

Mikko Vihtari

**NDT- TARKASTUSLAITOKSEN TESTAUSLABORATORION
TARKASTUSOHJEET HITS AUS- JA MENETELMÄKOEILLE**

**Opinnäytetyö
Centria-Ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2016**

Centria-ammattikorkeakoulu Kokkola	Aika Marraskuu 2016	Tekijä/tekijät Mikko Vihtari
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn nimi NDT- Tarkastuslaitoksen testauslaboratorion tarkastusohjeet hitsaus- ja menetelmäkokeille		
Työn ohjaaja Ilkka Rasehorn	Sivumäärä 45+3	
Työelämäohjaaja Kari Salli		
<p>Nämä ohjeet on tehty ensisijaisesti Nondest Oy:lle hitsaus- ja menetelmäkokeiden tarkastamiseen. Kokeiden tarkastamiseen tarvitaan useita eri standardeja, joiden ohjeistuksen mukaan kokeet tarkastetaan ja luokitellaan. Opinnäytetyönäni oli laatia nämä tarkastusohjeet mikä on eräällä tavalla supistettu versio standardeista ja luoda työohjeet eri tarkastusmenetelmistä samoihin kansiin. Ohjeiden kirjoittamiseen käytettiin uusimpia päivitettyjä standardeja ja ohjeita, mutta standardit päivittyvät tietyn väliajoin, joten yritin tehdä ohjeet mahdollisimman ajattomiksi, eli en lisännyt esimerkiksi vialuokitelua ja hyväksymisrajoja.</p> <p>Tähän opinnäytetyöhöni ei ole lisätty vetokoe tai makrohie tarkastusta, koska niitä saa suorittaa vain akkreditoitunut tarkastuslaboratoriot. Työssäni keskityttiin suuremmaksi osaksi ainetta rikkomattomaan tarkastukseen minkä voi suorittaa tarkastusmenetelmille sertifioidut ndt-toimihenkilöt. Olen toiminut ndt-tarkastajana yli kolme vuotta ja itselläni on sertifikaatit visuaali- (VT), tunkeumaneste- (PT), Magneettijauhe- (MT), Radiografia- (RT) ja Ultraäänitarkastuksesta (UT). Kokeiden tarkastamiseen tarvitsemme kaikkia näistä menetelmistä, joista visuaalitarkastus on käytetyin menetelmä, koska se pitää suorittaa aina ennen mitään muuta tehtävää tarkastusta. Hitsauskokeiden murto- ja taivutuskokeille ei tarvitse erillistä sertifiointia, ellei sitä asiakas vaadi erikseen.</p>		

Centria University of Applied Sciences Kokkola	Date November 2016	Author/s Mikko Vihtari
Degree programme Machine- and Production technology		
Name of thesis NDT- Inspection corporation inspection procedures in testing laboratory for welding- and procedure test.		
Instructor Ilkka Rasehorn	Pages 45+3	
Supervisor Kari Salli		
<p>These instructions have been primarily made for Nondest Oy for welding- and procedure tests inspection and qualification. Checking the welding tests we need several different standards, with the proper guidance for the tests which are checked and classified as needed. This is reason why I decided to make these instructions as my thesis which is a reduced version of the standards and instructions of different inspection methods. I based and created the instructions on the latest updated standards and instructions, but the standards are updated time to time, so I tried to make the instructions as timeless, which means I did not add, for example, the fault classification and approval. I did not add tensile test or a macro inspection to my thesis, because they may only be performed by accredited testing laboratories. In my work, I concentrated into a non-destructive examination which can be performed by a NDT certified staff. In fact, I had been a NDT inspector for more than three years now and I have been certified in fields of visual (VT), liquid penetrant (PT), magnetic particle (MT), radiography (RT) and ultrasonic Inspection (UT). The welding tests need these inspection methods and visual is commonly used method, because it must be carried out before any other inspection is performed. Tensile and bending test for the welding tests does not require as a separate certification unless the customer specifically requires it.</p>		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

MIG	Metallikaarihitsaus inertillä suojakaasulla (Metal-arc inert gas welding). Prosessitunnus 131
MAG	Metallikaarihitsaus aktiivisella suojakaasulla (Metal-arc Active Gas Welding). Prosessitunnus 135
TIG	Kaasukaarihitsaus eli Volframi- inerttikaasuhitsaus (Tungsten Inert gas arc Welding) Prosessitunnus 141
Plasma	Volframikaasukaarihitsaus eli valokaaren muodostama plasma. (Plasma Arc Welding) Prosessitunnus 15
NDT	Ainetta rikkomaton tarkastus. (Non-destructive testing)
DT	Ainetta rikkova tarkastus. (Destructive testing)
Pipe	Hitsauksessa uudelleenaloituksessa tai lopetuksessa ilmenevä imuontelo.
WPS	Welding Procedure Specification, hitsausohje
pWPS	Pre- Welding Procedure Specification, esihitsausohje

ESIPUHE

Haluaisin ensisijaisesti kiittää Nondest Oy:n toimitusjohtajaa Kari Sallia siitä, että otti minut Nondest Oy:lle töihin 3 vuotta sitten ja töiden ohessa sain mahdollisuuden kouluttautua päteväytyneeksi 2-tason NDT-tarkastajaksi ja hitsauskoordinaattoriksi. Työ on ollut erittäin mielenkiintoista ja päivittäin tuntuu oppivan jotain uutta joko hitsaamisesta, hitsausvirheistä tai tarkastamisesta. Mielenkiinto alaan on kasvanut työn, opiskeluiden ja koulutuksien myötä. Olen saanut runsaasti informaatiota ja tukea tämän opinnäytetyön tekoon töistä ja kollegoiltani. Kaikki koulutukseni mitä olen tälle alalle saanut tuki näiden ohjeiden laatimista ja toteuttamista.

Nondestilla kaikki työskentelevät ndt-tarkastajat suorittavat hitsaus- ja menetelmäkokeiden tarkastuksia ja nykyään myös hitsauskokeiden valvontoja. Itse olen kouluttautunut IWS:ksi ja päteväitynyt PED-hitsausluokkien valvontaan.

TIIVISTELMÄ

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

ESIPUHE

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	HITSAUSMENETELMÄT	2
2.1	Puikkohitsaus (111)	2
2.2	MIG-hitsaus (131)	2
2.3	MAG-hitsaus (135/ 136)	3
2.4	TIG-hitsaus (141)	3
2.5	Jauhekaarihitsaus (121/125)	3
2.6	Plasmahitsaus (15)	4
2.7	Happi- ja asetyleenihitsaus (311)	4
3	HITSAUS- JA MENETELMÄKOE	5
3.1	Hitsaajan pätevyyskoe	5
3.2	Menetelmäkoe	5
4	NDT-TARKASTUSMENETELMÄT	6
4.1	Silmämääräinen tarkastus (VT)	6
4.2	Tunkeumanestetarkastus (PT)	7
4.3	Magneettijauhetarkastus (MT)	8
4.4	Radiografinen tarkastus (RTG)	9
4.4.1	Viittaukset	10
4.4.3	Tarkastustaso	11
4.4.4	Pinnan esivalmistelu	11
4.4.5	Filmijärjestelmäluokat ja metallivahvistuslevyt alumiinille ja titaanille	11
4.4.6	Filmin valinta	13
4.4.7	Jännitteen valinta	14
4.4.8	Perushuntu	15

4.4.9	Indikaattori	15
4.4.10	Kuvan tunnistus ja merkintä	16
4.4.11	Kuvatarkkuuden määrittäminen	17
4.4.12	Pienin mahdollinen kuvausetäisyys	19
4.4.13	Kuvausjärjestely	20
4.4.14	Vähittäisfilmimäärä	21
4.4.15	Virheiden tunnuks	26
4.5	Ultraäänitarkastus (UT)	27
4.5.1	Taajuudet	28
4.5.2	Kalibrointi	28
4.5.3	Etäisyysasteikon säätäminen	29
4.5.4	Vahvistuksen säätäminen	30
4.5.5	Säätöjen tarkastaminen	31
4.5.6	Säätöjen korjaukset	31
4.5.7	Luotauspintojen valmistelu	32
4.5.8	Tarkastustaso	32
4.5.9	Hyväksymisrajat	33
5	DT- TARKASTUKSET	35
5.1	Taivutuskokeet	35
5.4	Murtokokeet	38
6	HITSAUSVIRHEET JA VIAT	39
6.1	Hitsausvirheet	39
6.1.1	Hitsin sisäiset virheet	39
6.1.2	Hitsin ulkoiset Virheet	40
6.1.3	Tunkeuma	40
7	RAPORTOINTI	41
7.1	Raportin tiedot	41

7.2	Radiografiassa tarvittavat tiedot	42
7.3	Tunkeumanestetarkastuksessa tarvittavat tiedot	42
7.4	Magneettijauh tarkastuksessa tarvittavat tiedot	42
8	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	45
	VIITTEET	
	KUVIOT	
KUVIO.1.	Putkijännitteen valinta materiaalin ja aineenpaksuudet	16
KUVIO 2.	Kuvausetäisyyden nomogrammi, b = kohde – filmietäisyys	21
KUVIO 3.	Vähimmäiskuvamäärä putken päittäishitsissä. Kuvausluokka B	24
KUVIO 4.	Vähimmäiskuvamäärä putken päittäishitsille. Kuvausluokka B	25
KUVIO 5.	Vähimmäisfilmimäärä putken päittäishitsille. Kuvausluokka A	26
KUVIO 6.	Vähimmäiskuvamäärä putken päittäishitsille. Kuvausluokka A	27
	KUVAT	
KUVA. 1,	Tunkeumanestetarkastus menetelmäkokeelle	10
KUVA.2	Levyhitsauksen röntgenkuvaus.	12
KUVA 3.	Kuvausjärjestely suoralle tarkastelukohteelle yhden seinämän läpi.	22
KUVA 4.	Hitsauskokeen ultraäänitarkastus	32
KUVA 5.	Kulmahiomakoneella hiottu hitsin kupu pinnalle	38
KUVA 6.	Hydrauliprässi ja koekappaleiden taivutuspenkki	39
KUVA 7.	Taivutetut hitsauksen juuri- ja pintakoekappaleet	39
KUVA 8.	Putkikokeen taivutus	40
KUVA 9.	Pienahitsin murtokoe	41
	TAULUKOT	
TAULUKKO 1	Filmijärjestelmäluokat ja metallivahvistuslevyt alumiinille ja titaanille.	14
TAULUKKO 2.	Vähimmäismustuma filmillä.	14
TAULUKKO 3.	Filmijärjestelmäluokat ja metallivahvistuslevyt teräkselle, sekä kupari- ja nikkelpitoisille seoksille.	15
TAULUKKO 4.	Kuvaus yhden seinämän läpi. Indikaattori säteilylähteen puolella.	19
TAULUKKO 5.	Kuvaus kahden seinämän läpi. Indikaattori säteilylähteen puolella.	19
TAULUKKO 6.	Elliptinen ja kohtisuora kuvaus. Indikaattori säteilylähteen puolella.	20
TAULUKKO 7.	Elliptinen ja kohtisuora kuvaus. Indikaattori filmin puolella.	20

TAULUKKO 8. Ultraäänitarkastuksessa havaittaessa poikkeamia säädoissä	33
TAULUKKO 9. Tarkastustaso Hitsiluokka (SFS-EN ISO 5817)	34
TAULUKKO 10. Ultraäänitarkastuksen hyväksymisraja 2	36
TAULUKKO 11. Ultraäänitarkastuksen hyväksymisraja 3	36

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty ndt- tarkastuslaitoksille, missä suoritetaan ndt- tarkastuksia hitsaus- ja menetelmäkokeille. Nämä ohjeet on suunniteltu erityisesti Nondest Oy:lle ja sen tarkastajille. Lähtökohtana tämän ohjeen luomiseen oli se, että tarkastuksissa käytetään useaa eri menetelmää ja niille tehtyjä standardeja, joten ajattelin tehdä supistetun version standardeista ja missä tulee esille työohjeet kaikille tarvittaville tarkastusmenetelmille.

Nondest Oy toimii pääsääntöisesti Kokkolan alueella ja suorittaa tarkastuksia putkistoihin, kattiloihin ja painelaitteisiin. Nondest Oy suorittaa pääasiallisesti tarkastuksia alueella oleville konepajoille, tehtaille ja voimalaitoksille, mutta tarkastuksia tehdään myös muillekin pienille tai suurille yrityksille jotka tarkastuksia tarvitsevat ja toimintasäde ei rajoitu pelkästään Keski- Pohjanmaan alueelle vaan koko Suomen alueelle. Yritys on kehittynyt paljon seitsemän vuoden toimintansa aikana ja ajatuksena olisi laajentaa toimintaa materiaalia rikkoviin tarkastuksiin. Tästä syystä laadittiin nämä selvät ja tarkat ohjeet menetelmä- ja hitsauskokeiden tarkastuksiin rikkomattomilla ja rikkovilla menetelmillä.

Nämä ohjeet on tehty vain hitsaus- ja menetelmäkokeita varten. Tässä ohjeessa ei oteta kantaa löydetyihin hitsausvirheisiin tai miten hitsaus- tai menetelmäkoe suoritetaan.

2 HITSAUSMENETELMÄT

Hitsaus on metalliteollisuudessa yleisin käytetty liittämismenetelmä teräksille ja ei-rautametalleille. Hitsaamista suoritetaan useilla eri teollisuuden aloilla ja konepajateollisuudessa, rekisteröityneitä yrityksiä löytyy jo yli 10000 ja nämä yritykset työllistävät yli 90000 henkilöä. Hitsausteollisuuden yleisimpiä tuotteita ovat esimerkiksi teräsrakenteet, putket ja putkistot, koneet, sillat, neste- ja kaasusäiliöt ja painelaitteet. Hitsauksia suoritetaan myös sähkö- ja elektroniikkateollisuudessa (Lukkari, 2002).

2.1 Puikkohitsaus (111)

Puikkohitsaus on toisin sanoen metallikaari hitsausta ilman suojakaasua. Hitsaus suoritetaan hitsauspuikolla missä palaa valokaari puikon pään ja metallikappaleen välillä. Metallisula muodostuu hitsattavalle alueelle puikon sydämen sulaessa ja samalla puikon pinnasta siirtyy hitsin pintaan kuona-ainetta, mikä poistetaan hitsausprosessin päätteeksi. Kuonan tarkoituksena on suojata hitsisulaa, ettei siihen pääse happea, mikä mahdollisesti voi aiheuttaa vikoja hitsiin. Puikkohitsauksessa yleensä käytetään Rutiili-, Emäs- tai Hapanpuikkoja. Tätä hitsausmenetelmää käytetään usein, kun hitsaus joudutaan suorittamaan ulkona tai paikassa missä ei voi suojakaasua käyttää. Puikkohitsaus soveltuu miltei kaikkien teräslaatujen hitsaukseen kuten esimerkiksi: seostamattomat, ruostumattomat, kuumalujat ja kylmäsitkeät teräkset ja tulenkestävät (Lukkari, 2002).

2.2 MIG-hitsaus (131)

MIG- hitsaus eli metallikaasukaarihitsaus on hitsausprosessi missä käytetään suojakaasua suojaamaan hitsausta langan ja kappaleen välillä. Hitsauksessa käytettävä hitsipistooli toimii hitsilangan syöttölaitteena ja samalla pistoolin kaasusuutin puhaltaa suojakaasun tulevan langan ympärille. Kaasun tarkoituksena on suojata hitsisulaa ulkoisilta vikojen aiheuttajilta kuten hapelta ja typeltä. MIG- hitsauksessa käytettävä kaasu on yleensä argon, helium tai niiden sekoitus. MIG- hitsausta käytetään ei-rautametallien hitsaamiseen, kuten esimerkiksi alumiinin hitsaamiseen (Lukkari, 2002).

2.3 MAG-hitsaus (135/ 136)

MAG- hitsaus on melkein vastaava hitsausprosessi kuin MIG- hitsaus, mutta erona tähän on hitsauksessa käytettävä kaasu mikä reagoi hitsisulassa oleviin aineosiin. Tämän prosessin tunnus on 135 jos hitsataan umpilangalla, mutta jos langassa käytetään täyteainetta, niin tunnus muuttuu 136:ksi. MAG- hitsauksessa käytetään yleensä joko argonin ja hiilidioksidin, argonin ja hapen tai argonin, hapen ja hiilidioksidin kaasuseosta tai vain puhdasta hiilidioksidia. MAG- hitsauksella pääasiassa hitsataan terästä ja ruostumattomia.

Hitsauskaasu yleensä määräytyy sen mukaan mitä materiaalia hitsataan. Tässä hitsausprosessissa käytetään myös hitsipistoolia millä syötetään lisäainelankaa ja samalla puhaltaa suojakaasua hitsattavalle pinnalle. MAG- hitsauksessa käytetään täytelankaa tai umpilankaa ja niiden paksuudet vaihtelevat 0,8mm – 1,2mm. (Lukkari, 2002).

2.4 TIG-hitsaus (141)

TIG- hitsaus eli volframi-inerttikaasuhitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, missä valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin ja hitsattavan kappaleen välissä mikä muodostaa hitsisulan. Hitsauksessa käytetään suojakaasua mikä suojaa hitsisulaa, mutta myös TIG- pistoolissa olevaa volframielektrodia hapettumasta. TIG- hitsaus on melkein verrattavissa kaasuhitsaukseen, eli hitsainta kuljetetaan hitsinsulan edellä ja samalla syötetään hiljalleen toisella kädellä hitsauslankaa hitsisulaan. TIG- hitsauksen mainittavimpia erityispiirteitä on hitsauksessa muodostuvan hitsisulan hyvä hallitseminen, koska lisäaineen tuonti on helposti hallittavissa ja voi pitää valokaaren erillään toisistaan (Lukkari, 2002).

2.5 Jauhekaarihitsaus (121/125)

Jauhekaarihitsauksessa valokaari palaa hitsilangan ja hitsattavan kappaleen välissä metallijauheen alla. Valokaari ei siis ole nähtävissä kuten muissa valokaarella toimivissa hitsausmenetelmissä. Metallijauhe

syötetään samalla kun syötetään metallilankaa hitsirailoon. Hitsauksesta muodostuu hitsin päälle suojaava kuonakerros mikä poistetaan hitsauksen jälkeen. Jauhekaarihitsaus on prosessi mikä suoritetaan yleensä mekaanisesti eli hitsisauma ajetaan koneen avulla. Jauhekaarihitsausta käytetään useasti isoilla materiaalivahvuuksilla, koska hitsin tuotto huomattavasti suurempi kuin muilla menetelmillä. Jauhekaarella pystytään esimerkiksi hitsaamaan I-railossa noin 20mm, Y-railossa 25mm ja X-railossa noin 40mm (Lukkari, 2002).

2.6 Plasmahitsaus (15)

Plasmahitsaus on volframikaasuhitsausprosessi missä sähköpurkauksella ja kaasuatmosfäärin läpi kulkevalla valokaarella muodostuu plasma hitsattavaan kappaleeseen. Tässä hitsausmenetelmässä plasma on tarkemmin sanottuna sähköä johtavaa kaasua mikä sekoittuu ionisoituneessa ja varautuneessa tilassa olevien elektronien, ionien ja molekyylien kanssa ainesekseksi. Hitsauksessa käytetään myös suoja-kaasua, koska plasmasuuttimesta tuleva kaasu ei riitä suojaamaan hitsisulaa (Lukkari, 2002).

Plasmahitsaus muistuttaa huomattavan paljon TIG- hitsausta, koska itse hitsauksessa plasmakaari muodostaa valokaaren alle railossa olevaan hitsisulaan. Tyypillisesti plasmahitsauksella hitsataan ruostumattomia teräksiä, noin 3-8mm paksua ja yleensä I- railolla. Suurin hyöty tästä hitsausmenetelmästä saadaan siinä, että sillä voidaan hoitaa hitsaus yhdeltä puolelta kappaletta (Lukkari, 2002).

2.7 Happi- ja asetyleenihitsaus (311)

Happi- Asetyleeni hitsaus tunnetaan yleisemmin kaasuhitsauksena missä hitsausprosessiin käytetään asetyleeniä ja siihen lisättyä happea mikä nostaa pillistä tulevan liekin lämpötilaa ja tehostaa samalla itse palamisprosessia. Kaasuliekin uloimman kerroksen tehtävänä on toimia suojakaasuna hitsisulalle, ettei siihen sekoituisi liikaa happea ilmasta. Hitsausliekki on kuumimmillaan 3mm liekin kärjestä, noin 3200°C astetta. Hitsauksessa työnnetään polttoliekkiin lisäainelankaa millä saadaan hitsisula aikaan. Tätä hitsausmenetelmää harvoin käytetään hitsauskokeita tehdessä, koska sen materiaalivahvuus ei ole erityisen hyvä ja vaikuttaa huomattavasti iskusitkeyteen (Eiro, 1971).

3 HITS AUS- JA MENETELMÄKOE

Hitsaus- ja menetelmäkokeet suoritetaan eri standardien mukaan, kuten esimerkiksi hitsaajan hitsauskoe suoritetaan joko SFS-EN ISO 9606-1 (teräs) tai 9606-2 (alumiini) mukaan ja menetelmäkokeet suoritetaan standardin SFS-EN ISO 15614-1 + A1 + A2. Menetelmäkoe yleensä suoritetaan kappaleelle mikä on tuotannossa tai tulossa tuotantoon. Kokeiden tarkastaminen ja luokittelu kuitenkin suoritetaan tarkastusstandardien mukaan.

3.1 Hitsaajan pätevyyskoe

Hitsaajan pätevyyskokeella arvioidaan hitsaajan kyky vastaanottaa kirjallisia ja suullisia hitsausohjeita. Pätevyyskokeen hyväksytysti suoritettu saa hitsaaja tehdä kokeen tasoisia tai koetta helpompia hitsauksia. Tämä edellyttää, että hitsaaja on saanut tarkoituksenmukaista harjoitusta tai kokemusta teollisuudessa kyseiseltä pätevyysalueelta. Pätevyyskoetta voidaan myös käyttää hitsausohjeen WPS hyväksymiseen, kunhan se täyttää standardin SFS-EN ISO 15614-1 A1+A2 vaadittavat koekappaleen mitat ja koevaatimukset (SFS-EN ISO 9606-1, 2013).

3.2 Menetelmäkoe

Jos hitsaajalla on voimassa oleva kansainvälisen standardin vaatimukset täyttävät pätevyys, niin se voidaan uudelleen arvioida ja jatkaa voimassaoloaika (SFS-EN ISO 9606-1, 2013, Hitsaajan pätevyyskoe, sulahitsaus, osa.1 Teräkset, Suomen Standardisoimisliitto SFS).

Menetelmäkoe suoritetaan pWPS- esihitsausohjeen avulla, mistä sitten saadaan tarkastuksien jälkeen hyväksytty WPS- hitsausohje tuotettavalle kappaleelle tai tuotteelle. Menetelmäkoestandardissa määritellään kokeelle vaadittavat testaukset ja tarkastukset.

Menetelmäkokeelle voidaan suorittaa ainetta rikkomattomat tarkastukset, mutta jos menetelmäkokeelle pitää suorittaa rikkovia tarkastuksia niin niitä ei saa suorittaa muut kuin kolmannen osapuolen tarkastuslaitos millä on akkreditoitu materiaalia rikkova tarkastuslaboratorio (SFS-EN ISO 15614-1 + A1 + A2, 2008).

4 NDT-TARKASTUSMENETELMÄT

Hitsauskokeet tarkastetaan ndt- menetelmiä käyttäen, jotta pystytään luokittelemaan hitsauksen laatu. Kokeelle tarvittavat tarkastusmenetelmät määräytyvät standardin SFS-EN ISO 9606-1 tarkastussuunnitelman mukaan. Silmämääräinen tarkastus suoritetaan kokeelle aina. Päittäishitseille voidaan joko suorittaa röntgenkuvaus, taivutuskoe tai murtokoe. Jos koe on hitsattu 131-, 135-, 136- tai 311- menetelmällä niin kokeelle suoritetaan röntgenkuvauksen lisäksi vielä taivutus- tai murtokoe (SFS-EN ISO 9060-1, 2013).

4.1 Silmämääräinen tarkastus (VT)

Silmämääräinen tarkastus yhtä tärkeä tarkastusmenetelmä kuin muutkin ndt- tarkastukset. Visuaalinen tarkastus suoritetaan yleensä jokaiselle tarkastettavalle kappaleelle tai hitsille ennen kuin muita tarkastusmenetelmiä suoritetaan. Tällöin saadaan pintaviat tarkastettua ja että pinta on puhdas esimerkiksi tunkeumaneste- tai magneettijauhetarkastukselle. Hitsauskokeita tarkastaessa on erittäin tärkeää tarkistaa silmämääräisesti hitsaukset pinnan ja juuren puolelta ennen lopullista tarkastusta. Tarkastettava alue on standardin mukaan 10 millimetriä hitsauksen molemmin puolin. Kuona, lika, öljy ja epäjatkavuudet voivat antaa väärän indikaation esimerkiksi röntgenkuvauksessa ja tämä voi aiheuttaa kokeen hylkäyksen (SFS-EN ISO 17637, 2011).

Visuaaliseen tarkastukseen tulee tarkastajan olla päteväytynyt standardin SFS-EN ISO 9712 Rikkomaton aineen koetus, NDT- henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. NDT- tarkastaja noudattaa tarkastuksessa standardia SFS-EN ISO 17635 minkä perusteella pystytään luokittelemaan hitsauksessa tai kappaleessa olevat viat ja virheet. Tarkastusolosuhteet täytyy ottaa huomioon ennen tarkastusta. Suorassa tarkastuksessa luoksepäästävyys täytyy olla niin riittävä, että kappaletta pystytään tarkastelemaan korkeintaan 600mm etäisyydeltä tarkastettavasta pinnasta ja vähintään 30 asteen kulmasta.

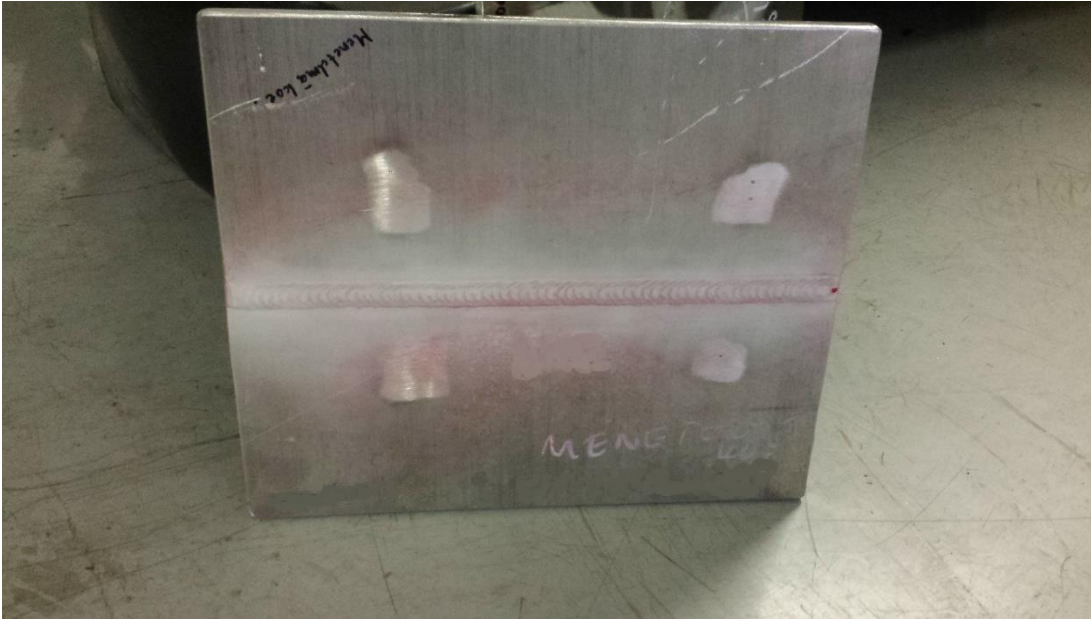
Valaistus on tärkeä huomioida ennen tarkastusta. Tarkasteltavan kappaleen pinnalla valaisuvoimakkuus tulee olla vähintään 350 lx, mutta suositeltu voimakkuus on 500 lx. Tarkastuksessa saa myös käyttää apuvälineitä kuten: peilit, boroskooppi, kuituoptiset- laitteet ja kamerat, jos tarkastettavalle alueelle luoksepäästävyys ei ole mahdollista (SFS-EN ISO 17637, 2011).

4.2 Tunkeumanestetarkastus (PT)

Tunkeumanestetarkastuksessa pystytään katsomaan pintaan aiheutuneet virheet kuten esimerkiksi halkeamat, säröt, huokokset ja imuontelot. Tarkastettavan kappaleen lämpötila on yleensä oltava +10- +50 °C. Valaistusvoimakkuuden pitää olla vähintään 500 luxia tai flueresoivassa vähintään 20 luxia ja ultraviolettin valon intensiteetti vähintään 10 W/m². Tarkastukseen käytettävät aineet: punainen penetranttiaine (Bycotest RP20), flueresoiva penetranttiaine (Bycotest 101), valkoinen kehitemaali (Bycotest D30) ja liuotinpuhdistusaine (Bycotest C10). Ennen varsinaista tarkastusta on suoritettava pinnan ja tarkastettavan alueen esipuhdistus (SFS-EN ISO 571-1, 1974).

Hitsin ja tarkastettavan alueen tulee olla puhtaita kaikesta kuonasta ja liasta etteivät nämä aiheuta valeindikaatioita. Tunkeumaneste levitetään pinnalle esimerkiksi sivelemällä, ruiskuttamalla, sumuttamalla tai upottamalla. Nesteen annetaan vaikuttaa pinnalla 20- 30 min jotta tunkeumaneste pystyy imeytymään mahdollisiin vikoihin. Vaikutusajan jälkeen ylimääräinen tunkeumaneste poistetaan pinnalta joko pesemällä haalealla vedellä tai liuotinaineella (SFS-EN ISO 571-1, 1974).

Pinnasta tarkastetaan, että ylimääräinen tunkeumaneste on poistettu huolellisesti. Seuraavaksi pinnalle levitetään kehiteaine ja annetaan sen vaikuttaa noin 10- 15 min. Ehjät kohdat jäävät valkoisiksi ja punainen tunkeumaneste näyttää vikakohdat valkoisen kehitemaalin pinnalla (KUVA.1). Tarkastuksessa on myös huomioitava indikaation koko, eli jos pinnalle muodostuu tumma iso punainen alue niin se voi tarkoittaa, että vika on syvä ja väri myös näyttää, jos pinnassa on pitkä särö tai halkeama (SFS-EN ISO 571-1, 1974).



KUVA. 1, Tunkeumanestetarkastus menetelmäkokeelle

4.3 Magneettijauhetarkastus (MT)

Magneettijauhetarkastus on useasti käytetty tarkastusmenetelmä ferromagneettisille kappaleille. Ruostumattomia ja haponkestäviä teräksiä on huono magneettijauheella tarkastaa, koska ne eivät magnetoidu niin hyvin kuin ferromagneettinen musta teräs. Aineiden permeabiliteetti määrittelee aineen magneettisuuden. Eli aineet pystytään jakamaan kolmeen eri ryhmään: Diamagneettiset mikä hylkii magnetismia ja näitä on esimerkiksi lasi, vesi ja kupari. Paramagneettiset eli aineet mitkä magnetoituvat vain vähän, mutta ei niin paljon, että saisi suorittaa tarkastusta ja tähän ryhmään kuuluu alumiini, platina ja austeniittinen teräs, jossa on 5 %:a δ -ferriittiä. Viimeisenä ryhmänä ferromagneettiset aineet eli materiaalit mitkä magnetoituvat erittäin hyvin. Tähän ryhmään kuuluu esimerkiksi koboltti, nikkeli, pehmeä teräs, permalloy ja supermalloy (NDT- tarkastuskäsikirja, 2000).

Kappaleen magnetointi suoritetaan Iesmagnetoinnin, kelamagnetoinnin, magnetointipenkin tai kottiomagnetoinnin avulla. Kaikissa edellä mainituissa menetelmissä tarvitaan sähkövirtaa, jotta magnetointi voidaan suorittaa, mutta kestromagnetointiin ei tarvitse sähköä. Kestomagnetoinnissa käytetään vain vahvaa magneettia millä tarkastus suoritetaan. Vaihtovirtaieksen kalibroitu nostokyky pitää olla 4,5 kiloa ja kestromagneetilla ja tasavirtaieksellä 18 kiloa. Iekset toimivat normaalilla yksivaihe verkkovirralla (220V) (NDT- tarkastuskäsikirja, 2000).

Ennen tarkastusta on kappaleen pintojen oltava puhdistettuna kaikesta kuonasta, öljystä ja liasta. Puhdistuksen jälkeen tarkastettavalle pinnalle sivellään tai ruiskutetaan kontrastiväri eli valkoinen maalikerros. Maalin kuivuttua voidaan aloittaa magnetointi ja samalla ruiskutetaan mustaa magnetointijauhetta ieksen kohtioiden väliin, missä magnetointi on vahvimmillaan. Tarkastettava alue magnetoidaan 90 astetta molemmin puolin aluetta, jotta voidaan huomata mahdolliset virheet ja viat pinnassa pitkittäin tai poikittain. Jos kappale on tarkastettu fluoresoivalla, niin tarkastuksessa käytetään ultraviolettivaloa, jotta voidaan havaita mahdolliset vikaindikaatiot (SFS-EN ISO 17638, 2010).

4.4 Radiografinen tarkastus (RTG)

Radiografista tarkastusta eli röntgenkuvausta käytetään yleensä menetelmä- ja hitsauskokeiden tarkastamisessa. Hitsausmenetelmästä riippuen kokeelle voidaan tehdä myös röntgenkuvauksen lisäksi taivutus- tai murtokoe. Röntgenkuvauksessa suurin vaaratekijä on röntgenputkesta lähtevä ionisoiva säteily mikä on vaarallista ihmiselle ja tämän vuoksi kuvaukset yleensä suoritetaan joko lyijypäällysteisessä kuvauskopissa tai hyvin eristetyllä alueella (KUVA.2). Röntgenkuvauksella saadaan koekappaleesta selville hitsauksen mahdolliset sisäiset virheet mitä ei esimerkiksi pintatarkastuksilla pystytä näkemään. Kuvauksella pystytään näkemään pintaan aukeavia säröjä, liitosvirheitä, kuonaa, huokosia, halkeamia tai hitsin aloituksessa tai lopetuksessa ilmeneviä virheitä kuten pipet eli imuontelot (Hitsauksen materiaalioppi, 2014).

Röntgen kuvausta saa suorittaa vain henkilöt jotka ovat suorittaneet Säteilyturvakeskuksen vastaavan johtajan säteilysuojelukoulutuksen kuulustelun säteilytyöskentelyn turvallisuudesta. Koulutuksen ja tentin hyväksytysti läpäisseet saavat suorittaa röntgenkuvauksia avustavana henkilönä, mutta heillä ei ole lupaa luokitella kuvia. Röntgenkuvaaja täytynyt käydä teollisen radiografiakuvaukseen keskittyvän koulutuksen ja suorittanut hyväksytysti Inspecta Sertifioinnin järjestämän tentin. Röntgenkuvauksella voidaan tarkastaa hitsauskokeiden levyjen tai putkien päittäishitsejä, mutta pienahitsejä ei tarkasteta röntgenkuvauksella sen vaikean kuvattavuuden takia, ainoastaan erikoistapauksissa. Kappaleiden kuvaukseen vaikuttavia tekijöitä on esimerkiksi kappaleiden koko, materiaali, materiaalivahvuus ja putkikoko. Levykuvauksissa käytetään suoraa levykuvaustekniikkaa. Putkikuvauksissa käytetään putkikoosta riippuen joko keskeiskuvausta, sektorikuvausta tai ellipsikuvausta.



KUVA.2 Levyhitsauksen röntgenkuvaus.

4.4.1 Viittaukset

Tämä ohjeen osa on laadittu radiografiselle kuvaukselle mikä perustuu standardeihin SFS-EN ISO 17636-1, 2013, Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus. Osa 1: Röntgen- ja Gammakuvaus filmitekniikalla ja Röntgen kuvauksen hyväksymisrajat standardista SFS-EN ISO 10675-1, 2008, Hitsien rikkomaton aineenkoetus, Radiografisen kuvauksen hyväksymisrajat, Osa 1: Teräs, Nikkeli, Tiitaani ja niiden seokset ja niiden kautta viitattuihin standardeihin. Tässä ohjeessa ei käsitellä hyväksymisrajoja. Hyväksymisrajat on määritettävä tapauskohtaisesti erikseen osapuolten kesken.

4.4.2 Vastuu ja Henkilöstö

Henkilö joka on käynyt vain Level 1- tentissä ei ole lupaa luokitella röntgenkuvia, mutta jos on käynyt Level 2- tentissä saa hän luokitella kuvat ja tehdä niistä raportin. Henkilö on tällöin standardin SFS-EN ISO 9712 mukaan päteväitynyt Level 2 Röntgentarkastaja (Hitsauksen materiaalioppi, 2014).

Kaikkialla missä röntgen tai gammasäteilylähteitä käytetään, on sovellettava tarkoituksenmukaisia lain määräyksiä. Ionisoivaa säteilyä käytettäessä on paikallisia, kansallisia tai kansainvälisiä säteilyturvamääräyksiä tarkoin noudatettava (Hitsauksen materiaalioppi, 4.painos).

4.4.3 Tarkastustaso

Tarkastustasosta tulee sopia osapuolten kesken ennen tarkastuksien aloitusta. Tarkastussuunnitelmat voivat erota eri yrityksillä ja laitoksilla.

Tarkastustaso A: peruskuvaustekniikka

Tarkastustaso B: parannettu kuvaustekniikka

Jos tilaaja ei määrittele tarkastustasoa, niin silloin toimitaan tarkastustaso B:n mukaisesti. Ja jos teknisistä syistä ei ole mahdollista saavuttaa jotain tarkastustasolle B määritettyä ehtoa, voidaan osapuolten kesken sopia, että valittu ehto määritetään tarkastustason A:n mukaan (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

4.4.4 Pinnan esivalmistelu

Jos pinnan epäjatkuvuudet tai pinnoitteet vaikeuttavat virheiden havaittavuutta, tai vaikuttavat sovitun tarkastustason edellyttämien vaatimusten saavuttamiseen, hiotaan pinta tasaiseksi tai pinnoite poistetaan, ellei osapuolten kesken toisin sovita (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

4.4.5 Filmijärjestelmäluokat ja metallivahvistuslevyt alumiinille ja titaanille

Filmi on tarvittaessa suojattava taustasäteilyltä filmi-vahvistuslevy-yhdistelmän taakse sijoitettavalla 1.5 mm paksuisella tinalevyllä. Taustasäteily todetaan jokaiselle uudelle kuvausjärjestelleylle sijoittamalla lyijykirjain B (korkeus vähintään 10 mm ja paksuus vähintään 1,5 mm) kasetin taakse, jos B näkyy filmissä vaaleampana kuin tausta tarvitaan lisäsuojauksia, jos B näkyy tummana tai on näkymätön lisäsuojauksia ei tarvita (TAULUKKO.1) (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

TAULUKKO 1. Filmijärjestelmäluokat ja metallivahvistuslevyt alumiinille ja titaanille.

Säteilylähde	Filmijärjestelmäluokka 1)		Vahvistuslevyjen tyyppi ja paksuus
	Tarkastustaso A	Tarkastustaso B	
Röntgenlaite ~ 150 kV	C5	C3	Ei vahvistuslevyjä tai ~ 0,03 mm lyijylevy edessä ja ~ 0,15 mm lyijylevy takana
Röntgenlaite 150 – 250 kV			0,02 .. 0,15 lyijylevy edessä ja takana
Röntgenlaite 250 – 500 kV			0,1 .. 0,2 lyijylevy edessä ja takana
SE 75			0,1 .. 0,2 lyijylevy edessä ja takana
1) Parempia filmijärjestelmäluokkia voidaan myös käyttää. 2) 0,2 mm lyijylevyn sijasta voidaan käyttää 0,1 mm lyijylevyä 0,1 mm lisäsuodattimen kanssa.			

Kuvausparametrit tulisi valita niin että tarkasteltavalla alueella olisi vähimmäismustuma-arvot olisivat suurempia tai yhtä suuria kuin alla olevassa taulukossa (TAULUKKO.2).

TAULUKKO 2. Vähimmäismustuma filmillä.

Tarkastustaso	Mustuma (a)
A	$\geq 2,0$ (b)
B	$\geq 2,3$ (c)
(a) Mustumalle sallitaan mittaustoleranssi $\pm 0,1$. (b) Osapuolten erityissopimuksella voidaan muuttaa 1,5:een. (c) Osapuolten erityissopimuksella voidaan muuttaa 2,0:een.	

4.4.6 Filmin valinta

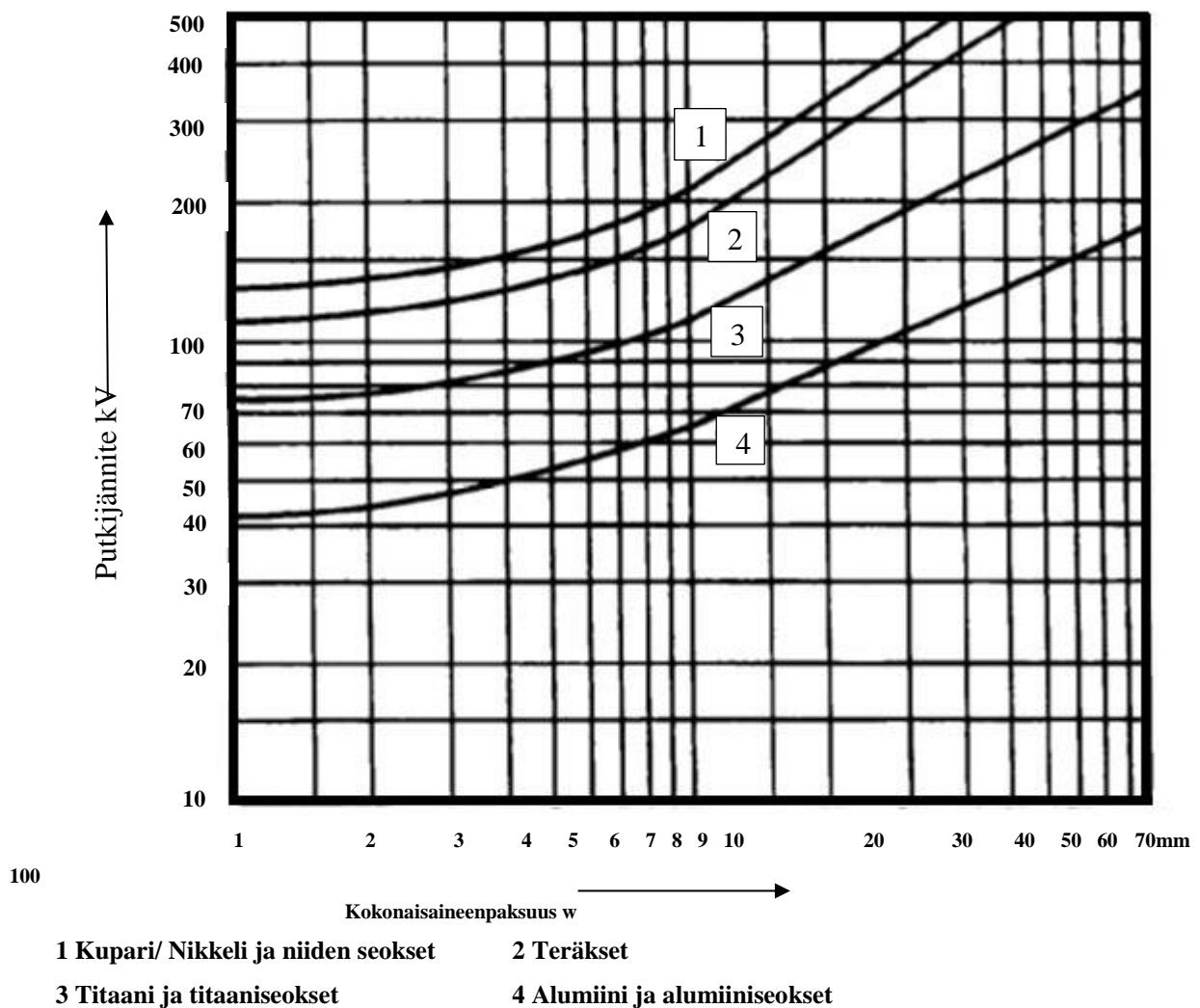
TAULUKKO 3. Filmijärjestelmäluokat ja metallivahvistuslevyt teräkselle, sekä kupari- ja nikkeli-pitoisille seoksille

Säteilylähde	Kokonais- aineenpaksuus w	Filmijärjestelmäluokka (a)		Metallivahvistuslevyjen tyyppi ja paksuus		
		Tarkastustaso A	Tarkastustaso B	Tarkastustaso A	Tarkastustaso B	
Röntgenlaite ≤ 100 kV		C5	C3	Ei vahvistuslevyjä tai ≤ 0,03 mm lyijylevy edessä ja takana		
Röntgenlaite > 100 kV...150 kV				≤ 0,15 mm lyijylevy edessä ja takana		
Röntgenlaite > 150 kV...250 kV			C4	0,02...0,15 mm lyijylevy edessä ja takana		
Yb 169	w < 5 mm	C5	C3	Ei vahvistuslevyjä tai ≤ 0,03 mm lyijylevy edessä ja takana		
Tm 170	w ≥ 5 mm		C4	0,02...0,15 mm lyijylevy edessä ja takana		
Röntgenlaite	w ≤ 50 mm	C5	C4	0,02...0,2 mm lyijylevy edessä ja takana		
> 250 kV...500 kV	w > 50 mm		C5	0,1...0,2 mm lyijylevy edessä(b) 0,02...0,2 mm lyijylevy takana		
Röntgenlaite	w < 75 mm	C5	C4	0,25...0,7 mm teräs- tai kuparilevy edessä ja takana(c)		
> 500 kV...1000 kV	w > 75 mm	C5	C5			
Se 75		C5	C4	0,02...0,2 mm lyijylevy edessä ja takana		
Ir 192	w ≤ 100 mm w > 100 mm	C5	C4	0,02...0,2 mm lyijylevy edessä	0,1...0,2 mm lyijylevy edessä(b)	
Co 60	w ≤ 100 mm w > 100 mm			C5	C4 C5	0,02...0,2 mm lyijylevy takana
Kiihdytin 1 MeV...4 MeV	w ≤ 100 mm w > 100 mm	C5	C3 C5	0,25...0,7 mm teräs tai kuparilevy edessä ja takana (c)		
Kiihdytin > 4 MeV...12 MeV	w ≤ 100 mm 100 mm < w ≤ 300 mm w > 300 mm		C4 C5 C5	C4 C4 C5	≤ 1 mm kupari, teräs tai tantaalilevy edessä(d) ja ≤ 1 mm kupari- tai teräslevy ja ≤ 0,5 mm tantaalilevy takana(d)	
Kiihdytin > 12 MeV	w ≤ 100 mm 100 mm < w ≤ 300 mm w > 300 mm	C4 C5 C5	Ei sovellu C4 C5	≤ 1 mm tantaalilevy edessä(e) ei takavahvistuslevyä ≤ 1 mm tantaalilevy edessä(e) ja ≤ 0,5 mm tantaalilevy takana		

(a) Parempia filmijärjestelmäluokkia voidaan myös käyttää, katso ISO 11699-1.
(b) Valmiiksi pakattuja filmejä, jossa on ≤ 0,03 mm levy edessä voidaan käyttää, jos lisäksi sijoitetaan 0,1 mm lyijylevy kohteen ja filmin välille.
(c) Tarkastustasolla A voidaan myös käyttää 0,5...2 mm lyijylevyä.
(d) Tarkastustasolla A voidaan käyttää 0,5...1 mm lyijylevyä, jos osapuolten kesken näin sovitaan.
(e) Volframilevyjä voidaan käyttää, jos osapuolten kesken näin sovitaan.

4.4.7 Jännitteen valinta

Röntgenlaitteen (< 500 kV) suurin sallittu putkijännite kokonaisainepaksuuden ja materiaalin funktiona. Kuvausjännitteen on oltava mahdollisimman alhainen, jolloin virheen toteamisherkkyys on mahdollisimman hyvä. Suuria ainepaksuuseroja sisältävät kohteet voidaan kuvata korkeammilla jännitteillä mustumaerojen tasaamiseksi, kuitenkin korkeintaan 50 kV teräksellä, 30 kV alumiinilla ja 40 kV titaanilla yli sallitun maksimijännitteen (KUVIO.1) (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).



KUVIO.1. Putkijännitteen valinta materiaalin ja ainepaksuuden perusteella (SFS-EN ISO 17636-1, 2013)

4.4.8 Perushuntu

Kehitettäessä säteilyttämätön filmiä, ei sen perushuntu saa nousta yli arvon 0,3. Jos perushuntu on enemmän kuin 0,3, niin filmejä ei ole suositeltavaa käyttää, koska kuvatussa mustuma voi liian suuri ja filmien luokittelu vaikeutuu huonon kontrastin takia (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

4.4.9 Indikaattori

Kuvauksessa käytetään SFS EN ISO 19232-1 mukaisia lankaindikaattoreita. Kuvatarkkuus todetaan taulukoiden mukaan kohdassa 4.4.12, jonka perusteella indikaattorit valitaan. Ainepaksuutena käytetään säteilyn läpäisemää kokonaisainepaksuutta. Indikaattorin sijoitus. Indikaattorin ensisijainen sijoituspaikka on tarkastettavan kappaleen säteilylähteen puoleisella pinnalla, tutkittavan alueen keskellä, perusaineelle hitsin viereen. Indikaattorin on oltava kosketuksissa tarkastuskohteen pinnan kanssa (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

Lankaindikaattori sijoitetaan kohtisuoraan hitsiin nähden siten, että vähintään 10 mm lankojen pituudesta näkyy yhtenäisellä mustuma-alueella, joka tavallisesti on hitsin viereinen perusaine. Elliptisessä ja kohtisuorassa kuvauksessa indikaattori voidaan sijoittaa putken säteilylähteen puoleiselle pinnalle hitsin viereen langat hitsin suuntaisesti, sijoituspaikka siten, etteivät langat kuvaudu kummankaan hitsipuoliskon päälle tunnistusmerkeillä (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

4.4.10 Kuvan tunnistus ja merkintä

Kuvat varustetaan tunnuksella siten, että ne voidaan yksiselitteisesti yhdistää tarkastuskohteeseen. Tunnus muodostetaan kuvattavalle alueelle, mikäli mahdollista luokiteltavan alueen ulkopuolelle, kuvauksen ajaksi asetettavilla tunnistusmerkeillä (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

Kuvauskohdat merkitään pysyvästi kuvien täsmälliseksi paikantamiseksi. Jos materiaalin ominaisuudet ja tai käyttöolosuhteet eivät salli pysyvää merkitsemistä, voidaan paikantaminen tehdä sopivin kuvapiirroksin. Kun hitsin sijainti ei näy kuvassa, merkitään hitsin reuna lyijymerkeillä (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

Kuvattaessa alue kahdelle tai useammalle filmille, esim. Sektorikuvaus, asetetaan filmit riittävästi liittämättä. Näin varmistetaan, että koko luokiteltava alue tulee kuvatuksi. Tämä todetaan tarkastuskohteen pinnalla sijaitsevilla lyijymerkeillä, joiden tulee esiintyä jokaisessa filmissä.

Jos kappaleen säteilylähteen puoleinen pinta on luoksepääsemättömissä, sijoitetaan indikaattori kappaleen filmin puoleiselle pinnalle. Näin meneteltäessä tulee asettaa "F" lyijykirjain lähelle indikaattoria kyseisen järjestelyn merkiksi. Testausselosteeseen tulee myös merkitä "huomautuksia" sarakkeeseen "F" -kirjain kyseisten kuvien kohdalle (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

4.4.11 Kuvatarkkuuden määrittäminen

Kuva tarkkuus määritellään kuvauksessa käytetyn indikaattorin lankojen näkyvyydestä. Lankatunnus katsotaan taulukosta materiaalin nimellispaksuuden, kokonaispaksuuden ja tarkastustason perusteella.

TAULUKKO 4. Kuvaus yhden seinämän läpi. Indikaattori säteilylähteen puolella

Tarkastustaso A		Tarkastustaso B	
Nimellispaksuus t mm	Langan tunnus	Nimellispaksuus t mm	Langan tunnus
$f \leq 1,2$	W 18	$f \leq 1,5$	W 19
$1,2 < t \leq 2,0$	W 17	$1,5 < t \leq 2,5$	W 18
$2,0 < t \leq 3,5$	W 16	$2,5 < t \leq 4$	W 17
$3,5 < t \leq 5,0$	W 15	$4 < t \leq 6$	W 16
$5,0 < t \leq 7,0$	W 14	$6 < t \leq 8$	W 15
$7,0 < t \leq 10$	W 13	$8 < t \leq 12$	W 14
$10 < t \leq 15$	W 12	$12 < t \leq 20$	W 13
$15 < t \leq 25$	W 11	$20 < t \leq 30$	W 12
$25 < t \leq 32$	W 10	$30 < t \leq 35$	W 11
$32 < t \leq 40$	W 9	$35 < t \leq 45$	W 10
$40 < t \leq 55$	W 8	$45 < t \leq 65$	W 9
$55 < t \leq 85$	W 7	$65 < t \leq 120$	W 8
$85 < t \leq 150$	W 6	$120 < t \leq 200$	W 7
$150 < t \leq 250$	W 5	$200 < t \leq 350$	W 6
$250 < t$	W 4	$350 < t$	W 5

TAULUKKO 5. Kuvaus kahden seinämän läpi. Indikaattori säteilylähteen puolella

Tarkastustaso A		Tarkastustaso B	
Nimellispaksuus t mm	Langan tunnus	Nimellispaksuus t mm	Langan tunnus
$f \leq 1,2$	W 18	$f \leq 1,5$	W 19
$1,2 < t \leq 2,0$	W 17	$1,5 < t \leq 2,5$	W 18
$2,0 < t \leq 3,5$	W 16	$2,5 < t \leq 4$	W 17
$3,5 < t \leq 5,0$	W 15	$4 < t \leq 6$	W 16
$5,0 < t \leq 7,0$	W 14	$6 < t \leq 8$	W 15
$7,0 < t \leq 10$	W 13	$8 < t \leq 12$	W 14
$10 < t \leq 15$	W 12	$12 < t \leq 20$	W 13
$15 < t \leq 25$	W 11	$20 < t \leq 30$	W 12
$25 < t \leq 32$	W 10	$30 < t \leq 35$	W 11
$32 < t \leq 40$	W 9	$35 < t \leq 45$	W 10
$40 < t \leq 55$	W 8	$45 < t \leq 65$	W 9
$55 < t \leq 85$	W 7	$65 < t \leq 120$	W 8
$85 < t \leq 150$	W 6	$120 < t \leq 200$	W 7
$150 < t \leq 250$	W 5	$200 < t \leq 350$	W 6
$250 < t$	W 4	$350 < t$	W 5

TAULUKKO 6. Elliptinen ja kohtisuora kuvaus. Indikaattori säteilylähteen puolella

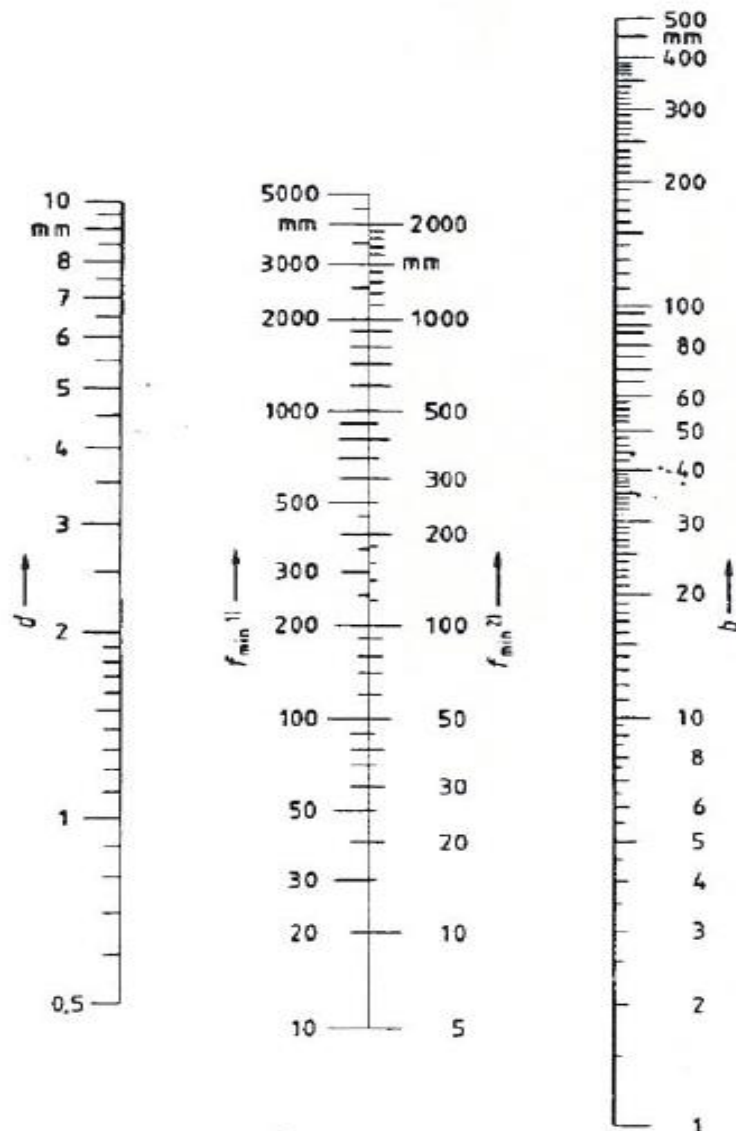
Tarkastustaso A	
Kokonaispaksuus w mm	Langan tunnus
$w \leq 1,2$	W 18
$1,2 < w \leq 2,0$	W 17
$2,0 < w \leq 3,5$	W 16
$3,5 < w \leq 5,0$	W 15
$5,0 < w \leq 7,0$	W 14
$7,0 < w \leq 12$	W 13
$12 < w \leq 18$	W 12
$18 < w \leq 30$	W 11
$30 < w \leq 40$	W 10
$40 < w \leq 50$	W 9
$50 < w \leq 60$	W 8
$60 < w \leq 85$	W 7
$85 < w \leq 120$	W 6
$120 < w \leq 220$	W 5
$220 < w \leq 380$	W 4
$380 < w$	W 3

Tarkastustaso B	
Kokonaispaksuus w mm	Langan tunnus
$w \leq 1,5$	W 19
$1,5 < w \leq 2,5$	W 18
$2,5 < w \leq 4$	W 17
$4 < w \leq 6$	W 16
$6 < w \leq 8$	W 15
$8 < w \leq 15$	W 14
$15 < w \leq 25$	W 13
$25 < w \leq 38$	W 12
$38 < w \leq 45$	W 11
$45 < w \leq 55$	W 10
$55 < w \leq 70$	W 9
$70 < w \leq 100$	W 8
$100 < w \leq 170$	W 7
$170 < w \leq 250$	W 6
$250 < w$	W 5

TAULUKKO 7. Elliptinen ja kohtisuora kuvaus. Indikaattori filmin puolella

Tarkastustaso A	
Kokonaispaksuus w mm	Langan tunnus
$w \leq 1,2$	W 18
$1,2 < w \leq 2,0$	W 17
$2,0 < w \leq 3,5$	W 16
$3,5 < w \leq 5,0$	W 15
$5,0 < w \leq 7,0$	W 14
$7,0 < w \leq 12$	W 13
$12 < w \leq 18$	W 12
$18 < w \leq 30$	W 11
$30 < w \leq 40$	W 10
$40 < w \leq 50$	W 9
$50 < w \leq 60$	W 8
$60 < w \leq 85$	W 7
$85 < w \leq 120$	W 6
$120 < w \leq 220$	W 5
$220 < w \leq 380$	W 4
$380 < w$	W 3

Tarkastustaso B	
Kokonaispaksuus w mm	Langan tunnus
$w \leq 1,5$	W 19
$1,5 < w \leq 2,5$	W 18
$2,5 < w \leq 4$	W 17
$4 < w \leq 6$	W 16
$6 < w \leq 12$	W 15
$12 < w \leq 18$	W 14
$18 < w \leq 30$	W 13
$30 < w \leq 45$	W 12
$45 < w \leq 55$	W 11
$55 < w \leq 70$	W 10
$70 < w \leq 100$	W 9
$100 < w \leq 180$	W 8
$180 < w \leq 300$	W 7
$300 < w$	W 6



KUVIO 2. Kuvausetäisyyden nomogrammi, b = kohde – filmietäisyys (SFS-EN ISO 17636-1, 2013)

4.4.12 Pienin mahdollinen kuvausetäisyys

Säteilysojeluillaistista systä tulisi kuvausetäisyys valita mahdollisimman pieneksi. Pienin sallittu kuvausetäisyys voidaan laskea alla olevasta kaavasta tai kuvan 2 nomogrammista.

$$f/d * t * 7.5 * s, \text{ tarkastustaso A}$$

$$f/d * t * 15 * s, \text{ tarkastustaso B}$$

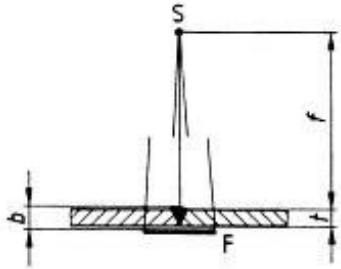
f = kuvausetäisyys

d = säteilylähteen koko

s = aineenpaksuus

4.4.13 Kuvausjärjestely

Levykuvaus yhden seinämän läpi.



S = Säteilylähde (focus)

t = Kappaleen nimellispaksuus

F = Filmi

f = Kuvaetäisyys

b = Kohde – Filmi -etäisyys

KUVA 3. Kuvausjärjestely suoralle tarkastelukohteelle yhden seinämän läpi.

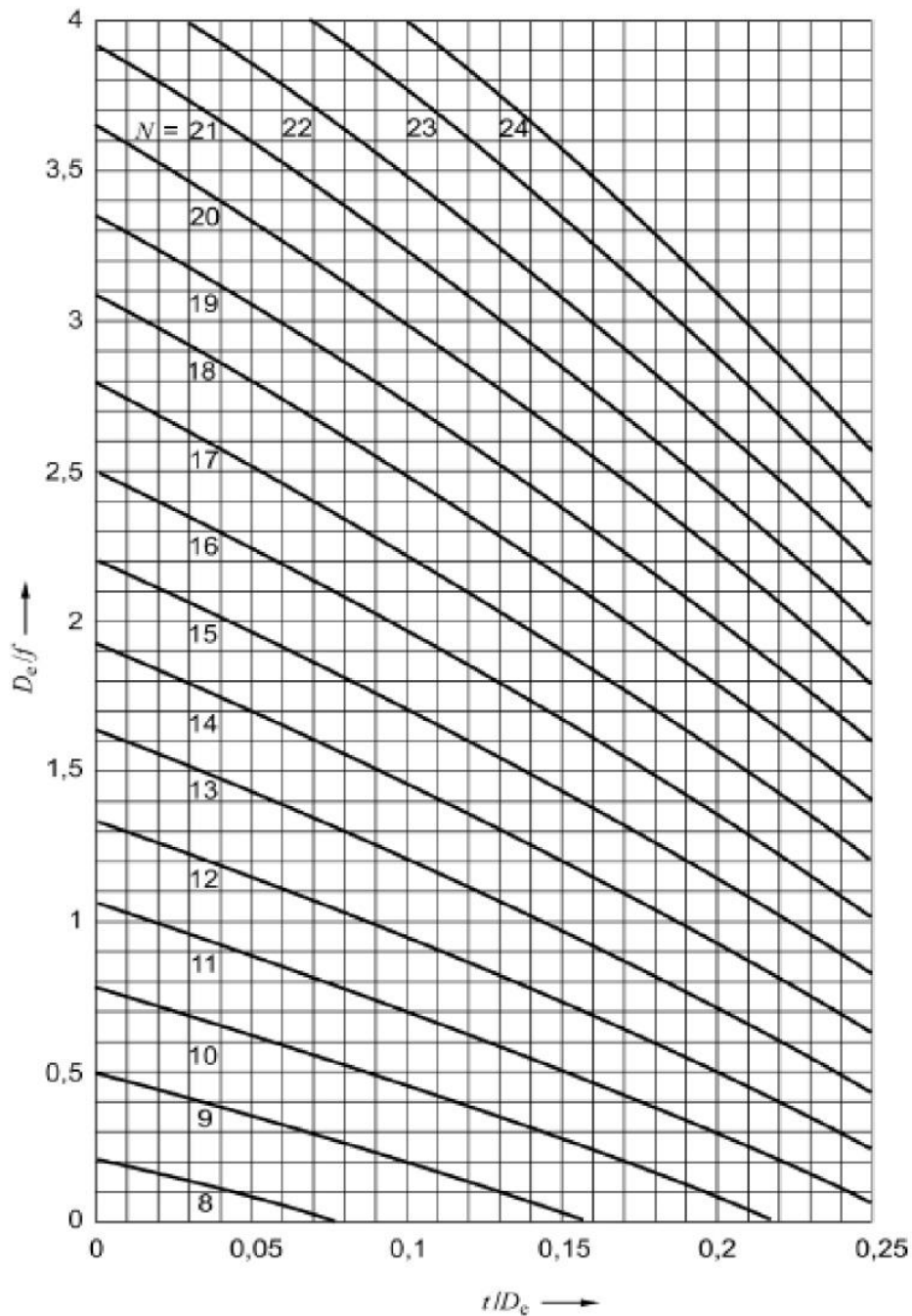
Suoritettaessa putken sektorikuvausta kahden seinämän läpi, määräytyy kuvausetäisyys ainoastaan tutkittavan puoliskon seinämän paksuuden mukaan. Jos vältetään kahden seinämän läpi kuvaus viemällä säteilylähde kappaleen sisään tai tällä tavalla saadaan tarkoituksenmukaisempi kuvaussuunta, voidaan säteilylähde - filmi etäisyyttä pienentää enintään 20 % (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

Elliptisellä kuvauksella kuvataan pienemmällä halkaisijalla olevia putkia, mutta maksimissaan halkaisijalla $D_e 100$ mm, seinämänpaksuus $t > 8$ mm tai hitsinleveys on $> D_e/4$. Jos $t/D_e < 0,12$ niin riittää kaksi kuvaa 90° kulmassa. Muussa tapauksessa joudutaan ottamaan kolme kuvaa. Eli jos putken materiaalivahvuus on suuri, niin kahdella kuvalla ei saada tarvittavaa tarkastettavaa aluetta filmille ja jos elliptinen kuvaus suoritetaan päittäiskuvauksella, niin kuvia otetaan kolme kappaletta. Tästä suuremmalla halkaisijalla olevat putket kuvataan sektorikuvauksella. Eri geometrisille kappaleille on omat kuvausjärjestelyt, jotta saataisiin mahdollisimman hyvä kontrasti, mustuma ja että kuva on luokiteltava (LIITTEET 1-3) (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

4.4.14 Vähittäisfilmimäärä

Sektorikuvauksessa on huomioitava se, että kuvataanko kappale yhden seinämän läpi vai kahden (KUVIO 3 ja 5). Yhden seinämän läpi kuvatessa täytyy katsoa standardista SFS-EN ISO 17636-1, nomogrammista vähittäisfilmimäärä.

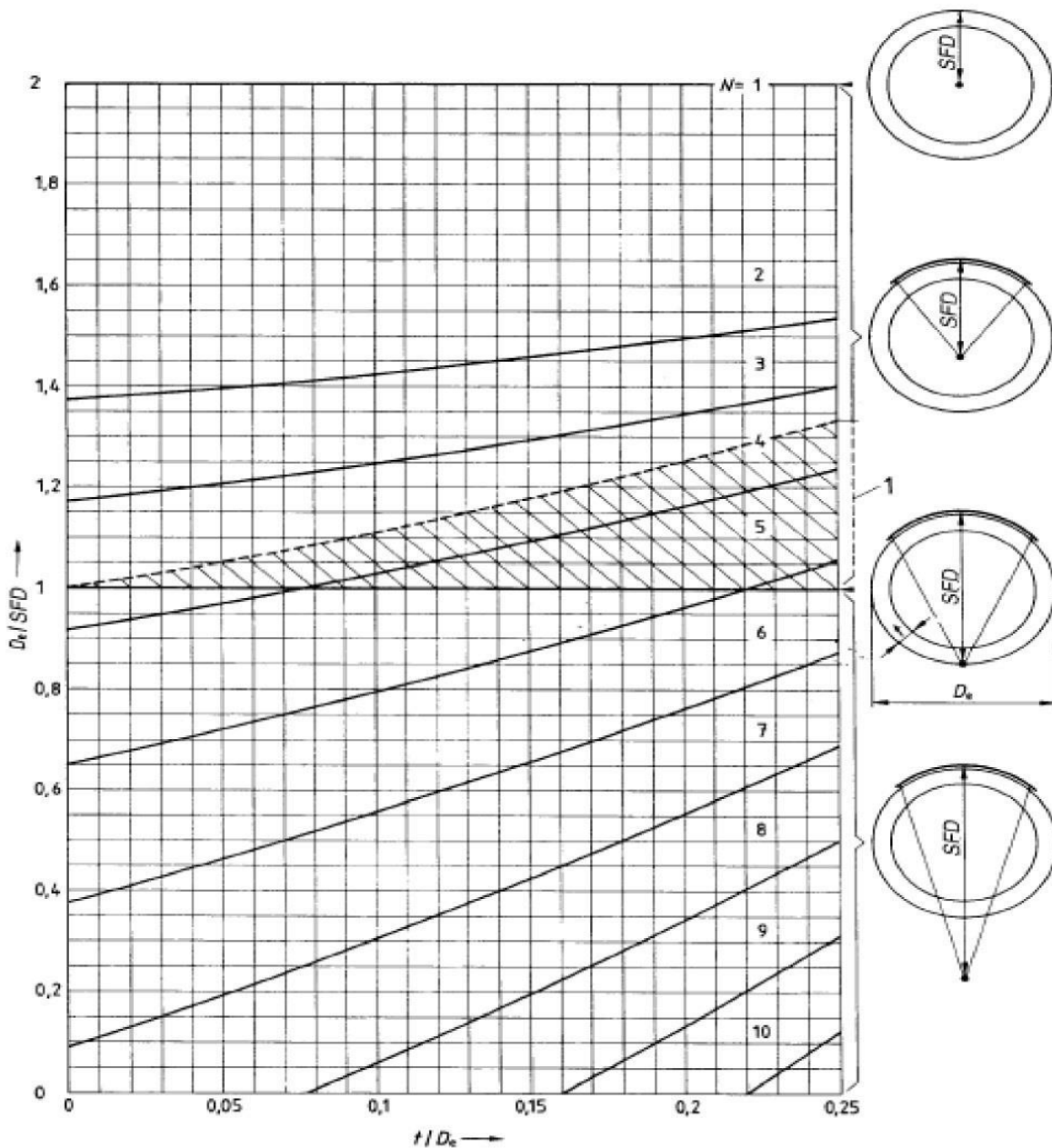
Kahden seinämän läpi kuvatessa käytetään (KUVIO 4 ja 6) SFS-EN ISO 17636-1, nomogrammia vähittäisfilmimäärälle (SFS-EN ISO 9060-1, 2013).



Nimellispaksuus t / putken ulkohalkaisija D_e

Pienin kuvamäärä N sektorikuvauksessa putken ulkopuolelta yhden seinämän läpi, kun seinämän paksuuden muutos säteilyn suunnassa $\Delta t/t$ tarkasteltavalla alueella on 10%. Suhteiden t/D_e ja D_e/f funktiona.

KUVIO 3. Vähimmäiskuvamäärä putken päittäishitsissä. Kuvausluokka B (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

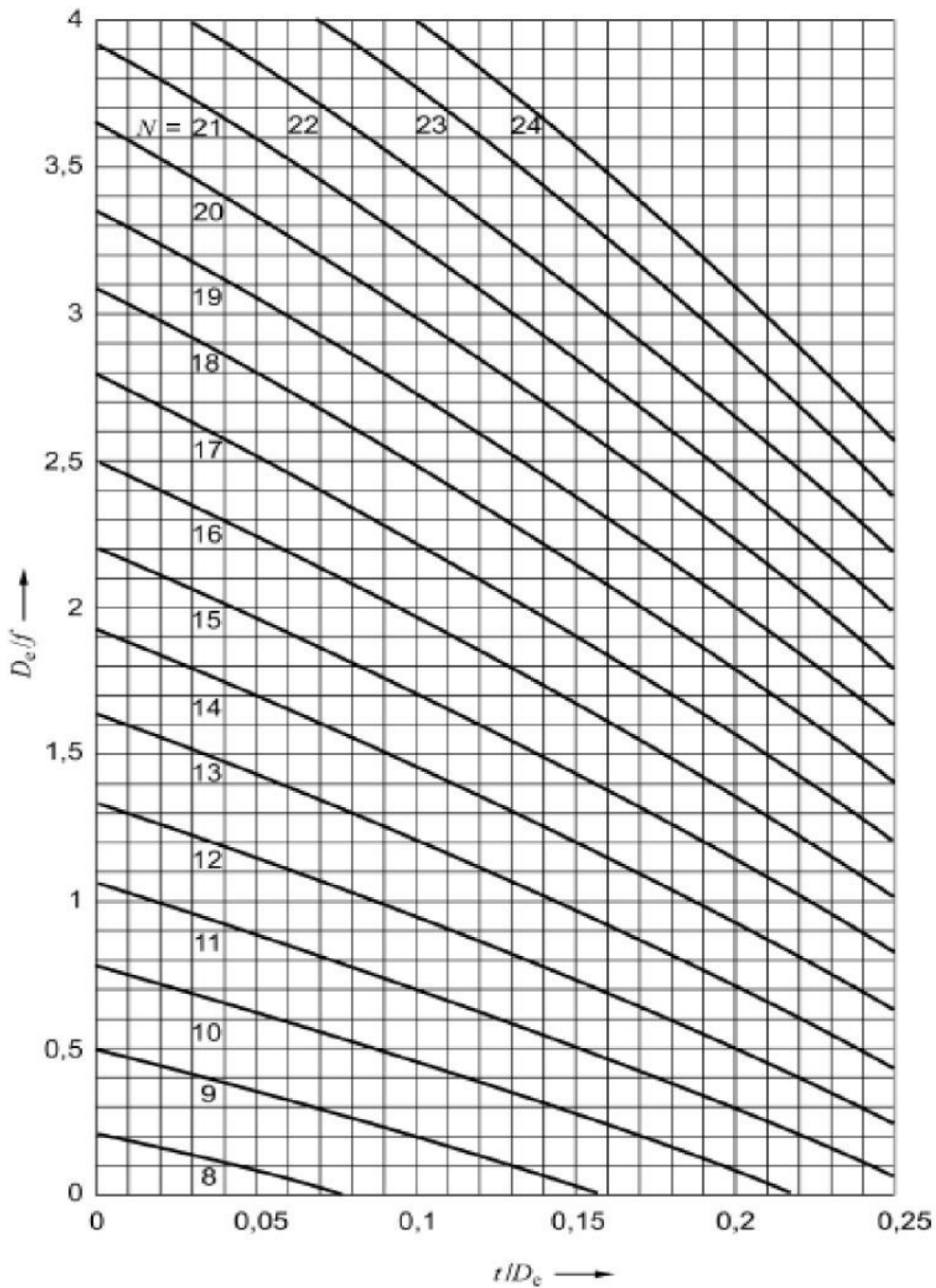


1. Putken seinämä

Nimellispaksuus t / putken ulkohalkaisija D_e

Pienin kuvamäärä N sektorikuvauksessa putken ulkopuolelta kahden seinämän läpi, kun seinämän paksuuden muutos säteilyn suunnassa $\Delta t/t$ tarkasteltavalla alueella on 10%. Suhteiden t/D_e ja D_e/f funktiona.

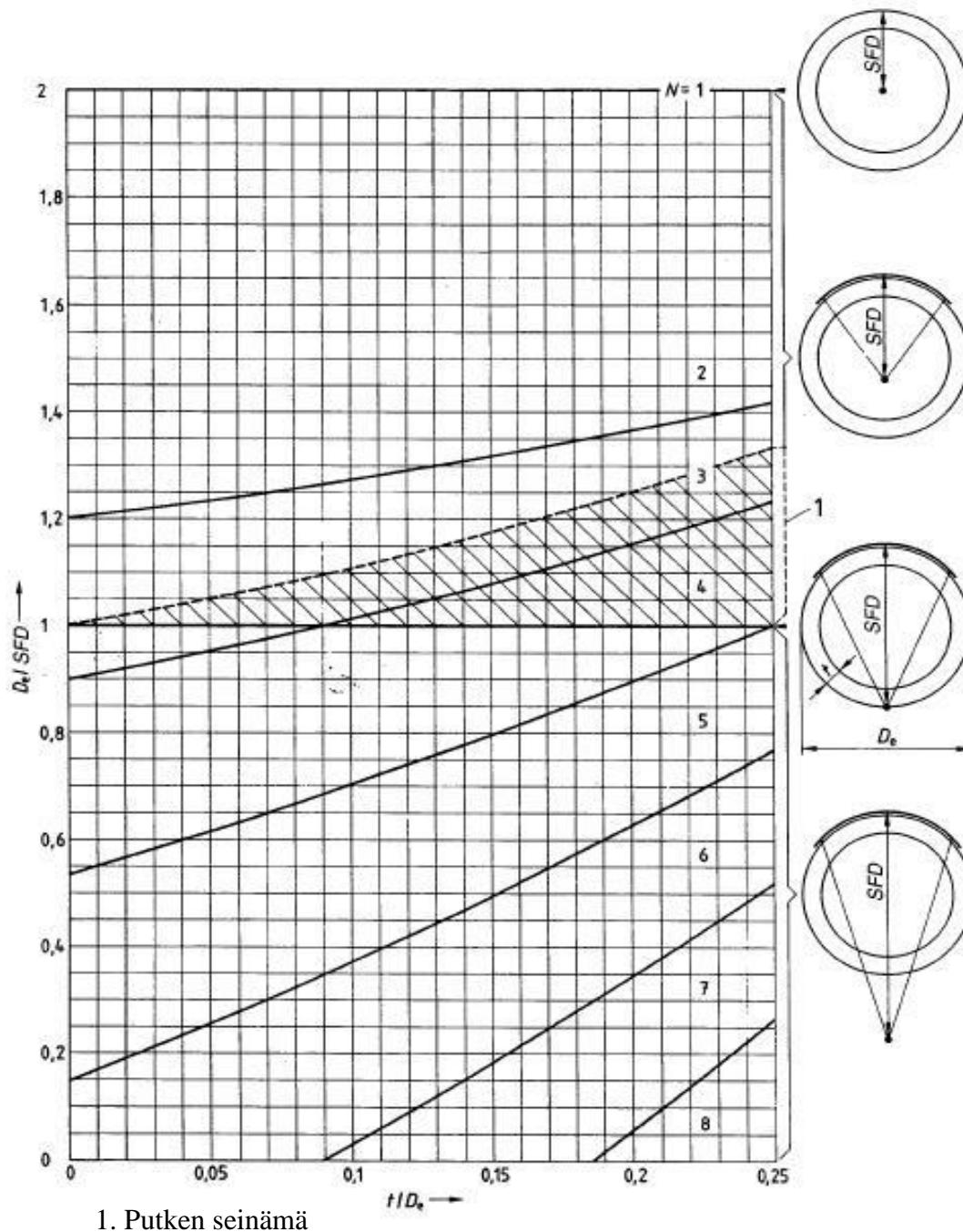
KUVIO 4. Vähimmäiskuvamäärä putken päittäishitsille. Kuvausluokka B (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).



Nimellispaksuus t / putken ulkohalkaisija D_e

Pienin kuvamäärä N sektorikuvauksessa putken ulkopuolelta yhden seinämän läpi, kun seinämän paksuuden muutos säteilyn suunnassa $\Delta t/t$ tarkasteltavalla alueella on 20%. Suhteen t/D_e ja D_e/f funktiona.

KUVIO 5. Vähimmäisfilmimäärä putken päittäishitsille. Kuvasluokka A (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).



1. Putken seinämä

Nimellispaksuus t / putken ulkohalkaisija D_e

Pienin kuvamäärä N sektorikuvauksessa putken ulkopuolelta yhden seinämän läpi, kun seinämän paksuuden muutos säteilyn suunnassa $\Delta t/t$ tarkasteltavalla alueella on 20%. Suhteiden t/D_e ja D_e/f funktiona.

KUVIO 6. Vähimmäiskuvamäärä putken päittäishitsille. Kuvausluokka A (SFS-EN ISO 17636-1, 2013).

4.4.15 Virheiden tunnukset

Röntgenkuvista havaittavilla virheillä on omat tunnukset mitkä lisätään pöytäkirjaan tarkastuksen jälkeen.

Pintavirheet

100	Halkeama
104	Kraatterihalkeama
2014	Pintahuokonen
2025	Avoin Imuontelo
401	Liitosvirhe
4021	Vajaa hitsautumissyvyys juuressa
5011/ 5012	Jatkuva/ katkonainen reunahaava
5013	Juurenpuoleinen reunahaava
502	Korkea kupu
504	Korkea juurikupu
505	Jyrkkä liittyminen
506	Valuma
509	Vajaa kupu
510	Läpivalunut hitsi
515	Vajaa juuri
516	Huokoisuus juuressa
517	Uudelleenaloitusvirhe
601	Sytytysjälki
602	Roiskeet

Sisäiset virheet

100	Halkeama
2011/2012	Huokonen/ Tasainen huokoisuus
2013	Huokosryhmät
2014	Huokosjono
2015/2016	Pitkänomainen huokonen/ Madonreikähuokonen
202	Kutistumisontelo
2024	Imuontelo
300	Sulkeuma
301	Kuonasulkeuma

302	Juoksutesulkeuma
303	Oksidisolkeuma
304	Metallisolkeuma
3042	Kuparisulkeuma
401	Liitosvirhe
402	Vajaa hitsautumissyvyys
507	Sovitusvirhe

(SFS-EN ISO 6520-1, 1999)

4.5 Ultraäänitarkastus (UT)

Ultraäänitarkastuksessa vikoja ja virheitä haetaan hitseistä ja kappaleista käyttämällä luotaimia mitkä lähettävät korkeataajuuksista 1- 25 MHz ääntä. Luotaimen avulla lähetetään kappaleeseen äänipulsseja millä pystytään havaitsemaan mahdolliset viat. Mahdolliset virheet pystytään havaitsemaan ultraäänilaitteen näytöllä, missä ensimmäisenä näkyy ensimmäisenä lähtökaiu ja jos kappaleesta mahdollisesti löytyy vikaa, niin indikaatio näkyy näytöllä piikkinä. Tästä kaiusta pystytään laskemaan vian koon ja sijainnin kappaleessa. Jos tarkastettava kappale tai alue on virheetön, niin näytölle ei pitäisi ilmestyä muuta kuin pohjakaiu. Vikakaiun pystytään helpommin huomata käyttämällä luotain kohtaisia kalibroituja DAG-käyrää mikä kertoo mahdollisen vikakaiun antaman kerrannaiskaiun voimakkuuden. Ultraäänitarkastukseen tarvitaan itse ultraäänilaitteisto mikä sisältää luotaimet, kaapelit, ultraäänilaitteen ja kytkentäaineen mikä poistaa ilmaraon kappaleen ja luotaimen välistä mikä parantaa ääniaaltojen paremman tunkeutumisen kappaleeseen. Aine on yleensä joko liisteriä tai geeliä mikä levitetään tarkastettavan kohteen päälle tai sivuun. Luotaimia on erilaisia eri tarkastuksiin, kuten esimerkiksi hitsejä tarkastetaan yleensä kulmaluotaimien avulla mikä lähettää äänipulssin hitsaukseen. (Hitsauksen materiaalioppi, 2014).

Tämän luotauksen avulla pystytään löytämään mahdolliset halkeamat, liitosviat, ontelot, juurihitsiviit ja suuremmat huokokset tai huokosryhmät. Tarkastus suoritetaan liikuttamalla luotainta edestakaisin kohti hitsiä ja takaisin mikä mahdollistaa äänikaiun kulkemisen perusaineen pohjapinnan kautta hitsiin. Ultraäänitarkastuksella voi myös tehdä suorakaikutarkastuksia perusaineeseen tai suoraan hitsin päältä tai pienahitsauksien alta. Tällä menetelmällä voidaan tarkastaa mahdolliset virheet mitä on voinut tulla jo

perusaineen valmistuksessa kuten esimerkiksi laminaatioviat. Suoraluotaimella pystytään myös mittaamaan ainevahvuuksia (Hitsauksen materiaalioppi, 4.painos).

Käytettävien luotaimien tulee olla tarkastettu ohjeen mukaisesti ja kalibroinnin täytyy olla voimassa, muutoin suoritetaan niille kyseisen ohjeen mukainen kalibrointi huomioiden käytettävän standardin vaatimukset päivittäiselle ja joka viikolle tapahtuvan laitekokonaisuuden tarkistukselle (SFS-EN ISO 17640, 2011).

4.5.1 Taajuudet

Ultraäänitarkastuksessa käytetään yleensä taajuuksia 0,5...15 MHz mutta metallien tarkastuksessa käytetään yleensä 2...5 MHz. Ääni etenee kullekin väliaineelle ominaisella vakionopeudella. Nopeuden määräävät väliaineen materiaalitekijät, kuten tiheys, kimmo- ja liukumoduuli ja Poissonin luku. Taajuuden muuttuessa muuttuu aallonpituus.

- 2 ... 5 MHz Normaaliluotain (yksi tai kaksikiteinen).
- 2 ... 5 MHz poikittaisaalto luotain 35°...80° suuntakulmilla.

Taajuus valitaan annettujen hyväksymisrajojen mukaan.

4.5.2 Kalibrointi

Käytettäessä poikittaisaaltoa ja hyppästekniikkaa ei hyppäyspinnan tulokulma saa olla alle 35° eikä mielellään yli 70°. Käytettäessä useampia kulmia on ainakin yhden luotaimen täytettävä tämä ehto. Yhden käytettävän luotaimen on oltava sellainen, että se kohtaa hitsin liitospinnan mahdollisimman kohtisuorasti. Käytettäessä kahta kulmaa on kulmien välisen eron oltava vähintään 10°.

Ensimmäinen luotaus tehdään mahdollisimman alhaisella taajuudella edellä mainitulla taajuusalueella. Korkeampia taajuuksia voidaan käyttää parantamaan erotuskykyä ja arvioidessa virheitä niiden tyyppin mukaan.

Noin 1 MHz taajuuksia voidaan käyttää tarkastettaessa pitkillä ääniteillä materiaaleja, joiden vaimenus on keskimääräistä suurempi.

Luotauspinnan ja luotaimen pohjan välinen rako ei saa ylittää 0.5 mm. Kaarevien lieriö- ja pallopintojen luotauksessa tämä ehto täyttyy, kun

$$g = a * 2/D$$

D = tarkastuskohteen halkaisija millimetreinä

a = luotaimen pituus luotaussuunnassa

Jos kaavasta saatu arvo g:lle on suurempi kuin 0,5 mm, on luotain hiottava luotauspinnan mukaiseksi ja vahvistus ja etäisyysasteikko on säädettävä vastaavaksi.

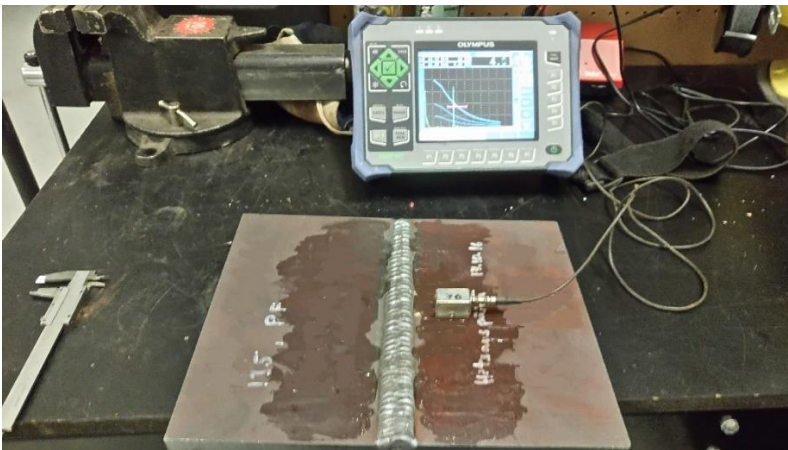
Luotaimien ja kaapeleiden kuntoa on seurattava, ja jos epäillään niiden toimivuutta, on ne tarkastettava. Liitosten on oltava ehyitä ja niiden on lukkiuduttava asianmukaisesti. Luotaimen ja laitteen välillä käytetään yhteensopivaa kaapelia, jonka pituus on 2 m. Kaapeli on tarkastettava silmämääräisesti ennen tarkastuksen suorittamista; kaapelin eheys, liitokset ja pistokepäiden sisäpuoli. Viallisia kaapeleita ei saa käyttää tarkastuksessa, vaan ne on toimitettava huoltoon.

4.5.3 Etäisyysasteikon säätäminen

Etäisyysasteikko on valittava siten, että se kattaa koko tarkastettavan tilavuuden, asteikon on oltava myös luettavissa. Kulmaluotausta varten etäisyysasteikko säädetään tarkastuskappale V2:n avulla. Pitkillä ääniteillä etäisyysasteikko säädetään V1:n avulla. Asteikon säätäminen suoritetaan kahden vertailukaikun avulla, joiden välinen etäisyys tunnetaan. Vertailukaikujen välisen etäisyyden tulee olla riittävä asteikon säätämiseen.

4.5.4 Vahvistuksen säätäminen

Laite säädetään vastaavalle materiaalille sekä paksuudelle kuin tarkastettava kohde käyttämällä vertailukappaletta. Kulmaluotausta varten herkkyys säädetään ottamalla kaikki erisyyksillä olevista 3 mm sylinteriheijastajista. Ensimmäinen kaiku asetetaan noin 80 % korkeuteen kuvaruudusta ja sen jälkeen erisyytydellä olevista sylinteriporauksista otetaan kaiut ja niiden huippujen kautta muodostuu DAC-käyrä, joka on vertailukäyrä kulmaluotausta varten (KUVA.4) (SFS-EN ISO 17640, 2011).



KUVA 4. Hitsauskokeen ultraäänitarkastus

Normaaliluotauksessa herkkyys säädetään asettamalla vertailuheijastajasta saatava kaiku 80 % näytön korkeudesta. DAC-käyrä on tällöin suora viiva, joka kattaa tarkastettavan alueen. Vahvistuksen säätämiseksi suoritetaan siirtymäkorjauksen mittaaminen vertailukappaleen ja tarkastettavan kohteen välillä, ± 2 dB korjausta ei tarvita. Jos poikkeama on suurempi 2 dB, mutta alle 12 dB; korjataan ero perusvahvistukseen. Jos ero on suurempi kuin 12 dB, on selvitettävä sen syy (SFS-EN ISO 17640, 2011).

4.5.5 Säättöjen tarkastaminen

Ultraäänilaitteen säädöt on tarkastettava:

- tarkastusjakson alkaessa
- neljän tunnin välein tarkastuksen kestäessä
- vaihdettaessa luotain, kaapeli, kytkentäaine tai jokin laitteiston osa.
- tarkastajan vaihtuessa
- Aina kun epäillään säädön muuttuneen
- tarkastusjakson loppuessa.

4.5.6 Säättöjen korjaukset

TAULUKKO 8. Ultraäänitarkastuksessa havaittaessa poikkeamia säädöissä toimitaan seuraavasti:

Vahvistus		
1	Poikkeama ≤ 4 dB	Korjataan vahvistuksen arvo oikeaksi ennen tarkastuksen jatkamista.
2	Vahvistus pienentynyt yli 4 dB.	Korjataan arvo oikeaksi ja uusitaan kaikki tarkastukset, jotka on suoritettu edellisen tarkistuksen jälkeen.
3	Vahvistus suurentunut yli 4 dB	Korjataan arvo oikeaksi ja tarkastetaan uudelleen kaikki kirjatut heijastajat.
Etäisyysasteikko		
1	Virheet = 2 % asteikosta	Korjataan asteikko ennen tarkastuksen jatkamista.
2	Virheet > 2 % asteikosta.	Korjataan asteikko ja uusitaan kaikki tarkastukset, jotka on tehty edellisen tarkistuksen jälkeen.

4.5.7 Luotauspintojen valmistelu

Tarkastettavien pintojen tulee olla puhtaita vieraista aineista, jotka voivat vaikuttaa menetelmän herkkyyteen. Hitsausroiskeet, hilse, ruoste jne. kaavitaan tai hiotaan pois. Kuitenkaan pinnan puhdistus ja esivalmistelu eivät saa vahingoittaa tarkastettavaa pintaa eikä vaikuttaa epäedullisesti testaustulokseen. Tarkastettavan kohteen lämpötilan tulee olla + 0 °C ... +60 °C. Jos lämpötila on suurempi, on käytettävä erityisjärjestelyjä, kuten kuumankestäviä luotaimia. Jos lämpötila on pienempi, on kytkentäaineen oltava tähän lämpötilaan sopivaa, jotta se ei jäädy tai sen ominaisuudet muuten muutu olennaisesti (SFS-EN ISO 17640, 2011).

4.5.8 Tarkastustaso

Tarkastustaso valitaan seuraavan taulukon mukaan:

TAULUKKO 9. Tarkastustaso Hitsiluokka (SFS-EN ISO 5817)

A	C
B	B
C	Sovittaessa
D	Erikoissovellukset

Tarkastustilavuuteen kuuluu hitsi ja perusaine 10 mm hitsin molemmin puolin. Tarkastuksen on aina katettava koko tarkastustilavuuden. Jos hitsin jotain osaa ei voida luodata, sovitaan täydentävistä ulträänitekniikoista tai tarkastusmenetelmistä osapuolten kesken. Joissain tapauksissa joudutaan hitsin kupu poistamaan. Sisäiset, kohtisuorassa pintaan nähden olevat tasomaiset virheet ovat vaikeasti löydettävissä yhdellä kulmaluotauksella. Tällaisia virheitä varten ja varsinkin paksuilla aineilla on harvittava muiden tarkastustekniikoiden, kuten tandemluotauksen käyttöä. Käytöstä on sovittava osapuolten kesken erikseen (SFS-EN ISO 17640, 2011).

Kaikki arviointirajan ylittävät kaiut luokitellaan muoto- tai vikakaikuihin. Vikakaiuista mitataan suurin kaiun korkeus. Löydettyessä virhe on siitä suoritettava vähintään yksi lisäluotaus toisella luotainkulmalla virheen koon määrittämiseksi. Virheen pituus saadaan mittaamalla suurin etäisyys niiden pisteiden välillä, joissa kaiun korkeus on arviointirajan yläpuolella.

Lopullinen arviointi perustuu kaiun korkeuteen ja pituuteen, jotka on mitattu suurimman kaiun antavalla luotainkulmalla. Pituussuunnassa olevat virheet lasketaan yhteen, jos niiden välinen etäisyys on pienempi kuin kaksi kertaa pidemmän virheen pituus. Yhteenlaskettua virhettä käytetään arvioidessa virheiden hyväksyttävyyttä.

Pituussuunnassa yhteenlaskettavien virheiden on täytettävä seuraavat ehdot:

$$dy \leq 0,5 \times t \text{ mm mutta korkeintaan } 10 \text{ mm}$$

$$dz \leq 0,5 \times t \text{ mm mutta korkeintaan } 10 \text{ mm}$$

dy = poikkeama hitsin leveys suunnassa

dz = poikkeama hitsin syvyys suunnassa

Yhteenlaskettavia vikoja ei saa käyttää yhdistämiseen muiden vikojen kanssa. Yhdistämisen jälkeen kaikkien poikkileikkauksessa samalla kohtaa syvyysuunnassa (dz) olevien vikojen on oltava kauempana kuin $0,5 \times t$ tai 10 mm (pienempi arvoista). Kaikkien poikkileikkauksessa samassa kohtaa leveysuunnassa (dy) olevien kirjattujen vikojen on oltava kauempana kuin $0,5 \times t$ tai 10 mm (pienempi arvoista). Samalla kohtaa lähempänä toisiaan olevat virheet eivät ole sallittuja. Millä tahansa hitsin pituudella $6 \times t$ on suurin sallittu yhteenlaskettu kirjattavien virheiden pituus 20 % tästä pituudesta hyväksymisrajalla 2 ja 30 % hyväksymisrajalla 3 (SFS-EN ISO 17640, 2011).

4.5.9 Hyväksymisrajat

Hyväksymisraja yhdistetään tarkastustasoihin seuraavasti:

- Hyväksymisraja 2 vaatii normaalisti vähintään tarkastustason B.
- Hyväksymisraja 3 vähintään tarkastustason A.

TAULUKKO 10. Ultraäänitarkastuksen hyväksymisraja 2

Aineen paksuus (t)	Virheen pituus (L)	Kaiun korkeus (dB)
8 mm < t < 15 mm	$L \leq t$	-4
	$L > t$	-10

15mm < t < 100 mm	$L \leq 0,5t$	0
	$0,5t < L \leq t$	-6
	$L > t$	-6

TAULUKKO 11. Ultraäänitarkastuksen hyväksymisraja 3

Aineen paksuus (t)	Virheen pituus (L)	Kaiun korkeus (dB)
8 mm < t < 15 mm	$L \leq t$	0
	$L > t$	-6
15mm < t < 100 mm 15 mm < t < 100 mm	$L \leq 0,5t$	+4
15mm < t < 100 mm 15 mm < t < 100 mm	$L \leq 0,5t$	+4

Hyväksymisrajat tekniikoille 1 (sylinteriheijastaja 3 mm) ja / tai 3 (suorakulmainen ura 1 mm, ainepaksuusalue 8-15 mm).

- vertailutaso 0 dB
- raportointiraja t=8-15 mm hyväksymisraja 2, - 8 dB kun $L \leq t$, -14 dB kun $L > t$ (kirjataan)
- raportointiraja t=15-100 mm hyväksymisraja 2 - 4 dB kun $L \leq 0,5t$, -14 dB kun $L > t$ (kirjataan)
- raportointiraja t=8-15 mm hyväksymisraja 3, - 4 dB kun $L \leq t$, -10 dB kun $L > t$ (kirjataan)
raportointiraja t=15-100 mm hyväksymisraja 3, - 0 dB kun $L \leq 0,5t$, -6 dB kun $0,5t < L \leq t$,
-10 dB kun $L > t$ (kirjataan)
- arviointiraja - 14 dB

5 DT- TARKASTUKSET

5.1 Taivutuskokeet

Hitsien ja perusaineen kestävyyttä voidaan testata taivutuskokeiden avulla. Hitsauskokeille mille suoritetaan radiografisen tarkastus niin niille lisäksi myös taivutus- tai murtokoe, jos esimerkiksi hitsaus on suoritettu MAG-täytelankahitsauksella (138), MAG-umpilankahitsauksella (135), MIG-umpilankahitsauksella (131) tai Happi-asetyleenihitsauksella (311). Taivutuskokeella pystytään arviomaan muutosvyöhykkeen tapahtuneet muutokset ja sen kestävyys. Tällä tarkastusmenetelmällä pystytään myös todentamaan, että hitsi on kunnolla sulanut ja että, hitsaukseen on käytetty sopivaa lisäainetta (SFS-EN ISO 9060-1, 2013).

5.2 Taivutettavien koekappaleiden valmistelu

Ennen kuin aloitetaan kappaleiden taivuttaminen niin, on suositeltavaa että, taivutettava kappale ensin hiotaan juuren ja pinnan puolelta kuvut pinnalle esimerkiksi kulmahiomakoneella. (KUVA.5) Hionta suoritetaan ensinnäkin sen vuoksi, että hitsin kuvussa voi olla esimerkiksi jyrkkä liittymä reunassa mikä voi aiheuttaa hitsin ennenaikaisen repeämisen taivuttaessa. Toiseksi pinnalle hiottu pinta on helpompi taivuttaa ja kappale taivuu varmemmin itse hitsin kohdalta, eikä sivusta.



KUVA 5. Kulmahiomakoneella hiottu hitsin kupu pinnalle

Hitsauskoosteesta sahataan neljä koesauvakappaletta ja taivutuskoemenetelmä määräytyy ainepaksuuden t perusteella. Jos hitsaus- tai menetelmäkoe on hitsattu esimerkiksi vain juuren puolelta 131, 135, 136 tai 311 niin kappale taivutetaan vain juuren puolelta. Taivutuskokeet suoritetaan standardin ISO 5173 mukaisesti (SFS-EN ISO 9060-1, 2013).

Taivutettavien kappaleiden koot:

Levykoe: $4 \times$ levyn ainevahvuus (t), mutta jos levyn paksuus on alle 12mm, niin toinen pari taivutetaan juuren puolelta ja toinen pari pinnan puolelta, mutta jos materiaalivahvuus ylittää 12mm niin kaikki neljä koesauvaa taivutetaan sivuttain. (KUVA.6)

Putkikoe: Putket joiden halkaisija (d) on alle 50mm, $t + 0,1 \text{ mm} \times d$. Kuitenkin minimissään 8mm. Putket joiden halkaisija (d) on yli 50mm, $t + 0,5 \times d$. Minimissään 8mm, mutta ei yli 40mm (KUVA.8) (SFS-EN ISO 15614-1 + A1 + A2, 2008).



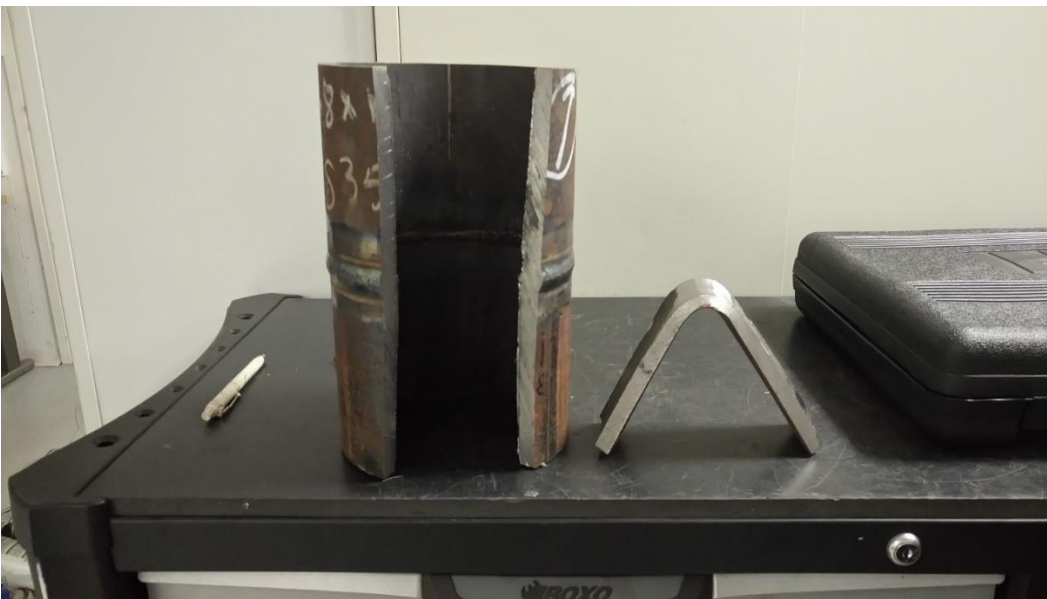
KUVA 6. Hydrauliprässi ja koekappaleiden taivutuspenkki

Taivutin telan halkaisija $4 \times t$, tukitelat kaavasta d (telan halkaisija) $+ 2 \text{ mm} \times t$ (kappaleen ainevahvuus) $+ 3 \text{ mm} < l < d + 3 \text{ mm} \times t$. Eli tukitelojen tulee olla niin etäällä, että kappale mahtuu taipumaan. Koekappaleen taivutuskulma on 180° astetta. (KUVA.7).



KUVA 7. Taivutetut hitsauksen juuri- ja pintakoekappaleet

Putkesta otetaan kaksi juurimurtokokeeseen ja kaksi pintamurtokokeeseen ja nämä joko taivutetaan poikittain tai sivuttain. Levykoikeesta sahataan myös neljä yhtä leveää koesauvaa mille suoritetaan murto-koheet joko poikittain tai sivuttain ja kappaleet murretaan, jotta pystytään toteamaan hitsauksen tarvittavan tunkeuman ja kestävyuden (KUVA.8) (SFS-EN ISO 9017, 2013).



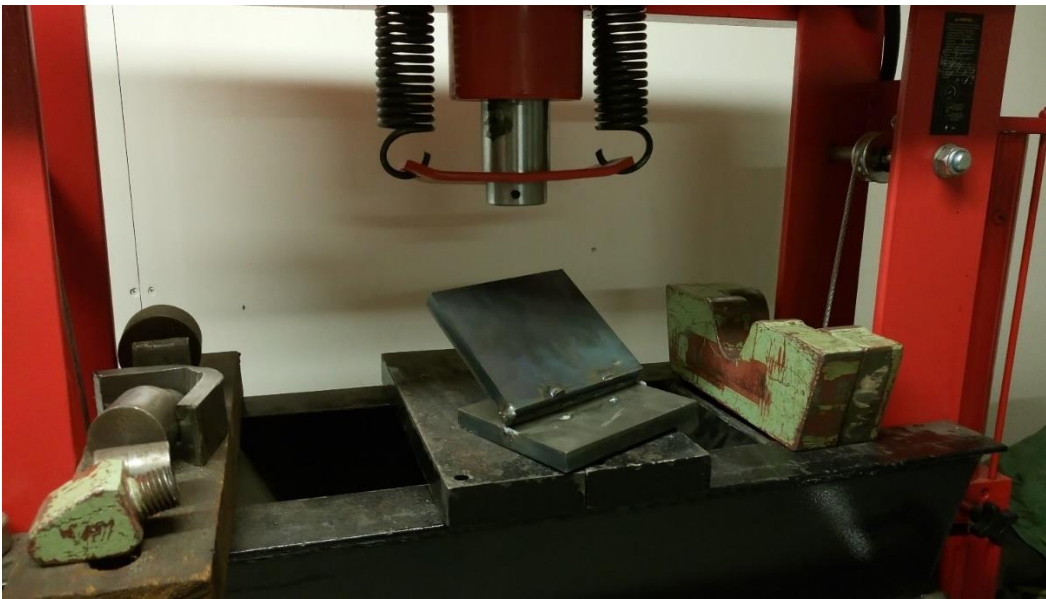
KUVA 8. Putkikokeen taivutus

5.3 Hylätty taivutuskoe

Taivutuskoe hylätään, jos hitsissä tai perusaineessa huomataan 3mm tai suurempi avonainen vika taivutuksen jälkeen. Koekappaleen nurkissa olevia säröjä ei tarvitse ottaa huomioon arvostelussa (SFS-EN ISO 15614-1 + A1 + A2, 2008).

5.4 Murtokokeet

Hitsaus- ja menetelmäkokeille usein suoritetaan useampia tarkastuksia, jotta hitsaajana ja hitsauksen laatu voidaan varmasti todeta. Murtokokeita suoritetaan yleisimmin pianahitseilla, (KUVA.9) mutta murtokokeita myös suoritetaan putkien päittäishitseille mistä sahataan neljä koesauvaa. Kun murtokoe suoritetaan, koesauvojen hitseihin tehdään pituussuunnassa lovet, jotta ne pystytään murtamaan ja pystytään tarkastelemaan, että onko hitsi sulanut ja tunkeutunut oikein kappaleeseen. Kaikki lovimuodot standardin SFS-EN ISO 9017 mukaan ovat sallittuja (SFS-EN ISO 9017, 2013).



KUVA 9. Pianahitsin murtokoe

6 HITSAUSVIRHEET JA VIAT

Hitsauksia tehdessä hitsiin voi syntyä tekohetkellä virheitä, jotka voivat olla vaarallisia esimerkiksi jonkin kokonaisen rakenteen kestävyuden kannalta tai paineistetussa putkessa tai laitteessa hitsaus pettää ja saattaa aiheuttaa vaaratilanteen. Hitsausvirheitä on monenlaisia ja eri hitsausmenetelmillä on myös erilaisia virheitä. Virheitä pystytään ennaltaehkäisemään, juurikin menetelmä- ja hitsauskokeilla jotka sitten tarkastetaan sopivalla ndt- tai dt- menetelmällä. Hitsauksen tekemisessä täytyy huomioida esimerkiksi suojakaasu ja sen syöttö, juurikaasu, lisäaine hitsille, hitsatessa liian vähän tai liian paljon virtaa, hitsausolosuhteet, hitsattava materiaali, esityöt ennen hitsaamista, kuten valmistettujen kappaleiden esiliittäminen silloittamalla. Monta asiaa on otettava huomioon ennen hitsausta, hitsauksen aikana ja sen jälkeen, jotta välttyttäisiin näiltä virheiltä.

6.1 Hitsausvirheet

Pääasiassa hitsaajan kuuluu seurata WPS:n mukaisia ohjeita joilla kappaleet hitsataan ja tämän tietopaketin laatii suunnittelija. Joskus voi tietenkin tapahtua suunnittelijallekin virhe pWPS:n tai WPS:n laadinnassa, esimerkiksi on voitu antaa koe WPS:ään väärä railomuoto, hitsausvirta, hitsauslisäaine tai väärä hitsausjärjestys. (Lehtonen, 1983).

6.1.1 Hitsin sisäiset virheet

Kappaleita liittäessä on tärkeää muistaa silloituksen välin suuruus ja että millä menetelmällä se hitsataan, jotta se saisi mahdollisimman suuren kestävyuden. Kappaleiden suuremmissa silloituksissa ei esimerkiksi kannata käyttää levittämistä vaan suositeltavaa olisi käyttää monipalkko hitsaamista. Hitsaukseen voi tällöin tulla hitsin sisäisiä virheitä mitkä sitten voi rasituksen alaisina murtua ja aiheuttaa vaaratilanteen. Esimerkiksi X-railo hitsissä voi hitsin tunkeuma olla vajaa jolloin kappaleiden reunat jäävät sulamatta ja tämän takia ei saada tarvittavaa lujuuksia hitsille. Toinen hitsauksen tunkeumaan liittyvä virhe voi olla esimerkiksi se, että hitsi ja perusaine eivät ole sulanut ja siitä seuraa kylmä liitos eli liitosvika. Vika voi ilmetä pinnalla tai hitsi ja sisällä (Lehtonen, 1983).

6.1.2 Hitsin ulkoiset Virheet

Hitsin ulkoisia virheitä paljon helpompi havaita silmin jo valmistusvaiheessa. Hitsauskokeen tai menetelmäkokeen valvoja voi jo koetilanteessa hylätä kokeen pelkästään ulkoisien virheiden takia (SFS-EN ISO 9060-1, 2013).

6.1.3 Tunkeuma

Puikolla hitsatessa virheitä voi sattua, jos hitsaaja on valinnut liian suuren puikon railon hitsaukseen. Tämä voi myös aiheuttaa huonon tunkeuman railoon ja tässä tapauksessa voi esimerkiksi juuri jäädä sulamatta. Hitsatessa hitsaajan täytyy myös huomioida puikon tai pistoolin kallistuskulma ja kuljetusnopeus mitkä voi myös aiheuttaa virheitä. Väärässä kulmassa ajettu hitsi tai liian pienillä virroilla voi aiheuttaa vajaan tunkeuman esimerkiksi X- railoa hitsatessa, jos hitsipalot eivät osu kohdalle railossa eli väistävät toisiaan niin tämä voi aiheuttaa kylmän liitoksen eli hitsi ja perusaine eivät ole sulaneet tarpeeksi. Hitsin ja perusaineen sulamisen kannalta pitää myös hitsauslaitteessa olla virrat säädettyinä oikein, jotta saadaan tarvittava tunkeuma (Lehtonen, 1983).

7 RAPORTOINTI

Tarkastuksien ja testauksien jälkeen kappaleista tehdään standardin mukaiset raportoinnit ja raportit tehdään Nondest Oy:n omille tarkastusraporttipohjille, mitkä asiakas saa tarkastuksien jälkeen itselleen ja tarkastuslaitokselle jää kopio. Hitsauskokeista täytyy aina saada tarkastuslaitokselta virallinen allekirjoitettu raportti kokeiden onnistumisesta, jotta hitsaajan luvat voidaan uusida tai myöntää ja hitsaaja saa tehdä töitä luvan kanssa. Menetelmäkokeista tehdään myös raportoinnit ainetta rikkomattomista ja rikkovista tarkastuksista, jotta asiakas voi tehdä halutessaan WPS:n mikä on pWPS:llä tehty menetelmäkoe. Raportoidessa ihan millä vaan menetelmällä, olisi hyvä tulla ilmi seuraavat asiat.

7.1 Raportin tiedot

Kaikkiin tarkastusraportteihin laitettavat yleiset tiedot

- Raportin numerotunnus
- Tarkastuslaitoksen nimi
- Tarkastus- ja raportointipäivämäärä
- Tarkastettava kohde, tiedot, hitsaajan tiedot, tunnuksot
- Perusainemateriaali, paksuus, seosaineet
- putkenhalkaisija, levyn koko
- Hitsausmenetelmä(t)
- Hitsauslisäaine
- Tarkastuslämpötila
- pWPS tai WPS- numero
- Hitsausasento
- Tarkastajan nimi, Henkilökohtainen tarkastustunnus, leima ja allekirjoitus
- Hyväksytty tai hylätty merkintä

7.2 Radiografiassa tarvittavat tiedot

Radiografisen kuvauksen tarkastusraporttiin laitettavat tiedot yleisien tietojen lisäksi.

- Filmi tunnus, indikaattori, sektoritunnukset
- Filmiluokka
- Kuvauksessa käytetty filmi
- Kuvausetäisyys, valotusaika, kilovoltti määrä
- Kuvausjärjestely, tarvittavan indikaattorin langan erotuskyky
- Käytetyt röntgenlaitteet ja välineet

7.3 Tunkeumanestetarkastuksessa tarvittavat tiedot

Tunkeumanestetarkastus raporttiin laitettavat tiedot yleisien tietojen lisäksi.

- Tarkastukseen käytetyt tarkastusaineet (Tunkeumanesteet, Kehitteet, puhdistusaineet)
- Tarkastusaineiden Patch-number, valmistenumero
- Tunkeumanesteen ja kehitteen vaikutusaika
- Valokuva tarkastetusta kohteesta mikä voi olla liitteenä raportissa

7.4 Magneettijauhetarkastuksessa tarvittavat tiedot

Magneettijauhetarkastus raporttiin laitettavat tiedot yleisien tietojen lisäksi.

- Käytetty magnetointimenetelmä
- Laitteisto, kalibroitu magnetointi Ies
- Käytetyt tarkastusaineet (kontrastiväri, magnetointijauheaine, puhdistusaineet)
- Tarkastusaineiden Patch-number, valmistenumero
- Magnetointisuunnat
- Valokuva tarkastetusta kohteesta mikä voi olla liitteenä raportissa

Murtokokeille, taivutuskokeille ja visuaaliselle tarkastukselle tehtävä pöytäkirjapohja on varmaankin näistä kaikista menetelmistä yksinkertaisin, mutta niissäkin täytyy olla tarvittavat tiedot kappaleista ja menetelmän suorituksesta. Murto- ja taivutuskokeiden pöytäkirjoissa täytyy tulla ilmi millä puristimella ja taivutusraudalla kappaleet on murrettu tai taivutettu ja mitä esivalmisteluita kappaleille tehtiin ennen murtoa tai taivutusta.

8 YHTEENVETO

Itselle tämä työ oli luonteva ja kiinnostava tehdä, koska itsellä on jo usean vuoden kokemus alalta ja olin jo itse hahmotellut pidemmän aikaa tätä työtä päässäni. Ajatuksena oli myös, että olisin lisännyt tarkastusmenetelmiin vetokokeet ja makrohietarkastukset, mutta ajattelin pidättäytyä tarkastusmenetelmissä mitä, pystyy jokainen ndt-tarkastaja, jolla on henkilökohtaiset sertifikaatit tarkastusmenetelmille suorittamaan. Edellä mainituille menetelmille tarvitsisi yrityksen oman akkreditoinnin, jotta niitä pystyttäisiin suorittamaan luvallisesti, mutta voi olla, että lähitulevaisuudessa tämäkin tulee eteen ja kirjoitan nämä ohjeet uudestaan. Standardit muuttuu vuosittain ja vaikka muutokset eivät aina ole suuria ja huomattavia niin siksi en tehnyt näistä ohjeista pikkutarkkoja ja että olisin lisännyt SFS-EN ISO 5817:sta mukaista vikavirhe listaa.

Kaikille tarkastusmenetelmille on erilaisia muitakin menetelmätyylejä, kuten esimerkiksi röntgenkuvauksessa käytämme paljon digitaalikuvausta, eli kuvaamme fosforifilmeille jotka ajetaan skannerin läpi tietokoneelle. Ultraäänitarkastuksessa käytetään myös vaiheistettua tarkastusmenetelmää, mutta omaa standardia sillä ei vielä ole, vaikka sitä käytetäänkin jo paljon työmailla. Näistä eri menetelmien menetelmistä voisi kirjoittaa toisen opinnäytetyön vielä tähän perään, mutta edelleen ajatuksena oli kirjoittaa yksinkertainen ohje hitsaus- ja menetelmä kokeiden tarkastamiselle.

LÄHTEET

Eiro, 1971, Kaasu- ja Kaarihitsaus, 11. painos

Hitsauksen materiaalioppi, 2014, 4.painos, Suomen Hitsausteknillinen yhdistys ry

Lehtonen, Levyseppä-hitsaajan perustietoa, 1983

Lukkari, 2002, Hitsaustekniikka perusteet ja kaarihitsaus, 4. painos

NDT- tarkastuskäsikirja, 2000, 1.painos, Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry

SFS-EN ISO 17637 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus, 2011, Suomen Standardisoimisliitto SFS

SFS-EN ISO 571-1 Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus. Osa 1: Yleisperiaatteet, 1974, Suomen standardisoimisliitto SFS

SFS-EN ISO 9060-1, 2013, Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset, Suomen Standardisoimisliitto SFS

SFS-EN ISO 9712 Rikkomaton aineen koetus. NDT- henkilöiden pätevöinti ja sertifiointi, 2012, Suomen Standardisoimisliitto SFS

SFS-EN ISO 17636-1, 2013, Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus. Osa 1: Röntgen- ja Gammakuvaus filmitekniikalla, Suomen Standardisoimisliitto SFS

SFS-EN ISO 17638, 2010, Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Magneettijauhetarkastus. Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 9017, 2013, Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille, Murtokoe, Suomen Standardisoimisliitto SFS

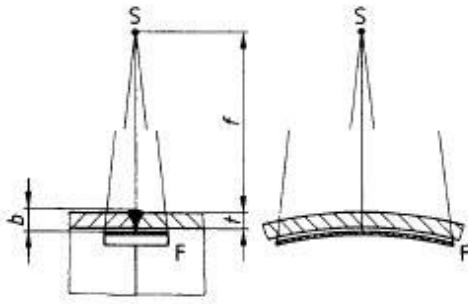
SFS-EN ISO 15614-1 + A1 + A2, 2008, Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntämenetelmäkokeella. OSA 1: Terästen kaari- ja kaasuhitsaus sekä nikkelin ja nikkelseosten kaarihitsaus, Suomen Standardisoimisliitto SFS

SFS-EN ISO 6520-1, 1999, Hitsaus- ja lähiprosessit, Geometristen hitsausvirheiden luokittelu metallisissa materiaaleissa, Osa 1: Sulahitsaus, Suomen Standardisoimisliitto SFS

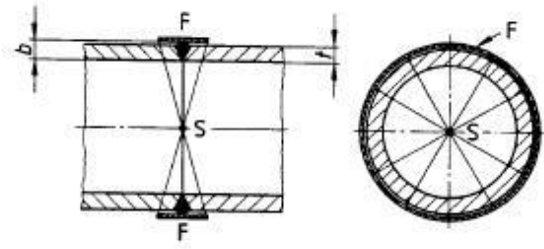
SFS-EN ISO 10675-1, 2008, Hitsien rikkoman aineenkoetus, Radiografisen kuvauksen hyväksymisrajat, Osa 1: Teräs, Nikkeli, Titaani ja niiden seokset, Suomen Standardisoimisliitto SFS

(SFS-EN ISO 17640, 2011, Hitsien rikkoman aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Tekniikat, tarkastustasot ja arviointi. Suomen Standardisoimisliitto SFS)

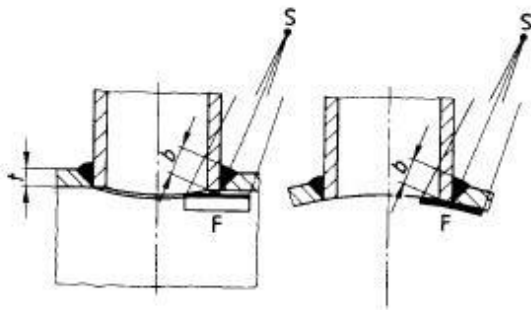
LIITE 1



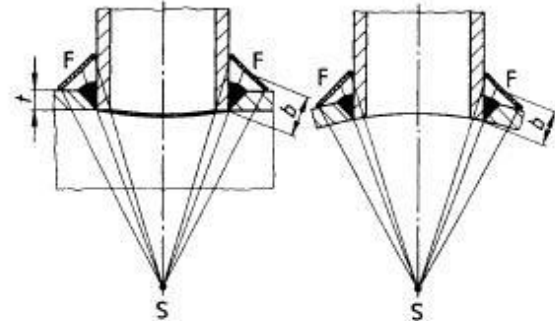
Kuvausjärjestely kaarevalle tarkastuskohteelle yhden seinämän läpi.



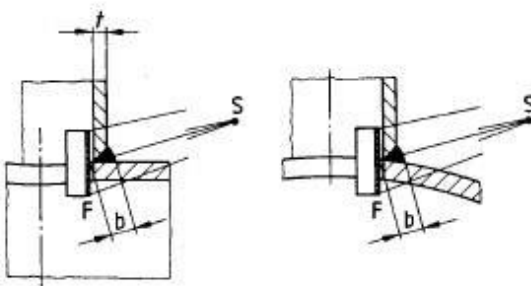
Keskeiskuvausjärjestely kaarevalle tarkastuskohteelle yhden seinämän läpi.



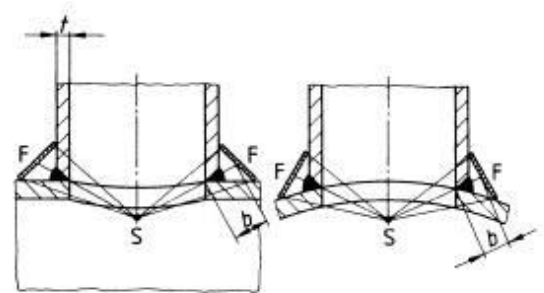
Kuvausjärjestely kaarevalle tarkastuskohteelle yhden seinämän läpi. (upotettu yhdeputki)



Kuvausjärjestely kaarevalle tarkastuskohteelle yhden seinämän läpi. (upotettu yhdeputki)

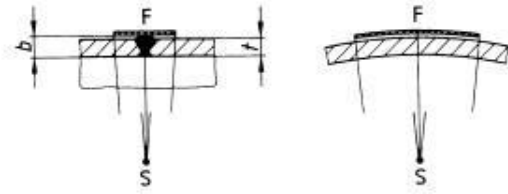


Kuvausjärjestely kaarevalle tarkastuskohteelle yhden seinämän läpi. (hitsattu yhdeputki)

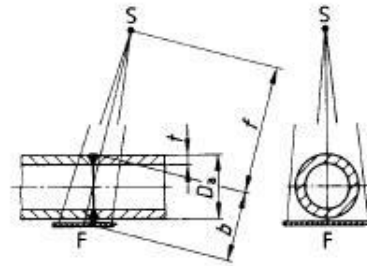


Kuvausjärjestely kaarevalle tarkastuskohteelle yhden seinämän läpi. (hitsattu yhdeputki)

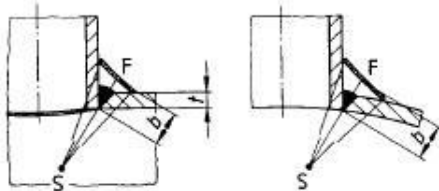
LIITE 2



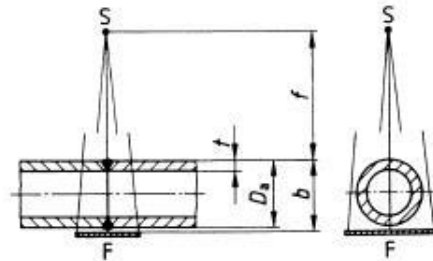
Sektorikuvaus kaarevalle tarkastuskoh-
teelle yhden seinämän läpi kappaleen si-
sältä.



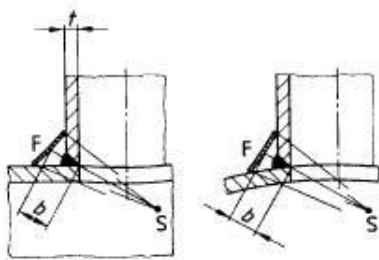
Elliptinen kuvaus kahden seinä-
män läpi



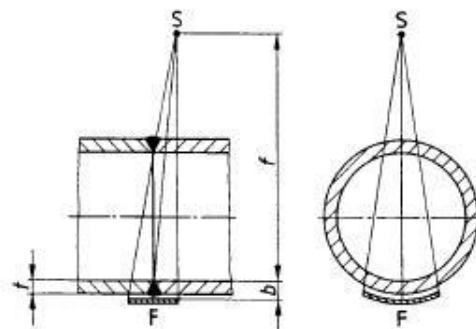
Kuvausjärjestely kaarevalle tarkastuskoh-
teelle yhden seinämän läpi. (upotettu yh-
deputki)



Kuvausjärjestely kaarevalle kappaleelle
kahden seinämän läpi, tutkittavana alueena
sekä etu- että takaseinämä. (Säteilylähde
sekä filmi tarkastuskohteen ulkopuolella)

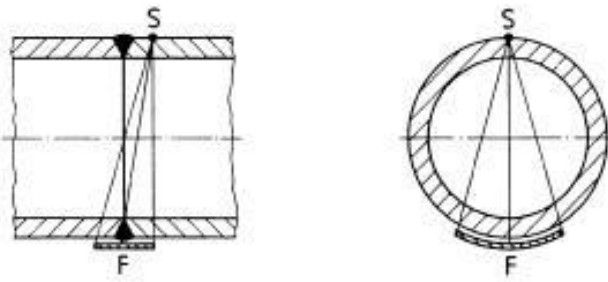


Kuvausjärjestely kaarevalle tarkastuskoh-
teelle yhden seinämän läpi. (yhdeputki pin-
nassa)

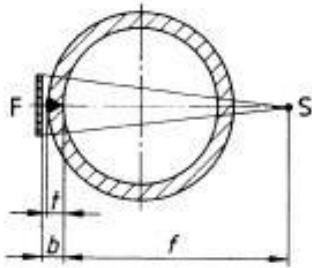


Kuvausjärjestely kaarevalle kappaleelle
kahden seinämän läpi, tutkittavana alueena
sekä etu- että takaseinämä. (Säteilylähde
sekä filmi tarkastuskohteen ulkopuolella)

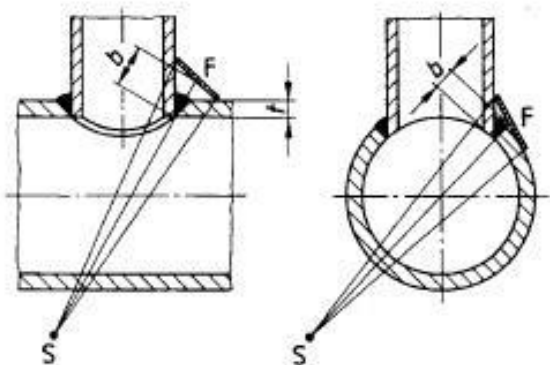
LIITE 3



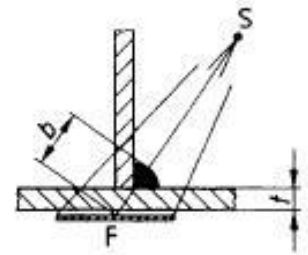
Kuvausjärjestely kaarevalle tarkastuskohteelle kahden seinämän läpi, tutkittavana filmin puoleinen seinämä. Indikaattori on sijoitettu filminpuolelle (Säteilylähde kiinni kappaleessa)



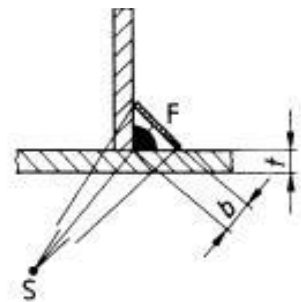
Kuvausjärjestely pitkittäiselle hitsille kahden seinämän läpi, tutkittavan alueena filminpuoleinen seinämä



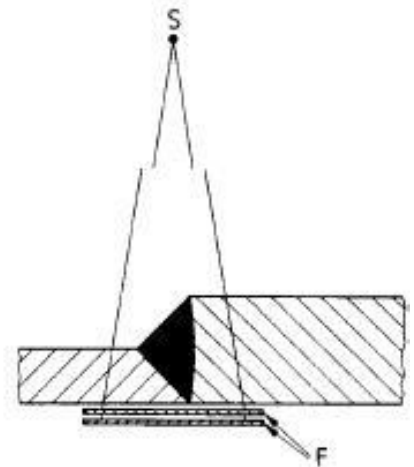
Kuvausjärjestely kaarevalle kappaleelle kahden seinämän läpi, tutkittavana alueena filminpuoleinen seinämä



Kuvausjärjestely pienahitseille



Kuvausjärjestely pienahitseille



Kuvaustekniikka ainevahvuuden muutoksessa