

Tämä on alkuperäisen artikkelin rinnakkaistallennettu versio.
Rinnakkaistallenteen sivuasettelut ja typografiset yksityiskohdat
saattavat poiketa alkuperäisestä julkaisusta.

Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

Kauppi, T. 2019. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsaustekniikka. 71 (3), 6-12.

Hitsien rikkomaton aineenkoetus

Timo Kauppi

Hitsien rikkomaton aineenkoetus (NDT-tarkastus) on välttämätöntä laadunvarmistuksessa. Hitsejä tarkastetaan eri NDT-menetelmillä vuositasolla valtava määrä. Tarkastusta ohjaavat mm. tuotestandardit, joista osa ei vielä salli kaikkien nykyisin käytössä olevien menetelmien käyttämistä. Tarkastusta tekevät pääasiassa pätevytettyt NDT-tarkastajat, joita Suomessa on tällä hetkellä hieman yli 900 henkilöä. Suomessa on myös reilut 400 kansainvälisen hitsaustarkastajan tutkinnon (IWI-C, IWI-S) suorittanutta henkilöä.

Kuten jo monessa HT-lehden artikkelissa vuosien varrella on tähdennetty, on täysin virheettömän hitsin aikaansaaminen käytännössä mahdoton tehtävä ja näin ollen hitsausliitoksessa sallitaan tietty määrä, tiettytyypisiä virheitä. Vaadittava laatutaso ja tarkastuksen laajuus riippuvat mm. siitä, onko kyseessä painelaite, kantava teräsrakenne, kone, jne.

Hitsausliitosten tarkastus voidaan jakaa ainetta rikkoviin (DT) ja ainetta rikkomattomiin (NDT) menetelmiin. Hitsien rikkomattoman aineenkoetuksen yleisohjeet metallisille materiaaleille on annettu kansainvälisessä standardissa SFS-EN ISO 17635:2016. Se käsittelee seuraavia menetelmiä:

- AT = akustinen emissio
- ET = pyörrevirtatarkastus
- TT = Infrapunalämpökameratarkastus
- LT = vuototarkastus
- MT = magneettijauhetautitarkastus
- PT = tunkeumanestetarkastus
- RT = radiografinen kuvaus
- ST = venymäliuskatarkastus
- UT = ultraäänitarkastus
- VT = silmämääräinen tarkastus

Kaikki nämä ovat menetelmiä, joissa rikkomatonta aineenkoetusta suoritavalta ja lopullisia hyväksymistuloksia arvioivalta tarkastajalta vaaditaan standardin SFS-EN ISO 9712 mukainen pätevyitys asiaankuuluvalla teollisuussektorille.

NDT-henkilöiden pätevyinti ja sertifiointi

Suomessa Inspecta Sertifiointi Oy järjestää Nordtest-järjestelmän mukaisia SFS-EN ISO 9712:2012 standardin vaatimukset täyttäviä NDT-testaajan tutkintoja ja myöntää tutkinnon suorittaneille standardin vaatimukset täyttävän sertifiointin. Tällä hetkellä Suomessa on vähän yli 900 sertifiointia NDT-tarkastajaa, joista usealla on pätevyudet monelle menetelmälle. Yhteenlaskettu sertifiointien määrä 18.5.2019 oli 2352 kpl. Taulukossa 1 on annettu eri pätevyyksien lukumäärät.

Taulukon mukaan selvästi eniten on tasolle 2 sertifioituja NDT-tarkastajia (2163 kpl). Standardi SFS-EN ISO 9712:2012 määrittelee tason 2 seuraavasti:

”Tasoon 2 sertifiointi henkilö on osoittanut olevansa pätevä suorittamaan rikkomatonta aineenkoetusta NDT-ohjeen mukaan. Tason 2 henkilön voidaan todistuksessa annetun pätevyuden mukaan valtuuttaa työnantajan toimesta:

- a. valitsemaan sovellettavan NDT-tekniikan kyseiselle NDT-menetelmälle
- b. määrittämään kyseisen NDT-menetelmän sovellutuksen rajoitukset

- c. muuttamaan NDT-standardeja, -säännöstöjä, -spesifikaatioita ja -menettelyjä käytännön NDT-työohjeiksi todellisiin työolosuhteisiin
- d. asettamaan ja tarkistamaan laitteiston toimintakunto
- e. suorittamaan ja valvomaan tarkastuksia
- f. tulkitsemaan ja arvioimaan tarkastustuloksia sovellettavan standardien, säännöstöjen, spesifikaatioiden tai menettelyjen mukaan
- g. toteuttamaan ja valvomaan kaikkia tason 2 ja sen alapuolella olevia tehtäviä
- h. opastamaan tason 2 tai sen alapuolella olevia henkilöitä
- i. raportoimaan rikkomattoman aineenkoetuksen tuloksia.”

Pätevyyskokeen on katettava tietty NDT-menetelmä, jota sovelletaan yhdellä teollisuussektorilla tai yhdellä tai useammalla tuotesektorilla. Sertifiointielimen on määritettävä ja julkaistava jokaiseen kokeeseen enimmäisaika, jonka kokelas voi käyttää kokeen suorittamiseen. Enimmäisajan on perustuttava kysymysten määrään ja vaikeuteen.

Kokelaan on ennen pätevyystutkintoa täytettävä näkökykyä ja harjoituksia koskevat vaatimukset sekä omata käytännön kokemusta teollisuuden alalta vaatimusten mukaisesti. Kaikilla tasoilla kokelaiden on tyydyttävästi osallistuttava teorian ja käytännön koulutukseen. Taulukossa 2 on annettu teoriakoulutuksen ja käytännön kokemuksen määrän vähimmäisvaatimukset radiografisen kuvauksen tapauksessa.

Sertifiointuun pätevyyteen liittyy tuote- ja teollisuussektori, joille pätevyys on voimassa. Tuotesektorit ovat: valut (c), takeet (f), hitsatut tuotteet (w), putket (t), muokatut

Taulukko 1. Sertifiointujen NDT-tarkastajien lukumäärät Suomessa 18.5.2019 (Kiwa 2019).

Taso	ET	LT	MT	PT	RT	UT	VT
TASO 3	8	0	27	27	15	27	16
TASO 2	30	3	554	521	271	273	490
TASO 1	7	0	0	0	83	0	0
yhteensä	45	3	581	548	369	300	506

Taulukko 2. Kurssituntien ja käytännön kokemuksen vähimmäisvaatimukset (SFS-EN ISO 9712 2012).

RT	Taso 1	Taso 2	Taso 3
teoria	40 h	80 h	40 h
työkokemus	3 kk	9 kk	18 kk

tuotteet (wp) ja komposiittimateriaalit (p). Teollisuussektorit ovat: metallin valmistus, laitteiden, laitojen ja rakenteiden valmistuksen- ja käytönaikainen tarkastus, rauta-ten ylläpito ja ilmailuteollisuus. Pätevyyskokeen on katettava tietty NDT-menettelmä, jota sovelletaan yhdellä teollisuussektorilla tai yhdellä tai useammalla tuotesektorilla.

Yleisen ja erityisoston kirjallisten kokeiden tulokset arvostellaan vertaamalla kokeilaan vastauksia sertifiointielimen hyväksymiin mallivastauksiin. Yleiskokeessa tulee olla ainoastaan kysymyksiä, jotka on valittu satunnaisesti sertifiointielimen tai valtuutetun elimen hyväksymästä yleisten kysymysten kokoelmasta, joka on voimassa tutkintopäivänä. Kokelaalta vaaditaan vastaukset monivalintakysymyksiin, joita on NDT-menettelmästä riippuen 30 tai 40 kpl. Erityiskokeessa tulee olla ainoastaan kysymyksiä, jotka on valittu sertifiointielimen tai valtuutetun elimen voimassaolevan erityiskysymyskokoelmasta ottaen huomioon kyseessä olevan sektorin. Erityisostassa kokelaalta vaaditaan vastaukset vähintään 20 monivalintakysymykseen, mukaan lukien kysymyksiä, joihin sisältyvät laskelmia, NDT-ohjeita sekä kysymyksiä säännöistä, standardeista ja spesifikaatioista.

Käytännön kokeen tulee sisältää tarkastuksen soveltamista tietyille kokekappaleille, tulostietojen kirjaamista (ja tason 2

kokeilla tulkinta) vaaditulle tasolle sekä tulosten raportointi vaaditussa muodossa. Harjoituskokekappaleita ei saa käyttää päteväntikokeessa.

Suoritettu sertifiointi enimmäisvoimassaoloaika on viisi (5) vuotta. Voimassaolo alkaa (sertifiointiin myöntämispäivästä), kun kaikki sertifiointiin (koulutus, kokemus, hyväksyttävä näkö tarkastus ja tutkinnon läpisy) liittyvät vaatimukset on täytetty.

Tuotestandardit

Tuotestandardit antavat vaatimuksia käytettävistä NDT-menettelmistä ja tarkastuslaajuuksista. HT-lehdessä 1/2018 julkaistun artikkelin "Hitsausvirheet Suomen hitsaussektorissa" mukaan röntgenkuvausta tehtiin vuosien 2016 ja 2017 aikana taulukossa 3 annettujen tuote- ja pätevyyskoestandardien vaatimusten mukaisesti. Taulukon mukaan teollisuusputkistot ovat olleet selvästi eniten tarkastettu tuote. Seuraavassa tarkastellaan sitä esimerkkinä rikkomattoman aineenkoetuksen menetelmien soveltamisesta teollisuusputkistojen tarkastuksessa.

Metallisten teollisuusputkistojen tarkastusta ja testausta ohjaa siis standardisarjan

SFS-EN 13480 5. osa, jonka uusien painosten vahvistettu 4.8.2017. Standardin 8 luku käsittelee hitsien rikkomatonta aineenkoetusta. Tarkastuksessa käytettävät hitsiluokat on annettu taulukossa 4. Tarkastusta saa suorittaa vähintään standardin EN ISO 9712:2012 tasoon 1 hyväksytty henkilö tason 2 tai 3 henkilöstön valvotuna, jonka on oltava vastuussa myös tulosten arvioinnista.

Hitseille on tehtävä 100 % silmämääräinen tarkastus. Termillä "silmämääräinen tarkastus" on ymmärrettävä tarkoitettavan rakenneosien, liitosten ja muiden putkiston osien ja kannakkeiden havainnointia, jotka ovat tarkastettavissa tai voidaan saattaa tarkasteltavaksi ennen valmistusta, osavalmistusta tai kokoonpanon asentamista tai niiden aikana tai jälkeen. Silmämääräisen tarkastuksen saa tehdä ja arvioida henkilö, jolla on riittävä tietämys ja kokemus asiaan liittyvistä standardeista ja ohjeista. Standardin EN ISO 9712 mukaisia sertifiointeja ei vaadita.

Pintatarkastusta tehdään putkiluokasta riippuen kattavuudeltaan 10-100 % magneettijauhe- (MT) tai tunkeumanestetarkastuksella (PT). Tarkastustekniikan valintaa ohjaa standardissa SFS-EN ISO 17635:2016 oleva taulukko 2. Magneettijauhetarkastus soveltuu vain magneettisille materiaaleille ja näin ollen sitä ei voida käyttää austeniittisten ruostumattomien terästen, nikkeliseosten, titaaniin tai alumiiniin tarkastukseen (ks. taulukko 5).

Taulukko 3. Röntgenkuvausta edellyttäneet tuote- ja pätevyyskoestandardit v. 2016 ja 2017.

Laadunmäärittäjä / viitestandardi	Osuus
SFS-EN 13480-5 (Metalliset teollisuusputkistot. Osa 5: Tarkastus ja testaus)	49.4 %
SFS-EN 13445-5 (Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 5: Tarkastus ja testaus)	11.2 %
SFS-EN 12952-6 (Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 6: Kattilan paineenalaisten osien valmistuksen aikainen tarkastus, dokumentointi ja merkintä)	14.2 %
SFS-EN ISO 9606-1 (Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset)	6.3 %
SFS-EN 287-1 (Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset)	4.9 %
SFS-EN 14015 (Nesteiden varastointiin vähintään ympäristön lämpötilassa käytettävien säiliöiden suunnittelu ja valmistus. Paikalla rakennettavat pystylieriön muotoiset tasapohjaiset maanpäälliset hitsatut terässäiliöt)	1.5 %
SFS-EN ISO 15614-1 (Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntä menetelmäkoella. Osa 1: Terästen kaari- ja kaasuhitsaus sekä nikkelin ja nikkeliseosten kaarihitsaus)	2.2 %
SFS-EN 12732 (Kaasuputkistot. Teräspuutkistojen hitsaus. Toiminnalliset vaatimukset)	0.7 %

Taulukko 4. Hitsiluokka standardin EN ISO 5817:2014 mukaan riippuen käyttöolosuhteista ja tarkastusmenettelmistä (SFS-EN 13480 2017, 17).

Käyttöolosuhteet	Pintavirheet ja liitoksen geometriset virheet		Sisäiset virheet
	Silmämääräinen tarkastus VT	Pintatarkastus	Volumetrinen tarkastus
Standarditaso	C	C	C
Väsyminen	B	B	C
Viruminen	B	B	B

Taulukko 5. Kaiken tyyppisten hitsien (myös pienahsiti) luokse päästävien pintavirheiden yleisesti hyväksytyt tarkastusmenettelmät (SFS-EN 17635 2016, 10).

Materiaalit	Tarkastusmenettelmä
Ferriittinen teräs	VT VT ja MT VT ja PT VT ja (ET)
Austeniittinen teräs Alumiini ja nikkeli Kupari ja titaani	VT VT ja PT VT ja (ET)

HUOM. Sulkeissa esitetyt menettelmät soveltuvat rajoituksin.

Volumetrinen tarkastuksen menetelmien vaatimukset on annettu standardin kohdassa 8.4.4.3 ja sen mukaan teollisuusputkistoille sitä voidaan tehdä seuraavilla menetelmillä: filmiradiografia (RT-F), digitaalinen radiografia (RT-D), fosforilevy (RT-CR), digitaalinen detektor (DDA), ultraäänipulssikaikutekniikka (UT), kulkuaikatekniikka (TOFD) ja vaiheistettu ultraäänitekniikka (PAUT). Tässä on suuri ero standardin aiempaan painokseen, joka salli vain filmiradiografian (RT) ja ultraäänipulssikaikutekniikan (UT-PE).

Taulukko 6. Eri tuotestandardien sallimat radiografisen kuvauksen menetelmät.

Standardi	Painos	RT-F	RT-D	RT-CR	DDA
13480-5	2017	ISO 17363-1	ISO 17363-2	ISO 17363-2	ISO 17363-2
13445-5	2014	ISO 17363-1	ei sallita	ei sallita	ei sallita
12952-6	2011	EN 1435	ei tunneta	ei tunneta	ei tunneta
14015	2005	EN 1435	ei tunneta	ei tunneta	ei tunneta
12372	2014	ISO 17363-1	ISO 17363-2	ISO 17363-2	ISO 17363-2
15001-1	2010	EN 1435	ei tunneta	ei tunneta	ei tunneta

Digitaalinen radiografia on sallittu vasta viime vuosina revisoiduissa tuotestandardeissa. Tilanne on tällä hetkellä taulukon 6 mukainen. RT-D, RT-CR ja DDA käyttö sallitaan vain kahdessa tuotestandardissa eli SFS-EN 13480-5 vuonna 2017 hyväksytyssä ja SFS-EN 12372 vuonna 2014 hyväksytyssä painoksessa. Vanhimmissa tuotestandardeissa (SFS-EN 12952 Vesiputkikatilat, SFS-EN 14015 Tasapohjaiset maanpäälliset terässäiliöt ja SFS-EN 15001 Kaasuputkistot) edellytetään jo yli kuusi vuotta sitten (4.3.2013) kumotun SFS-EN 1453 (Hitsausliitosten radiografinen kuvaus) standardin käyttöä.

Tilanne on samankaltainen ultraäänitarkastuksen suhteen. Perinteisen pulssikaiutekniikan käyttö sallitaan kaikissa taulukossa 7 annetuissa tuotestandardeissa. Kulkuaikatekniikan (TOFD) ja vaiheistetun ultraäänitekniikan (PAUT) käyttäminen sallitaan vain kahdessa tuotestandardissa (SFS-EN 13480-6 ja SFS-EN 12372). Vanhimmissa tuotestandardeissa vaaditaan 23.5.2011 kumotun standardin SFS-EN 1714 (Hitsausliitosten ultraäänitarkastus) mukaista tarkastamista. Tilanne on hyvinkin tuttu, koska standardien uusiminen ei mene välttämättä mitenkään synkronoidusti ja näin ollen tuotestandardeissa saatetaan viitata kumottuihin testausstandardeihin.

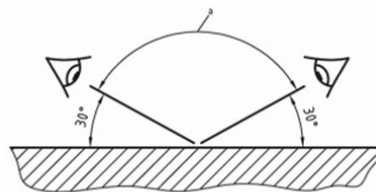
Silmämääräinen tarkastus

Hitsiliitoksen tarkastuksessa ensimmäisenä tehtävänä tarkastustoimenpiteenä on silmämääräinen tarkastus. Sitä pitäisi teh-

dä usean henkilön: hitsaajan, hitsauskoordinaattorin, NDT-tarkastajan, jne. toimesta. Henkilö voidaan sertifioida tekemään silmämääräistä tarkastusta standardin SFS-EN ISO 9712:2012 mukaan. Suomessa on 490 tasolle 2 ja 16 tasolle 3 sertifioitua VT-tarkastajaa (ks. taulukko 1). Tuotestandardit eivät kuitenkaan yleensä edellytä sertifioidun tarkastajan käyttämistä, vaan silmämääräisen tarkastuksen saa tehdä ja arvioida henkilö, jolla on riittävä tietämys ja kokemus asiaan liittyvistä standardeista ja ohjeista.

Kun tehdään silmämääräistä tarkastusta, pitäisi olosuhteiden olla standardin SFS-EN ISO 17637:2016 mukaiset. Valaistusvoimakkuuden on oltava pinnalla vähintään 350 lx. Suorassa tarkastuksessa luoksepäästävyys on korkeintaan 600 mm tarkastettavasta pinnasta ja, ettei kulma ole pienempi kuin 30°, kuva 1. Periaatteessa jokainen hitsaaja ja hitsauskoordinaattori pitäisi olla perehdytetty silmämääräisen tarkastuksen tekemiseen.

Silmämääräisellä tarkastuksella etsitään pintavirheitä. Virheet ja niiden hyväksymisrajat eri hitsiluokissa on annettu standardis-



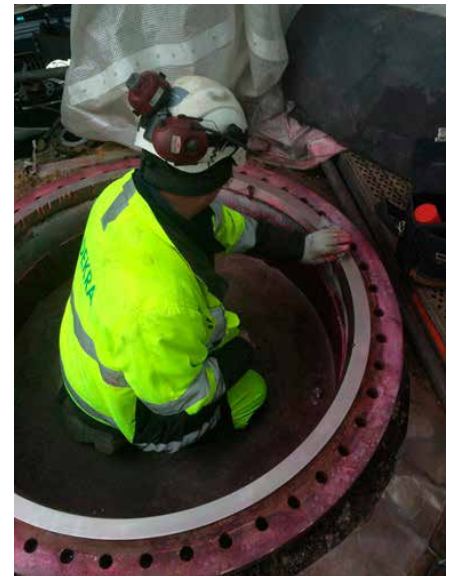
Kuva 1. Luoksepäästävyys silmämääräistä tarkastusta varten (SFS-EN ISO 17637 2016, 5).

sa SFS-EN ISO 5817:2014. Siinä on määritetty raja-arvot 24 eri pintavirheelle. Näistä vaativimmassa B luokan hitseissä ei sallita seuraavia pintavirheitä: halkeama, pinta-huokonen, avoin imuontelo, liitosvirhe, vajaa tunkeutumissyvyys juuressa, jatkuva reunahaava, juurenpuoleinen reunahaava, valuma, vajonnut hitsi, läpivalunut hitsi, vajaa juuri (0.5-3 mm aineenpaksuuksilla), huokoisuus juuressa, uudelleenaloitusvirhe, liian pieni a-mitta ja sytytysjälki.

Tunkeumaneste- ja magneettijauhetaarkastus

Tunkeumaneste- ja magneettijauhetaarkastus ovat myös pintatarkastusmenetelmiä. Niitä voidaan pitää visuaalisen tarkastuksen erikoismenetelminä – tapahtuuhan vian lopullinen luokittelu niissäkin silmämääräisesti. Suurin ero silmämääräiseen tarkastukseen on niiden virheen kokoa suurentava näyttämä, joka on 50-1000 kertainen vikaan verrattuna.

Tunkeumanestetarkastus perustuu kohteen pinnalle levitettävään tunkeumanesteseen, joka tunkeutuu pintaan asti auki oleviin, avonaisiin vikoihin. Tietyn ajan jälkeen kohteen pinta puhdistetaan ylimääräisestä tunkeumanesteestä, jolloin sitä jää ainoastaan vikoihin. Pintaan levitetään kehite, joka imee tunkeumanesteen viasta ja muodostaa vian muotoisen näyttämän, joka on leveys-suuntaan yleensä 50-500 kertaa suurempi. Näyttämä on joko punainen valkoista taustaa vasten tai fluoresoiva tummalla taustalla. Menetelmä on suoritustekniikaltaan yksinkertainen ja sen oppii tekemään hyvinkin ly-



Kuva 2. DEKRA Industrial Oy:n Timo Majjanen tekemässä tunkeumanestetarkastusta (kuva © T. Kauppi, 2016).

Taulukko 7. Eri tuotestandardien sallimat ultraäänitarkastuksen menetelmät.

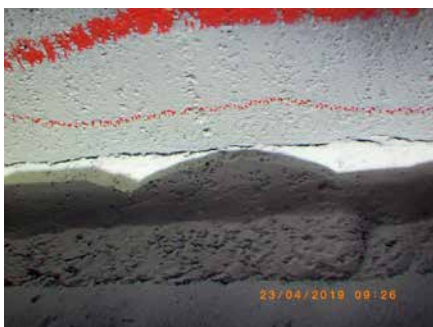
Standardi	Painos	UT	TOFD	PAUT
13480-5	2017	ISO 17640	ISO 10863	ISO 13588
13445-5	2014	ISO 17640	ei sallita	ei sallita
12952-6	2011	ISO 17640	ei sallita	ei sallita
14015	2005	EN 1714	ei tunneta	ei tunneta
12372	2014	ISO 17640	ISO 10863	ei sallita
15001-1	2010	EN 1714	ei tunneta	ei tunneta

hyellä perehdytyksellä. Näyttämien arviointi on huomattavasti haastavampaa. Niitä arvostellaan kahdessa vaiheessa: heti kehittyneen levittämisen tai kuivamisen jälkeen ja lopullinen arviointi kehittämissajan lopuksi eli 10-30 minuutin kuluttua. Esimerkiksi lyhyestä halkeamasta tulee aluksi selvästi viivamainen näyttämä, mutta kymmenen minuutin kuluttua näyttämä voi olla lähes pyöreä, jolloin se voitaisiin tulkita huokoseksi.

Magneettijauhetarkastus on menetelmä, jolla saadaan ferromagneettisten kappaleiden pinnassa ja pinnan läheisyydessä olevia vikoja esille. Menetelmä perustuu epäjatkuvuuskohtien synnyttämien vuotokenttien havaitsemiseen magnetoidussa kappaleessa. Tästä seuraakin menetelmän suurin rajoitus eli se, että se soveltuu vain ferromagneettisille aineille. Sirottelemalla tutkittavan kappaleen pintaan rautaoksidhiukkasia, jotka jäävät vuotokenttiin, saadaan viasta näyttämä, jonka leveys säröön verrattuna voi olla jopa 1000-kertainen, kuva 3. Ylivoimaisesti eniten teollisuuden tarkastuksissa käytetään iesmagneetilla aikaansaataavaa vuomagneetointia. Hitsien magneettijauhetarkastus voidaan toteuttaa ies-magnetoinnin lisäksi myös suoralla virtamagnetoinnilla. Se voidaan tehdä käsielektrodeilla varustettujen laitteiden avulla. (Åström 2018)

Virheiden arvioinnissa sovelletaan hitsiluokkastandardia SFS-EN ISO 5817:2014, rikkomattoman aineenkoetuksen yleisohjeita metallisille materiaaleille (SFS-EN ISO 17635:2016) sekä menetelmäkohtaiset hyväksymisrajat määritteleviä standardeja SFS-EN ISO 23278:2015 (Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien magneettijauhetarkastus. Hyväksymisrajat) ja SFS-EN ISO 23277:2015 (Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat).

Suomessa on 581 sertifiointia magneettijauhetarkastajaa ja 548 sertifiointia tunkeumanestetarkastajaa tällä hetkellä (taulukko 1).



Kuva 3. Magneettijauhetarkastuksen näyttämä (Timo Majjanen, DEKRA Industrial Oy 2018.).

Pyörrevirtatarkastus

Pyörrevirtatarkastus kuuluu sähköisiin ainetta rikkomattomiin tarkastusmenetelmiin. Se perustuu materiaalin sähkömagneettisen vasteen tutkimiseen ulkoisen magneettikentän avulla. Mittauksessa anturi viedään mitattavan pinnan lähelle, jolloin se ja tutkitavan kappaleen ehjä pinta muodostavat virtapiirin, koska ne ovat vuorovaikutuksessa magneettikentän välityksellä. Reunan tai särön läheisyydessä pyörrevirrat häiriintyvät ja tämä muutos havaitaan anturiin palaavassa signaalissa. Pyörrevirtatarkastuksen etuja ovat:

- nopeus
- vikojen sijainti ja syvyys määritettävissä
- kontaktiaineita ei tarvita
- laitteet pieniä ja keveitä
- helposti mekanisoitavissa ja automatisoitavissa
- tarkastustuloksista jää pysyvä tallenne

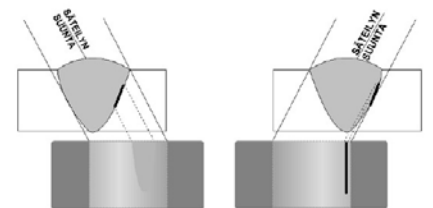
Huonona puolena voidaan pitää sitä, että menetelmä vaatii tarkastajalta koulutusta ja kokemusta. Suomessa on tällä hetkellä 45 sertifiointia pyörrevirtatarkastajaa (taulukko 1).

Radiografinen kuvaus

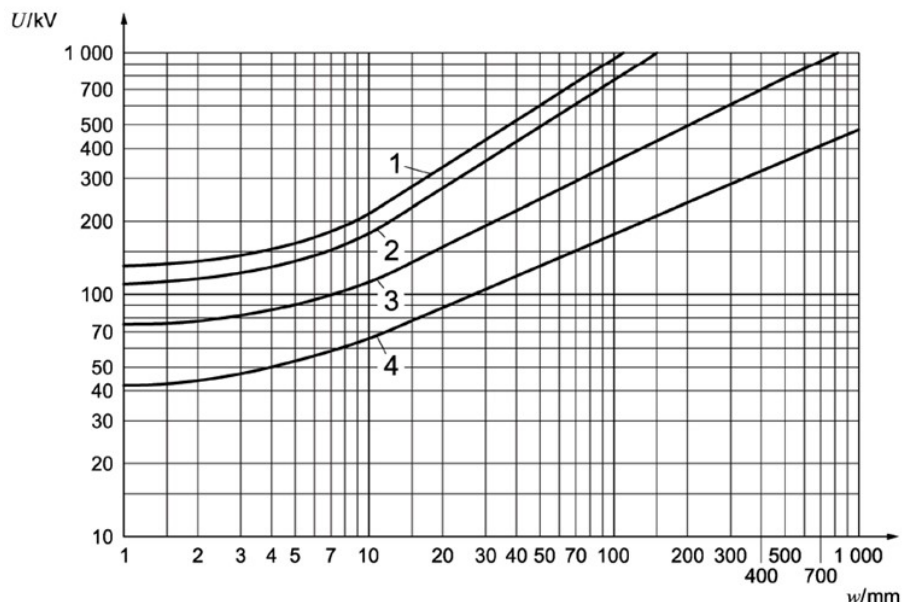
Hitsin sisäisiä virheitä tarkastetaan pääsääntöisesti radiografisella kuvauksella tai ultraäänitarkastuksella. Radiografisessa kuvauksessa käytetään röntgen- tai gamma-säteilyä, joka läpäisee kuvattavan kohteen ja osuu sen jälkeen säteilyn intensiteetin ilmaisevaan detektoriin, joka voi olla filmi tai esim. digipaneeli. Radiografisessa ku-

vauksessa tarkastuksesta jää aina pysyvä tallenne. Röntgenkuvaus soveltuu eri materiaaleille periaatteessa aina 100-1000 mm ainespaksuuteen saakka materiaalista riippuen, kuva 1. Teollisuuden kuvauksissa puoliaaltokoneilla käytettävät putkijännitteet ovat luokkaa 200-300 kV, joten kuvattavat enimmäispaksuudet teräkselle ovat standardin SFS-EN ISO 17636-1:2013 mukaan luokkaa 20-25 mm. Suurempia aineenpaksuuksia kuvataan gammasäteilylähteillä, joita ovat esim. Ir-192 ja Co-60. Kuvattaessa terästä, nikkeliä tai kuparia tarkastustasolla B, soveltuu Ir-192 seinämänpaksuuksille $w = 20-90$ mm ja Co-60 seinämänpaksuuksille $w = 60-150$ mm.

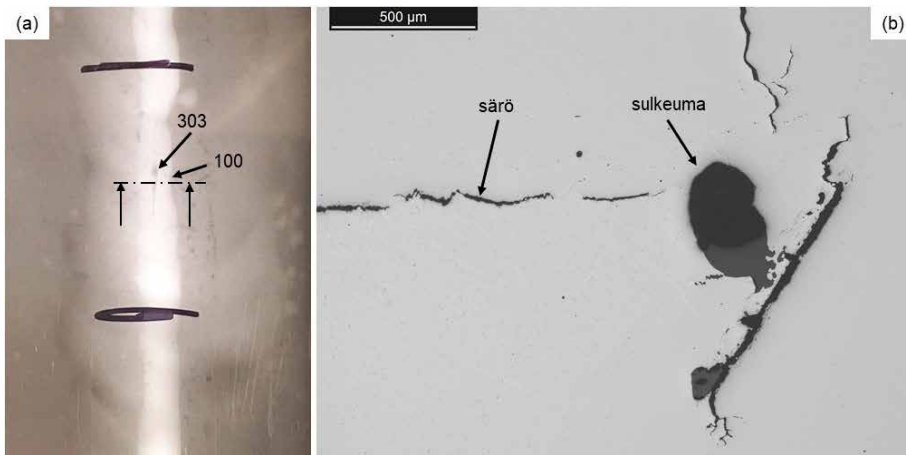
Radiografian etuna on se, että tarkastuksesta jää pysyvä tallenne ja tarkastettavalla aineella ja sen pinnanlaadulla on vähäinen vaikutus tarkastuksen luotettavuuteen. Haittapuolia on mm. se, että virheen syvyyttä ja sijaintia syvyyssuunnassa ei voida määrittää ilman erityistoimenpiteitä. Tasomaista virhettä, kuten halkeama tai liitosvirhe, kuvattaessa ne eivät saa suunnaltaan poiketta liikaa säteilyn suunnasta. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että kuvattavassa viassa pitää olla tilavuutta säteilyn suuntaan, muuten filmin mustumaan ei tule havaittavaa muutosta, kuva 5.



Kuva 5. Säteilyn suunnan vaikutus tasomaisen virheen aiheuttamaan filmin mustumaan (Teollisuusradiografia 2011)



Kuva 4. Röntgenlaitteen (≤ 1000 kV) suurin sallittu putkijännite kokonaispaksuuden ja materiaalin funktiona (1 = kupari, nikkeli ja niiden seokset, 2 = teräs, 3 = titaani, 4 =alumiini) (SFS-EN ISO 17636-1 2013, 30).



Kuva 6. Päittäisliitoksen röntgenkuvassa (a) oleva näyttämä ja (b) sen kohdalta irrotetusta poikkileikkäusnäytteestä otettu mikrorakennekuva (©T. Kauppi 2019).

Kuvassa 6 a nähdään esimerkki seostamattoman rakenneteräksen (S355MC, s = 10 mm) metallitältytelangalla (hitsausprosessi 138) hitsatun päittäisliitoksen röntgenkuvasta, jossa näkyy ympyröidyssä kohdassa näyttämiä (100 = halkeama, 303 = oksidisulkeuma). Kuvassa 6 b on esitetty kuvan 6 a ympyrällä ja katkoviivalla merkitystä kohdasta tehdyn metallografisen poikkileikkäusnäytteen mikrorakennetta, jossa näkyy mikrosäröjä ja sulkeuma. Nuolet kuvassa 6 a ilmaisevat poikkileikkäusnäytteen tarkastelu suunnan. Kuvassa 6 b näkyvä sulkeuma on korkeudeltaan n. 0,4 mm, EDS-analyysi vahvisti sen olevan piitä (Si) ja mangaania (Mn) sisältävä oksidisulkeuma.

Suomessa on tällä hetkellä 369 sertifioitua radiografista tarkastajaa.

Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastuksen periaatteena on äänen etenemisen seuraaminen tarkastettavassa materiaalissa. Kaikilla materiaaleilla on sille ominainen äänennopeus, eli nopeus millä ääni materiaalissa kulkee. Ultraäänitestauksessa tätä hyödyntämällä voidaan tutkia materiaalin sisäisiä ominaisuuksia. Materiaalin sisäisten vikojen havaitseminen perustuu äänen heijastumiseen kaikista epäjatkuvuuskohdista, kuten säröistä, halkeamista, rajapinnoista ja huokosista. Ultraäänitestauksella voidaan mitata siis ainepaksuutta tai aineessa olevia sisäisiä vikoja. (Anttila 2013, 19)

Ultraäänitestauksessa luotain lähettää lyhyen ultraäänitaajuuden pulssin tarkastettavaan materiaaliin. Ääni etenee kappaleessa ja heijastuu takaisin luotaimen, joka toimii myös mikrofonina. Perinteinen ultraäänitestaus voidaan jakaa käytettävien luotainten mukaan kahteen ryhmään, normaali- tai kulmaluotaimiin. Normaali luotaimella mitataan useimmin ainepaksuuksia, kerrostumia tai ohentumia materiaalissa. Kulmaluotauksessa materiaalista tai hitsistä etsitään kulmas-

sa tulevan äänen alulla vikoja, kuten säröjä ja halkeamia. (Anttila 2013, 19)

Pulssikaikuluotauksen keskeiset vaatimukset löytyvät standardista SFS-EN ISO 17640:2018. Se määrittelee tekniikat käsivaraiseen ultraäänitarkastukseen, jolla tarkastetaan läpihitsatut liitokset metalleissa, joiden aineenpaksuus on ≥ 8 mm ja joissa vaimeneminen on vähäistä (varsinkin siron-ta), kun kohteen lämpötila on 0...60 °C. Standardi on tarkoitettu pääasiassa läpihitsatuille liitoksille, joissa sekä perusaine että hitsi ovat ferriittisiä.

Hyvällä syyllä voidaan todeta, että yksinkertaisimmillaankin UT tarkastus vaatii hyvää laitetuntemusta, ääniopin perusteiden ymmärtämistä ja erittäin huolellista sekä pikkutarkkaa työskentelyä.

Ultraäänitarkastuksen luotettavuuteen vaikuttaa ennen muuta kolme tekijää: tarkastaja, tarkastusohje ja laitteisto. Laitteiden ominaisuudet mitataan toiminnan tarkastuksessa, joka tulisi tehdä aina ennen mittauksien aloittamista. Laitteen ja luotaimen tarkistus pitää tehdä päivittäin tai viikoittain. Päivittäin tehtäviä ovat luotaimen indeksi,

luotainkulma ja laitteiston kunto. Viikoittain tehtäviä ovat aikapoikkeutuksen lineaarisuus, vahvistuksen lineaarisuus, luotaimen herkkyys, ja signaali-kohinasuhde sekä luotaimen pulssin pituus. (Toivonen & Lehtinen 2013, 34).

Standardi SFS-EN ISO 17640:2018 vaatii laitteen etäisyysasteikon ja vahvistuksen säädettäväksi ennen jokaista tarkastusta. Tämän lisäksi säädöt on tarkistettava vähintään neljän (4) tunnin välein ja tarkastuksen lopuksi. Havaittaessa suurempia kuin 2 dB poikkeamia vahvistuksessa tai 1 % poikkeamia etäisyysasteikossa on toimittava standardissa annetun taulukon 2 mukaisesti (taulukko 8).

Hitsien ultraäänitarkastuksessa voimassa olevat standardit ovat: SFS-EN ISO 17640 "Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Tekniikat, tarkastustasot ja arviointi" ja SFS-EN ISO 11666 "Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus. Hyväksymisrajat". Lisäksi standardi SFS-EN ISO 23279 sisältää ohjeet vian luonteen määrittämiseen. Standardeja sovelletaan, kun kyseessä on vähintään 8 mm paksussa ferriittisessä teräksessä oleva läpihitsattu liitos. (Toivonen & Lehtinen 2013, 60)

Tarkastustilavuuteen kuuluu hitsi ja perusaine hitsin molemmin puolin muutosvyöhykkeen leveyden verran, kuitenkin vähintään 10 mm. Luotauspintojen on oltava niin laajoja, että luotaus kattaa tarkastustilavuuden kokonaisuudessaan. Kun tarkastustilavuuden jotain osaa ei voida luodata yhdestäkään suunnasta tai jos tulokulmat hypäyspinnalla eivät täytä em. vaatimusta, sovitaa täydentävien ultraäänitekniikoiden tai muiden tarkastusmenetelmien käytöstä. Joissain tapauksissa joudutaan hitsin kupu poistamaan. Lisäksi voidaan käyttää kaksoiskulmaluotaimia, ryömintäaaloluotaimia, jotain muuta ultraäänitekniikkaa tai muita soveltuvia tarkastusmenetelmiä, esimerkiksi tunkeumanestetarkastusta, magneettijaue-

Taulukko 8. Vahvistuksen ja etäisyysasteikon korjaukset (SFS-EN ISO 17640 2018, 12-13).

Vahvistus		
1	Poikkeama ≤ 2 dB	Ei vaadittavia toimenpiteitä.
2	$2 \text{ dB} < \text{poikkeama} \leq 4 \text{ dB}$	Vahvistuksen arvo on korjattava oikeaksi ennen tarkastuksen jatkamista.
3	Vahvistus pienentynyt $> 4 \text{ dB}$	Arvo on korjattava oikeaksi ja uusittava kaikki tarkastukset, jotka on suoritettu edellisen tarkistuksen jälkeen.
4	Vahvistus suurentunut $> 4 \text{ dB}$	Arvo on korjattava oikeaksi ja tarkastettava uudelleen kaikki kirjatut heijastajat.
Etäisyysasteikko		
1	Poikkeama $< 1 \%$ asteikosta	Ei vaadittavia toimenpiteitä.
2	$1 \% < \text{poikkeama} \leq 2 \%$ asteikosta	Asteikko on korjattava ennen tarkastuksen jatkamista.
3	Poikkeama $> 2 \%$ asteikosta	Asteikko on korjattava ja uusittava kaikki tarkastukset, jotka on suoritettu edellisen tarkistuksen jälkeen.



Kuva 7. Vaurioituneen rautatiekiskon hamaran ultraäänitarkastusta normaaliluotaimella DEKRA Industrial Oy:n Kemin toimistolla (©T. Kauppi 2019).

tarkastusta tai radiografista kuvausta. (Toivonen & Lehtinen 2013, 64)

Kuvassa 7 nähdään esimerkiksi ultraäänitarkastuksessa käytettävistä laitteistosta, johon kuuluu siis ultraäänilaitte, kaapeli ja luotain. Kuvassa tarkistetaan vaurioitunutta rautatiekiskon hamaraa nollaluotaimella.

Rikkomattoman aineenkoetuksen suorituskyky

Taulukossa 9 on annettu yhteenveto eri NDT-menetelmistä, niiden mahdollisuuksista ja rajoituksista. Taulukko on koostettu AEL:n keväällä 2019 pidetyssä IWI-C koulutuksessa läpikäydystä aineistosta.

Tarkastuksen haasteet

Tarkastuksen lähtökohdaksi on oikein valittu tarkastusmenetelmä ja niiden oikeelliset hyväksymiskriteerit. Kuten edellä esitettiin, tuotestandardit antavat yksityiskohtaisia vaatimuksia mm. siitä, mitä menetelmiä voidaan käyttää. On kuitenkin syytä ymmärtää se, että tavoitteena selvittää onko tarkastettava liitos vaatimusten mukainen eli onko siinä

sallittua vähemmän hitsausvirheitä. Kyse ei ole siis siitä, että saadaan täytettyä standardin tekniset vaatimukset rikkomattoman aineenkoetuksen menetelmien ja määrän suhteen.

Tämä edellyttää tarkastussuunnitelman tekemistä, joka hyvyys taas riippuu mm. suunnitelman tekijän kokemuksesta, koulutuksesta ja eri tarkastusmenetelmien tuntemuksesta. Tarkastusmenetelmien paras tuntemus on ehdottomasti sertifioituilla NDT-tarkastajilla. Heillä ei kuitenkaan ole välttämättä riittävästi tietoa itse tarkastettavaa tuotteesta ja sen hitsauksesta.

Paras hitsauksen teorianäkökulma on kansainvälisen hitsauskoordinaattorikoulutuksen (IWE/IWT/IWS) käyneillä henkilöillä. Näissä koulutuksissa NDT-tarkastus käydään läpi kuitenkin varsin pintapuolisesti, IWE/IWT kurssilla aihepiiriin läpikäyntiin on varattu aikaa 18 h ja IWS kurssilla vain 8 h. Läpikäytäviä asioita ovat: NDT-menetelmien perusteet, NDT-menetelmien huomioonottaminen suunnittelussa, kalibrointi, tulkitseminen (IIW:n radiograafinen vertailukuvasarja), tietojen tallentaminen, oikean NDT-menetelmän valitseminen kohteen mukaisesti, NDT-henkilöstön pätevynti, NDT:n menetelytavat, NDT:n automatisointi, standardien ja ohjeiden käyttö sekä turvallisuus- ja terveysnäkökohdat.

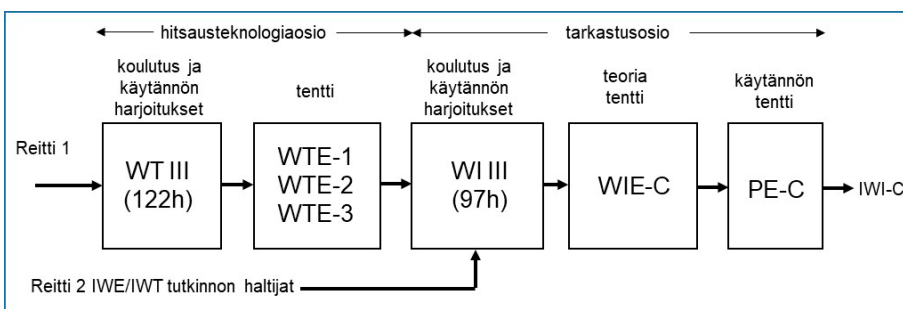
Hitsauksen tarkastuksen koordinoinnin koulutuksen vähimmäisvaatimukset on esitetty IIW:n julkaisemassa ohjeessa "Guideline IAB-041r3-08 International Welding Inspection Personnel". Suomessa näitä IWIP (International Welding Inspection Personnel) koulutukseen kuuluvia IWI-C ja IWI-S kursseja järjestää AEL. Koulutus antaa valmiuden toimia mm. hitsaustarkastusten suunnittelijana ja koordinoijana. Vaativampaan eli IWI-C koulutukseen voivat hakeutua IWE/IWT/IWS tutkinnon suorittaneet henkilöt (lyhyt IWI-C, ks. kuva 1 reitti 2, opetusta yht. 97 h), mutta myös henkilöt, joilla on teknikon, insinöörin tai diplomi-insinöörin tutkinto, vähintään 22 vuoden ikä ja 3 vuoden työkokemus valmistuksesta, suunnittelusta laadunvarmistuksesta, työnjohdosta, kunnossapidosta, alan projektinhallinnasta, koulutuksesta tai tarkastuksesta (pitkä IWI-C, ks. kuva 1 reitti 1, opetusta yht. 201 h).

Koulutuksessa käydään läpi rikkovaa ja rikkomatonta aineenkoetusta hyvinkin kattavasti. Eri alueiden vähimmäistuntimäärät on annettu taulukoissa 10 ja 11. Koulutuksessa käydään läpi rikkovan aineenkoetuksen osalta mm. veto-, taivutus-, murto- ja iskukokeet, kovuusmittaus ja makrohie. Rikkomattoman aineenkoetuksen osalta käydään läpi silmä-määräinen tarkastus, magneettijauhe- ja tunkeumanestetarkastus, pyörrevirtatarkastus, radiografia ja ultraäänitarkastus. Suomessa pidettävässä koulutuksessa opetuksen tuntimäärä ovat: hitsausteknologia (WT) 160 h ja tarkastus (WI) 120 h.

Kiwa henkilösertifioinnin pitämä ja Suomen hitsausteknillisen yhdistyksen omista-

Taulukko 9. Eri NDT – menetelmien mahdollisuuksia ja rajoituksia (T. Kauppi 2019).

Menetelmä	mahdollisuudet	rajoitukset
VT	viivamainen virhe, leveys n. 0.05 mm pallomainen virhe, halkaisija n. 0.1 mm	virheen on avauduttava pintaan
PT	tasomainen virhe, jonka - syvyys on 0.01 - 0.02 mm - leveys 0.0002 - 0.0001 mm - pituus l > 2 mm (100% havaitsemistodennäköisyys) - pituus l > 1 mm (50% havaitsemistodennäköisyys) pallomainen virhe, jonka halkaisija on yli 0.025 mm	virheen on avauduttava pintaan soveltuu huonosti huokoisille materiaaleille käyttölämpötila normaalisti +15...+50°C
MT	tasomainen virhe, jonka - syvyys on 0.01 mm - leveys 0.0001 - 0.002 mm - pituus l > 2 mm (100% havaitsemistodennäköisyys) - pituus l > 1 mm (50% havaitsemistodennäköisyys) havaitsee myös pinnan alla (1 - 2 mm) olevan virheen	
RT	pallomainen virhe, jonka koko n. 1 - 2% aineenpaksuudesta tasomainen virhe, jonka koko n. 1 - 2% aineenpaksuudesta säteilyn suunnassa.	aineenpaksuus teräs: rtg < 50 mm Co-60 60 - 150 mm, Ir-192 20 - 90 mm
UT	Virhe, jonka koko on n. 0.5 x ultraäänien aallonpituus l. Mahdollisuus määrittää virheen sijainti ja koko.	herkää aineominaisuuksille tasomaisen virheen havaitseminen vaikeaa, kun on samansuuntainen ääni-aallon kanssa tarkastettava paksuusalue 8 - n. 100 mm
ET	Virheen koko 10-15% tunkeumasyyydestä/aineenpaksuudesta Sopii nopeaan ja isojen alueiden tarkastukseen	RT ja UT huomattavasti tarkempia tunkeumasyyvyys 2 - 6 mm virhe kohtisuorassa pyörrevirran suuntaan



Kuva 8. IIW Guidelinen mukaiset IWI-C koulutuksen vaihtoehdot, vähimmäistuntimäärät.

**Taulukko 10. Hitsausteknologia osion vähimmäistuntimäärät
(WT III = IWI-C, WT II = IWI-B, WT I = IWI-S).**

Moduuli	Kuvaus	WT III	WT II	WT I
1	Hitsausprosessit ja laitteet	25	13	11
2	Materiaalit ja niiden käyttäytyminen hitsauksessa	52	41	25
3	Hitsatun rakenteen suunnittelu	21	17	12
4	Valmistus ja laatu	24	23	17
	Yhteensä	122	94	65

**Taulukko 11. Tarkastusosion vähimmäistuntimäärät
(WI III = IWI-C, WI II = IWI-B, WI I = IWI-S).**

Moduuli	Kuvaus	WI III	WI II	WI I
1	Johdanto tarkastukseen	3	3	2
2	Mekaaninen testaus	1	1	1
3	Hitsausvirheet	7	5	3
4	Testausmenetelmät	31	25	18
5	Laadunvarmistus	3	3	1
6	Tarkastusten johtaminen	3	3	0
7	Käytännön harjoitukset	49	23	15
	Yhteensä	97	63	40

ma tentti käsittää viisi (5) erillistä osiota, joista jokaisessa on saatava 60 % oikein. Eri osiot ovat: 1. Rikkovan aineenkoetuksen teoria, 2. Rikkovan aineenkoetuksen käytäntö, 3. Rikkomattoman aineenkoetuksen teoria, 4. Rikkomattoman aineenkoetuksen käytäntö ja 5. Suullinen kuulustelu. Tutkintoon osallistuminen edellyttää 90 % läsnäoloa oppitunneilla. Käytännön koe sisältää seuraavat tehtävät: 1. Visuaalinen tarkastus annetulle koekappaleelle, 2. Mekaanisen aineenkoetuksen tulkinta (2 kpl), 3. Röntgenkuvan tulkinta ja 4. Eri NDT-menetelmiin (ensi sijassa UT, PT ja MT) liittyvien tarkastussuunnitelmien, pöytäkirjojen ja standardivaatimusten tulkinta.

IIW Guideline määrittelee kansainvälisen hitsaustarkastajan tehtävistä seuraavaa: "Hitsaustarkastajan työ alkaa jo paljon ennen hitsausta, jatkuu hitsauksen aikana ja on tehty sitten, kun tulokset on raportoitu tarkoituksenmukaisesti. Laadunhallinnan käytänteiden mukaisesti tarkastuksen vaiheet on määriteltävä tarkastus- ja testaussuunnitelmassa, jossa vaatimukset on kerrottu täsmällisesti ja yksiselitteisesti. Ennen hitsauksen aloittamista hitsaustarkastajan on varmistuttava siitä, että käytettävät materiaalit ja lisäaineet ovat vaatimusten mukaisia, käytössä on hyväksytyt hitsausohjeet ja hitsaajat ovat pätevoitettyjä. Hitsauksen aikana hitsaustarkastaja tarkkailee ja tallentaa tietoa siitä, että annettuja kirjallisia ohjeita

noudatetaan ja onko havaittavissa mitään, joka heikentää hitsin ominaisuuksia. Hitsauksen jälkeen alkaa tarkastussuunnitelman mukainen liitosten testaus ja tarkastus, jota hitsaustarkastaja ohjaa ja valvoo."

Koulutus antaa siis hyvät valmiudet hitsien tarkastuksen suunnitteluun, ohjeistamiseen ja valvontaan. On syytä tiedostaa, että varsinaiseen tarkastukseen ja tulosten arviointiin IWI-C koulutus ei päteviä. Siihen vaaditaan, kuten alussa esitettiin, sertifiointi ja vähintään 2-tason NDT-tarkastaja. Suomessa on myönnetty vuosien 2009 – 2018 välisenä aikana 196 kpl IWI-C ja 42 kpl IWI-S- tutkintoja.

Jutun kirjoittaja kävi koulutuksen kevään 2019 aikana ja tässä yhteydessä voin todeta, että tämän artikkelin kirjoittaminen ei olisi onnistunut ilman koulutuksessa saatuja tietoja ja taitoja. Mielestäni kurssin merkittävin anti oli se, että tiedosti kuinka tärkeää rikkova ja rikkomaton aineenkoetus on hitsiliitoksen laadunhallinnan ja vaatimustenmukaisuuden osoittamisen kannalta sekä sen, että NDT-menetelmien mahdollisuuksien ymmärtäminen vaatii laajan tietämyksen eri menetelmien toimintaperiaatteista, niiden käyttöalueista ja rajoituksista. Haluankin tässä yhteydessä kiittää kursseilla toimineita opettajia, joiden ansiosta tämä erittäin laaja osaamisalue tuli huomattavasti aikaisempaa tutummaksi. Voisi jopa väittää NDT-kärpäsen iskeneen henkilökohtaisella tasolla. Ja ai-

nakin repussa on eväitä haastaa sertifioidut NDT-ammattilaiset mielenkiintoisiin keskusteluihin nyt ja tulevaisuudessa! Kiitokset kuuluvat myös kurssikavereille, joilta sai vertaistukea ja monia hyviä tarinoita eteenpäin kerrottavaksi.

**Timo Kauppi, IWE, IWI-C
Oulun yliopisto/Lapin
ammattikorkeakoulu
timo.kauppi@lapinamk.fi**

Lähteet

- Anttila S. 2013. NDT-menetelmistä ja niiden valinnasta tutkimustyössä. Opinnäytetyö. Lapin ammattikorkeakoulu. Kemi.
- Kauppi T. 2019. IWI-C koulutuksen muistiinpanot.
- SFS-EN ISO 9712. 2012. Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden päteväntoiminta ja sertifiointi. Yleisperiaatteet. Standardi. SFS. Helsinki.
- SFS-EN 13480-5. 2017. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 5: Tarkastus ja testaus. Standardi. SFS. Helsinki.
- SFS-EN 17635. 2016. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Yleisohjeet metallisille materiaaleille. Standardi. SFS. Helsinki.
- SFS-EN ISO 17636-1. 2013. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus. Osa 1: röntgen- ja gammakuvaus filmitekniikalla. Standardi. SFS. Helsinki.
- SFS-EN ISO 17637. 2016. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. Standardi. SFS. Helsinki.
- SFS-EN ISO 17640. 2018. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Tekniikat, tarkastustasot ja arviointi. Standardi. SFS. Helsinki.
- Toivonen J., Lehtinen V. 2013. AEL NDT-tekniikka. Ultraäänitestaus ver.4.0. Luentomoniste. IWI-C koulutus. AEL. Helsinki.
- Åström T., Dolk H. 2018. Magneettijauhettarkastus. Luentomoniste. IWI-C koulutus. AEL. Helsinki.