

Lauri Järvi

NDT-tarkastukset laitesuunnittelussa

Materiaalin luominen Outotec Engineering Handbookiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööriytyö

17.9.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Lauri Järvi NDT-tarkastukset laitesuunnittelussa Materiaalin luominen Outotec Engineering Handbookiin 26 sivua + 1 liite 17.9.2013
Tutkinto	Insinööri
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaajat	Osastopäällikkö Pekka Mattila, Outotec Finland Oy Lehtori Juha Kotamies, Metropolia ammattikorkeakoulu
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tuottaa teknistä materiaalia työn tilaajan Outotec Oyj:n Engineering Handbookiin. Engineering Handbook toimii valmistuttuaan käsikirjana suunnittelijan apuna projektien suunnittelun eri vaiheissa. Tässä insinööriyössä keskityttiin siihen, mitä suunnittelijan tarvitsee ottaa huomioon ainetta rikkomattomista eli NDT-tarkastuksista koneen suunnittelu- ja valmistusprosessissa.</p> <p>Engineering Handbookiin tuleva materiaali laadittiin kuunnellen yrityksen työntekijöiden toiveita käsiteltävistä asioista. Työn tueksi perehdyttiin kahden Outotecin projektin suunnitteluprosessiin. Projektien tarkastelussa keskityttiin lähinnä niitä koskeviin NDT-tarkastuksiin. Haastattelut Outotecin eri osastojen asiantuntijoiden kanssa antoivat myös näkökulmaa työhöni. Lisäksi omasta kokemuksestani NDT-tarkastajana on ollut merkittävä apu tämän insinööriyön tekemisessä.</p> <p>Työn liitteenä oleva Engineering Handbookiin tuleva materiaali laadittiin työn raportointiosassa tehtyjen selvitysten pohjalta. Lopputuloksena syntyi suunnittelijalle materiaali, joka antaa perustiedot NDT-tarkastuksista sekä lähtökohdat NDT-tarkastusten tarkempaan tutkimiseen ja huomioimiseen koneen suunnittelu- ja valmistusprosessissa. Koska NDT-tarkastukset ovat yksilöllisiä ja projektikohtaisia, materiaalin tarkoituksena ei ole antaa suoraa vastausta esimerkiksi siitä, mitä tarkastusmenetelmää tulee käyttää tietyssä yksittäisessä projektissa.</p>	
Avainsanat	Engineering Handbook, NDT, Koneensuunnittelu

Author(s) Title Number of Pages Date	Lauri Järvi NDT-Inspections in Design Engineering Creating Material for Outotec Engineering Handbook 26 pages + 1 appendix 17 August 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Machine Automation
Instructor(s)	Pekka Mattila, Department Manager, Outotec Finland Oy Juha Kotamies, Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to become a part of Outotec's Engineering Handbook. Engineering Handbook will be a manual which helps the designer during the design phases of projects. This Bachelor's thesis focuses on what the designer needs to take account of the non-destructive inspection (NDT) of the machine's design and manufacturing process.</p> <p>The material of Engineering Handbook was collected by interviewing the employees of Outotec. Furthermore, research material was gathered by assisting in two Outotec's design project processes. In these projects, the main focus of exploring was on non-destructive inspections. Interviews with Outotec experts from different departments also gave a perspective on this thesis. In addition, my own experience as a NDT inspector has been a significant help during the preparation of this thesis.</p> <p>As the result of the project, material for design engineers was created which provides basic information about non-destructive inspections, as well as starting points for more precise knowledge of NDT-inspection at the design and manufacturing process. NDT inspections are individual and project-specific, and therefore the material does not give a direct answer to, for example which inspection method should be used for a given project.</p>	
Keywords	Engineering Handbook, NDT, Product design

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Outotec yrityksenä	2
3	NDT-tarkastukset	3
4	Tarkastusmenetelmän valintaprosessi	4
4.1	Standardit ja direktiivit	5
4.1.1	Kansainväliset, eurooppalaiset ja kansalliset standardit	6
4.1.2	ASME ja PED	7
4.1.3	Sovellusstandardit	8
5	CE-merkintä	9
5.1	CE-merkinnän hankintaprosessi	10
5.2	CE-merkinnän muuttuminen pakolliseksi teräsrakenteissa	10
5.2.1	Standardit SFS-EN 1090-1+A1 ja SFS-EN 1090-2+A1	11
5.2.2	Toteutusluokat ja niiden vaikutus NDT-tarkastuksiin	14
6	Engineering Handbook	18
6.1	Haastattelut	18
6.2	Työn tukena käytetyt referenssituotteet	19
6.2.1	OKTOP® Reactor Family	20
6.2.2	Autoclave -paineliuotusreaktori	22
7	Yhteenveto	23
	Lähteet	25

Liitteet

Liite 1. NDT-tarkastukset Outotec Engineering Handbookissa

Lyhenteet ja määritelmät

ASME	American Society of Mechanical Engineers. Amerikkalainen standardisoimisjärjestö.
CE	Conformité Européene. Tuotteen turvallisuusmerkintä, jonka avulla valmistaja vakuuttaa tuotteen täyttävän sitä koskevien EU:n direktiivien vaatimukset.
EN	Eurooppalaisen CEN-standardisoimisjärjestön kehittämä standardijärjestelmän tunnus.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardisoimisjärjestö ja järjestön kehittämän standardijärjestelmän tunnus.
ITP	Inspection Testing Plan. Tuotteen laadunvarmennusta varten tehtävä dokumentti.
NDT	Non destructive testing. Materiaalin ainetta rikkomaton tarkastus.
PED	Pressure Equipment Directive. EU:n asettama painelaitedirektiivi, joka asettaa vaatimuksia painelaitteen suunnittelulle ja valmistukselle.
SFS	Suomalainen standardisoimisjärjestö ja järjestön kehittämän standardijärjestelmän tunnus.
Spesifikaatio	Dokumentti joka määrittää tuotetta koskevat tekniset vaatimukset valmistajalle ja asiakkaalle.
Toteutusluokka	Luokiteltu kokoelma toteutukselle eriteltyjä vaatimuksia, jotka voivat koskea koko projektia, yksittäistä kokoonpanoa tai kokoonpanon yksityiskohtaa.

1 Johdanto

Outotec Oyj on maailmanlaajuisesti toimiva teknologiayhtiö, joka toimittaa metallurgisia laitoksia ja prosesseja mineraalien jalostukseen. Osaamisalue teknologiaratkaisuissa kattaa koko tuotantoketjun, mineraalien rikastamisesta valmiisiin metalleihin sisältäen suunnittelun, valmistuksen, asennuksen ja huollon. [1]

Ainetta rikkomattomalla testauksella (eng. non-destructive testing, NDT tai toisinaan non-destructive evaluation, NDE) tarkoitetaan aineenkoestusta, jossa tarkastettava kappale ei testauksen aikana koe muodonmuutoksia tai vahingoitu käyttökelvottomaksi. Testausmenetelmät ovat yleisesti käytössä teollisuudessa laadunvarmistuksen työkaluina valmistuksen yhteydessä, sekä käytön aikaisissa kunnossapitotarkastuksissa. [2]

Outotec Engineering Handbook tulee olemaan valmistuttuaan suunnittelijoille lanseerattu käsikirja, jonka tarkoituksena on koota yhteen lähteeseen mahdollisimman kattava suunnittelijan tarvitsema tieto projektin suunnittelu- ja valmistusprosessissa. NDT:n osalta suunnittelijan on tunnettava eri NDT-menetelmiä ja tiedettävä, miten suunnittelussa tapahtuvat päätökset vaikuttavat tuotteisiin tehtäviin tarkastuksiin.

Tietoa tarvitaan opastamaan suunnittelijoita projekteissa ja saamaan yhtenäinen ohjeistus Outotecin koko organisaatioon maailmanlaajuisesti. Työn lähtökohtana oli se, ettei NDT-tarkastuksista ollut teknistä materiaalia, joten päätavoitteeksi asetettiin selkeän ja yksinkertaisen materiaalin luominen, jossa käydään läpi perustiedot NDT-tarkastuksista ja niiden valintaperusteista. Toiseksi kriteeriksi asetettiin materiaalin toimivuus kansainvälisellä tasolla ja mahdollisimman monessa projektissa. Työ tehtiin perehtymällä ensin yrityksen työntekijöiden tarpeisiin, selvittämällä NDT-tarkastusten nykytilanne yrityksessä ja sen jälkeen kokoamalla tarvittava materiaali NDT-tarkastuksista Outotec Engineering Handbookiin. Materiaali laadittiin työn raportointiosassa tehtyjen selvitysten pohjalta. Raportointiosan alussa käsitellään NDT-tarkastuksia ja niiden valintaan vaikuttavia tekijöitä, kuten eri standardeja, jotka omalta osaltaan vaikuttavat NDT-tarkastuksiin. CE-merkinnän hankintaprosessi on otettu mukaan työhön, koska merkinnän tuleva lakiuudistus vaikuttaa merkittävästi NDT-tarkastuksiin. Tämän insinööriyön lopputulos, Engineering Handbookin tekninen materiaali on esitetty liitteessä 1.

2 Outotec yrityksenä

Outotec Oyj toimii kansainvälisenä mineraali- ja metalliteollisuuteen keskittyvänä teknologian kehittäjänä ja toimittajana. Osaamisalue teknologiaratkaisuissa kattaa koko tuotantoketjun, mineraalien rikastamisesta valmiisiin metalleihin. Asiakkaille tarjotaan maailmanlaajuisesti tehtaita, laitteita, prosesseja sekä suunnittelu-, projekti- ja tukipalveluja. [2]

Outotecillä on toimintaa 27 eri maassa ja kuudella eri mantereella. Toimituksia Outotec tekee yli 80 maahan. Yrityksessä on palkattuna 4 805 työntekijää (2012 vuoden lopussa), joista Suomessa noin 25 %. Outotecin liikevaihto vuonna 2012 oli 2 087,4 miljoonaa euroa. [3]

Outotec Oyj:n toiminta on jaettu kahteen eri toiminta-alueeseen, Minerals Processing- ja Metals, Energy & Water -toimintoihin, jotka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Outotec Oyj:n liiketoiminnot. [2]

MINERALS PROCESSING	METALS, ENERGY & WATER
Rikastamot	Värimetallien tuotanto
Hienonnus	Rautametallien ja -ferroseosten tuotanto
Vaahdotus	Kevytmetallien tuotanto
Vedenpoisto	Uusiutuvan ja vaihtoehtoisen energian tuotanto
Palvelut	Teollisuusvesien käsittely
Käyttö ja kunnossapito	Palvelut
	Käyttö ja kunnossapito

Mineral processing -toiminnot sisältävät pääasiassa mineraalien rikastamis- ja prosessiteknologioita. Tarjonta ulottuu esisoveltuvuustutkimuksista kokonaiseen tuotantolaitokseen ja niiden elinkaaripalveluihin. Metals, Energy & Water -toiminnot tarjoavat ratkaisu-

ja metallinjalostukseen, uusiutuvan energian tuotantoon ja teollisuusvesien käsittelyyn. Metals sisältää ratkaisuja lähes kaikentyyppisten malmien ja rikasteiden jalostamiseen metalleiksi. Energy tarkoittaa ratkaisuja sekä uusiutuvan että uusiutumattoman energian tuotantoon eri polttoaineille, kuten biomassalle hiilelle, lietteelle, maatalouden ja teollisuuden sivutuotteille sekä lajitellulle jätteelle. Lisäksi tarjolla on ratkaisuja öljyn erottamiseksi öljyliuskeesta ja fosforin kierrätykselle puhdistamolietteen tuhkasta. Lisäksi Water sisältää ratkaisuja teollisten prosessi- ja jätevesien käsittelyyn. Ratkaisujen avulla ympäristön päästönormit täytetään, vesien kierrätys tehostuu sekä veden ja energian kulutus pienenee. Metals, Energy & Water -toimintojen tarjonnan laajuus on niin ikään sama kuin Mineral processing -toiminnoissa. [3]

3 NDT-tarkastukset

NDT-tarkastuksia käytetään yleisesti teollisuuden asennustöiden laadunvalvonnassa sekä eri teollisuudenalojen tuotteiden laadunvarmennuksessa valmistuksen yhteydessä. Tarkastukset toimivat tuotteen laadun ylläpitomittareina, niiden avulla voidaan säilyttää haluttu laatuvaatimustaso tai parantaa sitä. Suurin osa tarkastettavista kohteista on erityyppisiä hitsausseamoja. Niissä sijaitsevat viat voivat olla esimerkiksi halkeamia, säröjä, huokosia tai muita poikkeamia. On tärkeää, että mahdolliset viat havaitaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa valmistuksen yhteydessä, jolloin vika ei ole vielä aiheuttanut merkittävää vahinkoa ympäristölleen. Mitä myöhempään vika pysyy näkyvässä, sitä kalliimmaksi sen korjaaminen tulee ja pahimmillaan tämä ilmenee tuotteen takuukorjauksina tai takaisinkutsuntoina.

Erilaisia tarkastusmenetelmiä ja niiden erilaisia sovellusmenetelmiä on olemassa lukuisia. Kuitenkin useimmat NDT-tarkastukset tehdään käyttäen muutamaa yleisintä tarkastusmenetelmää. Nämä tarkastusmenetelmät ovat

- silmämääräinen tarkastus
- tunkeumanestetarkastus
- magneettijauhetarkastus
- radiografinen tarkastus
- ultraäänitarkastus.

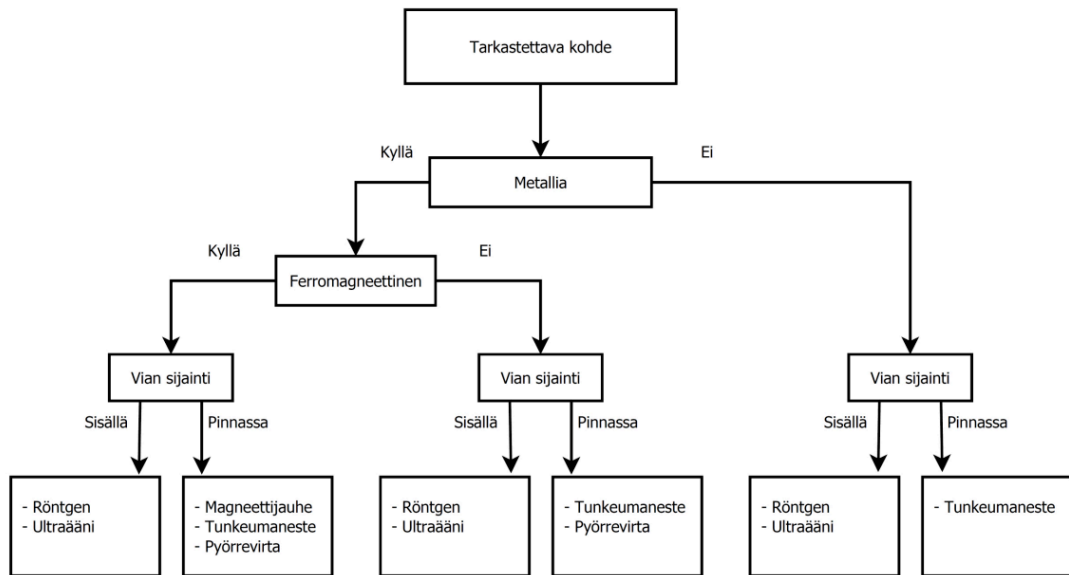
Itse tarkastusmenetelmistä löytyy tarkempi selvitys tämän työn lopputuotoksesta, Engineering Handbookin materiaalista. Handbook-materiaali on työn lopussa liitteenä.

NDT-tarkastusten ohella kappaleeseen voidaan tehdä myös ainetta rikkovia tarkastuksia, eli DT-tarkastuksia. Ainetta rikkomattomilla sekä ainetta rikkovilla menetelmien ero on siinä, mitä tarkastuksilla voidaan tarkastettavasta kappaleesta todeta. Rikkovilla menetelmillä tarkastetaan pääsääntöisesti materiaalin mekaanisia ominaisuuksia ja käyttäytymistä esim. standardin vaatimukseen nähden. NDT-menetelmät mittaavat taas erinomaisesti tuotteen laatua valmistuksen yhteydessä. NDT-menetelmillä tarkastettava kappale ei joudu myöskään fyysiseen rasitukseen, joten tarkastus ei vaikuta heikentävästi tuotteen keskeisiin mekaanisiin ominaisuuksiin. [4, s.7.]

4 Tarkastusmenetelmän valintaprosessi

NDT-tarkastukset voidaan luokitella valmistuksenaikaisiin tarkastuksiin sekä käytön aikaisiin tarkastuksiin. Valmistuksen aikaisilla tarkastuksilla etsitään valmistuksessa syntyneitä valmistusvirheitä ja käytön aikaisissa tarkastuksissa etsitään tuotteen käytössä syntyneitä vaurioita. Valmistusvirheet voivat olla joko sisäisiä tai pinnassa sijaitsevia virheitä. Virheet ovat saattaneet syntyä esimerkiksi liittämisen, raaka-aineen valmistuksessa, koneistamisessa tai lämpökäsittelyssä. Tuotteen käytön aikana syntyneet vauriot esiintyvät useimmiten pinnassa (esimerkiksi säröt, kulumat, korroosio), mutta käytön aikana syntyneet sisäiset virheet ovat myös mahdollisia (esimerkiksi viiruminen). Tarkastusta suorittaessa tarkastajan tulisi tietää millaisia kriittisiä vikoja kohteessa on, sillä haettava virhetyyppi on tärkein menetelmän valintaan vaikuttava tekijä. Tutkittavan virhetyypin lisäksi valintaan vaikuttavat perusaineen materiaali, hitsausprosessit, liitosmuoto, kappaleen muoto ja käsittely. Mikäli kohteen sijainti tai olosuhteet ovat epäedulliset tarkastusmenetelmän kannalta, voivat ne myös rajoittaa käytettävissä olevia menetelmiä. Standardi SFS-EN ISO 17635 *Non-destructive testing of welds. General rules for metallic materials* opastaa menetelmän valintaa hitsien tarkastamiseksi eri materiaaleilla. [5, s. 10.]

Kuvassa 1 on tehty karkea jako NDT-menetelmän valinnasta. Valintapuu mukaillee standardia SFS-EN ISO 17635. Kuvassa ei ole mainittu erikseen visuaalista tarkastusta. Visuaalinen tarkastus tulee suorittaa aina ennen muita menetelmiä.



Kuva 1. NDT-menetelmien valinnan muodostuminen mukaillen standardia SFS-EN ISO 17635 *Non-destructive testing of welds. General rules for metallic materials*. [6, s. 15.]

Standardit ja direktiivit määrittävät pitkälti kohteiden tarkastusmenetelmät, tarkastuslaajuudet ja hyväksymisrajat, joten NDT-tarkastusmenetelmää ei voi valita pelkästään oman harkintakyvyn mukaan. Tuotteen valmistusvaiheessa tehtäviin tarkastuksiin ei kuitenkaan välttämättä ole standardissa ohjetta, jolloin tarkastusmenetelmiä joudutaan soveltamaan tarkastettavaan kohteeseen. Tällöin NDT:stä vastaava voi itse määritellä puuttuvilta osin esitettävät tarkastusmenetelmät ja hyväksymisrajat kohteelle. [4, s. 28.]

4.1 Standardit ja direktiivit

Standardisointi on yhteisten toimintatapojen laatimista. Sen tarkoituksena on helpottaa viranomaisten, elinkeinoelämän ja kuluttajien elämää. Standardeilla lisätään tuotteiden yhteensopivuutta ja turvallisuutta, suojellaan kuluttajaa ja ympäristöä sekä helpotetaan kotimaista ja kansainvälistä kauppaa. Standardit vaikuttavat merkittävästi NDT-tarkastuksiin niiden asettaessa vaatimuksia kappaleiden tarkastuslaajuuksille, NDT-tarkastajien henkilöiden pätevyyksille, tarkastusmenetelmien suorittamiselle, sekä tarkastusten hyväksymisrajoille. [7, s. 26.]

Standardit on jaettu kansainvälisiin, alueellisiin ja kansallisiin tasoihin. Kansainvälisesti vaikuttaa standardisointijärjestö ISO (International Organization for Standardization),

eurooppalainen standardisoimisjärjestö CEN julkaisee EN-standardeja alueellisesti Euroopan tasolla ja Suomen kansallisena standardisoimisjärjestönä toimii Suomen Standardisoimisliitto SFS. Lisäksi Yhdysvalloissa vaikuttavat ASME (American Society of Mechanical Engineers), sekä ANSI (American National Standards Institute) standardisoimisjärjestöt, joista ASME on keskittynyt koneenrakentamiseen. ASME-standardit ovat laajalti käytössä maailmanlaajuisesti; suurimman suosion on saanut painelaitteissa yleisesti käytössä oleva *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*. [8]

4.1.1 Kansainväliset, eurooppalaiset ja kansalliset standardit

Maailman suurin standardisoimisjärjestö on ISO (International Organization for Standardization). ISO ei ole minkään hallituksen alainen, mutta standardiensa välityksellä sillä on merkittävä vaikutusvalta. ISO:n jäseniä ovat kansalliset standardisoimisjärjestöt, yksi kustakin maasta. ISO:n jäsenmaat voivat ottaa ISO-standardin käyttöön vapaaehtoisesti joko sellaisenaan tai käännöstyön ja mahdollisen muokkaustyön jälkeen hyväksyttynä kansallisena standardina. Eurooppalainen standardisoimisjärjestö CEN julkaisee standardit EN-tunnuksella ja Suomen Standardisoimisliitto julkaisee EN-standardit SFS-EN-tunnuksella. [7] Jos valmistunut EN-standardi täyttää komission arvion mukaan olennaiset vaatimukset, niin sille myönnetään yhdenmukaistetun standardin asema [9, s. 93]. Kansallisten standardien merkitys on nykyään vähentynyt, sillä kaikkien EU-jäsenmaiden on vahvistettava kansallisiksi standardeikseen eurooppalaiset EN-standardit, mikäli sellainen on laadittu. Samalla kansalliset, EN-standardien kanssa ristiriitaiset standardit on kumottava. Tämä määräys koskee kaikkia eurooppalaisen standardisoimisjärjestön CEN:n jäsenvaltioita. EN-standardit ovat kaikissa maissa identtisiä, joten jokainen kansallinen standardisoimisjärjestö itse päättää standardien kääntämisestä omalle kielelle. Jokaisessa CEN:n jäsenvaltiossa vahvistetut EN-standardit merkitään kansallisen standardisoimisjärjestön tunnuksin esim. SFS-EN (Suomi), NF-EN (Ranska), DIN-EN (Saksa). Toisin kuin EN-standardien kohdalla, ISO-standardien vahvistamiseksi kansallisesti ei ole samanlaista lainsäädäntöön perustuvaa velvoitetta. Mikäli taas standardit vahvistetaan CEN:n ja ISO:n yhteistyönä EN ISO-standardeina, ne tulee taas vahvistaa lainsäädännön mukaan kansallisesti. [10]

Kirjainyhdistelmät (ISO, EN, SFS, DIN) standardien edessä ilmoittavat aina tekstin vahvistaneen organisaation nimen. Esimerkiksi kirjainyhdistelmä SFS-EN ISO tarkoittaa, että standardi on vahvistettu kaikissa kolmessa organisaatiossa. Jokaisella maalla on käytössään oma kansallinen tunnus. Standardit SFS-EN ISO 5817 ja DIN-EN ISO

5817 pohjautuvat samaan, identtiseen ISO-standardiin, joka on vahvistettu Euroopassa ja täten kaikissa CEN:n jäsenmaissa. Standardin numeron yhteneväisyys koskee vain eurooppalaisten ja kansainvälisten standardien vahvistamista eri maissa. Sama numero voi tarkoittaa eri kansallisia standardeja eri maissa. Standardeja tarkasteltaessa tulee aina kiinnittää huomiota standardin otsikkoon. [11]

4.1.2 ASME ja PED

Painelaitedirektiivi PED (Pressure Equipment Directive) koskee uusien painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien suunnittelua, valmistusta ja vaatimustenmukaisuuden arviointia. Painelaitedirektiivi käsittelee paineesta aiheutuvia vaaroja ja koskee ensimmäistä markkinoille saattamista sekä käyttöönottoa Euroopan talousalueella. Direktiivin noudattaminen on pakollista EU:n alueella. ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* on vastaavasti painelaitestandardi, joka on lakisääteinen Pohjois-Amerikassa. Painelaitedirektiivin tunnuksena on *CE-merkintä* ja ASME:n tunnuksena on ASME-leima eli *stamp*. ASME-painelaitestandardi on yleisesti käytössä myös Pohjois-Amerikan ulkopuolella PED:n ohella. ASME:n ja PED:n merkittävin ero on että PED:ssä vaativampien painelaitteiden hitsausmenetelmät ja hitsaajat hyväksyy erityisesti tähän hyväksytty kolmas osapuoli, ilmoitettu laitos tai päteväintilaitos. Valmistajan itsensä suorittama pätevänti riittää vain luokassa 1. ASME-standardissa valmistaja itse huolehtii ASME:n mukaisten hitsauskokeiden suorittamisesta ja valvonnasta. Kolmatta osapuolta ei siis vaadita. [12, s. 66.]

ASME ja PED kummatkin määrittävät vaatimustenmukaisuuteen tarvittavat NDT-tarkastukset, joskin hieman eri tavoin. ASME:n kohdalla painelaitteen vaatimukset on ilmoitettu tarkasti standardissa. Mikäli ASME:n käyttäminen ei ole pakollista alan yleisen käytännön mukaisesti, koodia sovelletaan siinä laajuudessa kuin mitä asiakkaan kanssa sovitaan. PED:ssä olennaiset turvallisuusvaatimukset määriteltä yleisellä tasolla, joten se sisältää hyvin vähän yksityiskohtaisia teknisiä vaatimuksia. Tarkoituksena on, että yksityiskohtaiset tekniset vaatimukset esitetään eurooppalaisessa EN-standardissa. PED:n vaatimustenmukaisuus saavutetaan automaattisesti kun seurataan yhdenmukaistettuja eli harmonisoituja standardeja. Tärkeimmät painelaitteita koskevat standardisarjat ovat

- EN 13445 *Unfired pressure vessels*
- EN 12952 *Water-tube boilers and auxiliary installations*
- EN 12953 *Shell boilers*
- EN 13480 *Metallic industrial piping*. [13, s. 11.]

PED:n vaatimustenmukaisuus voidaan todentaa myös kansallisten standardien avulla, mutta ne eivät kuitenkaan välttämättä vastaa suoraan PED:n vaatimuksia. Erityisesti ASME-standardeissa on erittäin suuria periaatteellisia eroja PED:n kanssa. Jotta PED:n olennaiset turvallisuusvaatimukset saadaan täyttymään tällaisessa tapauksessa, tulee valmistajan osoittaa miten tuote täyttää direktiivin olennaiset turvallisuusvaatimukset ja ne tulee huomioida tuotteen suunnittelussa, valmistuksessa ja tarkastuksessa. [12, s. 53.]

4.1.3 Sovellusstandardit

Projektissa voidaan käyttää sovellusstandardeja (eng. application standards), jotka määrittävät tarkat vaatimukset laitteen suunnittelulle, rakenteelle, tarkastukselle ja testaukselle. Tällöin myös NDT-tarkastusten osalta tarkastuslaajuudet, menetelmäohjeet ja hyväksymisrajat ovat jo määritelty tarkoin standardissa. [14, s.12.]

Tällaisia sovellusstandardeja ovat esimerkiksi

- EN 14015 *Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above*
- EN 13445-5 *Unfired pressure vessels. Part 5: Inspection and testing*
- EN 13480-5 *Metallic industrial piping. Part 5: Inspection and testing.*

Taulukossa 2 on havainnollistettu NDT-tarkastusten hyväksymisrajojen merkitsemistä sovellusstandardiin.

Taulukko 2. Esimerkki NDT-menetelmien hyväksymisrajoista sovellutustandardissa. Ote standardista EN 14015. [14, s. 106.]

Table 32 — Imperfection acceptance criteria (continued)

EN ISO 6520-1 reference number	Imperfection designation	Welds	Limits of imperfections
100	Cracks	All	Not permitted
101	Longitudinal crack		
102	Transverse crack		
104	Crater crack	All	Not permitted
2011	Gas pore	Butt welds in shell Shell to bottom welds Shell and bottom nozzle welds	\bar{z} Porosity area $\leq 1\%$ Single pore - butt weld $d \leq 0,3 s$ Single pore - fillet weld $d \leq 0,3 a$ With d maximum 3 mm
2012	Uniformly distributed porosity	Roof and roof structure Roof nozzles	\bar{z} Porosity area $\leq 2\%$ Single pore - butt weld $d \leq 0,4 s$ Single pore - fillet weld $d \leq 0,4 a$ With d maximum 4 mm
2013	Localised (Clustered) porosity	Butt welds in shell Shell to bottom welds Shell and bottom nozzle welds	\bar{z} Porosity area $\leq 4\%$ Single pore - butt weld $d \leq 0,3 s$ Single pore - fillet weld $d \leq 0,3 a$ With d maximum 2 mm
		Roof and roof structure Roof nozzles	\bar{z} Porosity area $\leq 8\%$ Single pore - butt weld $d \leq 0,4 s$ Single pore - fillet weld $d \leq 0,4 a$ With d maximum 3 mm

5 CE-merkintä

CE-merkinnällä valmistaja vakuuttaa, että tuote täyttää turvallisuutta, terveyttä, ympäristöä ja kuluttajansuojaa koskevat vaatimukset, jotka Euroopan unioni on asettanut. Valmistajan vastuulla on järjestää vaatimustenmukaisuuden arviointi, laatia tekninen asiakirja, antaa vaatimustenmukaisuusvakuutus ja varustaa tuote CE-merkinnällä. Merkki osoittaa tuotteen EU-lainsäädännön mukaisuuden ja täten mahdollistaa tuotteiden vapaan liikkuvuuden EU:n markkinoilla. Jotkin tuotteet voivat saada CE-merkinnän ilman erityisiä testejä pelkän valmistajan tekemän vaatimuksenmukaisuusvakuutuksen perusteella. Vaarallisten koneiden ja henkilösuojainten kohdalla CE-merkinnän käyttö on sallittua vasta ulkopuolisen laitoksen suorittamien testien jälkeen.

CE-merkintä kiinnitetään tuotteeseen, sen pakkaukseen tai valmistuskilpeen. Merkin­ nän voi myös sijoittaa tuotteeseen liittyvään asiakirjaan tai ohjeisiin, mikäli CE- merkintää ei jostain syystä voida kiinnittää suoraan tuotteeseen. Merkintä on tehtävä näkyvästi ja pysyväksi. CE-merkintä voidaan valaa koneen runkoon tai stanssata ko­ neeseen koneen valmistuslinjalla. [15]

5.1 CE-merkinnän hankintaprosessi

Euroopan komissio määrittää CE-merkinnän hankintaprosessin kuusivaiheiseksi. En­ simmäiseksi valmistajan on tunnistettava tuotettaan koskevat direktiivit ja yhdenmu­ kaistetut standardit. Valmistajan tulee siis itse tai asiantuntijaa käyttämällä selvittää kaikki ne vaatimukset, jotka hänen tuotteensa tulee täyttää. Toiseksi valmistajan on tarkistettava tuotekohtaisten yhdenmukaistettujen standardien olennaisten vaatimusten täytyminen, jolloin tuote saa vaatimustenmukaisuusolettamuksen. Kolmanneksi val­ mistajan tulee tarkistaa direktiiveistä, tarvitseeko tuote ulkopuolisen laitoksen vaatimus­ tenmukaisuusarvion. Neljänneksi on tarkistettava tuote testaamalla, vastaako tuote yhdenmukaistettuja standardeja. Viidennessä vaiheessa tehdään tarvittavat tekniset asiakirjat, joiden perusteella vaatimustenmukaisuus voidaan todeta. Kuudennessa vai­ heessa valmistaja kiinnittää CE-merkin sekä laatii ja allekirjoittaa vaatimustenmukai­ suusvakuutuksen. [16, s. 6.]

5.2 CE-merkinnän lakimuutos teräsrakentamisessa ja sen seuraamukset

Suurimmalle osalle teräskokoonpanoista CE-merkintä tulee pakolliseksi kaikissa EU- ja ETA-maissa 1.7.2014 alkaen. Tällöin harmonisoidun tuotestandardin SFS-EN 1090-1+A1 *Execution of steel structures and aluminium structures. Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components* käyttöönoton eli CE-merkinnän ki­ innittämisen siirtymäaika päättyy. [17, s. 1.] Jotta yritys voi itse kiinnittää teräskokoon­ panoihin CE-merkinnän, tulee yrityksen hakea ilmoitetulta laitokselta (NB, Notified bo­ dy) CE-merkinnän kiinnittämiseen oikeuttava varmennustodistus. Varmennustodistuk­ sen ylläpitämiseksi yrityksen tulee täyttää ilmoitetun laitoksen määräajoin tehtävissä tarkistuksissa toiminnalle asetetut vaatimukset. Jotta varmennustodistus voidaan myöntää, yritykseltä edellytetään, että

- ilmoitettu laitos on todennut yrityksen toimivan tuotantoon sovellettavin osin standardien SFS-EN 1090-1+A1 ja SFS-EN 1090-2+A1 mukaisesti
- yrityksellä on toiminnassa oleva kirjallinen kuvaus sisäisestä laadunvalvonnasta, joka on standardin SFS-EN 1090-1+A1 mukainen. [17, s. 4.]

Standardin piiriin kuuluvat kantavat teräsrakenteet on ilmoitettu standardissa SFS-EN 1090-2+A1 *Execution of steel structures and aluminium structures. Part 2: Technical requirements for steel structures*. Nämä rakenteet ovat

- kuumavalssatut rakenneterästuotteet lujuusluokkaan S690 asti
- kylmämuovatuista ruostumattomista muotosauvoista ja muotolevyistä valmistetut teräsrakenteet lujuusluokkaan S700 saakka
- kuuma- ja kylmämuovatuista austeniittisista, austeniittis-ferriittisistä ja ferriittisistä teräksistä valmistetut ruostumattomat terästuotteet
- kuuma- ja kylmämuovatu rakenneputket mukaan lukien standardimittaiset ja tilaustyönä tehdyt muovatut ja hitsaamalla valmistetut rakenneputket. [18, s. 7.]

5.2.1 Standardit SFS-EN 1090-1+A1 ja SFS-EN 1090-2+A1

Standardi SFS-EN 1090-1+A1 käsittelee kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointia koskevia vaatimuksia, sekä esittää CE-merkintää koskevat vaatimukset kantaville teräs- ja alumiinirakenteille. Toteutuksen tekniset vaatimukset CE-merkinnän edellytykselle teräsrakenteissa esitetään standardissa SFS-EN 1090-2+A1. Alumiinirakenteille on olemassa vastaava standardi SFS-EN 1090-3+A1. 1090-sarjan standardeja käytetään aina keskenään yhdessä.

Standardin SFS-EN 1090-1+A1 mukaisesti valmistaja ilmoittaa perustietoina ja tuotetietoina seuraavat asiat:


Perustietoina

- valmistajan tunniste ja osoite
- ilmoitetun laitoksen tunnusnumero
- tehtaan sisäisen laadunvalvonnan varmennustodistuksen numero
- CE-merkinnän kiinnittämivuosi

Tuotetietoina

- kokoonpanon toteutusluokka
- kokoonpanon kuvaus: nimi, materiaalit, mitat ja käyttötarkoitus
- rakenteellisen suunnittelun perusteella määräytyvät ominaisuudet
- valmistuksen perusteella määräytyvien ominaisuuksien tasot
- vahvistetaan valmistus standardin SFS-EN 1090-2+A1 mukaan
- ilmoitetaan kokoonpanoeritelmän identifiointinumero. [19, s. 54.]

CE-merkinnässä ilmoitettavat teräsrakenteiden olennaiset ominaisuuden voidaan esittää kolmella tavalla. Vaihtoehtoisesti rakenteesta voidaan ilmoittaa materiaaliominaisuudet ja geometriset tiedot, tuotteen lujuusarvot tai tuotteen vaatimustenmukaisuus tietyn kokoonpanoeritelmän perusteella. [20, s. 26.] Kuvassa 2 on esimerkki lujuusarvojen perusteella ilmoitetuista ominaisuuksista CE-merkinnässä.

 <p>01234</p>	<p>CE-vaatimustenmukaisuusmerkintä, joka muodostuu direktiivin 93/68/ETY mukaisesta "CE"-merkistä.</p> <p>Ilmoitetun laitoksen tunnusnumero</p>
<p>AnyCo Ltd, PO Box 21, B-1050</p> <p>[A1] > 11 < A1]</p> <p>01234-CPD-00234</p>	<p>Valmistajan nimi tai tunnusmerkki ja rekisteröity osoite Merkinnän kiinnittämivuoden kaksi viimeistä numeroa</p>
<p>[A1] > EN 1090-1:2009+A1:2011 < A1]</p> <p>Teräksinen kattoristikko Berliiniin uuteen kirjastoon – M 201</p> <p>Geometristen arvojen toleranssit: EN 1090-2.</p> <p>Hitsattavuus: Standardin EN 10025-2 mukainen teräs S235J0.</p> <p>Murtumismitkeyden: 27 Joulea lämpötilassa 0 °C.</p> <p>Palokäyttäytyminen: Materiaali luokiteltu luokkaan A1.</p> <p>Kadmiumin päästöt: NPD.</p> <p>Radioaktiivinen säteily: NPD.</p> <p>Säilyvyys: Pinnan esikäsitteily standardin EN 1090-2 mukaisesti, esikäsitteilyaste P3. Pinta on maalattu standardin EN ISO 12944 mukaisesti, katso kokoonpanoeritelmästä yksityiskohdat.</p> <p>Rakenteelliset ominaisuudet:</p> <p>Kantavuus: Mitoitus standardin EN 1993-1 mukaan, katso liittyvä suunnitteluseloste ja mitoituslaskelmat. Käytetty Saksan NDP-arvoja. Viite: DC 102/3.</p> <p>[A1] > Muodonmuutos käyttörajatilassa: NPD. < A1]</p> <p>Väsymislujuus: NPD.</p> <p>Palonkestävyys: Laskettu arvo: R 30, katso DC 102/3.</p> <p>Valmistus: Kokoonpanoeritelmän CS-0016/2006 ja standardin EN 1090-2 mukaisesti, EXC3.</p>	<p>Todistuksen numero</p> <p>Eurooppalaisen standardin tunnus</p> <p>Tuotteen kuvaus ja tiedot sen määräyksissä vaadittavista ominaisuuksista</p>

Kuva 2. Esimerkki lujuusarvojen perusteella ilmoitetuista ominaisuuksista CE-merkinnässä. Vasemmalla puolella on CE-merkintä, oikealla puolella merkinnän selitteet. NPD, (No performance determined) tarkoittaa ettei ominaisuutta esitetä. Termiä käytetään kun kyseistä ominaisuutta ei ole testattu tai määritetty [19, s. 62].

Standardi SFS-EN 1090-2+A1 asettaa vaatimuksia käytettävien tuotteiden hankintaan, työmenetelmille, tarkastuksille, henkilökohtaisille todetuille pätevyyksille sekä dokumentoinnille. Seuraavassa on käyty standardin oleellisimpien lukujen sisältö pääpiirteittäin läpi. Luvut antavat viitteitä asioista, joita tulee ottaa huomioon tuotteen valmistuksessa CE-merkinnän saamiseksi.

- Luvussa 2 esitetään toteutukseen liittyviä viitedokumentteja ja standardeja, jotka ovat välttämättömiä standardin soveltamiseksi.
- Luku 4 esittää toteutukseen liittyvät asiakirjat ja dokumentit. Suunnittelija laatii toteutuseritelmän ja kokoonpanoeritelmän eli tekniset tiedot ja piirustukset toteutettavalle kokoonpanolle.
- Luvussa 5 esitellään käytettävien tuotteiden, esimerkiksi terästuotteiden, teräsvalujen, hitsausaineiden ja mekaanisten kiinnittimien vaatimukset.
- Luvussa 6 esitetään kokoonpanoissa käytettävien teräsrakenteiden leikkaamista, muotoilua, reikien tekoa ja kokoamista koskevat vaatimukset.
- Luku 7 esittää vaatimukset ja hyväksymiskriteerit hitsaustoiminnoille. Hitsauksen laadunhallinnan tulee olla toteutusluokkien vaatimusten mukaisia ja perustua standardin SFS-EN ISO 3834 *Quality requirements for fusion welding of metallic materials* soveltuvaan osaan tai standardin EN ISO 14554 *Quality requirements for welding. Resistance welding of metallic materials* vaatimuksiin.
- Luvut 8 ja 9 esittävät mekaaniseen kiinnittämiseen ja asentamiseen liittyvän ohjeistuksen.
- Luvussa 10 esitetään vaatimukset pintakäsittelyille.
- Luvussa 11 esitetään geometrisiä valmistus- ja asennustoleransseja erityyppisille rakenteille.
- Luvussa 12 esitetään vaatimukset tarkastajien pätevyyksille ja yleisesti tarkastukselle, testaukselle ja korjaamiselle.

Teräsrakenteelle ja sen kokoonpanoille määritetään suunnitteluvaiheessa yksi tai useampi toteutusluokka, joka ohjaa konepajavalmistukselle ja työmaatoiminnalle asetettavia vaatimuksia. Koska toteutusluokkien määrittäminen vaikuttaa huomattavasti NDT-tarkastusprosessiin, on toteutusluokkia käsitelty tarkemmin luvussa 5.2.2. [17, s. 11.]

5.2.2 Toteutusluokat ja niiden vaikutus NDT-tarkastuksiin

Suunnittelija määrittää kohteen vaativuuden ja käyttötarkoituksen perusteella valmistuksen vaativuustason määrittävän toteutusluokan. Toteutusluokat on jaettu vaatimustason perusteella neljään eri luokkaan, jotka ovat EXC1, EXC2, EXC3 ja EXC4. Vaativuustaso kasvaa luokasta EXC1 luokkaan EXC4. Yleisin toteutusluokka on tavallisesti luokka EXC2, joka on tarkoitettu staattisesti kuormitetuille rakenteille. Toteutusluokka EXC1 on tarkoitettu kohteille joissa ihmisiä oleilee vain satunnaisesti. Luokat EXC3 ja EXC4 on tarkoitettu väsytytkuormitetuille rakenteille ja luokka EXC4 vielä erityisluokaksi, jota käytetään mahdollisen vaurion aiheuttaessa äärimmäisiä seuraamuksia. Suunnittelija voi määrittää rakennukselle asetetusta toteutusluokasta poikkeavan toteutusluokan esimerkiksi rakenteen osille, tietyille kokoonpanoille tai yksityiskohdille. Mikäli toteutusluokkaa ei ole määritetty, käytetään luokkaa EXC2. [21, s. 42.]

Toteutusluokan valintaa varten standardissa SFS-EN 1090-2 on esitetty liitteessä A.3 eri toteutusluokkiin liittyvät vaatimukset. Toteutusluokkien määrittäminen on esitetty taulukossa 3 ja se tapahtuu kolmessa vaiheessa seuraavasti:

- Määritetään rakennuksen seuraamusluokka C_{Ci} (i = 1, 2 tai 3) eurokoodin SFS-EN 1990+A1+AC perusteella.
- Määritetään käyttöluokka S_{Ci} ja tuotantoluokka P_{Ci} standardin SFS-EN 1090-2 taulukkojen B.1 ja B.2 mukaan.
- Määritetään toteutusluokka edeltävien kohtien avulla standardin SFS-EN 1090-2 taulukon B.3 mukaan. [20 s. 30.]

Taulukko 3. Toteutusluokkien määräytyminen seuraamusluokkien, käyttöluokkien ja tuotantoluokkien perusteella standardin SFS-EN 1090-2 mukaan [18, s. 104].

Seuraamusluokat		CC1		CC2		CC3	
Käyttöluokat		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Tuotantoluokat	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^a	EXC3 ^a
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^a	EXC4

^a Toteutusluokkaa EXC4 käytetään kansallisten sääntöjen edellyttämällä tavalla erityisrakenteille tai rakenteille, joiden vaurio voi aiheuttaa äärimmäisiä seuraamuksia.

Toteutusluokkien valinta vaikuttaa huomattavasti NDT-tarkastuksiin. Koska luokkien valinta on suunnittelijan vastuulla, ohjaa suunnittelija entistä enemmän NDT-tarkastuksien laajuutta valitessaan toteutusluokkaa. Standardissa SFS-EN 1090-2 kappaleessa 12 on käyty läpi eri toteutusluokkien tarkastuslaajuudet.

Kaikille toteutusluokille on määrätty vähimmäisvaatimukseksi tarkastaa hitsit silmämääräisesti koko pituudeltaan [18, s. 82.] Silmämääräinen tarkastus tehdään ennen muita tarkastuksia. Tarkastuksen tulee sisältää hitsien olemassaolon ja sijainnin tarkastuksen, sytytysjälkien ja roiskeiden tarkastuksen, sekä tarkastamisen silmämääräisen tarkastuksen menetelmästandardin SFS-EN ISO 17637 *Non-destructive testing of welds. Visual testing of fusion-welded joints* mukaan [18, s. 83.] Toteutusluokan EXC1 hitseille ei vaadita täydentävää NDT-tarkastusta ellei sitä erikseen tapauskohtaisesti vaadita. Toteutusluokkien EXC2, EXC3 ja EXC4 hitseille suoritetaan NDT-tarkastus seuraavasti. Viiden ensimmäisen samaa hitsausohjetta (WPS) käytetyn hitsin tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- hyväksymiskriteerinä on hitsiluokka B
- tarkastuslaajuus on kaksinkertainen taulukon 4 arvoihin verrattuna
- vähimmäistarkastuspituus on 900 mm.

Mikäli osoitetaan, että hitsausohjeen mukainen tuotantohitsaus täyttää edellä mainitut laatuvaatimukset, siirrytään noudattamaan taulukon 4 mukaista tarkastuslaajuutta. Tarkastuslaajuuden ilmoittamat prosenttiluvut tarkoittavat NDT-tarkastuksen laajuutta yhteenlaskettuna summana kussakin tarkastuserässä. Jos tarkastus ei täytä laatuvaatimuksia, tulee selvittää mistä tämä johtuu ja tarkastaa uusi viiden liitoksen sarja. Tarkastuksessa noudatetaan standardin SFS-EN ISO 17635 *Non-destructive testing of*

welds. *General rules for metallic materials* liitteen C ohjeita. Mikäli tarkastuspituudella esiintyy virheitä yli sallittujen hyväksymisrajojen, tarkastusta tulee jatkaa kahden tarkastuspituuden verran tarkastamalla virheen sisältäneen tarkastuspituuden molemmin puolin yksi tarkastuspituus. Löydettyessä poikkeavuuksia, tulee suorittaa tutkimus virheiden syyn löytämiseksi. [18, s. 82.]

Taulukko 4. Muun kuin silmämääräisen tarkastuksen laajuus standardissa SFS-EN 1090-2 [18, s. 83].

Hitsin tyyppi	Konepaja- ja työmaahitsit		
	EXC2	EXC3	EXC4
Poikittaiset päittäishitsit ja osittain läpihitsatut päittäishitsit, joihin kohdistuu vetojäännitys: $U \geq 0,5$ $U < 0,5$	10 % 0 %	20 % 10 %	100 % 50 %
Poikittaiset päittäishitsit ja osittain läpihitsatut hitsit: ristiliitoksissa T-liitoksissa	10 % 5 %	20 % 10 %	100 % 50 %
Poikittaiset pienahitsit, joihin kohdistuu vetoa tai leikkausta: Kun $a > 12$ mm tai $t > 20$ mm Kun $a \leq 12$ mm ja $t \leq 20$ mm	5 % 0 %	10 % 5 %	20 % 10 %
 A1> Läpihitsatut pitkittäiset hitsit nosturin kannattajien uuman ja ylälaipan välissä:	10 %	20 %	100 %
Muut pitkittäiset hitsit ja jäykisteiden hitsit	0 %	5 %	10 % <A1
HUOM. 1 Kokoonpanon akselin suuntaiset hitsit katsotaan pitkittäisiksi. Kaikki muut katsotaan poikittaishitseiksi. HUOM. 2 U = hitsien hyväksikäyttöaste kvasistaattisluontoisille kuormille. $U = E_g / R_g$, missä E_g on hitsin suurin kuormavaikutus ja R_g on hitsin kestävyys murtorajatilassa. HUOM. 3 Suuret a ja t viittaavat pienahitsin a mittaan ja liitettävien materiaalien enimmäispaksuuteen.			

Hitsien NDT-tarkastusten hyväksymiskriteereitä ei ole standardissa SFS-EN 1090-2 erikseen määritetty lukuun ottamatta hitsiluokkaa B+ sekä virhetyyppelijä jyrkkä liittymisen (505) ja mikroliitosvirhe (401), joita ei huomioida. Muuten hitsien hyväksymiskriteerit mukailevat standardia EN ISO 5817 *Welding. Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys. Quality levels for imperfections*. Hitsattujen kokoonpanojen Hitsien hyväksymiskriteerit on ilmoitettu standardissa SFS-EN 1090-2. Hyväksymiskriteerit on esitetty taulukossa 5 seuraavasti [18, s. 51].

Taulukko 5. Toteutusluokkien määrittämät hitsien hyväksymiskriteerit. Ote standardin SFS-EN 1090-2 liitteestä A.3 [18, s. 100].

Kohta	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
7.6 Hyväksymiskriteerit	EN ISO 5817 Hitsiluokka D A1> poistettu teksti <A1	EN ISO 5817 Yleensä hitsiluokka C	EN ISO 5817 Hitsiluokka B	EN ISO 5817 Hitsiluokka B+

EXC2 noudattaa yleensä hitsiluokkaa C, paitsi virhetyyppien reunahaava (5011, 5012), pintapalon valuma (506), sytytysjälki (601) ja avoin imuontelo (2025) osalta noudatetaan hitsiluokkaa D. Hitsiluokka B+ tarkoittaa luokkaa B taulukon 6 osoittamin lisävaatimuksin. [18, s. 51.]

Taulukko 6. Lisävaatimukset hitsiluokalle B+ standardin SFS-EN 1090-2 mukaan. [18, s. 52.]

Virhetyyppi	Virheen rajat ^a	
Reunahaava (5011, 5012)	Ei sallita	
Sisäiset huokokset (2011...2014)	Päittäishitsit	$d \leq 0,1 s$, kuitenkin enintään 2 mm
	Pienahitsit	$d \leq 0,1 a$, kuitenkin enintään 2 mm
Sulkeumat (300)	Päittäishitsit	$h \leq 0,1 s$, kuitenkin enintään 1 mm $l \leq s$, kuitenkin enintään 10 mm
	Pienahitsit	$h \leq 0,1 a$, kuitenkin enintään 1 mm $l \leq a$, kuitenkin enintään 10 mm
Sovitusvirhe (507)	$h < 0,05 t$, kuitenkin enintään 2 mm	
vajaa juuri (515)	Ei sallita	
Lisävaatimukset siltojen kansille^{a, b}		
Huokoisuus ja kaasuhuokokset (2011, 2012 ja 2014)	Vain yksittäiset pienet huokokset hyväksytään	
Huokosryhmät (2013)	Yhteenlaskettu määrä enintään 2 %	
Pitkänomainen huokonen, madonreikähuokonen (2015 ja 2016)	Ei pitkiä huokosia	
Pienahitsien sovituserhe (617)	Kaikki poikittaiset hitsit tarkastetaan kokonaan. Juuren pieni rako hyväksytään vain paikallisesti $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$, kuitenkin enintään 1 mm	
Reunahaava (5011)	a) päittäishitsit: hyväksytään vain paikallisesti $h \leq 0,5 \text{ mm}$ b) pienahitsit: ei sallita kohdissa, joissa suunta on poikittain jännitykseen nähden. Reunahaavat poistetaan hiomalla	
Useat samassa poikkileikkauksessa esiintyvät hitsausvirheet (n°4.1)	Ei sallita	
Sulkeumat (300)	Ei sallita	
^a Tunnukset on määritetty standardissa EN ISO 5817.		
^b Nämä ovat lisävaatimuksia luokalle B+.		

6 Engineering Handbook

Outotec Engineering Handbookin tarkoitus on toimia valmistuttuaan suunnittelijan työkaluna projektien etenemisen eri vaiheissa. Käsikirja tulee sisältämään ohjemateriaalia kaikista suunnittelun osa-alueista, mukaan lukien esimerkiksi eri suunnitteluohjelmistojen käytön. Tämän työn osuus, liite 1, NDT-tarkastukset Engineering Handbookissa antaa suunnittelijalle valmiudet tuntea perustiedot yleisimmistä NDT-tarkastusmenetelmistä sekä tarkastusmenetelmien ottamisesta huomioon tuotteen suunnitteluprosessissa. NDT:n osalta suunnittelijan on tunnettava eri NDT-menetelmiä ja tiedettävä miten suunnittelussa tapahtuvat päätökset vaikuttavat tuotteisiin tehtäviin tarkastuksiin. Suunnittelijan tulee tietää, miten valinnat esimerkiksi hitsiluokista ja toteutusluokista vaikuttavat NDT-tarkastuksiin.

6.1 Haastattelut

Outotec Engineering Handbookin materiaalin sisältö pyrittiin rakentamaan yrityksen työntekijöiden tarpeiden mukaisesti. Eri henkilöhaastattelut olivat keskeisessä asemassa erityisesti sisällön hahmottumisessa työn alkuvaiheessa sekä myös materiaalin koamisprosessin aikana. Työn sisältöön sain näkemyksiä ja palautetta pääasiassa kuudelta eri asiantuntijalta, jotka toimivat yrityksessä suunnittelun, valmistuksen ja laadunvarmistuksen asiantuntijoina.

Haastatteluissa yhtenevä mielipide oli, että Engineering Handbookin materiaalin tärkein tavoite on lisätä ylipäättään NDT-tarkastusten tietoisuutta suunnittelijoiden keskuudessa, selvittää yleisimpiä tarkastusmenetelmiä ja käydä läpi seikkoja, jotka vaikuttavat tarkastusmenetelmän valintaan. Yhtenevä vaatimus oli myös se, ettei materiaalin ymmärtämiseen vaadita aikaisempaa kokemusta NDT:stä. Kaiken kaikkiaan ajatuksia materiaalin sisältöön saatiin kattavasti, joten rajauksia jouduttiin tekemään paljon tarpeeksi tiiviin materiaalin saamiseksi. NDT-tarkastuksiin liittyviä standardeja esiteltiin ja niihin viitattiin, mutta standardeja ei avattu eikä käyty perusteellisemmin läpi kirjoitetussa materiaalissa.

Taulukossa 7 on verrattu alkuperäisiä ajatuksia ja lopullisia työhön valittuja aiheita.

Taulukko 7. Engineering Handbook -materiaalin kehitys suunnitelmavaiheesta lopulliseen työhön päätyneeseen materiaaliin.

Alkuperäiset ehdotukset	Lopulliset valitut aiheet
<ul style="list-style-type: none"> - ylipäätään tiedon lisääminen NDT:stä suunnittelijoiden keskuudessa - kuvaus eri menetelmistä - eri menetelmien edut ja haitat - hitsien metallurginen laatu - hitsiluokat, niiden sallimat virheet - hitsiluokan valinta - vaativien kohteiden NDT-suunnitelma, painelaitteet - yleisimmät hitsausprosessikohtaiset virhetyypit ja menetelmät niiden löytämiseksi - NDT:n merkinnät ITP:ssä - hitsaukseen ja NDT:hen liittyvät Standardit 	<ul style="list-style-type: none"> - selvitys yleisimmistä tarkastusmenetelmistä - tarkastusmenetelmän valinnan määräytyminen - hitsiluokat - sovellusstandardit - tarkastusmenetelmien sopivuus eri hitsausvirheille - tarkastusmenetelmien sopivuus eri hitsausvirheille

6.2 Työn tukena käytetyt referenssituotteet

Handbookin materiaalin kokoamisen tukena perehdyttiin kahteen Outotecin tuotteeseen, OKTOP[®] Reactor Family -tuoteperheen reaktoriin sekä OKTOP[®] Pressure Equipment tuoteperheen Autoclave -paineliuotusreaktoriin. Erityisesti keskityttiin tuotteiden suunnitteluun, pääasiassa NDT-tarkastuksiin liittyvään toimintaan. Perehtyminen antoi myös perspektiiviä yleensä ottaen koko Outotecin tuotteiden valmistusprosessista. Perehtyminen tuotteisiin oli silti toissijaista Engineering Handbookin ollessa työssä päätavoite. Pääasiassa tuotteiden kohdalla keskityttiin niiden spesifikaatioihin sekä ITP-dokumentteihin.

6.2.1 OKTOP[®] Reactor Family

OKTOP[®]-tuoteperheen reaktorit soveltuvat eri hydrometallurgisten prosessien sekoitustarpeisiin. Prosesseissa voidaan käyttää nestemäisiä ja kiinteitä aineita sekä kaasuja. Eri sekoitin- ja tankkimalleja yhdistämällä reaktori voidaan valmistaa prosessin vaatimuksia varten. Reaktoreita voidaan käyttää kaikkiin jalostusvaiheisiin liuotuksesta metallien talteenottoon saostamalla. OKTOP[®]-tuoteperhe koostuu kuudesta eri reaktiosarjasta, joihin kuuluu viisi erityyppistä sekoitinta. Sekoittimen lisäksi reaktori koostuu tankista, vaihteesta sekä sekoitinsillasta tai -pedistä. [22, s. 4.] Kuvassa 3 on havainnollistettu OKTOP[®]-tuoteperheen reaktoreita.



Kuva 3. Havainnekuva OKTOP[®]-tuoteperheen reaktoreista ja sekoitinosasta [23].

OKTOP[®]-tuoteperheen reaktorin tarkastelussa perehdyttiin yhden projektin tekniseen spesifikaatioon ja sen ITP-dokumentteihin. Tämä antoi kuvaa projektiin tehtävistä NDT-tarkastuksista. Spesifikaation tehtävänä määritellä tuotetta koskevat tekniset vaatimukset valmistajalle¹ (mikäli valmistaja on eri kuin toimittaja²) ja asiakkaalle. Se sisältää tietoja ja vaatimuksia esimerkiksi käytettävistä standardeista, valmistuksesta, hitsauksesta, tarkastuksesta ja dokumentoinnista. Spesifikaatiossa esitetään vaatimuksia, jonka mukaan tuote tulee valmistaa. ITP eli Inspection and Test Plan on taas valmistajan tekemä dokumentti joka tehdään tuotteen laadunvarmennusta varten projektin spe-

sifikaation pohjalta. ITP:ssä valmistaja esittää tuotteen vähimmäisvaatimukset laadunhallinnasta, tarkastuksesta ja testauksesta valmistuksen aikana. ITP osoittaa, että tuote tehdään spesifikaation ja standardien määräysten mukaisesti eikä se saa olla ristiriidassa projektin spesifikaation kanssa.

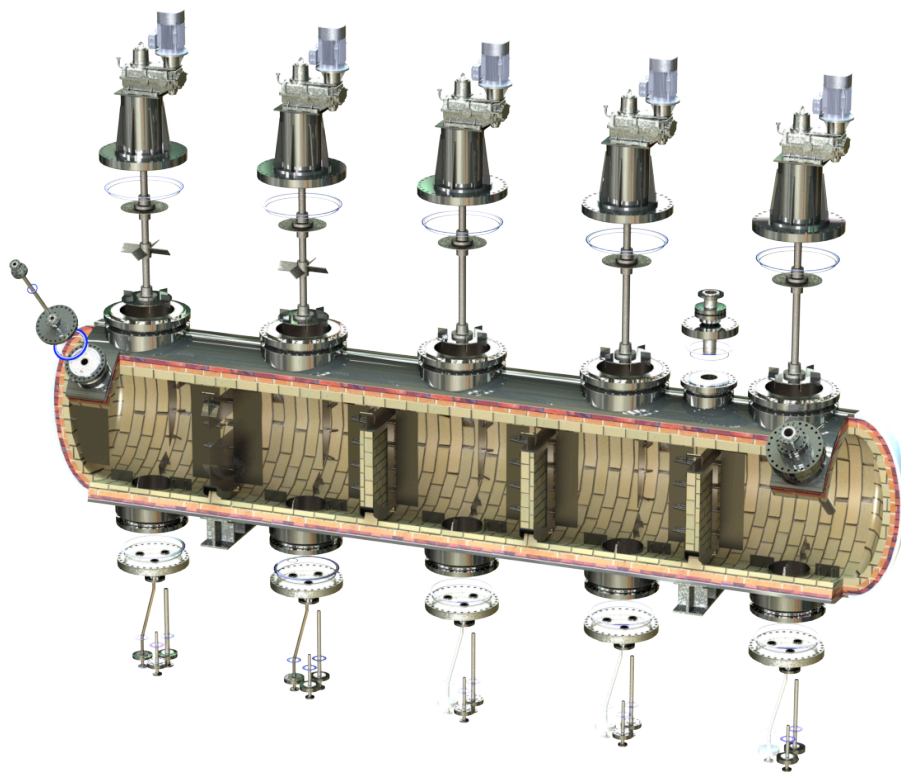
Valitussa OKTOP®-tuoteperheen reaktorin spesifikaatiossa ei ole tehty tarkempaa selvitystä NDT-tarkastuksista, vaan spesifikaatiossa viitataan ITP:hen, josta taas löytyy tarkempi selvitys NDT:stä. ITP-dokumentit on jaettu reaktorin osien mukaan, eli kokonaisesta valmiista tuotteesta ei ole olemassa ITP:tä. Tarkastellut ITP:t koskivat reaktorin sekoitinosaa, reaktorin tankkia, sekä lämmönvaihdinta. Edellä mainittujen osien tarkastusvaatimukset on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Reaktorin eri osien NDT-tarkastusvaatimukset [3].

Kohde	Vaaditut tarkastukset
OKTOP SS Reactor (tankkiosa)	Tunkeumanestetarkastus sekä radiografinen tarkastus harmonisoidun säiliöstandardin SFS-EN 14015 kappaleen 19 mukaan.
OKTOP Agitator (sekoitin)	Tunkeumanestetarkastus tehdään kaikille sekoittimen hitseille sekä sekoitinsillan laipan hitseille. 100 %:n Radiografinen tarkastus tai ultraäänitarkastus sekoittimen laipan hitseille. (Tämä korvaa laipan tunkeumanestetarkastuksen).
Heat Exchanger (lämmönvaihdin, painelaite)	Painelaitteen mukaiset tarkastusvaatimukset ASME Boiler and Pressure Vessel Coden mukaan.

6.2.2 Autoclave-paineliuotusreaktori

Autoclave (suom. autoklaavi) on yleisesti mineraalien erotukseen käytettävä paineistettu laite. Erotusprosessissa autoklaavi täytetään malmilla, jota halutaan prosessoida. Tämän jälkeen malmiin kohdistetaan korkea lämpötila ja paine, jonka avulla malmista saadaan erotettua arvomineraalit. Autoklaavilla voidaan erottaa esimerkiksi kultaa, nikkeliä, kuparia ja sinkkiä. [24] Kuvassa 4 on esitetty havainnekuva Autoclave-paineliuotusreaktorista.



Kuva 4. Havainnekuva Autoclave-paineliuotusreaktorista [3].

Tarkastellun autoklaavin NDT-tarkastukset eroavat merkittävästi muista Outotecin laitteisiin tehtävistä tarkastuksista. Autoklaavit ovat painelaitteita, ja niiden tarkastukset tehdään aina joko ASME:n tai PED:n mukaan riippuen alueesta, mihin laite toimitetaan. Kyseisen Autoklaavin kohdalla noudatetaan ASME Boiler and Pressure Vessel Code -standardia.

Autoklaavien tarkastelussa perehdyttiin niin ikään yhden projektin tekniseen spesifikaatioon ja sen ITP-dokumenttiin. Koska valmistus tapahtuu ASME Boiler and Pressure Vessel Coden mukaan, tutustuttiin myös pintapuolisesti autoklaavin NDT-tarkastuksia koskevaan osioon ASME:ssä. Kyseisen autoklaavin spesifikaatiossa on tehty yksityiskohtainen erittely tehtävistä NDT-tarkastuksista, niiden laajuudesta ja hyväksymisrajoista. Valmistajan tekemässä autoklaavin ITP-dokumentissa NDT-tarkastusta koskevassa osiossa on ilmoitettu, että tarkastukset toteutetaan ASME V, 2010ED -standardin mukaan ja tarkemmat tiedot löytyvät valmistajan piirustuksista sekä NDT-dokumenteista. Yleinen käytäntö on, ettei ITP:ssä ilmoiteta suoranaisesti valmistukseen liittyviä yksityiskohtia, vaan ITP kokoaa yhteen tarvittavat dokumentit ja standardit, joiden avulla valmistukseen liittyvät toiminnot voidaan suorittaa.

7 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tuottaa teknistä materiaalia työn tilaajan Outotec Oyj:n Engineering Handbookiin, suunnittelijan käsikirjaan. Tavoitteena oli luoda kirjallinen materiaali suunnittelijalle, joka antaa perustiedot NDT-tarkastuksista sekä lähtökohdat tarkastusten tarkemmalle tuntemiselle ja huomioimiselle koneen suunnittelu- ja valmistusprosessissa.

Kaiken kaikkiaan projekti todettiin onnistuneeksi ja tavoitteet saavutetuiksi. Engineering Handbook -materiaali luotiin projektin alussa tehdyn projektisuunnitelman mukaisesti ja valmis materiaali liitettiin osaksi Outotec Engineering Handbookia. Valmis materiaali tulee hyödyntämään erityisesti uusia suunnittelijoita, mutta käytännössä Outotecillä ketä tahansa, jonka työkuva sivuaa NDT-tarkastuksia tai joka tarvitsee työssään ylipäätään perustietoa NDT-tarkastuksista.

Outotecin NDT-tarkastustoiminnan nykykäytäntöjen selvittämisen ja henkilöhaastattelujen seurauksena havaittiin yrityksen laadunhallinnassa ja NDT-tarkastusten suunnittelussa ongelmia, jotka taas aiheuttivat haasteita tämän insinööriyön tekemisessä. Kunnollista omaa laatuorganisaatiota eikä NDT-asiantuntijoita ole yrityksessä, vaan tuotteiden suunnittelussa luotetaan mahdollisimman paljon valmistavaan konepajaan ja suunnittelijaan itseensä. Yhtenä ongelmana tästä seuraa se, että yhdenmukaistettujen käytäntöjen tekeminen ja noudattaminen on hankalaa tai käytännöt puuttuvat kokonaan. Insinööriyön aiheen osalta tämä heijastui konkreettisesti parhaiten teknisten

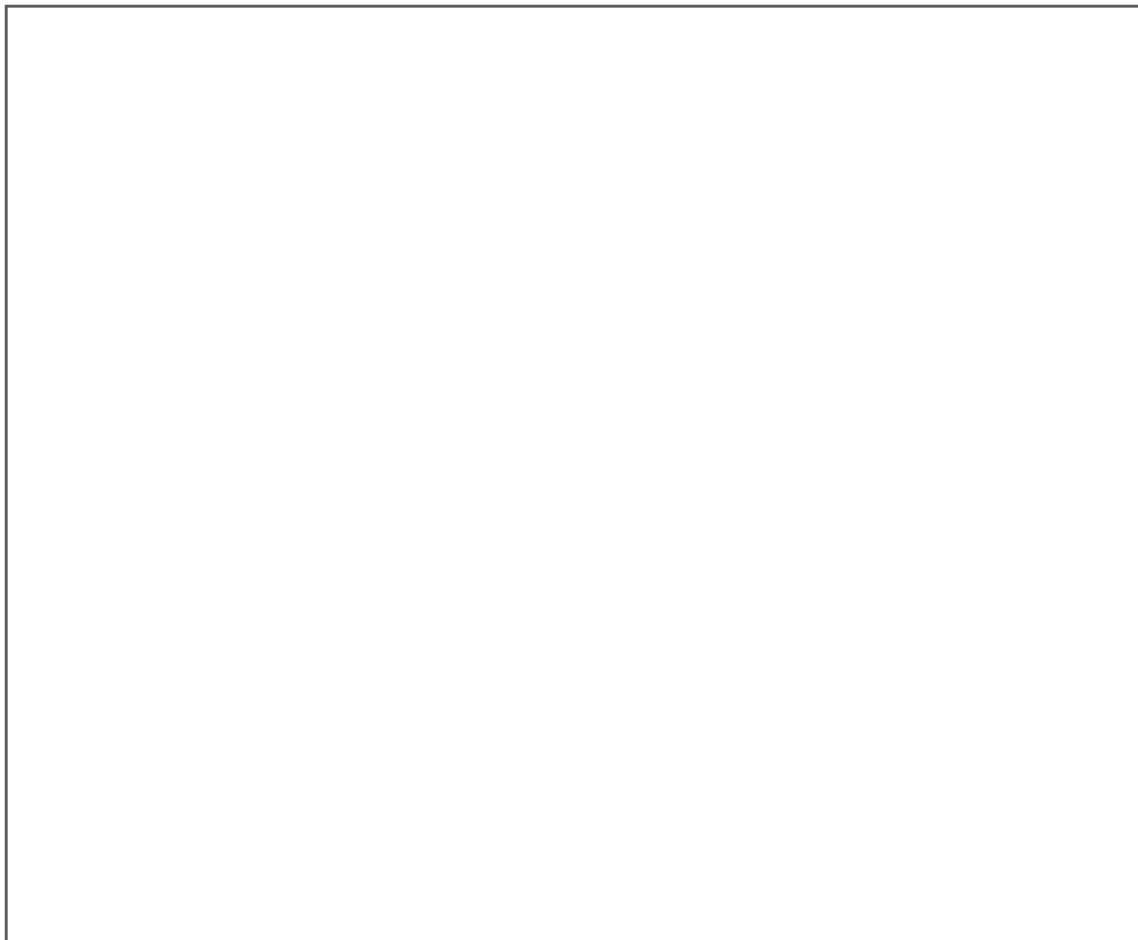
dokumenttien, kuten spesifikaatioiden, tarkastusohjeiden ja NDT-piirrustusten kesken­eräisyytenä tai puutteellisuutena. Koska nämä dokumentit ovat elintärkeitä NDT-tarkastuksia silmällä pitäen, aiheutti tämä lisähaasteita työn tekemiselle. Lisäksi ilman kunnollista laatuorganisaatiota standardien, direktiivien ja lakisääteisten vaatimusten noudattaminen, seuranta ja päivittäminen on hankalaa. Tästä toimii esimerkkinä työsäkin esitelty EN-1090 -standardin muuttuminen pakolliseksi, johon valmistautuminen on edennyt yrityksessä hitaasti.

Edellä mainituista haasteista huolimatta tämän insinööri­työn tavoitteet saavutettiin, eikä tämän työn puitteissa selvitettäviä tai kehitettäviä asioita jäänyt tekemättä. Työn kautta ilmenneet ongelmat avasivat kuitenkin kysymyksen kehitysmahdollisuuksista laatuorganisaation pystyttämisestä, yhdenmukaistettujen käytäntöjen sopimisesta teknisissä dokumenteissa sekä NDT-asiantuntijoiden tarpeellisuudesta. Kun suunnittelijan tehtävänä on tarkistaa tuotekohtainen NDT-tarkastusvaatimuslista, edesauttaisi suunnittelijaa jos jokaiselle tuotteelle olisi määritetty valmiiksi minimi-NDT-vaatimukset tuotekoh­taisesti.

Lähteet

- 1 Nondestructive Testing (NDT). Verkkodokumentti. NDT.net.
<<http://www.ndt.net/ndtaz/ndtaz.php>>. Luettu 23.8.2013.
- 2 Our business. 2013. Verkkodokumentti. Outotec.
<<http://www.outotec.com/en/About-us/Our-business/>>. Luettu 23.8.2013.
- 3 Outotec Oyj:n sisäinen aineisto.
- 4 Anttila, Santeri. 2013. NDT-menetelmistä ja niiden valinnasta tutkimustyössä. Insinööriyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu.
- 5 Suominen, Marko. 2011. Non Destructive Testing: NDT-tarkastajan ammatti ja rekrytointi. Insinööriyö. Turun ammattikorkeakoulu.
- 6 SFS-EN ISO 17635:en Non-destructive testing of welds. General rules for metallic materials. 2010. Suomen Standardisoimisliitto.
- 7 Jauhiainen, Antti. 2008. Laboratoriovaahdotuskoneen konseptointi. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 8 Korpela, Jukka. Normit, standardit, protokollat. 2007. Verkkodokumentti. .
<<http://www.cs.tut.fi/~jkorpela/stand.html>>. Luettu 20.8.2013.
- 9 Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas. 2010 Verkkodokumentti. Euroopan komissio.
<http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/machinery/guide-appl-2006-42-ec-2nd-201006_fi.pdf>. Luettu 20.8.2013.
- 10 Yleistä standardisoinnista. 2013. Verkkodokumentti. Teknologiateollisuus ry.
<<http://www.teknologiateollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/standardit.html>>. Luettu 16.9.2013.
- 11 SFS, EN, ISO. 2013. Verkkodokumentti. Suomen Standardisoimisliitto.
<http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/sfs_en_iso>. Luettu 20.8.2013.
- 12 Purje, Juha 2013. Painesäiliöiden ja putkistojen suunnittelu, AEL-luentomateriaali 15.–17.5.2013.
- 13 Juha Purje. 2013. Suunnittelun käytännöt / Tarkastuslaitos, AEL-luentomateriaali 15.–17.5.2013.

- 14 SFS-EN 14015:en. Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above. 2005. Suomen Standardisoimisliitto.
- 15 CE-marking basics and FAQs. 2013. Verkkodokumentti. Euroopan komissio. <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/single-market-goods/cemarking/about-ce-marking/index_fi.htm>. Luettu 7.8.2013.
- 16 CE-merkintä – avain Euroopan markkinoille. 2011. Verkkodokumentti. Euroopan komissio. <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/single-market-goods/cemarking/downloads/ce_brochure_fi.pdf>. Luettu 10.9.2013
- 17 Teräskokoonpanojen CE-merkintä. 2012. Verkkodokumentti. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys. <http://www.metsta.fi/ajankohtaista/METSTA-tiedotus/2012/liitteet/Terasrakenteet_jaCE_2012-08_net.pdf>. Luettu 16.9.2013.
- 18 SFS-EN 1090-2+A1 Execution of steel structures and aluminium structures. Part 2: Technical requirements for steel structures. 2012. Suomen Standardisoimisliitto.
- 19 SFS-EN 1090-1+A1 Execution of steel structures and aluminium structures. Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components. 2012. Suomen Standardisoimisliitto.
- 20 Lalla, Nikolas. 2013. Rakennustuotteiden CE-merkinnät suunnitteluasiakirjoissa -ohjeistus rakennesuunnittelijalle. Turun ammattikorkeakoulu.
- 21 Teräsrakentamisen vaatimukset muuttumassa. 2010. Verkkodokumentti. Teräsrakenneyhdistys. <<http://www.digipaper.fi/terasrakenne/58601/index.php?pgnumb=42>>. Luettu 16.9.2013.
- 22 Outotec Reactor Technologies. 2012. Verkkodokumentti. Outotec. <http://www.outotec.com/en/Search-material/?meta_3=reactor>. Luettu 26.7.2013.
- 23 Sulfuric acid leaching. 2013. Verkkodokumentti. Outotec. <<http://www.outotec.com/en/Products--services/Non-ferrous-metals-processing/Copper/Sulfuric-acid-leaching1/>>. Luettu 6.9.2013
- 24 Autoclaving circuit. Verkkodokumentti. MetSoc. <<http://www.metsoc.org/virtualltour/processes/gold/autoclaving.asp>>. 16.9.2013.



09							
08							
07							
06							
05							
04							
03							
02							
01							

00	annlin	October 14, 2014	annlin	October 14, 2014	annlin	October 14, 2014	[Revision Text 1]
----	--------	------------------	--------	------------------	--------	------------------	-------------------


Rev	Name	Date	Name	Date	Name	Date	Revision Text
	Prepared		Checked		Released		

Status: [Status]	Original Size: [Orig. Size]
---------------------	--------------------------------

Customer: [Customer]	Project Phase: [Project Phase]	Site No.: [Site No]
-------------------------	-----------------------------------	------------------------

Project Name: [Project Name]	Customer Document ID: [Customer Document ID]
---------------------------------	---

Replaced by: [Replaced by]	Replaces: [Replaces]
-------------------------------	-------------------------

	Document Title: Engineering handbook [Document Title 2] [Document Title 3] [Document Title 4] [DOCUMENT TITLE 5]
	Equipment No: [Equipment No.]

Equipment No: [Equipment No.]	Item No: [Item No.]
----------------------------------	------------------------

Project ID: [123456]	Plant Code: [ENH01]	Plant Unit Code: [DA01]	Document Type: ABB01	Running No: [00001]	Revision: [01]	Sheet of Sheets: 1 (10)
-------------------------	------------------------	----------------------------	-------------------------	------------------------	-------------------	----------------------------

The contents of this document are the sole property of Outotec Oyj. Any rights not expressly granted herein are reserved. Reproduction, transfer or distribution of part or all of the contents in any form without the prior written permission of Outotec is prohibited.

Outotec Document ID:
[OU300100100_01]



ENGINEERING HANDBOOK

[Document Title 1]

[Document Title 2]

[Firstname Lastname]

[dd.mm.yyyy]

2.1.	Visual test (VT).....	3
2.2.	Penetrant testing	4
2.3.	Magnetic particle testing (MT).....	4
2.4.	Radiographic testing	4
2.5.	Ultrasonic testing.....	5
2.6.	Leak testing (LT)	6
3.1.	Selecting the testing method.....	6
3.1.1.	Application standards.....	7
3.1.2.	Quality levels.....	8
3.2.	Suitability of testing methods for different welding methods	9
3.3.	Suitability of testing methods for different welding defects	10

Project ID: [123456]	Plant Code: [ENH01]	Plant Unit Code: [DA01]	Document Type: ABD01	Running No: [00001]	Revision: [01]	Sheet of Sheets: 2 (10)
The contents of this document are the sole property of Outotec Oyj. Any rights not expressly granted herein are reserved. Reproduction, transfer or distribution of part or all of the contents in any form without the prior written permission of Outotec is prohibited.					Outotec Document ID: [OU300100100_01]	

1. Introduction

This guide has been written primarily for Outotec Oyj's employees in engineering and the product line.

The primary aim of NDT inspections is to ensure that the desired quality requirement level of the product is reached and maintained. This guideline presents basic information on the most commonly used NDT inspections and guides the engineer in the factors influencing the choice of the NDT method in the engineering process. NDT inspections are individual and project-specific, so the guideline cannot be applied directly to an individual project.

In project planning, the two most important documents from the point of view of NDT are the specifications and the ITP (Inspection and Test Plan). The product manufacturer prepares the ITP, which indicates the NDT inspections to be carried out. The ITP should be consistent with the NDT requirements of the project specification. The ITP is approved by the main designer. The NDT requirements to be reported to the specification are primarily the responsibility of the product line.

The following guideline requires no previous knowledge of NDT inspections.

2. Most common NDT methods

This paragraph gives a brief account of the most common testing methods and limiting factors for the testing methods. Standard EN ISO 17635 *Non-destructive testing of welds. General rules for metallic materials*, functions as a general guideline in the selection of NDT tests of welds and the assessment of the results.

2.1. Visual testing (VT)

Visual testing is the most common and important testing method, performed always before other tests. The test can be carried out in every phase, before welding, during welding and after welding by inspecting the grooves, materials, surfaces, etc.

Visual testing is limited by the following factors:

- The defect being looked for must extend to the object surface
- The distance to the object may not exceed 600mm and the viewing angle must be at least 30°
- The surface must be clean
- Possible to detect a line-shape defect with a minimum width of 0.05 mm and spherical defect with a minimum diameter of 0.1 mm.
- Low testing costs
- Visual testing is carried out in accordance with EN ISO 17637 *Non-destructive testing of welds. Visual testing of fusion-welded joints*

Project ID: [123456]	Plant Code: [ENH01]	Plant Unit Code: [DA01]	Document Type: ABD01	Running No: [00001]	Revision: [01]	Sheet of Sheets: 3 (10)
The contents of this document are the sole property of Outotec Oyj. Any rights not expressly granted herein are reserved. Reproduction, transfer or distribution of part or all of the contents in any form without the prior written permission of Outotec is prohibited.					Outotec Document ID: [OU300100100_01]	



ENGINEERING HANDBOOK

[Document Title 1]

[Document Title 2]

[Firstname Lastname]

[dd.mm.yyyy]

2.2. Penetrant testing (PT)

Penetrant testing is based on the penetration of fluid into defects reaching the surface of the object and it returning to the fine-grained developing agent applied to the surface.

Factors limiting penetrant testing:

- The defect being looked for must extend to the object surface
- Suitable for all materials except for porous materials
- The surface must be clean, maximum coating 0.05 mm
- A planar defect with a minimum width of 0.001 mm and length of 1 mm can be detected. A spherical defect with a minimum diameter of 0.01 mm
- Temperature limit +5-50°C, with special substances -20-300°C
- Low testing costs
- Penetrant testing is carried out in accordance with EN 571-1 *Non destructive testing. Penetrant testing. Part 1: General principles*

2.3. Magnetic particle testing (MT)

A magnetic flux is formed in the tested object in magnetic particle testing. A leak field emerges at a surface defect. The ferromagnetic* powder adheres to the leak field, and the size of the indication is magnified to visually detectable.

Magnetic particle testing is limited by the following factors:

- The defect looked for must open to the object surface or immediately below surface
- Only suitable for ferromagnetic materials whose magnetic penetration, i.e. proportional permeability, is $\mu > 100$
- A planar defect with a minimum width of 0.001 mm and length of 1 mm can be detected. A spherical defect with a minimum diameter of 0.01 mm
- Temperature limit +5-50°C, with special substances -20-300°C
- Low testing costs
- Magnetic particle testing of welds is carried out in accordance with EN ISO 17638 *Non-destructive testing of welds. Magnetic particle testing*

*Ferromagnetic = a material that amplifies or strongly attracts an external magnetic field.

2.4. Radiographic testing (RT)

Radiographic testing produces ionizing radiation either artificially using electricity or using an isotope. The tested object is subjected to a radiation source, with the

Project ID: [123456]	Plant Code: [ENH01]	Plant Unit Code: [DA01]	Document Type: ABD01	Running No: [00001]	Revision: [01]	Sheet of Sheets: 4 (10)
The contents of this document are the sole property of Outotec Oyj. Any rights not expressly granted herein are reserved. Reproduction, transfer or distribution of part or all of the contents in any form without the prior written permission of Outotec is prohibited.					Outotec Document ID: [OU300100100_01]	



ENGINEERING HANDBOOK

[Document Title 1]

[Document Title 2]

[Firstname Lastname]

[dd.mm.yyyy]

intensity of the radiation recorded in the film behind the object. Defects in the object can be seen as film density differences.

Radiographic testing is limited by the following factors:

- Used for searching for internal defects
- Suitable for all metal materials
- Not suitable for tack welds
- The film must be placed behind the imaged object
- A planar or spherical defect whose size is a minimum of 1-2% of the thickness of the material in the direction of radiation
- Detection of a defect is more difficult if the defect is perpendicular to radiation.
- Maximum steel thickness with X-rays 50 mm, with isotope 200 mm
- Radiation results in restrictions of use
- High testing costs
- Radiographic testing of welds is carried out in accordance with EN ISO 17636-1 *Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 1: X- and gamma-ray techniques with film*

2.5. Ultrasonic testing (UT)

Ultrasonic testing is based on a sonic wave directed to the object and advancing in it being reflected from internal discontinuities or the back wall of the object. The location, type and size of the discontinuity can be determined on the basis of the reflection.

Ultrasonic testing is limited by the following factors:

- Used for detecting internal defects, does not replace surface testing.
- The thickness of the material can be measured at an accuracy of 0.01 mm when the measuring range is 1-200 mm. Shadow range 0-1 mm.
- Measuring thickness range 0-5,000 mm. For welds 6-500 mm
- Limited suitability for uneven surfaces, small, thin and geometrically complicated objects.
- Not for porous materials, sensitive to the properties of the material due to the damping of the sonic wave.
- A defect with a minimum size of $\lambda/2$ (λ = wave length of the ultrasound used) can be detected. For example, if the frequency is 4 MHz, the wave length of the transverse wave is 0.8 mm and the detectable defect size is 0.4 mm in this case
- A planar defect is difficult to detect if the defect is parallel to the sonic wave
- Medium testing costs.
- Ultrasonic testing of welds is carried out in accordance with EN ISO 17640 *Non-destructive testing of welds. Ultrasonic testing. Techniques, testing levels, and assessment*

Project ID: [123456]	Plant Code: [ENH01]	Plant Unit Code: [DA01]	Document Type: ABD01	Running No: [00001]	Revision: [01]	Sheet of Sheets: 5 (10)
The contents of this document are the sole property of Outotec Oyj. Any rights not expressly granted herein are reserved. Reproduction, transfer or distribution of part or all of the contents in any form without the prior written permission of Outotec is prohibited.					Outotec Document ID: [OU300100100_01]	



ENGINEERING HANDBOOK

[Document Title 1]

[Document Title 2]

[Firstname Lastname]

[dd.mm.yyyy]

2.6. Leak testing (LT)

Leak tests are used for detecting leaks and verifying the tightness of the component before or after use. In closed structures, compressed air can be used for detecting leak points and in open structures, the differential pressure is formed using a suction box.

The leak testing method is selected according to SFS-EN 1779 *Non-destructive testing. Leak testing. Criteria for method and technique selection.*

Leak testing is limited by the following factors:

- The defect being looked for must come through the material
- The smaller the leaks to be found are, the more important it is that the object is clean.
- Before testing, the materials of the object and types, pressure capacity and tightness of gaskets and valves must be taken into account
- The unit of measurement is mbar 1/s or Pa m³/s

Standards for different methods:

EN 1593 *Non-destructive testing. Leak testing. Bubble emission method.*

EN 13184 *Non-destructive testing. Leak testing. Pressure change method.*

EN 13185 *Non-destructive testing. Leak testing. Trace gas method.*

3. Selection of methods for use

3.1. Selecting the testing method

The following matters are taken into account before selecting the testing methods:

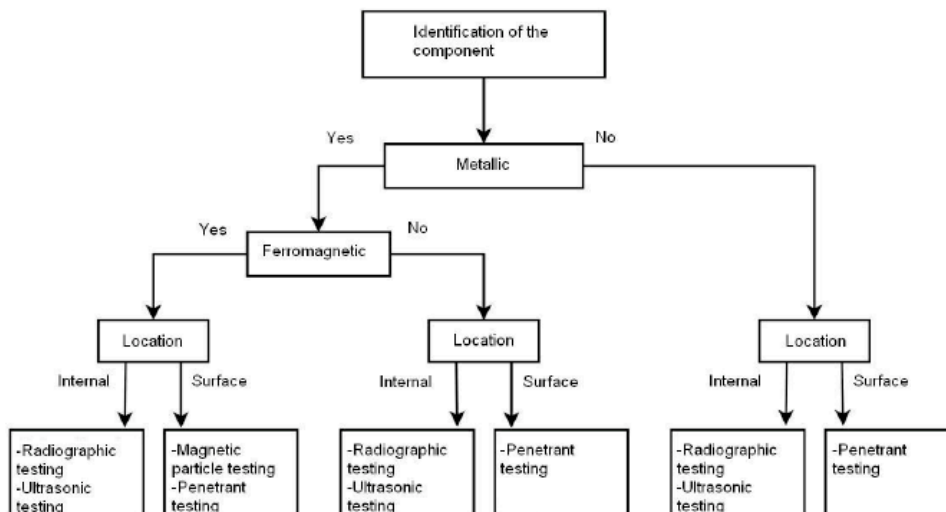
- Which standards or application standards will be used?
- Welding processes
- Base material, welding material and treatment
- Weld form and geometry
- State of the testing object (access, surface quality etc.)
- Quality levels
- Application, static or dynamic load, severity of the consequences of defects
- Type and location of assumed welding defects
- Costs

Standard EN ISO 17635 *Non-destructive testing of welds. General rules for metallic materials* helps in selecting the non-destructive testing method of welds.

The standard might not provide guidelines on tests carried out in the product manufacturing phase, so the methods are applied to the application. In this case, the product line can specify the testing methods to be presented where missing as

Project ID: [123456]	Plant Code: [ENH01]	Plant Unit Code: [DA01]	Document Type: ABD01	Running No: [00001]	Revision: [01]	Sheet of Sheets: 6 (10)
The contents of this document are the sole property of Outotec Oyj. Any rights not expressly granted herein are reserved. Reproduction, transfer or distribution of part or all of the contents in any form without the prior written permission of Outotec is prohibited.					Outotec Document ID: [OU300100100_01]	

well as the acceptance limits for the product manufactured. These requirements must be presented in the product specification.



The determination of the testing methods follows EN ISO 17635 Non-destructive testing of welds. General rules for metallic materials.

3.1.1. Application standards

Application standards may be used upon manufacture, with the standards specifying the testing requirements, methods, extent and acceptance limits in detail. Application standards include:

- EN 14015 *Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above*
- EN 13445-5 *Unfired pressure vessels. Part 5: Inspection and testing*
- EN 13480-5 *Metallic industrial piping. Part 5: Inspection and testing*

Project ID: [123456]	Plant Code: [ENH01]	Plant Unit Code: [DA01]	Document Type: ABD01	Running No: [00001]	Revision: [01]	Sheet of Sheets: 7 (10)
The contents of this document are the sole property of Outotec Oyj. Any rights not expressly granted herein are reserved. Reproduction, transfer or distribution of part or all of the contents in any form without the prior written permission of Outotec is prohibited.					Outotec Document ID: [OU300100100_01]	



ENGINEERING HANDBOOK

[Document Title 1]

[Document Title 2]

[Firstname Lastname]

[dd.mm.yyyy]

In addition, CE mark is required for aluminum and steel structures in EU and EEC countries.

CE mark requires manufacture in accordance with EN 1090 *Execution of steel structures and aluminium structures*. Standard EN 1090-2 *Execution of steel structures and aluminium structures. Part 2: Technical requirements for steel structures* requires the specification of execution categories. Separate testing extents have been specified for the different execution categories. The selection of the execution category may apply to all construction work, an individual assembly or a detail of an assembly. The execution categories are determined at the beginning of the design by the structural engineer.

3.1.2. Quality levels

Quality levels have direct impacts on the testing method-specific acceptance limits. Once the quality level has been selected, the testing method can be selected. Standard EN ISO 5817 *Welding. Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded). Quality levels for imperfections* specifies the tolerances for different quality levels. EN ISO 17635 *Non-destructive testing of welds. General rules for metallic materials* presents the correlation between quality levels and the acceptance limits of different NDT methods. There is a separate acceptance limit standard for each testing method. The acceptance limit standards are:

- EN ISO 5817 *Welding. Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded). Quality levels for imperfections*
- EN ISO 23277 *Non-destructive testing of welds. Penetrant testing of welds. Acceptance levels*
- EN ISO 23278 *Non-destructive testing of welds. Magnetic particle testing of welds. Acceptance levels*
- EN 12517-1 *Non-destructive testing of welds. Part 1: Evaluation of welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys by radiography. Acceptance levels*
- EN 11666 *Non-destructive testing of welds. Ultrasonic testing. Acceptance levels*

Project ID: [123456]	Plant Code: [ENH01]	Plant Unit Code: [DA01]	Document Type: ABD01	Running No: [00001]	Revision: [01]	Sheet of Sheets: 8 (10)
The contents of this document are the sole property of Outotec Oyj. Any rights not expressly granted herein are reserved. Reproduction, transfer or distribution of part or all of the contents in any form without the prior written permission of Outotec is prohibited.					Outotec Document ID: [OU300100100_01]	

3.2. Suitability of testing methods for different welding methods

The following table clarifies the commonly accepted testing methods for internal defects in full penetration weld joints. The table follows the standard EN ISO 17635 *Non-destructive testing of welds. General rules for metallic materials*.

Material and joint form	Base material thickness mm		
	$t \leq 8$	$8 < t \leq 40$	$t > 40$
Ferritic butt weld	RT	RT, UT	UT, (RT)
Ferritic T weld	RT, UT	UT, (RT)	UT, (RT)
Austenitic and austenitic-ferritic butt welds	RT	RT, (UT)	RT, UT
Austenitic and austenitic-ferritic T welds	RT, UT	RT, UT	RT, UT
Aluminum butt weld	RT	RT, UT	(RT), (UT)
Aluminum T weld	(RT), (UT)	UT, (RT)	UT, (RT)
Titanium butt weld	RT	RT, (UT)	
Titanium T weld	(RT), (UT)	UT, (RT)	

() suitable with restrictions

Table 2. Determination of testing methods according to weld form and material thickness. The table follows the standard EN ISO 17635 *Non-destructive testing of welds. General rules for metallic materials*.

An infusible root can prevent radiographic or ultrasonic testing in partial penetration welds and tack welds when radiography and ultrasound is used. When no replacement methods have been agreed on, the quality of the weld is ensured through welding process supervision.

The NDT method used for detecting surface defects is selected between magnetic particle testing and penetrant testing if visual inspection is not sufficient. Ferritic steels are tested with magnetic powder, austenitic steels and aluminum alloys with penetrant fluid.

Project ID: [123456]	Plant Code: [ENH01]	Plant Unit Code: [DA01]	Document Type: ABD01	Running No: [00001]	Revision: [01]	Sheet of Sheets: 9 (10)
The contents of this document are the sole property of Outotec Oyj. Any rights not expressly granted herein are reserved. Reproduction, transfer or distribution of part or all of the contents in any form without the prior written permission of Outotec is prohibited.					Outotec Document ID: [OU300100100_01]	



ENGINEERING HANDBOOK

[Document Title 1]

[Document Title 2]

[Firstname Lastname]

[dd.mm.yyyy]

3.3. Suitability of testing methods for different welding defects

The following table clarifies the compatibility of testing methods with welding defects.

	VT	PT	MT	RT	UT
Welding defect:					
Porosity	x ^a	x ^a		x	x
Slag			x ^b	x	x
Incomplete fusion				x	x
Insufficient welding depth	x ^c			x	x
Undercut	x	x	x	x	
Excessive penetration	x ^c	x	x		
Crack	x ^a	x ^a	x ^b	x	x

x^a opens to the surface

x^b opens to the surface or immediately under the surface

x^c requires access to behind the weld

Table 3. Determination of testing methods based on the welding defect looked for.

Project ID: [123456]	Plant Code: [ENH01]	Plant Unit Code: [DA01]	Document Type: ABD01	Running No: [00001]	Revision: [01]	Sheet of Sheets: 10 (10)
The contents of this document are the sole property of Outotec Oyj. Any rights not expressly granted herein are reserved. Reproduction, transfer or distribution of part or all of the contents in any form without the prior written permission of Outotec is prohibited.					Outotec Document ID: [OU300100100_01]	