoitteita, toiminnanharjoittajan vastuita ja velvollisuuksia, turvallisuuslupajärjestelmän, työntekijöiden suojelun periaatteita, valvontaoikeuksia, pakkokeinoja sekä toimintakohtaisia yleisiä vaatimuksia. [11.]

Säteilyn käytön ja muun säteilyaltistusta aiheuttavan toiminnan tulee täyttää aina seuraavat vaatimukset:

- Oikeutusperiaatteen mukaisesti säteilyn käytöllä saavutettavan hyödyn tulee olla suurempi kuin haitta.
- Optimointiperiaatteen mukaisesti terveydelle haitallisen säteilyaltistuksen tulee olla aina mahdollisimman alhainen.
- Yksilönsuojaperiaatteen mukaisesti säteilyn enimmäisarvoja ei saa ylittää. [11].

5.2 ST-ohjeet

Säteilyturvakeskuksen säteilyturvallisuusohje (ST-ohje) annetaan säteilylain (70§) nojalla, ja se sisältää yleistä turvallisuutta koskevia ohjeita. Säteilynkäytön toiminnanharjoittajan on huolehdittava, että ST-ohjeissa annettuja turvallisuustasoa noudatetaan ja ylläpidetään. Vuonna 2018 ST-ohjeet tullaan korvaamaan Säteilyturvakeskuksen määräyksillä. [11].

Teollisuusröntgenkuvauksia koskevia ST-ohjeita ovat seuraavat:

- ST 1: Yleiset ohjeet
- ST 5: Teollisuus, tutkimus, opetus ja kaupallinen toiminta
- ST 7: Säteilyannokset ja terveystarkkailu. [11.]

5.3 Yleiset säteilyturvallisuusvaatimukset teollisuusradiografiassa

ST-ohjeen kohdan 5.6 mukaan harjoittaakseen radiografiatoimintaa, on yrityksen haettava kirjallisesti Säteilyturvakeskukselta turvallisuuslupa. Turvallisuuslupahakemuksessa tehdään selvitys radiografiatoiminnasta, säteilyturvallisuusjärjestelyistä sekä säteilyn käyttöorganisaatiosta. [13.]

ST-ohjeen kohdan 1.4 mukaan säteilyn käyttöorganisaation on nimettävä ”Säteilyn käytön turvallisuudesta vastaava johtaja”. Lisäksi teollisuusradiografiatoiminnalle on nimettävä ”Säteilyn käyttöpaikan vastuhenkilö”. [12.]

Finnairilla Säteilyn käytöstä vastaavana johtajana toimii yhtiön turvallisuuspäällikkö. Säteilyn käyttöpaikan vastuuhenkilönä toimii riittävän kokemuksen teollisuusradiografialaitteista ja röntgenkuvauksesta omaava NDT-tarkastaja.

5.4 Työntekijöiden säteilysuojelukoulutus

ST-ohjeen kohdan 1.8 mukaisesti säteilyn käyttöön osallistuvilla henkilöillä on oltava työtehtäviinsä vaadittu pätevyys. Heidän on myös osallistuttava tarvittavaan säteilysuojelukoulutukseen ja saatava riittävä opastus työtehtäviinsä.

Säteilyn käytöstä vastaavan johtajan ja säteilyn käyttöpaikan vastuuhenkilön on suoritettava Säteilyturvakeskuksen hyväksymä säteilyturvallisuuskoulutus ja -kuulustelu.

Säteilytyötä tekevien työntekijöiden on saatava viiden vuoden aikana vähintään viisi tuntia dokumentoitua täydennyskoulutusta. Säteilyn käytöstä vastaavan johtajan on saatava viiden vuoden aikana vähintään kymmenen tuntia dokumentoitua täydennyskoulutusta.

ST-ohjeen kohdan 1.6 mukaan työntekijät luokitellaan säteilytyöluokkaan A tai B. Säteilytyöluokkaan A kuuluvilla henkilöillä on järjestettävä terveystarkkailu ja lääkärin tarkastus ennen työtehtävien aloitusta. Työntekijöillä on oltava käytössään henkilökohtainen säteilyannosmittari yhden kuukauden mittausjaksoin, jotta säteilyaltistuksen seuranta voidaan todeta.

[12].

5.5 Poikkeavat tapahtumat

ST-ohjeen kohdan 1.6 mukaan vaaratilanteet, jotka voivat johtaa poikkeaviin tapahtumiin, on pystyttävä ennakoimaan. Mahdollisuus poikkeaviin tapahtumiin on pidettävä niin pienenä kuin mahdollista. Työntekijöillä tulee olla kirjalliset ohjeet näiden varalta. [12].

Poikkeavia tapahtumia voivat olla esimerkiksi seuraavat:

- Säteilyturvallisuus käyttöpaikalla tai ympäristössä vaarantuu
- Säteilylähde katoaa tai varastetaan
- Ulkopuolinen pääsee luvattomasti valvonta-alueelle
- Turvallisuus vaarantuu säteilylaitteessa olevan vian vuoksi. [12.]

Poikkeavasta tapahtumasta on ilmoitettava heti säteilynkäytön turvallisuudesta vastaavalle johtajalle ja Säteilyturvakeskukselle. Poikkeavasta tapahtumasta tulee aina tehdä kirjallinen raportti. Säteilynaltistustilanteessa käytössä olleet henkilöannosmittarit on toimitettava annosmittauspalveluun luettaviksi. [12.]

5.6 Säteilymittarit ja -hälyttimet

ST-ohjeen kohdan 5.6 mukaan röntgenkuvausryhmällä on oltava käytössään kalibroitu säteilymittari (kuva 9). Säteilymittarin kalibroitajakso on viisi vuotta, ja kalibrointi tulee suorittaa sellaisessa toimipisteessä, jossa jäljitettävyys mittanormaaleihin on varmistettu. [13].



Kuva 9. Mirion RDS-30 -säteilymittari [29].

Säteilymittarin lisäksi on röntgenkuvauksiin osallistuvilla henkilöillä oltava käytössään henkilökohtainen suurentuneesta annosnopeudesta varoittava säteilyhälytin (kuva 10). Käytössä olevien säteilymittarien ja -hälyttimien varoitusäänien on oltava sellaisia, että ne kuullaan kovaaäänisessäkin ympäristössä. Varoitusäänten kuuluvuus on varmistettava ennen röntgenkuvauksen aloitusta. [13.]



Kuva 10. Bleper III -säteilyhälytin [30].

Röntgenkuvaukseen osallistuvilla henkilöillä on oltava käytössään myös henkilökohtainen säteilyannosmittari eli henkilödosisimetri (kuva 11) [13].



Kuva 11. TL henkilödosisimetri [31].

Henkilödosimetrejä on käytettävästä säteilylähteestä riippuen tarjolla erilaisia. Röntgensäteilyä mitattaessa käytetään termoloisteilmiöön perustuvaa menetelmää, jossa säteily saa dosimetrissä olevissa termoloistekiteissä aikaiseksi viritystiloja. Kun kidettä lämmitetään, viritystilat purkautuvat valona, joka mitataan valomonistinputkella. Emittoituvasta valosta saadaan hehkukäyrä, jonka rajaama pinta-ala on verrannollinen säteilyannokseen. [15.]

Finnairilla käytössä olevat henkilödosimetrit lähetetään kuukausittain tai mahdollisen poikkeavan tapahtuman jälkeen annosmittauspalveluun luettaviksi.

Uutta turvallisuuslupaa tai siihen tehtävää muutosta varten on Säteilyturvakeskukselle ilmoitettava tiedot käytettävissä olevista mittareista ja hälyttimistä. Säteilyturvakeskus arvioi annettujen tietojen perusteella hyväksyttävyyden esitetyn käyttötarkoituksen mukaan. [13.]

6 Säteilysuojelu

Röntgenlaitteiden käytön on oltava turvallista ja käyttötarkoitukseen sopivaa. Tässä osassa tarkastellaan röntgenkuvauksen suorittamiselle asetettuja vaatimuksia.

Röntgenlaitteille on asetettu vähintään seuraavat vaatimukset:

- Ohjausyksikössä on oltava virta-avain.
- Laitteessa on oltava kaksi toisistaan riippumatonta ilmaisinta, jotka osoittavat säteilytyksen käynnistymisen. Toisen tulee olla punainen merkkivalo.
- Ohjauspöydässä on oltava kytkentäpaikka erilliselle merkkivalolle ja säteilyvaaran ilmaiseva merkki.
- Ohjauspöydässä on oltava teksti, jonka mukaan laitetta saavat käyttää vain käyttöön oikeutetut henkilöt.
- Röntgenputkessa on ilmoitettava suurin putkijännite (kV), suurin putkivirta (mA) ja primäärikeilan avautumiskulma.
- Röntgenputken ja ohjauspöydän välisen kaapelin on oltava vähintään 20 metriä pitkä.
- Röntgenputkessa tulee mahdollisuuksien mukaan käyttää säteilykeilan rajoittimia. [13.]

6.1 Röntgenlaitteen tarkastukset

Laitteen käyttäjä tarkastaa röntgenlaitteen yleiskunnon aina ennen käyttöä. Toimintakunto tarkastetaan ja dokumentoidaan kerran vuodessa seuraavilta osin:

- Merkkivalot toimivat.
- Säteilyaukon suljin ja rajoittimet toimivat.
- Suuntauspuikko, varoitusmerkit ja turvalaitteet ovat käyttökunnossa.
- Sähkökaapelit ovat ehjiä. [13].

Mikäli röntgenlaitteessa havaitaan puutteita tai vikaa, sitä ei saa käyttää ennen kuin ne on korjattu. Mikäli laitetta ei pystytä helposti korjaamaan, se on toimitettava Säteilyturvakeskukseen hyväksymään korjauspalveluun. [13.]

6.2 Säteilylähteiden turvajärjestelyt

Säteilynkäytön toiminnanharjoittajan on tehtävä säteilylähteen luvattoman käytön ehkäisemiseksi riittäviä turvajärjestelyjä säteilylain (14§) mukaisesti. Turvajärjestelyiden laajuus määritetään tasoihin A, B ja C. Turvajärjestelyn tulee olla Säteilyturvakeskuksen hyväksymä. Teollisuusröntgenkuvauslaitteen turvataso on B.

Turvataso B mukaisesti säteilylähteistä on pidettävä kirjaa. Säteilynkäytön turvallisuudesta vastaavan johtajan on oltava tietoinen säteilylähteiden käytön tilaamisesta, vastaanottamisesta ja siirtämisestä. Säteilylähteet, joita ei enää käytetä, tulee poistaa.

Säteilylähteet tulee suojata vähintään kahdella rakenteellisella esteellä siten, että toinen esteistä on varastointipaikassa ja toinen säteilylähteessä itsessään. Säteilylähteen varastointipaikkaa ei saa käyttää muuhun tarkoitukseen, ja se on merkittävä säteilyvaaraa osoittavin merkein (kuva 12). Säteilylähteivarastossa tulee olla kulunvalvonta tai sen tulee olla jatkuvasti valvottu työskentelytila, jonne pääsy rajataan henkilöihin, joiden työn laatu sitä vaatii.

[13].



Kuva 12. Radioaktiivisen aineen tai ionisoivan säteilyn varoitusmerkki [32].

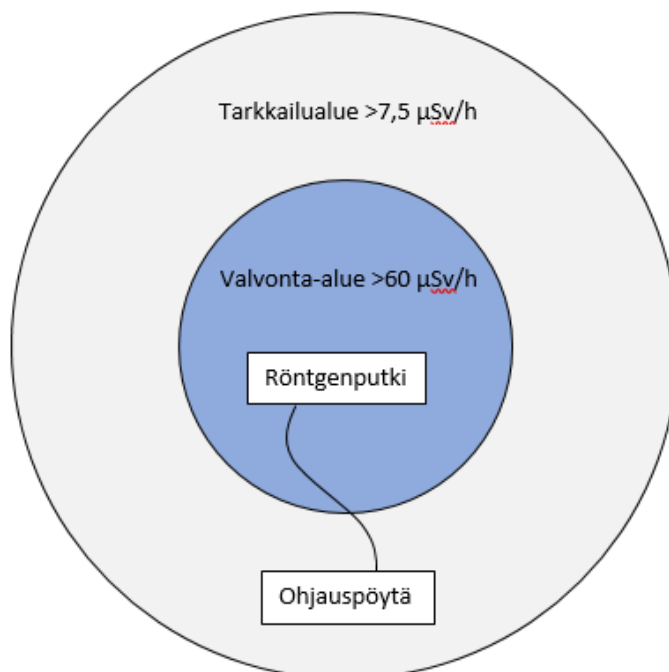
6.3 Avoimen asennuksen kuvaustilanne

Avoim asennus on kuvaustilanne, jossa röntgenkuvaus suoritetaan eristetyllä ja vartioidulla alueella. Röntgenkuvausta suunniteltaessa on otettava huomioon säteilyturvallisuuden vaikuttavia tekijöitä. Näitä ovat esimerkiksi kuvauspaikka ja -ajankohta, käytettävä röntgenlaite ja valotuksen kesto.

Säteilymittarilla on ensin tarkistettava kuvauspaikan ympäristö annosnopeuksien selvittämiseksi. Tämän jälkeen valvonta-alueeksi eristetään varoitusmerkeillä ja lippusiimoilla alue, jolla annosnopeus ylittää $60 \mu\text{Sv/h}$. Valvonta-alueella ei saa oleskella ja sitä on valvottava röntgenkuvauksen ajan.

Valvonta-alueen lisäksi tulee kuvausryhmän tarkkailla aluetta, jolla annosnopeus ylittää $7,5 \mu\text{Sv/h}$. Ohikulku ja muu lyhytaikainen oleskelu on tarkkailualueella sallittua. Yksi kuvaajista sijoittuu röntgenlaitteen ohjauspöydän luokse, jotta valotus voidaan vaaratilanteessa keskeyttää. Röntgenkuvaajien työskentelyalueella on annosnopeuden oltava mahdollisimman pieni (kuva 13).

[13.]



Kuva 13. Valvonta- ja tarkkailualue.

6.4 Suljetun asennuksen kuvaustilanne

Suljettu asennus on kuvaustilanne, jossa säteilylähde ja kuvauskohde sijaitsevat lukittavien ovien takana sijaitsevassa kuvaushuoneessa. Kuvaushuone on valvonta-alueita ja kuvauslaitteen ohjauspöytä sijaitsee sen ulkopuolella. [13.]

Kuvaushuoneen rakentamista ja käyttöä koskevat säädökset ovat tiukkoja ja edellyttävät Säteilyturvakeskuksen säännöllistä katsastusta. Tämän vuoksi röntgenkuvauksia joissa osat kuvataan irrallisina, tulee olla merkittävästi. Finnairin käytössä ei ole suljetun asennuksen kuvaustilannetta.

6.5 TO 5697

Finnairin NDT-tarkastajat noudattavat ST-ohjeiden lisäksi Finnairin ohjetta TO 5697. Ohje kuvaa röntgenkuvauksen yleiset menettelytavat ja turvallisuusohjeet Finnairin teknillisillä alueilla suoritettavien röntgenkuvauksen osalta.

TO 5697:n mukaisesti röntgenkuvauksia Finnairin teknillisillä alueilla suorittavat NDT-tarkastajat, jotka ovat läpäisseet ”Vastaavan johtajan säteilysuojelu teollisuusradiografiassa” -kurssin ja siihen liittyvän kuulustelun. Työntekijöiden tulee saada dokumentoitua kertausta säteilysuojelun uusista ohjeista ja teollisuusröntgenlaitteista, viiden vuoden aikana vähintään viisi tuntia.

Työntekijöiden soveltuvuuden säteilytyöhön arvioi Säteilyturvakeskuksen hyväksymä Finnairin työterveyslääkäri. Säteilytyötä tekevät NDT-tarkastajat käyttävät työssään aina henkilökohtaisia säteilyannos- ja säteilyvalvontamittareita, sekä säteilyhälyttimiä.

Kaikki röntgenkuvaukset suoritetaan avoimena asennuksena Finnairin teknillisillä alueilla Helsinki-Vantaan lentokentällä, jolloin säteilylähde on tarvittaessa siirrettävissä haluttuun kohteeseen.

[16].

7 Lentokoneiden röntgentarkastukset

Osana insinööriyötä haluttiin tilaajan toimesta lyhyt selvitys siitä, voitaisiinko DR-laitetta käyttää FTO:n huolto-ohjelmiin kuuluvien lentokoneiden röntgentarkastuksissa. Arvio DR-laitteen käyttömahdollisuuksista perustuu ainoastaan lentokonevalmistajien omiin ohjeisiin.

Kullakin NDT-tarkastusmenetelmällä on perusstandardi ja sen lisäksi joukko muita standardeja, joita tarkastuksissa noudatetaan. Näiden standardien tarkoituksena on yhdenmukaistaa NDT-tarkastusten suorittaminen ja tarkastusvälineiden käyttäminen. Siviili-ilmailupuolella ei yleisesti ottaen käytetä omia tarkastusohjeita, elleivät ne ylitä standardien vaatimuksia.

Standardien lisäksi lentokoneiden valmistajat julkaisevat *Nondestructive Testing Manual (NTM)* -tarkastusohjeita, joiden mukaan tarkastukset on suoritettava. NTM-ohjeista löytyvät perustiedot tarkastuskohteesta, tarkastuksen suoritusohjeet, tarkastuslaitteiden perussäädöt ja käytettävät kalibrointikappaleet.

Lentokonevalmistajien yhteisenä vaatimuksena NDT-tarkastusten itsenäiselle suorittamiselle on EN 4179:n tai muun vastaavan ilmailualan NDT-standardin mukaisesti pätevyitetty tason 2 NDT-tarkastaja. Airbus hyväksyy ainoana lentokoneenvalmistajista osalle NDT-tarkastuksia tason 1 tarkastajan, mikäli lentoyhtiön oma valtuutusjärjestelmä hyväksyy tason. Tämän lisäksi lupa tason 1 käyttämiselle on saatava kansalliselta ilmailuviranomaiselta, joka on Suomessa TRAFI. Mikäli molemmat ehdot täyttyvät, on lisäksi jokaiselle tason 1 suorittamalle tarkastukselle laadittava tason 3 toimesta kirjallinen tarkastusohje. [17.]

7.1 Embraer

Embraerin huolto-ohjelmaan kuuluu pieni määrä röntgentarkastuksia. Tarkastusten aikaväli on kuitenkin niin pitkä, että vielä ei ole tietoa, operoidaanko Finnairin lentokoneilla tarkastusten tullessa ajankohtaiseksi. Embraer hyväksyy NTM-ohjeessaan käytettäväksi ainoastaan filmitekniikan. [18.]

7.2 ATR

ATR:n huolto-ohjelmaan kuuluvia röntgentarkastuksia suoritetaan Finnairilla, mutta NTM hyväksyy ainoastaan filmitekniikan. NTM-ohjeen röntgenosuus on laadittu vuonna 1993 ja viimeisin päivitys on vuodelta 2000. Tämän johdosta on vaikea olettaa, että ohjeeseen hyväksyttäisiin digitaalitekniikan käyttö tulevaisuudessakaan. [19.]

7.3 Airbus

Airbusin NTM-ohje hyväksyy tietyin ehdoin DR- ja CR-tekniikat. Näitä voidaan käyttää korvaavina menetelminä filmitekniikalle, jos NDT-tarkastajat on pätevoidetty digitaalisen kuvaustekniikan tasolle 2. Lisäksi kuvanlaadun ja käytettävien laitteiden on täytettävä NTM-ohjeiden ja digitaalisten röntgentarkastusstandardien vaatimukset. Airbus viittaa DR-tekniikan osalta seuraaviin standardeihin:

- *ASTM E2597 - Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays*
- *ASTM E2698 - Standard Practice for Radiological Examination using Digital Detector Arrays*
- *ASTM E2736 - Standard Guide for Digital Detector Array Radiology.*
- *ASTM E2737 - Standard Practice for Digital Detector Array Performance Evaluation and Longterm Stability.*

Digitaalitekniikkaan ei kuitenkaan voi siirtyä suoraan, vaan sitä on käytettävä filmitekniikan rinnalla. Siirtymäaika kestää siihen saakka, kunnes voidaan luotettavasti todistaa, että kuvanlaatu vastaa filmitekniikkaa. Lisäksi vaaditaan tarpeeksi kokeneen digitaalitekniikan tason 3 tarkastajan käyttäminen koko siirtymäajan. Taso 3 hyväksyy lopullisesti sen, missä vaiheessa digitaalitekniikka vastaa filmitekniikkaa.

[17.]

DR-tekniikan käyttäminen lentokoneiden röntgenkuvauksissa on hankalaa, sillä kohteet ovat geometrisesti monimutkaisia, esimerkiksi lentokoneen runko on kaareva. Osa kuvauskohteista sijaitsee sellaisissa paikoissa, joissa vain röntgenfilmiä leikkaamalla saadaan asetettua filmi paikoilleen. DR-tekniikalla voitaisiin hakea käyttökokemusta sellaisista kuvauskohteista, joissa rakenteita on purettu osatasolle.

8 BoltXPro DR-laitteisto

8.1 Laitetekonaisuuden osat

Hydraulikorjaamolle hankittiin Vidisco Ltd:n toimittama BoltXPro DR-laitetekonaisuus (kuva 14), johon kuuluu:

- XRS-3-pulssiröntgenlaitte
- BoltXpro DDA-paneeli
- ICU (*Image Control Unit*)
- XbitPro-kuvankäsittelyohjelma, joka toimii myös säteilylähteen ohjauspöytänä.

DDA-paneelin ja XbitPro-ohjelman valmistaja on Vidisco Ltd. XRS-3 säteilylähteen valmistaja on Golden Engineering Ltd.



Kuva 14. 1 – DDA-paneeli, 2 – säteilylähde, 3 – ICU, 4 – tietokone BoltXPro-ohjelmalla.

Hankintaan päädyttiin saatavilla olevien arvioiden ja oman aikaisemman käyttökokemuksen perusteella. Vidiscolla oli tarjolla erilaisia paneelivaihtoehtoja, joita päästiin vertailemaan todelliseen röntgenkuvauskohteeseen. Projektin budjetti määritti lopullisesti hankittavan laitekokoituksen.

8.2 XRS-3 säteilylähde

XRS-3 tuottaa röntgensäteilyä, jonka pulssitaajuus on 15 pulssia/s ja suurin mahdollinen säteilyenergia on 270 kV. Säteilyenergiaa ei voi itse säädellä, vaan käyttäjä säätelee pulssien määrää asteikolla 1–99. Tällöin esimerkiksi säteilytettäessä 50 pulssilla on valotusaika 3,3 s.

Laitteessa ei ole erillistä tuuletinta, vaan jäähditys tapahtuu kuoren kautta. Jos röntgenkuvataan usealla päällekkäisellä valotuksella, jäähdyttää laite automaattisesti itseään valotusten välissä ja jatkaa jäähdytysajan päätyttyä. XRS-3 ei tarvitse esilämmitystä ennen röntgenkuvauksen aloitusta, vaan laitetta pääsee käyttämään heti sen käynnistämisen jälkeen. Verkkovirtaa ei tarvita, koska laite toimii 14,4 V:n ladattavilla akuilla.

Laitteen tuottama pulssimainen röntgensäteily ei sovellu mitattavaksi *Geiger-Mueller*-tyyppisellä säteilymittarilla, koska mittarin vasteaika on pidempi kuin pulssin kesto. Pulsiröntgenlaitetta varten hankittiin RAM-ION-merkkinen ionisaatiokammio mittari (kuva 15), jota on käytettävä aina XRS-3:n kanssa.

[20, s. 2-3, 23].



Kuva 15. RAM-ION-ionisaatiokammio mittari [33].

8.3 BoltXPro-paneeli

BoltXPro on CMOS-tekniikkaan perustuva 14-bittinen (16,384 harmaasävyä) DDA-paneeli, jonka pikselinkoko on 75 µm. Paneelin kuva-alue on 145 X 115 mm (kuva 16). [21, s.123–127.]



Kuva 16. BoltXPro DDA-paneeli.

Pulssiröntgenlaitetta ja paneelia ohjataan XbitPro-ohjelmalla. Muita säteilylähteitä käytettäessä ohjataan paneelia XbitPro-ohjelmalla ja säteilylähdettä sen omasta ohjauspöydästä. Valmistajan suositus on paneelin herkän elektronikan vuoksi käyttää 0,5–1,0 mA:n putkivirtaa ja enintään 160 kV:n putkijännitettä. Suurempia kuvasarvoja käytettäessä tulisi sellaiset paneelin osat, jotka jäävät röntgenkuvattavan osan ulkopuolelle, suojata lyijylevyllä. [21, s.17–24.]

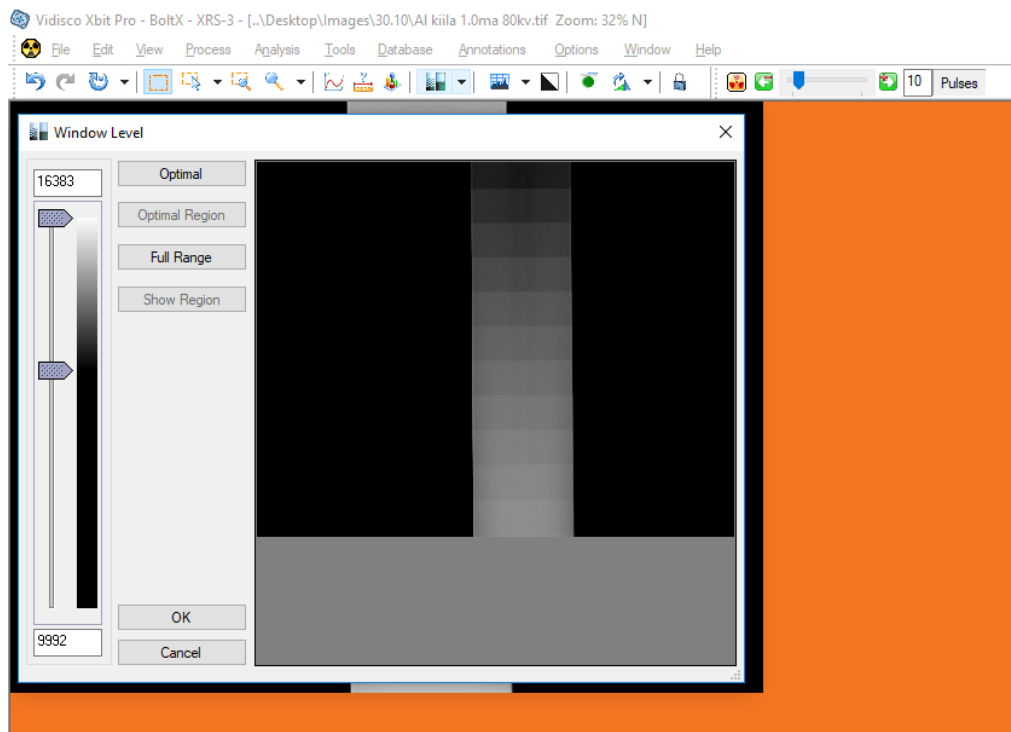
Paneelille saattaa jäädä haamukuvia edellisestä röntgenkuvauksesta tai sen pikselit voivat olla korruptoituneita. Nämä näkyvät harmaina raitoina röntgenkuvassa, ja tästä syystä paneeli on ensin kalibroitava. Kalibrointi suoritetaan ilman säteilylähdettä XbitPro-ohjelman ”*Dark Calibration*”-työkalun avulla. [21, s. 218–222.]

8.4 XbitPro-ohjelma

XbitPro-ohjelmaa käytetään röntgenkuvan tulkintaan ja kuvankäsittelyyn, ja se toimii säteilylähteen ohjauspöytänä. Insinööriyössä käytettiin seuraavia ohjelman työkaluja:

- *Automatic Averaging*-työkalulla valotetaan samaa aluetta useita kertoja päällekkäin ja lopuksi ohjelma yhdistää ne yhdeksi röntgenkuvaksi.
- *Window leveling*-työkalun avulla säädetään kuvassa näkyvien harmaasävyjen määrää, jolloin kuvasta saadaan esille enemmän yksityiskohtia (kuva 17).
- *Sharpen*-työkalun avulla parannetaan kuvan terävyyttä, mutta samalla kohinasuhde kuvassa kasvaa.
- *Polarity*-työkalulla valitaan negatiivinen tai positiivinen kuva. [21, s. 40, 73–83.]

Ennen kuvan käsittelyä kannattaa raakakuva tallentaa joko tiff- tai xbit-muotoon. Alkuperäinen kuva säilyy muuttumattomana ja sitä voidaan käsitellä uudelleen XbitPro-ohjelmalla. Tallennettaessa kuva xbit-muotoon, voidaan siihen lisätä kuvausarvoja ja samalla luoda kuva-arkisto. Lopullisesta kuvasta tallennetaan jpeg-muotoinen kuva, joka saadaan näkyville kaikilla tietokoneilla. [21, s. 134–137.]



Kuva 17. Window Leveling Tool.

9 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin röntgenkuvauksen vaatimustaso liitteessä esitetyn osan kohdalla. Selvityksessä otettiin huomioon röntgenkuvan laatu, röntgenkuvaajien vaatimustaso ja säteilysuojelun näkökulma. Insinööriyön perusteella voidaan todeta, että röntgenkuvaukset voidaan suorittaa käyttölaitteen ollessa kiinnitettynä asennuspenkkiin. Säteilysuojelumääräyksien osalta tämä pystytään täyttämään käyttämällä kuvauksissa pulssiröntgenlaitetta. Kuvanlaadullisesti onnistuttiin saamaan sellainen röntgenkuva, jossa näkyy haluttu alue.

Digitaalisella kuvaustekniikalla on röntgenkuvauksissa käytetyn ajan suhteen suuri ero filmitekniikkaan verrattuna. Pulssiaaltoröntgenlaitteella voidaan röntgenkuvaus suorittaa kokonaisuudessaan noin puolessa tunnissa. Aikaan on laskettu röntgenkuvauksen lisäksi laitteiston asennus ja purku, kuvankäsittely ja valmiin kuvan siirto asiakkaalle.

Vastaavasti röntgenkuvaaminen puoliaaltoröntgenlaitteella vaatii ensin laitteen 15 minuutin esilämmityksen. Valotetut röntgenfilmit kuljetetaan toiseen toimipisteeseen filminkehitystä varten. Vähäisen käytön vuoksi on filminkehityskoneeseen valmistettava uudet kehitysnesteet ja suoritettava filminkehityksen kunnonvalvontakokeet. Käytön jälkeen kehityskone tyhjennetään ja pestään. Kaikkiin työvaiheisiin kuluu aikaa noin 3 tuntia. Digitaalitekniikalla vältetään ylimääräiset välivaiheet.

Digitaalinen röntgenkuvaus vaatii uudenlaista osaamista NDT-tarkastajilta. NDT-tarkastajien tulisi hankkia riittävästi kokemusta eri materiaalien ja kohteiden röntgenkuvauksista DR-tekniikalla. Kokemusta voidaan kartuttaa röntgenkuvaamalla aina yhtä aikaa sekä DR-tekniikalla että filmitekniikalla. Röntgenkuvia vertailemalla saadaan kokemusta tekniikoiden eroista ja kuvausarvoista eri materiaaleille. Tärkeää olisi lisäksi löytää röntgenkuvattavaksi sellaisia osia, joissa on tunnettuja vikoja. Digitaalisessa röntgenkuvauksessa vaikeinta on kuvankäsittely ja kuvien tulkinta. Ilman ulkopuolisen tarjoamaa koulutusta on tarvittavan osaamisen hankkiminen haastavaa.

Lähteet

- 1 Finnair yrityksenä. 2017. Verkkoaineisto. Finnair Oyj. <<https://company.finnair.com/fi/finnair-yrityksena>>. Luettu 10.11.2017.
- 2 Laivasto. 2017. Verkkoaineisto. Finnair Oyj. <https://www.finnair.com/fi/fi/flights/fleet?_ga=2.190328296.218405923.1500463600-1686606378.1491987944>. Luettu 10.11.2017.
- 3 TOPI 02.03.02 Qualifying Maintenance Staff revision 10. 2016. Technical Operations Procedures and Instructions. Finnair Technical Operations.
- 4 TO 5690 NDT-tarkastajien pätevytyminen revisio 4. 2016. Technical standard instruction. Finnair Technical Operations.
- 5 SFS-EN 4179:2017 Aerospace series. Qualification and approval of personnel for non-destructive testing. 2017. Standardi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 6 Ukkonen, Pentti. 1991. Radiografinen tarkastus. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry.
- 7 Oy Agfa-Gevaert Ab. 1989. Teollisuusradiografia. Mortsel: Agfa NDT.
- 8 What-is-cr-technology. 2017. Verkkojulkaisu. Durr NDT GmbH&Co. KG. <What-is-cr-technology. <http://www.duerr-ndt.com/products/computed-radiography/what-is-cr-technology.html>>. Luettu 11.10.2017.
- 9 Ndt_wiki_x_ray. 2017. Verkkojulkaisu. Vidisco Ltd. <http://www.vidisco.com/ndt_solutions/ndt_info_center/ndt_wiki_x_ray>. Luettu 12.10.2017.
- 10 New Digital Radiography Procedure Exceeds Film Sensitivity Considerably in Aerospace Applications. 2014. Verkkojulkaisu. <https://www.researchgate.net/publication/242364081_New_Digital_Radiography_Procedure_Exceeds_Film_Sensitivity_Considerably_in_Aerospace_Applications>. Luettu 12.10.2017.
- 11 Oksanen, Eero ym. 2016. Säteilyn käytön turvallisuudesta vastaavan johtajan koulutus - teollisuusradiografia. Kurssimateriaali. AEL sr.
- 12 Säteilyturvallisuusohjeet. 1: Yleiset ohjeet. 2017. Verkkoaineisto. Säteilyturvakeskus. <<http://www.stuk.fi/saannosto/stukin-viranomaisohjeet/sateilyturvallisuusohjeet>>. Luettu 22.4.2017.

- 13 Säteilyturvallisuusohjeet. 5: Teollisuus, tutkimus, opetus ja kaupallinen toiminta. 2017. Verkkoaineisto. Säteilyturvakeskus. <<http://www.stuk.fi/saannosto/stukin-viranomaisohjeet/sateilyturvallisuusohjeet>>. Luettu 22.4.2017.
- 14 Säteilyturvallisuusohjeet. 7: Säteilyannokset ja terveystarkkailu. 2017. Verkkoaineisto. Säteilyturvakeskus. <<http://www.stuk.fi/saannosto/stukin-viranomaisohjeet/sateilyturvallisuusohjeet>>. Luettu 22.4.2017.
- 15 Termoloistedosimetri. 2017. Verkkoaineisto. Doseco Oy. <<http://www.doseco.fi/?id=8DA95FDE-A1BD45BF8BF9-0AB486D53A2D>>. Luettu 25.4.2017.
- 16 TO 5697 Teollisuusradiografia ja säteily suojele revisio 3. 2016. Technical standard instruction. Finnair Technical Operations.
- 17 NTM 51-20 X-Ray-general. 2017. Verkkojulkaisu. Airbus S.A.S. <www.airbus-world.com>. Luettu 5.10.2017.
- 18 NTM Part 1-Radiographic inspection. 2017. Verkkojulkaisu. Embraer SA. <www.flyembraer.com>. Luettu 5.10.2017.
- 19 NDTM Part 2-X-RAY. 2000. Verkkojulkaisu. ATR. <http://ayvwpnmanap01/ATR/ATR_Maintenance_CDs/ATR72_CPCICF-NDTM-SRKM-SRM-ARM_R47/Pdf/NDTM_Non_Destructive_Test_Manual/NDTM_72/NDTM_51/72_51_20_00>. Luettu 5.10.2017.
- 20 XRS-3 Operator's manual. Käyttöohje. Golden Engineering ltd.
- 21 XbitPro User Manual Version 3.0.6. 2016. Käyttöohje. Vidisco ltd.
- 22 A350XWB. 2015. Verkkoaineisto. Airbus S.A.S. <https://frantic.s3.amazonaws.com/finnair-blog/2015/09/A350-XWB-FINN AIR-FIRST-FLIGHT_01.jpg>. Luettu 22.6.2017.
- 23 Mitä säteily on. 2015. Verkkoaineisto. Säteilyturvakeskus. <<http://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on>>. Luettu 12.8.2017.
- 24 Röntgenputki. 2017. Verkkoaineisto. Metropolia. <<https://wiki.metropolia.fi/download/attachments/108375056/xraytube.png?version=1&modificationDate=1411030211000&api=v2>>. Luettu 3.10.2017.
- 25 Yxlon SMART. 2014. Verkkoaineisto. JSC Elins. <<http://www.elins.lt/images/Y.SMART.png>>. Luettu 10.10.2017.
- 26 Agfa Structurix. 2017. Verkkoaineisto. GE Measurement & Control. <https://www.gemeasurement.com/sites/gemc.dev/files/styles/product_370_277/public/inspectionndt_radiography_structurix_film_pc3.png?itok=GGPNI-1m>. Luettu 10.10.2017.

- 27 DDA diagram. 2017. Verkkoaineisto. Vidisco Ltd. <<http://www.vidisco.com/sites/default/files/DDA-diagram.jpg>>. Luettu 12.10.2017.
- 28 Duplex IQI. 2014. ASTM E2597/E2597M:14 Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays. ASTM International. Luettu 12.10.2017.
- 29 RDS-30 radiation survey meter. 2017. Verkkoaineisto. Mirion Technologies. <<https://www.mirion.com/products/rds-30-radiation-survey-meter>>. Luettu 25.4.2017.
- 30 Bleeper III personal radiation monitor. 2017. Verkkoaineisto. Fluke Biomedical. <<http://www.flukebiomedical.com/biomedical/usen/radiation-safety/personal-dosimetry/05-104-bleeper-iii-personal-radiation-monitor.htm?pid=54268>>. Luettu 25.4.2017.
- 31 Dosimetrikotelo ja kortti. 2017. Verkkoaineisto. Doseco Oy. <http://www.doseco.fi/SIRA_Files/images/Doseco-054329pieni.jpg>. Luettu 25.4.2017.
- 32 Radioaktiivisen aineen tai ionisoivan säteilyn varoitusmerkki. 2017. Säteilyturvakeskus. Verkkoaineisto. <http://www.stuk.fi/documents/12547/229922/sateilyvaara_rgb.jpg/cfb3abbe-cb5f-44eb-b6b1-a640fee82766?t=1431352336585>. Luettu 12.8.2017.
- 33 RAM ION meter. 2017. Verkkoaineisto. Rotem Industries Ltd. <<http://www.rotem-radiation.co.il/wp-content/uploads/2016/05/RAM-ION-web.jpg>>. Luettu 12.8.2017.