



**EN- JA ASME-STANDARDIEN VAATIMUSTEN VERTAILU PAINELAITTEIDEN
VALMISTUKSESSA JA HITSUKSESSA**

**COMPARISON OF REQUIREMENTS FOR EN AND ASME STANDARDS IN THE
MANUFACTURING AND WELDING OF PRESSURE EQUIPMENT**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Konetekniikan kandidaatintyö

2023

Joona Palviainen

Tarkastajat: TkT Tuomas Skriko

DI Antti Martikainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Konetekniikka

Joona Palviainen

EN- ja ASME-standardien vaatimusten vertailu painelaitteiden valmistuksessa ja hitsauksessa

Konetekniikan kandidaatintyö

2023

34 sivua, 6 kuvaa ja 1 taulukko

Tarkastaja(t): TkT Tuomas Skriko ja DI Antti Martikainen

Avainsanat: ASME, EN, Painelaite, Hitsaus

Hitsatut painelaitteet ovat olennainen osa teollisuudenaloilla, kuten kemianteollisuudessa, öljy- ja kaasuteollisuudessa sekä energiantuotannossa. Painelaitteiden rakenteellinen eheys ja turvallisuus ovat kriittisiä, koska nämä laitteet on suunniteltu pitämään sisällään kaasuja tai nesteitä korkeissakin paineissa. Hitsattujen painesäiliöiden suunnittelua ja valmistusta säätelevät useat lakisäädökset ja niiden noudattamisen helpottamiseksi on luotu useita standardeja. Euroopan unionissa on noudatettava painelaitedirektiiviä (PED) joka sisältää vaatimustenmukaisuuden arviointia koskevat turvallisuusvaatimukset. Painelaitedirektiivin pohjalta on luotu Eurooppalaisia EN-standardeja. Yhdysvalloissa American Society of Mechanical Engineers (ASME) on kehittänyt paineastioiden suunnittelua ja rakentamista koskevia standardeja.

Tämän kandidaatintyön aiheena on vertailla EN- ja ASME-standardien vaatimuksia painelaitteiden hitsaamiselle. Työssä tutkitaan painelaitteiden valmistusta yleisesti, etenkin materiaalivalinnan ja hitsaamisen osalta.

Tutkimuksessa selvisi, että ASME- ja EN-standardeissa on samat perusvaatimukset painelaitteiden hitsaamiselle. Hitsaajat ja hitsausoperaattorit tulee olla pätevöitetty, hitsaamiselle on oltava hitsausohje, ja valittujen hitsausmenetelmien tulee olla testattuja ja hyväksytyjä. Pääpiirteittäin standardit ovat siis yhteneväisiä, vaikkakin niissä on myös havaittavissa pieniä eroavaisuuksia.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Mechanical Engineering

Joona Palviainen

Comparison of requirements for EN and ASME standards in the manufacturing and welding of pressure equipment

Bachelor's thesis

2023

34 pages, 6 figures and 1 table

Examiners: D.Sc Tuomas Skriko and M.Sc Antti Martikainen

Keywords: ASME, EN, Pressure vessel, Welding

Welded pressure equipment is an essential part of many industries, including the chemical, oil, gas, and power generation industries. The structural integrity and safety of pressure equipment is critical because these devices are designed to contain gases or liquids at high pressures. The design and manufacturing of welded pressure vessels is governed by several legal regulations and there are many standards to facilitate compliance. In the European Union, the Pressure Equipment Directive (PED), which includes safety requirements for conformity assessment, must be complied with. European EN standards have been created from the basis of the Pressure Equipment Directive. In the USA, the American Society of Mechanical Engineers (ASME) has developed standards for the design and construction of pressure vessels.

The subject of this thesis is to compare the requirements of EN and ASME standards for welding pressure equipment. This thesis examines the manufacture of pressure equipment in general, in terms of material selection, and in particular welding.

It was found that the ASME and EN standards have the same basic requirements for welding of pressure equipment. Welders and welding operators must be qualified, there must be a welding manual and the welding methods chosen must be tested and approved. The standards are overall similar, although there are also some minor differences.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

f_a	materiaalin nimellinen suunnittelujännitys koelämpötilassa	[bar, Pa]
f_{T_d}	materiaalin nimellinen suunnittelujännitys suunnittelulämpötilassa	[bar, Pa]
P_d	suurinta painekuormitustapausta vastaava suunnittelupaine	[bar, Pa]
P_s	säiliön suurin sallittu käyttöpaine	[bar, Pa]
P_t	koepaine	[bar, Pa]

Lyhenteet

AI	Authorized Inspector
ASME	The American Society of Mechanical Engineers
CE	Conformité Européenne
DT	Destructive testing
EN	European Norm
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
NDT	Non Destructive Testing
MT	Magnetic Particle Testing
TIG	Tungsten Inert Gas
PED	Pressure Equipment Directive
PT	Penetrant Testing
pWPS	Preliminary Welding Procedure Specification

RT	Radiography Testing
UT	Ultrasonic Testing
VT	Visual Testing
WPS	Welding Procedure Specification
WPQR	Welding Procedure Qualification Record

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	8
1.1	Tutkimuksen merkitys.....	8
1.2	Tutkimuksen tavoite ja tutkimusongelmat.....	8
1.3	Tutkimusmenetelmät.....	9
2	Hitsatut painelaitteet.....	10
2.1	Painelaite lainsäädäntö.....	10
2.1.1	Painelaitelaki ja painelaitedirektiivi.....	11
2.2	Painelaite standardit.....	11
2.2.1	EN-standardi.....	12
2.2.2	ASME-standardi.....	12
2.3	Materiaalit.....	13
2.4	Valmistus ja hitsaus.....	15
2.4.1	Puikkohitsaus.....	16
2.4.1	TIG-hitsaus.....	17
2.4.1	MIG/MAG-hitsaus.....	18
2.4.1	Jauhekaarihitsaus.....	20
3	Vaatimukset painelaitteita valmistaessa ja hitsattaessa.....	21
3.1	WPS.....	22
3.1.1	Hitsausohjeen hyväksyminen.....	22
3.1.2	Hitsausohjeen hyväksyminen menetelmäkokeella.....	23
3.1.3	Hitsausohjeen hyväksyminen esituotannollisella kokeella.....	23
3.2	Hitsaaja.....	24
3.3	Testaus ja valvonta.....	25
3.3.1	Painekoe.....	26
3.3.1	Rikkova testaus.....	27
3.3.2	Ainetta rikkomaton testaus.....	28

3.3.3	Laatukäsikirja.....	29
4	Johtopäätökset	30
	Lähteet	32

1 Johdanto

Painelaitteiden käyttöön liittyy merkittäviä riskejä, jonka vuoksi niiden käyttöä valvotaan erilaisilla direktiiveillä ja laeilla. Näiden noudattamisen helpottamiseksi on luotu erilaisia standardeja. Eri paikoissa vaaditaan erilaisia standardeja, jotka opastavat ja vaativat toimimaan tietyillä tavoilla laadun ja toistettavuuden takaamiseksi. Eri standardit voivat olla vaatimuksiltaan erilaisia, mikä on otettava huomioon niitä käyttäessä. Tässä kandidaatintyössä selvitetään, mitä standardit ovat ja miten ne vaikuttavat painelaitteiden suunniteluun sekä hitsaukseen. Työssä halutaan tietää, mistä eurooppalaisessa EN- ja amerikkalaisessa ASME-standardistoissa on kyse ja selvittää mitä vaatimuksia ne asettavat painelaitteiden hitsaamiselle. Pääpaino on selvittää EN- ja ASME-standardien yhtäläisyydet ja eroavaisuudet.

1.1 Tutkimuksen merkitys

Työ tehdään LUT-yliopiston hitsaustekniikan laboratoriolle, mutta työn julkaistaessa siitä voivat hyötyä niin painelaitteiden valmistajat, suunnittelijat kuin käyttäjätkin. Painelaitteiden kohdalla standardien noudattaminen on erityisen tärkeää, sillä niiden käyttöön liittyy merkittäviä henkilö-, ympäristö- ja omaisuusvahinkojen vaaroja. EN- ja ASME-standardeja käytetään keskenään eri paikoissa ja se voi tuottaa ongelmia tuotteiden viennissä.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimusongelmat

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää EN- ja ASME-standardien eroja ja yhtäläisyyksiä painelaitteiden valmistuksessa ja hitsauksessa keskittyen erityisesti hitsaukseen. Tutkimuskysymyksiä ovat:

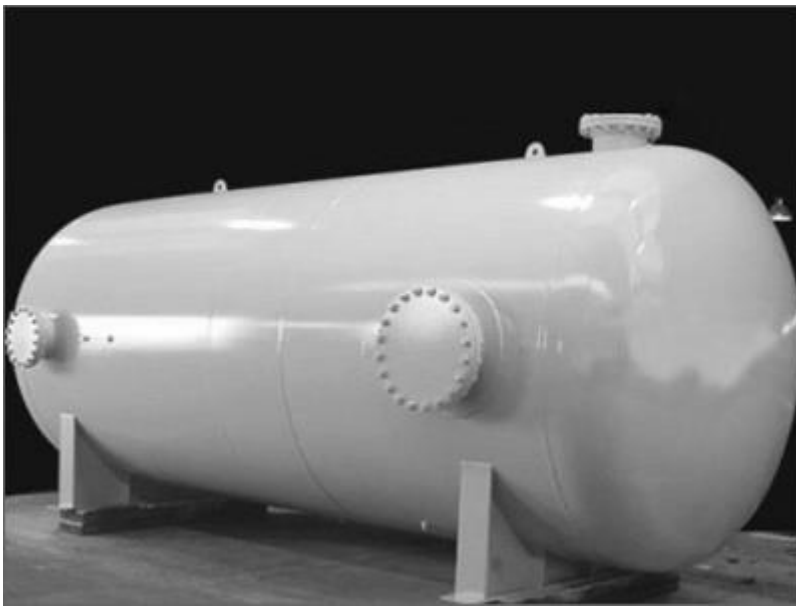
- Mitä standardit ovat?
- Mitä yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia EN- ja ASME-standardeilla on?

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tämä kandidaatintyö tehdään kirjallisuuskatsauksena vertailemalla kyseisiä standardeja sekä etsien olemassa olevaa tietoa luotettavista lähteistä ja tutkimuksista. Tutkimusta tullaan tekemään painelaitedirektiivin ja painelaitelain näkökulmista. Samalla työssä tutustutaan EN- ja ASME-standardeihin. Työn lähteitä tullaan tarkastelemaan kriittisesti ja työssä hyödynnetään vain luotettavia lähteitä. Lisäksi standardeista tulisi käyttää tuoreimpia versioita. Vertailun tukemiseksi luodaan vertailutaulukko.

2 Hitsatut painelaitteet

Painelaitteita on kaikkialla, teollisuudessa, työpaikoilla sekä kotitalouksissa. Painelaitteella tarkoitetaan putkistoja, säiliöitä (kuva 1) sekä muita teknisiä kokonaisuuksia, joihin voi muodostua ylipainetta. (Tukes, 2022a.)



Kuva 1 Painesäiliö (ASME, 2023)

Painelaitteita ovat esimerkiksi erilaiset kaasupullot, painesäiliöt sekä höyry- ja kuumavesikattilat. Painelaitteisiin liittyy merkittäviä ympäristö- ja henkilövahinkovaaroja, jonka vuoksi jo niiden valmistuksessa on otettava monia asioita huomioon. Niitä valvotaan erilaisilla direktiiveillä ja laeilla. (Tukes, 2022a.)

2.1 Painelaite lainsäädäntö

Suomessa painelaitteille on määritelty painelaitelaki, joka velvoittaa käyttämään standardeja ja noudattamaan painelaitedirektiiviä (Tukes, 2022a). Euroopassa käytössä on EN-

standardit, joita noudattamalla oletetaan tuotteen täyttävän turvallisuusvaatimukset. Maailmalla yleisesti johtavin standardisto on ASME. (Tukes, 2023; ASME, 2022.)

2.1.1 Painelaitelaki ja painelaitedirektiivi

Painelaitteita on valvottu lakisääteisesti maailmalla jo hyvin kauan, Suomessakin jo vuodesta 1988. Eduskunnan päätöksen mukaisesti Suomessa on voimassa painelaitelaki (1144/2016). Sitä valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. (Finlex, 2022.)

EU:n laatimaa painelaitedirektiiviä (PED) (2014/68/EU) sovelletaan painelaitteisiin, joiden suurin sallittu paine on yli 0,5 bar. PED (Pressure Equipment Directive) otettiin käyttöön Suomessa vuonna 1999. Vuodesta 2002 lähtien se on ollut Euroopan ainoa painelaitedirektiivi. Direktiivin tavoitteena on, etteivät painelaitteet vaaranna kenenkään terveyttä, turvallisuutta tai omaisuutta. Painelaitedirektiivin tarkoituksena on myös poistaa kaupankäynnin esteitä Euroopan talousalueella. Jos kattila tai paineastia toimitetaan Euroopan unioniin, sen tulee olla valmistettu PED:n mukaisesti ja olla CE-merkitty (ransk. Conformité Européenne). CE-merkityt tuotteet on tarkastettu ja todettu täyttävän EU:n turvallisuus-, terveys ja ympäristö vaatimukset. (Tukes, 2022a.)

2.2 Painelaite standardit

Sanalla standardi tarkoitetaan määrämenettelyllä laadittua ja vahvistettua asiakirjaa, jossa esitetään esimerkiksi teollisuustuotteiden ominaisuuksia, valmistus- ja testausmenetelmiä, luonnontieteellisiä suureita ja yksiköitä koskevia sääntöjä, ohjeita tai määritelmiä. Painelaitteiden lainsäädännön noudattamisen helpottamiseksi on luotu yhdenmukaisia standardeja. Yhdenmukaistettujen standardien käyttö ei ole pakollista, mutta se helpottaa valmistajaa osoittamaan painelaitteen vaatimustenmukaisuutta. (Tukes, 2023.)

2.2.1 EN-standardi

EN-standardit on luotu yhtenäistämään eurooppalaisten yritysten menetelmiä. Ne parantavat suorituskykyä ja turvallisuutta. EN-standardeja kehittävät asiantuntijaryhmät, joilla on tietoa ja taitoa kyseisestä alasta. EN-standardit lujittavat Euroopan yhteismarkkinoita ja parantavat eurooppalaisten yritysten kilpailukykyä, joka taas näkyy talouskasvussa. EN-standardit täydentävät eurooppalaista ja kansallista politiikkaa sekä lainsäädäntöä, ja ne helpottavat yrityksiä noudattamaan eri maiden lakeja. (Cencenelec, 2022.)

2.2.2 ASME-standardi

ASME (The American Society Of Mechanical Engineers) on 1880 luvulla perustettu voittoa tavoittelematon insinöörijärjestö. Sen tavoitteena on luoda ja kehittää ratkaisuja globaalien insinööriyhteisön haasteisiin ja ongelmiin. ASME-standardit, julkaisut, konferenssit, täydennyskoulutukset ja ammatilliset kehitysohjelmat luovat perustan tekniselle tietämykselle. ASME:n standardiportfolio sisältää yli 500 standardia ja niihin liittyvää tuotetta, mutta tässä työssä keskitytään vain standardeihin, jotka käsittelevät painelaitteita. (ASME, 2022.)

ASME-standardin noudattaminen on pakollista Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Sen lisäksi Yhdysvalloissa tai Kanadassa käytettävä paineastia on leimattava ASME:n mukaisella koodilla. ASME-laatuleima edellyttää ASME-standardin noudattamista koko valmistuksen ajan, mukaan lukien ASME:n mukaiset materiaalit sekä tuotteiden tarkastamiset. Lisäksi valmistajalla tulee olla laatukäsikirja, joka on AI:n hyväksymä, sekä valmistuslupa (*Certificate of Authorization*). AI, eli Authorized Inspector, on ASME:n valtuuttama tarkastaja, joka on pätevä ASME QAI-1 standardin mukaan. (ASME, 2022.)

Myös monet muut maat ovat hyväksyneet ASME-standardin. ASME-koodia on käytetty laajalti vuosikymmeniä. ASME:n mukaisesti suunnitellut ja valmistetut paineastiat on todistettu turvallisiksi, joten monet valmistajat ovat sitä mieltä, että ne täyttäisivät PED:n olennaiset turvallisuusvaatimukset. PED on kuitenkin Euroopan unionin laki, jota on noudatettava

kirjaimellisesti EU:n alueella. Euroopassa ASME standardien noudattaminen avaa vientimahdollisuuksia maihin, joissa ASME järjestelmä on käytössä. Tuotteille on mahdollista saada ASME-laatu leima ja ne on mahdollista rekisteröidä USA:n viranomaisen painelaiterekisteriin, National Boardiin. (Kiwa, 2022b.)

2.3 Materiaalit

Painelaitteiden materiaaleista ollaan erityisen tarkkoja. Materiaalien on ominaisuuksiltaan oltava sellaisia, että ne soveltuvat kaikkiin ennakoitavissa oleviin käyttöolosuhteisiin. Niiden tulee myös olla riittävän sitkeitä ja lujia. Materiaaleja valittaessa on myös huomioitava valmistusmenetelmät, kuljetukset, testaukset sekä käytönaikaiset poikkeavat olosuhteet. Kaikkien materiaalien ainevahvuudet tarkastetaan virheiden varalta ja niillä on oltava asianmukaiset aine todistukset. Painelaitteita valmistetaan enimmäkseen teräksestä. Muita materiaaleja ovat mm. kupari, alumiini ja titaani. (Tukes, 2022b.)

Hiiliteräs on painelaitteissa yleisesti käytetty materiaali, ja se kestää hyvin iskuja ja tärinää. Sillä on korkea vetolujuus, myös kappaleen ainevahvuuden ollessa pieni. Kun kappaleella on pieni ainevahvuus, materiaalia kuluu vähemmän ja siten myös kustannukset laskevat. Hiiliteräksellä on myös hyvä hitsattavuus. Hiiliteräksen monipuolisuuden vuoksi siitä valmistettuja säiliöitä käytetään laajasti paperi- ja selluteollisuudessa, polttoaineiden varastoinnissa, kaivosteollisuudessa sekä öljy- ja kaasuteollisuudessa. Hiiliteräksellä on kuitenkin joi-takin rajoituksia. Hiiliteräs voi olla altis korroosiolle erityisesti ympäristöissä, joissa pH on alhainen tai joissa esiintyy kloridi-ioneja. Korroosion lieventämiseksi hiiliteräksestä valmistetut paineastiat voidaan päällystää suojakerroksella tai vuorata korroosionkestävämällä materiaalilla, kuten ruostumattomalla teräksellä tai polymeerillä. Korroosionkestävyyden lisäksi paineastian materiaalin valinta riippuu myös sisällön lämpötilasta ja paineesta. Hiiliteräs ei välttämättä sovellu käytettäväksi korkeissa lämpötiloissa tai sovelluksissa, joissa paine on erittäin korkea. Näissä tapauksissa materiaalit, kuten ruostumaton teräs tai lujatekoinen niukkaseosteinen teräs, voivat olla sopivampia. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry 2004, s. 21–26.)

Ruostumattomalla teräksellä on lähes samat mekaaniset ominaisuudet kuin hiiliteräksellä. Ruostumattomalla teräksellä on hiiliterästä parempi korroosionkestävyys, joten se on hyvä materiaali paikkoihin, jotka ovat alttiita kosteudelle, auringonvalolle tai korkeille lämpötiloille. Ruostumattomalla teräksellä on myös korkea lämpötilankestävyys. Ruostumattomasta teräksestä valmistettuja säiliöitä käytetään yleisesti lääke-, energia- ja kemianteollisuudessa, ja sen lisäksi niitä käytetään laajasti elintarvike- ja juomateollisuudessa. (Koivisto et.al. 2001, s. 144.)

Alumiinilla korvataan usein ruostumattomat teräkset, mutta se soveltuu huonosti korkeisiin paineisiin. Alumiinilla on alhaisempi vetolujuus ja myötölujuus kuin teräksellä, mikä tarkoittaa, että se on alttiimpi muodonmuutoksille suurissa kuormituksissa tai jännityksissä. Tämä voi rajoittaa enimmäispaineita, joita alumiininen paineastia voi turvallisesti sisältää. Alumiinia on helppo työstää ja se on halvempaa, mutta alumiinin hitsaaminen vaatii usein erityisempiä menetelmiä, jotka myös lisäävät haasteita ja kustannuksia. Alumiini säilyttää ominaisuutensa myös matalissa lämpötiloissa, joten se sopii käytettäväksi myös pakkasolosuhteissa. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry 2004, s. 235–266; Valmistajat, 2023.)

Nikkeliseoksia käytetään painelaitteissa useina eri laatuina. Nikkeli parantaa teräksen sitkeyttä matalissa ja korkeissa lämpötiloissa sekä lisää karmenemissyvyyttä. Nikkeliseoksilla on esimerkiksi mahdollista saavuttaa erityisen hyvä kesto syövyttäviä aineita vastaan, joten sitä käytetään erityisesti kemiantekniikan kohteissa. (Lukkari et.al. 2016 s. 42.)

Painelaitteissa käytettäviä teräksiä kutsutaan usein painelaiteteräksiksi. Niille tyypillistä ovat hyvät sitkeysominaisuudet sekä hyvä hitsattavuus. Hiilipitoisuus on yleensä jopa 0,20 % tai enemmän. Painelaiteteräkset ovat usein myös kustannustehokkain materiaaliratkaisu, kun halutaan tuottaa mahdollisimman halvalla kaikki vaatimukset täyttävä tuote. Painelaiteteräksien käyttölämpötilat voivat olla jopa -50°C tai $+700^{\circ}\text{C}$, jolloin teräs pysyy yhä sitkeänä ja lujana. Jos verrataan EN-standardin painelaiteterästä P235 vastaavaan rakenneteräkseen S235 kyseessä on käytännössä sama tuote. Painelaiteterästen aineenkoetus on vaativampaa ja niiden valmistajilta tai jatkojalostajilta vaaditaan ainekoetukset. Yleisiä

rakenneteräksiäkin käytetään painelaitteiden valmistuksissa tietyin edellytyksin. (Koivisto et.al. 2001, s.128–137; Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry 2004, s. 25.)

EN- ja ASME-standardeissa on keskenään hieman erilaiset materiaalit ja niiden nimeämisohjeet. EN-standardissa käytetään harmonisoituja materiaaleja, jotka ovat standardiin kirjattuja. Muille materiaaleille voidaan suorittaa erityisarviointi. ASME BPVC Section II-osiosta löytyy ASME:n mukaiset materiaalit, mutta myös siinä on mahdollisuuksia erityismenettelyille. Erityismenettelyissä materiaalilla on oltava materiaalitodistus, ja materiaalin on oltava jäljitettävissä materiaalitodistukseen, josta tarkastaja voi todeta, että käytettävissä oleva materiaali täyttää kaikki halutun materiaalispesifikaation vähimmäisvaatimukset. EN-standardit edellyttävät painelaitteiden materiaaleilta standardin EN 10204 mukaisia aineistodistuksia. ASME:ssa aineistodistukset vaaditaan levytuotteille, mutta muille riittää standardin mukainen materiaalimerkintä. (SFS-EN 13445-2 2021, s. 7–9; ASME VIII 2013, s. 652.)

Erilaisia painelaiteteräksiä on paljon, kuten EN-standardista teräkset P235GH ja P500QL. Nimikkeissä P tarkoittaa painelaiteterästä, numero 235 ja 500 kertovat kyseisen materiaalin myötölujuuden vähimmäisarvon yksikössä N/mm^2 . G tarkoittaa painetta ja lämpöä kestävä materiaalia, Q nuorrutettua materiaalia ja L matalaa lämpötilaa. ASME-standardissa materiaalikoodin ensimmäiset kirjaimet kertovat, mistä materiaali on peräisin. SA-kirjaimet ovat ASME-materiaalin merkki. Amerikkalaisten standardien materiaalinimet ovat käytännössä vain vakionumeroita, eivätkä ne kerro mitään materiaalin ominaisuuksista. Toisiinsa verrattuna EN-standardien materiaalikoodit ovat paljon informatiivisempia kuin ASME:n. (SFS-EN 10027-1 2016, s. 9; ASME II 2015, s. 827.)

2.4 Valmistus ja hitsaus

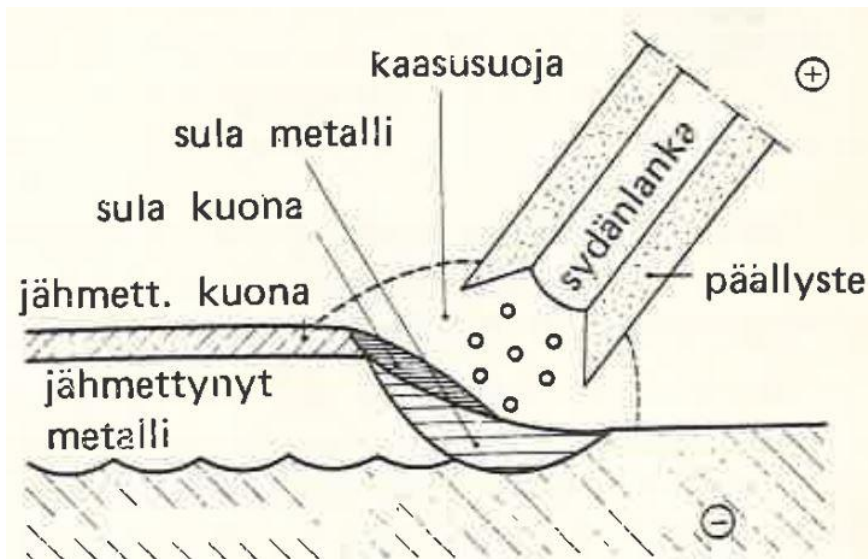
Painelaitteiden valmistajalla on velvollisuus määrittää selkeästi valmistuksen vaiheet ja järjestelyt etenkin, jos ne sisältävät hitsausta, muovausta tai lämpökäsittelyä. Erityinen huomio painelaitteiden valmistuksessa on pysyvissä liitoksissa. Pysyvien liitosten on vastattava materiaalin vähimmäisvaatimuksiin, eivätkä ne saa sisältää pintavirheitä tai sisäisiä virheitä.

Painelaitteiden valmistajilla on oltava riittävät pätevyydet ja perehdytykset valmistuksessa käytettäviin menetelmiin. (Direktiivi 2014/68/EU.)

Hitsauksella tarkoitetaan yleisesti kappaleiden yhdistämistä toisiinsa sulattamalla liitospinnat, voimakkaalla plastisella muokkauksella tai diffuusion avulla. Painelaitteita hitsattaessa käytetään paljon erilaisia hitsausmenetelmiä, joista yleisimpiä ovat puikko, TIG, MIG/MAG sekä jauhekaarihitsaus. Painelaitteissa olevat hitsit ovat tyypillisesti yksinkertaisia kehä- ja pituushitsejä joiden automatisointi/mekanisointi onnistuu hyvin. Painelaittehitsauksessa on erityisen tarkat laatuvaatimukset, mutta hitsatessa myös tuottavuus ja taloudellisuus ovat tärkeitä tekijöitä. Mekanisoinnilla saadaan lisää tuottavuutta, tasainen laatu, kustannustehokkuutta ja työntekijöille parempi työergonomia. (Ihalainen et.al. 1991, s. 279–285.)

2.4.1 Puikkohitsaus

Puikkohitsauksella tarkoitetaan metallikaarihitsausta päällystetyllä lisäaineella. Puikkohitsauksessa puikon pitimeen kiinnitettylisäainepuikko toimii hitsauselektronina. Valokaari palaa hitsauspuikon ja työkappaleen välissä. Syntyvän lämmön vaikutuksesta hitsattavat raiolpinnat ja lisäaine sulavat. Kuvassa 2 näkyy puikkohitsauksen periaate. (Ihalainen et. al. 1991, s. 287–290.)

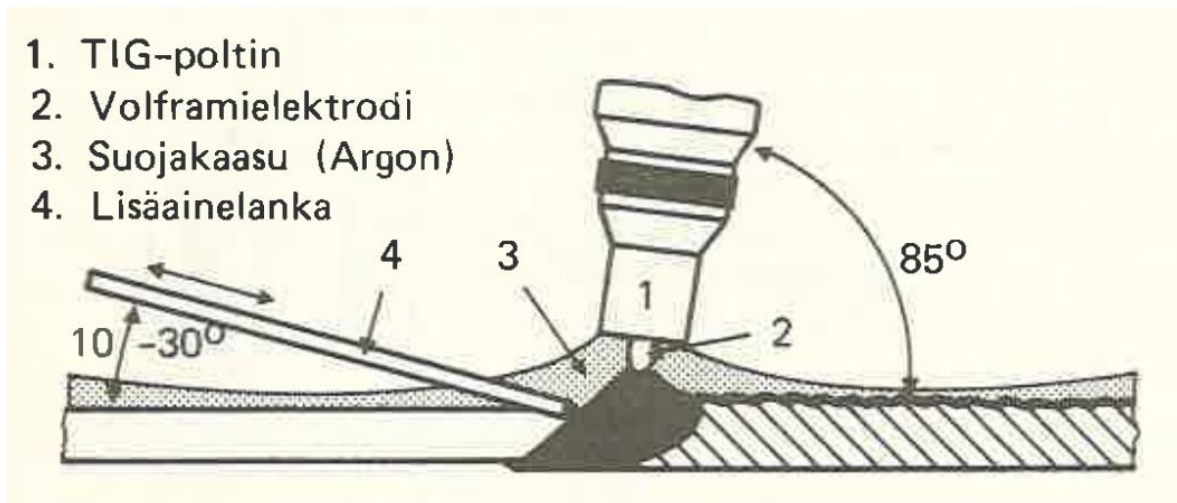


Kuva 2 Puikkohitsauksen periaate (Ihalainen et. al. 1991, s. 287.)

Puikkohitsauksen erityishaasteena on lisäainepuikon ja samalla elektrodin pituuden lyheneminen, jota ei tapahdu muissa hitsausmenetelmissä. Etuna puikkohitsauksessa on, että se sopii kaikenlaisiin olosuhteisiin ja siksi sitä käytetään paljon asennustyömailla. Puikkohitsaus sopii myös ulko-olosuhteisiin ja paikkoihin, joissa vaaditaan hyvää ulottuvuutta. Esimerkiksi putkistokohteet, kuten voimalaitosputket, ovat usein puikkohitsattuja. (Ihalainen et. al. 1991, s. 287–290.)

2.4.1 TIG-hitsaus

TIG-hitsaus (engl. Tungsten Inert Gas Arc Welding) on kaasukaarihitsausprosessi. Siinä valokaari palaa suojakaasussa kulumattoman volframielektrodin ja työkappaleen välillä (kuva 3). TIG-hitsauksessa käytetään inerttiä kaasua, joka ei vaikuta hitsausprosessiin. Lisäainetta voidaan syöttää joko käsin tai mekanisoidusti. (Ihalainen et. al. 1991, s. 292–295.)



Kuva 3 TIG-hitsauksen periaate (Ihalainen et. al., 1991, s. 292)

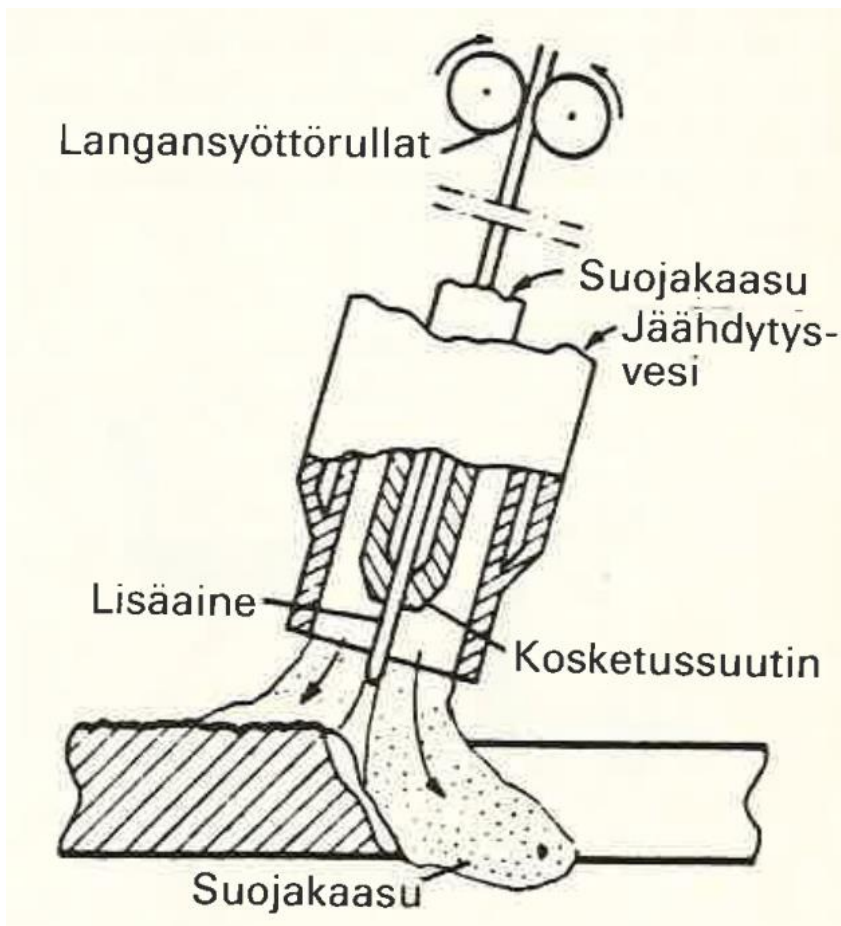
Vaativat putkistot, ruostumattomat putket ja putkipalkit, ohuiden aineiden ja alumiinin sekä erikoismetallien hitsauksessa käytetään usein TIG-hitsausta. TIG-hitsaus sopii jopa 0,1 mm:n ainevahvuuksille. TIG-hitsausta voidaan myös mekanisoida. (Ihalainen et. al. 1991, s. 292–295.)

TIG-hitsauksen etuina ovat hyvä sulan ja tunkeuman hallinta, lämmöntuonnin säädeltävyys sekä hitsin puhtaus. TIG-hitsauksessa ei synny lainkaan kuonaa. Jos ei käytetä lisäainetta, on hitsin muotoa helpompi hallita. TIG-hitsauslaitteisto on suhteellisen kallis verrattuna esimerkiksi puikko- tai MIG/MAG hitsaukseen, eikä sitä ole mahdollista suorittaa tuulisessa säässä. Hitsaajan näkökulmasta TIG-hitsaus on usein vaativampaa. (Ihalainen et. al. 1991, s.292–295.)

2.4.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsauksessa ohutta lisäainelankaa syötetään langansyöttölaitteen ja hitsauspistoolin kautta hitsisulaan. Valokaari palaa lisäainelangan ja perusaineen välillä sulattaen hitsattavan materiaalin ja hitsauslangan yhteen, muodostaen hitsisulan (kuva 4). Hitsauslankaa syötetään tasaisesti hitsaustyön aikana ja samalla hitsiin virtaa myös suojakaasua. Erilaiset suojakaasut erottavat MIG-hitsauksen (Metal Inert Gas welding) ja MAG-hitsauksen (Metal

Active Gas welding). MIG-hitsauksessa käytetään inerttiä suojakaasua ja MAG-hitsauksessa aktiivista suojakaasua. Inertti suojakaasu ei vaikuta hitsaukseen, kun taas aktiivinen suojakaasu, kuten hiilidioksidi tai happi, vaikuttaa. (Ihalainen et. al. 1991, s. 295–300.)

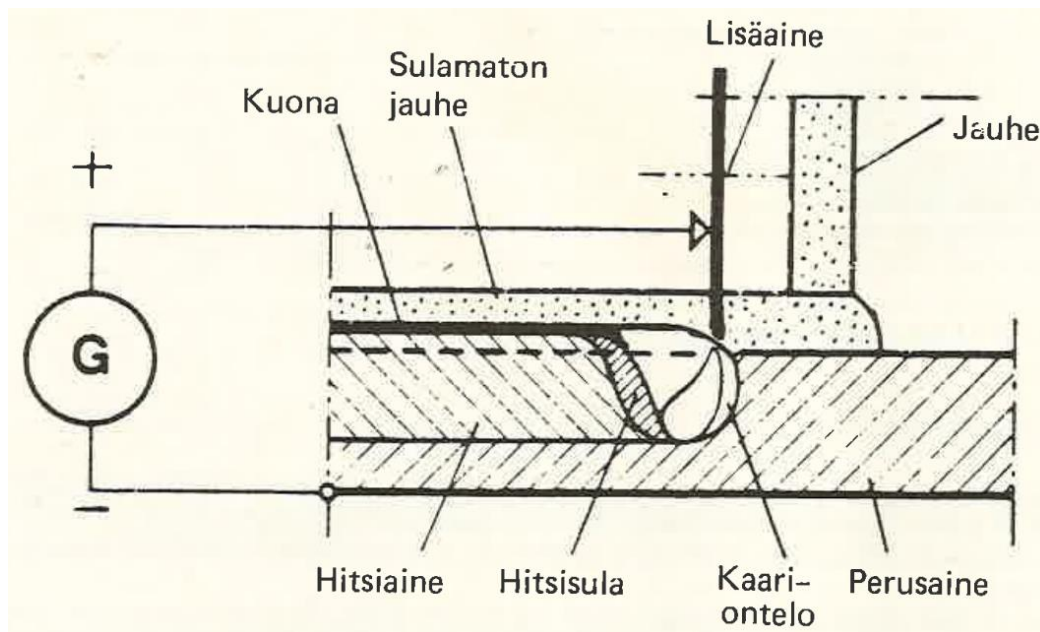


Kuva 4 MIG/MAG-hitsauksen periaate (Ihalainen et. al. 1991, s.295.)

MIG/MAG-hitsausta käytetään kaikkialla teollisuudessa, erityisesti raskaassa ja keskiras-
kaassa teollisuudessa, mutta myös paljon paineastioiden valmistuksissa ja korjauksissa. (Iha-
lainen et. al. 1991, s. 295–300.)

2.4.1 Jauhekaarihitsaus

Jauhekaarihitsaus on kaarihitsausta jatkuvalla lisäainelangalla. Siinäkin syntyy valokaari lisääineen ja työkappaleen välille, mutta se on suojattu jauheella. Kuvassa viisi on esitetty jauhekaarihitsauksen periaate. (Ihalainen et. al. 1991, s. 305–308.)

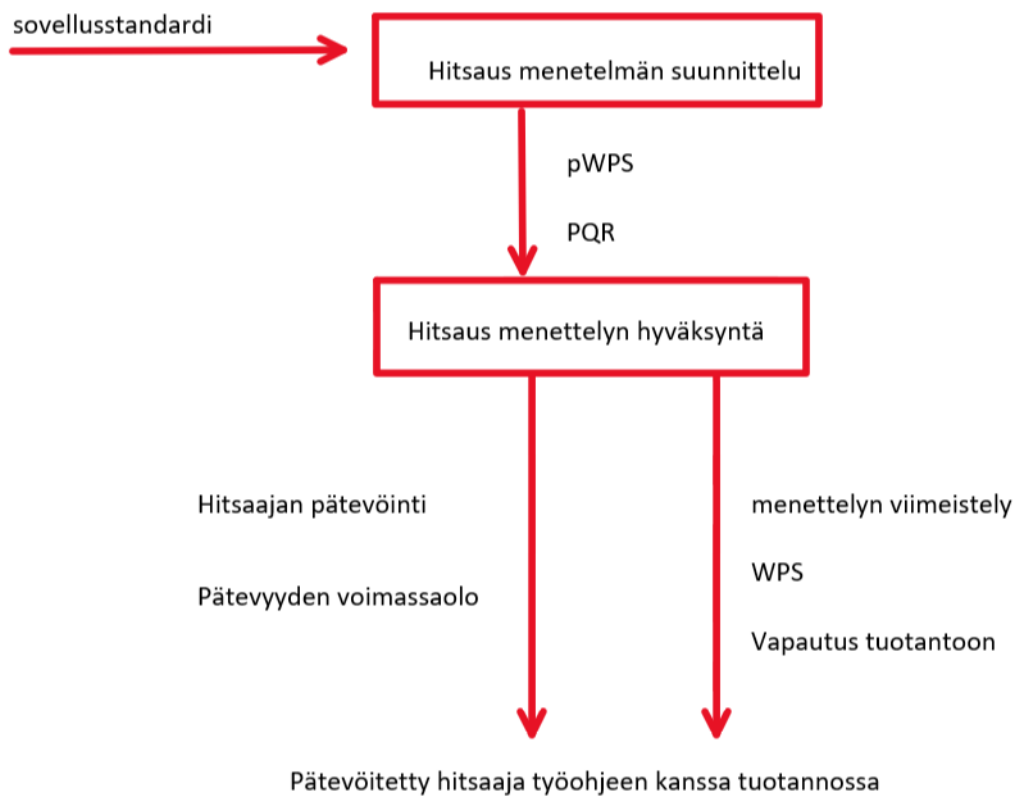


Kuva 5 Jauhekaarihitsauksen periaate (Ihalainen et. al. 1991, s. 305.)

Jauhekaarihitsaus on yleistä hitsattaessa pitkiä hitsejä, sillä se on lähes aina vähintään osittain mekanisoitua. Jauhekaarihitsauksella saadaan myös todella hyvä hitsiaineentuotto. Jauhekaarihitsausta käytetään muun muassa isoihin säiliöihin. (Kempfi, 2022)

3 Vaatimukset painelaitteita valmistessa ja hitsattaessa

Painelaitteiden hitsaamiselle on kolme keskeistä asiaa. Valmistajalla on oltava hitsausohje, WPS (Welding Procedure Specification). Valitut menetelmät tulee hyväksyä, sekä hitsaajalla ja hitsausoperaattorilla on oltava voimassa olevat pätevyudet juuri kyseiselle työlle. Kuvassa kuusi on esitetty karkeasti mitä vaiheita suunnittelun ja painelaittehitsauksen välillä tapahtuu. (ASME IX 2010, s. 1–2; SFS-EN 13445-4 2021 s. 17.)



Kuva 6 Hitsin matka suunnittelusta tuotantoon karkeasti kuvattuna

3.1 WPS

Hitsausmenetelmää koskeva eritelmä WPS on kirjallinen asiakirja, jossa annetaan ohjeita hitsaajalle tai hitsausoperaattoreille tuotantohitsien tekemisestä standardin vaatimusten mukaisesti. EN-standardien mukaan valmistajan on laadittava standardin EN ISO 15609-1:2004 mukainen hitsausohje kaikille hitseille (SFS-EN 13445-4 2021 s. 17). ASME:ssa kyseinen ohje löytyy ASME IX -osiosta. Amerikkalaisten ja eurooppalaisten standardien WPS sisällöt ovat lähes samat. Esimerkiksi kaikki hitsausparametrit ja liitosgeometriat on sisällytettävä molempien standardien WPS:iin. (ASME IX 2010, s. 1–2; SFS-EN 15609-1 2019, s. 7–9.)

3.1.1 Hitsausohjeen hyväksyminen

Ennen varsinaista WPS:ää luodaan alustava hitsausohje, pWPS (Preliminary Welding Procedure Specification). pWPS sisältää samat tiedot kuin WPS. Alustavan hitsausohjeen hitsausparametreilla tehdään menetelmäkokeet tai esituotannolliset kokeet, ja selvitetään täyttävätkö tuotteet asianmukaiset vaatimukset. Testausvaiheessa eri parametreja, kuten virtaa, jännitystä tai nopeutta muutetaan yksitellen. Jokainen muutos dokumentoidaan huolellisesti. Molemmat standardit edellyttävät kaikkiin hitsausohjeisiin viittaukset hitsausohjeen hyväksymispöytäkirjasta (WPQR/PQR, Welding Procedure Qualification Record/Procedure Qualification Record). Mikäli WPS ja PQR vaihtavat omistajaa, ASME:ssa niiden vastuu siirtyy uudelle valmistajalle (ASME IX 2010, s. 14–16). EN-standardeissa hitsaus on saman teknisen- ja laadunvalvonnan alainen. Hitsausmenettelytestin suorittanut valmistaja on täysin vastuussa kaikesta sille tehdystä hitsauksesta. (SFS-EN 15614-1 2017, s. 21.)

Painesäiliön paineen kuormittaville osille on tehtävä menetelmäkokeet SFS-EN 15614-1:2017 tai esituotannolliset kokeet SFS-EN 15613:2004 mukaisesti. ASME:ssa vaihtoehtona on vain menetelmäkoe (ASME IX 2010, s. 3–10). EN-standardit edellyttävät, että tarkastaja tai tutkintaelin todistaa hitsauksen, testauksen ja menettelyn hyväksymispöytäkirjan. Tämä on usein riippumaton kolmas osapuoli. (SFS-EN 13445-4 2021, s. 17–18; SFS-EN 15614-1 2017, s. 9–20.)

3.1.2 Hitsausohjeen hyväksyminen menetelmäkokeella

Menetelmäkoe on prosessi, jota käytetään WPS:n arviointiin ja hyväksymiseen. Sillä osoitetaan, että valmistusta varten ehdotettu liitosprosessi kykenee tuottamaan liitokset, joilla on tarkoitetun käyttökohteen vaatimat mekaaniset ominaisuudet. Menetelmäkokeessa hitsataan standardin mukaisia testikappaleita yksi tai useampi alustavan hitsausohjeen pWPS:n mukaisesti. Hitsille tehdään sitten erilaisia testejä sen laadun ja lujuuden arvioimiseksi. Näihin testeihin sisältyy sekä rikkomattomia että rikkovia testausmenetelmiä. EN-standardissa koe-kappaleiden testauksen laajuus riippuu liitosmuodosta. Koekappaleille tehdään aina silmä-määräinen tarkastus, pintahalkeamien tarkastus, kovuuskoe ja makrohietutkimus. Joissain tapauksissa käytetään myös radiografista tarkastusta tai ultraäänitarkastusta sekä veto-, taivutus- ja iskukokeita. ASME:ssä kokeiden laajuus poikkeaa hieman, ja menetelmäkoe painottuu visuaalisiin tarkastuksiin ja DT-menetelmiin. Jos pWPS:n tuottamat hitsit läpäisevät menetelmätestauksen ja täyttävät vaaditut standardit, WPS voidaan hyväksyä käytettäväksi hitsaustoiminnassa. Menetelmäkoestandardissa EN 15614-1 on kaksi tasoa, joista painelaitteille käytetään korkeampaa tasoa 2. (ASME IX 2010, s. 3–10; EN 15614-1 2017 s. 9–40.)

3.1.3 Hitsausohjeen hyväksyminen esituotannollisella kokeella

Esituotannollinen koe on valmistusprosessin koeajo, jolla varmistetaan, että sillä pystytään tuottamaan vaatimuksien mukaisia tuotteita. Hitsauksen tapauksessa esituotannollinen koe voi käsittää hitsausnäytteen luomisen alustavan hitsausohjeen pWPS:n mukaisesti ja sen jälkeen näytteen testaamisen sen varmistamiseksi, että se täyttää vaaditut lujuus-, ulkonäkö- ja muut laatuvaatimukset. Esituotannollista menetelmää käytetään, kun menetelmäkokeen koekappaleet eivät vastaa riittävästi hitsattavaa liitosta muun muassa muodon, lämmönsiirtymisen tai rakenteen jäykkyyden mukaan. Jos hitsausnäyte läpäisee testin, hitsausohjeet voidaan hyväksyä käytettäväksi tuotantoprosessissa. Esituotannollisen kokeen tarkastuslaajuudet ja pätevyysalueet ovat samat kuin menetelmäkokeen standardissa EN 15614. (SFS-EN 15613 2004, s. 10–14.)

3.2 Hitsaaja

ASME- ja EN- standardeissa hitsaajien ja hitsausoperaattorien perusvaatimukset ovat samat. Hitsaajalla ja hitsausoperaattorilla on oltava voimassa olevat pätevyudet kyseiseen työhön eli jokaiseen hitsausprosessiin sekä tuotantohitsauksessa käytettävään materiaaliin. Hitsaajan kelpuuttamisen peruskriteerinä on määritellä hitsaajan kyky ehjään hitsiaineeseen. Hitsaajan pätevyyskokeen tarkoituksena on määrittää hitsaajan mekaaninen kyky käyttää hitsauslaitetta. (ASME IX 2010, s. 52–60.)

Sekä EN- että ASME-standardien mukaan hitsaajien pätevyudet perustuvat oleellisiin muuttujiin, joille annetaan omat pätevyysalueet. ASME:ssa on myös viittaus hitsaajien pätevyyskoestandardiin EN 9606-1 ja hitsausoperaattoreiden pätevyyskoestandardiin EN 14732. ASME:n mukaan hitsaajan pätevyysstandardit alkavat olla hyvin lähellä toisiaan. EN-standardin mukaisesti pätevoidetyt hitsaajat ja hitsausoperaattorit kelpaavat ASME:ssa tietyin edellytyksin. Vain pätevyyslaajuuksissa ja testausmenetelmissä on pieniä eroavaisuuksia. (ASME IX 2019, s. 366). EN-standardin mukaan oleellisia muuttujia ovat:

- Hitsausprosessi,
- Tuotemuoto (levy ja putki)
- Hitsilaji (päittäishitsi ja pienahitsi)
- Lisäaineryhmä ja lisäainetyyppi
- Mitat (aineenpaksuus ja putken ulkohalkaisija)
- Hitsausasento
- Hitsin yksityiskohdat (kiinteä juurituki, kaasujuurituki, jauhejuurituki, sulava juurituki, hitsaus yhdeltä puolelta, hitsaus molemmilta puolilta, yksipalkokerros, monipalkokerros, myötähitsaus, vastahitsaus).

Kaikilla muuttujilla on sallitut rajat eli pätevyysalueet. Hitsaajalle vaaditaan uusi pätevyyskoe, jos muuttujat menevät pätevyysalueen ulkopuolelle. Pätevyyskoe hitsataan joko päittäishitsauksena tai pienahitsauksena, mutta päittäishitsaus ei pätevoiditä pienahitsaukseen tai

päinvastoin. Hitsaus lisäaineella pätevöittää hitsaamaan ilman lisäainetta, muttei päinvastoin. (SFS-EN 9606-1 2017, s.11–31.)

Koekappaleet hitsataan kokeen valvojan läsnä ollessa ja kokeen valvojan on todennettava, että vaaditut testaukset on suoritettu. Koekappaleet merkitään valvojan ja hitsaajan tunnistusmerkinnöillä. Kokeen valvoja voi myös keskeyttää hitsauskokeen, mikäli hitsausolosuhteet eivät ole asianmukaiset tai jos ilmenee, että hitsaajalta puuttuu taito selviytyä hitsausvaatimuksista. (SFS-EN 9606-1 2017, s.11–31.)

ASME:ssa valmistaja pätevöi itse hitsaajansa, kun taas EN-standardeissa pätevöintilaitos pätevöittää hitsaajan SFS-EN 9606 mukaisesti (SFS-EN 13445-4 2021 s. 17–18). Hitsaajien pätevyyksien voimassaoloissa on eroavaisuuksia, kun verrataan standardeja keskenään. ASME:ssa hitsaajan pätevyys on voimassa ilman aikarajaa edellyttäen, että hän on hitsannut tätä prosessia kuuden kuukauden aikana, eikä hänen hitsauskykyään ole syytä kyseenalais-
taa. EN-standardien mukaan hitsaajan pätevyyskoetodistus on voimassa kaksi vuotta sillä edellytyksellä, että työnantaja voi kuuden kuukauden välein vahvistaa hitsaajan pätevyiden tyydyttävien tuloksien. EN-standardien mukaan yritys, joka hitsaa tuotteita voi palkata toisen organisaation pätevöitettyjä hitsaajia tai hitsausoperaattoreita. Tämä ei ole ASME:ssa sallittua (ASME IX 2010, s. 52–60; SFS-EN 9606-1 2017, s.11–30.)

EN-standardeissa pätevöitetty henkilö voi hitsata millä vain konepajalla tai työmaalla. ASME:ssa valmistajalla on oltava valmistuslupa (Certificate of Authorization). Se on mahdollista hankkia sertifiauditoinnin kautta. Valmistuslupa on todistus siitä, että yrityksen valvontajärjestelmät ovat ASME:n mukaisia ja se antaa yritykselle luvan lyödä tuotteisiin ASME-leiman. (Kiwa, 2022a)

3.3 Testaus ja valvonta

ASME- ja EN-standardeissa vaaditaan molemmissa hitseille tarkastuksia ja testauksia, mutta niissä on joitakin eroja. Erilaisilla koestuksilla todetaan, miten materiaalin tai tuotteen

ominaisuudet on saavutettu ja vastaavatko ne tavoitearvoja. Painelaitteille tyypillinen testausmenetelmä on painekokeet, mutta myös rikkovaa (DT) ja ainetta rikkomatonta (NDT) testausta edellytetään standardeissa. Rikkovia ja rikkomattomia testejä tehdään molempia ennen varsinaisten tuotantokappaleiden hitsausta menetelmäkokeen yhteydessä. Rikkomattomia testejä tehdään valmiiden tuotteidenkin hitseille. ASME-standardissa edellytetään myös laatukäsikirjaa (QC-manual) ja AI:n hyväksyntää. (ASME VIII 2013, s. 337; SFS-EN 13445-4 2021, s. 21–26.)

3.3.1 Paineekoe

Painetestin tarkoituksena on varmistaa painejärjestelmien turvallisuus, luotettavuus ja tiiveys. Painetestit sisältää säiliön tai putkijärjestelmien täyttämisen nesteellä, ja astian paineistamisen määritettyyn testipaineeseen. Testipaineen suhteen EN- ja ASME-standardeissa on eroavaisuuksia. ASME-standardissa yleisin testauspaine on:

$$P_t = 1,5 * \text{suurin sallittu paine} \quad (1)$$

EN-standardissa koepaineen on oltava vähintään suurempi seuraavista:

$$P_t = 1,25 * P_d \frac{f_a}{f_{T_d}} \quad (2)$$

$$P_t = 1,43 * P_s \quad (3)$$

Joissa P_t on koepaine, P_d on suurinta painekuormitustapausta vastaava suunnittelupaine, P_s on säiliön suurin sallittu käyttöpaine, f_a on materiaalin nimellinen suunnittelujännitys koelämpötilassa ja f_{T_d} on materiaalin nimellinen suunnittelujännitys suunnittelulämpötilassa. Molemmissa standardeissa on kuitenkin poikkeustilanteita, joissa kyseiset kaavat eivät päde. Useimmissa tapauksissa määritellyt materiaalit eivät vaikuta testipaineeseen. Lähtökohtaisesti kaikki valmiit tuotteet koeponnistetaan eheyden osoittamiseksi. (ASME VIII 2013, s. 337; SFS EN 13445-5 2021, s. 33–39.)

3.3.1 Rikkova testaus

DT (destructive testing) tarkoittaa nimensä mukaisesti aineen rikkovaa koestusta. Sillä selvitetään tuotteiden mekaanisia ominaisuuksia, kuten lujuutta, sitkeyttä ja kovuutta. DT-menetelmiä käytetään menetelmäkokeen aikana, kun selvitetään mm. hitsin kestävyyttä sekä materiaalin ominaisuuksia ja käyttäytymistä. (Kiwa, 2022b)

Rikkovan testauksen tarkoituksena on määrittää materiaalin tai komponentin suorituskyvyn rajat, tunnistaa mahdolliset heikkoudet tai vikakohdat sekä tuottaa tietoa materiaalien, tuotteiden ja rakenteiden kehittämiseen ja parantamiseen. On olemassa useita DT-menetelmiä. (Lukkari et. al. 2016, s. 139–146.)

Vetokokeella määritellään materiaalin lujuutta, jäykkyyttä ja muodonmuutoskykyä. Vetokokeessa standardisoitua testikappaletta vedetään, kunnes se rikkoutuu tai muuttaa muotoaan. Kokeen tuloksesta saadaan määriteltyä materiaalille ominainen jännitys-venymäkäyrä. Menetelmäkokeessa murtolujuuden on ylitettävä materiaalistandardin mukainen perusaineen vähimmäismurtolujuus. Taivutuskokeessa koesauvaan aiheutetaan taivuttamalla pysyvä muodonmuutos. Kuormituksen ja siirtymän avulla saadaan selvitettyä materiaalin taivutuslujuus, jäykkyys ja sitkeys. Iskukoe sisältää iskukuormituksen kohdistamisen testikappaleeseen ja näytteen absorboiman energian mittaamisen, kunnes se rikkoutuu tai muuttaa muotoaan. Iskukoetta käytetään materiaalien iskunkestävyyden tai sitkeyden arvioimiseen. Mitä parempi iskusitkeys materiaalilla on, sitä vaikeammat olosuhteet ja jännityskeskittymät se kestä. (Lukkari et. al. 2016, s. 140–146.)

Makrohietutkimus on osa menetelmäkoetta ja siinä koekappaleesta sahataan irti koesauva tai -pala. Se hiotaan tasaiseksi ja syövytetään hapolla. Koekappaletta tarkastellaan makro- ja mikroskooppisesti ja tuloksista voidaan nähdä esimerkiksi hitsin muutosvyöhykkeen leveys, palkorakenne sekä mahdolliset hitsausvirheet. Hitsausliitosten kovuuskoe on laboriotesti, jota käytetään määrittämään hitsattujen liitosten kovuus. Se on tärkeää, koska kovuus vaikuttaa liitoksen lujuuteen ja kestävyteen mekaanisissa kuormituksissa.

Hitsausliitosten kovuuskoe voidaan tehdä erilaisilla kovuusmittareilla, kuten Rockwellin tai Vickersin kovuusmittareilla. Kokeen aikana liitosta painetaan mittarin kartion tai pyramidin muotoisella painimella, ja mittarin näyttämä luku kertoo liitoksen kovuuden. (Lukkari et. al. 2016, s. 152–161.)

3.3.2 Ainetta rikkomaton testaus

NDT (Non-Destructive Testing) tai NDE (Nondestructive evaluation) -tarkastuksilla tarkoitetaan nimiensä mukaisesti aineiden, tavallisesti metallirakenteiden ja niiden hitsausten tarkastusta ilman, että valmiita tuotteita joudutaan rikkomaan. Erilaisilla NDT-menetelmillä varmistetaan tuotteiden kestävyyttä, luotettavuutta ja turvallisuutta. Hitsaukseen liittyen NDT-tarkastukset ovat välttämättömiä laadunhallinnan kannalta. ASME:ssa NDT/NDE-henkilöstö voi olla valmistajan omaa henkilöstöä, mutta EN standardit edellyttävät kolmannen osapuolen. On olemassa monia erilaisia NDT-menetelmiä, joista jokaisella on omat etunsa ja rajoituksensa. NDT-menetelmät voidaan jakaa karkeasti pintamenetelmiin ja volumetriisiin menetelmiin. (Lukkari et. al. 2016, s. 139; Koivisto et.al. 2001, s. 32–34.)

NDT-pintamenetelmiä käytetään havaitsemaan pintatason vikoja, kuten halkeamia, korroosiota ja muita vaurioita, jotka voivat vaikuttaa materiaalin tai komponentin eheyteen ja suorituskykyyn. Pintamenetelmiä ovat silmämääräinen (VT), tunkeumaneste (PT), ja magneettijauhetaikastukset (MT). Silmämääräinen tai visuaalinen tarkastus sisältää kohteen tai materiaalin pinnan tutkimisen paljaalla silmällä, tai suurennuslaitteiden tai kameroiden avulla. Visuaalinen tarkastus tehdään hitseille lähtökohtaisesti aina. Tunkeumanestetarkastuksessa kappaleen pinnalle levitetään väriaine. Väriaine pyyhitään pois ja tilalle laitetaan kehitettä. Mahdolliset halkeamat tai muut pinnan epätasaisuudet paljastavat väriaineen, joka tunkeutuu halkeamiin ja tulee näkyviin kehitettä levitettäessä. Magneettijauhemenetelmässä käytetään magneettista kenttää, jonka avulla havaitaan materiaalin pinnassa olevat viat. Magneettikenttä luodaan materiaalin pinnalle, ja sitten materiaaliin levitetään rautapitoisia magneettisia jauheita. Nämä jauheet kiinnittyvät pintaan ja magneettikentän vääristymät näyttävät sitten viat tarkastajalle. (Koivisto et.al. 2001, s. 32–34.)

Volymetriset NDT-menetelmät ovat tekniikoita, joilla voidaan tarkastaa materiaalin tai komponentin sisäpintojen laatu ilman, että rakenne vaurioituu. Nämä menetelmät ovat erityisen hyödyllisiä vikojen, kuten halkeamien, korroosion ja muunlaisten vaurioiden tunnistamisessa ja havaitsemisessa. Volymetrisiä menetelmiä ovat ultraäänitestaus ja radiografinen testaus. Radiografisessa testauksessa tuotetta tutkitaan röntgen- tai gammasäteiden avulla. Säteet johdetaan kohteen läpi ja kuva luodaan digitaalisesti tai filmille. Kuvan avulla sisäinen rakenne voidaan tutkia vikojen tai epätäydellisyyksien varalta. Ultraäänitestauksessa käytetään korkeataajuisia ääniaaltoja kohteen sisäisen rakenteen tarkastamiseksi. Aallot välittyvät esineeseen ja heijastuksia käytetään luomaan kuva sisäisestä rakenteesta, jolloin viat voidaan havaita. (Koivisto et.al. 2001, s.32–34.)

3.3.3 Laatukäsikirja

ASME edellyttää laatukäsikirjan (QC-manual) laatimista ja ylläpitoa. Sen tarkoituksena on tiivistää osa-alueittain tuotannon toimintatavat ja vakuuttaa niiden olevan yhdenmukaisia ASME-standardien kanssa. QC-manuaali on hyväksyttävä AI:lla ennen tuotannon aloittamista. (ASME VIII 2013, s. 337.)

4 Johtopäätökset

Mikäli paineastia toimitetaan Euroopan unioniin, sen tulee olla valmistettu PED:n mukaisesti ja olla CE-merkitty. Yhdysvalloissa ja Kanadassa painelaitteet on oltava valmistettu ASME Boiler & Pressure Vessel Coden mukaisesti ja niiden tulee olla ASME-leimattuja. Molemmat standardit helpottavat paikallisten säännösten noudattamista omilla alueillaan.

ASME- ja EN- standardeissa on samat perusvaatimukset painelaitteiden hitsaamiselle. Hitsaajat ja hitsausoperaattorit tulee olla pätevoidetty, hitsaamiselle on oltava hitsausohje ja valittujen hitsausmenetelmien tulee olla testattuja ja hyväksytyjä. Pääpiirteittäin standardit ovat yhteneväisiä, vaikkakin niissä on myös havaittavissa pieniä eroavaisuuksia. Taulukossa 1 on esitetty merkittävimmät eroavaisuudet erityisesti hitsaukseen liittyen.

ASME- ja EN- standardeja tarkastellessa on otettava heti huomioon kieli ja yksiköt. ASME on saatavilla vain englanniksi mutta EN-standardeja on käännetty myös suomeksi. ASME:ssä on käytössä yksiköiden osalta Imperial-järjestelmä, kun taas EN:ssä SI. Hitsauksen kannalta eroavaisuutena on hitsaajien pätevänti ja sen voimassaolo. ASME:ssä valmistaja päteväi itse hitsaajansa ja pätevyys on voimassa toistaiseksi, ellei hitsaajan taitoja ole tarve kyseenalaistaa. EN-standardeissa hitsaajan pätevoidttää pätevoidntilaitos ja se on voimassa 2 vuotta, edellyttäen että 6 kuukauden sisällä on hitsattu. ASME:ssä on lisävaatimuksena myös konepajojen hyväksyminen, nimetty AI-tarkastaja sekä laatukäsikirja.

Taulukko 1 ASME- ja EN- standardien eroavaisuuksia

	ASME	EN
Kieli	Vain englanniksi	Alkuperäinen englanniksi, käännetty myös suomeksi
Yksiköt	Imperial-järjestelmä	SI-järjestelmä
Hyväksytty konepaja	Vaaditaan Certificate of authority	Ei vaadita

Materiaalitodistukset	Vaaditaan levyille, useimmille muille materiaaleille riittää materiaalinormien mukainen merkkkaus	Kaikille materiaaleille EN 10204 mukaisesti
Hitsaajien pätevänti	Valmistaja päteväi itse	Päteväntilaitos päteväi
Hitsaajan pätevyuden voi-massaolo	Ikuinen ellei tarve kyseen-alaistaa	2 vuotta, edellyttäen että 6 kuukauden sisällä on hit-sattu
Laatukäsikirja	QC-manuaali vaaditaan	Ei pakollinen
NDE/NDT-henkilöstö	Valmistajan oma henkilöstö ja/tai NDE-yritys	Kolmas osapuoli
Tarkastajat	Nimetty AI jokaisessa tar-kastuksessa	Ei määritelty.
WPS hyväksyminen	Menetelmäko	Esituotannollinen ko

Lähteet

ASME (2022) About Asme [Asme nettisivu] [viitattu 10.2.2022] Saatavilla: <https://www.asme.org/about-asme>

ASME (2023) #138 ASME Boiler and Pressure Vessel Code [Asme nettisivu] [viitattu 4.1.2023] Saatavilla: <https://www.asme.org/about-asme/engineering-history/landmarks/138-asme-boiler-and-pressure-vessel-code>

ASME II. 2015. Ferrous Material Specifications (SA-451 to End) New York: The American Society of Mechanical Engineers. s. 827

ASME VIII 2013. Rules for Construction of Pressure Vessels New York: The American Society of Mechanical Engineers. s. 337, 652

ASME IX. 2010. Qualification standard for welding and brazing procedures, welders, brazers, and welding and brazing operators. New York: The American Society of Mechanical Engineers. s. 1-10, 52-60

ASME IX. 2019. Qualification standard for welding and brazing procedures, welders, brazers, and welding and brazing operators. New York: The American Society of Mechanical Engineers. s. 366

Cencenelec (2022) European standardization [Cencenelec verkkosivu] [viitattu 9.12.2022] Saatavilla: <https://www.cencenelec.eu/european-standardization/>

Direktiivi 2014/68/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/68/EU [Viitattu 10.12.2022] Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0068>

Finlex (2022) Painelaitelaki [Finlex nettisivu] [viitattu 9.12.2022] Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161144>

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 1991. Valmistustekniikka. 3. painos. Hämeenlinna: Otatieto Oy. s. 279–308

Kemppi (2022) Muita hitsausmenetelmiä [Kemppi nettisivu] [Viitattu 10.12.2022] Saatavilla: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/muita-hitsausmenetelmia/>

Kiwa (2022a) Asme koodin mukaiset tarkastuspalvelus [Kiwa nettisivu] [Viitattu 9.12.2022] Saatavilla: <https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme2/tarkastus-varmennus-ja-kalibrointi/asme-koodin-mukaiset-tarkastuspalvelut-painelaitteille/>

Kiwa (2022b) Rikkova testaus eli DT-testaus (Destructive Testing) [Kiwa nettisivu] [Viitattu 13.12.2022] Saatavilla: <https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme2/ndt-tarkastus-ja-teknologiapalvelut/rikkova-testaus-eli-dt-testaus-destructive-testing>

Koivisto K., Laitinen E., Niinimäki M., Tiainen T., Tiilikka P., Tuomikoski J. 2001. Kone-tekniikan Materiaalioppi. Helsinki: Edita Oyj. s. 32–34, 128–137, 144

Lukkari J., Kyröläinen A., Kauppi T., 2016. Hitsauksen Materiaalioppi Osa 1. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry. s.42, 139–146, 152–161

SFS-EN 9606-1. 2017 Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. s. 11–31

SFS-EN 10027-1. 2016. Terästen nimikejärjestelmät. Osa 1: Terästen nimikkeet. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. s. 9

SFS-EN 13445-2. 2021. Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 2: Materiaalit. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. s. 7–9

SFS-EN 13445-4. 2021. Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 4: Valmistus. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. s. 17–18, 21–26

SFS-EN 13445-5. 2021. Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 5: Tarkastus ja testaus. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. s. 33–39

SFS-EN 15609-1. 2019 Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hitsausohjeet. Osa 1: Kaarihitsaus. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. s. 7–9

SFS-EN 15613. 2004. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. hyväksyntä esituotannollisella hitsauskokeella. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. s. 10–14

SFS-EN 15614-1. 2017. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntä menetelmäkokeella. Osa 1: Terästen kaari- ja kaasuhitsaus sekä nikkelin ja nikkelseosten kaarihitsaus. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. s. 9–40

Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry, 2004. Hitsauksen materiaalioppi. Helsinki Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry s. 21–26, 235–266

Tukes (2022a) Painelaitteet [Tukes nettisivu] [viitattu 10.2.2022] Saatavilla: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/painelaitteet>

Tukes (2022b) Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi [Tukes nettisivu] [viitattu 10.2.2022] Saatavilla: <https://tukes.fi/tietoa-tukesista/materiaalit/painelaitteet/painelaitteiden-suunnittelu-valmistus-ja-vaatimustenmukaisuuden-arviointi>

Tukes (2023) Standardien asema vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa [Tukes nettisivu] [viitattu 3.1.2022] Saatavilla: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaatimustenmukaisuus/standardien-asema-vaatimustenmukaisuuden-osoittamisessa>

Valmistajat (2023) Alumiini ja alumiiniseokset osoittamisessa [Valmistajat nettisivu] [viitattu 4.1.2022] Saatavilla: <https://valmistajat.fi/materiaalit/alumiini-ja-alumiiniseokset>