

# **Ainettarikkomattoman tarkastuksen (NDT) hinnoittelumalli**

**Mari Koistinen**

Opinnäytetyö

---



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Tuotantotalouden koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Mari Koistinen	
Työn nimi Ainettarikkomattoman tarkastuksen (NDT) hinnoittelumalli	
Päiväys 30.5.2012	Sivumäärä/Liitteet 51/17
Ohjaaja(t) Heikki Salkinoja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sahala Works Oy	
Tiivistelmä <p>Työn tavoitteena oli luoda toimiva ainettarikkomattoman tarkastuksen hinnoittelumalli, jolla yritys pystyisi jo tarjousvaiheessa saamaan tietoa siitä, paljonko NDT-tarkastukseen kului aikaa ja rahaa.</p> <p>Aluksi perehdyttiin EN 13445 tuotestandardiin, jonka mukaan käytiin läpi käytetyt NDT-menetelmät, NDT-menetelmän valintaperusteet, NDT-laajuuden määräytymisperusteet ja suoritusstandardi. Tämän jälkeen tuotteet ryhmiteltiin NDT-vaatimusten perusteella. Näiden tietojen perusteella alettiin luoda hinnoittelumallia. Lopulliseen hinnoittelumalliin käytettiin tilastomatematiikan 95 %, 99 % ja 99,9 % luottamusvälejä, jotta saatiin toimiva ja yksinkertainen hinnoittelumalli.</p> <p>Työn lopuksi todettiin, että kiinteä hinta on paras vaihtoehto, kun tehdään tarjousta asiakkaalle. Tärkeää on myös työn jatkuvuuden kannalta sopia etukäteen NDT-tarkastusten ajankohta.</p>	
Avainsanat NDT-tarkastus, VT, MT, PT, UT ja RT	
Liitteet salaisia	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Industrial Management			
Author(s) Mari Koistinen			
Title of Thesis A Pricing Model for Non Destructive Testing (NDT)			
Date	30.5.2012	Pages/Appendices	51/17
Supervisor(s) Heikki Salkinoja			
Client Organisation/Partners Sahala Works Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to create a functional pricing model for non destructive testing which the company could already at the tender stage use to get information about how much time and money NDT inspection would take.</p> <p>At first the EN 13445 standard was examined. Based on the standard the used NDT methods, NDT method selection criteria, the extent of NDT-operative events and the performance standard were studied. After this, the products were grouped on the basis of the requirements of NDT. Based on this data it was started to create the pricing model. In the final pricing model the confidence intervals 95 %, 99 % and 99, 9 % of statistical mathematics were used to create a functional and simple model.</p> <p>Finally, it was found that fixed price is the best option when making an offer to the customer. It's also important in terms of continuity to agree on NDT inspection times in advance.</p>			
Keywords Non Destructive Testing (NDT), VT, MT, PT, UT and RT			
Attachments are confidential			

## SISÄLTÖ

SANASTO .....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 KÄYTETYT NDT-MENETELMÄT .....	8
2.1 Visuaalinen tarkastus VT .....	8
2.2 Magneettijauhetarkastus MT .....	9
2.3 Tunkeumanestetarkastus PT.....	9
2.4 Ultraäänitarkastus UT.....	10
2.5 Radiografinen tarkastus RT.....	11
3 NDT-MENETELMÄN VALINTAPERUSTEET .....	15
4 TUOTESTANDARDIN NDT-LAAJUUDEN MÄÄRÄYTYMISPERUSTEET .....	16
5 SUORITUSSTANDARDI EN 13445 .....	24
5.1 Magneettijauhetarkastus MT .....	24
5.2 Tunkeumanestetarkastus PT.....	24
5.3 Ultraäänitarkastus UT.....	25
5.4 Radiografinen tarkastus RT.....	27
6 TUOTTEIDEN RYHMITTELY NDT-VAATIMUSTEN PERUSTEELLA .....	29
6.1 Laitetyyppi .....	29
6.2 Mitoitus .....	31
6.3 Materiaali.....	34
6.4 Lämpökäsittely .....	35
7 HISTORIATIETOJEN MALLINTAMINEN TUOTETYYPEITTÄIN .....	40
7.1 Tietojen etsiminen .....	40
7.2 Laskut osa 2 (esimerkkinä KP) .....	43
8 TULOKSET.....	44
8.1 Lopputulos.....	45
9 HINNOITTELUMALLIN LUOMINEN .....	47
10 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	48
LÄHTEET .....	49

## LIITTEET

- Liite 1 Korkeapaine-esilämmittimen laskut osa 1
- Liite 2 Korkeapaine-esilämmittimen laskut osa 2
- Liite 3 Kaikkien laitteiden lopputulokset
- Liite 4 Laskenta taulukko yritykselle

## SANASTO

Autesniittinen teräs	teräs, jonka kiderakenne huoneenlämpötilassa on austeniittia
Ferriitti	raudan allotropinen muoto, jonka hilamuoto on tilakeskinen kuutio
Hiilliteräs	seostamaton teräs
Kuumamuokkaus	metallin muokkaaminen rekristallisaatiolämpötilan yläpuolella
Kylmämuokkaus	metallin muokkaaminen rekristallisaatiolämpötilan alapuolella, tavallisesti huoneenlämpötilassa
MT	magneettijauh tarkastus
Myöstö	eli jännityksenpoistohehkutus, teräksen lämpökäsittely, jonka tavoitteena on sisäisten jännitysten poistaminen tai merkittävä vähentäminen muuttamatta olennaisesti mikrorakennetta
NDT	non destructive testing, ainettarikkoman tarkastus
Normalisointi	teräksen lämpökäsittely, johon kuuluu austenitointi ja sitä seuraava suhteellisen hidas jäähdytys, ja jolla saavutetaan keskinkertaiset lujuusominaisuudet ja saadaan poistetuksi karkea raekoko
Nuorrutus	teräksen lämpökäsittely, jonka tavoitteena on hyvä lujuus-sitkeysyhdistelmä
Perliitti	teräksen ja valuraudan mikrorakenteeseen kuuluva, ferriitin ja sementiitin muodostama faasiseos
PT	tunkeumanestetarkastus
PWHT	post weld heat treatment, lämpökäsittely hitsauksen jälkeen
RT	radiografinen tarkastus
UT	ultraäänitarkastus
VT	visuaalinen tarkastus

## 1 JOHDANTO

### Sahala Works Oy

Sahala Works Oy on lämpö- ja energiateknologiaan erikoistunut yritys, jonka juuret ulottuvat aina 1800-luvulle saakka. Yrityksen päätuotteita ovat lämmönsiirtimet sekä muut vaativat paineastiat. Yrityksen pääasiakkaita ovat ydinvoimalat, konventionaaliset voimalat ja biovoimalaitokset sekä sellu-, petrokemian- ja kemianteollisuus.

Yrityksellä on vankka kokemus paineastioiden kehityksestä ja valmistamisesta sekä energia- ja teollisuusprosessien erityisvaatimuksista. Yritys panostaa tuotteiden ja valmistusmenetelmien kehitykseen varmistukseksi, että valmistus vastaa energia- ja prosessitekniikan viimeisimpiä vaatimuksia. Palvelujen kehittäminen on myös tärkeä osa yrityksen toimintaa, tavoitteena on palvella asiakkaita joustavasti ja asiantuntevasti läpi koko tuotteen elinkaaren.

Sahala Works Oy sijaitsee Varkaudessa työllistäen 120 henkeä. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2011 noin 17 miljoonaa euroa. Liikevaihdosta yli puolet kertyy viennistä. (Sahala Works Oy.)

### Työn tavoite

Työn tavoitteena on luoda toimiva ainettarikkomattoman tarkastuksen (NDT) hinnoittelumalli Excel-ohjelmalla, jotta yritys voi saada tarkempaa tietoa käytetyistä NDT tunneista ja kustannuksista. Tarjousta tehdessä yrityksen tulisi pystyä määrittelemään NDT:n kustannukset ja käytettävät tuntimäärät. Hinnoittelumalli pyritään liittämään yrityksessä jo olemassa olevien muiden hinnoittelumallien osaksi.

## 2 KÄYTETYT NDT-MENETELMÄT

Seuraavassa esitellään tehtaalla käytössä olevat NDT-menetelmät.

### 2.1 Visuaalinen tarkastus VT

Visuaalinen tarkastus tehdään yleensä valmiille hitseille, mutta sopimusosapuolten niin sopiessa voidaan tarkastus tehdä myös hitsauksen muiden vaiheiden aikana.

Visuaalista tarkastusta tehtäessä tulee valaistusvoimakkuuden olla vähintään 350 lx, suositeltu valaistusvoimakkuus on kuitenkin 500 lx. Tarkastusetäisyys saa olla korkeintaan 600 mm tarkastettavasta pinnasta ja kulma ei saa olla pienempi kuin 30 °. Tarkastuksen ollessa epämääräinen tulisi sitä täydentää muilla ainettarikkomattomilla pintatarkastusmenetelmillä kuten magneettijauhe- tai tunkeumanestetarkastuksilla. Tarkastuslaajuus tulee määrittää etukäteen sovellusstandardissa tai sopimusosapuolten kesken.

Hitsit tulee tarkastaa ennen jälkikäsitteilyä, silloin kun fyysinen luoksepäästävyys on mahdollista. Toisinaan on tarpeellista tarkastaa myös pinnan käsittely.

Valmiin hitsin silmämääräinen tarkastus

Puhdistuksen ja viimeistelyn kannalta tarkastetaan seuraavia asioita: kaikki kuona on poistettu, työkalujen aiheuttamia painaumuksia tai hakkaumajälkiä ei esiinny, hiontajäljet ja epätasainen viimeistely on vältetty ja että sileäksi käsiteltävät piena- ja päittäishitsit yhtyvät tasaisesti perusaineeseen ilman paikallisia syvennyksiä.

Profiilin ja mittojen kannalta tarkistetaan seuraavaa: hitsin pinnan profiili ja kaikki kuvun korkeudet täyttävät hyväksymisrajastandardin vaatimukset, hitsin pinta on säännöllinen ja että hitsin leveys on yhdenmukainen koko liitoksen mitalla.

Hitsit tarkastetaan mahdollisten halkeamien, liitosvirheiden, vajaan hitsautumissyvyyden, reunahaavan ja liian suuren pinnanhuokoisuuden varalta. (ASME, IP-154, Rev.4; SFS-EN 970.)



## 2.2 Magneettijauhetarkastus MT

Magneettijauhetarkastus soveltuu ferromagneettisille hitseille ja niiden muutosvyöhykkeissä havaittaville pintavirheille. Ennen magneettijauhetarkastusta pinnat esipuhdistetaan hilseestä, paksusta tai irrallisesta maalista tai mistä tahansa muusta ylimääräisestä aineesta, joka voi vaikuttaa tarkastustulokseen. Tarvittaessa pinnanlaatua voidaan parantaa esimerkiksi hionnalla tai koneistamalla, mutta pintojen puhdistus ei saa vahingoittaa materiaalia, pinnan laatua tai huonontaa tarkastusaineen toimivuutta.

Kappaleen esivalmistelun jälkeen levitetään tarkastusaine välittömästi ennen magneetointia tai magnetoinnin aikana huuhtelemalla, ruiskuttamalla tai pölyttämällä. Tarkastusaineet voivat olla joko kuivia tai nestemäisiä. Tarkastusaineiden tulee aina olla saman valmistajan tuotteita.

Esivalmistelun jälkeen kappale magnetoidaan vaihtovirralla toimivilla magnetointilaitteilla; sähkömagneetti-iekellä, kohtiolla varustetulla virtamagnetointilaitteella tai apujohtimella tai kelalla varustetulla virtamagnetointilaitteella. Suositeltava tangentiaalinen kenttävoimakkuus on 2 – 6 kA/m. Magnetointi on tehtävä suunnilleen toisiaan kohtisuorassa suunnassa niin että voidaan havaita pitkittäiset ja poikittaiset viat. Ennen kuin magnetointivirta katkaistaan, on näyttämille annettava riittävästi aikaa muodostua.

Magnetoinnin jälkeen suoritetaan vaadittaessa demagnetointi sopimusosapuolten sopimalla tavalla. (SFS-EN 1290; ASME, IP-171, Rev.5.)

## 2.3 Tunkeumanestetarkastus PT

Tunkeumanestetarkastusta käytetään tarkastettavan materiaalin pintaan saakka avoimien epäjatkuvuuskohtien, esimerkiksi halkeamien, saumojen, poimujen, huokaisuuden ja liitosvirheiden havaitsemiseen. Tarkastusta sovelletaan pääasiassa metalleille, mutta sitä voidaan käyttää myös muille materiaaleille, edellyttäen, että ne eivät reagoi tarkastusaineiden kanssa eivätkä ole liian huokoisia. Esimerkkejä näistä ovat valut, takeet, hitsit ja keraamit.

Tarkastettava pinta tulee puhdistaa ja kuivata ennen tunkeumanestetarkastusta mahdollisista epäpuhtauksista kuten hilseestä, ruosteesta, öljystä, rasvasta tai maalista. Tämän jälkeen voidaan levittää sopiva tunkeumaneste tarkastettavalle pinnalle joko ruiskuttamalla, sivelemällä, huuhtomalla, kastamalla tai upottamalla. Tunkeumaneste tunkeutuu pintaan asti avoimiin epäjatkuvuuskohtiin. Tunkeumanesteen sopivan vaikutusajan (10-60min) kuluttua se poistetaan pinnalta pesemällä ja kuivaamalla, jonka jälkeen levitetään kehite, jonka kehitysaika on (10-30min, mutta mieluiten sama kuin tunkeuma-aika). Kehite imee sisäänsä tunkeumanestettä, joka on tunkeutunut ja jäänyt epäjatkuvuuskohtiin ja saattaa antaa epäjatkuvuuskohdasta selvästi havaittavan, suurentuneen näyttämän. Lopuksi tarkastuskohde jälkipuhdistetaan, jos tunkeumanestetarkastusaineet häiritsevät seuraavaa käsittelyä tai käyttömääräyksiä.

Tunkeumanestetarkastus etenee seuraavien vaiheiden mukaisesti: esivalmistelu ja –puhdistus, tunkeumanesteen levitys, ylimääräisen tunkeumanesteen poisto, kehiteen levitys, näyttämien tarkastelu, tulosten tallentaminen ja jälkipuhdistus.

Tunkeumanestetarkastuksessa käytetään tuoteperheitä, jolla tarkoitetaan seuraavien tunkeumanestetarkastusaineiden yhdistelmää: tunkeumaneste, puhdistin ja kehite. Näistä tunkeumanesteen ja puhdistimen tulee olla samalta valmistajalta, ja vain hyväksytyt tuoteperheitä saa käyttää. Yhteen tulee olla yhteensopivia tarkastettavan materiaalin ja kohteelle suunnitellun käytön kanssa.

Tunkeumanestetarkastuksen tulokset voidaan tallentaa jollakin seuraavista menetelmistä: kirjallinen kuvaus, luonnos, teippi, kuorittava kehite, valokuva, valokopio tai video. (SFS-EN 571–1; ASME, IP-172, Rev. 6.)

## 2.4 Ultraäänitarkastus UT

Ultraäänitarkastuksella tarkastetaan läpihitsattuja liitoksia metalleissa, joiden ainepaksuus on 8 - 100 mm. Tarkastus on pääasiallisesti tarkoitettu läpihitsatuille liitoksille, jonka perusaine ja hitsi ovat ferriittisiä. Laitteina käytetään yksi- tai kaksikiteisiä normaali- ja kulmaluotaimia.

Ennen ultraäänitarkastusta laitteet säädetään yhteen avulla. Laitteen etäisyysasteikko säädetään tarkistuskappaleen avulla, joka vastaa äänennopeudeltaan tarkastettavaa kohdetta. Myös laitteen herkkyys säädetään. Laitteen säädöt tarkastetaan aloitettaessa ja lopetettaessa.

Ultraäänitarkastus suoritetaan kohdistamalla ultraääni tutkittavaan kohteeseen. Ultraääni heijastuu takaisin aineessa olevista epäjatkuvuuksista tai kappaleen takaseinästä. Ääni heijastuu takaisin kohtisuoraan kohtaamistaan vioista ja pinnoista, luotain muuttaa äänen takaisin sähköiseksi pulssiksi, joka näkyy laitteen näytöllä. Heijastuman koosta voidaan päätellä virheen koko, sijainti ja laatu. Ultraäänitarkastuksissa käytettävät taajuudet vaihtelevat 0,5-25 MHz:n välillä, mitä suurempi taajuus sitä pienempiä vikoja havaitaan.

Ultraäänitarkastus on jaettu neljään eri tarkastustasoon (A, B, C ja D), joista kukin vastaa erilaista virheiden havaitsemistodennäköisyyttä. Taulukossa 1 on annettu ohjeet tarkastustasojen A, B ja C valitsemiseksi, tarkastustaso 4 on erikoistapauksia varten ja siitä sovitaan erikseen osapuolten kesken. Virheiden havaitsemistodennäköisyys kasvaa tarkastustasosta A tasoon C. (SFS-EN 1714; Suominen M, Non Destructive Testing: NDT-tarkastajan ammatti ja rekrytointi, s. 27–28; ASME, IP-174, Rev.2.)

**Taulukko 1** Suositellut tarkastustasot (SFS-EN 1714)

Tarkastustaso	Hitsiluokka
A	C
B	B
C	sovittaessa
D	erikoissovellukset

## 2.5 Radiografinen tarkastus RT

Radiografista tarkastusta voidaan käyttää kaikkien hitsilajien tarkastamiseen. Painelaitteissa röntgenlaitteita suositetaan käytettäväksi ensisijaisena säteilylähteenä 25 mm kokonaisainepaksuuteen saakka. Kuvauksessa käytetään filmijärjestelmäluokkia.

Filmijärjestelmäluokan ja vahvistuslevyn valinta tapahtuu taulukoiden 2 ja 3 mukaan. Filmeinä käytetään ensisijaisesti tyhjiopakattuja filmejä.

**Taulukko 2** Filmijärjestelmäluokat ja metallivahvistuslevyt teräkselle sekä kupari- ja nikkelpitoisille teräksille (ASME, IP-173, Rev.3.)

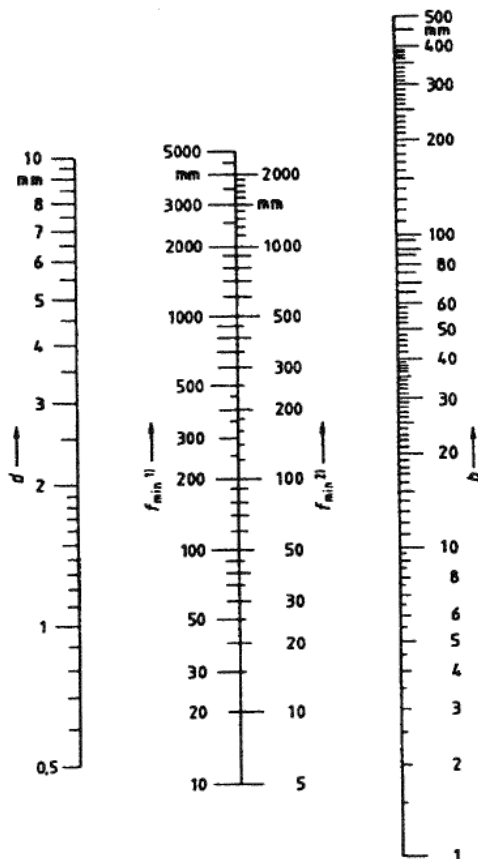
Säteilylähde	Kokonaisaineenpaksuus w	Filmijärjestelmäluokka	Metallivahvistuslevyjen tyyppi ja paksuus
≤ 100 kV		C3 (AGFA D4)	Ei vahvistuslevyjä tai ≤ 0,03 mm lyijylevy edessä ja takana
> 100 kV - 150 kV			≤ 0,15 mm lyijylevy edessä ja takana
> 150 kV - 250 kV		C4 (AGFA D5)	0,02...0,15 mm lyijylevy edessä ja takana
> 250 kV – 500 kV	w ≤ 50 mm		0,02...0,2 mm lyijylevy edessä ja takana
	w > 50 mm	C5 (AGFA D7)	0,1...0,2 mm lyijylevy edessä ja 0,02...0,2 mm lyijylevy takana
Ir 192		C4 (AGFA D5)	0,1...0,2 mm lyijylevy edessä ja 0,02...0,2 mm lyijylevy takana
Co 60	w ≤ 100 mm	C4 (AGFA D5)	0,25...0,7 mm teräs- tai kuparilevy edessä ja takana
	w > 100 mm	C5 (AGFA D7)	

**Taulukko 3** Filmijärjestelmäluokat ja metallivahvistuslevyt alumiinille ja titaanille (ASME, IP-173, Rev.3.)

Säteilylähde	Filmijärjestelmäluokka	Metallivahvistuslevyjen tyyppi ja paksuus
≤ 150 kV	C3 (AGFA D4)	Ei vahvistuslevyjä tai ≤ 0,03 mm lyijylevy edessä ja ≤ 0,15 mm lyijylevy takana
>150kV...250kV		0,02...0,15 mm lyijylevy edessä ja takana
>250 kV...500kV		0,1...0,2 mm lyijylevy edessä ja takana

## Kuvauksen suoritus

Ennen radiografista tarkastusta pinta voidaan hioa tasaiseksi tai päällyste poistaa, jos pinnan epäjatkuvuudet tai päällysteet vaikeuttavat virheiden havaittavuutta. Tämän jälkeen määritetään kuva etäisyys kuvan 1 nomogrammin avulla.



**Kuva 1** Nomogrammi pienimmän kuvausetäisyyden  $f_{\min}$  määrittämiseksi kohde-filmi-etäisyyden ja säteilylähteen koon avulla. 1) Tarkastustaso B, 2) Tarkastustaso A (ASME, IP-173, Rev.3)

Tämän jälkeen kappaleeseen kohdistetaan ionisoivaa säteilyä, jonka tuloksena kohteen takana sijaitsevaan filmiin saadaan piilevä kuva, joka kehityksen jälkeen muuttuu näkyväksi kuvaksi. Radiografisessa tarkastuksessa käytetään yleisimmin suurtaajuusröntgenputkia, jos seinämäpaksuus on pienempi kuin 60mm, jos suurempi niin on käytettävä hiukkaskiihdytintä. Radiografisella tarkastuksella havaitaan hyvin kolmiulotteiset virheet kuten huokokset, kuonasulkeumat ja erilaiset muotovirheet.

Radiografisen tarkastuksen aikana muu työnteko rajoittuu säteilyvaaran takia, ja siksi kuvaukset suoritetaan yleisimmin ilta- tai yövuorossa. (Suominen M, Non Destructive Testing: NDT-tarkastajan ammatti ja rekrytointi, s. 24–27; SFS-EN 1435; ASME, IP-173, Rev.3.)

## 3 NDT-MENETELMÄN VALINTAPERUSTEET

EN 13445

NDT-menetelmän valinta sisäisten virheiden havaitsemiseksi (läpihitsaus ja osittainen läpihitsaus) radiografisen kuvauksen ja ultraäänitarkastuksen (tai niiden yhdistelmän) välillä tehdään taulukon 4 mukaan. Taulukon valintaperusteet johtuvat ko. kohteen materiaalin ja paksuuden soveltuvimmasta tekniikan käytöstä.

**Taulukko 4** NDT-menetelmän<sup>a</sup> valinta sisäisten virheiden arvioimiseksi läpihitsatussa hitsausliitoksissa SFS-EN 12062:1997, taulukon 3 mukaan (SFS-EN 13445-5, taulukko 6.6.3-2)

Materiaali ja muoto	Perusaineen nimellispaksuus (e millimetreissä)			
	e ≤ 8	8 < e ≤ 40	40 < e ≤ 100	e > 100
<b>Ferriittiset päittäisliitokset</b>	RT	RT tai UT tai UT <sub>D</sub>	UT <sup>b</sup> tai UT <sub>D</sub> tai (RT)	UT <sub>D</sub> <sup>b</sup>
<b>Ferriittiset T-liitokset</b>	UT <sub>D</sub> tai RT	UT tai (RT) tai UT <sub>D</sub>	UT tai (UT <sub>D</sub> ) tai (RT)	UT <sub>D</sub>
<b>Austeniittiset ja austeniittis-ferriittiset (duplex) päittäisliitokset</b>	RT	RT tai (UT <sub>D</sub> )	RT tai UT <sub>D</sub> <sup>b</sup>	UT <sub>D</sub> <sup>b</sup>
<b>Austeniittiset ja austeniittis-ferriittiset (duplex) T-liitokset</b>	UT <sub>D</sub> tai RT	UT <sub>D</sub> tai RT	UT <sub>D</sub> tai RT	UT <sub>D</sub>

<sup>a</sup> - RT ja UT tarkoittavat radiografista kuvausta ja ultraäänitarkastusta taulukossa 6 esitettyjen standardien mukaisesti  
- UT<sub>D</sub> tarkoittaa luokkaa D SFS-EN 1714:1997 mukaisesti ja soveltuu kaikelle ultraäänitarkastukselle, kuten mekanisoidulle tarkastukselle tai tarkastukselle kaksoisluotaimella. Siinä edellytetään kirjallista tarkastusohjetta tarkastusparametreille ja hyväksymisperusteille. SFS prEN ISO 5817:2002 tason C laatuvaatimuksen on täyttyttävä.  
<sup>b</sup> Kun e ≥ 60 mm, UT tehdään myös kohtisuoraan pintaan nähden oleville virheille SFS EN-583-4:1999 mukaisesti.

Pintavirheiden havaitsemiseksi käytettävä NDT-menetelmä valitaan magneettijauhetarkastuksen ja tunkeumanestetarkastuksen välillä. Ferriittiset teräkset tarkastetaan magneettijauheella ja austeniittiset teräkset tunkeumanesteellä. (SFS-EN 13445-5.)

#### 4 TUOTESTANDARDIN NDT-LAAJUUDEN MÄÄRÄYTYMISPERUSTEET

##### EN 13445

Rikkomaton aineenkoetusmenetelmä ja tarkastuslaajuus määräytyvät testausryhmän perusteella taulukon 6 mukaisesti. Testausryhmät on jaettu neljään ja niissä otetaan huomioon eri teräsryhmiin liittyvät valmistuksen vaikeudet, suurin aineenpaksuus, hitsausprosessi, käyttölämpötilat ja lujuuskerroin. Testausryhmät 1, 2 ja 3 on jaettu taulukon 5 mukaisiin alaryhmiin (1a, 1b, 2a, 2b, 3a ja 3b) materiaalin halkeamaherkkyden mukaan. Testausryhmien tarkoituksena on, että vain yhtä testausryhmää sovellettaisiin koko painesäiliöön. Poikkeuksena, jos on noudatettu taulukon 5 mukaisia vaatimuksia ja painesäiliössä on enemmän kuin yksi mitoittava liitos, on testausryhmien 1 ja 2 tai 1, 2 ja 3 yhdistelmien käyttö sallittua. Testausryhmää 4 ei saa käyttää minkään muun testausryhmän kanssa vaan sitä on käytettävä omana ryhmän koko säiliölle.



**Taulukko 5** Teräksisten painesäiliöiden testausryhmät (SFS-EN 13445-5, taulukko 6.6.1-1)

Vaatimukset	Testausryhmä <sup>a</sup>						
	1		2		3		4
	1a	1b	2a	2b	3a	3b	<sup>b,j</sup>
<b>Sallitut materiaalit<sup>g</sup></b>	1...10	1.1, 1.2, 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 9.3, 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 10	1.1, 1.2, 8.1	1.1, 8.1
<b>Määraävien hitsien ND-tarkastuslaajuus<sup>e,h</sup></b>	100 %	100 %	100%-10% <sup>d</sup>	100%-10% <sup>d</sup>	25 %	10 %	0 %
<b>Muiden hitsien NDT</b>	Määritetty kullekin hitsille taulukossa 6						
<b>Lujuuskerroin</b>	1	1	1	1	0,85	0,85	0,7
<b>Suurin sallittu materiaalin seinämäpaksuus</b>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>	30 mm ryhmille 9.1, 9.2 16 mm ryhmille 9.3, 8.2 <sup>i</sup> , 10	50 mm ryhmille 1.1, 8.1 30 mm ryhmälle 1.2	30 mm ryhmille 9.2, 9.1 16 mm ryhmille 8.2, 10	50 mm ryhmille 1.1,8.1 30 mm ryhmälle 1.2	12 mm ryhmille 1.1, 8.1
<b>Hitsausprosessi</b>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>	Vain täysmekanisoidulle hitsaukselle <sup>c</sup>		Ei rajoitusta <sup>f</sup>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>
<b>Käyttölämpötila-alue</b>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>	Ei rajoitusta <sup>f</sup>		Rajoitettu (-10..+200)°C ryhmälle 1.1 (-50..+300)°C ryhmälle 8.1

<sup>a</sup> Kaikissa testausryhmissä vaaditaan 100 % visuaalinen tarkastus suurimmassa mahdollisessa laajuudessa.

<sup>b</sup> Testausryhmä 4 soveltuu vain:

- Ryhmän 2 sisällöille ja

-  $P_s \leq 20$  bar ja

-  $P_s V \leq 20\,000$  bar • L yli 100 °C:ssa tai

-  $P_s V \leq 50\,000$  bar • L jos lämpötila on korkeintaan 100 °C

- Korotettu painekoe

- Täysien paineenvaihtelujen lukumäärä alle 500

- alennettu nimellinen suunnittelujännitys (Ks. EN 13445-3).

<sup>c</sup> Täysmekanisoitu tai automaattinen hitsausprosessi (Ks. EN 1418:1997).

<sup>d</sup> Ensimmäinen luku: alussa, toinen luku: vaaditun kokemuksen jälkeen.

<sup>e</sup> Testausten yksityiskohdat ovat taulukossa 6.6.2-1

<sup>f</sup> Ei rajoitusta tarkoittaa, ettei ole asetettu lisävaatimuksia tarkastuksen suhteen. Taulukossa annetut rajoitukset ovat tarkastuksesta johtuvia rajoituksia. Muut rajoitukset, joita annetaan standardien eri kohdissa pitää ottaa myös huomioon.

<sup>g</sup> Sallitut materiaalit, ks. EN 13445-2.

<sup>h</sup> Prosenttiluku liittyy jokaisen yksittäisen painesäiliön hitsien prosentuaaliseen määrään.

<sup>i</sup> 30 mm sallitaan ryhmälle 8.2, jos käytetään deltaferriittia sisältäviä hitsauslisäaineita täyttöpalkojen hitsauksessa, lukuun ottamatta pintapalkoja.

<sup>j</sup> Rajoitettu yksitilaiselle painesäiliölle sekä yhdelle materiaaliryhmälle.

Valmistuksen aikana tarkastetaan silmämääräisesti hitsausraiot, kaikki liitosten esi-valmistelut, kaikki säiliön reunoja kiinnittävät tai tukevat kiinnityshitsit ja ennen muovausta tarkastetaan vielä materiaali pätevoitetyn henkilön toimesta ja tulokset kirjataan NDT-tarkastuskaavioon.

Valmiit hitsit tulee tarkastaa visuaalisesti ja testausryhmästä riippuen hitseille tulee tehdä hitsilajia koskevat NDT-tarkastukset taulukon 5 ja 6 mukaan.

Kaikki korjaushitsaukset tulee tarkastaa samalla NDT-menetelmällä, millä alun perin virhe huomattiin, tämä tarkoittaa myös samoja hyväksymiskriteerejä. Korjatut alueet tulee tarkastaa 100 %.

**Taulukko 6** Rikkomattoman aineenkoetuksen tarkastuslaajuus (SFS-EN 13445-5, taulukko 6.6.2-1)

HITSILAJI <sup>a</sup>		TARKASTUSMETELLMÄ <sup>b</sup>	TESTAUSRYHMÄ							
			1a	1b	2a	2b	3a	3b	4	
			PERUSAINHEET <sup>k, l, m</sup>							
			1...10	1.1, 1.2, 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 9.3, 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 10	1.1, 1.2, 8.1	1.1	
Läpihitsatut päittäishitsit	<b>1</b>	Pituushitsit	RT tai UT MT tai PT	100% 10%	100% 10% <sup>d</sup>	(100-10)% 10%	(100-10)% 10% <sup>d</sup>	25% 10%	10% 10% <sup>d</sup>	0 0
	<b>2a</b>		Vaipan kehähitsit	RT tai UT MT tai PT	100% 10%	25% 10% <sup>d</sup>	(100-10)% 10%	(25-10)% 10% <sup>d</sup>	10% 10%	10% 10%
	<b>2b</b>	Vaipan kehähitsit juurituella <sup>j</sup>	RT tai UT MT tai PT	NA NA	100% 10%	NA NA	25% 10%	NA NA	25% <sup>c</sup> 10% <sup>d</sup>	0 0
	<b>2c</b>	Olastetun päällekkäisliitoksen kehähitsit	RT tai UT MT tai PT	NA NA	100% 10%	NA NA	25% 10%	NA NA	25% 10%	0 0
	<b>3a</b>	Yhdenputken kehähitsit d > 150 mm tai e > 16 mm	RT tai UT MT tai PT	100% 10%	25% 10% <sup>d</sup>	(100-10)% 10%	(25-10)% 10% <sup>d</sup>	10% 10%	10% <sup>c</sup> 10% <sup>d</sup>	0 0
	<b>3b</b>	Yhdenputken kehähitsit d > 150 mm tai e > 16 mm juurituella <sup>j</sup>	RT tai UT MT tai PT	NA NA	100% 10%	NA NA	25% 10%	NA NA	25% 10%	0 0
	<b>4</b>	Yhdenputken kehähitsit d ≤ 150 mm ja e ≤ 16 mm	RT tai UT MT tai PT	0 100%	0 10%	0 (100-10)%	0 10%	0% 10%	0% 10%	0 0
<b>5</b>	Pallojen, päätyjen sekä puolipallojen ja vaipan väliset hitsit	RT tai UT MT tai PT	100% 100%	100% 10% <sup>d</sup>	(100-10)% 10%	(100-10)% 10% <sup>d</sup>	25% 10%	10% 10% <sup>d</sup>	0 0	

	6	Kartiomaisen ja lie-riömäisen vaipan väli-set hitsit, ei kartion reunan taivutusta (kartion suuri pääty) <sup>n,o</sup>	RT tai UT MT tai PT	100% 100%	25% 10%	(100-10)% 100%	(25-10)% 10%	10% 100%	10% 100%	0 10 0%
	7	Kartiomaisen ja lie-riömäisen vaipan väli-set hitsit, ei kartion reunan taivutusta (kartion pieni pääty)	RT tai UT MT tai PT	100% 10%	25% 10% <sup>d</sup>	(100-10)% 10%	(25-10)% 10% <sup>d</sup>	10% 10%	10% 10% <sup>d</sup>	0 0
Päällekkäis-liitoksen kehähitsi <sup>j</sup>	8a	Päädyn ja vaipan liitos yhteensä	RT tai UT MT tai PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 0
	8b	Palkeen liitos vaip- paan $e \leq 8$ mm	RT tai UT MT tai PT	100% 0%	100% 0%	100% 0%	25% 0%	25% 0%	10% 0%	0 0
Suoran päädyn tai putkilevyn liittäminen lie-riömäi- seen vaip- paan Laipan tai kauluksen liittäminen vaippaan	9	Läpihitsattu	RT tai UT MT tai PT	100% 10%	100% 10% <sup>d</sup>	(100-10)% 10%	(100-10)% 10% <sup>d</sup>	25% 10%	10% 10% <sup>d</sup>	0 0
	10	Osittain läpihitsattu, kun $a > 16$ mm ( $a$ mää- ritetty kuvassa 6.6.2- 1) <sup>i</sup>	RT tai UT MT tai PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	25% 10%	10% 10%	0 0
	11	Osittain läpihitsattu $a \leq 16$ mm ( $a$ mää- ritetty kuvassa 6,6,2-1) <sup>i</sup>	RT tai UT MT tai PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 10%	0 10%	0 0
Yhteen liit-täminen laippaan tai kaulukseen	12	Läpihitsattu	RT tai UT MT tai PT	100% 10%	100% 10% <sup>d</sup>	(100-10)% 10%	(100-10)% 10% <sup>d</sup>	25% 10%	10% 10% <sup>d</sup>	0 0
	13	Osittain läpihitsattu	RT tai UT MT tai PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 10%	0 10%	0 0
	14	Läpihitsattu tai osit-tain läpihitsattu $d \leq 150$ mm ja $e \leq 16$ mm <sup>i</sup>	RT tai UT MT tai PT	0 10%	0 10% <sup>d</sup>	0 10%	0 10% <sup>d</sup>	0 10%	0 10%	0 0
Yhde tai haaroitus <sup>e</sup>	15	Läpihitsattu $d > 150$ mm tai $e > 16$ mm	RT tai UT MT tai PT	100% 10%	25% 10% <sup>d</sup>	(100-25)% 10%	(25-10)% 10% <sup>d</sup>	25% 10%	0 10% <sup>d</sup>	0 0
	16	Läpihitsattu $d \leq 150$ mm tai $e \leq 16$ mm	RT tai UT MT tai PT	0 100%	0 10%	0 (100-10)%	0 10%	0 10%	0 10%	0 0
	17	Osittain läpihitsattu jokaiselle $d$ ja $a > 16$ mm (ks. Kuva 6,6,2-2)	RT tai UT MT tai PT <sup>i</sup>	100% 10%	25% 10% <sup>d</sup>	(100-25)% 10%	(25-10)% 10% <sup>d</sup>	25% 10%	10% 10% <sup>d</sup>	0 0
	18	Osittain läpihitsattu $d > 150$ mm ja $a \leq 16$ mm (ks. Kuva 6,6,2-2)	RT tai UT MT tai PT <sup>i</sup>	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 10%	0 10%	0 0
	19	Osittain läpihitsattu $d \leq 150$ mm ja $a \leq 16$ mm (ks. Kuva 6,6,2-2)	RT tai UT MT tai PT	0 100%	0 10%	0 (100-10)%	0 10%	0 10%	0 10%	0 0
Putken liitos putkilevyyn	20		MT tai PT	100%	100%	100%	100%	25%	10%	0
Pysyvät kiinnikkeet <sup>f</sup>	21	Läpihitsattu tai osit-tain läpihitsattu	RT tai UT MT tai PT	25% <sup>g</sup> 100%	10% <sup>d</sup> 10%	10% 100%	10% <sup>d</sup> 10%	10% 100%	10% <sup>d</sup> 10% <sup>d</sup>	0 0

Pai- neenalaiset alueet kiin- nikkeiden poistamisen jälkeen	<b>22</b>		MT tai PT	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0
Pinnoitus hitaamalla <sup>h</sup>	<b>23</b>		MT tai PT	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0
Korjaukset	<b>24</b>		RT tai UT MT tai PT	100% 100%	100% 100%	100% 100%	100% 100%	100% 100%	100% 100%	0 0

<sup>a</sup> Ks. hitsilajit SFS-EN 13445-5:2002, kohta 6.6.2-3

<sup>b</sup> RT = Radiografinen kuvaus, UT = ultraäänikuvaus, MT = magneettijauhetarkastus, PT = tunkeumanestetarkastus

<sup>c</sup> 2 % jos e ≤ 30 mm ja hitsausohje (WPS) sama kuin pituushitseille teräsryhmissä 1.1 ja 8.1.

<sup>d</sup> 10 % jos e > 30 mm, 0 % jos e ≤ 300 mm.

<sup>e</sup> Prosenttiluku viittaa kaikkien yhteiden yhteenlaskettuun hitsin pituuteen.

<sup>f</sup> RT tai UT ei tarvitse tehdä, kun hitsin paksuus (a-mitta) ≤ 16 mm.

<sup>g</sup> 10 % perusaineryhmissä 8.2, 9.1, 9.2, 9.3 ja 10.

<sup>h</sup> Volymetrinen tarkastus perusaineen halkeama-alttiudesta tai lämpökäsittelystä johtuen.

<sup>i</sup> Erityistapauksissa tai kun liitoksen suunnittelu tai kantokyky on kriittinen saattaa olla tarpeen käyttää sekä pintatarkastusta että volymetristä tarkastusta

<sup>j</sup> Sovellusrajoituksista ks. SFS-EN 13445-3:2002, kohta 5.7.3.2

<sup>k</sup> Pintatarkastuksen prosenttiluku sisältää hitsien pituudet sekä sisä- että ulkopuolella.

<sup>l</sup> RT ja UT ovat volymetrisiä, kun taas MT ja PT ovat pintatarkastusmenetelmiä. Tämän taulukon mukaiset sekä volymetriset että pintatarkastukset on tehtävä esitettyssä laajuudessa.

<sup>m</sup> NA, not applicable, tarkoittaa "ei soveltu".

<sup>n</sup> Paitsi, jos rakenne on sellainen, että hitsin kohdalla paksuus on suurempi kuin 1,4 e. Tässä tapauksessa käytä vaihtoehto 2a:n NDT-vaatimuksia.

<sup>o</sup> Liitoksille, joissa on kartion reunan taivutus, käytetään kohdan 2a vaatimuksia.

Huom<sup>1</sup> Ks. a-mitta SFS-EN 13445-5:2002, kohta 6.6.2-2

NDT-tarkastuslaajuuteen vaikuttaa testausryhmän lisäksi hitsausliitoksen tyyppi. NDT hitsausliitosten hyväksyminen riippuu kyseessä olevasta hitsausliitosten testausryhmästä (testausryhmä 1,2,3 tai 4) taulukon 5 mukaan.

NDT:n tarkastuslaajuus tulee olla taulukon 6 prosenttilukujen mukainen. Tämä prosenttiluku tarkoittaa NDT-laajuutta hitsausliitoksen kokonaispituuden osalta ja ottaa huomioon testausryhmän sekä hitsilajin.

Taulukko 6 on suunniteltu pääasiassa teräkselle ja molemmilta puolilta hitsatulle monipalkohitsille, hitsauslisäainetta käyttäen ja hitsattaessa puikolla (MMA), jauhekaarella (SAW), MAG:lla, MIG:llä tai TIG:llä.

Jos taulukossa vaaditaan vähemmän kuin 100 % tarkastusta, on tarkastuskohdat valittava etukäteen seuraavin ehdoin:

Vaipat, kuperat päädyt, toisiinsa liittyvät kammiot ja kaksoisvaipat:

- Kaikki pituus- ja kehähitsien risteyskohdat tarkastetaan rikkomattomalla aineenkoetuksella. Filmin pituus tai tarkastuspituus tulee olla vähintään 200mm.
- Jos on tarpeen päästä taulukon 6 prosenttimäärään, voidaan tarkastaa myös pistekoemaisesti valittuja kohtia päittäisliitoksesta
- Jos aukkoja on päähitsin kohdalla korkeintaan 12mm etäisyydellä päähitsistä, on päähitsit tarkastettava kaikissa suunnissa vähintään aukon halkaisijan pituiselta matkalta

Säiliöön liittyvät yhteen ja haaroitukset (päittäishitsit): NDT-laajuuden määrittämiseksi kaikki päittäishitsien läpihitsatut yhteen ja haaroitukset on ryhmiteltävä seuraavasti:

- 100 % NDT: ryhmän koko 1
- 25 % NDT: ryhmän koko 4
- 10 % NDT: ryhmän koko 10

Rikkomattoman aineenkoetuksen suoritus

Kaikki hitsit tarkastetaan visuaalisesti. NDT:n lopullinen hyväksyminen riippuu liitoksen testausryhmästä. Taulukko 7 kertoo NDT-menetelmän virhetyypin arvioinnissa ja hyväksymisperusteissa käytetyt standardit. Taulukko perustuu SFS-EN 12062:1997:ään.

**Taulukko 7** NDT-menetelmät, suoritus, virhetyypin arviointi ja hyväksymisrajat (SFS-EN 13445-5, taulukko 6.6.3-1)

NDT-menetelmä	Suoritusstandardi	Virhetyypin arviointi	Hyväksymisperusteet
<b>Visuaalinen tarkastus (VT)</b>	EN 970:1997	prEN ISO 5817:2002 (pintavirheet)	prEN ISO 5817:2002 (pintavirheet, hitsiluokka C <sup>3</sup> )
<b>Radiografinen tarkastus (RT)</b>	EN 1435:1997 tarkastustaso B <sup>1</sup>	EN 12517:1998 ja taulukko 13	EN 12517:1998, hyväksymisraja 2 ja taulukko 13
<b>Ultraäänitarkastus (UT)</b>	EN 1714:1997 vähintään tarkastustaso B <sup>2</sup>	EN 1713:1998 <sup>3</sup>	EN 1712:1997 hyväksymisraja 2, tasomaisia virheitä ei sallita
<b>Tunkeumanestetarkastus (PT)</b>	EN 571-1:1997 ja EN 1289:1998 mukaiset tarkastusparametrit, taulukko A.1	EN 1289:1998	EN 1289:1998, hyväksymisraja 2X
<b>Magneettijauheta- rkastus (MT)</b>	EN 1290:1998 ja EN 1291:1998 mukaiset tarkastusparametrit, taulukko A.1	EN 1291:1998	EN 1291:1998, hyväksymisraja 2X

<sup>1</sup> Kuitenkin yksittäisen valituksen enimmäisalueen tulee täyttää tarkastustason A vaatimukset standardin EN 1435:1997 mukaisesti

<sup>2</sup> Paksuudelle  $t < 40$  mm sallitaan tarkastustaso A. Paksuudelle  $> 100$  mm vaaditaan tarkastustaso C.

<sup>3</sup> Lisävaatimuksia seuraaville virheille:

- korkea kupu (502) - vaaditaan jouheaa ylimeno
- sytytysjäljet (601) - poistetaan ja tehdään 100% MT tai PT sen varmistamiseksi, ettei virheitä esiinny
- roiskeet (602) - paineenalaisista osista ja kuormaa kantavista kiinnikkeistä poistetaan roiskeet. Yksittäisiä, ei systemaattisia roiskeita sallitaan ryhmän 1 mukaisille perusaineille.
- vioittuneet pinnat (603), hiontajäljet (604), talttausjäljet (605) hiotaan jouhevan pinnan aikaansaamiseksi
- liiallista hiontaa (606) ei sallita. Paikallisesti suoritettua hiontaa on verrattava suunnitteluvaatimuksiin.

Pinnanlaadun tulee olla tarkastusta varten taulukon 7 annetun standardin mukainen. Hitsattuja pintoja ei tarvitse koneistaa, jos epätasaisuudet eivät häiritse toteutusta tai tulkintaa.

NDT:stä on tehtävä suunnitelma, joka pitää sisällään jokaiselle säiliölle rikkomattoman aineenkoetuksen vaatimukset, jotka pitävät sisällään valmistusvaiheet joissa NDT suoritetaan, menetelmän valinnan, suoritustavan, hyväksymisperusteet ja laadittavat asiakirjat.

NDT-henkilöstön tulee olla pätevöityjä ja sertifioituja standardin EN 473:2000 mukaisesti lukuun ottamatta visuaalista tarkastusta, jonka suorittajan ei tarvitse olla sertifioitu vaan pätevöity.

NDT suoritetaan kaikissa testausryhmissä viimeisen hitsauksen jälkeisen lämpökäsittelyn (PWHT) jälkeen, mutta ennen koeponnistusta.

NDT voidaan suorittaa ennen jälkilämpökäsittelyä, jos perusaine on herkkä myösthälkeämille.

Virhetyypistä riippuen tarkastuksen laajentaminen on tehtävä seuraavasti:

- Tasomaiset virheet: jos näytteessä havaitaan yksi tai useampia tasomaisia virheitä, tarkastetaan näytteen edustama päittäisliitos koko pituudeltaan samalla NDT-menetelmällä ja arvioidaan soveltuvan hyväksymisperusteen mukaan.
- Muut kuin tasomaiset virheet: jos näytteessä ei ole havaittu tasomaisia vaan muita sallitun hyväksymisrajan ylittäviä virheitä, tarkastetaan NDT:llä kaksi pistokoemaistesti valittua näytettä ja arvioidaan ne alkuperäisin hyväksymisperustein. Mikäli nämä kaksi lisänäytettä ovat hyväksytyjä, korjataan alkuperäinen näyte ja arvioidaan se uudelleen samalla NDT-tekniikalla. Mikäli toista tai molempia lisänäytteistä ei voida hyväksyä, tarkastetaan hitsausliitos 100 %.

NDT tarkastukset suoritetaan kirjallisten ohjeiden mukaan ja pätevöityjen henkilöiden toimesta. Toimintojen tueksi on laadittava kirjalliset tarkastuspöytäkirjat taulukossa 7 viitattujen standardien mukaisesti. Edellä mainittu dokumentaatio tulisi olla riittävä suoritettujen NDT:n laajuuden kuvaamiseksi. (SFS-EN 13445-5.)

## 5 SUORITUSSTANDARDI EN 13445

### 5.1 Magneettijauhetarkastus MT

Magneettijauhetarkastuksessa tarkastetaan hitsi ja sen viereinen perusaine 10 mm:n leveydeltä hitsin molemmin puolin. Tarkastuksessa käytetään lineaarista ja epälineaarista näyttämää. Lineaarinen näyttämä on pituus, joka on suurempi kuin kolme kertaa sen leveys ja epälineaarinen näyttämä on pituus, joka on pienempi tai yhtä suuri kuin kolme kertaa sen leveys. Näyttämien hyväksymisrajat on esitetty taulukossa 8.

**Taulukko 8** Näyttämien hyväksymisrajat (SFS-EN 1291)

Näyttämän tyyppi	Hyväksymisraja <sup>1)</sup>		
	1	2	3
Lineaarinen näyttämä	$l \leq 1,5$	$l \leq 3$	$l \leq 6$
Epälineaarinen näyttämä	$d \leq 2$	$d \leq 3$	$d \leq 4$

<sup>1)</sup> Hyväksymisrajat 2 ja 3 voidaan määrittää lisämerkillä "X". Tämä osoittaa, että kaikki havaitut lineaariset näyttämät arvioidaan hyväksymisrajan 1 mukaan. On kuitenkin huomattava, että näin pienille näyttämille havaitsemistodennäköisyys voi olla pieni.

Kaikki vierekkäiset näyttämät, joiden välinen etäisyys on pienempi kuin pienemmän näyttämän suurin mitta, arvioidaan yksittäiseksi jatkuvaksi näyttämäksi. (ASME, IP-171, Rev.5; SFS-EN 1291.)

### 5.2 Tunkeumanestetarkastus PT

Tunkeumanestetarkastuksessa useat parametrit, joko yhdessä tai erikseen, voivat vaikuttaa hitsausvirheestä muodostuneen tunkeumanesten näyttämän muotoon ja koon. Näitä parametreja ovat mm. herkkyys, pinnan laatu ja tarkastuksen suoritus ja tekniikka. Herkkyydellä tarkoitetaan herkkyytystasoa, joka on yhteydessä kykyyn havai-



ta pieniä virheitä. Pienten virheiden havaitsemiseen tulee käyttää herkempiä aineita kuin suurempien virheiden tarkastuksessa. Pinnan laatu on yhteydessä pienimpään havaittavaan virhekokoon. Sileä pinta antaa parhaan tuloksen, kun karhea taas voi aiheuttaa häiritsevän taustan ja epäolennaisia näyttämiä. Tarkastuksen suoritus ja tekniikka tulisi valita pinnan laadun mukaan, koska valinnalla voi olla suora vaikutus luotettavan havaitsemisen rajoihin.

Tunkeumanestetarkastuksessa käytetään samoja lineaarisia- ja epälineaarisia näyttämiä kuin magneettijauheta tarkastuksessa. Kappaleesta tarkastetaan hitsi ja sen viereinen perusaine molemmin puolin 10 mm:n leveydeltä. Hyväksymisrajat on esitetty taulukossa 9.

**Taulukko 9** Näyttämien hyväksymisrajat (SFS-EN 1289)

Näyttämän tyyppi	Hyväksymisraja <sup>1)</sup>		
	1	2	3
Lineaarinen näyttämä	$l \leq 2$	$l \leq 4$	$l \leq 8$
Epälineaarinen näyttämä	$d \leq 4$	$d \leq 6$	$d \leq 8$
<sup>1)</sup> Hyväksymisrajat 2 ja 3 voidaan määrittää lisämerkillä "X". Tämä osoittaa, että kaikki havaitut lineaariset näyttämät arvioidaan hyväksymisrajan 1 mukaan. On kuitenkin huomattava, että näin pienille näyttämille havaitsemistodennäköisyys voi olla pieni.			

Kaikki vierekkäiset näyttämät, joiden välinen etäisyys on pienempi kuin pienemmän näyttämän suurin mitta, arvioidaan yksittäiseksi jatkuvaksi näyttämäksi. (SFS-EN 1289; ASME, IP-172, Rev. 6.)

### 5.3 Ultraäänitarkastus UT

Ultraäänitarkastuksen hyväksymisrajat yhdistetään standardin EN 1714 mukaisiin tarkastustasoihin taulukon 10 mukaan.

**Taulukko 10** Hyväksymisrajat (ASME, IP-174, Rev.2.)

Hitsiluokka	Tarkastustekniikka SFS-EN 1714 mukaan	Hyväksymisraja SFS-EN 1712
B	Vähintään B	2
C	Vähintään A	3
D	Ei sovelleta	Ei sovelleta

Ultraäänitarkastuksen virheet jaetaan pitkittäisiin ja poikittäisiin. Virheiden arviointiin, jos osapuolet niin sopivat, voi sisältyä myös virheen tunnistaminen. Tällöin arviointirajan ylittävät virheet tunnistetaan ja kaikki tasomaiset hylätään.

#### Pitkittäiset virheet

Ne virheet, joiden kaiun korkeus tai pituus ylittää taulukossa 11 esitetyt rajat hylätään.

**Taulukko 11** Hyväksymisrajat menetelmille 1 ja 3 (ASME, IP-174, Rev.2.)

<b>8 mm ≤ t 15 mm</b>	
Virheen pituus, l (mm)	Suurin sallittu kaiun korkeus
1 ≤ t	Vertailutaso
1 > t	Vertailutaso -6 dB

<b>15 mm ≤ t 100 mm</b>	
Virheen pituus, l (mm)	Suurin sallittu kaiun korkeus
1 ≤ 0,5 t	Vertailutaso +4 dB
0,5 t < l ≤ t	Vertailutaso -2 dB
1 > t	Vertailutaso -6 dB

Arviointiraja: Vertailutaso -10dB Raportointirajat:  
Hyväksymisraja 2 = vertailutaso -6 dB Hyväksymis-  
raja 3 = Vertailutaso -2 dB

#### Poikittaiset virheet

Kaikki poikittaiset virheet jotka ylittävät taulukossa 11 annetut rajat, hylätään. Painelaitteissa poikittaisia tasomaisia virheitä ei sallita. Poikittaisille virheille pätee pitkittäisten virheiden hyväksymisrajat. (SFS-EN 1712; ASME, IP-174, Rev.2.)

#### 5.4 Radiografinen tarkastus RT

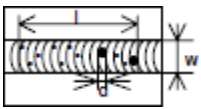
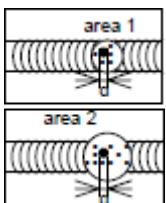
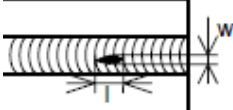
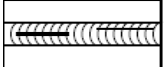
Radiografisen tarkastuksen hitsiluokkien, standardin SFS-EN 1435 tarkastustekniikan ja – tason sekä standardin SFS-EN 12517 hyväksymisrajojen välinen yhteys on esitetty taulukossa 12.

**Taulukko 12** Hitsiluokkien, tarkastustekniikan ja hyväksymisrajojen välinen yhteys (ASME, IP-173, Rev.3)

Hitsiluokat	Tarkastustekniikat ja -tasot SFS-EN 1435	Hyväksymisrajat: SFS-EN 12517
B	B	1
C	B <sup>1</sup>	2
D	A	3
<sup>1</sup> Yksittäisen valotuksen enimmäisalue saattaa vastata standardin SFS-EN 1435 tason A vaatimuksia.		

Taulukossa 13 on esitetty radiografisen kuvauksen hyväksymisrajat. (ASME, IP-173, Rev. 3; SFS-EN 13445-5.)

**Taulukko 13** Radiografisen kuvauksen hyväksymisrajat (SFS-EN 13445-5, taulukko 6.6.4-1)

VIRHEIDEN TUNNISTUS			SUURIN SALLITTU KOKO	
EN ISO 6520-1:1998		Virhetyyppi <sup>1</sup>		Suurimman sallitun koon määritelmä
Ryhmä nro	Virhe nro			
2	2012	Tasaisesti jakautunut huokoisuus		Ei sallita, kun huokosten projisoitu kokonaispinta-ala ylittää 2 % hitsin projisoidusta pinta-alasta ( $l \cdot w$ ). (1 % vaihtelevasti kuormitettujen säiliöiden kriittisille alueille liitteen G mukaan). Suurin yksittäinen huokonen 0,4.e, kuitenkin enintään 4mm.
	2013	Huokosryhmä (paikallinen)		Ei sallita, kun huokosten projisoitu kokonaispinta-ala ylittää 4 % hitsin projisoidusta pinta-alasta. Kahdesta seuraavasta alueesta valitaan suurempi: -alue 1: hitsin leveys halkaisijana piirretyn ympyrän pinta-ala -alue 2: huokosten ympäri piirretty pinta-ala
	202	Kutistumisontelo	Ks. 2015	Ei sallita
3	301	Kuonassulkeuma		$w=0,3e$ , enintään 3 mm $l=e$ , enintään 50 mm ( $w=0,2e$ , enintään 2 mm ja $l=e$ , enintään 25 mm väsyttävästi kuormitettujen säiliöiden kriittisille alueille liitteen G mukaan)
4	400	Liitosvirhe ja vajaa hitsautumissyvyys		Ei sallita läpihitsatuiksi tarkoitetuille hitsseille
<sup>1</sup> käytetään seuraavia tunnuksia: d huokosen halkaisija; e perusaineen paksuus; w projisoidun virheen leveys, mm; l projisoidun virheen pituus, mm.				

## 6 TUOTTEIDEN RYHMITTELY NDT-VAATIMUSTEN PERUSTEELLA

### 6.1 Laitetyyppi

Käytettyjä laitetyppejä ovat lämmönsiirtimet, jotka jaotellaan korkeapaine-esilämmittimiin, matalapaine-esilämmittimiin, kaukolämmönsiirtimiin, haihduttimiin, dolezaleihin ja lipeän esilämmittimiin. Kaikista lämmönsiirtimistä on alaryhmiä, mutta työssä keskityttiin päätyyppeihin ja tavanomaisimpiin laitteisiin.

#### Korkeapaine-esilämmitin KP ja dolezal

Korkeapaine-esilämmittimet ovat U-putkityyppisiä, ja ne voidaan suunnitella toimimaan joko vaaka- tai pystyasennossa. Pystymallisen vesikammiot voivat sijaita joko lämmittimen ylä- tai alaosassa. Korkeapaine-esilämmitin on usein varustettu sisäisellä höyryn tulistuksen poistolla ja lauhteen jäähdyttimellä. (Sahala Works Oy.)



**Kuva 2** Korkeapaine-esilämmitin (Sahala Works Oy)

#### Matalapaine-esilämmitin MP

Matalapaine-esilämmittimet ovat yleensä U-putkityyppisiä, vaaka- tai pystyasentoon asennettuja kuten korkeapaine-esilämmittimetkin. Erona korkeapaine-esilämmittimeen kuitenkin sen suunnittelu, jossa otetaan huomioon erityisesti kaasunpoisto ja lauhteen jäähdyttimen painehäviö. (Sahala Works Oy.)



**Kuva 3** Matalapaine-esilämmitin (Sahala Works Oy)

#### Kaukolämmönvaihdin KLV

Kaukolämmönvaihtimissa on panostettu erityisesti höyryn sisään tuloon ja kaasun poiston tehokkuuteen. Tärkeimpiä tekijöitä ovat eroosiovaikutusten estäminen, värähtelyjen hallinta sekä lauhteen happipitoisuuden minimointi tehokkaalla kaasun poistolla. (Sahala Works Oy.)



**Kuva 4** Kaukolämmönvaihdin (Sahala Works Oy)

#### Haihduutin

Haihduittimet voivat olla joko putki- tai lamellityyppisiä. Suurin osa haihduittimista toimitetaan sellutehtaille. (Sahala Works Oy.)



**Kuva 5** Haihdutin (Sahala Works Oy)

### Lipeän esilämmitin

Sellutehtaiden erityisolosuhteet asettavat lämmönsiirtimille erityisvaatimuksia, koska ne joutuvat käsittelemään esimerkiksi lipeää. Tämän takia lämmönsiirtimet vaativatkin rakenteeltaan enemmän kuin vain optimaalista termodynamiikkaa. (Sahala Works Oy.)



**Kuva 6** Lämmönsiirrin (Sahala Works Oy)

## 6.2 Mitoitus

Ensin valitaan materiaali, joka vaikuttaa tarkastusryhmän valintaan ja sitä kautta hitsauslujuuskertoimeen. Usein on helpointa valita painelaitteelle yksi materiaali tai materiaalit samasta materiaalityypistä. Materiaalit on ryhmitelty analyysin, lujuuden ja toimitustilan perusteella.

Saman materiaalin tai materiaaliryhmän käyttö ei aina ole mahdollista tai edes taloudellista. Siksi tuleekin tarkastaa, että materiaali on hitsattavissa materiaaliin johon se liittyy. Jos materiaalin hitsaus vaatii myöstöä, tulee varmistaa, että yhteen liitettävillä materiaaleilla on sama lämpökäsittelyalue.

Materiaalin valinnan jälkeen valitaan testausryhmä, joka valitaan NDT-laajuuden ja materiaaliryhmän mukaan. Testausryhmän valinnan mukaan määräytyy painelaitteen/kappaleen mitoituksessa käytettävä hitsauslujuuskerroin. Standardissa EN 13445 on neljä testausryhmää, joista kolme ensimmäistä on jaettu a- ja b-alaryhmiin, b-alaryhmä tarkoittaa helpommin hitsattavia materiaaleja ja a-alaryhmä vaikeammin hitsattaville materiaaleille. Testausryhmiä 1, 2 ja 3 voidaan käyttää yksittäisille painelaitteen/kappaleen hitseille, kun taas ryhmä 4 on tarkoitettu kokonaisille painelaitteille. Testausryhmää 4 ei saa käyttää monitilaisessa painelaitteessa kuten lämmönvaihtimessa. (Härkönen.)

#### Testausryhmä 1

Testausryhmässä 1 vaaditaan mitoittavilta hitseiltä 100 % NDT-laajuus. Yleisimmin kyseistä ryhmää käytetään korkeilla paineilla tai vaativilla materiaaleilla. Testausryhmän 1 hitsauslujuuskerroin on 1.

Kaikki painelaitteet voidaan valmistaa käyttäen testausryhmää 1, se kuitenkin asettaa vaatimuksia hitsauksessa käytettäville liitosmuodoille, sillä se sallii oikeastaan vain läpihitsatut hitsit. (Härkönen.)

#### Testausryhmä 2

Testausryhmässä 2 valmistaja voi vähentää NDT-laajuutta kokemuksen mukaan. Se onkin käytännössä tarkoitettu sarjavalmistukseen. Tämän ryhmän hitsauslujuuskerroin on myös 1. Testausryhmää 2 ei voi käyttää kaikille materiaaleille, myös maksimi materiaalin paksuus on rajoitettu. (Härkönen.)

#### Testausryhmä 3

Testausryhmä 3 on taloudellinen, se antaa mahdollisuuden käyttää satunnaista 25 % tai 10 % NDT-laajuutta mitoittaville hitseille. Yleensä painelaitteet kannattaa suunnitella käyttäen testausryhmää 3. Ryhmän hitsauslujuuskerroin on 0,85. Menetelmää ei



voi käyttää kaikille materiaaleille ja materiaalin maksimi paksuus on rajoitettu. (Härkönen.)

#### Testausryhmä 4

Testausryhmä 4 on tarkoitettu yksinkertaisille säiliöille, jotka valmistetaan helposti hitsattavista materiaaleista. Ryhmän hitsauslujuuskerroin on 0,7.

Materiaalin valinnan jälkeen määritetään suunnittelujännitys. Suunnittelujännitys on painelaitteen suurin sallittu kalvojännitys kaukana epäjatkuvuuskohdista. Se riippuu materiaalin lujuudesta ja tarkasteltavasta kuormitustilanteesta.

Ei-austeniittisten terästen suunnittelujännityksen määrittämisen perusteena, tavallisissa käyttöolosuhteissa, käytetään materiaalin murtolujuutta huoneenlämpötilassa ja 0,2 % venymärajaa tai myötölujuutta suunnittelulämpötilassa.

Austeniittisille teräksille käytetään suunnittelujännityksen määrittämisessä myötölujuuden sijaan 1 % venymärajaa. Jos materiaalin murtovenymä on yli 35 % ja murtolujuus korostetussa lämpötilassa tunnetaan, sovelletaan lisäksi pienempää varmuuskerrointa, jos murtolujuus ei määrää suunnittelujännitystä.

Lopuksi määritetään hitsauslujuuskerroin, joka on painelaitteen suunnittelujännityksen kerroin, jota käytetään kertomaan suunnittelujännitystä painelaitteen komponenteissa, joissa on mitoittavia hitsejä. Lujuuskerroin määräytyy painelaitteen tai kyseessä olevan hitsin testausryhmän mukaan.

Hitsittömille rakenteille, epätavallisille kuormituksille ja koeponnistustilanteessa käytetään lujuuskerrointa 1. (Härkönen.)

Mitoittavia hitsejä:

- Pitkittäiset tai kiertävät hitsit lieriössä
- Pitkittäiset hitsit kartiossa
- Kaikki päähitsit pallon muotoisessa painekuoressa
- Kaikki päähitsit kuperassa päädyssä

Mitoittavia hitsejä ei ole:

- Lieriöiden, kartioiden, laippojen, päätyjen tai niiden keskinäisten liitosten ympärishitsit, ellei komponenttia liitetä pallon muotoiseen komponenttiin
- Yhteiden liitoshitsit
- Hitsi, joihin kohdistuu pääasiassa puristusjännitys

### 6.3 Materiaali

Materiaalit tulee valita sen mukaan, että ne soveltuvat käytettäväksi valmistusmenetelmiin sekä sisältöihin ja ulkopuolisiin olosuhteisiin. Valmistuksen, kuljetuksen, testausten ja käytön aikaiset olosuhteet on otettava myös huomioon materiaalin valinnassa. Materiaalit on ryhmitelty niiden kemiallisen koostumuksen sekä valmistuksen ja testauksen jälkilämpökäsittelyiden perusteella. Paineenalaisissa osissa käytettäville materiaaleille on oltava standardin EN 10204 mukaiset aineodistukset. Materiaaleissa ei saa olla käyttöä haittaavia pinta- tai sisäisiä vikoja.

Teräksien kemiallinen koostumus ei saa ylittää taulukossa 14 esiintyviä arvoja, jos niitä aiotaan hitsata tai muovata.

**Taulukko 14** Hiili-, fosfori- ja rikki- ja rikkipitoisuuksien enimmäisarvot hitsattaviksi ja muovataviksi tarkoitetuilla teräksillä (SFS-EN 13445-2, taulukko 4.1-1)

Teräsryhmä (taulukon A.1-1 mukaisesti)	Enimmäispitoisuus sulatus- analyysissä		
	% C	% P	% S
Teräkset (1...6 ja 9)	0,23*	0,035	0,025
Ferriittiset ruostumattomat teräkset (7.1)	0,08	0,04	0,015
Martensiittiset ruostumattomat teräkset (7.2)	0,06	0,04	0,015
Austeniittiset ruostumattomat teräkset (8.1)	0,08	0,045	0,015 <sup>α</sup>
Austeniittiset ruostumattomat teräkset (8.2)	0,1	0,035	0,015
Austeniittis-ferriittiset ruostu- mattomat teräkset (10)	0,03	0,035	0,015

\* Enimmäispitoisuus tuoteanalyyseissä 0,25%  
<sup>α</sup> Koneistettaviksi tarkoitetuilla tuotteilla sallitaan sovittaessa hallittu rikkipitoisuus 0,015...0,030%, mikäli korroosionkestävyys on riittävä aiottuun käyttöön.

Materiaalin määrityksessä on otettava huomioon valmistusmenetelmän (kylmämuovausaste ja lämpökäsittely) ja käyttöolosuhteiden (vetyhauraus, korrosio, hilsei-

ly ja kylmämuovauksen jälkeinen vanheneminen) vaikutus materiaalin käytettävyyteen, etteivät ne vaikuta painesäiliön turvallisuuteen tai käyttöikään.

Liitoksissa tulee käyttää teräksiä, joilla on parannetut paksuussuuntaiset ominaisuudet, jos liitoksen muotoilu ja kuormitus aiheuttavat lamellirepeilyvaaran. (EN 13445-2.)

#### 6.4 Lämpökäsittely

##### Lämpökäsittely muovauksen jälkeen

Lämpökäsittelyt kylmä- ja kuumamuovauksen jälkeen tulee suorittaa standardin mukaisesti, tähän on sisällytettävä normalisointi, päästö, nuorutus, pehmeäsihekkutus tai liuotushekkutus. Edellä mainitut lämpökäsittelymenetelmät poistavat muovausprosessien vaikutukset. (Koivisto ym. 2006.)

##### Normalisointi

Normalisoinnissa terästä kuumennetaan normalisointilämpötilaan, jotta saataisiin aikaiseksi hienorakeinen ja tasainen ferriittinen, ferriittis-perliittinen tai perliittinen mikrorakenne. Normalisointi lämpötilassa pidettävä aika vaihtelee 0,5-2 tuntiin kappaleen koosta riippuen. Lopuksi kappaleen annetaan jäähtyä ilmassa. Normalisointi on tarkoitettu hitseille ja valu- ja takokappaleille. Sitä käytetään myös paineastioiden osien hehkuttamisessa. (Koivisto ym. 2006, 113.)

##### Päästö

Päästöllä tarkoitetaan sammutetun teräksen uudelleen kuumentamista korkeintaan 700°C:een kerran tai useammin. Hiiliterästen päästölämpötila on 180–200°C:tta ja pitoaika noin tunti. Päästöllä saadaan kappaleelle halutut ominaisuudet valitsemalla sopiva päästölämpötila ja – aika. (Koivisto ym. 2006, 103.)

## Nuorrutus

Nuorrutuksessa kappaletta kuumennetaan 0,5-1 tuntia, jotta se muuttuisi osittain tai kokonaan austeniittiseksi. Tämän jälkeen kappale sammutetaan öljyyn tai veteen, teräslajista riippuen. Sammutuksen jälkeen se päästetään, riippuen kovuudesta ja lujuudesta, 450–680 °C:sta. Päästöstä kappale jäädytetään ilmassa tai vedessä.

Nuorrutuksen tavoitteena on saada korkea myötölujuus, hyvä myötörajasuhde, hyvä väsymislujuus, alhainen transitiolämpötila ja painonsäästö. Näin saavutetaan hyvä lujuuden ja sitkeyden yhdistelmä. Nuorrutus onkin koneterästen tärkein lämpökäsittelymenetelmä. (Koivisto ym. 2006, 106–107.)

## Pehmeäksihehkutus

Pehmeäksihehkutuksessa kappaletta hehkutetaan 870 °C:sta noin viisi tuntia, jolloin teräksen kovuus ja lujuus pienenevät sekä sitkeys ja muovattavuus paranevat. Hehkutuksen jälkeen kappaleen annetaan jäähtyä tarpeeksi hitaasti, vain 10–30 °C/h, 600 °C:een asti. Tämän jälkeen kappaleen annetaan jäähtyä ilmassa.

Pehmeäksihehkutuksen tavoitteena on saada teräs pehmenemään lastuamista tai kylmämuovausta varten. (Koivisto ym. 2006, 113 ja 158.)

## Liuotushehkutus

Liuotushehkutuksessa metalliseoksella tulee olla suurempi liukoisuus lämpötilaa kohotettaessa. Kuumentamiseen soveltuu hyvin suolakylpyuuni, koska sen lämpötilaa pystytään säätämään tarkasti ja lämpö siirtyy nopeasti kappaleeseen. Lämpötilan tulee olla 1050 – 1100 °C. Tämän jälkeen kappale sammutetaan nopeasti huonelämpötilaan upottamalla se veteen tai öljyyn.

Liuotushehkutus parantaa mikrorakenteen tasalaatuisuutta. (Koivisto ym. 2006, 166–167.)

## Lämpökäsittely hitsauksen jälkeen (PWHT)

PWHT eli myöstö suoritetaan kirjallisen ohjeen mukaan, jossa kuvataan lämpökäsittelyprosessin kriittiset parametrit. Lämpökäsittelylaitteiden tulee olla sopivia kyseiseen lämpökäsittelyyn. Säiliö tulisi, jos mahdollista, lämpökäsittellä kuumentamalla se yhdessä vaiheessa, suljetussa uunissa. Jos hitsiin myöstön jälkeen tehdään vielä korjauksia, tulee lämpökäsittely suorittaa uudestaan korjausten jälkeen. Myöstöä tulee käyttää teräksille taulukon 15 mukaan täydentämään hitsausta. (SFS EN 13445-4.)

**Taulukko 15** Myöstö (SFS EN 13445-4, taulukko 10.1-1)

Perusaineryhmä	Teräs		Perusaineen lämpökäsittelytila	Myöstö			
	Laatuluokka tai tyyppi	Standardi		Nimellispaksuus $e_n^b$ mm	Pitoaika min	Pitolämpötila °C	
1.1	seostamattomat teräkset	EN 10028-2:2002  EN 10216-1:2002, EN 10216-2:2002, EN 10216-4:2002  EN 10217-1:2002, EN 10217-2:2002, EN 10217-4:2002:sta EN 10217-6:2002:een  EN 10222-2:2002	N tai NT	≤ 35c	30	550...600	
1.2				> 35 ≤ 90			$e_n - 5$
1.3	normalisoidut hienoraeteräkset	EN 10028-3:2002 EN 10216-3:2002 EN 10217-3:2002 EN 10222-4:2002		> 90			40 + 0,5 $e_n$
1.2	16Mo3	EN 10028-2:2002  EN 10216:2002  EN 10217:2:2002, EN 10217-5:2002  EN 10222-2:2002	N tai NT tai QT	35c	30	550...620	
				> 35 ≤ 90			$e_n - 5$
				> 90			40 + 0,5 $e_n$

5.1	13CrMo4-5d	EN 10028-2:2002 EN 10216-2:2002 EN 10222-2:2002	N tai QT	≤15	30	630...680
				> 15 ≤ 60	2e <sub>n</sub>	
				60	60 + e <sub>n</sub>	
5.2	10CrMo9-10e 11CrMo9-10e	EN 10028-2:2002 EN 10216-2:2002 EN 10222-2:2002	NT tai QT	Teräkselle 13CrMo4-5 määritetyt		670...720
				5.3	X16CrMo5-1	
5.4	X11CrMo9-1	EN 10216-2:2002	NT tai A	≤ 12	30	740...780
				> 12 ≤ 60	2,5 e <sub>n</sub>	
				> 60	90 + e <sub>n</sub>	
6.4	X20CrMoNiV11-1	EN 10216-2:2002 EN 10222-2:2002	NT tai QT	Teräkselle 11CrMo9-1 määritetyt		730...770
9.1 9.2	MnNi ja Ni-teräkset paitsi X8Ni9	EN 10028-4:2002 EN 10216-4:2002 EN 10222-3:2002	N tai NT tai QT	≤ 35 <sup>c</sup>	30	530...580
				> 35 ≤ 90	e <sub>n</sub> - 5	
				>90	40 + 0,5e <sub>n</sub>	
9.3	X8Ni9	EN 10028-4:2002 EN 10216-4:2002 EN 10222-3:2002	ks. Mate- riaa- listandar- di	Normaalisti hitsataan austeniittisella lisäaineella. Hiilikadon uhatessa on myöstöä vältettävä.		

<sup>a</sup> Perusaineen lämpökäsittelytilat: A = hehkutettu; N = normalisoitu; NT = normalisoitu ja päästetty; QT = nuorru-  
tettu

<sup>b</sup> Nimellispaksuus e<sub>n</sub>

<sup>c</sup> Paksuuksilla < 35 mm myöstö tarpeen vain erikoistapauksissa (esim. Jännityskorroosio- tai vetyhaurausriskin  
vuoksi)

<sup>d</sup> myöstöä ei vaadita, jos seuraavat ehdot on täytetty:

- putkien nimellishalkaisija < 120 mm ja nimellispaksuus < 13 mm

<sup>e</sup> Myöstöä ei vaadita, jos seuraavat ehdot on täytetty:

- putkien nimellishalkaisija < 120 mm ja nimellispaksuus < 13 mm ja suunnittelulämpötila >480 ° C

### Myöstö eli jännitystenpoistohehkutus

Myöstössä terästä kuumennetaan 550-750°C:ssa 1-2 tuntia, jotta kappaleen sisäiset jännitykset saataisiin poistettua tai vähennettyä merkittävästi. Lämmityksen jälkeen kappale jäädytetään 500°C:een niin hitaasti että jäähtymisessä ei synny uusia jännityksiä. Tämän jälkeen kappaleen voidaan antaa jäähtyä ilmassa.

Myöstöä käytetään mm. hitseihin, kylmämuovattuihin tai rouhintakoneistettuihin tuotteisiin tai muihin kappaleisiin, mihin on jäänyt haitallisia jäännösjännityksiä. Myöstöllä voidaan parantaa myös hitsattujen rakenteiden väsymiskestävyyttä. (Koivisto ym. 2006, 114.)

## 7 HISTORIATIETOJEN MALLINTAMINEN TUOTETYYPEITTÄIN

### 7.1 Tietojen etsiminen

Käytettyjen NDT - tuntien lukumäärät poimittiin työnumeron perusteella tietokannasta. Lämmönvaihtimet jaettiin korkeapaine-esilämmittimiin, matalapaine-esilämmittimiin, haihduttimiin, kaukolämmönvaihtimiin, dolezaleihin ja lipeän esilämmittimiin. Alla olevassa luettelossa on esitetty tiedot eri lämmönvaihdin tyypeille.

- pääosien materiaali
- lämpökäsittely
- tuotestandardi
- yhteitten lukumäärä
  - > 150 mm
  - < 150 mm
- halkaisija millimetreissä
- seinämäpaksuus millimetreissä
- lujuuskerroin (0.85 tai 1)
- päähitsien lukumäärä
- kehähitsien lukumäärä
- kartioiden lukumäärä
- palkeet
- laipallisia vai ei (lukumäärä)
- vaipan pituus millimetreissä
- radiografinen kuvaus tunneissa
- magneettijauh tarkastus tunneissa
- tunkeumanestetarkastus tunneissa
- visuaalinen tarkastus tunneissa
- ultraäänitarkastus tunneissa
- NDT-tunnit yhteensä

Päähitsin pituus laskettiin kaavalla

$$l = n \cdot \pi \cdot d + h \quad (1)$$

missä  $l$  = päähitsin pituus,  $n$  = kehähitsien lukumäärä,  $d$  = vaipan halkaisija ja  $h$  = vaipan pituus.

Otoksesta poistettiin epätyypilliset tai vajailla tiedoilla olevat työt. Näitä olivat esimerkiksi työt, joissa tarkastusta oli ollut muutamia tunteja tai työt, joissa tarkastustuntien



lukumäärä oli huomattavasti, syystä tai toisesta, suurempi kuin tuotetyypin muissa vastaavissa töissä.

Tietojen analysoinnin perusteella pyrittiin löytämään sopiva laskentakaava NDT- testaustuntien ennustamiseen. Hitsisaumojen tarkastusprosentteja tarkennettiin aina kymmenestä valitusta tuotetyypistä tarkemman laskukaavan löytämiseksi.

Liitteessä 1 on esitetty kymmenelle korkeapaine-esilämmittimelle tarkistetun hitsin pituuden laskeminen. Tarkistettavan hitsin pituuteen on huomioitu seuraavat parametrit: kappaleen halkaisija, halkaisijaltaan <150mm ja >150mm yhteiden tarkastusprosentit, laippojen tarkastusprosentit, vaipan pituus ja kehähitsien tarkastusprosentit.

Tarkistetun hitsin pituuden ja käytettyjen NDT - tuntien välille määritettiin korrelaatio käyttämällä Pearsonin tulomomenttikerrointa

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}, \quad (2)$$

missä  $\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})$  on muuttujien  $x$  ja  $y$  välinen kovarianssi,  $\bar{x}$  ja  $\bar{y}$  ovat muuttujien  $x$  ja  $y$  keskiarvot.

Korrelaatiokertoimen arvoksi saatiin 0,933053. Tarkistetun hitsin pituus selittää käytettyjä NDT- tunteja peräti  $r^2 = 0,933053^2 = 0,8714 = 87,14 \%$  verran.

Tulosten perusteella ennustemalliksi ajateltiin lineaarista riippuvuutta, jossa tarkastettavan hitsinpituus ja NDT- tunnit olisivat suoraan verrannollisia keskenään.

Ennustesuoran yhtälö on muotoa

$$y = kx + b, \quad (3)$$

missä  $k$  on suoran kulmakerroin,  $x$  on tarkastetun hitsin pituus ja  $b$  on suoran leikkauskohta  $y$ -akselin eli NDT- tuntien kanssa. Periaatteessa  $b$  arvo olisi oltava aina tasan nolla, koska jos ei ole tarkastettavaa hitsiä, niin ei myöskään tarkastustunteja pitäisi olla.

Ennustesuoran yhtälöksi saatiin  $y = 0,00171093 \cdot x + 26,3$ . Ennustemalli antaa kaikille tarkistettaville kappaleille 26,3 tuntia, jota ei pystytä selittämään.

Seuraavaksi Pearsonin kaavaa sovellettiin yksinkertaisemmin vain halkaisijaan, kehähitsin tarkastusprosenttiin ja vaipan pituuteen. Korrelaatiokertoimeksi saatiin 0,9262 ja tämä selittää tarkastetun hitsin pituuden NDT-tunteja jopa  $r^2 = 0,9262^2 = 0,8578 = 85,78 \%$  verran.

Ennustesuoran yhtälö on muotoa  $y = 0,00199524 \cdot x + 28,2$ , mikä ei ole sen parempi kuin edellinenkään yhtälö.

Seuraavaksi käytettiin samoja parametreja kuin ensimmäisessäkin kokeilussa. Erona näiden kahden laskun välillä on  $< 150$  mm ja  $> 150$  mm halkaisijaltaan olevien yhteiden laskukaavassa käytetyt arvot. Tämä johtuu siitä, että yhteiden halkaisijoita ei vielä tässä vaiheessa ole tarkennettu ja ensimmäisessä laskussa halkaisijana käytettiin molemmissa tapauksissa 150 mm ja tässä kyseisessä laskussa taas  $< 150$  mm halkaisijaltaan olevien yhteiden mittana käytettiin 100 mm ja  $> 150$  mm halkaisijaltaan olevien mittana käytettiin 200 mm.

Korrelaatiokertoimeksi saatiin 0,934717, joka poikkeaa ensimmäisestä laskusta vain 0,001664 verran, suoranyhtälökin oli miltei sama niin kuin liitteestä 1 voi huomata.

Seuraavaksi kokeiltiin vain parametreja, missä on 100 % tarkastusta, jos tämä olisikin selittävin tekijä NDT-tuntien ennustuksessa. Parametreja olivat kehähitsin 100 % tarkastus, yhteiden  $< 150$  mm ja  $> 150$  mm halkaisijaltaan olevat 100 % tarkastusta vaativat ja laipallisten yli 100 % tarkastusta vaativat kappaleet. Laskussa kuitenkin käytettiin yhteiden halkaisijana 150 mm.

Korrelaatiokertoimeksi saatiin 0,929918 ja tämäkin selittää tarkastetun hitsin pituuden NDT-tunteja vain  $r^2 = 0,929918^2 = 0,8647 = 86,47 \%$  verran. Suoranyhtälö on muotoa  $y = 0,0066493 \cdot x + 26,1$ .

Lopuksi Pearsonin kaavaa sovellettiin vain halkaisijaan, hitsien lukumäärään, yhteiden lukumäärään ja vaipan pituuteen. Tällä tavalla korrelaatiokertoimeksi saatiin vain 0,651393, mikä selittää NDT-tunteja vain  $r^2 = 0,651393^2 = 0,4243 = 42,43 \%$ .

Suoranyhtälö on tällöin muotoa  $y = 0,00646902 \cdot x + 10,68$ .

Mikään edellä mainituista yhtälöistä ei ole riittävän tarkka NDT-tuntien ennustamiseen, tämän vuoksi tietoja tarkennettiin. Tietokannasta ja piirustuksista etsittiin jokaiselle tuotetyypin kymmenelle tarkennetulle kappaleelle yhteen halkaisija tarkentamaan laskuja. Tarkennetuista tiedoista tehtiin lineaarinen ja eksponentiaalinen sovitukset.

## 7.2 Laskut osa 2 (esimerkkinä KP)

Aluksi laskettiin yhteiden halkaisijoiden ja tarkastusprosenttien, ja hitsien lukumäärän ja tarkastusprosenttien avulla tarkastettava hitsin pituus kuten liitteessä 2 on esitetty.

Tämän jälkeen tuloksiin sovellettiin Pearsonin tulomomenttikerrointa, korrelaatiokerroimen arvoksi saatiin 0,93053847. Tarkastetun hitsin pituus selittää käytettyjä NDT-tunteja  $r^2 = 0,93053847^2 = 0,8659 = 86,59\%$  verran. Linearisessa sovituksessa suoran yhtälö on muotoa  $y = 0,0016828 \cdot x + 27,8$ . Ennustemalli on miltei sama kuin ilman yhteiden halkaisijoiden tarkennusta.

Eksponentiaalisen sovituksen suoran yhtälö on muotoa

$$y = ke^{bx} \tag{4}$$

missä  $k$  on suoran kulmakerroin,  $x$  tarkastetun hitsin pituus,  $e$  on eksponentti ja  $b$  on suoran leikkauskohta  $y$ -akselin eli NDT-tuntien kanssa. Eksponentiaalisen yhtälön suora on muotoa  $y = 33,68 \cdot e^{0,000025566 \cdot x}$ , mikä ei ole sen parempi kuin lineaarinen sovitukseen, yhtälö menee vain monimutkaisemmaksi ja ennustetunnit ovat miltei samat lineaarisessa kuin eksponentiaalisessa sovituksessa niin kuin liitteestä 2 näkyy.

Kokeillut ennusteet eivät ole riittävän tarkkoja eikä tulosten heittoa pystytä täysin selittämään, joten asiaa alettiin tarkastella yksinkertaisemmalta kantilta. Seuraavaksi NDT-tunteihin sovellettiin perustilastomatematiikkaa.

## 8 TULOKSET

NDT-tunteihin sovellettiin tilastomatematiikkaa ja tunneista laskettiin ensin keskiarvo kaavalla

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (5)$$

missä  $x_i$  on yksittäinen havainto ja  $n$  on havaintojen lukumäärä. Keskiarvon jälkeen NDT-tuntiarvoista laskettiin keskihajonta alla olevalla kaavalla

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6)$$

tämän jälkeen pystyttiin määrittämään keskiarvon keskivirhe alla olevalla kaavalla

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Tuloksiin sovellettiin 95 %, 99 % ja 99,9 % luottamusvälejä. Jokaisella luottamusvälillä on oma kriittinen arvo, jota käytetään kaavassa

Luottamustaso	95 %	99 %	99,9 %
Kriittinen arvo(kr)	1,96	2,58	3,29

$$\bar{x} - kr \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + kr \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

missä  $\bar{x}$  on keskiarvo,  $kr$  on kriittinen arvo,  $s$  on keskihajonta ja  $n$  havaintojen lukumäärä. Esimerkiksi korkeapaine-esilämmittimen NDT-tunneille laskettiin yllä olevalla kaavalla 95 %, 99 % ja 99,9 % luottamusvälit.

95 % luottamusväli antaa arvoksi  $45 \pm 6$  tuntia eli tämä tarkoittaa sitä, että NDT:hen käytetyt tuntimäärät vaihtelevat 39 tunnin ja 51 tunnin välillä ja 95 % havainnoista on kyseisten tuntien sisällä. Vain joka 41 laite ylittää 51 tunnin rajan ja näin ollen se tuottaisi mahdollisesti tappiota yritykselle.

99 % luottamusväli antaa arvoksi  $45 \pm 7$  tuntia eli 99 % prosenttia havainnoista on 38 tunnin ja 52 tunnin välillä. Vain joka 208. laite ylittää kyseisen tuntimäärän.

99,9 % luottamusväli antaa arvoksi  $45 \pm 10$  tuntia, jolloin tuloksista 99,9 % on 35 tunnin ja 55 tunnin välillä ja vain joka 2200. laite ylittää kyseisen tuntimäärän.

Eli jos asiakkaalle sanotaan, että korkeapaine-esilämmittimen NDT-tarkastukseen menee 55 tuntia, vain joka 2200. laite ylittäisi tämän tuntimäärän ja tekisi firmalle tappiota. Tuntimäärä tulee tietysti alittamaan 55 tunnin rajan yleisemmin kuin ylittämään, mikä on eduksi firmalle. Loppujen lopuksi tulos voi myös olla plus-miinus-nolla tulevasta tarkastusajoista riippuen.

## 8.1 Lopputulos

Kaikkien laitetyyppien laskut ja tulokset on esitetty liitteessä 3 tarkemmin. Taulukossa 16 on kuitenkin yhteenvedona esitetty kaikkien laitetyyppien tulokset 95 %, 99 % ja 99,9 % luottamusväleillä. Taulukossa on esitetty kunkin laitetyypin todennäköisyydet tunneissa sekä laskettu testausaikojen väli.

Taulukko 16 Yhteenveto tuloksista

Laitetyyppi		Luottamusväli		
		95 %	99 %	99,9 %
<b>Korkeapaine-esilämmitin</b>	1	45 ± 6	45 ± 7	45 ± 10
	2	39 h - 51 h	38 h - 52 h	35 h - 55 h
<b>Kaukolämmönvaihdin</b>	1	72 ± 9	72 ± 12	72 ± 15
	2	63 h - 81 h	60 h - 84 h	57 h - 87 h
<b>Haihduutin musta rauta</b>	1	101 ± 20	101 ± 26	101 ± 33
	2	81 h - 121 h	75 h - 127 h	68 h - 134 h
<b>Haihduutin kirkas rauta</b>	1	133 ± 51	133 ± 67	133 ± 85
	2	82 - 184 h	66 - 200 h	48 - 218 h
<b>Lipeän esilämmitin</b>	1	46 ± 5	46 ± 6	46 ± 8
	2	41 h - 51 h	40 h - 52 h	38 h - 54 h
<b>Matalapaine-esilämmitin</b>	1	47 ± 42	47 ± 55	47 ± 70
	2	5 h - 89 h	0 h - 102 h	0 h - 117 h
<b>Huom!</b> 1 Todennäköisyys (h) 2 Testausaikojen väli				

## 9 HINNOITTELUMALLIN LUOMINEN

Tulokset liitettiin yrityksen muiden hinnoittelumallien jatkeeksi. Vaikka tulokset eivät olleetkaan tarkkoja, ovat ne kuitenkin suuntaa antavia ja näin myyjät pystyvät arvioimaan edes suunnilleen NDT-tarkastukseen kuluvan ajan ja kustannuksen.

Tavoitteena oli luoda laskentalehti Excelillä, johon valittuja tietoja syöttämällä ohjelma laskisi kyseiselle kappaleelle NDT:hen kuluvan ajan ja tätä kautta pystyttäisiin määrittämään NDT kustannus.

Tulosten yksinkertaisuuden takia tämä ei ole tarpeen ja kunkin kappaleen NDT-tuntimäärä liitetään jo olemassa oleviin laskentalehtiin kiinteänä kustannuksena.

Yritys pystyy jatkossa itse tarkentamaan tuloksia lisäämällä aina kunkin toteutuneen projektin NDT tuntimäärän taulukon jatkeeksi. Tätä varten kuitenkin tehdään Excel-taulukko, joka on esitelty liitteessä 4, joka laskee aina uuden tuntimäärän, kun siihen lisätään arvoja. Tuntimäärän muuttuessa voi yritys muuttaa laskentalehtiin tarkennettun NDT-tuntimäärän. Otannan suurentuessa tulisi tuntimääränkin tarkentua.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ensimmäiset laskentakaavat ennustemallin luomiseen antavat tuloksia, joista osaa ei pystytä matemaattisesti selittämään. Tämä tulosten heitto ja huono korrelaatio voivat johtua työjärjestelyistä. NDT-tarkastuksia ei aina päästä suorittamaan silloin, kun se työn jatkumisen kannalta olisi parhainta. Tarkastettavat kappaleet ovat yleensä suuria eikä niitä voida aina siirtää paikkaan, missä tarkastuksen voisi suorittaa heti, vaan kappale on tarkistettava siellä missä se on. Tämä voi aiheuttaa turhaa odottelua, koska kappale täytyy päästä tarkastamaan, niin etteivät muut työntekijät häiritse tarkastusta. Toisin sanottuna myös NDT-tarkastajille on annettava työrauha ja näin ollen toisten tekeminen keskeytyy. NDT-tarkastukset tulisikin mieltä etukäteen, niin ettei siitä koidu turhia työnseisauksia.

NDT-tarkastuksista onkin syytä sopia etukäteen hitsaajien kanssa, jotta tarkastukset voitaisiin tehdä mahdollisimman nopeasti, jotta mahdollisille korjauksille jää aikaa eikä hitsauksen ja tarkastuksen välille jää liian pitkiä aikavälejä, näin mahdollistetaan tehokkuus, toimitettavuus ja pysytään aikataulussa. Esimerkiksi radiografiset tarkastukset on syytä sopia etukäteen säteilyvaaran vuoksi.



## LÄHTEET

Julkaistut lähteet:

ASME, Hitsausliitosten magneettijauhetarkastus, IP-171, Rev.5

ASME, Hitsausliitosten radiografinen tarkastus, IP-173, Rev. 3

ASME, Hitsausliitosten silmämääräinen tarkastus, IP-154, Rev.4;

ASME, Hitsausliitosten tunkeumanestetarkastus, IP-172, Rev. 6

ASME, Hitsausliitosten ultraäänitarkastus, IP-174, Rev.2

Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomiokoski, J. 2006. Konetekniikan materiaalioppi. 10.-11.painos. Helsinki: Edita Prima Oy

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2005. Tekniikan kaavasto. 5. uudistettu painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Seppänen, R., Kervinen, M., Parkkila, I., Karkela, L. & Meriläinen, P. 2006. Maol-taulukot. 2.-3. painos. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy

SFS-EN 571–1:1997. Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus. Osa 1: Yleisperiaatteet. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 970:1997. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 1289:1998. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 1290:1998. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien magneettijauhetarkastus. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 1291:1998. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien magneettijauhetarkastus. Hyväksymisrajat. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 1435:1997. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten radiografinen kuvaus. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 1712:1997. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus. Hyväksymisrajat. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 1714:1997. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 13445-2:2002. Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 2: Materiaalit. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 13445-4:2002. Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 4:Valmistus. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 13445-5:2002. Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 5: Tarkastus ja testaus. 2. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

#### Haastattelut:

Härkönen, Eero-Matti 2011. Suunnittelija. Sahala Works Oy. Varkaus 22.6.2011. Haastattelu.

Mikkonen, Ari 2011. Matemaattisten aineiden lehtori. Savonia ammattikorkeakoulu. Varkaus 24.8, 6.9, 27.9, 30.9 & 6.10.2011. Haastattelu.

Löppönen, Markku 2011. Lujuuslaskija. Sahala Works Oy. Varkaus 31.5.2011. Haastattelu.

Palonen, Pekka 2011. Laatu päällikkö. Sahala Works Oy. Varkaus 25.5, 5.8, 24.8 & 30.9.2011. Haastattelu.

#### Internet-lähteet:

Sahala Works Oy www-sivu [viitattu 15.5.2012]. Saatavissa: <http://www.sahala.fi/>

Suominen, M. 2011. Non Destructive Testing: NDT-tarkastajan ammatti ja rekrytointi [verkkojulkaisu]. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö [viitattu 30.5.2011]. Saatavissa:

[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25069/Suominen\\_Marko\\_OT\\_2011.pdf](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25069/Suominen_Marko_OT_2011.pdf)

Muut:

Härkönen, E-M., 2011. Lämmittämättömät painesäiliöt: Mitoitus. Sahala Works Oy. Varkaus: Sahala Works Oy

