

Matti Peltola

**Hitsaajan pätevyyskokeen virhetarkastelusta osaamisen
johtamiseen**

Opinnäytetyö

Syksy 2011

Tekniikan yksikkö

Ylempi Ammattikorkeakoulututkinto

Teknologiaosaamisen johtaminen



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Teknologiaosaamisen johtaminen

Tekijä: Matti A. K. Peltola

Työn nimi: Hitsaajan pätevyyskokeen virhetarkastelusta osaamisen johtamiseen

Ohjaaja: Markku Kärkkäinen

Vuosi: 2011

Sivumäärä: 175

Liitteiden lukumäärä: 21

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää hitsaajan pätevyyskokeissa havaittujen hitsausvirheiden määrä ja laatu sekä näiden tietojen hyödynnettävyys hitsattavia tuotteita valmistavan organisaation osaamisen johtamisessa.

Tutkimuksen viitekehys rakentui osaamisen ja osaamisen johtamisen teoriasta, hitsaajan päteväyttämiseen ja hitsausvirheisiin liittyvien standardien keskeisestä sisällöstä, oleellisesti tutkimukseen liittyvästä hitsauksen ja tarkastustoiminnan teoriasta ja hitsausvirheiden perusteista. Lisäksi tutustuttiin alan aikaisempiin tutkimuksiin sekä onnettomuustutkimuskeskuksen raportteihin, koskien hitsausliitoksista aiheutuvia vauriotapauksia. Tutkimusaineisto sisälsi 805 pätevyyskokeen tarkastuspöytäkirjaa. Pätevyyskokeet olivat hitsattu Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymässä vuosina 2008-2011.

Tutkimuksen tuloksena saatiin selvitettyä pätevyyskokeissa havaittujen hitsausvirheiden määrä, laatu ja esiintymistiheys suhteessa eri hitsausprosesseihin ja muihin oleellisiin muuttujiin. Tutkimuksessa todettiin, että päteväintijärjestelmän tuloksia voidaan hyödyntää osaamisen johtamisessa. Lisäksi havaittiin, että vaikeasti mitattavissa oleva aineeton pääoma osaaminen, pystytään päteväintijärjestelmässä muuttamaan mitattavaan muotoon. Tutkimustyö ja käytetty kirjallisuusmateriaali auttoi ymmärtämään päteväintijärjestelmän merkityksen hitsattavia tuotteita valmistavien yritysten kokonaisosaamiseen, hitsaustyön laatuun sekä hitsausvirheiden merkitykseen rakenteiden vauriotapauksissa.

Yhteenvedon koko tutkimuksesta voidaan todeta, että hitsaushenkilöstön päteväintijärjestelmään kannattaa suhtautua osaamisen johtamisen työkaluna, eikä standardin vaatimana pakkona.

Avainsanat: hitsaus, hitsausvirhe, pätevyyskoe, osaaminen, osaamisen johtaminen, arviointi, tarkastus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Master's Degree in Technology Competence Management

Author: Matti A. K. Peltola

Title of thesis: From the error review of the welder proficiency test into the knowledge management

Supervisor: Markku Kärkkäinen

Year: 2011

Number of pages: 175 Number of appendices: 21

The objective of this master thesis was to clarify the number and quality of the welding imperfections made in the welder proficiency test and to find out the recoverability of these data in the management of a company manufacturing these products.

The framework of the investigation based on the theory of the knowledge and the knowledge management, the qualification of the welder, the central contents of the standards connected to the welding imperfections, the welding and inspection operation theory connected to the research and the basics of the welding imperfections. Additionally, earlier researches and reports by the Finnish Accident Investigation Board regarding the damage cases in the welding joints. The research material included 805 audit minutes of the proficiency test. The proficiency tests were welded in the Educational Municipal Federation of the Kalajokilaakso region in 2008-2011.

The results of the research indicated the number, quality and occurrence in relation to the welding processes and other essential variables. It was discovered that the results of the proficiency system can be utilized in the knowledge management. It was also discovered that the intangible asset knowledge that is difficult to measure can be altered into a measurable format. The research work and the literature used helped in understanding the meaning of the proficiency system to the complete knowledge of the companies manufacturing welding products, the quality of the welding work and the meaning of the welding imperfections in cases of damages to the structures.

As a conclusion, it can be stated that the proficiency system of the welding personnel is worth being regarded as a tool for the knowledge management and not as a necessity required by the standards.

Keywords: welding, welding imperfection, proficiency test, knowledge, knowledge management, evaluation

SISÄLTÖ

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ	2
THESIS ABSTRACT	3
SISÄLTÖ	4
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET	8
KUVALUETTELO	15
KUVIOLUETTELO	19
TAULUKKOLUETTELO	25
KAVALUETTELO	25
1 TUTKIMUS	27
1.1 Asiakkaan esittely	27
1.2 Tutkimuksen lähtökohta	29
1.3 Tutkimuksen tarkoitus ja hyöty	31
1.4 Tutkimustyön merkittävyys	32
1.5 Tutkimustyön merkittävyys hitsausvirheiden aiheuttamien vaurioiden näkökulmasta	37
1.6 Hitsaajan pätevyyskokeiden merkitys yrityksen osaamiselle ja laadulle ...	40
1.7 Tutkimusprosessi	43
1.7.1 Empiirinen tutkimus	43
1.7.2 Tutkimusongelma	44
1.7.3 Tiedonhankintamenetelmät ja tutkimusaineisto	45
1.7.4 Tiedonkäsittelymenetelmät	45
1.7.5 Kirjallinen tuotos ja tutkimuksen rajausta	46
2 OSAAMISEN JOHTAMINEN	47
2.1 Osaamisen johtaminen osana strategista johtamista	47
2.2 Osaaminen	47

2.3 Hitsaajien osaamisen johtaminen.....	53
2.4 Hitsaavan organisaation osaamisen johtaminen	56
2.5 Osaamisen johtaminen tulevaisuudessa ja muutoksissa	58
2.6 Hitsaajan osaaminen ja työhyvinvointi	60
2.7 Viitekehyksen tiivistelmä	61
3 HITS AUS JA HITS ATTAVUUS	62
3.1 Hitsaus	62
3.2 Hitsaus valmistusmenetelmänä.....	62
3.3 Hitsausliitos.....	63
3.4 Hitsauksen laatu.....	64
3.5 Hitsattavuuskäsite	65
3.5.1 Perusaineen hitsattavuus.....	66
3.5.2 Rakenteellinen ja valmistuksellinen hitsattavuus	70
4 HITS AUSOHJE.....	71
4.1 Yleistä	71
4.2 Hitsausohjeen merkitys	72
4.3 Kaari- ja kaasuhitsauksen hitsausohjeen keskeinen sisältö.....	72
4.3.1 Yleistä	72
4.3.2 Valmistajaa koskevat tiedot.....	73
4.3.3 Perusainetta koskevat tiedot.....	73
4.3.4 Hitsausmenetelmiä koskevat tiedot.....	73
5 HITS AAJAN PÄTEVYYSKOE	78
5.1 Pätevyyskokeen merkitys.....	78
5.2 Pätevyyskokeen toteutus	78
5.2.1 Pätevyyskoe standardin mukaan	79
5.2.2 Pätevyyskoe PED:in mukaan.....	80
5.2.3 Pätevyyskoe EWF:n mukaisesti.....	80
5.3 Pätevyyskoestandardin SFS-EN 287-1 mukaiset oleelliset muuttujat.....	81
5.3.1 Hitsausprosessi.....	82
5.3.2 Tuotemuoto.....	82
5.3.3 Hitsilaji.....	83
5.3.4 Perusaineryhmä.....	83
5.3.5 Koekappaleen mitat	84

5.3.6	Koekappaleen hitsausasento	84
5.3.7	Hitsin yksityiskohdat.....	85
5.4	Pätevyyskokeen valvonta.....	85
5.5	Pätevyyskokeen tarkastus ja testaus	86
5.5.1	Yleistä	86
5.5.2	Silmämääräinen tarkastus.....	87
5.5.3	Radiograafinen tarkastus	88
5.5.4	Murtokoe	89
5.5.5	Taivutuskoe.....	89
5.5.6	Muut vaihtoehtoisia tarkastusmenetelmiä	90
5.6	Pätevyyskoetodistus ja kokeen merkintä	92
6	TUTKIMUSAINEISTON SISÄLTÄMÄT HITSAUSPROSESSIT	93
6.1	Yleistä	93
6.2	Puikkohitsausprosessi (111)	93
6.3	MAG-hitsausprosessi (135).....	94
6.4	MAG-Täytelankahitsausprosessi (136)	97
6.5	TIG-hitsausprosessi (141).....	98
6.6	Happi-Asetyleeni-hitsausprosessi (311).....	99
6.7	Yhdistelmäkokeet 135/136 ja 141/111	100
7	TUTKIMUSAINEISTO, TUTKIMUS JA TULOKSET	101
7.1	Yleistä	101
7.2	Tutkimusaineiston pätevyyskokeet ja niiden tulokset.....	101
7.3	Hitsausvirheiden hyväksymisrajat	102
7.4	Hitsausvirheet ja niiden tarkastelu suhteessa pätevyyskoestandardin keskeisiin muuttujiin	106
7.4.1	Eri hitsausasennossa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet eri hitsausprosesseilla ja tuotemuodoilla.....	106
7.4.2	Eri aineenvahvuusalueille hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet eri hitsausprosesseilla ja tuotemuodoilla	118
7.4.3	Eri putkenhalkaisija-alueille hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet eri hitsausprosesseilla	129
7.4.4	Eri materiaaliryhmiin hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet eri hitsausprosesseilla ja tuotemuodoilla.....	134

7.4.5 Yleistä hitsausvirheistä.....	145
7.4.6 Halkeamat (100)	146
7.4.7 Ontelot (200)	148
7.4.8 Sulkeumat (300).....	149
7.4.9 Liittymisvirheet (400).....	151
7.4.10 Virheellinen muoto (500).....	153
7.4.11 Muut hitsausvirheet (600).....	157
8 YHTEENVETO, JOHTOPÄÄTÖKSET JA	
KEHITTÄMISEHDOTUKSET.....	159
8.1 Tutkimuksen hyödynnettävyys	159
8.2 Pätevyyskokeesta osaamisen johtamiseen ja strategiseen johtamiseen	159
8.3 Pätevyyskokeen palaute	160
8.4 Hitsaajan pätevyyskokeen palautteen hyödyntäminen hitsattavia tuotteita valmistavan yrityksen osaamisen johtamisessa	161
8.5 Pätevyyskokeita vastaanottavan organisaation osaamisen ja järjestelmien kehittäminen	162
8.6 Hitsaajien osaamisen ainutlaatuisuus	164
8.7 Prosessien kehittäminen	166
8.8 Tutkimuksen jatkuminen	167
8.9 Itsearviointi	167
LÄHTEET	170
LIITTEET	174

Käytetyt termit ja lyhenteet

A	Ampeeri, joka on virran (I) suure
A1, 2 ja 3	Tässä tutkimuksessa käytetyt materiaalityhmät
Ar	Afgon
bs	Hitsaus molemmilta puolilta (Welding from both sides)
BW	Päittäisliitos
CEN	European Commission Technical Committee, Euroopan komission teknillinen komitea
C	Hiili
C_{ekv}	Hiiliekvivalentti
CO₂	Hiilidioksidi
Cr	Kromi
Cr_{ekv}	Kromiekvivalentti
Cu	Kupari
D	Putken ulkohalkaisija
D1, 2 ja 3	Tässä tutkimuksessa käytetyt putken ulkohalkaisija-alueet

E	Energia [J/m]. Tämän asiakirjan yhteydessä hitsausenergia
EAKR	Euroopan aluekehitysrahasto
EN	Eurooppalaisen standardin tunnus, joka on laadittu Euroopan komission ja EFTA:n CEN:lle antaman toimeksiannon perusteella. Tunnuksen omaava standardi tukee EU-direktiivin oleellisia vaatimuksia.
EFTA	European Free Trade Association, Euroopan vapaakauppajärjestö
EWE	European Welding Engineering, Eurooppalainen hitsausinsinööri, jonka koulutusohjelma vastaa nykyisin IIW vaatimuksia, kts. IWE
EWF	European Federation for Welding, Joining and Cutting, Eurooppalainen hitsauksen, liittämisen ja materiaalin irroituksen kehittämiseen keskittyvä järjestö
EWS	European Welding Specialist, Eurooppalainen hitsausneuvoja, jonka koulutusohjelma vastaa nykyisin IIW vaatimuksia, kts. IWS
EWT	European Welding Techniker, Eurooppalainen hitsaus-tekniikko, jonka koulutusohjelma vastaa nykyisin IIW vaatimuksia, kts. IWT.
FW	Pienaliitos
HAZ	Heat Affected Zone, Hitsausliitoksen alue (muutosvyöhyke), jossa hitsauksessa tarvittava lämpö määrä on aiheuttanut materiaaliin metallurgisia muutoksia.

Hitsaaja	Hitsaaja on henkilö, joka suorittaa hitsausta käsivaraisesti
I	Virta, jonka suure on ampeeri (A), tämän asiakirjan yhteydessä hitsausvirta
IW	International Welder, IW-hitsaaja on kansainvälisen pätevyyden omaava hitsaaja
IWE	International Welding Engineering, Kansainvälinen hitsausinsinööri
IWI	International Welding Inspector, Kansainvälinen hitsaus-tarkastaja
IWS	International Welding Specialist, Kansainvälinen hitsaus-neuvoja
IWT	International Welding Technician, Kansainvälinen hitsaus-teknikko
J	Joule
JEDU	Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymä
KAM	Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymä
lw	Myötähitsaus (Leftward welding)
m	Metri
MAG	MAG-hitsaus, Metallikaasukaarihitsaus aktiivisella kaasulla (Metal-arc active gas welding)

mb	Hitsaus juuritukea vastaan (Welding with backing)
Menetelmäkoe	Menetelmäkoe on yksi menetelmä alustavan hitsausohjeen hyväksymiseksi varsinaiseksi hitsausohjeeksi
MIG	MIG-hitsaus, Metallikaasukaarihitsaus inertillä kaasulla (Metal-arc inert gas welding)
ml	monipalkohitsaus (Multi layer)
mm	millimetri
Mn	Mangaani
Mo	Molybdeeni
N	Newton
Nb	Niobi
nb	Hitsaus ilman juuritukea (Welding without backing)
Ni	Nikkeli
Ni_{ekv}	Nikkeli-ekvivalentti
P	Levy (plate) tai Fosfori
PED	Eurooppalainen painelaitedirektiivi (97/23/ETY)
Prosessi 111	Manual metal arc welding, Puikkohitsaus (SFS-EN 24063)

Prosessi 135	Metal-arc aktive gas welding, MAG-hitsausprosessi. (SFS-EN 24063).
Prosessi 136	Turbular-cored metal-arc with active gas shield, MAG-Täytelankahitsausprosessi.(SFS-EN 24063).
Prosessi 141	Tungsten inert gas arc welding, TIG-Hitsausprosessi. (SFS-EN 24063).
Prosessi 135/136	MAG- ja MAG-Täytelankahitsauksen yhdistelmäprosessi
Prosessi 136/138	MAG-Täytelankahitsauksen yhdistelmäprosessi Rutiili-/emästäytelangoilla.
Prosessi 141/111	TIG- ja puikkohitsauksen yhdistelmäprosessi
pWPS	Preliminary welding procedure specification, alustava hitsausohje, jonka otaksutaan riittävän, mutta jota ei ole standardin mukaisesti hyväksytty, kts. WPS
PyhäSiika	Siika-Pyhäjokialueen koulutuskuntayhtymä
Pätevyyskoe	Hitsaaja osoittaa pätevyyskokeella ennakoon hitsaustuotannossa tarvitsemansa osaamisen
R_{eH}	Ylempi myötöraja
R_{p0,2}	Laskennallinen myötölujuus sellaisille materiaaleille, joiden jännitysvenymäkäyrässä ei ole osoitettavissa selkeää myötörajaa = 0,2 % materiaalin venymästä
rw	Vastahitsaus

s	Sekunti
S	Rikki
SFS	Suomen Standardisointiliiton hyväksymän standardin tunnus
SFS-EN	Suomen Standardisointiliiton hyväksymä Eurooppalaisen standardin käännös, kts. EN
Si	Pii
SHY	Suomen Hitsausteknillinen yhdistys
sl	Yksipalkohitsaus (Single layer)
ss	Hitsaus yhdeltä puolelta (Single-side welding)
STUK	Säteilyturvakeskus
T	Putki (tube)
Ti	Titaani
t	Aineenvahvuus
t_{1, 2 ja 3}	Tässä tutkimuksessa käytetyt aineenvahvuusalueet
t_{tr}	Transitiolämpötila
t_{g/5}	Jäähtymisaika lämpötilasta 800 °C:ta 500 °C:seen
t&k	Tutkimus ja kehitys

TIG	TIG-hitsaus, Volframi-inerttikaasukaarihitsaus (Tungsten inert gas arc welding)
U	Jännite, jonka suure on voltti (V). Tämän asiakirjan yhteydessä hitsausjännite = kaarijännite
A	Ampeeri, joka on virran (I) suure
V	Voltti tai Vanadiini
VTT	Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos
WPS	Welding Procedure Specification, hitsausohje, jossa esitetään yksityiskohtaisesti hitsauksen parametrit, jotta sen toistettavuus voidaan varmistaa

Kuvaluettelo

Kuva 1. Käsivaraisen hitsauksen osaamista tarvitaan tulevaisuudessakin korkeaa osaamista vaativissa yksittäisissä kohteissa (Peltola 2011).	34
Kuva 2. Huoltoaseman rakennustyömaalla romahtaneen vaakapalkin liittyminen pystypalkkiin (Onnettomuustutkintakeskus 2004).	38
Kuva 3. Ruostejälkien perusteella havaittiin heti, että liitos ei ollut paikoin tarttunut lainkaan vahvikelevyyn (Kuvälähde: Onnettomuustutkintakeskus 2004)	39
Kuva 4. Makrohieestä ja sen suurennoksesta hitsausliitoksen tarttumattomuus on selkeästi havaittavissa (Kuvälähde: Onnettomuustutkintakeskus 2004)	39
Kuva 5. Empiirisen tutkimuksen tutkimusasetelma (Uusitalo 1995, 49).	44
Kuva 6. Osaamisen keskeisiä ulottuvuuksia (Kamensky 2008, 288).	50
Kuva 7. Yksittäisten ihmisten osaamisella ja tuloksiin johtavalla osaamisen johtamisella rakennetaan koko yhteiskunnan menestys (Matti Peltola 2011).	52
Kuva 8. Tutkimuksen viitekehyksen tiivistelmä (Matti Peltola 2011).	61
Kuva 9. Valmistusprosessit jakaantuvat useaan eri menetelmään ja edelleen prosesseihin. Kuvassa tummemmalla prosessit, joita tämä tutkimus koskee (Muutettuna: Lukkari 2002, 15.)	63
Kuva 10. Hitsausliitoksen terminologiaa (Peltola 2011).	64
Kuva 11. Hitsaus onnistuu vain kun kaikki hitsattavuuden pääluokkien mukaiset edellytykset ovat olemassa (Peltola 2011).	66

Kuva 12. Ruostumattoman teräksen hitsausliitoksen muutosvyöhykkeellä tapahtuu herkistymistä ja raerajakorroosiota, jos lämpötila on liian pitkään alueella 500-800 °C:tta (Peltola 2011).	68
Kuva 13. Hitsausohjeen hyväksymisprosessi (Peltola 2011).	71
Kuva 14. Terminen hyötysuhde on kokemusperäinen suure, joka määräytyy sen mukaan, paljonko lämpöä oletetaan siirtyvän hitsauksessa perusaineeseen (Peltola 2011).	75
Kuva 15. Hitsauksen lämmön aiheuttamat mikrorakennemuutokset ja vyöhykkeet (Peltola 2011).	76
Kuva 16. Levy- ja putkiliitos (Peltola 2011)	82
Kuva 17. Päittäis- ja pienaliitos (Peltola 2011).	83
Kuva 18. Hitsaajan pätevyyskokeet hitsataan ns. tunnistetulle materiaalille. Koepalaan ”pysyvästi” merkityn tunnuksen perusteella on löydettävissä teräksen valmistajan ilmoittama sulatusnumero ja materiaalitodistus (Peltola 2011).	84
Kuva 19. Hitsin yksityiskohtia. Ylhäällä vasemmalla hitsaus yhdeltä puolelta. Ylhäällä oikealla hitsaus molemmilta puolilta. Alhaalla hitsaus juuritukea vasten (Peltola 2011).	85
Kuva 20. Nykyaikaisissa hitsausvirtalähteissä on hitsauksen aikaisten parametrien valvontaa helpottavat mittalaitteet (Peltola 2011).	86
Kuva 21. Silmä määräisen tarkastuksen välineistöä (Peltola 2011).	88
Kuva 22. Hitsausliitoksen röntgen-tarkastuksen (-kuvauksen) periaate (Peltola 2011).	88

Kuva 23. Vasemmalta pinta-, juuri- ja sivutaivutuskokeen taivutussauvan taivutussuunnat (Peltola 2011).....	89
Kuva 24. Taivutuskoesauvoja (Peltola 2011).....	90
Kuva 25. Ultraäänitarkastuksen periaate (Peltola 2011).....	91
Kuva 26. Makrohie (Esab 2001, 1).....	91
Kuva 27. Puikkohitsauksen periaate (Peltola 2011).....	94
Kuva 28. Hitsauspuikon päällysteen vaikutus hitsiaineen siirtymisessä (Peltola 2011).....	94
Kuva 29. MAG-hitsauksen periaate tasavirralla. (Lahti Mecatronic 2011).....	95
Kuva 30. Lisäaineen siirtyminen lyhytkaari- (vasemmalla) ja kuumakaarialueella MAG-hitsauksessa. (Fronius 2011).....	95
Kuva 31. Suojakaasun vaikutus hitsausliitokseen. (AGA 1995, 5).....	96
Kuva 32. Suojakaasun vaikutus tunkeumaan (AGA 1995, 6.)	96
Kuva 33. MAG-Täytelankahitsauksen lisäaineen poikkipinta (Peltola 2011).....	97
Kuva 34. TIG-hitsauksen periaate tasavirralla. (Lahti Mecatronic 2011).....	98
Kuva 35. Periaatekuva happi-asetyleeni-hitsauksesta sekä hitsausliekistä (Katainen & Mäkinen 1989).	99
Kuva 36. Esimerkkinä yhdistelmähitsaus (yhdistelmäprosessi), jossa pohjapalkko hitsataan prosessilla 141 ja seuraavat palot prosessilla 111 (Peltola 2011).	100

Kuva 37. Vetyhalkeama hitsin lämpövyöhykkeen alueella ja hitsin keskellä pituus- ja poikkisuuntaan. (Lukkari 2001, 8).	147
Kuva 38. Huokosryhmä, tasainen huokoisuus ja yksittäinen huokonen hitsausliitoksessa (Lukkari 2001, 10).	148
Kuva 39. Eri tyyppisiä sulkeumia (Lukkari 2001, 11).....	150
Kuva 40. Eri tyyppisiä liitosvirheitä (Lukkari 2001, 12).	151
Kuva 41. Liitosvirhe päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 1).	151
Kuva 42. Vajaa hitsautumissyvyys I-railossa (Lukkari 2001, 12).	152
Kuva 43. Vajaa hitsautumissyvyys V-railossa (Lukkari 2001, 12).	152
Kuva 44. Tasomainen sovitusrvirhe ja kulmapoikkeama (Lukkari 2001, 14).	154
Kuva 45. Reunahaava päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 13).	154
Kuva 46. Jyrkkä hitsipalon liittymä päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 14).	155
Kuva 47. Vajaa hitsipalon pinta ja juuri (Lukkari 2001, 14).	155
Kuva 48. Korkea kupu ja juurikupu päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 13).	155
Kuva 49. Valuma päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 14).	155
Kuva 50. Kohdistusvirhe päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 15).	155
Kuva 51. Pätevyyskokeen palauteprosessi (Peltola 2011).	161

Kuvioluettelo

Kuvio 1. Hitsauslisäaineen kulutuksen suhteelliset osuudet eräillä hitsausprosesseilla (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys 2008).....	35
Kuvio 2. Määräajoin tapahtuva osaamisen arviointi motivoi hitsaajaa parempiin suorituksiin ja johtaa osaltaan yrityksen toiminnan jatkuvaan parantamiseen (Peltola 2011).....	43
Kuvio 3. Bystram-diagrammi.....	69
Kuvio 4. Ruukki Oy:n valmistamien terästen lämmöntuontirajoitukset kaupananimien mukaisesti eri aineenvahvuuksille (Vähäkainu 1998, 34).	75
Kuvio 5. Jäähtymisajan ($t_{8/5}$) vaikutus transitiolämpötilaan (t_{tr}) sekä materiaalin kovuuteen ja sitkeyteen (Vähäkainu 1998, 22).	77
Kuvio 6. Tutkimusaineiston pätevyyskokeet prosessikohtaisesti tuotemuodoittain.	101
Kuvio 7. Tutkimusaineiston pätevyyskokeet sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessikohtaisesti.	103
Kuvio 8. Tutkimusaineiston levyliitosten pätevyyskokeet sekä hyväksytyt ja hylätyt levykokeet prosessikohtaisesti.....	104
Kuvio 9. Tutkimusaineiston putkiliitosten pätevyyskokeet sekä hyväksytyt ja hylätyt putkikokeet prosessikohtaisesti.....	105
Kuvio 10. Eri hitsausasennoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 111.....	106

Kuvio 11. Levyliitoksen hitsausasennoissa PC, PE ja PF prosessilla 111 hitsattujen pätevyyskokeiden hitsausvirheet ryhmäkohtaisesti.	107
Kuvio 12. Prosessin 111 levyliitoksen asennoissa PC, PE ja PF hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen onteloiden jakaantuminen eri virhetyppeihin.	108
Kuvio 13. Prosessin 111 levyliitoksen asennoissa PC, PE ja PF hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen sulkeumien jakaantuminen eri virhetyppeihin. ...	109
Kuvio 14. Eri hitsausasennoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 135.	110
Kuvio 15. Prosessin 135 levyliitoksen asennoissa PC, PE ja PF hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen onteloiden jakaantuminen eri virhetyppeihin.	111
Kuvio 16. Prosessin 135 levyliitoksen asennoissa PC, PE ja PF hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen onteloiden jakaantuminen eri virhetyppeihin.	111
Kuvio 17. Prosessin 135 levyliitoksen asennoissa PC, PE ja PF hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen sulkeumien jakaantuminen eri virhetyppeihin. ...	112
Kuvio 18. Eri hitsausasennoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 136.	113
Kuvio 19. Hitsausprosessilla 136 hitsausasennossa PE levyliitokselle hitsattujen pätevyyskokeiden virheryhmäkohtainen tarkastelu.	114
Kuvio 20. Prosessilla 136 hitsausasennossa PE levyliitoksessa hitsattujen pätevyyskokeiden virhetarkastelussa havaitut sulkeumatyypit.	114
Kuvio 21. Eri hitsausasennoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 135/136.	115

Kuvio 22. Eri hitsausasennoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 141.	116
Kuvio 23. Eri hitsausasennoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 141/111.	117
Kuvio 24. Eri hitsausasennoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 311.	117
Kuvio 25. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 111 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos.	119
Kuvio 26. Prosessilla 111 levyliitoksena aineenvahvuusalueelle t3 hitsattujen pätevyyskokeiden virheryhmäkohtainen tarkastelu.	120
Kuvio 27. Prosessilla 111 levyliitoksena aineenvahvuusalueelle t3 hitsattujen pätevyyskokeiden virhetarkastelussa havaittujen onteloiden ja sulkeumien tarkastelu.	120
Kuvio 28. Prosessilla 111 putkiliitoksena aineenvahvuusalueelle t2 hitsattujen pätevyyskokeiden virheryhmäkohtainen tarkastelu.	121
Kuvio 29. Prosessilla 111 putkiliitoksena aineenvahvuusalueelle t1 hitsattujen pätevyyskokeiden virhetarkastelussa havaittujen onteloiden ja liittymävirheiden tarkastelu.	121
Kuvio 30. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 135 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos.	123
Kuvio 31. Prosessilla 135 aineenvahvuusalueelle t2 hitsattujen pätevyyskokeiden tarkastelu hitsausvirheryhmittäin.	123
Kuvio 32. Prosessilla 135 aineenvahvuusalueelle t3 hitsattujen pätevyyskokeiden tarkastelu hitsausvirheryhmittäin.	124

Kuvio 33. Prosessilla 135 aineenvahvuusalueelle t2 ja t3 hitsattujen pätevyyskokeiden hitsausvirheryhmä- ja hitsausvirhekohtainen tarkastelu.	124
Kuvio 34. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 136 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos	125
Kuvio 35. Prosessilla 136 aineenvahvuusalueelle t3 hitsattujen pätevyyskokeiden tarkastelu hitsausvirheryhmittäin.....	126
Kuvio 36. Prosessilla 136 aineenvahvuusalueelle t3 hitsatuissa pätevyyskokeissa todetut onkalot ja sulkeumat hitsausvirhetyypeittäin.	126
Kuvio 37. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmähitsausprosessilla 135/136 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos	127
Kuvio 38. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 141 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos	127
Kuvio 39. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmähitsausprosessilla 111/141 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos	128
Kuvio 40. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 311 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos	128
Kuvio 41. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet hitsausprosessilla 111.....	129
Kuvio 42. Hitsausvirheryhmien vertailu prosessin 111 putken halkaisija-alueilla D2 ja D3.	130
Kuvio 43. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet hitsausprosessilla 135.....	131

Kuvio 44. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet hitsausprosessilla 136.....	131
Kuvio 45. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 135/136.....	132
Kuvio 46. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet hitsausprosessilla 141.....	133
Kuvio 47. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 141/111.....	133
Kuvio 48. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet hitsausprosessilla 311.....	134
Kuvio 49. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 111.....	136
Kuvio 50. Prosessin 111 materiaaliryhmän A3 putkiliitokseen hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen virheiden ryhmäkohtainen esiintyminen.....	136
Kuvio 51. Prosessin 111 materiaaliryhmän A3 putkiliitoksen ontelo- sekä mitta- ja muotovirheryhmien yksilöidyt hitsausvirheet.....	137
Kuvio 52. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 135.....	137
Kuvio 53. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 136.....	138
Kuvio 54. Materiaaliryhmän A1 levyliitoksen pätevyyskokeiden hitsausvirheet ryhmittäin prosesseilla 111, 135 ja 136.....	139

Kuvio 55. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 135/136.	139
Kuvio 56. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 141.	140
Kuvio 57. Materiaaliryhmään A1, A2 ja A3 prosessilla 141 putkiliitokseen hitsatut pätevyyskokeet hitsausvirheryhmittäin.	141
Kuvio 58. Materiaaliryhmien A1, A2 ja A3 prosessilla 141 putkiliitokseen hitsatuissa pätevyyskokeissa ontelot virheryhmässä havaitut hitsausvovat useamman tyyppisiä ja virheet.	142
Kuvio 59. Materiaaliryhmien A1, A2 ja A3 prosessilla 141 putkiliitokseen hitsatuissa pätevyyskokeissa muoto- ja mittavirheet virheryhmässä havaitut hitsausvirheet.	143
Kuvio 60. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 141/111.	144
Kuvio 61. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 311.	144
Kuvio 62. Tutkimusaineistossa havaitut hitsausvirheet prosessikohtaisesti SFS-EN 6520-1 pääluokkien mukaan.	146
Kuvio 63. Tutkimusaineistossa esiintyvät ontelot hitsausprosessikohtaisesti virhetyypeittäin.	148
Kuvio 64. Tutkimusaineistossa esiintyvät sulkeumat hitsausprosessikohtaisesti virhetyypeittäin.	150
Kuvio 65. Tutkimusaineistossa esiintyvät liittymävirheet hitsausprosessikohtaisesti virhetyypeittäin.	152

Kuvio 66. Tutkimusaineistossa esiintyvät muoto- ja mittavirheet hitsausprosessikohtaisesti virhetyypeittäin.	156
--	-----

Kuvio 67. Tutkimusaineistossa esiintyvät muut virheet hitsausprosessikohtaisesti.	158
--	-----

Taulukkoluetelo

Taulukko 1. Esimerkki standardin SFS-EN ISO 5817 hitsiluokkien hitsausvirheille asettamista raja-arvoista.	102
--	-----

Taulukko 2. Standardin SFS-EN 287-1 aineenvahvuusalueet ja sillä saavutettava pätevyysalue sekä tutkimuksessa aineenpaksuusalueesta käytetty lyhenne (SFS- EN 287-1, 22).	118
--	-----

Taulukko 3. Standardin SFS-EN 287-1 putken ulkohalkaisija-alueet ja sillä saavutettava pätevyysalue sekä tutkimuksessa halkaisija-alueesta käytetty lyhenne (SFS-EN 287-1, 22).	129
--	-----

Taulukko 4. Standardin SFS-EN 287-1 putken ulkohalkaisija-alueet ja sillä saavutettava pätevyysalue sekä tutkimuksessa halkaisija-alueesta käytetty lyhenne (SFS-EN 287-1, 22).	135
--	-----

Kaavaluettelo

Kaava 1. Hiilielkvivalentin laskenta (Peltola 2011).	67
---	----

Kaava 2. Kromiekvivalentin laskenta (Peltola 2011).	69
Kaava 3. Nikkeliekvivalentin laskenta (Peltola 2011).	69
Kaava 4. Hitsausenergian ja lämmöntuonnin laskenta (Peltola 2011).	74

1 TUTKIMUS

1.1 Asiakkaan esittely

Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymä on laadukas, monialainen oppimisympäristö, jossa koulutetaan ammatin osaajia muuttuvaan yhteiskuntaan. Koulutus tukee elinkeinoelämän ja julkishallinnon alueellisia, kansallisia ja kansainvälisiä tarpeita. Koulutuskuntayhtymä luo toiminnallaan pohjaa uudelle elinkeinotoiminnalle ja yrittäjyydelle sekä lisää alueen elinvoimaisuutta ja viihtyisyyttä. Koulutus ja muu toiminta tukee myös syrjäytymisvaarassa olevien ammatillisten ja yhteiskunnallisten vaatimuksien kehittymistä.

Varsinaisen koulutustoiminnan lisäksi Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymän ammatillisen lisäkoulutuksen järjestämislupaan on liitetty maininta työelämän kehittämis- ja palvelutehtävästä (Liite 17). Työelämän kehittämis- ja palvelutehtävän lähtökohtana on yrittäjän tai muun työnantajan käytännön ongelmien helpottaminen, työntekijöiden työstä suoriutumisen ja työn laadun parantaminen. Käytännössä työelämälähtöisiä palveluja ovat esimerkiksi koulutuksen järjestäjän tila- ja laiteresurssien hyödyntäminen, osaamistarpeiden ennakkoinnit, henkilöstön osaamiskartoitukset, yrittäjien osaamisen ylläpitäminen ja kehittäminen sekä tarjolla olevista koulutuksen rahoitusmahdollisuuksista tiedottaminen. Tyypillinen työelämälle suunnattu koulutuksesta erillinen palvelu on hitsaajan pätevyyskokeiden valvonta ja testauspalvelut. Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymässä pätevyyskokeita suoritetaan vuositasolla keskimäärin n. 600 kpl, joista tähän tutkimukseen kuuluvia päittäisliitosten pätevyyskokeita on yli 300 kpl. Kuntayhtymällä on hitsaustoiminnot käsittävä laatukäsikirja laatuohjeineen. Ulkopuolinen katselmus on toteutettu ensimmäisen kerran vuonna 1998 ja edellisen kerran vuonna 2010 EWF:n (European Federation for Welding, Joining and Cutting) toimesta. Lisäksi kuntayhtymän tiloissa, koneilla ja laitteilla sekä henkilöstön valvonnassa on mahdollisuus suorittaa Etelä-Savon koulutuskuntayhtymän päteväintilaitoksen hyväksymiä eurooppa-

laisen paineastiadiirektiivin (PED) mukaisia hitsaajan pätevyyskokeita. Yhteensä koulutuskuntayhtymässä pätevyyskokeen valvojan pätevyyden omaavia hitsausneuvoja (IWS) on kahdeksan ja hitsausinsinööriä (IWE) yksi. Lisäksi yksi hitsausneuvoja on aloittanut tutkimustyön aikana hitsausteknikon (IWT) koulutuksen.

Kuntayhtymän liikevaihto oli vuonna 2010 yli 30 M€ ja henkilöstön määrä on n. 390. Vuoden 2012 alusta Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymä ja Siika-Pyhäjokialueen koulutuskuntayhtymät yhdistyvät Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymäksi JEDU (liite 2) (KAM 2011, 4.)

Projektitoiminnassa kuntayhtymä on viime vuosina, yhtenä suurena koulutuksen järjestäjänä, ottanut vetovastuun Pohjois-Pohjanmaan alueen koulutuksen järjestäjien työelämän kehittämis- ja palvelutoiminnasta. Työelämän palvelutoiminnan kokonaisuuden lisäksi KAM:illa on vastuu teknologiaklusterista, johon mm. hitsauksen kehittäminen kuuluu (liite 3 ja 21). Lisäksi työelämän kehittämisen vetovastuu on viimeisten vuosien aikana kohdistunut metallialan kehittämishankkeissa koko Pohjois-Suomen ja Keski-pohjanmaan alueelle. Projektitoimintaa toteutetaan runsaasti myös eri kouluasteiden välisenä yhteistyönä mm. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun ja Oulun Eteläisen Instituutin kanssa. Oulun Eteläinen Instituutti on Oulun Yliopiston yksikkö, jonka toimintaa johdetaan Nivalasta. Verkostoitunut toimintamalli on koettu alueellisena ja paikallisena vahvuutena. Verkostoituneella toimintamallilla on keskeinen merkitys koko maan kehittymiselle, sillä Suomi on menestynyt hyvin kansainvälisissä koulutuksen, tutkimuksen ja teknologian vertailussa. Verkostoitunut toiminta luo ajatuksille innovatiivisuutta ja innovaatiot edistävät yritysten toimintaympäristöjen kehittymistä. Menestystä on edistänyt yritysten ja julkisen sektorin pitkäjänteinen panostus koulutus-, tutkimus- ja kehittämistoimintaan (Aho 2008, 2.)

Koulutuksen järjestäjille on viime vuosina langennut vastuuta teknologian siirtäjänä tieteellisestä ja soveltavasta tutkimuksesta käytäntöön. Luontaisesti tehtävä sopii ammatillisen koulutuksen ja soveltavan tutkimuksen koulutuksen järjestäjille, koska tutkimuksen mukaan suomalaisista innovaatioista 96 % on käytäntölähtöisiä ja 4 % tiede- ja tutkimuslähtöisiä (Harmaakorpi 2010, 2.)

Innovaatiotoiminnassa toimivilla yhteistyöverkostoilla on myös keskeinen asema, koska innovaatiot syntyvät tavallisesti monien osaamisen yhdistelmänä. Innovaatiolla voi olla erilaisia määritelmiä, mutta henkilökohtaisesti ymmärrän sen kansallisen innovaatiostrategian mukaisesti, hyödynnettynä osaamislähtöisenä kilpailuetuna, joka voi teknologian soveltamisen ohella jakaantua myös palvelualoille, liiketoimintamalleihin, työ- ja toimintatavoille sekä tuotekonseptien ja tuotemerkkien hallinnalle. Yhteenvetona voi todeta, että yksilöiden, julkisten ja yksityisten organisaatioiden sekä näiden muodostamien verkostojen kautta rakentuu suomalainen osaaminen, joka varmistaa myös innovaatioiden syntymisen (Aho 2008, 2.)

1.2 Tutkimuksen lähtökohta

Vaativissa hitsaustöissä toimivat hitsaajat joutuvat osoittamaan pätevyytensä 0,5...2 vuoden välein tuotannollista hitsausta vastaavilla pätevyyskokeilla. Pätevyyskokeet suoritetaan yleisesti hyväksytyjen standardien mukaisesti. Pätevyyskokeen suorittamisesta, noudatettavasta pätevyyskoestandardista yms. sovitaan tavallisesti asiakkaan ja valmistajan välisessä teknisessä katselmuksessa. Laadullista vaatimus- ja toimintatasoa määriteltäessä, yksinkertaisinta on vedota standardeihin, jolloin vaatimustaso on määriteltävissä selkeästi mitattavaan muotoon. Katselmuksessa on tarkoituksen mukaista sopia myös hitsaajien pätevyysvaatimuksista, joiden osalta voidaan myös vedota standardien vaatimuksiin. Pätevyyskokeen valvojaksi sopimuksessa määritellään usein ns. kolmas osapuoli, jonka taloudellinen ja muu riippuvaisuus ei ole sidoksissa tilaajaan eikä toimittajaan. Kolmannen osapuolen rooli on Suomessa muodostunut monissa tapauksissa alan ammatillisen koulutuksen järjestäjille.

Vaativia hitsattavia tuotteita tilattaessa, tilaaja ja/tai joku kolmas osapuoli asettaa toimituksen ehdoksi tuotteelle tietyt laadunvarmistustoimenpiteet. Kolmas osapuoli tällaisessa tapauksessa voi olla esimerkiksi viranomainen tai muu osapuolten sopima taho, joka vastaa toimintojen lakien, direktiivien ja standardien mukaisuudesta. Usein vaatimus alkaa materiaalitoiminnoista edeten valmistusketjua seuraten, kattaen oleelliset työvaiheet ja päättyen valmiin tuotteen tarkastustoimenpiteiden kirjaamiseen. Tällaisen toimintarutiineihin liittyvät ja eri toimituksissa sekä pro-

jekteissa toistuvat, lähes samanlaiset toiminnot on useissa yrityksissä kirjattu laatujärjestelmän muotoon. Laatujärjestelmien oleellisimpia asioita on henkilöstön osaamisen minimivaatimusten kirjaaminen. Hitsaajien osaamisen osoittaminen voidaan tehdä monella tavalla, mutta yksinkertaisinta se on osoittaa standardin mukaisella hitsaajan pätevyyskokeella. Pätevyyskokeessa on määritelty pätevyysalueet ja hyväksymiskriteerit, joiden tulkinnassa ei ole esiintynyt suuria ongelmia. Erityistä osaamista vaativien työkohteiden pätevöinnissä käytetään myös vaatimustasoa vastaavia työkokeita (Saaranen 2006, 16.)

Pohjois-Suomeen tulee lähivuosina sijoittumaan suurinvestointeja. Eduskunta on myöntänyt sijoitusluvan ja Fennovoima Oy on tehnyt päätöksen ydinvoimalaitoksen sijoittamisesta Pyhäjoen kuntaan. Pyhäjärven kaupunki on ehdolla maanalaisen hiukkasfysiikan tutkimuslaitoksen sijoituspaikaksi. Barentsin meren öljy- ja kaasuesiintymien hyödyntäminen on aiheuttanut teräsrakenteiden valmistuksen kysyntää Pohjois-Suomeen. Lisäksi on useita pienempiä, mutta alueellisesti merkittäviä uusiutuvan energian käyttöön perustuvia voimalaitos- ja teräsrakennushankkeita, joissa hitsauksen osaamisella on suuri merkitys. Hitsaajien pätevöinti-toiminnan kokemuksena, alueella on todettu olevan myös runsaasti alihankintayritysten työntekijöitä, jotka työskentelevät erilaisissa asennus- tai valmistustehtävissä eri puolilla Suomea ja ulkomailla. Monien yksittäisten tuotteiden valmistuksessa ja suurhankkeiden toteutuksessa hitsattavilta rakenteilta edellytetään hitsausvirhestandardista poikkeavia, korkeampia vaatimuksia ja/tai sallittujen virheiden pienempää lukumäärää ja virheiden suuruuden pienentämistä. Suurhankkeiden uskotaan merkittävästi lisäävän hitsaajien pätevöittämistarvetta, eli myös pätevyyskokeiden ja erillisten työkokeiden lukumäärää (Eduskunta 2010, 4.)

Standardivaatimuksia hitsausvirheiden ja tarkastustoiminnan osalta tulee lisäämään myös muutamien viimeisen vuosikymmenen aikana hitsausvirheistä johtuneet vakavat vauriotapaukset. Pätevyyskokeiden lisäksi vaadittavia hitsaajan osaamisen testauksia tullaan lisäämään, kun teräsrakenteita koskevien vaatimusten käyttöönoton siirtymäaika päättyy 1.7.2012. Teräsrakenteita koskevien vaatimusten mukaan (SFS-EN 1090-2, 44) hitsaajat tulee pätevöittää standardin SFS-EN 287-1 mukaisesti, mutta vaatimukseen on lisätty erityinen koe, joka on suoritettava silloin, kun rakenneputkien haaraliitoksen haarakulma on pienempi kuin 60°.

Standardi lisäksi edellyttää tietyiltä rakenteilta poikkeavia vaatimuksia mm. hitsausluokka B:n mukaisesti B+ (Kalamies 2011, 8.)

1.3 Tutkimuksen tarkoitus ja hyöty

Tutkimuksessa mukana olleet hitsaajan pätevyyskokeet ovat kaikki hitsattu SFS-EN 287-1 mukaisesti. Standardi edellyttää, että pätevyyskoe hitsataan tuotantolosuhteissa tai sitä vastaavassa ympäristössä. Selvittämällä hitsaajan pätevyyskokeissa havaittujen hitsausvirheiden määrä ja laatu, voidaan tunnistaa hitsaajien osaamisvajeet, jotka johtavat hitsausvirheiden muodostumiseen. Tuotantolosuhdevastaavuuden ollessa voimassa, voidaan pätevyyskokeita vastaavia virhemääriä olettaa olevan myös tuotannollisissa hitsausliitoksissa. Hitsausvirheiden määrän ja laadun selvittämisen jälkeen, voidaan yrityksen osaamisen johtamisessa huomioida osaamisvajeisiin liittyvät asiat ja korjaavat toimenpiteet kohdistaa täsmällisesti tuotantohitsausten hitsausvirheitä vähentäviin toimiin.

Hitsausvirheen korjaaminen on kustannuksiltaan merkittävää, verrattuna kustannuksiin, jotka muodostuvat hitsaamisesta ensimmäisellä kerralla oikein. Virheen korjaaminen tuotannollisista hitsausliitoksista edellyttää usein, vanhan virheellisen hitsin poistamisen ja sen jälkeen uudelleen hitsaamisen. Kustannukset eivät muodostu pelkästään korjaamiseen tarvittavista hitsausaineista ja siihen käytettävän ajan palkkakustannuksista. Kustannuksia muodostuu myös korjaushitsauksen aiheuttamasta liiallisesta lämmöntonniasta. Tarpeeton lämmöntuonti aiheuttaa hitsattavissa rakenteissa muodonmuutoksia sekä mikrorakenteen muutoksia. Mikrorakenteessa tapahtuvat muutokset voivat aiheuttaa esimerkiksi iskutkeys- ja/tai lujuusominaisuuksien heikkenemistä hitsattavan tuotteen loppukäyttöolosuhteissa. Piilokustannuksia aiheuttaa myös korjattavan hitsauksen päälle hitsattavan uuden hitsin korkeampi virheherkkyys, joka voi johtua virheellisen hitsauksen poistamisen yhteydessä hitsattavaan kohteeseen muodostuneista epäpuhtauksista, epäsymmetrisestä tai poikkeuksellisen mallisesta tai muotoisesta hitsausrailosta. Hitsausvirheiden vähentäminen pienentää lisäksi tarkastustoiminnasta muodostuvia kustannuksia.

Hitsausliitoksella ja sen laadulla on keskeinen merkitys yleiselle turvallisuudelle. Onnettomuustutkintakeskus on viimeisten vuosikymmenten aikana tutkinut useita onnettomuuksia, joissa huono hitsausliitos tai puutteellinen hitsauksen suunnittelu ja ohjeistus on ollut onnettomuuden aiheuttaja tai osasy syy onnettomuuteen. Edullisinta on varmistua ennakkoon hitsaajien osaamistasosta, puuttamalla hitsausvirheitä aiheuttaviin syihin ja vähentää hitsausvirheiden määrää ja niistä aiheutuvia korjauskustannuksia. Hitsaajien standardinmukaisella pätevöintijärjestelmällä pyritään ennakkoon varmistamaan osaaminen. Standardien käyttö ei täsmällisyydestään huolimatta ole ongelmaton ja mm. yhdessä vauriotapauksen tutkinnassa todetaan, että standardeja noudattamalla hitsaustyön laadusta tulee todennäköisesti hyvää, mutta ongelmana on standardien vaikeaselkoisuus. Pätevyyskokeen valvonta- ja tarkastusprosessin kuvaamisella on keskeinen merkitys koko prosessin ymmärtämisessä (Onnettomuustutkintakeskus 2004, 32.)

Hitsausliitoksen virheettömyydellä on myös imagovaikutuksia. Teollisuuden Voiman Olkiluodon 3. ydinvoimalaitoksen rakennustyön hitsausliitosten puutteellisesta tasosta keskusteltiin julkisessa mediassa kuukausia. Julkisen keskustelun suurimmaksi ongelmaksi mainittiin hitsaamalla tehdyt betoniterästen voimaliitokset ja asennushitsaukset. Julkisen keskustelun pohjalta Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) pyysi hitsausliitosten turvallisuudesta selvitystä Säteilyturvakeskukselta (STUK). Laaditun selvityksen perusteella julkisuudessa mainittuja ongelmia ei ole esiintynyt voimalaitoksen rakennustyössä, mutta kielteiset imagovaikutukset säilyvät. (Säteilyturvakeskus 2008.)

1.4 Tutkimustyön merkittävyys

Teknologiateollisuuden toimiala vastaa 60 %:ia Suomen viennistä ja 75 % elinkeinon elämän t&k -investoinneista. Pohjois-Pohjanmaalla, joka on tutkimuksen tilaajan toiminta-alueita viennin osuus on jopa 79 % ja t&k-investointien osuus 89 % (liite 4). Toimiala työllistää suoraan yli 250000 ihmistä, joista jokaisen välillinen työllistämisaikutus on vähintään 1,5 työpaikkaa. Kone- ja metalliteollisuus on suurin teknologiateollisuuden toimiala Suomessa. Ala työllistää n. 125000 ihmistä (liite 5)

ja alan yritysten liikevaihto Suomessa on yli 24 miljardia euroa (Teknologiateollisuus ry. 2010.)

Hitsaus on yleisin ja tärkein terästen ja ei-rautametallien liittämismenetelmä. Useimmat kone- ja metalliteollisuudessa työskentelevät ovat jollakin tavalla tekemisissä hitsauksen tai hitsattujen rakenteiden kanssa. Hitsaajat ovat metalliteollisuuden suurin yksittäinen ammattiryhmä. Hitsaajia ja ns. levyseppähitsaajia arvioidaan olevan n. 15000 (Lukkari 2002, 13).

Ruotsalaisessa tutkimuksessa on todettu, että noin kolmasosalla bruttokansantuotteesta on jonkinlainen yhteys hitsaukseen. Ruotsissa hitsausintensiivisillä teollisuuden aloilla hitsaus vastaa noin 5 % teollisuuden jalostusarvosta. Ruotsissa on noin 25000 rekisteröityä hitsaajaa ja yhteensä 250000 henkilöä työskentelee aloilla, jotka liittyvät kokonaan tai osittain hitsaukseen. Samankaltaisina teollisuusvaltioina lukujen suuruusluokka vastaa Suomen vastaavia lukuja. Poikkeaman voi karkeasti selittää Suomen ja Ruotsin väestön lukumäärällä (Stenbacka 2011, 27.)

Viimeaikainen hitsausalan tutkimustoiminta on painottunut Suomessa mekanisoidun tai automatisoidun hitsauksen, sädehitsausmenetelmien tai hybridihitsausmenetelmien kehittämiseen. Tulevaisuuden kannalta tämä on erittäin tärkeää Suomalaisen teknologiateollisuuden kilpailukyvyn kannalta. Kehitystä on tapahtunut viimeisten vuosikymmenten aikana, mutta edelleen hitsaavan teollisuuden yhtenä keskeisen ongelmana pidetään käsivaraisesti suoritettavan hitsauksen suurta osuutta. Lisäksi viimevuosien tutkimustoiminta on kohdistunut kehittyneiden materiaalien hitsaukseen ja hitsattavuuteen. Näkemykseni mukaan tieteellisen tutkimuksen suunta on oikea, mutta soveltavan tutkimuksen alueella perinteisten hitsausprosessien ja käsivaraisen hitsauksen alueella on vielä tutkittavaa ja valmistusmenetelmissä kehitettävää (Leino, Karppi & Hentula 2008, 2.)

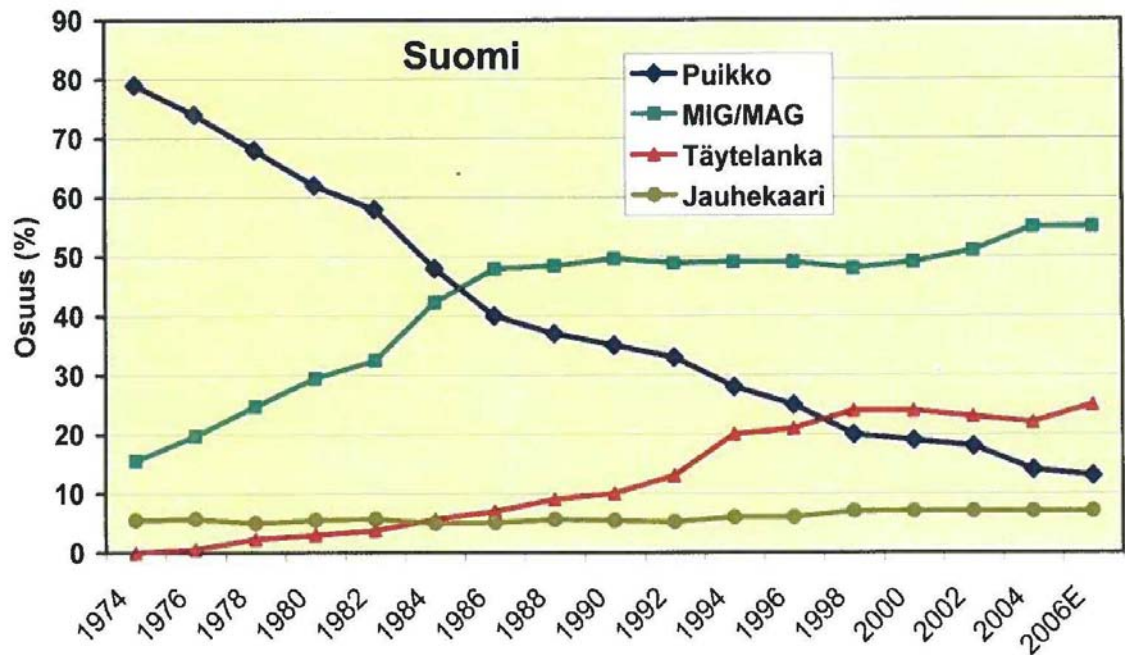
Mekaanisen tai automatisoidun hitsauksen kehittämisestä huolimatta hitsauksen automatisointiaste Suomessa on alle 20 %. Automaatioasteen vähäinen määrä vahvistaa käsityksen, että hitsaustuotannon voimakkaastakin kehitymisestä huolimatta käsivaraisesti suoritettavan hitsauksen osuus tulee säilymään merkittävänä myös lähivuosina ja jopa vuosikymmeninä (Leino, Karppi & Hentula 2008, 2.)

Automaatioasteen voimakkaan kasvun jälkeen käsivaraisella hitsauksella on korkeista työvoimakustannuksista ja alhaisesta tuottavuudesta huolimatta monipuolinen sopeutumiskyky muuttuvissa tuotanto-, asennus- tai korjaushitsaustilanteissa. Lisäksi monet automatisointiin ja mekanisointiin liittyvät hitsausmenetelmät edellyttävät myös käsivaraisen hitsauksen osaamista. Käsivaraisesti hitsattavaksi jää usein myös korkeaa osaamista vaativat yksittäiset hitsauskohteet, mikä edelleen vahvistaa hitsaajien pätevöintijärjestelmän olemassaoloa (Salkinoja 2009, 18.)



Kuva 1. Käsivaraisen hitsauksen osaamista tarvitaan tulevaisuudessakin korkeaa osaamista vaativissa yksittäisissä kohteissa (Peltola 2011).

Viimeisten vuosikymmenten aikana vallitsevia käsivaraisesti suoritettavia hitsausprosesseja ovat olleet puikkohitsaus, MAG-hitsaus, MAG-täytelankahitsaus, TIG-hitsaus, happi-Asetyleenihitsaus sekä mainittujen prosessien yhdistelmät. Mainitut prosessit ovat edelleen monissa käyttökohteissaan kokonaistaloudellisesti mitattuna edullisimpia käyttää, joten näiden prosessien koulutukseen ja suoritustekniikan kehittämiseen on edelleen panostettava. Hitsausprosessien käyttölaajuutta mitataan yleensä hitsauslisäaineiden kulutustilastojen mukaan. Kulutustilasto voidaan painottaa lisäaineiden hyötyluvulla, jolloin saadaan suhteelliset osuudet tuotetusta hitsiainemäärästä. Menetelmä sopii kuitenkin vain paljon lisäainetta käyttäviin prosesseihin, kuten puikko-, MIG-/MAG- ja MIG-/MAG-Täytelankaprosesseihin. Tässä tutkimuksessa mukana olevaan TIG- ja kaasuhitsausprosesseihin menetelmä ei sovellu, koska kyseiset prosessit ovat vähän lisäainetta kuluttavia hitsausprosesseja (Lukkari 2002, 23.)



Kuvio 1. Hitsauslisäaineen kulutuksen suhteelliset osuudet eräillä hitsausprosesseilla (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys 2008).

Hitsauksen laadunvarmistustoimenpiteet eivät voi rajoittua pelkästään tosiaikaiseen tuotannolliseen toimintaan, vaan ne kohdistuvat myös tuotantoa toteuttavien hitsaajien pätevöintiin ennakoon ja pätevöintiprosessiin. Metallin sulahitsauksen laatuvaatimukset määrittelevä standardi SFS-EN ISO 3834-1 edellyttää hitsaajien pätevöintiä kaikille hitsauksille laatuvaatimustasosta riippumatta. Henkilökohtaisesti pidän pätevöintiprosessia, laatujärjestelmää ja siihen liittyvää laadunvarmistusprosessia valmistuksen ja siihen liittyvän hitsauksen laadunhallinnan kannalta välttämättömänä toimintatapana. Hyvä hitsauksen laatu tehdään järjestelmällisellä ja kokonaisvaltaisella laadunhallinnalla. Osa kokonaislaadunhallintaa on laadunvarmistus. Valmistajalla on oltava kyky laadukkaaseen toimintaan ja entistä enemmän laadun tuottamisen kyky on osoitettava ennakoon tilaajalle ja tarvittaessa alan tarkastuslaitokselle (Sun 2009, 24.)

Hitsauksen laatua ei voida täysin todentaa valmiista tuotteesta, vaan virheet saattaa ilmentyä vasta tuotteen käytön yhteydessä, jopa vuosien kuluttua rakenteen käyttöönotosta. Hitsattujen rakenteiden tulee toimia rikkoontumatta ja toimintavarmasti vaativissakin käyttökohteissa, joissa käyttö- tai ympäristöolosuhteet aiheuttavat rakenteille suuria kuormituksia. Tällaisina kuormituksina voidaan pitää esi-

merkiksi suuria ja vaihtelevia fyysisiä massoja, matalia tai korkeita lämpötiloja, voimakasta korroosiovaikutusta, paineen vaihtelua tai sähkökemiallista vaikutusta rakenteeseen. Nämä vaatimukset edellyttävät hitsaustoimintojen osalta valvontaa jo suunnitteluvaiheessa, materiaalivalinnassa, valmistuksessa, tarkastuksessa, asennuksessa ja käytössä. Suomalaisen hitsaustuotannon laadunhallinnan tilaa pidetään tutkimuksen mukaan hyvänä. Laadunhallintajärjestelmä, nimetty ja pätevoitetty hitsauskoordinaattori sekä hitsaajien pätevoitintijärjestelmä on käytössä suurimmassa osassa yrityksistä. Lisäksi Suomi on hitsaushenkilöstön pätevoinnin suhteen Euroopassa ja maailmanlaajuisesti kärkimaita (Leino, Karppi & Hentula 2008, 2.)

Suuri merkitys hitsausliitoksen onnistumisen kannalta on valitulla hitsausprosessilla ja –menetelmillä, hitsaushenkilöstön osaamisella ja hitsauslisäaineilla. Hitsaushenkilöstön osaaminen voidaan tietyissä pätevyyksissä osoittaa alan koulutuksella. Hitsaajien osaaminen osoitetaan pätevyyskokeen perusteella ja siitä saatavalla pätevyyskoetodistuksella. Hitsaajan pätevyyskoe on alan merkittävimpiä sertifikaatteja, joilla osaaminen osoitetaan ennakkoon. Lisäksi sen merkittävyyttä korostaa se, että osaaminen testataan 0,5...2 vuoden välein suoritettavalla uusintakokeella. Tietämykseni mukaan yhdelläkään muulla ammattiryhmällä ei ole yhtä perusteellista ja ennakkoon osaamisen osoittavaa pätevoitintijärjestelmää. Lisäksi tuotannollisissa hitsauksissa tarkastustoimien laajuus on usein mittavaa ja useilla eri tarkastusprosesseilla todennettavaa. Hitsaushenkilöstön pätevointi ulottuu myös muihin alan henkilöstöryhmiin kuin hitsaajiin. Hitsauskoordinaattoreilla ja tarkastajilla on kansainväliset koulutusohjelmat, joita voi suorittaa eritasoisina.

Hitsaajan pätevyiden ennakkoon osoittamisen merkitys on korostunut lujien ja muiden kehittyneiden teräsmateriaalien käytön lisääntyessä. Lujien teräsmateriaalien myötä tarvittavat aineenvahvuudet ovat ohentuneet ja niiden laskennalliset varmuuskertoimet ovat pienentyneet. Hitsattavan materiaalin on säilytettävä valmistajan ilmoittavat nimelliset lujuus-, sitkeys- ja muut ominaisuutensa hitsauksen jälkeen myös hitsausliitoksen lämpövyöhykkeen alueella.

1.5 Tutkimustyön merkittävyys hitsausvirheiden aiheuttamien vaurioiden näkökulmasta

Hitsauksen osaamisen merkitys on viimevuosina korostunut myös vakavien onnettomuuksien ja ns. läheltä piti tilanteiden seurauksena. Onnettomuudella on aina syy ja se on usein todennettavissa. Monet onnettomuudet ovat myös sattumaa siinä mielessä, että kaikki riskitekijät kohdentuvat samaan aikaan ja kohteeseen. Rakenteissa saattaa olla käyttöolosuhteista johtuvia, laskennallisia voimia suurempia kuormituksia tai rakenteet kuormittuvat muuten odottamattomilla voimilla. Lisäksi erilaisten syiden ennakoimaton samanaikaisuus voi aiheuttaa lopulliset vauriot rakenteelle. Muutamissa viimevuosien tapauksissa ainakin yhdeksi rakenneaurion aiheuttajaksi on tutkimuksissa jälkikäteen todettu hitsausvirhe tai usean hitsausvirheen yhdistelmä. Laajarunkoisten liikuntahallien rakenteellista turvallisuutta koskevassa tutkimusraportissa todetaan, että useimmissa vauriotapauksissa on ollut kyse monista samaan aikaan vaikuttaneista syistä, joiden yhteisvaikutuksesta on lopulta tapahtunut jokin onnettomuus, rakenneaurio tai sortuma. Monissa tapauksissa on vaurioon ja sortumaan johtavana alkusyynä ollut hitsausliitos (Leino 2006, 4.)

Yhdessä suomalaisessa liikuntahallin kattorakenteissa havaittiin keväällä 2010 suuren lumikuorman aiheuttamia vaurioita. Tutkimuksessa havaittiin erityisesti päittäishitsattujen putkipalkkien jatkohitsauksen liitoksissa, mutta myös pienahitsatuissa sormi- sekä nivelliitoksissa ja diagonaaliitoksissa vakavia hitsausvirheitä. Päittäishitsattujen jatkoliitosten osalta sekä hitsauksen suunnittelua että hitsauksen suoritusta voidaan pitää puutteellisena. Liitosten railonvalmistus todettiin vailinaiseksi, eikä tutkituissa tapauksissa, yhtä lukuun ottamatta, ollut käytetty lainkaan juuritukea. Tämä oli edelleen johtanut hitsattavan perusaineen puutteelliseen sulamiseen, täysin riittämättömään hitsin tunkeumaan ja täten vajaaseen hitsautumissyvyyteen hitsausliitoksen juuren puolella. Hitsiluokkastandardi SFS EN ISO 5817 ei hitsiluokissa B (vaativa) ja C (hyvä) salli päittäishitsille lainkaan vajaata hitsautumissyvyyttä. Täten ko. hitsien ei voida sanoa edustavan hyvää konepajakäytäntöä (Nevasmaa 2010, 1.)

Oriveden huoltoaseman rakennustyömaalla 2004 tapahtuneen onnettomuuden hitsauksista todetaan mm. hitsausliitosten murtopintoja silmämääräisesti tarkasteltaessa, että hitsaustyön laatu oli huono. Pienahitsin tunkeuma perusaineena toimivan vahvistuslevyn suuntaan oli varsin vähäinen eikä kunnollista perusaineen sulamista ollut tapahtunut. Heti onnettomuuden jälkeen havaittu ruoste näiden välissä antoi viitteitä siitä, että liittymistä ei ollut suurelta osin tapahtunut lainkaan (Onnettomuustutkintakeskus 2004, 13.)

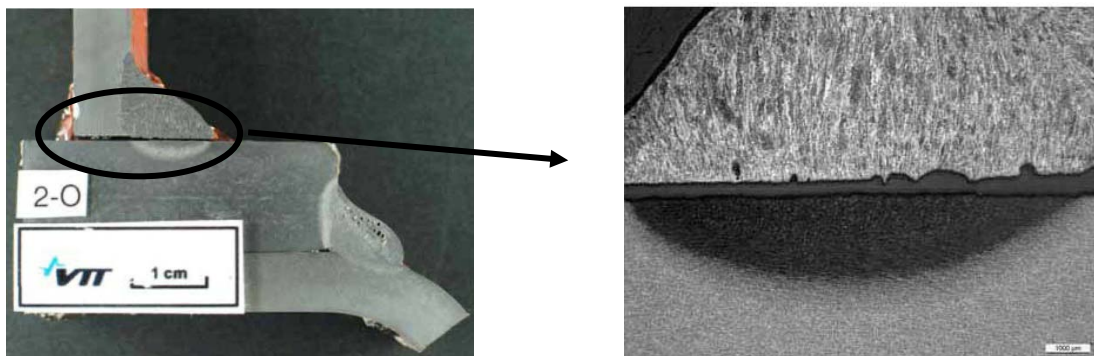
Oriveden onnettomuuden syystä tutkintaraportti mainitsee, että rakentamisorganisaatiossa ei varmistettu teräsrakennetoimittajan kykyä tuottaa laadukkaita rakenteita. Hitsaustyön laadusta varmistutaan standardien mukaan niin, että hitsaustyön tekijältä vaaditaan tiettyjä osoituksia laaduntuottokyvystä. Rakennuttaja tai pääurakoitsija antoivat teräsrakennetoimittajan asentaa rakenteet saamatta osoitusta hitsaushenkilöstön kelpoisuudesta eli osaamisesta. Myöskään rakennustarkastaja ei varmistanut, että kyseisten rakennustuotteiden valmistajien kelpoisuus selvitetään. Edelleen onnettomuustutkintaraportin mukaan rakennuttaja oli pääurakoitsijalta edellyttänyt hitsaajan pätevyyskokeen toimittamista, jota ei kuitenkaan asennukseen mennessä ollut toimitettu. Tässä tapauksessa laatu perustui ainoastaan ylimalkaiseen silmämääräiseen tarkastukseen ja hitsaajan oletettuun pätevyyteen, joka ei muodollisesti ollut voimassa. Näin toimien hitsausliitoksista voi tulla laatuvaatimukset täyttäviä, mutta epäonnistumisen mahdollisuus on jo lähtökohtaisesti olemassa (Onnettomuustutkintakeskus 2004, 16-17, 28, 32.)



Kuva 2. Huoltoaseman rakennustyömaalla romahtaneen vaakapalkin liittyminen pystypalkkiin (Onnettomuustutkintakeskus 2004).



Kuva 3. Ruostejälkien perusteella havaittiin heti, että liitos ei ollut paikoin tarttunut lainkaan vahvikelevyyn (Kuvälähde: Onnettomuustutkintakeskus 2004)



Kuva 4. Makrohieestä ja sen suurennoksesta hitsausliitoksen tarttumattomuus on selkeästi havaittavissa (Kuvälähde: Onnettomuustutkintakeskus 2004)

Huoltoaseman rakennustyössä käytetyn seostamattoman teräsmateriaalien hitsattavuus on suhteellisen hyvä. Sen osoittaa myös hitsiaineen ja muutosvyöhykkeen mikrorakenne, jonka pitäisi olla suhteellisen luja ja sitkeysominaisuuksiltaan vähintään hyvä. Teräspalkin tarttumista vahvikelevyyn vaan ei ollut tapahtunut, mikä edelleen vahvistaa onnettomuuden syyksi virheellisen hitsauksen. Mikrorakenteeltaan tutkitut perusaineet olivat ferriittiä ja perliittiä. Liitosten hitsiaineiden mikrorakenne oli pääasiassa asikulaarista ferriittiä ja Widmannstättenin ferriittiä ja muutosvyöhykkeissä mikrorakenne oli pääasiassa Widmannstättenin ferriittiä ja bainiittia. Rakenteellisen hitsattavuuden osalta hitsausliitoksen suorittaminen ei edellytä suuria vaatimuksia hitsaajan motoriikalta, joten vaurio on helppo todentaa ainakin sen hetkiseksi osaamisvajaksi, joka mahdollisesti olisi voitu välttää suorittamalla hitsaajan pätevyyskoe ennen hitsaustyön aloittamista. Tosin on huomioitava täs-

säkin onnettomuudessa useiden riskitekijöiden osuminen samaan ajankohtaan (VTT 2004, 3.)

1.6 Hitsaajan pätevyyskokeiden merkitys yrityksen osaamiselle ja laadulle

Johtamisen käsitteistöön viimevuosina tullut termi knowledge management merkitsee enemmän kuin tiedon johtamista. Termi voidaan tulkita laajempänä käsitteenä osaamisen kokonaisuudesta huolehtimisesta sekä sen lisäämisestä, eli jatkuvasta kehittämisestä niin, että organisaation strategiset tavoitteet voidaan saavuttaa. Samalla määrittelyllä osaamisen johtaminen voidaan talouden johtamisen ohessa määritellä keskeiseksi toiminnoksi koko yrityksen tai muun organisaation strategisessa johtamisessa. Hitsattavia tuotteita valmistavalla yrityksellä, hitsaajien osaamisen johtamisella on keskeinen rooli osaamisen kokonaisuuden johtamisessa. (Viitala 2006, 175.)

Laatu on käsitteenä moniulotteinen, suhteellinen ja siksi vaikea hahmottaa. Laadussa ei kuitenkaan ole mitään epäselvää, mystistä tai edes vaikeaa, kunhan vain jaksaa pitää mielessään muutamia eri näkökulmia ja ymmärtää suhteellisuutta. Hitsauksen pätevyyskokeessa laatua määritellään suhteessa standardimääräyksiin (Lillrank 1998, 19.)

Jokaisen yrityksen ja yhteisön tavoitteena on onnistua laadun suhteen heti ensimmäisellä kerralla. Monen yrityksen laatupolitiikan määrittelykin alkaa sanonnalla kerralla kuntoon. Tuotteeseen pyritään näin aikaansaamaan virheettömästi ja oikeantasoisina tavoitellut ominaisuudet. Ominaisuudet puolestaan määräytyvät asiakkaiden, viranomaisen tai vastaavien tahojen edellyttämistä tarpeista. Hitsausliitoksen ja hitsaajan pätevyyskokeiden yhteydessä asiakastarve laadun suhteen määritellään usein standardin määritelmien mukaisesti (Lahtinen, Isoviita & Hytönen 1995, 108.)

Hitsauksen ja hitsaajan pätevyyskokeen tai pätevöinnin yhteydessä on syytä tarkastella tuotantokeskeistä laatua. Tuotantokeskeisessä laadussa tarkasteltava ilmiö on virheettömyys ja siihen liittyvä ongelma on virheiden aiheuttamat sosiaali-

set, tekniset ja taloudelliset kustannukset. Siihen liittyvä mittari on tietysti virheiden määrä. Se voidaan tuotteesta ja prosessista riippuen ilmaista monella tavalla (Lillrank 1998, 29.)

Ennakkoon osoitetun osaamisen merkitystä korostaa myös se, että yritys joutuu monissa tapauksissa osoittamaan osaamisensa jo ennen kun saa edes tarjouspyynnön tai ainakin tilauksen. Luettelo pätevyyksien voimassaolosta on oltava aina ajan tasalla ja ennakkoon ositettavissa. (Sun 2009, 2.)

Useissa tapauksissa lainsäädäntö tai terästuotteita koskevat muut vaatimukset edellyttävät hitsaajilta voimassa olevia pätevyksiä. Kysymys ei ole kuitenkaan pelkästään velvoitteista, vaan pätevyyskokeilla on merkitystä yrityksen kokonaisosaamisen kannalta. Hitsaajan pätevyyskoe on yksilösuoritus, mutta organisaatio oppii jäsentensä oppimisen kautta. Yksilöstä riippuu, miten yritys oppii ja kehittyy (Viitala 2006, 183.)

Osaamisen kehittäminen kertasuorituksena ei pitkällä tähtäyksellä paranna yrityksen toiminnan laatua. Hitsaajan pätevyyskoe uusitaan 0,5...2 vuoden välein, joten määrääjain tapahtuva osaamisen arviointi ja palautteen myötä tapahtuva jatkuva parantaminen kehittää laatua pysyvästi. Organisaation oppiminen edellyttää jatkuvaa parantamista. Sen taustalla on orientaatio, myönteinen perussuhtautuminen, joka ohjaa yritystä jatkuvaan arviointiin ja kehittämiseen. Hitsaajan pätevyyskokeiden tuloksien palautteella on mahdollisuus suunnata hitsattavia tuotteita valmistavan yrityksen osaamisen johtamista niin, että se suuntautuu virheitä vähentäviin toimiin. (Viitala 2006, 206.)

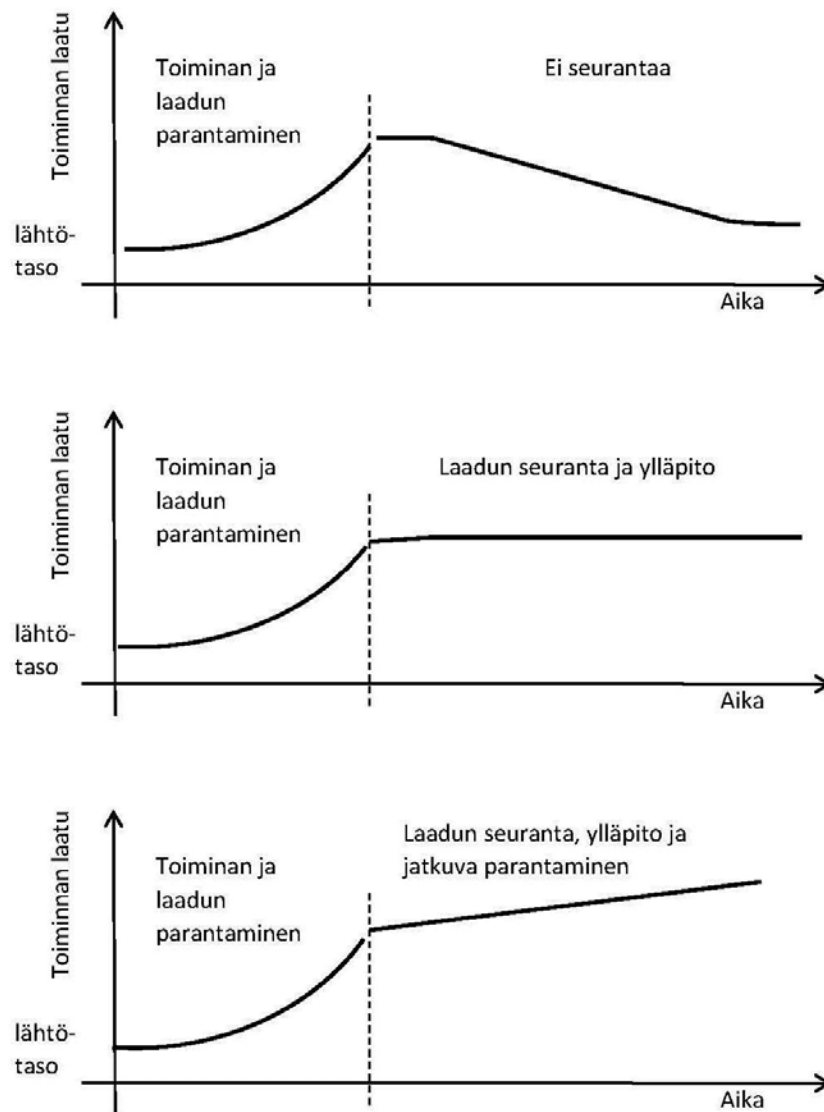
Tutkimuksen mukaan merkittävä osuus hitsausvirheistä liittyy hitsaajien ammattitaitoon, motivaatioon ja asenteisiin. Hitsaajien pätevöintijärjestelmällä on mahdollisuus tavoitteellisuutensa vuoksi vaikuttaa osaamisen kehittymisen myötä myös asenteisiin ja motivaatioon. Hitsaushenkilöstön pätevöinnissä Suomi on Euroopan ja koko maailmankin näkökulmasta kärkimaita (Leino, Karppi & Hentula 2008, 29.)

Aineettoman pääoma mittaaminen koetaan usein vaikeaksi ja jopa mahdottomaksi toteuttaa. Yksilön tai organisaation osaamista pidetään tyypillisenä osaamispä-

omana, joka halutaan osoittaa, mutta osaamisen osoittamisen, kuten muunkin aineettoman pääoman mittarit ovat yleisesti melko kehittymättömiä. Hitsaajan osaaminen on muiden ammattiryhmien mukaisesti aineetonta pääomaa. Osaamisen osoittaminen ja jopa mittaaminen on kuitenkin mahdollista määrääjain toteuttavilla hitsaajan pätevyyskokeilla. Määrääjain uusittuna myös osaamisen kehittymistä on mahdollista mitata todettujen hitsausvirheiden määrällä ja laadulla. Selkeiden mittareiden käyttäminen innostaa ja tuottaa parempia tuloksia (Spiik 2001, 66-67.)

Tässä yhteydessä on huomioitava, että hitsausliitoksessa on aina virheitä, mutta niiden laatu, määrä ja hyväksymiskriteerit (standardi) vaikuttaa siihen onko liitos hyväksyttävissä. Hyväksyttävä hitsausliitoksen laatu, varsinkin käsivaraeisessa hitsauksessa, johon tämän asiakirjan tutkimus perustuu, on voimakkaasti riippuvainen siitä, miten hitsaaja kuljettaa hitsauspoltinta tai vastaavaa. Vertaisin kädentaitojen osalta ammattitaitoista hitsaajaa jopa taiteilijan veroiseksi luovan työn tekijäksi. Tämän vahvistaa kokemuseräinen tieto, että kaikki eivät opi hitsaamaan koskaan. Luovuutta ja luovia lahjakkuuksia on kaikilla aloilla. Heitä löytyy organisaatioista, joiden henkilöstö koostuu alansa luovista osaajista ja asiantuntijoista ja joissa työ tehdään korkeatasoisen, tasavertaisen osaamisen pohjalta (Huuhka 2010, 9.)

Työelämän tärkeimpiä kantavia arvoja tulevat edelleen olemaan todellinen ammattitaito ja sen ylläpitäminen. Ammattitaidon arvostamista odotetaan sekä ylintekijältä että työnantajalta. Ajattelen, että todellisen ammattitaidon avulla sekä yksilöt että tulevat yhteiskuntajärjestelmätkin selviytyvät muutoksessa. Hitsaajien osalta on ollut viimeisen 20 vuoden ajalta miellyttävä havaita, että monet ottavat vastuun omasta osaamisesta ja huolehtivat pätevyyksien voimassaolosta, vaikka työnantajan seurantajärjestelmät olisivat puutteelliset. Lisäksi hitsaajat huolehtivat pätevyyksien voimassaolosta myös mahdollisten työttömyysjaksojen aikana (Nykänen 2010, 14.)



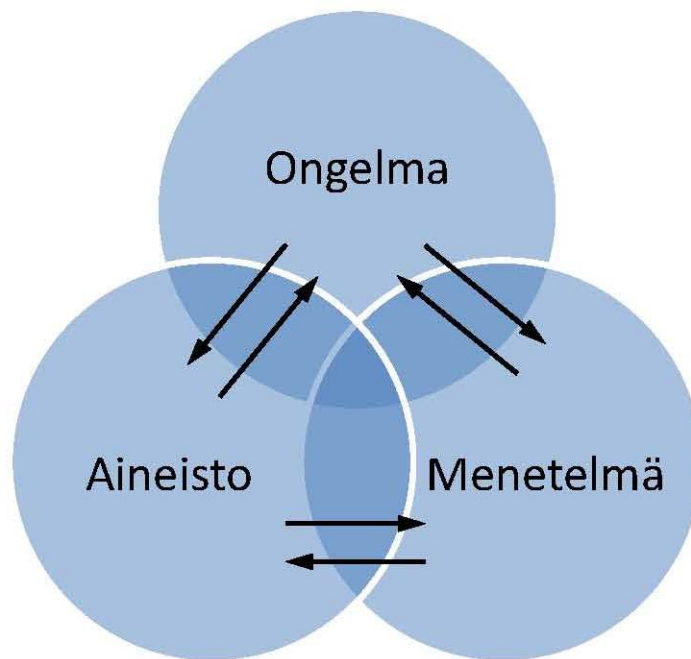
Kuvio 2. Määräajoin tapahtuva osaamisen arviointi motivoi hitsaajaa parempiin suorituksiin ja johtaa osaltaan yrityksen toiminnan jatkuvaan parantamiseen (Pelto 2011).

1.7 Tutkimusprosessi

1.7.1 Empiirinen tutkimus

Empiirinen tutkimus perustuu siihen, että tutkija pyrkii ratkaisemaan ongelmat ke-
 räämänsä tai muutoin saamansa havaintoaineiston pohjalta. Empiirisestä tutki-

muksesta käytetään myös nimitystä kokemusperäinen tutkimus ja se perustuu tutkimuskohteen havainnointiin ja siitä saatujen tulosten mittaamiseen. Tässä tutkimuksessa empiirisellä tutkimuksella ja teknillistieteellisellä sekä osin osaamisen johtamisen ja kasvatustieteellisellä substanssilla on keskeinen asema. Käytännön esimerkkien kautta teoreettisella aineistolla on pyritty selittämään empiirisen aineiston ja teknillistieteellisen substanssin käyttökelpoisuutta (Hirsjärvi, Liikanen, Remes & Sajavaara, 11.)



Kuva 5. Empiirisen tutkimuksen tutkimusasetelma (Uusitalo 1995, 49).

1.7.2 Tutkimusongelma

Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymässä suoritettujen hitsaajan pätevyyskokeiden päittäisliitosten hitsausvirheitä ei ole määrällisesti ja virhetyyppikohtaisesti tilastoitu. Hitsausvirheiden muodostumiseen vaikuttavat tekijät pääosin tunnetaan, mutta eri hitsausvirheiden esiintymistiheyden selvittäminen eniten käytössä olevilla hitsausprosesseilla mahdollistaa osaamisen johtamisen niin, että korjaavat toimenpiteet kohdistuvat oikein.

1.7.3 Tiedonhankintamenetelmät ja tutkimusaineisto

Tietointressi oli praktinen, eli tavoitteena oli hitsaajan pätevyyskokeiden tulosten tulkinta ja parempi ymmärtäminen. Keskeisin tiedonhankintamenetelmä oli hitsaajan pätevyyskoetodistusten ja tarkastuspöytäkirjojen tietojen saattaminen sähköiseen, helposti käsiteltävään muotoon. Tiedonhankintavaiheessa todettiin, että kaikki tarkastajat eivät olleet jokaisen pätevyyskokeen osalta merkanneet sellaisia virheitä pätevyyskoetodistuksiin, jotka eivät ole aiheuttaneet kokeen hylkäämistä tai hitsausluokan vaihtumista. Tämä aiheutti sen, että pätevyyskokeita vastaavat röntgen-kuvat jouduttiin käsittelemään ja merkkaamaan sieltä virhetiedot jälkikäteen pätevyyskoetodistusten kopioihin. Oleellista tässä tutkimuksessa ei ole se onko koe hyväksytty tai hylätty, vaan yleisesti hitsausvirheiden määrä. On oletettavaa, että sellainen koe, joka on hyväksytty, mutta siinä on tarkastuksessa havaittuja virheitä, on lähempänä hylkäystä kun ns. virheetön hitsi. Tarkastelemalla kaikkia virheitä voidaan virheiden kokonaismäärää vähentää jatkossa ja hyväksytyjen hitsausliitosten osuus kasvaa. Pätevyyskokeiden tarkastuspöytäkirjoista saatavien tietojen lisäksi olen haastatellut kolmea pätevyyskokeen valvojaa ja heidän kokemuksiaan pätevyyskoeprosessista. Tätä haastattelua ei ole dokumentoitu, vaan se on tapahtunut moniosaisesti arkisten työhaasteiden yhteydessä ja sen sisältö on ollut kirjallisen tutkimus- tai viiteaineiston täsmennystä.

1.7.4 Tiedonkäsittelymenetelmät

Hitsausvirheiden osalta käsittely on kvantitatiivinen ja sen matemaattinen osuus, tiedon tallennuksineen ja kuvioiden piirtämisineen on toteutettu Microsoftin Excel – taulukkolaskentaohjelmalla.

Omia kokemuseräisiä tietoja ja väittämiä olen pyrkinyt varmistamaan lähdeaineistolla. Joihinkin asioihin olen hakenut vahvistusta tutkimustyön tilaajan organisaation muiden pätevoitettujen hitsaushenkilöiden tallentamattomilla haastatteluilla. Katson tämän tiedon kuitenkin relevantiksi tiedoksi perustella väittämiä, koska yleisesti hiljaisen tiedon merkitys on tunnistettu ja tunnustettu.

1.7.5 Kirjallinen tuotos ja tutkimuksen rajaus

Kirjallisessa tuotoksessa viitekehyksen rakentaminen alkaa tutkimuksen tilaajan organisaation esittelystä, jatkuen hitsaajan pätevyyskokeen merkityksen esittämisenä ja yhteytenä hitsaavan organisaation osaamisen johtamiseen. Hitsauksen teoria ja perusasiat käsitellään lyhyesti sellaisten oleellisten asioiden osalta, sellaisessa viitekehysessä, jonka tutkimuksen tekijä näkee oleellisena, hitsaajan pätevyyskokeessa muodostuvien hitsausvirheiden tarkastelussa. Standardeja, hitsaukseen liittyvää lainsäädäntöä sekä muita ohjeita ja määräyksiä ei ole kirjoitettu uudelleen, vaan useissa kohteissa viitataan näihin asiakirjoihin, jotka määrittelevät asiat täsmällisesti ja yksityiskohtaisesti. Lisäksi olen kirjallisessa tuotoksessa pyrkinyt tuomaan omia havaintojani yli 30 vuoden kokemuksesta hitsausalalla. Omiin kokemuserusteisiin havaintoihin olen pyrkinyt hakemaan alan kirjallisuudesta vahvistusta.

Tutkimustuloksia ja hitsausvirheitä olen kirjallisessa tuotoksessa pyrkinyt kausaalisesti selittämään, kirjallisuuslähteisiin nojautuen. Arkikielessä kausaalinen selittäminen voidaan luonnehtia syiden ja seurausten selittämiseksi. Kausaalisessa selittämisessä syy on ajallisesti ennen seurausta. Positivismia, joka on johdettu sanasta positiivinen, käytetään luonnehtimaan selvästi havaittavaa tosiasiaa. Positivismi suosii kausaaliselitystä. Pätevyyskokeessa havaittujen hitsausvirheiden palaute-tiedon kautta olen rakentanut mallia, jonka perusteella palautetietoa voidaan hyödyntää hitsattavia tuotteita valmistavan yrityksen osaamisen johtamisessa. (Uusitalo 1995, 99.)

2 OSAAMISEN JOHTAMINEN

2.1 Osaamisen johtaminen osana strategista johtamista

Strateginen johtaminen määrittelee eri liiketoiminta-alueiden päälinjaukset johtamiseen. Tällaisia liiketoiminta-alueita ovat mm. talouden johtaminen, henkilöstöjohtaminen ja osaamisen johtaminen. Strategisessa johtamisessa määritellään tulevaisuuden visioita, asetetaan tavoitteita ja mittareita tulosten mittaamiseen.

Osaamisen johtaminen on monialainen tai poikkitieteellinen kokonaisuus. Osaamisen johtamisella varmistetaan organisaation toimintakyky kaikilla tasoilla, yksilöstä työryhmiin. Osaamisen johtaminen sisältää kaikki sellaiset toimet, mitä osaamiselta edellytetään, jotta organisaation strategiset tavoitteet saavutetaan. Osaamisen johtaminen pitää sisällään mm. osaamisen ylläpidon, kehittämisen, uudistamisen, kohdentamisen ja uuden osaamisen hankkimisen. Osaamisen johtaminen ja osaaminen ovat käsitteitä, jotka eri kirjallisuuslähteetkin määrittelevät eri tavalla ja osin jopa puutteellisesti.

2.2 Osaaminen

Yksittäisen ihmisen ja yhteiskunnan menestystekijäksi mainitaan usein osaaminen. Osaamisen käsite on kuitenkin niin moniulotteinen, ettei se sellaisenaan kerro vielä paljoakaan. Todellinen osaaminen syntyy vasta, kun osaa yhdistää osaamisen erilaisia osatekijöitä kuten esimerkiksi: substanssia osaamista, sosiaalista osaamista ja uuden oppimisen osaamista. Oman määritelmäni mukaan kaikenlaisessa liiketoiminnassa osaaminen syntyy vasta, kun se on kaupallisesti hyödynnettävissä. Kaupallisuudella on tässä laaja käsite ja tarkoitetaan mm. oman osaamisen myymistä ns. työsuhteessa. Hitsauksen osalta osaaminen voidaan mitata pätevyyskokeilla, mutta se voi yhtä hyvin olla työnantajan odotusarvo henkilön

osaamisen kehittymisen, eli uuden oppimisen osaamisen suhteen niin, että se vastaa työnantajan vaatimustasoa. Tällaisen odotusarvoon perustuvan osaamisen määritelmä voi tulla kysymykseen esimerkiksi nuoren henkilön osalta (Kamensky 2008, 287.)

Osaamisen johtamisella on laaja teoreettinen viitekehys, sillä sitä voidaan tarkastella monien eri näkökulmien kautta. Tietojohtaminen ja tiedon tehokas hyödyntäminen on osaamisen johtamisen perusta. Organisaation työntekijöiden kyky tuottaa uutta tietoa sekä luoda tiedon jakamista edistävä työympäristö, ovat tärkeää osaamisen kehittymisen kannalta. Vahvimmin osaamisen johtaminen liitetään kuitenkin oppivaan organisaatioon, sillä osaamisen johtamisen tuloksena voidaan pitää oppivan organisaation syntymistä. Yksinkertaisesti osaamisen johtaminen on osaamisen hyödyntämistä ja osaamisen jakamista organisaatiossa. Henkilökohtaisesti pidän kirjallisuuslähteen väittämää osaamisen johtamisen perustasta puutteellisenä. Yhtä tärkeä asema on taitojohtamisella ja taitojen tehokkaalla hyödyntämisellä, kuin tietojohtamisellakin. Näkemykseni mukaan oppiva organisaatio edellyttää toimiakseen tieto- ja taito-osaamista (Savolainen 2004, 40.)

Osaamisen johtamisen tavoitteena on organisaatiolle hyödyllisen osaamisen hankkiminen, kehittäminen, säilyttäminen ja kohdentaminen. Järkevän osaamisen johtamisen lähtökohtana on tieto tavoiteltavan osaamisen sisällöstä. Sen määritellyn lähtökohdat ovat löydettävissä kahdesta suunnasta: organisaation strategisista tavoitteista ja työn edellyttämän ammattitaidon yleisistä vaatimuksista. Tavoiteltavan osaamisen sisällön tietäminen on haasteellista hitsattavia tuotteita valmistavissa yrityksissä. Valmistettava tuote voi vaihtua hyvinkin nopeasti materiaalin, aineenvahvuuden, putken ulkohalkaisijan tai muun oleellisen muuttujan suhteen niin, että koko yrityksen hitsaushenkilöstön pätevyydet pitää päivittää ajanmukaiseksi.

Osaamisen johtaminen on laaja kokonaisuus, joka pitää sisällään organisaation osaamista, organisaation oppimista ja oppivan organisaation. Henkilökohtaisesti pidän oppivan organisaation käsitettä epämääräisenä, sillä organisaatio oppii siinä toimivien yksilöiden kautta. Yksilöiden ammattitaitoa on substanssiosaaminen, mutta organisaation osaamiseen se tuo tulosta, jos yksilöt osaavat myös sosiaali-

sen osaamisen. Monissa työtehtävissä tehdään yksilösuorituksia, mutta sosiaalista osaamista edellytetään siitä huolimatta. Oppiminen tapahtuu yksilöiden osaamisen kautta, joka perustuu hänen kokemukseen ja henkilökohtaiseen osaamiseen (Viitala 2002, 12, 49.)

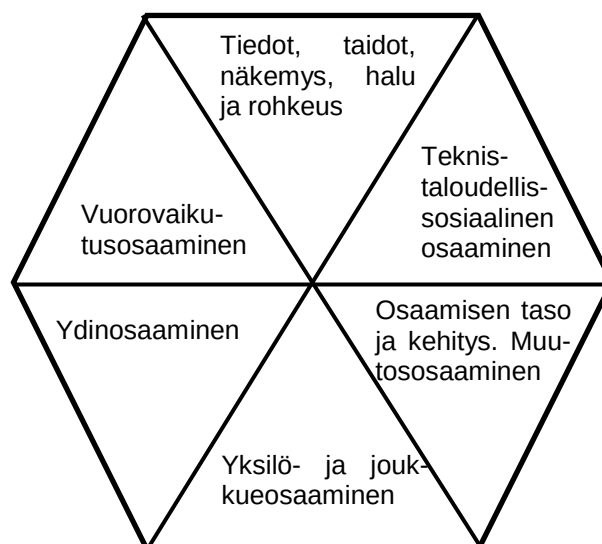
Osaamisen määrittäminen, osaamisen jakaminen osatekijöihin ja näiden osatekijöiden mittaaminen on koettu varsin keskeiseksi ongelmaksi monessa organisaatiossa. Osaaminen koetaan aineettomaksi pääomaksi, jonka mittaaminen on vaikeaa. Hitsaajien osaaminen tai osaamattomuus on pätevyyskokeessa ja tuotannollisissa hitsauksissa mitattavissa hitsausvirheiden laadulla ja määrällä. Sosiaalista osaamista pätevyyskoe ei kuitenkaan mittaa (Moilanen 2001, 36.)

Ammatillinen huippuosaaminen määritellään ammattispesifiseksi tietotaidoksi, kyvyksi soveltaa ammattispesifiä sekä metakognitiivisiksi taidoiksi. Ammattispesifillä tietotaidolla tarkoitetaan ammatin tietorakenteiden hallintaa ja syvää ymmärrystä. Metakognitiivisillä taidoilla tarkoitetaan kykyä reflektoida, ymmärtää ja kontrolloida omaa oppimista. Metakognitiiviset itsesäätelytaidot luovat edellytykset ammattiosaamisen ylläpitämiselle ja uudistamiselle samoin kuin osaamisen siirtämiselle erilaisiin tilanteisiin. Tämä määritelmä kuvaa mielestäni parhaiten osaamista. Määritelmä huomioi sekä tietojen, että taitojen osaamisen, kuten myös yhden oleellisimmista asioista, eli osaamista on ammattiosaamisen ylläpitäminen, uudistaminen, eli vaadittavan osaamisen tason tunnistaminen sekä soveltaminen eri tilanteisiin. Hitsaajien päteväintijärjestelmään huippuosaamisen määrittelystä löytää useita yhtymäkohtia. Teknisen suorituksen näyttöympäristö edellyttää omaa osaamista, jota ei voi siinä tilanteessa millään ulkopuolisella keinolla vahvistaa. Metakognitiiviset taidot on yhdistettävissä mm. suorituksen itsearviointiin osaamiseen ja vaadittavan laatutason ymmärtämiseen. Pätevyyskokeen suorittaminen ymmärretään helposti osaamisen osoittamisena, mutta osaamisen johtamisen kannalta se tulisi ymmärtää ammatillisen osaamisen ylläpitämisena ja uudistamisena, vaikka varsinaista opettamista suoritus tilanteessa ei sallita. Omaan kokemusperäiseen tietoon perustuen monet nuoret hitsaajat selvittävät hitsaajan pätevyyskokeen hyväksyttävästi, mutta eivät osaa soveltaa osaamistaan erilaisissa hitsauskohteissa. Tämä voi olla myös ristiriitaista pätevyyskokeen ja tuotannollis-

ten hitsausten olosuhdekorrelaation suhteen, mutta koetilanne ei voi korreloida kaikkia erilaisia tuotanto-olosuhteita (Ruohotie & Honka 2003, 14.)

Nykyaikaiset johtamisteoriat tukevat väitettä siitä, että ammattitaitoon kuuluu osaamisen lisäksi oman osaamisen kehittäminen. Ihmiset pyrkivät kehittymään, mikäli ympäristö tarjoaa siihen mahdollisuuden, tukea ja haasteita. Omaan kokemusperäiseen tietoni perustuen, hitsaajat ovat halukkaita kokeilemaan pätevyyskokeiden osalta osaamisen rajojaan (Ruohotie 1996, 110.)

Arvioitavia asioita voi löytyä tietojen tai taitojen puolesta samoin kuin erilaisten osaamisten puoleltakin. Valitettavan usein tarvittavaa osaamista tarkastellaan liian suppeasti eli arvioidaan vain ammatissidonnaista osaamista. Tämän lisäksi pitäisi muistaa muidenkin osaamisalueiden kehittämisen merkitys menestymisen rakentamisessa. Viime vuosina hitsaajan ammatissakin on tullut voimakkaammin sosiaalisen osaamisen tarve kansainvälisessä toimintaympäristössä, kun useimmat suuret teräsrakenteita sisältävät hankkeet toteutetaan kansainvälisessä ympäristössä. Pätevyyskoe sinällään on eurooppalaisen standardin mukainen, joka tunnetaan hyvin laajasti (Moilanen 2001, 209.)



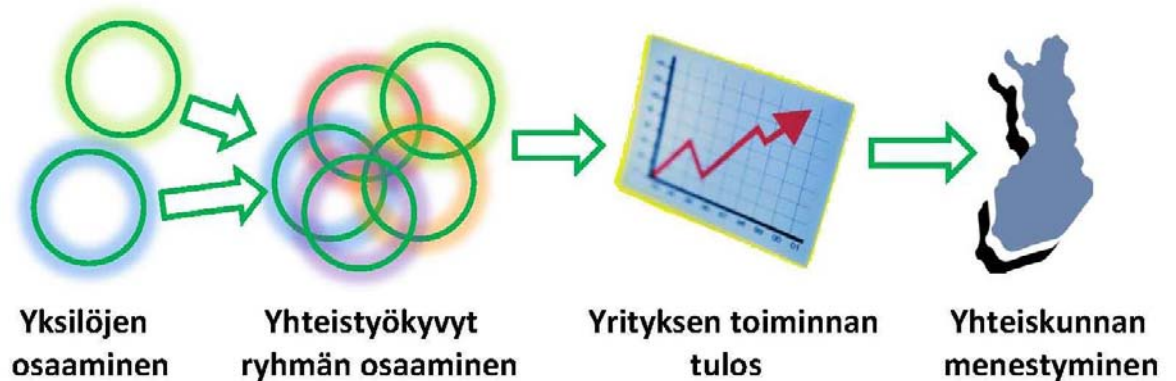
Kuva 6. Osaamisen keskeisiä ulottuvuuksia (Kamensky 2008, 288).

Yhteiskunnan taloudellisen kasvun odotusarvona on usein myös ihmisten ja ympäristön hyvinvoinnin lisääminen. Tällaisessa tavoitetilassa suomalaiset yritykset menestyvät ja kasvavat kansainvälisillä markkinoilla osaamisella luodulla kilpailukyvyllä ja tuottavuuden kehittymisen avulla. Nykyistä korkeammalla tuottavuudella Suomi kykenee vastaamaan työvoiman ja huoltosuhteen pienenemisestä sekä korkean kustannustason aiheuttamista haasteista. Suomi on menestynyt hyvin kansainvälisissä koulutuksen, tutkimuksen ja teknologian vertailuissa. Olemme maailman johtavia maita innovatiivisuuden ja yritysten toimintaympäristön laadun suhteen. Suomen menestys on paljolti perustunut laadukkaaseen koulutusjärjestelmään, yritysten ja julkisen sektorin pitkäjänteisiin panostuksiin tutkimus- ja kehitystoimintaan sekä hyvin toimiviin, verkostoituneisiin instituutioihin (Aho 2008, 2-4.)

Osaamiseen liittyy aineellisista ja useista aineettomista resursseista poiketen yksi erikoinen piirre. Osaaminen lisääntyy, kun sitä jaetaan toisille ja käytetään. Hitsaajan pätevyyskokeen suorittaminen on tapahtuma, jossa ei saa tapahtua valvojan tai muun taholta tapahtuvaa opetusta. Silti tapahtuma on oppimistilanne, niin pätevyyskokeen suorituksen osalta ja varsinkin silloin, kun pätevyyskokeeseen liittyy rakentavan palautteen antaminen. Pätevyyskokeen suorittaminen ymmärretään osaamisen osoittamistilanteena, mutta todellisuudessa se on osaamisen käyttämistä, useissa tapauksissa suorituskeskeisenä, jolloin jännittäminen lisää suorituspainetta. Paineen alaisesta toiminnasta on kokemusperäistä tietoa. Rutinoituneilta ammattilaisiltakin pätevyyskokeen hyväksytty suorittaminen voi olla vaikeaa. Oikealla osaamisen johtamisella päteväintijärjestelmästä saadaan yrityksen kokonaisosaamisen kehittämiseen enemmän resursseja, jolloin suorituksen paineenalaisuutta voidaan pienentää. Pätevyyskokeisiin ja pätevyyksien ylläpitämiseen tulee suhtautua osaamisen kehittämisen näkökulmasta. Pätevyyskokeiden suorittaminen ei saa olla standardien vaatima pakko. (Savolainen 2004, 40.)

Yhä useamman yrityksen kilpailuetu ja menestyminen perustuu sen henkilöstön osaamiseen. Yksittäisten ihmisten osaamisesta ja ihmisten osaamisen yhdistelmistä muodostuu koko yrityksen osaamispääoma ja yritysten osaamisesta koko yhteiskunnan osaaminen ja menestyminen. Osaamisen sekä sen kehittämisen, että ylläpidon merkitys on jo melko hyvin tiedostettu. Monille on kuitenkin jäänyt epäselväksi, kuinka osaamista todella johdetaan? Käsitteenä osaamisen johtami-

nen herättää ristiriitaisia ajatuksia. jotkut pitävät mahdottomana sitä, että osaamis- ta voitaisiin johtaa, koska kysymyksessä on aineeton ja siksi vaikeasti käsiteltävä ja mitattava asia. Siitä huolimatta osaamisen tavoitteelliselle ja systemaattiselle kehittämiselle on todettu olevan tarvetta, johon henkilöstökoulutus ei ole kyennyt yksin vastaamaan. Standardi määrää hitsaajien pätevöinnin ajankohdat ja tuotan- nolliset hitsausliitokset pätevyyskokeen oleelliset muuttujat. Siitä huolimatta pidän päteväintijärjestelmää ja standardia enemmän osaamisen johtamisen välineenä. Määräykset ovat ehdottomia ja täsmällisiä, mutta osaamisen johtamisen kannalta niihin tulisi suhtautua mieluummin ohjaavina kuin velvoittavina asioina (Savolainen 2004, 9.)



Kuva 7. Yksittäisten ihmisten osaamisella ja tuloksiin johtavalla osaamisen johta- misella rakennetaan koko yhteiskunnan menestys (Matti Peltola 2011).

Hitsaajan pätevyyskoejärjestelmä ja siihen liittyvä standardi SFS-EN 287-1 tarjoaa työn edellyttämälle ammattitaidolle, eli osaamiselle erilaisia tasoja, joihin tavoitel- tavaa osaamisen sisältöä voi verrata. Tavoiteltava osaamistaso voidaan hitsaa- vassa teollisuudessa määrittää myös SFS-EN 15607 mukaisesti laadittujen hit- sausohjeiden tai laajemmin valitsemalla laatuvaatimukset metallien sulahitsauk- seen SFS-EN ISO 3834-1 mukaisesti.

Virheetön suoritus on tavoitetilä, mutta hitsauksen osalta teoreettinen. Oleellista on se ylittääkö virheiden suuruus standardin määrittelemän hyväksymisrajan. Vir- heistä voi myös oppia. Suurin osa organisaation oppimisesta on seurausta siitä, että organisaatiossa analysoidaan ja arvioidaan tarkasti epäonnistumiset ja onnis- tumiset sekä annetaan niistä palautetta työntekijöille. Tämä antaa hyvän lähtökoh-

dan hitsaajan pätevyyskokeiden virheiden tarkasteluun ja tiedon hyödyntämiseen osaamisen johtamisessa (Ruohotie 1996, 108.)

2.3 Hitsaajien osaamisen johtaminen

Osaamisen ylläpito ja kehittäminen edellyttävät jatkuvaa tai ainakin säännöllistä osaamisen arviointia. Hitsaajan standardin mukainen pätevyyskoe antaa arviointitoimintaan hyvän mittarin. Mittarin toimivuus ei koske pelkästään pätevyyksien määrää. Mittaria voi hyödyntää myös ennakointiosaamisessa. Miten yrityksen hitsausosaaminen vastaa uusien tarjouspyyntöjen tms. osaamisvaatimuksiin. Oppivaa organisaatiota puolestaan kuvaa yrityksen kyky uudistaa hitsaushenkilöstön pätevyyskiä uuden tuotteen edellyttämien vaatimusten mukaiseksi. Hitsaajien osaamisen johtamisella on tässä keskeinen merkitys.

Hitsaajien tietopuolisen osaamisen merkityksestä ja tarpeellisuudesta on usein keskusteltu. Kamensky (2008, 288) toteaa tiedon olevan osaamisen perusraaka-ainetta. Tiedosta on kuitenkin valtava matka taitoihin. Tieto on ymmärrettävä ja sisäistettävä ja sitä on osattava soveltaa käytäntöön, ennen kuin se on hyödynnettävissä. Teoreettisen tiedon merkitys kasvaa silloin, kun työtehtävät tai tuotantovälineet monimutkaistuvat ja yksittäistiedon määrä lisääntyy. Ihmisen arkitieto ei riitä silloin, kun hänen ammattiinsa kuuluvat yksittäistiedot jatkuvasti muuttuvat. Hitsauksen osalta esimerkiksi materiaalien muuttuminen aiheuttaa tarvetta suorituksen muuttamiseen. Tämä muutos voidaan selittää teoreettisesti ja käytännössä osoittaa hitsausmetallurgisilla kokeilla. Mitä monimutkaisempia ja muuttuvampia työtehtävät ovat ja mitä laajempiin kokonaisuuksiin ne liittyvät, sitä välttämättömämpää on teoreettinen tieto. Se on yksilön oman ajattelun ja toiminnan taloudellisuutta, yksityiskohtien ja yksittäistilanteiden tulkintaa selkeiden yleisperiaatteiden avulla. Yksinkertaisetkin taitosuoritukset opitaan paremmin ja niistä tulee joustavampia, kun ne perustuvat tietoon kyseisestä asiasta ja kun ihminen ymmärtää tuon yleisen periaatteen. Kokeellisesti tämä on voitu osoittaa tutkittaessa erilaisia taito- ja työsuorituksia. Tieto, joka ulottuu ilmiöiden syihin, syntyyn ja periaatteisiin ja selittää niitä, vaatii ihmistä ajattelemaan itse. Teoreettisen kokeen sisällyttäminen hit-

saajan pätevyyskokeeseen osoittaisi syvällisemmän asian osaamisen ja kokonaisuuden hallinnan (Engström 1987, 51, 52, 105.)

Osaamisesta on tullut yksilölle tärkeä selviytymiskeino ja oikeastaan ainoa työsuhteturva. Tänä päivänä organisaatiot eivät voi taata henkilöstölleen jatkuvaa ja pysyvää työsuhdetta. Yksilölle ainoa keino taata oma työllistettävyytensä on pitää huolta omasta osaamisestaan. Tämä määrittelee hänen työmarkkina-arvonsa. Niin kauan kun hänellä on osaamista, josta jokin organisaatio on valmis maksamaan kohtuullisen korvauksen, hän voi olla suhteellisen turvallisissa mielin. Hitsausalalla työskentelee henkilöitä, jotka huolehtivat itse omien pätevyyksien voimassaolosta ja valitsevat jopa itse projektit, joissa työskentelevät. Työnantaja voi käytännössä vaihtua aina, kun siirrytään projektista toiseen (Sydänmaalakka 2004, 172.)

Hitsaajien osaamisen johtamisen yhteydessä on tarpeellista tarkastella myös itsensä johtamista. Tämän merkitys on korostunut viime vuosina. useat hitsaajat ovat ns. komennusmiehiä tai – naisia, jotka huolehtivat itsensä osaamisesta ja sen osoittamisesta pätevyyskokeilla. Nämä henkilöt käyvät työkohteiden välissä ja mahdollisten lyhyiden työttömyysjaksojen aikana suorittamassa pätevyyskokeita tulevien työkohteiden pätevyysalueiden mukaisesti. Itsensä johtaminen on noussut esille viimeisten vuosikymmenten aikana. Syitä on monia, kuten organisaatiot ovat madaltuneet, asemavalta niiden sisällä heikentynyt, on siirrytty tiimitoimintaan ja itsenäisempään toimintaan (Sydänmaalakka 2004, 237.)

Olen tutkimustyön ja yli 30 vuotta hitsausalan osaajien kanssa työskennellessä tavannut lukuisan määrän hitsaajia, pätevyyskokeen valvoja. hitsausliitosten tarkastajia, hitsauskoordinaattoreita, tuotantopäälliköitä, hitsattavia tuotteita valmistavien yritysten ylintä johtoa, alan opettajia ja muita hitsausalan osaajia. Olen tehnyt havainnon, että hitsausalan ammattilaiset muodostavat ammatillisia toimijayhteisöjä (communities of practice). Alan kirjallisuuteen tutustuessani sain tieteellisen vahvistuksen havainnoilleni. Toimijayhteisöt ovat organisaatioista riippumattomia asiantuntijayhteisöjä, joissa jaetaan tietoa (knowledge). Tällaiset yhteisöt voivat olla jonkin teknologian ja/tai toimialan (esimerkiksi: hitsaus) ympärille epävirallisesti kokoontuvia yhteisöjä. Yrityksen sisällä voi olla useita tällaisia yhteisöjä. Joissakin tapauksissa ihmiset sitoutuvat voimakkaammin tällaisiin ammatillisen osaami-

sen perusteella muodostuviin sosiaalisiin yhteisöihin, kuin organisaatioihin. Pidän tällaista yhteyttä ylivoimaisena voimavarana, joka pitää hitsausalan osaamista korkealla ja suomalaisen kone- ja metalliteollisuuden kilpailukyvyn korkealla. Tämä yhteisöihin sitoutuminen on myös innovatiivisen asiantuntijaorganisaation piirre. Toimijayhteisöjen tavoitteena on pääasiallisesti yhteisön jäsenten ammatillisen osaamisen lisääminen. Näillä yhteisöillä on voimakas taipumus vanhan tiedon välittämisen lisäksi luoda uutta tietoa. Erona omien havaintojeni ja kirjallisuuden välillä on se, että toimijayhteisöjen sisällä tieto ja osaaminen leviävät myös organisaatioiden välillä. Lähinnä tämä näkyy komennustehtävissä toimivien hitsaajien välillä, jotka kokoontuvat mm. pätevyyskokeita uusiessaan. Tällöin he eivät ole välttämättä minkään työyhteisön palveluksessa, vaan ylläpitävät omaa osaamistaan ja osoittavat sen sitten tulevalle työnantajalle. Toisaalta organisaatioiden yli tapahtuvaa tiedon vaihtoa vahvistaa kirjallisuuden väite, että ihmiset voivat sitoutua jopa voimakkaammin näihin yhteisöihin, kun organisaatioihin. Tämä ilmiö tuo haastetta esimiestyöhön osaamisen johtamisen suhteen. Hitsausalalla toimii myös virallisia yhteisöjä, kuten Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys (SHY), joka on merkittävällä tavalla edistänyt hitsausalan liiketoiminnan ja osaamisen kehittymistä jo yli 60 vuoden ajan. Näkyvänä toimintana mm. alan tieteellinen julkaisu Hitsaustekniikka-lehti. Kolmantena osapuolena toimivat hitsaajan pätevyyskokeen valvojat, toimivat merkittävinä linkkeinä näiden yhteisöjen ihmisten välillä, koska he valvontatyön kautta tuntevat verkostossa paljon alan ihmisiä. Lisäksi palvelualttius on kehittänyt epävirallisen ”puhelinneuvontajärjestelmän”. Omien havaintojen mukaan yhteisöllisyys näkyy myös voimakkaana piirteenä puolustaa pätevyyskoejärjestelmää, sitoutumisena standardien, hitsausohjeiden ja muiden työohjeiden sekä laatujärjestelmän mukaiseen toimintaan ja alan kehittämiseen (Apilo, Taskinen & Salkari 2010, 121.)

Viitala (2002, 63-64) toteaa väitöskirjassaan, että uuden tiedon luomisen mallin artikulaatiovaihe kuvaa tilannetta, jossa organisaation jäsenet tuovat yhteiseen käsittelyyn hallussaan olevaa hiljaista tietoa ja prosessoivat sitä yhdessä. Artikulaatioon tuodaan uutta tietoa myös ryhmän ulkopuolelta. Tätä vaihetta voidaan pitää tiedon ja osaamisen jalostamisena, jossa ryhmä luo olemassa olevasta tiedosta jotain aiempaa kehittyneempää tietoa. Se voi näkyä uusina ideoina, kehittyneempinä toimintamalleina tai innovaatioina. Hitsausalan sosiaalisilla ja ammat-

tia kehittäville verkostoilla on tässä tiedon ja osaamisen jalostajana keskeinen rooli.

Organisaation tiedon ja osaamisen taso on oleellista, mutta miten organisaatiossa pystytään tietoa ja osaamista levittämään. Tiedon ja osaaminen levittäminen on näkemykseni mukaan vaativa tehtävä, jonka toteuttamiseen ei ole helppoja malleja, vaikka tiedonvälityskanavat lienevät yksi viime vuosikymmenten eniten uudistuneita ja kehittyneimpiä välineitä. Tiedon ja osaamisen hallinnan ylimpänä tavoitteena on saavuttaa ainutlaatuinen näkemys. Sekä yksilöiden että organisaatioiden tieto- ja osaamisvajeen kaventamiseksi on tehtävä jatkuvasti määrätietoista työtä. Kansalaisten eläköityminen on Suomessa nostanut hiljaisen tiedon merkitystä ja yhä enemmän keskustellaan hiljaisen tiedon siirtämisestä organisaatiossa.

Hitsaajissa, kuten kaikissa ammattiryhmissä on luovia persoonia. Luovat henkilöt tekevät myös luovan organisaation, jonka johtaminen poikkeaa tavanomaisen organisaation johtamisesta. On syytä huomata, että luovuutta samoin kuin luovia lahjakkuuksia on kaikilla aloilla. Luovuudesta ei todellakaan ole kysymys vain kulttuurin ja taiteen aloista, kuten joskus luullaan. Millä tahansa alalla johtaja voi kohdata luovia osaajia, jotka hänen tulee saada toimimaan yhteistyössä ja mielellään myös samansuuntaisesti organisaation muun henkilöstön kanssa (Huuhka 2010, 79.)

2.4 Hitsaavan organisaation osaamisen johtaminen

Organisaation kyvykkyyttä ja henkistä pääomaa koskevan keskustelun viesti on, että johtamisen tavoitteena tulee olla työntekijöiden tietojen, taitojen ja motivaation vahvistaminen sekä oppimista tukevien järjestelmien ja tiedon käsittelyn prosessien kehittäminen. Palautteella on keskeinen merkitys hitsaajien tietojen, taitojen ja motivaation vahvistamisessa. Pätevyyskoejärjestelmä tarjoaa tältä osin merkittävän työkalun hitsaavan henkilöstön johtamiseen (Viitala 2002, 22.)

Hitsattavia tuotteita valmistavan organisaation osaamisen johtaminen käytännössä tarkoittaa sitä, että ensin on kirkastettava organisaation visio, strategia ja tavoit-

teet. Sen jälkeen määritellään ydinosaatukset, jotka luovat merkittävää kilpailuetua yritykselle ja lisäarvoa asiakkaalle. Näiden ydinosaatustalueiden määrittely ei ole kovin helppoa, kun sitä tehdään ensimmäistä kertaa. Se on kuitenkin mielenkiintoinen prosessi, joka pakottaa johdon pohtimaan syvällisesti organisaation osaamista ja sen merkitystä kilpailutekijänä. Se on myös yleensä lähtökohta koko organisaation kattavalle osaamisen määrittely- ja kehittämisprosessille. Lisäksi se määrittelee strategisen johtamisen eräänlaiseksi ylätasoksi, jonka alapuolella on mm. osaamisen johtaminen ja sen osana hitsaajien pätevyintijärjestelmä (Sydänmaalakka 2004, 158.)

Kaikki organisaatiot ovat oppivia organisaatioita, toiset vaan oppivat nopeammin kuin toiset. Kaikki ihmisten muodostamat organisaatiot ovat toiminnaltaan inhimillisiä, joten organisaatioissa tehdään virheitä, mutta joissakin samoja virheitä toistetaan jatkuvasti. Oppiva organisaatio ottaa virheistä opiksi, virheet kuuluvat sen oppimisprosessiin. Hitsaajan pätevyyskokeissa virheiden palautteen merkitys korostuu, jolloin tehdään virheistä oppiminen yleensä mahdolliseksi. Huomioitavaa tässä yhteydessä on, että kaikki virheet eivät johda hitsausliitoksen hylkäämiseen ja/tai korjaamiseen. Siitä huolimatta virheet voidaan tai joskus joudutaan rekisteröimään ja niiden määrästä voidaan oppia (Huuhka 2010, 85-86.)

Keskeistä organisaation osaamisen johtamisessa on organisaation strategiaan, eli yhteiseen päämäärään sitoutuminen. Osaamisen johtamisessa riittävän yhdenmukainen tulkintakehys on edellytys sille, että yhteisiä tavoitteita voidaan saavuttaa. Hitsaajan pätevyittämisessä yhdenmukaisen kehyksen muodostavat erisisältöiset standardit, jotka antavat usein liian vähän tulkintamahdollisuuksia. Yhteisten ajatusmallien kehittämisellä on siis keskeinen merkitys osaamisen johtamisessa. Organisaatiota koskevat hitsauksen laatuvaatimukset, joihin sisältyy hitsaajien pätevyyden määrittäminen ja osaaminen kaikilla laatuvaatimustasoilla on yhteinen määriteltävissä oleva osaamistavoite, jolla yritys tavoittelee strategian mukaisia tavoitteita. Lisäksi koulutus on tehokas keino lisätä yhteisiä ajatusmalleja. Pätevyyskokeen suoritus ei sinällään ole koskaan koulutustilanne, mutta pätevyyskokeen jälkeinen arviointi ja palaute ovat oppimista tukevia tapahtumia. (Viitala 2002, 65.)

Suorituksen johtaminen on perustaso, johon tulee kiinnittää huomiota. Suoritusta on johdettava yksilö-, tiimi- ja organisaatiotasolla. Eri tasot on integroitava toisiinsa. Suorituksen, osaamisen ja tiedon johtamisen prosessit ovat päällekkäisiä. Tiedon johtamisen lisäksi tarvitaan suorituksen johtamista. Suorituksen johtaminen on tärkeä kokonaisuuden kannalta. Tiedon ja osaamisen johtaminen voidaan nähdä osana uutta, laajennettua suorituksen johtamisjärjestelmää. Hyvät suoritukset johtavat yleensä hyviin tuloksiin. Tulosta voidaan tarkastella operatiivisella ja liiketoiminnan tasolla. Hitsausliitoksen tasoa voidaan samoin tarkastella molemmilla tasoilla. Operatiivinen tulos voi olla hyvä, mutta liiketoiminnallisesti hitsaus ei ole kannattavaa. Tässä tapauksessa poikkeuksen tekee kuitenkin se, että huonon hitsausliitoksen tekeminen ei ole yhtään halvempaa kuin hyvän liitoksen. Kysymyksessä on tällöin osaamisvaje, eli hyvän liitoksen tekemiseen on kulunut kohtuuttomasti aikaa tai hitsattavan tuotteen hinnoittelu on virheellinen (Sydänmaalakka 2004, 234-235.)

2.5 Osaamisen johtaminen tulevaisuudessa ja muutoksissa

Osaamisen inhimillisyys ja kytkentä ihmiseen tekee osaamisesta ainutlaatuista. Kun inhimillinen osaaminen kytketään vielä organisaation rakenteisiin ja prosesseihin, voidaan todeta, että organisaatioilla ei tule koskaan olemaan täysin identtistä osaamista. Tämän vuoksi osaamisen voidaan ajatella olevan kilpailuedun myös tulevaisuudessa. Osaamisen suunnittelun ja kehittämisen avulla voidaan ennakoida tulevaisuutta ja osaamisen jatkuva uudistaminen on tärkeää, koska sen avulla vahvistetaan henkilöstön motivaatiota ja sitoutumista työyhteisöön. Ennakoinnilla on keskeinen merkitys myös muutosten hallinnassa. Mikäli muutokset pystytään ennakoimaan ajoissa, pystytään muutokset ennakoimaan myös tulevaisuuden osaamisessa (Savolainen 2004, 9, 40-41.)

Näkemykseni mukaan viimeisten 30 vuoden aikana on ollut käytännön lukuisia muutoksia, jotka ovat edellyttäneet hitsaajilta uuden oppimista. Pätevöintijärjestelmän kehittyminen on yksi merkittävimpiä muutoksia. Toinen suuri muutos on ollut puikkohitsausprosessin suhteellisen osuuden voimakas väheneminen ja siirtyminen prosesseihin, joissa hitsauslisäaineen syöttäminen hitsaustapahtumaan

on osittain tai kokonaan mekanisoitu. Kolmas merkittävä muutos on ollut kehittyneiden teräsmateriaalien kaupallinen käyttö, joka on edellyttänyt hitsauksen toteutuksen suhteen uudenlaista toimintatapaa hitsausohjeineen ja lämmöntuontirajoituksineen. Nämä muutokset ovat aiheuttaneet hitsaajien osaamisen kehittämisen sisäistämisvaiheen ja poisoppimisen. Sisäistämisvaiheessa organisaatiossa luotu uusi tieto siirtyy käytännön toiminnan tasolle. Toimijat muuttavat omaa käyttäytymistään ja toimintaansa uuden tiedon varassa, joka muodostuu yhdistämisvaiheessa jalostetusta, näkyväksi muotoillusta tiedosta. Dokumentoitu tieto muodostaa usein orientaatioperustan uuden oppimiselle, joka merkitsee aiempien skeemojen uudistamista tai jopa niistä luopumista. Jotta uusi tieto johtaisi oppimiseen, se edellyttää oppijalta vastaanottavaa psyykkistä tilaa, johon liittyy ymmärrys, hyväksyminen, kiinnostuminen, tahto ja ponnistelu (Viitala 2002, 71.)

Merkittäviä muutoksia ei ole aina johdettu kaikissa yrityksissä asianmukaisella tavalla, jolloin esimerkiksi hitsausvirheiden esiintymistiheyden kasvu ja korjaavien toimenpiteiden lisääntymisen myötä hitsausprosessin muutokseen ei ole aina liittynyt ymmärrystä, eikä hyväksymistä. Lujien terästen käytön myötä tulleet lämmöntuontirajoitukset johtivat mm. monipalkohitsauksen lisääntymiseen. Tämä muutos lisää myös riskiä hitsausvirheiden muodostumiseen. Muutosta perustellessa on edellytetty koulutusohjelmaa, jossa materiaalitekniikalla, hitsausmetallurgialla ja materiaalien käyttäytymisenä hitsausliitoksessa on ollut merkittävä vaikutus uuden suoritustekniikan hyväksymisessä ja vanhan poisoppimisessa.

Perinteisessä asiantuntijakeskeisessä kehittämisessä johtajat ja kehitysinsinöörit suunnittelevat ja muu henkilöstö koettaa parhaansa mukaan omaksua uusia toimintatapoja. Koko organisaatiota koskevalla osallistuvammalla kehittämisellä ja aikaisemmin tekstissä esiintyvillä ”epävirallisten” toimijayhteisöjen voimavarojen hyväksikäyttö ja virallistaminen toisi moniammatillista näkemystä myös hitsaustoimintojen kehittämiseen. Osallistuvalla kehittämisellä voidaan edistää sitoutumista uusiin toimintatapoihin (Lanning, Roiha & Salminen 1999, 170, 174.)

Hitsausohjeita ja muita määräyksiä on helpompi noudattaa, jos on ollut itse mukana hitsausohjeen hyväksymisprosessissa esimerkiksi menetelmäkokeiden hitsaajana tai sen testauksen osatoteuttajana. Omaan kokemukseeni perustuen yhteen

menetelmäkokeeseen osallistuminen auttaa koko hitsausohjeen hyväksyttämisen menettelyn ymmärtämiseen ja sitouttaa noudattamaan myös muiden hitsaamien menetelmäkokeiden perusteella laadittuja hitsausohjeita. Yksilöillä on organisaatiossa kyky tuottaa uutta tietoa ja luoda jopa tiedon jakamista edistävä työyhteisö. Tällaisella menettelytavalla jokaisesta organisaatiosta kasvaa oppiva organisaatio (Savolainen 2004, 40.)

Avoin oppiva organisaatio on työyhteisö, joka on aktiivisessa vuorovaikutuksessa ulkoisten ympäristöjensä kanssa, reagoi ketterästi ja joustavasti uuteen informaatioon sekä muutoksiin. Tällainen organisaatio kykenee muita paremmin vaikuttamaan muutoksiin ja suunnittelemaan toimintaansa. Oppivan organisaation toiminnassa verkostojen merkitys korostuu. Kilpailijoille ei saa paljastaa strategisia menestystekijöitä, mutta alaa on vietävä eteenpäin yhteistyössä. Pienien hitsausalan yritysten on toimittava verkostoissa, jotta ne pystyvät vastaamaan suuriin tarjouspyyntöihin. Yritykset kilpailevat keskenään, mutta niiden keskeinen menestymisen mahdollisuus on tehdä yhteistyötä (Huuhka 2010, 86.)

Tulevaisuuden ulottuvuus osaamisen johtamisessa ja siihen kuuluvassa hitsaajien pätevöittämisessä, kuten kaikissa muissakin yrityksen toiminnoissa on yhteiskuntavastuun huomioiminen. Yhteiskuntavastuu ei ole erillinen funktio tai toiminto, vaan enemmänkin ajattelutapa, jonka tulisi ulottua organisaation kaikkeen toimintaan. Näkemykseni mukaan organisaation yhteiskuntavastuun lähtökohta on yksilöiden yhteiskuntavastuu (Talvio & Välimaa 2004, 77.)

2.6 Hitsaajan osaaminen ja työhyvinvointi

Oman työn kehittämisessä ei ole kysymys suurista ja mullistavista keksinnöistä, vaan arkisista oivalluksista tai arjen pienistä innovaatioista, jotka helpottavat työn tekemistä tai parantavat työn tuloksia. Tavoitteena ei ole siis vain yrityksen tuloksen parantaminen vaan myös oman elämän ja työn hallinnan tunteen lisääminen. Yksilön hyvinvointi ja työssä jaksaminen saattaisi oleellisesti parantua, mikäli omaan työhön vaikuttamisen mahdollisuuksia voitaisiin ainakin jossain määrin lisätä. Työtyytyväisyys ja jaksaminen ovat nimittäin yhteydessä elämän ja työn hallin-

nan tunteeseen, jolloin näitä lisäämällä voitaisiin lisätä työyhteisön hyvinvointia ja sitä kautta rakentaa paremmin toimivaa työyhteisöä (Moilanen 2001, 33.)

Huippusuorituksiin yltäminen edellyttää hyvää kuntoa. Työelämässä jatkuva huippusuorituksiin yltäminen edellyttää kokonaiskuntoisuutta. Kokonaiskuntoisuus muodostuu viidestä kuntoisuuden osa-alueesta, jotka ovat ammatillinen kunto, fyysinen kunto, psyykkinen kunto, sosiaalinen kunto ja henkinen kunto. Kun kuntoikäyrämme on korkealla kaikkien näiden osa-alueiden kohdalla, silloin olemme tehokkaita ja voimme hyvin. Itsensä johtaminen koostuu varsin konkreettisista asioista. Ammatillinen kunto tarkoittaa, että minulla on selkeät tavoitteet työssäni, riittävä osaaminen, saan palautetta työstäni ja kehitän itseäni jatkuvasti. Hitsaus työ antaa erinomaiset mahdollisuudet tavoitteelliseen toimintaan, jossa kaikkia kuntoisuuden osa-alueita voidaan koetella. (Sydänmaalakka 2004, 238.)

2.7 Viitekehyksen tiivistelmä



Kuva 8. Tutkimuksen viitekehyksen tiivistelmä (Matti Peltola 2011).

3 HITS AUS JA HITSATTAVUUS

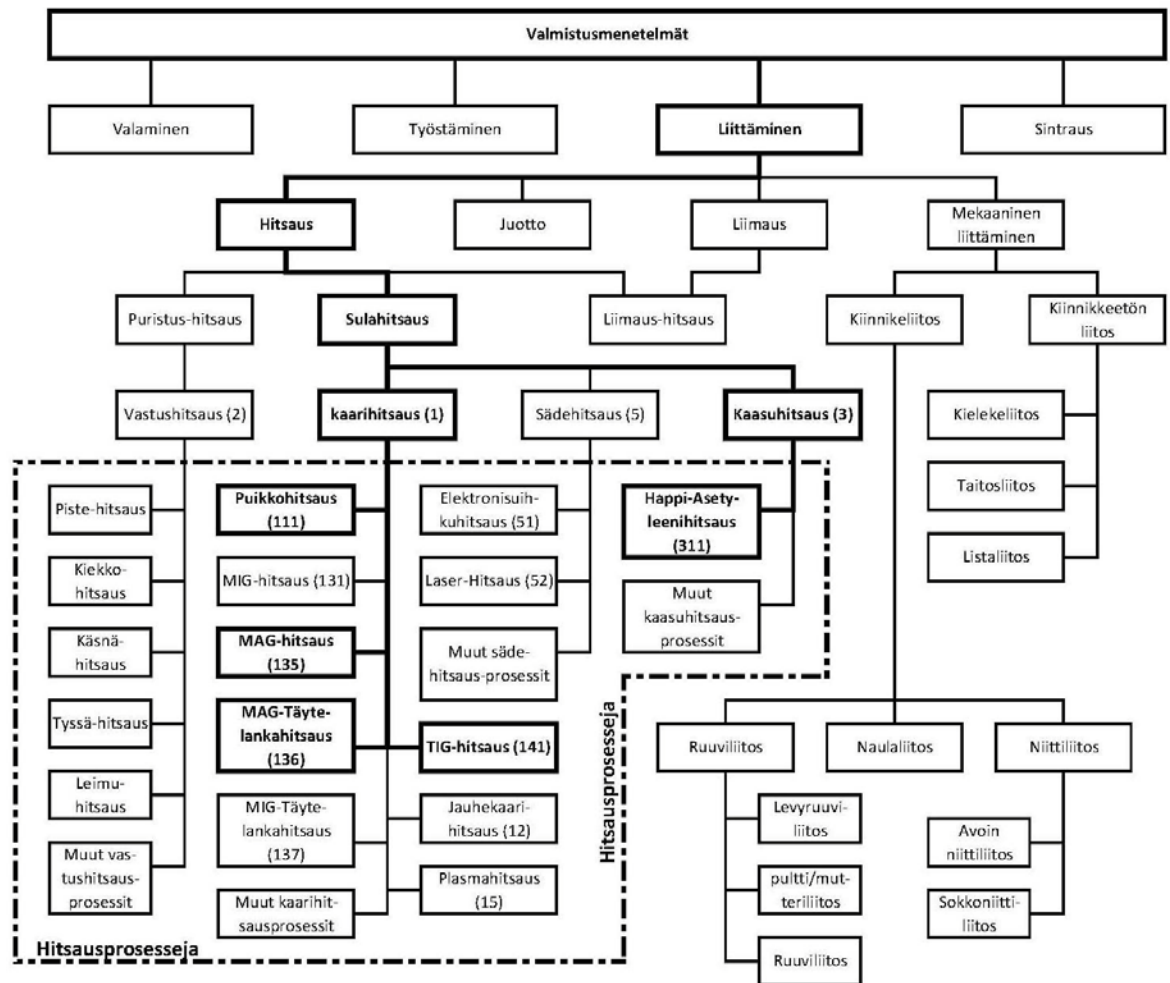
3.1 Hitsaus

Hitsauksella tarkoitetaan osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai mekaanista puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden. Yhteyden muodostamisessa voidaan käyttää materiaalikoostumukseltaan osien kaltaisia tai sitä lähellä olevaa lisäainetta. Lämmönlähteenä hitsauksessa käytetään yleensä hitsausvirtalähteen tuottamaa valokaarta, sädettä tai avointa kaasuliekkiä. Lämmön muodostamistavasta riippuen prosessista käytetään nimitystä kaarihitsaus, sädehitsaus tai kaasuhitsaus. Tämä tutkimus ei koske sädehitsausprosesseja, eikä prosesseja, joissa käytetään hyväksi mekaanista puristusta.

Hitsausliitoksen tiiveys, lujuus ja muu kestävyys edellyttää hitsisulan suojaamista. Hitsisulaa on suojattava hitsaustapahtumaa ympäröivän atmosfäärin vaikutukselta. Suojaus tapahtuu suojakaasun, lisäaineeseen seostetun tai erikseen pulverina hitsaustapahtumaan tuotetun kuona-aineen tahi hitsausliekin aiheuttaman suoja-vaipan avulla.

3.2 Hitsaus valmistusmenetelmänä

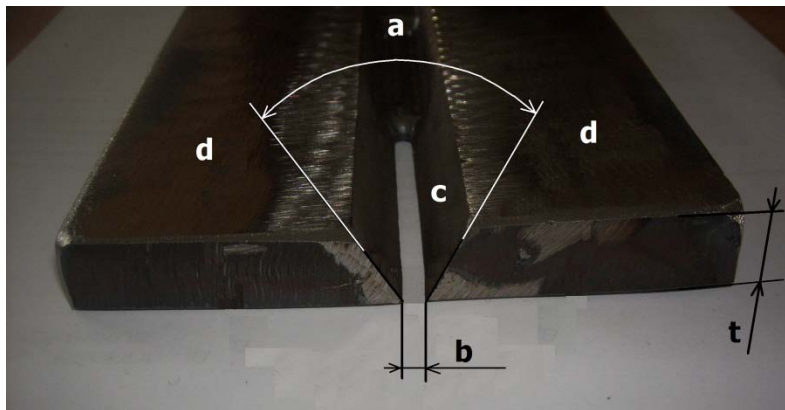
Valmistusmenetelmät jakaantuvat useisiin eli menetelmiin, joista materiaalien liittäminen toisiinsa on yksi menetelmä. Hitsaus edustaa yhtä liittämismenetelmää, joka puolestaan jakaantuu edelleen sulahitsaukseen ja puristushitsaukseen.



Kuva 9. Valmistusprosessit jakaantuvat useaan eri menetelmään ja edelleen prosesseihin. Kuvassa tummemmalla prosessit, joita tämä tutkimus koskee (Muutettuna: Lukkari 2002, 15.)

3.3 Hitsausliitos

Hitsausliitoksen terminologiaa on esitetty hitsaussanastossa SFS-EN 3052. Oheisissa teksteissä ja kuvassa 10 on esitetty keskeisimpiä hitsausliitokseen liittyviä termejä, joita tässä tutkimuksessa käsitellään.



a = railokulma

b = ilmarako

c = railopinta

d = koepala

e = pohjapalkko

f = välipalot

g = pintapalkko

t = aineenvahvuus



Kuva 10. Hitsausliitoksen terminologiaa (Peltola 2011).

3.4 Hitsauksen laatu

Laadunhallintajärjestelmästandardi SFS-EN ISO 9001 (s. 30) määritelmän mukaan organisaation tulee kelpuuttaa kaikki sellaiset tuotannon toteuttamiseen liittyvät prosessit, joiden tuloksia ei voi myöhemmällä seurannalla todentaa. Hitsauksen lämmöntuonnissa tapahtuu materiaalin mikrorakenteessa muutoksia, jotka vaikuttavat rakenteeseen niin, että siitä mahdollisesti aiheutuvat vauriot ilmenevät vasta käyttöolosuhteiden aiheuttamissa kuormituksissa. Tällaiset prosessit on kel-

puutettava standardien edellyttämien hyväksymiskriteerien mukaisesti ja laadittava menettelyohjeet prosessin suorittamiseksi. Hitsausohjeen laatiminen luo perustan sille, että hitsausliitos täyttää sille asetetut vaatimukset, mutta ei sinällään vielä takaa virheettömyyttä. Hitsausvirheet voidaan tutkia valmiista tuotteesta ainetta rikkomattomilla tarkastusprosesseilla. Yleiset hitsausohjeet metallisille materiaaleille määritellään standardin SFS-EN ISO 15607 mukaan, kaarihitsaukselle SFS-EN ISO 15609-1 ja kaasuhitsaukselle SFS-EN ISO 15609-2 mukaan.

Metallin sulahitsaukseen tarkoituksenmukaisen laatuvaatimuksen voi määritellä standardin SFS-EN ISO 3834-1 mukaan. Laatuvaatimukset voi valita kattaviksi, vakio- tai peruslaatuvaatimuksiksi. Hitsaajan pätevyyskokeen suoritukseen, kokeen valvontaan tai tarkastukseen laatuvaatimustaso ei vaikuta, koska kaikissa laatuvaatimustasoissa edellytetään hitsaajien ja hitsausoperaattoreiden pätevöintiä soveltuvalle alueelle.

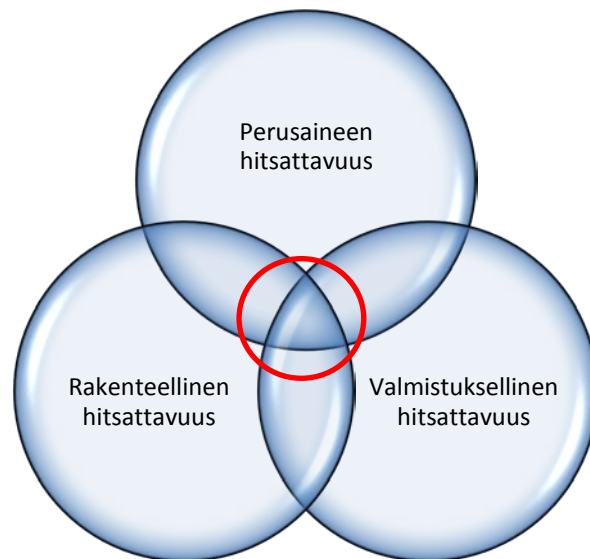
Pätevyyskokeita valvovan organisaation on käytännössä laadittava toimintaohjeet kattavien laatuvaatimusten mukaisesti. Varsinkin EWF:n mukaisten IW-hitsaajien pätevyyskokeiden suorittaminen edellyttää hitsauskoordinaattorin nimeämistä, tarkastushenkilöstön pätevöintiä sekä hitsauslaitteiden dokumentoituja huoltoja.

3.5 Hitsattavuuskäsite

Tarkastelen tutkimuksen viitekehyksessä hitsattavuutta kahden tutkimuksessa olleen keskeisimmän perusaineen osalta, koska hitsattavuus ja muovattavuus ovat tärkeimpiä teräsrakenteen konepajavalmistuksen onnistumiseen ja taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Pätevyyskokeen hitsausohjeen tulee huomioida materiaalin hitsattavuus ja siihen sisältyvät erityistoimet, kuten esimerkiksi esilämmitystarve (Vähäkainu 1998, 15.)

Suomessa käytetään yleisesti hitsattavuuden käsitteenä DIN-määritelmää, joka jakaa hitsattavuuden kolmeen pääluokkaan perusaineen, rakenteelliseen ja valmistukselliseen hitsattavuuteen (DIN 8528). Onnistuneen hitsaustyön edellytyksenä on aina kaikkien kolmen pääluokan hitsattavuus. Hitsaajan pätevyyskokeessa

hitsattavuuden sisällön ymmärtäminen on oleellista, mutta käytännössä perusaineen hitsattavuus on oleellisinta.



Kuva 11. Hitsaus onnistuu vain kun kaikki hitsattavuuden pääluokkien mukaiset edellytykset ovat olemassa (Peltola 2011).

3.5.1 Perusaineen hitsattavuus

Perusaineen hitsattavuus voidaan todeta silloin hyväksi, kun se säilyttää materiaalin valmistajan ilmoittamat nimellisominaisuutensa liitoksen lämpövyöhykkeen (HAZ) alueella myös hitsausliitoksen suorittamisen ja liitoksen jäähtymisen jälkeen. Materiaalin parempi hitsattavuus antaa enemmän vapauksia valita hitsausprosessi ja –menetelmä. Standardi toteaa hitsattavuuden teräksen materiaaliominaisuudeksi, johon perustuen voidaan kehittää hyväksyttäviä hitsausmenetelmiä (SFS-EN ISO 1090-1, 14.)

Yksi keskeinen teräksen fysikaalisia ominaisuuksia parantava keino on teräksen seostaminen. Pääsääntöisesti seosaineet huonontavat hitsattavuutta. Poikkeuksen muodostavat teräksen perusseosaineet pii (Si) ja Mangaani (Mn). Ferriittisen perusaineen hitsattavuuden yksi keskeinen tekijä on vetyhalkeilukäyttäytymiseen vaikuttava hiiliekvivalentti C_{ekv} (Carbon Equivalent value), joka on laskettavissa

seosainepitoisuuksien mukaan. Ferriittisiä perusaineita tässä tutkimuksessa edustaa perusaineryhmiin (alaryhmät) 1 (1.2, 1.3), ja 5 kuuluvat perusaineet. Perusaineryhmät on määritelty standardissa CEN ISO/TR 15608:fi (liite 6).

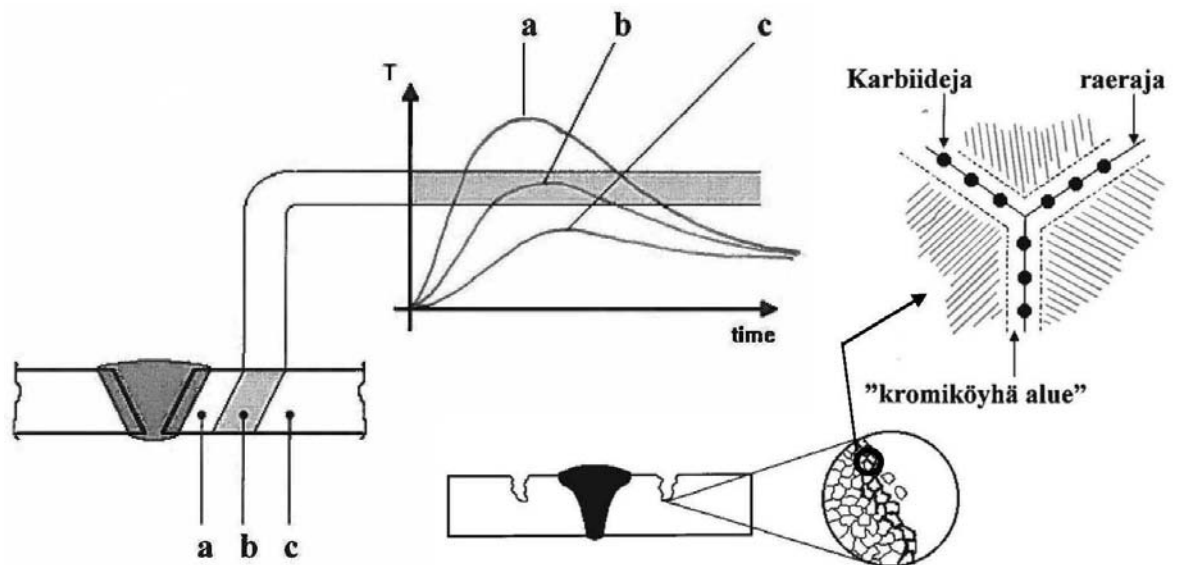
Hiiliekvivalentti (C_{ekv}) $C_{ekv} = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} (\%)$	jossa, C_{ekv} = hiiliekvivalentti C = hiilipitoisuus (%) Mn = mangaanipitoisuus (%) Mo = molybdeenipitoisuus Cr = kromipitoisuus (%) Cu = kuparipitoisuus (%) Ni = nikkelipitoisuus (%)
---	---

Kaava 1. Hiiliekvivalentin laskenta (Peltola 2011).

Hiiliekvivalentin ollessa alle 0,40 on hitsattavuus yleensä hyvä. Paksuilla aineenvahvuuksilla, hitsausliitokseen kohdistuvat suuret vetojännitykset tai hitsiaineen korkea vetypitoisuus saattavat aiheuttaa esilämmitystarpeen. Ekvivalentin arvolla 0,40...0,50 esilämmitystä ei tarvita ohuilla aineenvahvuuksilla ja niukkavetyisillä lisäaineilla. Yli 0,5 hiiliekvivalentin arvolla tarvitaan esilämmitys ja niukkavetyiset lisäaineet. Mahdollisesti voidaan tarvita vielä hitsauksen jälkeen suoritettava vedynpoistohehkutus (Hitsausuutiset 2007, 21.)

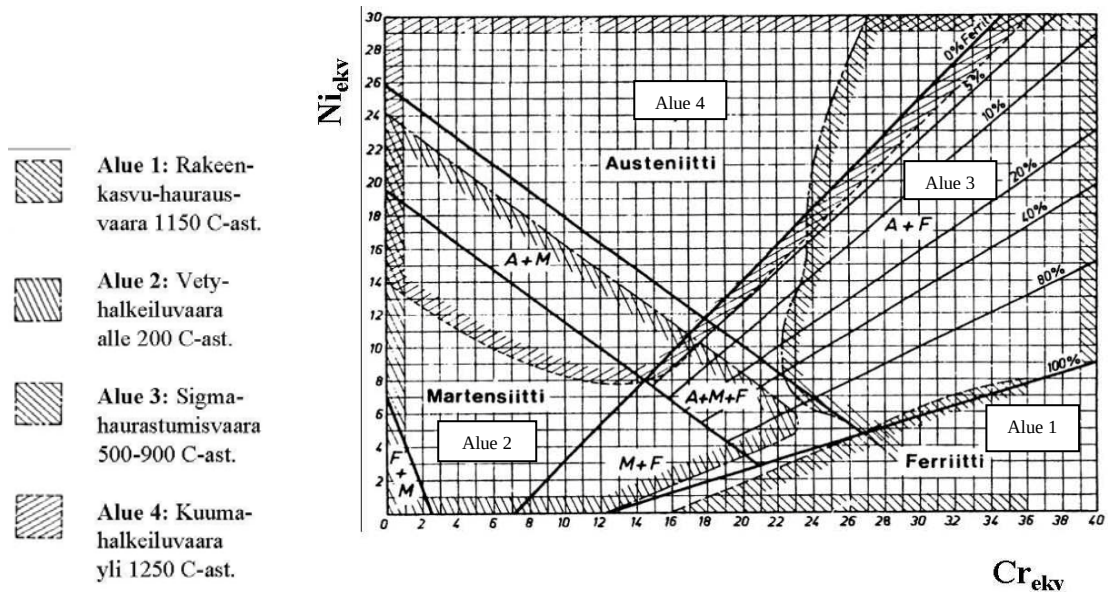
Tämä tutkimus pitää sisällään myös perusaineryhmiin 8 ja 10 (CEN ISO/TR 15608:fi, liite 6) kuuluvia pätevyyskokeita. Ryhmä 8 on austeniittisten terästen materiaaliryhmä ja ryhmä 10 on austeniittis-ferriittisten terästen ryhmä. Austeniittisen ruostumattoman teräksen (ryhmä 8) hitsattavuus on suhteellisen hyvä. Austeniittiseen hitsiaineeseen voi muodostua ferriittiä, jonka vaikutus voi olla hyväksi tai haitaksi. Ferriitti parantaa hitsiaineen lujuutta, mutta huonontaa sitkeyttä. Kuumahallatuutta ferriitti vähentää, mutta saattaa aiheuttaa selektiivistä, eli valikoivaa syöpymistä ja haurastumista korkeissa lämpötiloissa. Perinteisten austeniittis-ferriittisten-teräksen (Duplex-teräs) hitsattavuus on huonompi kuin austeniittisen

teräksen, koska sillä on taipumus rakeenkasvuhaurauteen. Lisäksi niiden hiilipitoisuus on suhteellisen korkea, mikä altistaa teräksen alttiiksi herkistymiselle ja raerajakorroosiolle. Uudempien Duplex-terästen hitsattavuus on parempi. Lämpötila-alueella 500-800 °C kromi ja hiili muodostavat raerajakarbideja, jonka seurauksena tulee "kromiköyhiä" (<12 %) alueita, joissa tapahtuu raerajakorroosiota (Kunnosapito 1999, 30.)



Kuva 12. Ruostumattoman teräksen hitsausliitoksen muutosvyöhykkeellä tapahtuu herkistymistä ja raerajakorroosiota, jos lämpötila on liian pitkään alueella 500-800 °C:tta (Peltola 2011).

Yksi käyttökelpoinen menetelmä ruostumattoman teräksen halkeilualttiuden arvioinnissa on laskea hitsiaineen kromi- ja nikkeliekvivalentti ja sijoittaa ekvivalenttien arvot Schaefflerin-diagrammiin. Bystram-diagrammista voi lukea alueet eri halkeiluherkkyyksille. Bystram-diagrammi on myös käyttökelpoinen väline esimerkiksi seostamattoman ja ruostumattoman teräksen eripariliitosten hitsattavuuden määrittämiseen. Hitsiaine on valittava niin, että sen kromi- ja nikkeliekvivalentti on diagrammin keskellä olevalla alueella, joka ei ole millekään halkeilutypille herkkää aluetta.



Kuvio 3. Bystram-diagrammi

Kromiekvivalentti (Cr_{ekv})

$$Cr_{ekv} = Cr + Mo + 1,5 * Si + 0,5 * Nb \text{ (%)}$$

jossa,

 Cr_{ekv} = nikkeliequivivalentti

Cr = kromipitoisuus (%)

Mo = molybdeenipitoisuus (%)

Si = piipitoisuus (%)

Nb = niobipitoisuus (%)

Kaava 2. Kromiekvivalentin laskenta (Peltola 2011).

Nikkeliekvivalentti (Ni_{ekv})

$$Ni_{ekv} = Ni + 30 * C + 0,5 * Mn \text{ (%)}$$

jossa,

 Ni_{ekv} = nikkeliequivivalentti

Ni = nikkelpitoisuus

C = hiilipitoisuus (%)

Mn = mangaanipitoisuus (%)

Kaava 3. Nikkeliekvivalentin laskenta (Peltola 2011).

3.5.2 Rakenteellinen ja valmistuksellinen hitsattavuus

Standardi (SFS-EN ISO 1090-1, 16) määrittelee teräsrakenteen hitsattavaksi, kun se on valmistettu mm. EN 1090-2 mukaisista hitsattavista tuotteista.

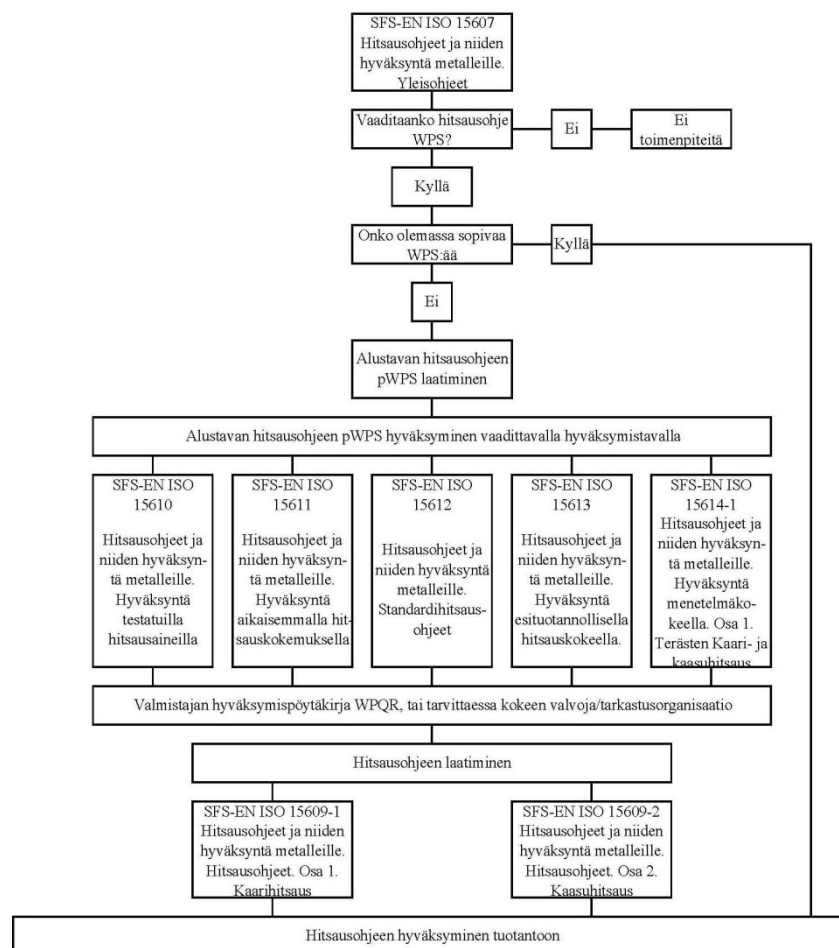
Rakenteellisen ja valmistuksellisen hitsattavuuden välitön merkitys pätevyyskokeessa on perusaineen hitsattavuutta pienempi. Rakenteelliseen hitsattavuuteen vaikuttaa pätevyyskokeen hitsauksessa lähinnä koekappaleen kiinnityksessä ja siinä miten lämmön ja hitsauksen aikaisen jäähtymisen aiheuttamat muodonmuutokset hallitaan.

Pätevyyskokeen suorittamisen yhteydessä valmistuksellinen hitsattavuus on huomioitava hitsaukseen liittyvien esivalmistelutoimenpiteiden yhteydessä. Lähinnä kysymykseen tulee railonvalmistus, mahdollinen esilämmitys, hitsauspalkojen hitsausjärjestys sekä hitsauksen jälkeiset toimenpiteet. Nämä valmistukselliseen hitsattavuuteen liittyvät oleelliset asiat on ilmoitettu hitsausohjeessa.

4 HITSAUSOHJE

4.1 Yleistä

Hitsaajan pätevyyskoe toteutetaan alustavan hitsausohjeen (pWPS) mukaisesti. Pätevyyskokeen valvoja hyväksyy pWPS:n käytettäväksi. Alustava hitsausohje sisältää oleelliset hitsaukseen liittyvien parametrien ala- ja ylärajat. Alustava hitsausohje voidaan hyväksyä varsinaiseksi hitsausohjeeksi (WPS) standardin SFS-EN 15607 mukaisesti.



Kuva 13. Hitsausohjeen hyväksymisprosessi (Peltola 2011).

Laadunhallintajärjestelmästandardi velvoittaa organisaation määrittämään prosessit, niiden keskinäinen järjestys ja vuorovaikutus. Lisäksi edellytetään mm. menetelmiä näiden prosessien mittaukseen ja analysointiin. Standardin mukaan laadittu hitsausohje täyttää kattavasti nämä laadunhallintavaatimukset. Lisäksi sama standardi edellyttää käytettäväksi sellaisia valmistusprosesseja, joiden suoritusta voidaan mitata. Mittausten on oltava sellaisia, jotka varmistavat valmiille tuotteelle vaaditut ominaisuudet (SFS-EN ISO 9001, 14 ja 32.)

4.2 Hitsausohjeen merkitys

Hitsausohjeen merkitys vaativissa hitsaustöissä on korostunut. Keskeisin vaatimus tulee materiaalien kehittymisen myötä. Lujien ja ultralujien materiaalien hitsaukset on toteutettava niin, että niiden nimelliset lujuus- ja sitkeysominaisuudet säilyvät liitoksen lämpövyöhykkeen alueella myös hitsausliitoksen suorittamisen jälkeen.

Tärkeissä ja/tai suureen rasitukseen joutuviissa rakenteissa kuten esimerkiksi painelaitehitsauksissa, meriteknisissä laitteissa ja ydinturvallisuuteen vaikuttavissa rakenteissa hitsausohjeet ovat turvallisuuden kannalta merkittäviä. Olkiluodon ydinvoimalatyömaalla voimaliitoksia on tehty huhtikuusta 2008 alkaen ja STUK on valvonut kaikkien turvallisuuden kannalta merkittävien voimaliitosten hitsaukset järjestelmällisesti eikä ole todennut niiden suunnittelussa ja toteutuksessa puutteita. Töissä on käytetty STUK:in hyväksymiä hitsausohjeita (Säteilyturvakeskus 2008).

4.3 Kaari- ja kaasuhitsauksen hitsausohjeen keskeinen sisältö

4.3.1 Yleistä

Kaarihitsauksen hitsausohjeen tekninen sisältö on määritelty standardissa 15609 osassa 1 ja kaasuhitsauksen tekninen sisältö osassa 2.

4.3.2 Valmistajaa koskevat tiedot

Hitsausohjeen valmistajakohtaiset tiedot sisältävät valmistajan tunnistustiedot, hitsausohjeen tunnistustiedot ja viittauksen mahdollisiin muihin standardeihin ja pöytäkirjoihin. Hitsausohjetta voidaan valmistajasta riippumatta käyttää hyödyksi saman laadun valvonnan alaisuudessa toimivilla muilla valmistajilla. Valmistajaa koskevien tietojen vaatimus on sama kaari- ja kaasuhitsauksessa.

4.3.3 Perusainetta koskevat tiedot

Perusainetta koskevat tiedot pitävät sisällään perusaineen merkinnän, perusaineryhmän tai ryhmien tiedot, raportin CR ISO 15608 mukaisesti ja tiedot viitestandardista. Hitsausohje voi kattaa useampia materiaalityyppejä. Lisäksi on mainittava perusaineen aineen vahvuus ja putkien ulkohalkaisija.

4.3.4 Hitsausmenetelmiä koskevat tiedot

Hitsausohjeessa on mainittava hitsausprosessi, laadittava liitoksesta yksityiskohdainen kuva sekä keskeiset mitat. Lisäksi on mainittava hitsausasento, railomuoto railonvalmistusmenetelmineen sekä mahdolliset puhdistustoimenpiteet ja koekappaleiden kiinnitys, kiinnittimet sekä silloitus.

Hitsauksen suoritustekniikasta on mainittava polttimeen tai lisäaineen kallistuskulma sekä se, koskeeko hitsausohje polttimeen kuljetuksessa poikittaista sivuliikettä tai onko liike suoraviivaista hitsauksen pituussuuntaan nähden.

Hitsausohjeesta on käytävä ilmi hitsattavan liitoksen juuren hitsaustapa, mahdollinen juurituki, käytetyt hitsaus- ja apuaineet.

Keskeinen hitsausohjetta koskeva asia on hitsausparametrit. Hitsauskoetta suoritettaessa kokeen valvojan on varmistettava parametrien pystyvyys hitsausohjeessa mainittujen rajojen alueella. Oleellisimpia perusaineeseen vaikuttavia paramet-

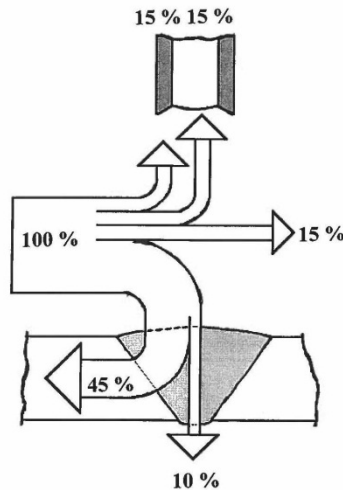
reja ovat hitsausvirta (I [A]), hitsausjännite (U [V]) ja polttimen tai vastaavan kuljetusnopeus (v [m/s]). Näiden parametrien perusteella lasketaan hitsausenergia (E [J/m]). Huomioimalla mukaan kokemuseräisellä hitsaussuosituksissa SFS-EN 1011-1 määritetty hitsausprosessikohtainen terminen hyötysuhde (ζ), saadaan hitsauksen lämmöntuonti (Q [J/m]). Perusaineen valmistaja ilmoittaa taulukoissa tai graafisesti eri materiaaleille maksimilämmöntuontirajan, jonka alapuolella pysyminen varmistaa hitsausliitoksen lämmöntuonivyöhykkeen metallurgisten ominaisuuksien säilymisen materiaalin nimellisten minimiarvojen mukaisena (Vähäkainu 1998, 34).

Painelaitehitsauksissa pysyvien liitosten ominaisuuksien on vastattava liitettävien rakenneaineiden vähimmäisominaisuuksia paitsi, jos muita vastaavia ominaisuusarvoja otetaan suunnittelulaskelmissa erityisesti huomioon (Painelaitedirektiivi 1997, 26.)

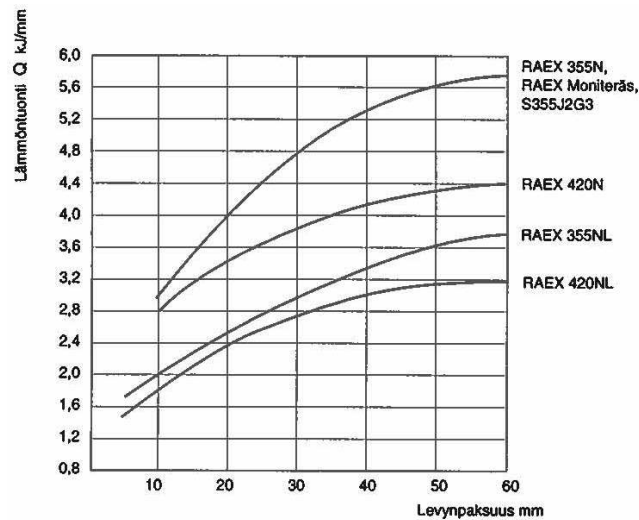
Hitsausohjeen laadinnan yhteydessä on syytä käyttää kertoimia ja/tai mittayksiköitä, joilla saadaan mitattavuus käytäntöön sopivaksi. Sekunnit muutetaan minuuteiksi, metrit millimetreiksi ja joulet kilojouleiksi.

Hitsausenergia (J/m) $E \left[\frac{J}{m} \right] = \frac{U[V] * I[A]}{v \left[\frac{m}{s} \right]},$ seurantaa helpottavilla yksiköillä ja kertoimilla $E = \frac{60 \left[\frac{1}{min} \right] * U[V] * I[A]}{1000 * v \left[\frac{mm}{min} \right]} = \frac{kJ}{mm}$ Lämmöntuonti Q (J/m) $Q \left[\frac{kJ}{mm} \right] = \zeta * E \left[\frac{kJ}{mm} \right]$	jossa, E = hitsausenergia U = kaarijännite I = hitsausvirta v = hitsausnopeus Q = lämmöntuonti ζ = Hitsausprosessikohtainen terminen hyötysuhde (SFS-EN 1011-1): - 111 = 0,8 - 135 = 0,8 - 136 = 0,8 - 141 = 0,6
---	--

Kaava 4. Hitsausenergian ja lämmöntuonnin laskenta (Peltola 2011).



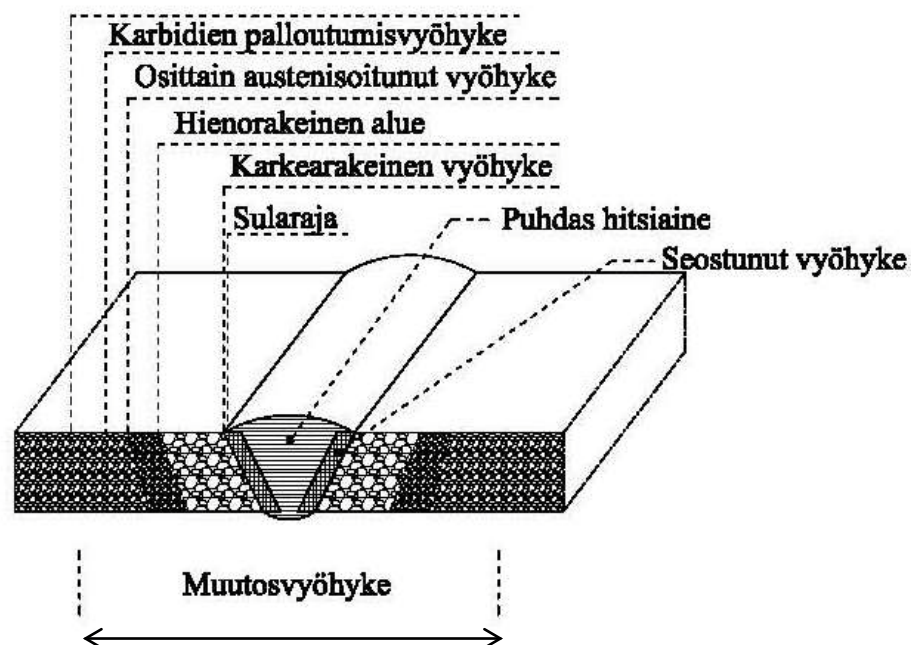
Kuva 14. Terminen hyötysuhde on kokemusperäinen suure, joka määräytyy sen mukaan, paljonko lämpöä oletetaan siirtyvän hitsauksessa perusaineeseen (Peltola 2011).



Kuvio 4. Ruukki Oy:n valmistamien terästen lämmöntuontirajoitukset kauppanimien mukaisesti eri aineenvahvuuksille (Vähäkainu 1998, 34).

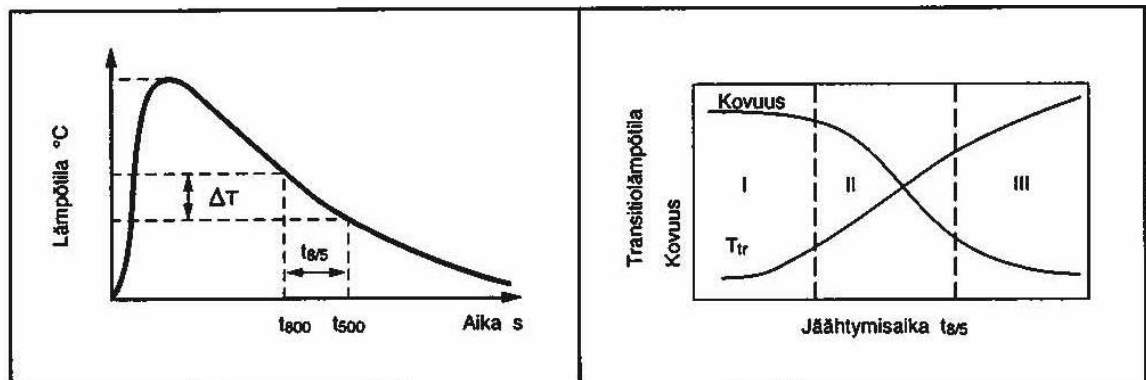
Hitsauksen aikana hitsausliitoksen alueella lämpötila vaihtelee sulasta metalliseoksen lämpötilasta työlämpötilaan. Jäähdytysnopeus on myös vaihteleva. Välittömästi hitsaustapahtuman jälkeen sula metalli jähmettyy ja hitsiaineen lämpötila laskee. Lämmön siirtyessä liitoksesta poispäin, lämpötila kohoaa etäämmällä liitoksesta. Vaihtelua ja lämmönsiirtymisen ennustettavuutta heikentää lisäksi hitsattavan työkappaleen fyysinen koko. Erilaisten lämpökäsittelyjen, eli lämpötilojen ja jäähdytysaikojen perusteella muodostuu mikrorakenteeltaan erilaisia vyöhykkeitä. Iskutilkeusominaisuuksien kannalta kriittisin alue on sularajan vieressä oleva karkearakeinen vyöhyke. Lämpötila tällä alueella on käynyt yli 1100 °C:ssa ja aus-

teniitin raekoko on päässyt kasvamaan ja mikrorakenteesta muodostuu haurasta yläbainiittia. Lisäksi jäähtymisnopeus alueella on nopeampaa, jolloin pääsee muodostumaan myös martensiittia. Hienorakeisella vyöhykkeellä lämpötila on noussut teräksen austeniittialueen alaosaan ja austenoitumista on tapahtunut, mutta raekoko ei ole päässyt kasvamaan. Liitoksen jäähtyessä tälle alueelle muodostuu ferriittinen tai ferriittis-perliittinen hienorakeinen ja pehmeä mikrorakenne, jonka iskutkeusominaisuudet voivat hitsauksen aiheuttaman sopivan lämpökäsittelyn vuoksi olla jopa perusainetta parempi. Osittain austenoituneella vyöhykkeellä austenoituminen on tapahtunut vain siellä, missä austeniitin ydintyminen on ollut helppoa, eli yleensä perliittisillä alueilla, joilla hiilipitoisuus on korkea. Yleensä osittain austenisoituneen vyöhykkeen ominaisuudet eivät ole kriittisiä, mutta liitoksen suuri jäähtymisnopeus voi aiheuttaa hauraita martensiittisiä rakenteita. Karbidien palloutumisvyöhykkeellä hitsausliitoksen ominaisuudet eivät merkittävästi poikkea perusaineen ominaisuuksista. Kyseisellä alueella lämpötila on noussut työlämpötilaa korkeammaksi, mutta varsinaisia mikrorakennemuutoksia ei ole tapahtunut. Karbidien palloutumisvyöhykettä ei aina huomioida edes muutosvyöhykkeeseen kuuluvaksi (Vähäkainu 1998, 18.)



Kuva 15. Hitsauksen lämmön aiheuttamat mikrorakennemuutokset ja vyöhykkeet (Peltola 2011).

Hitsaajan pätevyyskoekappaleelle on tehtävä hitsausohjeenmukaiset lämpökäsittelyt, mikäli niitä edellytetään. Esikuumennuksella vaikutetaan pääasiassa hitsauksen jälkeisen jäähtymisen hidastamiseen. Tosin sillä on vaikutuksia myös hitsaus- ennakoiiviin asioihin, kuten kosteuden poistumiseen liitoksen alueelta. Hitsausliitoksen alueen esilämmittäminen hidastaa lämmön siirtymistä hitsausliitoksen alueelta muualle materiaaliin ja näin liitoksen jäähtyminen hidastuu. Hitaalla jäähtymisellä varmistetaan liitokseen mahdollisimman edullisen mikrorakenteen muodostuminen, jotta liitos täyttäisi sille asetetut lujuus- ja sitkeysvaatimukset, myös vaativimmissa käyttöolosuhteissa. Nopea jäähtyminen aiheuttaa seostamattomissa ja niukkaseosteisissa teräsmateriaaleissa materiaalin karmenemista. Transitiolämpötilan (t_{tr}) suhteen ratkaisevaa on, miten pystytään hidastamaan jäähtymistä lämpötila-alueella 800-500 °C. Transitiolämpötila on lämpötila, jonka alapuolella murtuma etenee lohkomurtumana ja yläpuolella sitkeämurtumana. Transitiolämpötilalla on keskeinen asema silloin, kun hitsattavan tuotteen loppusijoituspaikka on kylmissä olosuhteissa.



Kuvio 5. Jäähtymisajan ($t_{8/5}$) vaikutus transitiolämpötilaan (t_{tr}) sekä materiaalin kovuuteen ja sitkeyteen (Vähäkainu 1998, 22).

Kaasuhitsauksessa lämmöntuonnin valvonta on huomattavasti vaikeampaa. Osaltaan sen vuoksi kaasuhitsauksen käyttö on rajoittunut perinteisempiin teräsmateriaaleihin. Kaasuhitsauksen jälkeen liitoksessa menetettyjä lujuus- ja sitkeysominaisuuksia voidaan palauttaa hitsauksen jälkeisillä lämpökäsittelytoimenpiteillä, kuten rekristallisointi- ja karkennuskuudalla tms.

5 HITSAAJAN PÄTEVYYSKOE

5.1 Pätevyyskokeen merkitys

Ennakkoon suoritettun pätevyyskokeen merkitys hitsattavan tuotteen laadussa koetaan useiden asiakirjojen perusteella merkittäväksi tekijäksi. Laadunhallintajärjestelmän määritelmä pätevyysvaatimuksista on, että organisaation tulee määritellä pätevyys niille henkilöille, jotka suorittavat tuotevaatimusten täyttämiseen vaikuttavia tehtäviä. Lisäksi edellytetään mm. varmistusta siitä, että henkilöstö on tietoinen työtehtävien merkityksestä ja tärkeydestä sekä siitä, miten he vaikuttavat laatuvaatimusten saavuttamiseen (SFS-EN ISO 9001, 22.)

Teräsrakenteita koskevien teknisten vaatimusten standardi määrittelee yksiselitteisesti, että hitsaajat tulee pätevoittää standardin SFS-EN 287-1 mukaisesti. Lisäksi edellytetään pätevyyskokeisiin liittyvien tallenteiden säilyttämistä (SFS-EN 1090-2, 44.)

Metallien sulahitsauksen laatuvaatimusten valintaperusteissa edellytetään kaikilla laatuvaatimustasoilla hitsaajien pätevöintiä (SFS-EN ISO 3834-1, 14).

Painelaitteiden osalta painelaitedirektiivissä (1997, 26) todetaan, että paineenkestoon vaikuttavien osien ja niihin suoraan kiinnitettyjen osien pysyvät liitokset on teetettävä henkilöillä, joilla on asianmukainen pätevyys ja ne on toteutettava pätevoitettyjen menetelmien mukaisesti.

5.2 Pätevyyskokeen toteutus

Hitsaajan pätevyyskoe toteutetaan lähes aina jonkin standardin vaatimusten mukaisesti. Eurooppalaiset standardit on laadittu useimmille hitsattaville materiaaleille, kuten teräkselle, alumiinille, kuparille, nikkelille, titaanille ja zirkoniumille sekä

näiden seoksille. Pätevyyskokeen toteutuksen prosessi on kuvattu liitteessä 7 ja pätevyyskokeen merkintä on kuvattu liitteessä 19.

Vaihtoehtoisesti pätevyyskoe voidaan toteuttaa tuotekohtaisesti tilaajan ja toimittajan välisen sopimuksen mukaisesti. Tällöin koetta vastaavat spesifioidut vaatimukset ja pätevyysalueet on sovittava erikseen.

Tämä tutkimus käsittää vain teräkselle ja sen seoksille hitsattuja pätevyyskokeita perusstandardin, PED:in ja EWF:n mukaisesti, mutta tekstissä voidaan viitata myös muiden materiaalien hitsaukseen. Käytössä oleva standardi on SFS-EN 287-1. Saman standardin mukaista pätevyyskoetta voidaan hitsata eri monitahoisesti, riippuen tarkastuksen ja valvonnan tasosta. Sinällään vaatimustaso suoriutukselle on aina sama ja standardin mukainen, mutta eri tahojen mukaiset kokeet edellyttävät pätevyyskokeen valvojalta erilaisia pätevyyskokeita ja voivat edellyttää valvontaa suorittavan laitoksen laatujärjestelmää sekä tiloihin ja laitteisiin kohdistuvan ulkopuolisen katselmuksen.

Pätevyyskoestandardi SFS-EN 287-1 on laadittu Euroopan komission ja Euroopan vapaakauppaliiton antaman mandaatin perusteella EU:n uuden menettelytavan direktiivin 97/23/EY olennaisten vaatimusten täyttämiseksi.

5.2.1 Pätevyyskoe standardin mukaan

Hitsaajan pätevyyskoestandardi SFS-EN 287-1 terästen ja sen seosten sulahitsaukselle on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi 17.5.2004. Mainittua standardia on edeltänyt, saman numeroinen standardi vuodelta 1997. Hitsaajan pätevyyskoestandardi on yleisesti hyväksytty yhdenmukaistetuksi asiakirjaksi, hitsaajan osaamisen osoittamiseksi. Standardissa annetaan tekniset ohjeet johdonmukaiselle hitsaajan pätevyyskokeelle, joka mahdollistaa pätevyyskokeiden yhtenäisen hyväksymisen tuotemuodosta, paikasta ja kokeen valvojan/tarkastusorganisaatiosta riippumatta (SFS-EN 287-1, 1 ja 8.)

5.2.2 Pätevyyskoe PED:in mukaan

Eurooppalaisen paineastiadirektiivin mukaiset pätevyyskokeet hitsataan myös pätevyyskoestandardin SFS-EN 287-1 mukaisesti, mutta hyväksytyn pätevöintilaitoksen valvonnassa ja ohjeiden mukaisesti. Pätevöintilaitoksilla tarkoitetaan organisaatioita, jotka on päteviksi todettu ja joilla on oikeus suorittaa mainittuja tehtäviä. Pätevöintilaitoksen status edellyttää mittatekniikan keskuksen auditointia vaatimustenmukaisuuden täyttämisestä. Hyväksytyn auditoinnin jälkeen lupaa voi hakea Työ- ja elinkeinoministeriöstä (Painelaitelaki 1999, §2; 5. mom.)

Pätevöintilaitos voi tiloihin, laitteisiin ja henkilöstön osaamiseen ja sidonnaisuuksiin liittyvän katselmuksen jälkeen hyväksyä PED:n mukaisten kokeiden valvojaksi alihankkijoita. Pätevöintilaitos tulkitaan ns. kolmanneksi osapuoleksi, jonka taloudellinen tai muu riippuvuus ei ole sidoksissa valmistajaan tai tilaajaan. Hyväksymistä varten mainittu kolmas osapuoli tekee tai teettää asianmukaisten yhdenmukaistettujen standardien mukaisia tutkimuksia ja koestuksia tai niitä vastaavia tutkimuksia ja koestuksia. Tällaiseksi koestukseksi tai tutkimukseksi tulkitaan paineastioihin pysyviä liitoksia tekevät hitsaajat, joiden osaaminen on testattava standardin mukaisesti määräajoin. PED määrittelee painelaitteita hitsaavien hitsaajien pätevyyden osoittamiseksi yleisiä pätevyyskoestandardeja. PED:in mukaisesti vain valvonta, henkilökunnan osaaminen yms. ovat erillisen tarkastelun alaisena. ”Painelaitteiden paineenkestoon vaikuttavien osien ja niihin suoraan kiinnittyvien osien pysyvät liitokset on teetettävä henkilöillä, joilla on asianmukainen pätevyys ja ne on toteutettava pätevoitettyjen menetelmien mukaisesti” (Painelaitedirektiivi 1997, 26.)

5.2.3 Pätevyyskoe EWF:n mukaisesti

EWF:n vaatimusten mukaiset pätevyyskokeet (teräsmateriaaleille) hitsataan myös standardin SFS-EN 287-1 mukaisesti. Näitä pätevyyskokeita suoritettaessa edellytetään, että kokeen valvova organisaation osaaminen, tilat ja laitteet täyttävät EWF:n vaatimukset. Vaatimukset on esitetty EWF:n tutkintojohtosäännössä B007.

Lisäksi on noudatettava muita EWF:n koulutuksen järjestäjälle tarkoittamia asiakirjoja.

EWF:n mukainen toiminta edellyttää, että koneille, tiloille ja laitteille tehdään ulkopuolinen katselmus määräajoin. EWF:n vaatimusten täyttäminen edellyttää myös hitsauskokeen valvojilta hitsausneuvojan (IWS), hitsausteknikon (IWT) tai hitsausinsinöörin (IWE) pätevyyttä. EWF:n mukaiseen pätevyyskokeeseen osallistujan on osallistuttava vaadittava määrä hitsaustekniikan teoreettiseen opetukseen ja osoitettava hitsaustekniikan teoreettinen osaaminen tentillä. Standardin mukaisesti suoritetuissa kokeissa teoreettisen osaamisen testaamista pidetään suotavana, mutta käytännössä osaamista ei juurikaan testata. Oriveden huoltoaseman rakennustyömaan onnettomuuden tutkintaraportissa todetaan teoreettisesta kokeesta, että Hitsaajan tulee osoittaa pätevyytensä voimassa olevalla hitsaajan pätevyystodistuksella, joka perustuu laaditun hitsausohjeen mukaiseen hitsauskokeeseen. Tietopuolisen kokeen suorittaminen olisi hyödyllistä, mutta se ei ole jostain syystä standardien mukaan pakollista (Onnettomuustutkintakeskus 2004, 22.)

EWF:n vaatimusten mukaisten pätevyyskokeiden, muista selvästi erottuva, vaatimus on se, että esimerkiksi EWF:n mukaisen putkihitsauskokeen suorittaakseen on suoritettava myös kokeen pätevyysalueeseen kuuluvat piena- ja päittäishitsauskokeet levy- ja putkiliitoksille. Tutkintojohtosääntö määrittelee myös opettajan osaamisen. Pääopettajalla tulee olla IWS-, IWT- tai IWE-tutkinto ja käytännön hitsausopetusta antavalla henkilöllä tulee olla soveltuvat hitsaajan pätevyyskokeet voimassa. Hitsauskoordinaattorin pätevyydeksi määritellään uusille koulutuksen järjestäjille IWE-pätevyys. Käytännössä EWF:n tutkintovaatimusten täyttäminen edellyttää hitsaustoimintojen laatu järjestelmää, mikä palvelee myös muuta koulutusta.

5.3 Pätevyyskoestandardin SFS-EN 287-1 mukaiset oleelliset muuttujat

Hitsaajien pätevyys perustuu oleellisiin muuttujiin ja oleellista muuttujaa vastaavaan pätevyysalueeseen. Oleelliset muuttujat ja pätevyysalueet on valittu niin, että pätevyyskokeen hitsaaminen tietyillä muuttujan arvoilla, katsotaan pätevyyden

ulottuvan sitä vastaavalle pätevyysalueelle. Mikäli hitsaaja joutuu hitsaamaan liitoksia, jotka ovat pätevyysalueen ulkopuolella, edellytetään uutta pätevyyskoetta.

5.3.1 Hitsausprosessi

Tässä tutkimuksessa käsitellään hitsausprosesseja: puikkohitsaus (111), MAG-hitsaus (135), MAG-täytelankahitsaus (136), TIG-hitsaus (141) ja Happi-asetyleenihitsaus (311) sekä yhdistelmäprosesseja MAG-/MAG-täytelanka (135/136) ja TIG-/Puikkohitsaus (141/111). Yhdistelmäprosessi jauhetäytelanka/rutiilitäytelankahitsaus (136/138) on otettu käyttöön tutkimusaineiston keräämisen aikana, joten se on käsitelty täytelankahitsauksen (136) yhteydessä. Prosessien nimikkeet ja numerotunnukset on esitetty standardissa SFS-EN ISO 4063.

5.3.2 Tuotemuoto

Pätevyyskokeen tuotemuodolla tarkoitetaan joko putkelle (T) tai levyille (P) suoritettua pätevyyskoetta. Tämä tutkimus sisältää molemmilla tuotemuodoilla hitsattuja pätevyyskokeita.



Kuva 16. Levy- ja putkiliitos (Peltola 2011)

5.3.3 Hitsilaji

Hitsilajilla tarkoitetaan liitosmuotoa, joka voi olla päittäisliitos (BW) tai pienaliitos (FW). Tämä tutkimus sisältää vain päittäisliitosten pätevyyskokeita. Standardi SFS 3052 määrittelee päittäisliitokseksi hitsausliitoksen, jonka osien pinnat ovat hitsin alueella samassa tasossa tai toisiinsa nähden 135° ... 180° kulmassa. Pienaliitos nimike on muodostunut yleiseen käyttöön ja se on sellaisenaan ymmärrettävä, mutta jotkut standardit käyttävät nimitystä T-liitos (SFS 3052 1995, 5 ja 7.)



Kuva 17. Päittäis- ja pienaliitos (Peltola 2011).

5.3.4 Perusaineryhmä

Tämä tutkimus käsittää ferriittisten perusaineryhmille 1, 1.2, 1.3 ja 5 sekä austeniittiselle ruostumattomalle teräkselle perusaineryhmä 8 ja austeniittis-ferriittiselle teräkselle suoritettuja pätevyyskokeita perusaineryhmä 10. Tutkimuksessa materiaaliryhmät on yhdistetty siten, että A1 ryhmään kuuluu perusaineet 1, 1.2 ja 1.3 (seostamattomat ja niukkaseosteiset teräkset). Ryhmään A2 kuuluu perusaineryhmä 5 (kuumalujat teräkset) ja ryhmään A3 runsasseosteiset 8 ja 10 ryhmän teräkset. Pätevyyskokeessa käytetyn perusaineen tulee olla ns. tunnistettua materiaalia, eli sillä on oltava sulatusnumero ja kokeen valvonnan suorittavalla organisaatiolla on oltava materiaalin materiaalitodistus, jonka perusteella materiaaliryhmä on määriteltävissä. Materiaalia leikattaessa sulatusnumeron yhteys on varmistettava jokaiseen kappaleeseen. Liitteessä 8 on esimerkki materiaalitodistuksesta.



Kuva 18. Hitsaajan pätevyyskokeet hitsataan ns. tunnistetulle materiaalille. Koepalaan "pysyvästi" merkityn tunnuksen perusteella on löydettävissä teräksen valmistajan ilmoittama sulatusnumero ja materiaalidistus (Peltola 2011).

5.3.5 Koekappaleen mitat

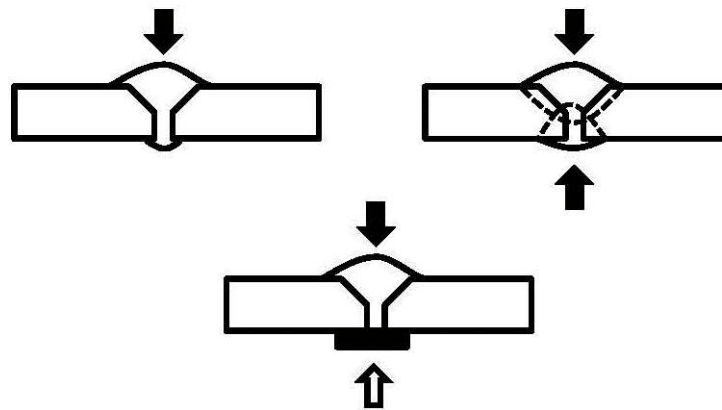
Koekappaleen mitoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä levyhitsauskokeessa koemateriaalin aineenvahvuutta. Putkihitsauskokeessa koekappaleiden mitoilla tarkoitetaan putken ulkohalkaisijaa ja putken seinämän vahvuutta. Hitsausliitoksen koekappaleiden mitat on myös määritelty standardissa, mutta ne eivät ole oleellisia muuttujia, vaan vähimmäiskokeita, joilla varmistetaan riittävä lämmön siirtyminen hitsausliitoksesta sitä ympäröivään materiaaliin.

5.3.6 Koekappaleen hitsausasento

Tutkittavana olevissa pätevyyskokeissa oli käytetty hitsausasentoja PA (jalkoasento), PC (vaaka-asento), PE (lakiasento) ja PF (pystyasento, jossa hitsaus alhaalta ylöspäin) levyliitoksille. Putkiliitokset on hitsattu pääasiassa asennoissa H-L045, jossa putki on 45°:een kulmassa. Lisäksi on yksittäisiä pätevyyskokeita asennoissa PC ja PF. Pätevyyskokeiden hitsausasennot on esitetty liitteessä 9.

5.3.7 Hitsin yksityiskohdat

Hitsin yksityiskohdilla tarkoitetaan pätevyyskoestandardin mukaan suorituksen yksityiskohtia, jotka määritellään läpihitsauksena yhdeltä puolelta (ss nb), hitsauksena kahdelta puolelta (bs nb), jolloin välissä suoritetaan hitsausliitoksen juuren puolen avaus. Yksi vaihtoehto on suorittaa hitsausliitos juuritukea vasten (bs mb), juurituen irrotus ja hitsaus juuren puolelta (SFS-EN 287-1, 14.)



Kuva 19. Hitsin yksityiskohtia. Ylhäällä vasemmalla hitsaus yhdeltä puolelta. Ylhäällä oikealla hitsaus molemmilta puolilta. Alhaalla hitsaus juuritukea vasten (Pelto 2011.)

5.4 Pätevyyskokeen valvonta

Pätevyyskokeen valvojan keskeinen tehtävä on vastata kokeen standardinmukaisuudesta. Pätevyyskokeen valvojan on oltava läsnä koko kokeen hitsauksen ajan ja hänen on varmistuttava standardinmukaisuuden lisäksi siitä, että annettua hitsausohjetta noudatetaan. pätevyyskoeprosessi on kuvattu liitteessä 7.

Pätevyyskokeen valvojalta edellytetään riittävää osaamista, jonka osoittaminen on helpointa tarkastuslaitoksen myöntämällä sertifikaatilla (liite 10). Lisäksi kansainvälisten koulutusohjelmien mukaisiin IWE-, IWT- ja IWS-tutkintoihin (liite 11) ja niitä edeltäneisiin EWE, EWT ja EWS-tutkintoihin (liite 12) sisältyy hitsaajan pätevyyskokeen valvojan tentti. Pätevyyskokeen valvojaksi edellytetään usein ns. kol-

mas osapuoli, joka ei ole taloudellisesti, eikä muutenkaan ole sidoksissa hitsattavan tuotteen tilaajaan, eikä valmistajaan.

Pätevyyskokeen valvojan tehtävänä kokeen aikana on tehdä tosiaikaista arviointia pätevyyskokeen suorittamisen edellytyksistä. Mikäli todetaan, että hitsaajan taidot eivät riitä kokeen suorittamiseen tai hitsausolosuhteet eivät ole asianmukaiset, kokeen valvojan tehtävä on keskeyttää pätevyyskoe. Lisäksi liiallinen ja järjestelmällinen hitsin korjaaminen oikeuttaa kokeen keskeyttämiseen.



Kuva 20. Nykyaikaisissa hitsausvirtalähteissä on hitsauksen aikaisten parametrien valvontaa helpottavat mittalaitteet (Peltola 2011).

5.5 Pätevyyskokeen tarkastus ja testaus

5.5.1 Yleistä

Pätevyyskokeen tarkastuksella ja testaustoimenpiteillä varmennetaan standardien määrittelemä vaatimustaso. Tarkastajan on osattava arvioida hitsausliitoksissa tai niistä irrotetuissa koepaloissa esiintyvät virheet. Tarkastajalta edellytetään tarkastusmenetelmien tuntemisen lisäksi tietoa eri hitsausprosesseista ja niille tyypillisistä virheistä. Pätevyyskokeiden tarkastusprosessi vaihtelee materiaalin ja hitsausprosessin mukaan. Lisäksi tarkastusmenetelmissä on vaihtoehtoja, jolloin yksi koe voidaan korvata toisella tai useammalla lisäkokeella. Levyjen ja putkien piena- ja

päittäisliitoksille vaadittavien tarkastusten prosessit on esitetty liitteessä 18 (Lukka-ri 2001, 3.)

5.5.2 Silmämääräinen tarkastus

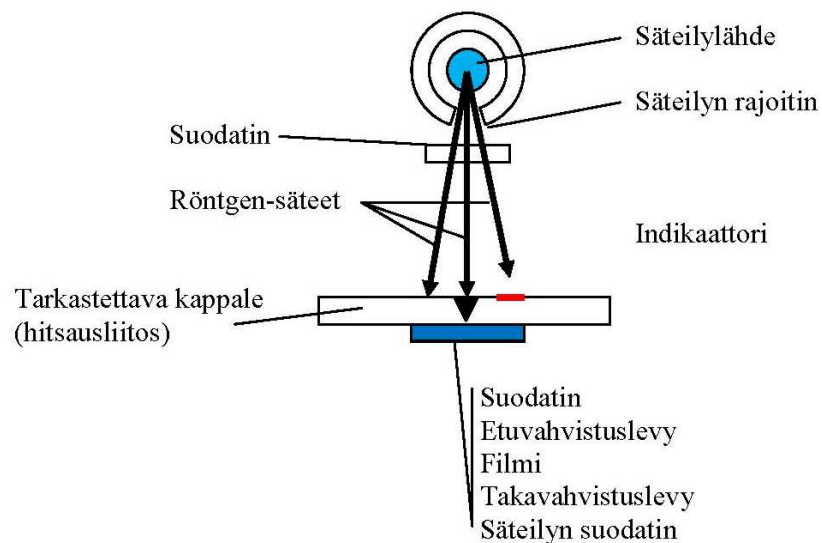
Silmämääräinen tarkastus on ainetta rikkomaton tarkastusmenetelmä. Silmämääräistä tarkastusta käytetään myös ainetta rikkovissa tarkastuksissa mm. murtokokeen murtopinnan ja taivutussauvojen tarkastuksessa. Silmämääräinen tarkastus tehdään kaikille pätevyyskokeille. Se on ylivoimaisesti tärkein ja merkittävin tarkastusprosessi. Silmämääräisessä tarkastuksessa voi kehittää myös hitsaajan itsearviointitaitoja, sillä jokaisen hitsaajan tulee tehdä hitsaamalleen liitokselle tosiaikainen silmämääräinen tarkastus. Silmämääräinen tarkastus edellyttää tekijältään hyvää näkökykyä ja sen testaamista määrääjoin (liite 13). Pätevyyskoestandardi ei sitä määrittele, mutta mikäli mahdollista pätevyyskokeen silmämääräinen tarkastus tulisi tehdä hitsaajan läsnä ollessa, koska silmämääräinen tarkastus tuotannollisissa hitsauksissa liittyy oleellisesti hitsaajan työhön. Samalla voidaan verrata itsearvioinnin ja tarkastajan, joka silmämääräisessä tarkastuksessa on monissa tapauksissa samalla kokeen valvoja, arvioinnin yhdenmukaisuutta. Varsinaisen kokeen aikana neuvojen ja ohjeiden antaminen on kielletty, mutta pätevyyskokeen jälkeisen silmämääräiseen tarkastuksen seuraaminen tekee myös pätevyyskokeen suorittamisesta oppimistilanteen. Tietyissä tuotannollisissa tapauksissa lujien terästen hitsausliitosten silmämääräinen tarkastus tulee tehdä tosiaikaisen silmämääräisen tarkastuksen lisäksi n. vuorokauden kuluttua hitsauksesta, sillä vetyhalkeamien muodostuminen muutosvyöhykkeen alueelle tapahtuu alle 150 °C:een jälkeen. Lisäksi tilanne mahdollistaa ensimmäisen palautteen pätevyyskokeesta. Hitsausliitoksen silmämääräinen tarkastus suoritetaan 100 %:sesti kaikille pätevyyskokeiden hitsausliitoksille standardin SFS-EN 970 mukaisesti.



Kuva 21. Silmämääräisen tarkastuksen välineistöä (Peltola 2011).

5.5.3 Radiograafinen tarkastus

Radiograafinen tutkimus on ainetta rikkomaton tarkastusmenetelmä. Radiograafinen kuvaus (röntgen-kuvaus) on päittäisliitoksissa (BW) vaihtoehtoinen menetelmä taivutuskokeen ja murtokokeen kanssa. Pienaliitoksille (FW) murtokoe on pakollinen. Lisäksi radiograafinen kuvaus voidaan ferriittisillä teräksillä korvata ultraäänitarkastuksella, kun pätevyyskokeen materiaalin aineen vahvuus on riittävä. Hitsausliitosten radiograafinen tarkastus suoritetaan standardin SFS-EN 1435 mukaan. Tässä tutkimuksessa kaikille pätevyyskokeille on suoritettu radiograafinen kuvaus.



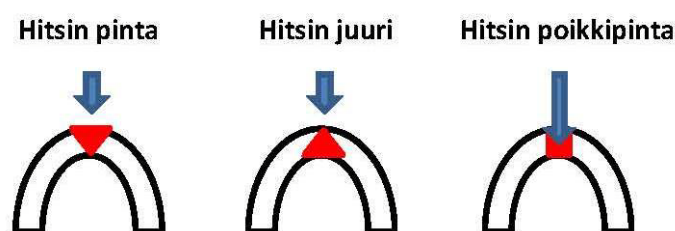
Kuva 22. Hitsausliitoksen röntgen-tarkastuksen (-kuvauksen) periaate (Peltola 2011).

5.5.4 Murtokoe

Murtokoe on ns. rikkova aineenkoestusmenetelmä. Murtokokeessa hitsausliitos murretaan liitoksen pituusakselin suuntaisesti. Murtuman helpottamiseksi liitokseen tehdään pituussuuntainen lovi työstämällä. Murtuma saadaan aikaan joko staattisella tai dynaamisella taivutus- tai vetokuormituksella. Murtamisen jälkeen murtopinnat tarkastetaan. Murtokoe suoritetaan standardin SFS-EN 1320 mukaisesti. Tässä tutkimuksessa mukana oleville pätevyyskokeille ei ole tehty murtokokeita, koska se on vaihtoehtoinen tarkastusmenetelmä.

5.5.5 Taivutuskoe

taivutuskoe on ainetta rikkova tarkastusmenetelmä. Päittäisliitoksen taivutuskoe voidaan suorittaa pinta-, juuri- tai sivutaivutuskokeena. Pintataivutuskokeessa koesaiuvan vedon puolella on hitsausliitoksen pinta ja juuritaivutuskokeessa vedon puolella on hitsin juuri. Sivutaivutuskokeessa vedon puolella on hitsausliitoksen poikkipinta. Standardi määrittelee mm. taivutussauvojen mitat sekä taivutussäteen ja taivutuskulman sekä koesaiuvan käsittelyn ennen kokeen suorittamista. Taivutuksen jälkeen taivutuspinnot tarkastetaan silmämääräisesti (SFS-EN 910, 6)



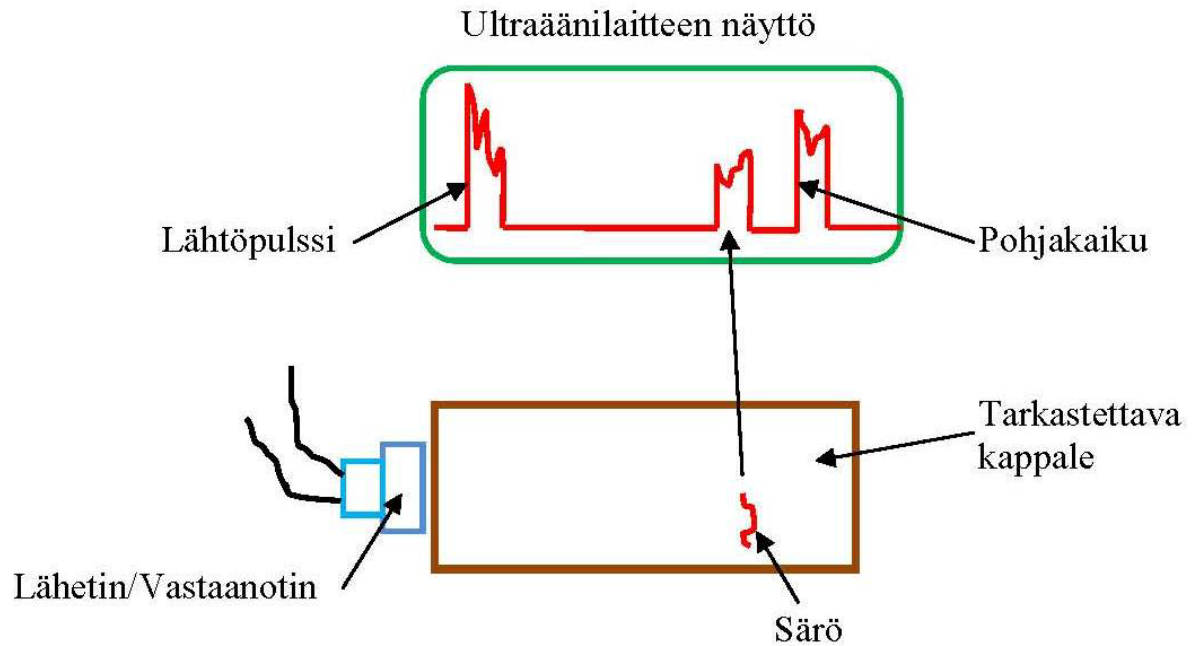
Kuva 23. Vasemmalta pinta-, juuri- ja sivutaivutuskokeen taivutussauvan taivutus-suunnat (Peltola 2011)



Kuva 24. Taivutuskoesauvoja (Peltola 2011)

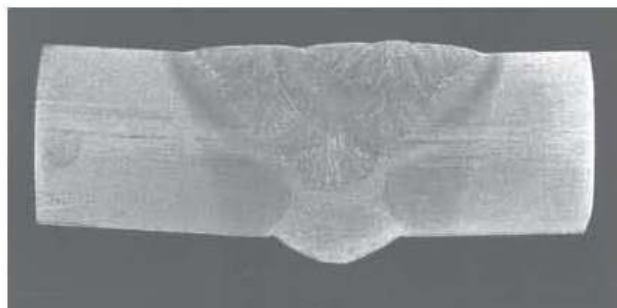
5.5.6 Muut vaihtoehtoisia tarkastusmenetelmiä

Hitsaajan pätevyyskokeen röntgen-tarkastus voidaan korvata ultraäänitarkastuksella, kun kysymyksessä on ferriittinen materiaali ja aineenvahvuus on yli 8 mm. Ultraäänitarkastus suoritetaan standardin SFS-EN 1714 mukaisesti ja menetelmä on ainetta rikkomaton tarkastusmenetelmä. Ultraäänitarkastus on hitsausliitoksen ja materiaalien sisäisen eheyden tarkastukseen soveltuva menetelmä. Ultraääni on värähtelyä sellaisella taajuudella, että ihmisen korva ei pysty sitä kuulemaan (yliääni). Ultraääni etenee kappaleessa useita tuhansia metrejä sekunnissa. Ultraääni lähetetään tutkittavaan kappaleeseen lähettimellä ja vastaanotetaan luotaimella. Nämä ovat yleensä rakennettu yhdeksi kappaleeksi. Luotaimen vastaanottama tieto välitetään ultraäänilaitteelle, jossa se muutetaan näyttöpäätteellä tutkittavaan muotoon.



Kuva 25. Ultraäänitarkastuksen periaate (Peltola 2011)

Makrohietutkimuksessa hitsin poikkipinnasta sahataan koepala, joka kiillotetaan ja syövytetään. Syövytyksen johdosta erilaisia faaseja sisältävät liitoksen alueet syöpyvät eri tavalla ja hitsin metallurginen rakenne ja poikkileikkauksen alueella olevat hitsausvirheet on helppo havaita tarkastuspinnasta. Makrohieen silmämääräistä tarkastusta voi tehostaa optisilla apuvälineillä, kuten suurennuslasilla tai mikroskoopilla, jolloin hitsausliitoksen alueelta on havaittavissa materiaalin mikrorakenne. Lisäksi apuvälineet tehostavat hitsausmetallurgisten vaikutusten tarkastelua. Makrohietutkimus tehdään standardin SFS-EN 1321 mukaisesti ja se on ainetta rikkova tarkastusmenetelmä.



Kuva 26. Makrohie (Esab 2001, 1).

5.6 Pätevyyskoetodistus ja kokeen merkintä

Pätevyyskoetodistus annetaan kokeen valvojan tai tarkastusorganisaation yksinomaisella vastuulla. Esimerkki pätevyyskoetodistuksesta on liitteessä 14. Pätevyyskokeen merkinnästä näkee kaikki kokeen oleelliset muuttujat ja yksityiskohdat, joiden perusteella voi määrittää pätevyysalueen. Pätevyyskokeen merkintä on joiltakin osin muuttunut sinä aikana, kun tutkimusaineistoa on kerätty, mutta kaikki oleellinen tieto on pystytty huomioimaan ja hyödyntämään. Pätevyyskokeen merkintä on esitetty liitteessä 19.

6 TUTKIMUSAINEISTON SISÄLTÄMÄT HITSAUSPROSESSIT

6.1 Yleistä

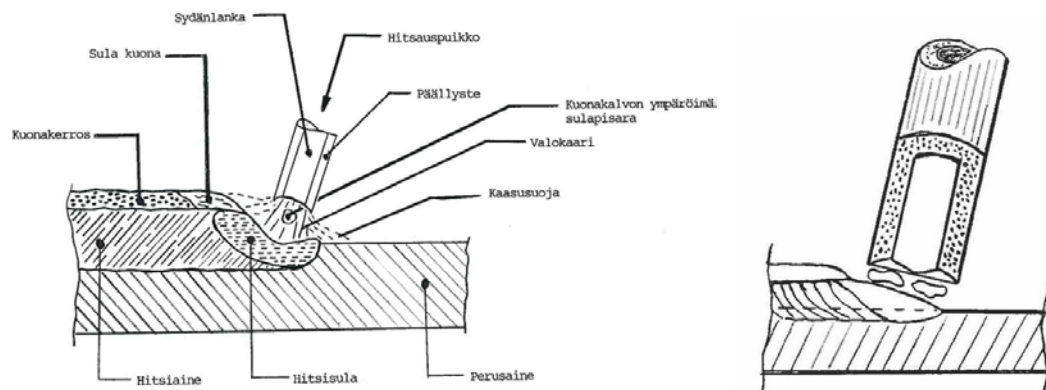
Tämän tutkimuksen tehtävänä ei ole perusteellinen perehtyminen hitsausprosesseihin. Oheisten otsikoiden alle on tehty lyhyt yhteenveto tutkimusaineiston pätevyyskokeiden sisältämistä hitsausprosesseista.

6.2 Puikkohitsausprosessi (111)

Puikkohitsaus on metallikaarihitsausprosessi, jossa hitsattavan materiaalin ja hitsauspuikon välissä palaa valokaari, joka sulattaa perusainetta ja hitsauspuikkoa sekä sen ympärillä olevaa puikon päällystettä. Puikon päällysteestä muodostuu kuona-aineita, jonka suojassa hitsausaine siirtyy päällysteaineesta riippuen joko suurina pisaroita tai suihkumaisesti hitsiaineeseen. Hitsisulassa kuona ominaispainoltaan kevyempänä aineena nousee hitsin pinnalle, suojaten hitsiainetta ilmassa olevan hapen vaikutukselta. Seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen hitsauksessa käytetään emäspäällysteisiä hitsauspuikkoja ja ruostumattomien terästen hitsauksessa rutiilipäällysteisiä hitsauspuikkoja.

Puikkohitsaus soveltuu lähes kaikkien tavanomaisten teräslaatuojen hitsaukseen. Puikkohitsauksen käyttökelpoisuutta parantaa hyvät asentohitsausominaisuudet ja laaja käyttöalue suhteessa perusaineen aineenvahvuuteen. Lisäksi puikkohitsauksen ulottuvuus on hyvä ja nykyiset hitsausvirtalähteet ovat massaltaan keveitä siirrettäviä vaikeisiin olosuhteisiin. Työolosuhteiden osalta puikkohitsaus soveltuu lähes kaikkialle, eikä esim. ulko-olosuhteissa sääolot vaikeuta merkittävästi suoritusta. Puikkohitsauksen käyttöä rajoittaa suhteellisen pieni hitsiaineen tuotto, prosessin huono mekanisoitavuus ja automatisointi. Puikkohitsauksen kevytmekani-

sointia on käytetty ns. liukuhitsauksessa, mutta sen käyttö on jäänyt vähäiseksi (Lukkari 2008, 88-91.)



Kuva 27. Puikkohitsauksen periaate (Peltola 2011).



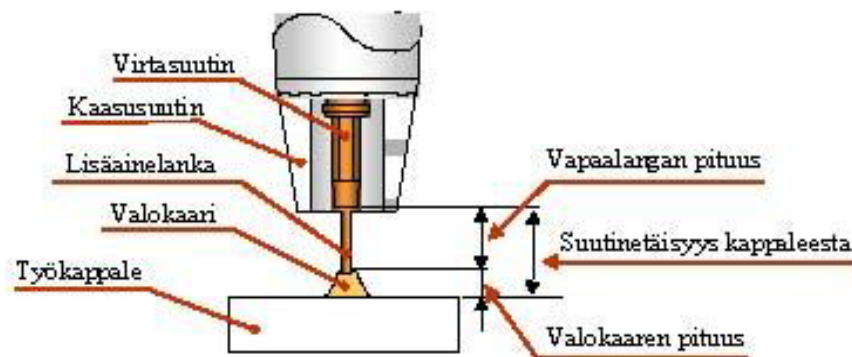
Kuva 28. Hitsauspuikon päällysteen vaikutus hitsiaineen siirtymisessä (Peltola 2011).

Puikkohitsaukselle tyypillisiä hitsausvirheitä ovat huokoisuus, kuonasulkeumat, liitosvirheet, vajaa hitsautumissyvyys, reunahaava, liitosvirheet ja halkeamat.

6.3 MAG-hitsausprosessi (135)

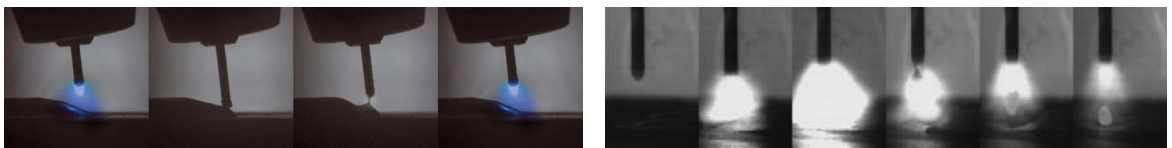
Mag-hitsaus on metallikaasukaarihitsausprosessi sulavalla elektrodilla. Prosessissa hitsaustapahtumaa ja hitsaussulaa suojataan suojakaasulla. Lisäaine syötetään prosessiin mekaanisesti langansyöttölaitteella metallilankana. Valokaari palaa li-

säainelangan ja työkappaleen välillä ja sula metalli siirtyy pisaroina langan kärjestä hitsisulaan. MAG-hitsauksessa suojakaasu on aktiivinen, eli suojakaasuun sisältyy sellaisia kaasukomponentteja, kuten happea, jolloin suojakaasu reagoi hitsiaineen kanssa. Tällöin suojakaasulla on muukin kuin hitsisulaa suojaava vaikutus. Runsaasti hiilidioksidia sisältävällä suojakaasulla on myös hitsiainetta hiillettävä vaikutus, joka muodostuu ongelmaksi varsinkin ruostumattomien terästen hitsauksessa. MAG-hitsauksesta käytetään usein virheellisesti MIG-hitsaus-nimitystä, mutta MAG- ja MIG-hitsaus ovat eri prosesseja. MIG-hitsauksesta on muodostunut myös virheellisesti yleisnimitys sulavan elektrodin kaasukaarihitsaukselle.



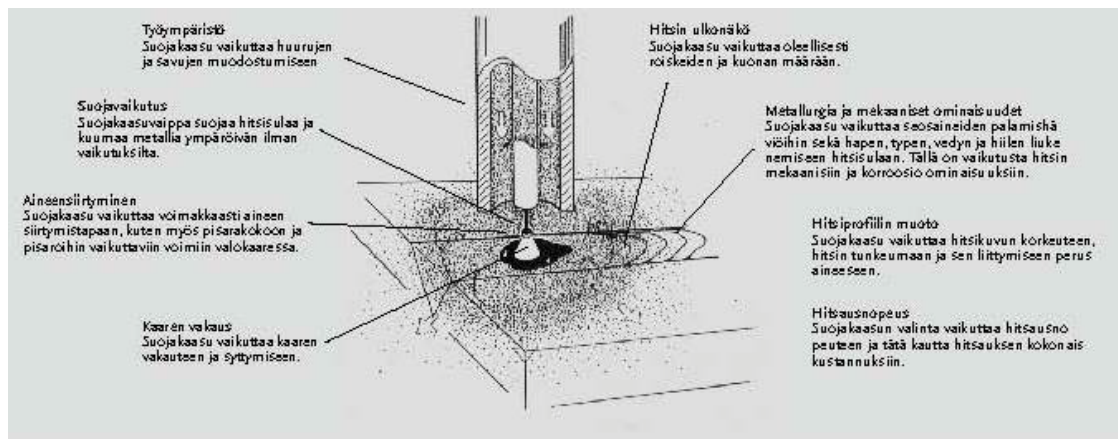
Kuva 29. MAG-hitsauksen periaate tasavirralla. (Lahti Mecatronic 2011).

MAG-hitsauksen lisäaineen siirtyminen tapahtuu joko oikosulkujen kautta suurina pisaroina tai suihkumaisesti pienin pisaroina. Lisäaineen siirtymistavan mukaisesti oikosulkusiirtymisestä käytetään nimitystä lyhytkaarihitsaus ja suikumaisesta siirtymästä nimitystä kuumakaarihitsaus. Lisäksi näiden välissä on sekakaarialue, joka on useissa kohteissa käyttökelpoinen tehoalue.

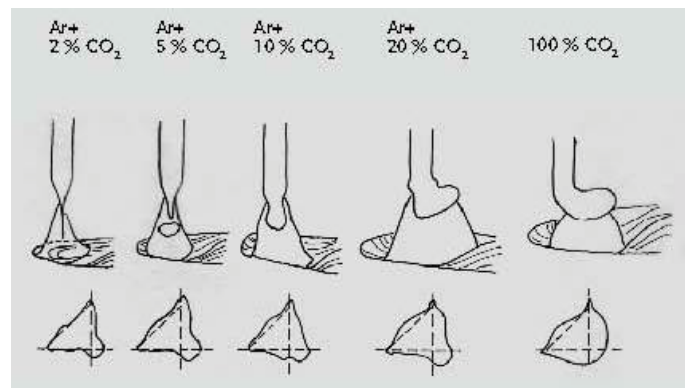


Kuva 30. Lisäaineen siirtyminen lyhytkaari- (vasemmalla) ja kuumakaarialueella MAG-hitsauksessa. (Fronius 2011).

Suojakaasun keskeinen tehtävä on suojata hitsisulaa sitä ympäröivältä atmosfääriltä, eli lähinnä ilmassa olevan hapen ja typen haitallisilta vaikutuksilta. Suojamattomuudesta seuraa mm. huokosia ja hitsin pinnan voimakasta hapettumista. Lisäksi suojakaasulla on vaikutusta mm. hitsin pinnan muotoon, hitsautumissyvyyteen ja haitallisten hitsausaineiden muodostumiseen (Lukkari 2008, 197-199.)



Kuva 31. Suojakaasun vaikutus hitsausliitokseen. (AGA 1995, 5)



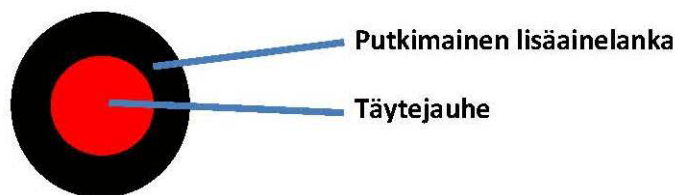
Kuva 32. Suojakaasun vaikutus tunkeumaan (AGA 1995, 6.)

MAG-hitsauksen käytettävyys terästen hitsauksessa on suhteellisen hyvä. Se soveltuu kaikkien rautametallien hitsaukseen, kuten seostamattomien, niukkaseosteisten ja runsasseosteisten ruostumattomien terästen hitsaukseen. Käytettävyyttä parantaa hyvät asentohitsausominaisuudet ja katkeamattoman lisäaineensyötön vuoksi helppo mekanisoitavuus sekä automatisointi. Olosuhteiden suhteen MAG-hitsaus on herkkä vedolle ja tuulelle, koska ilmavirtaukset vaikuttavat kaasusuojaukseen. Lisäksi prosessin ulottuvuus puikkohitsaukseen verrattuna on huonompi.

MAG-hitsaukselle tyypillisiä hitsausvirheitä ovat huokoisuus, liitosvirheet, vajaa hitsautumissyvyys, reunahaava ja halkeamat.

6.4 MAG-Täytelankahitsausprosessi (136)

MAG-täytelankahitsaus on metallikaasukaarihitsausprosessi sulavalla elektrodilla. Valokaari palaa MAG-hitsauksen tapaan lisäainelangan ja työkappaleen välissä suojakaasun suojaamana. Lisäksi suojausvaikutusta on tehostettu langan sisällä olevalla kuona-aineella. Teoreettisesti prosessi vastaa MAG-hitsausprosessia.



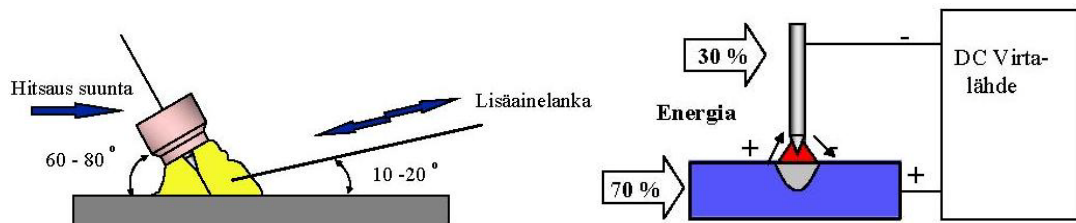
Kuva 33. MAG-Täytelankahitsauksen lisäaineen poikkipinta (Peltola 2011).

MAG-täytelankahitsaus soveltuu hyvin seostamattomien, niukkaseosteisten ja runsasseosteisten ruostumattomien terästen hitsaukseen. Laajan lisäainevalikoiman vuoksi prosessi soveltuu myös kaikille hitsausasennoille ja laajalle aineenvahvuusalueelle n. 3 mm:n vahvuudesta ylöspäin. Jauhetäytteen ja siitä muodostuvan kuonasuojan vuoksi prosessi sopii paremmin vetoisiin ja tuulisiin olosuhteisiin kuin MAG-hitsausprosessi. Prosessin mekanisointi ja automatisointi on MAG-hitsausprosessin tapaan helppoa (Lukkari 2008, 231.)

MAG-Täytelankahitsaukselle tyypillisiä hitsausvirheitä ovat huokoisuus, liitosvirheet, halkeamat sekä kaasun ja kuonan aiheuttamat onkalot.

6.5 TIG-hitsausprosessi (141)

Tig-hitsaus on metallikaasukaarihitsausprosessi sulamattomalla elektrodilla. Valokaari palaa elektrodin ja perusaineen välillä. Hitsaustapahtumaa suojaa ilman tynen ja hapen haitallisilta vaikutuksilta inertti suojakaasu. TIG-hitsauksen suoritustekniikka muistuttaa kaasuhitsauksen suoritusta. Lisäaine prosessiin syötetään tavallisesti käsivaraisesti. TIG-hitsausprosessissa hitsaussulan ja tunkeuman hallinta on suhteellisen helppoa (Lukkari 2008, 249-250.)



Kuva 34. TIG-hitsauksen periaate tasavirralla. (Lahti Mecatronic 2011).

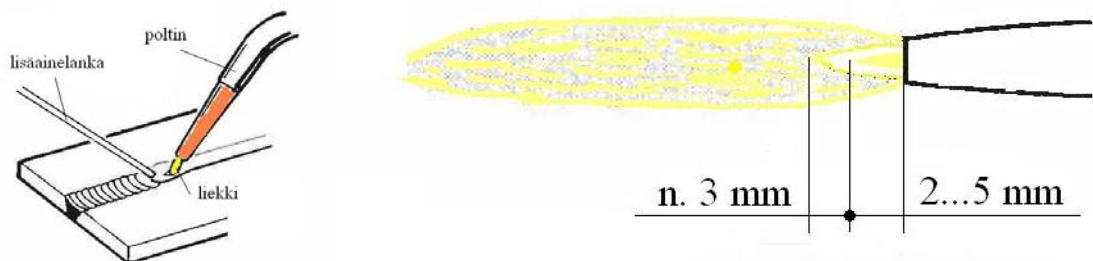
TIG-hitsaus soveltuu hyvin seostamattomien, niukkaseosteisten ja runsasseosteisten ruostumattomien terästen hitsaukseen, kaikissa hitsausasennoissa. Aineenvahvuuden suhteen prosessi soveltuu hyvin ohuiden aineiden hitsaukseen, jopa 0,1 mm:stä ylöspäin. Prosessilla on pieni hitsiaineen tuotto, joten paksummilla aineenvahvuuksilla sitä käytetään pohjapalon hitsaukseen, jonka jälkeen väli ja pintapalot hitsataan tuottoisemmilla prosesseilla. TIG-hitsausta on myös menestyksellisesti mekanisoitu, jolloin hitsauspoltin on liitetty kuljettimeen ja lisäainelangan syöttö on mekanisoitu. Putkiliitosten mekanisoitua hitsausta toteutetaan orbitaali-laitteistolla. Prosessin tehokkuutta on onnistuttu parantamaan myös lisäainelangan esilämmityksellä. TIG-hitsauksen hitsausliitos on puhdas, joten sitä käytetään runsaasti mm. elintarviketeollisuuden putkistojen liitosten hitsauksessa. Puhtautta voi parantaa käyttämällä liitoksen juuren puolella juurisuojana suojakaasua. Lisäksi liitoksen jälkikäsittelytarve on pieni.

TIG-hitsaukselle tyypillisiä hitsausvirheitä ovat liitosvirheet, vajaa hitsautumissyvyys, reunahaava ja halkeamat.

6.6 Happi-Asetyleeni-hitsausprosessi (311)

Happi-asetyleeni-hitsauksessa energia saadaan aikaan hitsauspoltinputken päässä palavalla asetyleenillä. Palamista tehostetaan sekoittamalla polttimen varreessa asetyleeniin happea. Normaaliliekissä on asetyleeniä n. 48 % ja happea 52 %. Poltinputken päässä palaa sydänliekki, jonka ympärillä on happea sitova pelkistävä hunttu. Hitsausliekin uloin vyöhyke toimii suojakaasun tavoin, estäen ilmassa olevan hapen pääsyn hitsausliitoksen sulaan. Happi-asetyleeni-hitsausliekin kuumin kohta on n. 3 mm sydänliekin kärjestä, polttimesta poispäin. Lämpötila tässä pisteessä voi nousta n. 3100 °C:seen.

Happi-asetyleeni-prosessin käyttöä rajoittaa eniten hitsauksessa muodostuva suuri energiamäärä. Hitsausliitokseen tuotava lämpömäärä ns. lujilla teräksillä on niin suuri, että hitsausliitos ei muutosvyöhykkeen alueella täytä materiaalin nimellisiä iskutkeysarvoja.

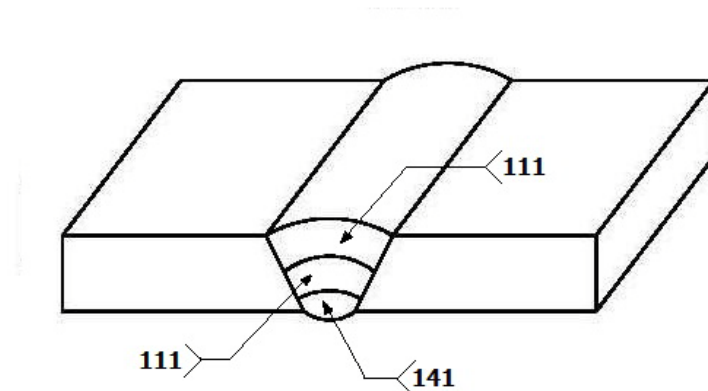


Kuva 35. Periaatekuva happi-asetyleeni-hitsauksesta sekä hitsausliekistä (Katainen & Mäkinen 1989).

Happi-asetyleeni-hitsaukselle tyypillisiä hitsausvirheitä ovat juurivirhe, liitosvirhe, imuontelo, reunahaava, korkea hitsikupu, vajaa hitsi ja epäsymmetrinen eli toispuolinen hitsi.

6.7 Yhdistelmäkokeet 135/136 ja 141/111

Kahden prosessin käyttöön eli yhdistelmähitsaukseen päädytään usein tuottavuuden nimissä. Pohjapalko hitsataan prosessilla, jossa hitsaussulan hallinta on helppompaa, mutta hitsiaineen tuottavuus huono. Väli- ja pintapalot hitsataan tuottavammilla hitsausprosesseilla.



Kuva 36. Esimerkkinä yhdistelmähitsaus (yhdistelmäprosessi), jossa pohjapalko hitsataan prosessilla 141 ja seuraavat palot prosessilla 111 (Peltola 2011).

Yhdistelmäkokeiden hitsausvirheet ovat riippuvaisia yhdistelmäkokeessa käytetyistä hitsausprosesseista. Erityisiä yhdistelmäkokeille liittyviä virheitä voi olla prosessien rajapinnoilla tapahtuvat hitsiaineen yhteensopivuusongelmat, jotka saattavat ajan myötä muodostaa metallisia pareja ja syöpymisilmiöitä ns eripariliitoksen tapaan.

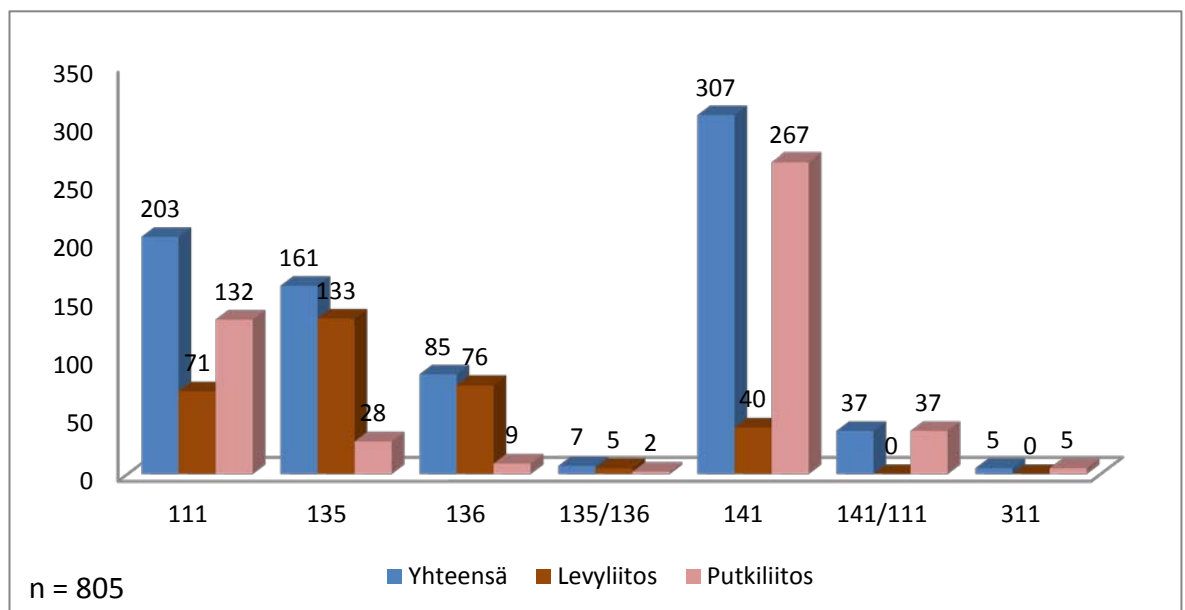
7 TUTKIMUSAINEISTO, TUTKIMUS JA TULOKSET

7.1 Yleistä

Oheisissa tutkimustuloksissa on esitetty tutkimusaineistossa eri pätevyyskokeen muuttuja alueilla havaittuja hitsausvirheitä. Tutkimus lähtee liikkeelle pätevyyskokeen yleisistä tuloksista prosessi ja tuotemuotokohtaisesti, jonka jälkeen on syvennynyt eri muuttujien voimassa olleena syntyviin hitsausvirheryhmien ja hitsausvirheiden tarkasteluun. Tarkoitus ei ole tässä tutkimuksessa syvällisesti perehtyä hitsausvirheen syihin ja eikä tarkoitus ole esittää korjaavia toimenpiteitä muilta osin, kuin mikä on palvellut tutkimusta.

7.2 Tutkimusaineiston pätevyyskokeet ja niiden tulokset

Tutkimusaineisto sisältää yhteensä 805 päittäisliitoksena SFS-EN 287-1 mukaisesti hitsattua pätevyyskoetta viidellä eri prosessilla, jonka lisäksi oli kaksi yhdistelmäprosessia. Tutkimusaineiston pätevyyskokeet on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Tutkimusaineiston pätevyyskokeet prosessikohtaisesti tuotemuodoittain.

Kuviosta 6 on havaittavissa, että prosessit 111, 141, 311 sekä yhdistelmäprosessi 141/111 painottuvat putkiliitosten hitsaamiseen. Tämä on selitettävissä prosessien suoritustekniikan hitaudella, jolloin ne ovat putken kierrossa ja asentohitsauksessa helposti hallittavissa. Prosessit 135, 136 sekä näiden yhdistelmäprosessi 135/136 painottuvat suoritustekniikan nopeuden vuoksi levyliitosten hitsaamiseen.

7.3 Hitsausvirheiden hyväksymisrajat

Mikäli hitsausliitoksessa havaitaan hitsausvirhe, niin se ei tarkoita, että hitsi ja rakenne olisi hylätty. Oleellista on hitsausvirheen merkitys liitoksen kestävyydelle, joka on riippuvainen virheen luonteesta, liitokseen kohdistuvasta rasituksesta, mahdollisesti kysymykseen tulevasta vauriotapauksesta ja virheen sijainnista rakenteeseen kohdistuvan rasituksen suunnan suhteen. Hitsiluokalla määritellään tuotteen ja pätevyyskokeen hyväksyttävyys. Pätevyyskoestandardin SFS-EN 287-1 mukaisesti hitsaajan pätevyyskoe hyväksytään, jos koekappaleessa havaitut hitsausvirheet täyttävät standardin EN ISO 5817 hitsiluokan B mukaiset vaatimukset. Poikkeuksen hitsiluokka B vaatimuksista tekee muutamat virhetyypit, joissa vaatimuksena on hitsiluokka C. Näitä virhetyyppejä ovat silmämääräisesti havaittavat korkea hitsikupu hitsausliitoksen pinnassa tai juuren puolella. Tässä tutkimusaineistossa kaikki hyväksytyt hitsausliitokset ovat luokiteltu hitsausluokkaan B ja hylätyt kokeet virheen suuruudesta riippuen hitsausluokkaan C tai D.

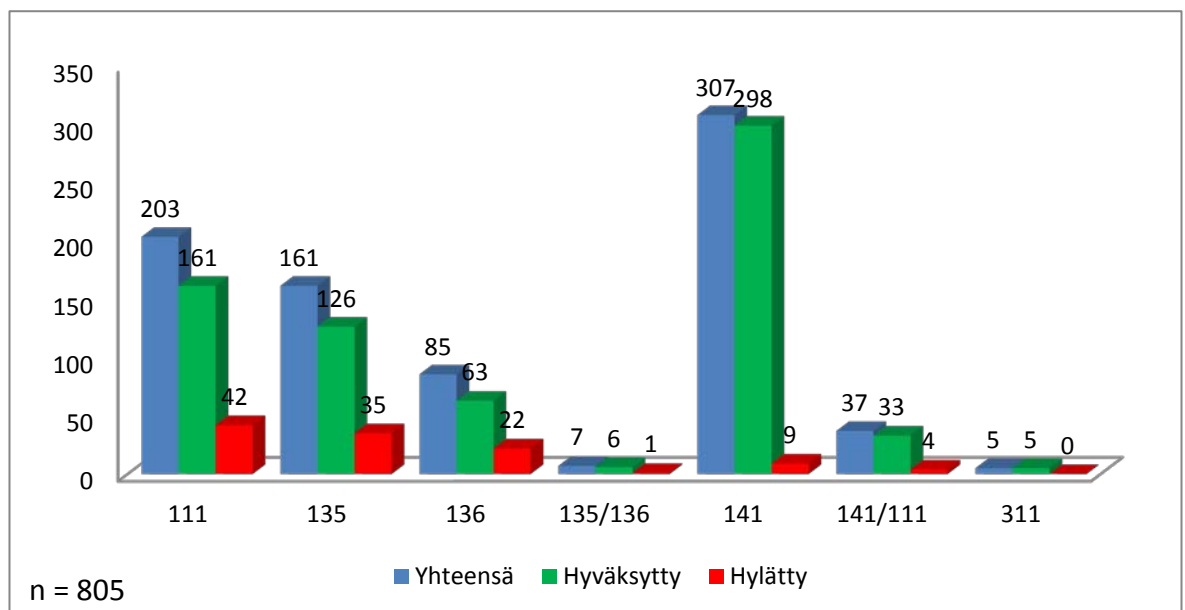
Taulukko 1. Esimerkki standardin SFS-EN ISO 5817 hitsiluokkien hitsausvirheille asettamista raja-arvoista.

Nro	Viitenumero ISO 6520-1	Virhe- tyyppi	Huomautukset	t mm	Hitsiluokkien hitsausvirheille asettamat raja-arvot		
					D	C	B
1 Pintavirheet							
1.3	2017	Pinta- huokonen	Yksittäisen huokosen enimmäiskoko -Päittäishitsi -Pienahitsi	0,5...3	d≤0,3s d≤0,3a	ei sallita	ei sallita
			Yksittäisen huokosen enimmäiskoko -Päittäishitsi -Pienahitsi	>3	d≤0,3s, enintään 2 mm d≤0,3a, enintään 2 mm	d≤0,2s, enintään 2 mm d≤0,2a, enintään 2 mm	ei sallita

Kuviosta 7 on havaittavissa, että prosessilla 311 hitsatut pätevyyskokeet ovat kaikki hyväksytyjä. Tosin suoritteiden määrä on pieni, eli vain viisi koetta, joten pitkälle meneviä päätelmiä asiasta ei voi tehdä. Jäljempänä tutkimusaineiston käsittelyn yhteydessä voi vielä havaita, että lähes kaikki muuttujatkin ovat prosessilla

311 samat. Kyseistä prosessia käytetään alueellisesti lähinnä vain kaukolämpöputkien liitoshitsauksiin.

Prosessilla 141 hyväksytyjen kokeiden suhteellinen osuus on suuri. Kokeita prosessilla on hitsattu eniten, eli 307 kpl, mutta hylättyjä kokeita on vain yhdeksän. Prosesseja 141 ja 311 on suoritustekniikaltaan verrattu toisiinsa, vaikka ne ovat täysin erilaisia hitsausenergian tuottamistavan osalta. Yhdistelmäprosessi 141/111 vaikuttaa myös suoritustavallalta prosessilta, mutta siinä hitsausvirheiden muodostumisen osalta suurena riskitekijänä oleva juuripalko hitsataankin prosessilla 141. Toisella yhdistelmäprosessilla 135/136 on hitsattu niin vähän kokeita, että pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei voi tehdä. Prosesseilla 111, 135 ja 136 hylättyjä pätevyyskokeita on neljännes tai viidennes kyseisen prosessin pätevyyskokeiden kokonaismäärästä. Jäljempänä tutkimusaineiston käsittelyssä on havaittavissa, että muuttujien suhteen näiden prosessien osalta hylättyjen suhteellinen osuus vaihtelee huomattavasti.

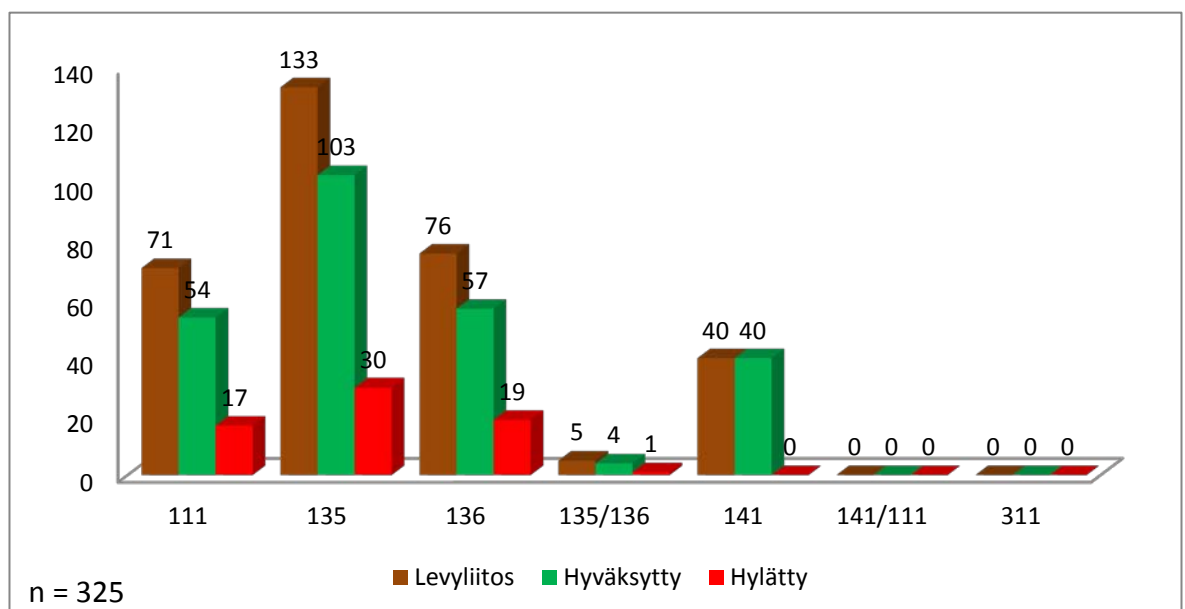


Kuvio 7. Tutkimusaineiston pätevyyskokeet sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessikohtaisesti.

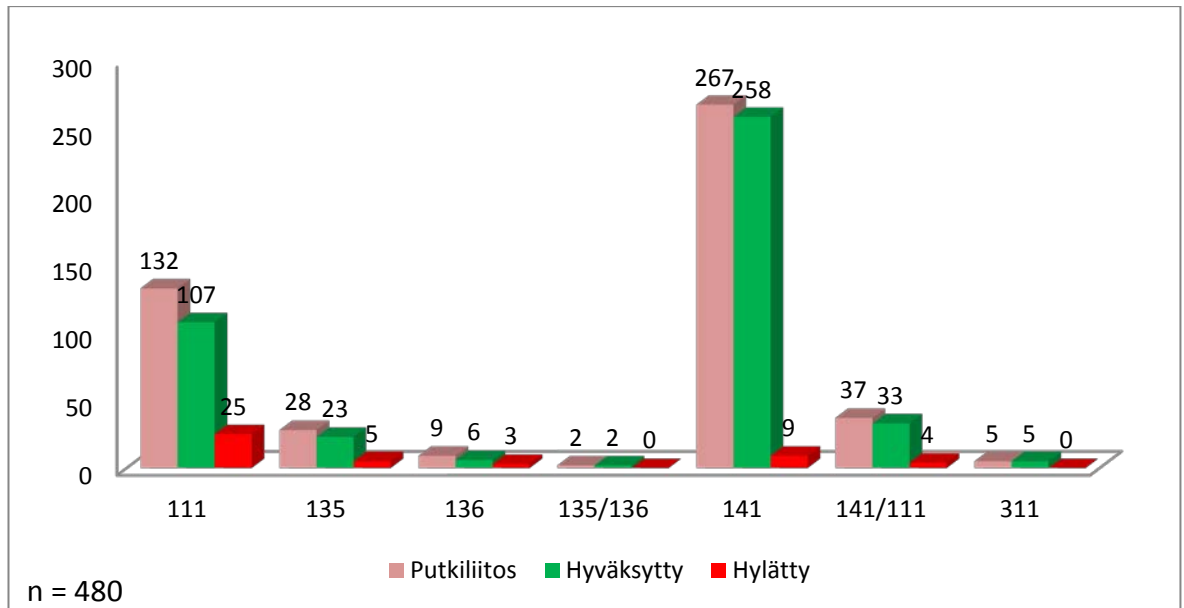
Tuotemuotokohtaisessa tarkastelussa kuvioista 8 ja 9 voidaan havaita, että kaikki prosessilla 141 hitsatut levyliitoksen pätevyyskokeet on hyväksytty. Prosessin hitsattujen pätevyyskokeiden määrä on kuitenkin niin suuri suhteessa hylättyihin ko-

keisiin, että tästäkään ei voi tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Mielenkiintoista kuitenkin, että niinkin suuri määrä kuin 40 pätevyyskoetta, erilaisilla pätevyyskokeen oleellisilla muuttujilla, hitsausprosessilla 141 hitsattuna on hyväksytty. Yleisesti ottaen muilla prosesseilla voidaan putkiliitosten todeta onnistuneen vähän paremmin kuin levyliitosten. Tämä on mielenkiintoista ja ristiriitaista pätevyyskoestandardin suhteen, koska yleisesti putkelle hitsattu koe pätevöittää myös levyliitosten hitsaukseen. Levyliitoksena hitsattu koe ei pääsääntöisesti kuitenkaan pätevöitä hitsaamaan putkiliitoksia. Tutkimuksessa ei ole selvitetty pätevyyskokeen hitsaajien henkilö-, organisaatio- ja kokemustietoja, mutta voisi olettaa, että levykoekiden hitsaaminen painottuu opiskelijoiden hitsaamiin pätevyyskokeisiin, koska kansainväliset IW-hitsaajien vaatimukset täyttääkseen putkihitsaustasolle, on hitsattava myös pätevyyskokeet levyliitoksille IW-ohjelman mukaisesti.

Prosessilla 141 on hitsattu eniten pätevyyskoetta ja seuraavana tulevat prosessit 111, 135, 136 sekä yhdistelmäprosessi 141/111. Prosessilla 311 ja yhdistelmäprosessilla 135/136 on hitsattu niin vähän pätevyyskoetta, että kokonaisuuteen niillä ei ole merkitystä.



Kuvio 8. Tutkimusaineiston levyliitosten pätevyyskokeet sekä hyväksytyt ja hylätyt levykokeet prosessikohtaisesti.



Kuvio 9. Tutkimusaineiston putkiliitosten pätevyyskokeet sekä hyväksytyt ja hylätyt putkikokeet prosessikohtaisesti.

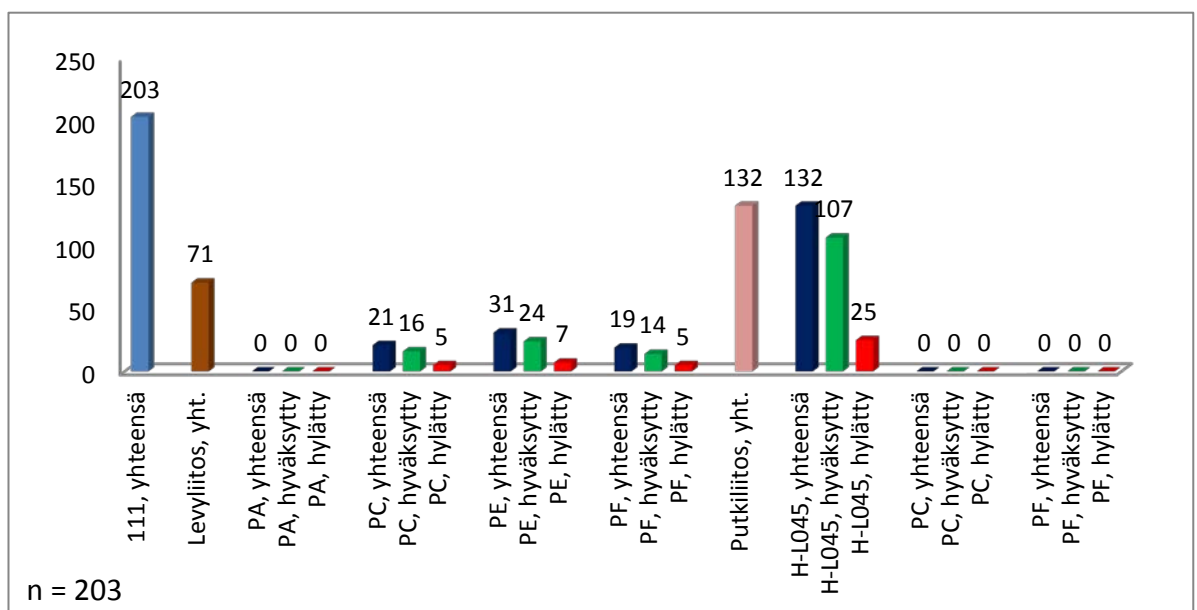
Suhteellisesti vähiten hylättyjä kokeita on prosessilla 311 ja toiseksi vähiten 141 prosessilla. Tämä johtuu näkemykseni mukaan prosessien samankaltaisesta suoritustekniikasta. Molemmissa prosesseissa hitsauksen eteneminen on hidasta ja käsivaraisessa hitsauksessa hitsaaja pystyy motorikallaan hallitsemaan prosessin suoritustekniikan paremmin, kuin nopeissa hitsausprosesseissa. Toinen keskeinen tekijä virheiden vähyyteen on molempien prosessien suhteellisen voimakas lämmöntuonti, jolloin jäähtyminen hidastuu ja epäpuhtaudet sekä muodostuvat kaasut ehtivät poistumaan hitsiaineen jähmettymisen edellä ja nousevat hitsisulan pinnalle. Väitettä tukee myös yhdistelmäprosessin 141/111 suhteellisen pieni hitsausvirheiden määrä. Prosessin 311 tutkimusaineisto on melko pieni, mutta se on kuitenkin suuntaa antava, kun lisäksi huomioidaan suoritustekniikaltaan samankaltaisen 141 prosessin tukevan väitettä.

Prosessien 111, 135 ja 136 hylättyjen pätevyyskokeiden suhteellinen osuus kasvaa prosessin suoritusnopeuden mukaan. Tämä vahvistaisi edelleen käsitystä hitsaajien motoriikan hallinnan vaikeudesta suoritustekniikaltaan nopeammilla hitsausprosesseilla. Poikkeuksen tästä muodostaa yhdistelmäprosessi 135/136, jossa tutkimusaineiston määrä on niin pieni, että poikkeama voi olla myös sattuma.

7.4 Hitsausvirheet ja niiden tarkastelu suhteessa pätevyyskoestandardin keskeisiin muuttujiin

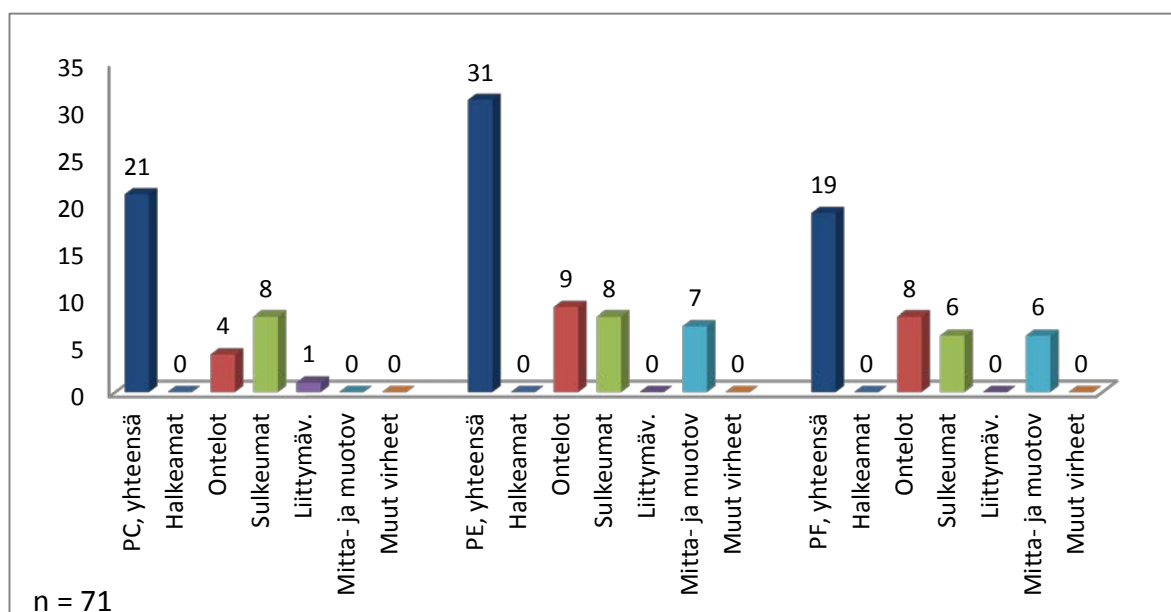
7.4.1 Eri hitsausasennossa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet eri hitsausprosesseilla ja tuotemuodoilla

Kuviosta 10 on havaittavissa, että putkiliitokset on prosessilla 111 hitsattu kaikki asennossa H-L045. Tämä ei sinällään ole poikkeavaa, koska putkiliitoksia on muilla hitsausasunnoilla yleensäkin hitsattu hyvin vähän. Levyliitosten pätevyyskokeet puolestaan painottuvat asentoihin PC, PE ja PF. Tämäkin on selitettävissä sillä, että pääosa levykokeista on hitsattu kyseisissä hitsausasunnoissa, mutta myös prosessin asentohitsausominaisuudet selittävät tämän. Asennossa PA ei ole hitsattu yhtään pätevyyskoetta, koska kyseinen asento ei edellytä hyviä asentohitsausominaisuuksia ja niihin löytyy suoritusteknisesti nopeampia prosesseja, joka näkyy kuvioista 14 ja 18. Hitsausasennolla ei ole havaittavissa suurta merkitystä hyväksytyjen ja hylätyjen kokeiden lukumäärissä prosessilla 111. Tässä prosessissa kuitenkin näkyy myös se, että levyliitoksissa kaikissa hitsausasunnoissa hylättyjä pätevyyskokeita tulee suhteessa enemmän kuin putkiliitoksissa.



Kuvio 10. Eri hitsausasunnoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 111.

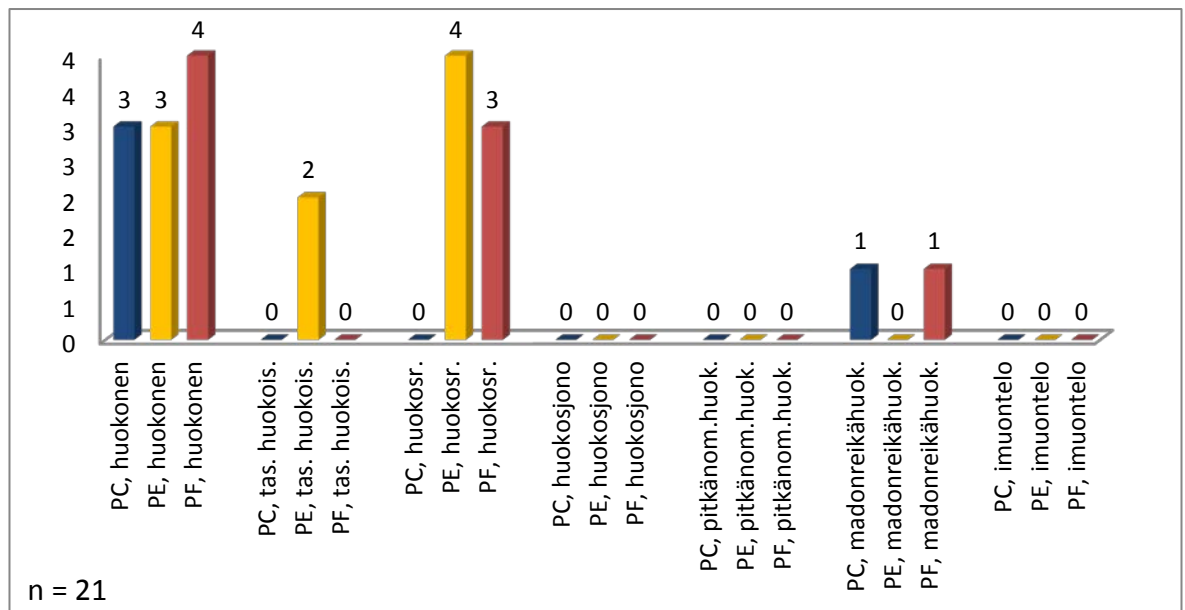
Hitsausasennon vaikutuksesta hitsausvirheiden muodostumiseen prosessilla 111 voi tehdä päätelmiä vain levyliitosten osalta, koska näitä levyliitoksia on suhteellisen tasainen määrä suoritettuna, kolmessa eri hitsausasennossa. Suurta vaikutusta hitsausasennolla ei kuvion 11 mukaan ole. Ainoa merkittävä poikkeama on asennossa PC hitsatut kokeet, joissa ei ole havaittu yhtään mitta- ja muotovirheeksi luokiteltavaa hitsausvirhettä. Monipalkohitsauksessa hitsausasennossa PC hitsipalot hitsataan ohuina nauhoina hitsausrailoon, jonka seurauksena hitsausliitoksen pinnasta saadaan suhteellisen tasainen. Tämä on todettavissa myös käytännössä ja siten helposti perusteltavissa. Lisävahvistusta väittämään tulee kuvion 19, jossa prosessilla 136 mitta- ja muotovirheiden määrä hitsausasennossa PC on suhteellisen vähäinen. Molemmat prosessit 111 ja 136 hyödyntävät kuonaa hitsisulan suojauksessa. Lisäksi väittämään tukee prosessin 135 mitta- ja muotovirheiden yksityiskohtainen tarkastelu tutkimusaineistosta. Näitä virheitä on yhteensä kahdeksan kuvion 15 mukaisesti. Yksittäisinä virheinä valtaosa on katkonaista reunahaavaa, mikä taas puolestaan on ominaista hitsausasennon PC hitsausliitoksille.



Kuvio 11. Levyliitoksen hitsausasunnoissa PC, PE ja PF prosessilla 111 hitsattujen pätevyyskokeiden hitsausvirheet ryhmäkohtaisesti.

Hitsausvirhekohtaisessa tarkastelussa ontelot jakaantuvat kuvion 12 mukaisesti melko tasaisesti kaikille hitsausasunnoille. Eri asennossa hitsattujen pätevyysko-

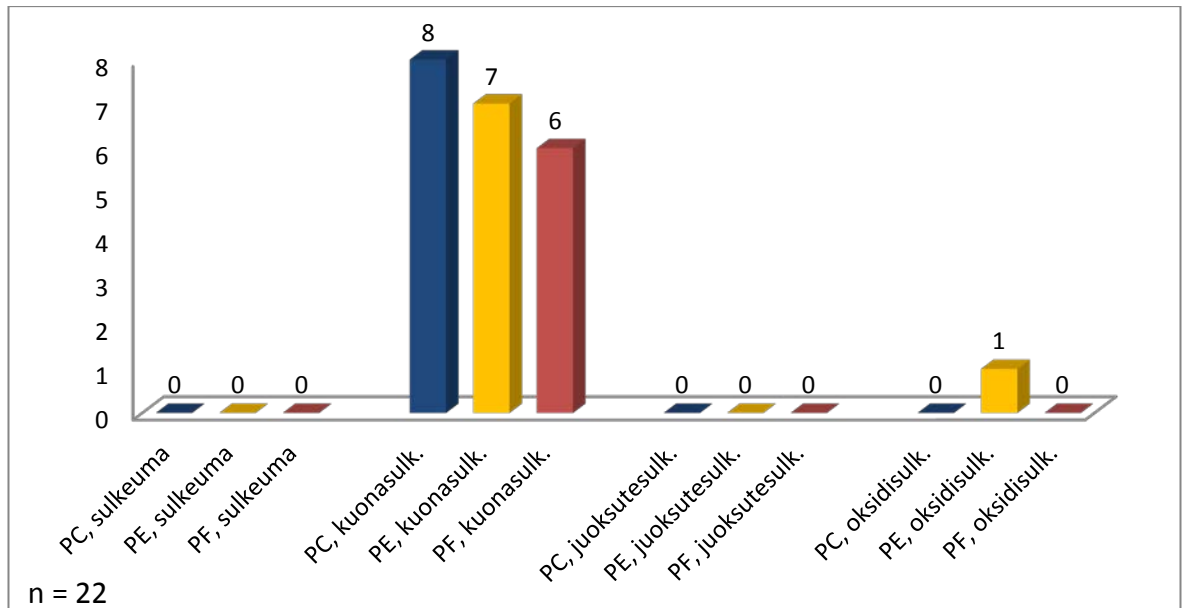
keiden ja tarkastuksessa havaittujen onteloiden lukumäärä on niin pieni ja hajaantunut, joten pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei kannata tehdä. Kaikki havaitut ontelot ovat erilaisia huokostyyppejä, jotka harvoin johtavat pätevyyskokeen hylkäämiseen.



Kuvio 12. Prosessin 111 levyliitoksen asennoissa PC, PE ja PF hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen onteloiden jakaantuminen eri virhetyyppeihin.

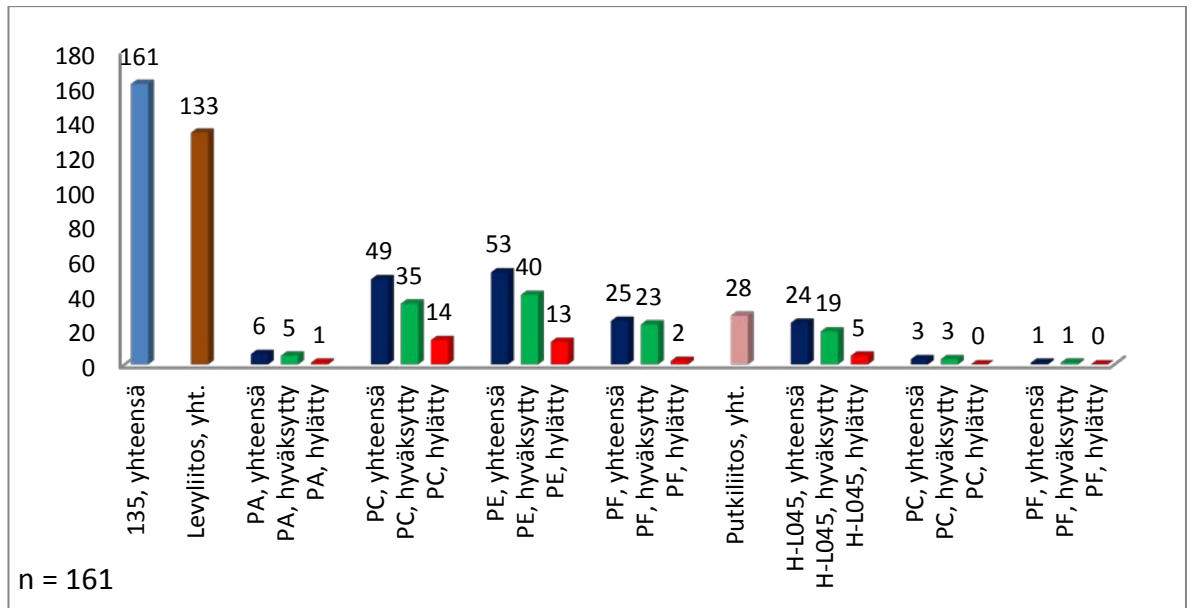
Sulkeumat ovat kuvion 13 mukaisesti lähes kaikki kuonasulkeumia. Tämä on prosessille 111 tyypillinen hitsausvirhe, koska hitsisulan suojaamisessa käytetään kuonaa. Yllättävää tuloksessa on se, että PC asennossa kuonasulkeumia muodostuu suhteellisen runsaasti, verrattuna muihin hitsausasentoihin. Selityksenä voi esittää PC asennossa ja monipalkohitsauksessa hitsattavat ohuet ja nauhamaiset hitsauspalot. Palkojen lukumäärä lisää riskiä hitsausvirheiden muodostumiseen ja edellyttää välipalkojen huolellisen puhdistamisen.

Yleisesti osaamisen johtamisen kannalta ja osaamisen kehittämisen kannalta on helpompaa, kun hitsausvirheet keskittyvät tietyn tyyppisiksi. Tämä antaa mahdollisuuksia keskittyä henkilöstön koulutuksessa oleellisiin ja suoraan hitsausliitoksen laatuun vaikuttaviin asioihin, mitä tällä tutkimuksella haetaankin.



Kuvio 13. Prosessin 111 levyliitoksen asennoissa PC, PE ja PF hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen sulkeumien jakaantuminen eri virhetyppeihin.

Prosessi 135 on pääosin levyliitosten hitsausprosessi. Tämä on havaittavissa kuvio 14. Pätevyyskokeita on hitsattu kaikissa levyhitsausasennoissa, painottuen kuitenkin asentoihin PC, PE ja PF. Hitsausasennossa PA on yleensäkin hitsattu vähän pätevyyskokeita. Hylättyjen pätevyyskokeiden suhteellinen osuus on asennoissa PC ja PE samalla tasolla, mutta asennossa PF hylättyjen osuus on suhteellisen pieni. Tämä on selitettävissä sillä, että asento PF on suoritusteknisesti hitaampi suorittaa ja hitsaussulan hallinta nopealla hitsausprosessilla on helpompaa. Putkikokeiden hitsauksen kyseisellä prosessilla selittää myös kuvio 43, joka osoittaa, että nämä kokeet ovat hitsattu kahdelle suuremmalle putkihalkaisijaryhmälle, painottuen vielä selvästi suurimpaan halkaisijaryhmään. Halkaisijaltaan pienien putkien hitsauksessa prosessi on vaikeasti hallittavissa. Väittämää todistaa edelleen kuvio 43, josta on havaittavissa, että hylättyjen kokeiden suhteellinen osuus putkenhalkaisija ryhmässä D2 on suurempi kuin ryhmässä D3. Myös tässä prosessissa on havaittavissa, että levyliitosten pätevyyskokeita on hylätty lähes kaikissa hitsausasennoissa suhteellisesti enemmän kuin putkiliitosten pätevyyskokeita.

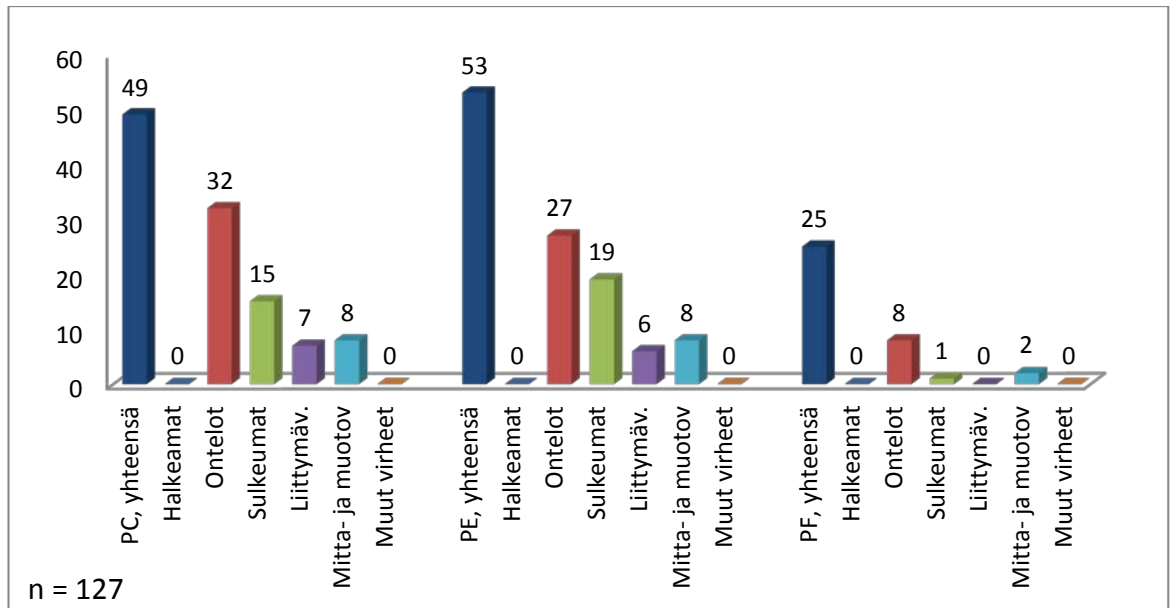


Kuvio 14. Eri hitsausasunnoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 135.

Kuviosta 15 on havaittavissa, että prosessin 135 levyliitosten vallitsevat virhetyypit asennossa PC ja PE ovat ontelot ja sulkeumat sekä PF asennossa pelkästään ontelot. Virheryhmittäin määrät ovat likimain samassa suhteessa hitsattujen kokeiden lukumäärään kyseisessä hitsausasennossa, joten hitsausasennolla ei näytä olevan ainakaan suurta merkitystä eri hitsausvirheiden muodostumiseen. Tämä oikeastaan vahvistaa sen, että putkiliitoksen tarkempaa tarkastelua ei kannata tehdä pätevyyskokeiden suhteellisen pienen määrän vuoksi.

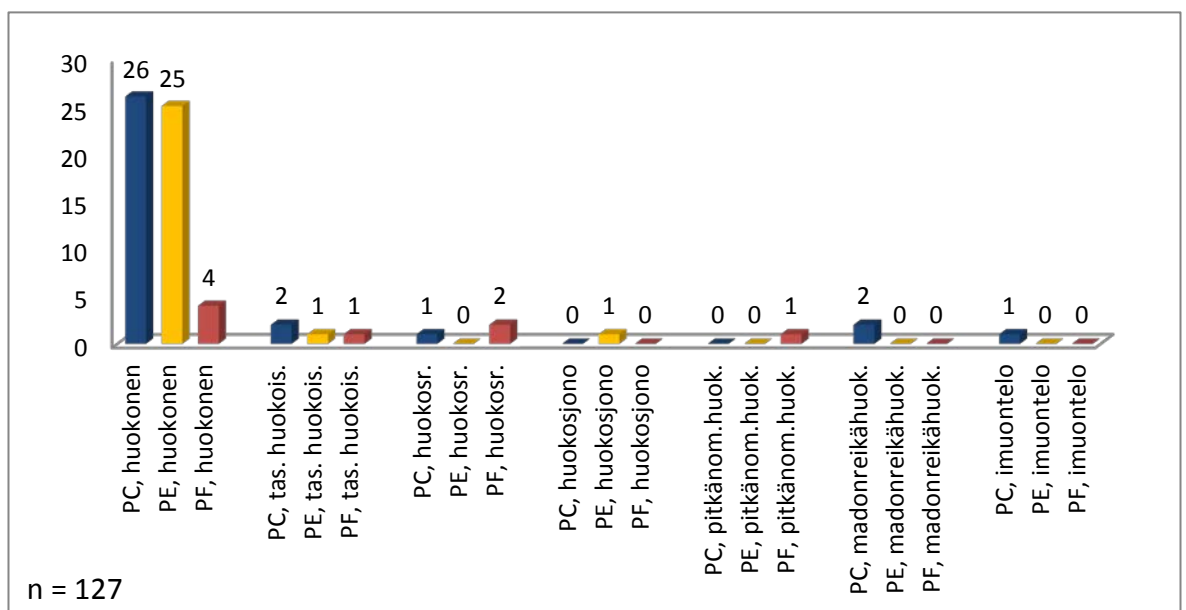
Mitta- ja muotovirheitä esiintyy hitsausasunnoissa PC ja PE. Näiden virheiden yksilöllinen määrittely on manuaalisesti tarkastettu tutkimusaineistosta ja todettu niiden pääasiassa olevan katkonaista reunahaavaa. Lisäksi aineisto sisälsi yksittäisiä korkea hitsikupu ja vajaa hitsautumissyvyys virheanalyysijä.

Levyliitosten yksittäisten hitsausvirheiden esiintyminen on esitetty onteloiden osalta kuviossa 16 ja sulkeumien osalta kuviossa 17. Levyliitoksissa prosessilla 135 esiintyy myös liittymävirheitä. Ne on tarkastettu tutkimusaineistosta manuaalisesti ja yhtä lukuun ottamatta ne ovat liitosvirheitä, joten kuvion piirtäminen tästä ei ole mielekäästä.



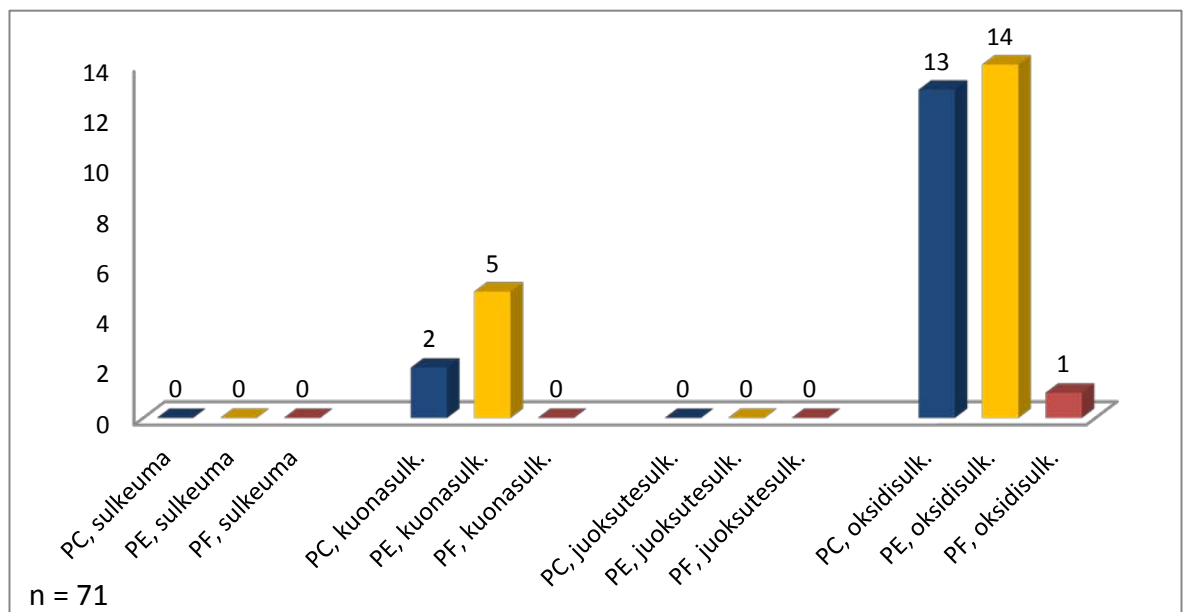
Kuvio 15. Prosessin 135 levyliitoksen asennoissa PC, PE ja PF hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen onteloiden jakaantuminen eri virhetyyppeihin.

Kuviosta 16 on havaittavissa, että lähes poikkeuksetta 135 prosessin ontelot ovat huokosia. Hitsausasennoissa PC ja PE huokosia muodostuu enemmän kuin hitsausasennossa PF. Prosessilla PR hitsausnopeus on hitaampaa, mikä mahdollistaa kaasujen poistumisen hitsisulasta ennen sen jähmettymistä.



Kuvio 16. Prosessin 135 levyliitoksen asennoissa PC, PE ja PF hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen onteloiden jakaantuminen eri virhetyyppeihin.

Prosessilla 135 sulkeumat ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta oksidisulkeumia. Huokosten tavoin oksidisulkeumia jää hitsiaineeseen enemmän hitsausasennoissa PC ja PE kuin asennossa PF. Oksidisulkeuma on vieraan aineen muodostama oksidi, joka ei ole ehtinyt poistumaan hitsisulasta ennen sen jähmettymistä. Tämä väittämä vahvistaa käsitystä siitä, että asennon PF hitaampi hitsausnopeus mahdollistaa vieraiden partikkeleiden poistumisen hitsistä paremmin, kuin nopeammissa hitsausasennoissa PC ja PE.

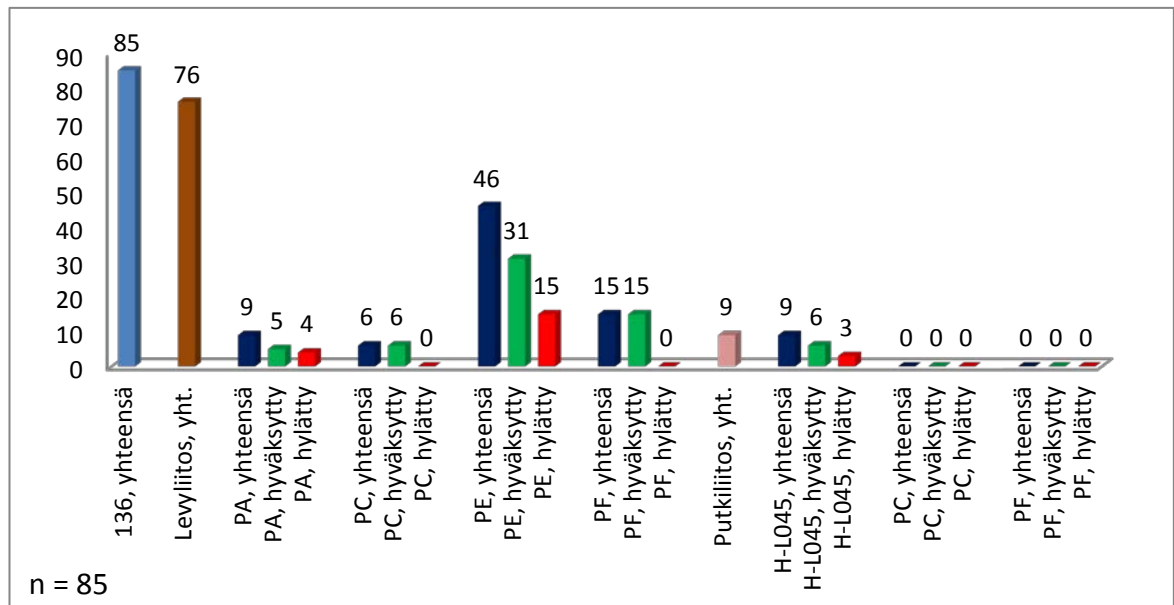


Kuvio 17. Prosessin 135 levyliitoksen asennoissa PC, PE ja PF hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen sulkeumien jakaantuminen eri virhetyyppeihin.

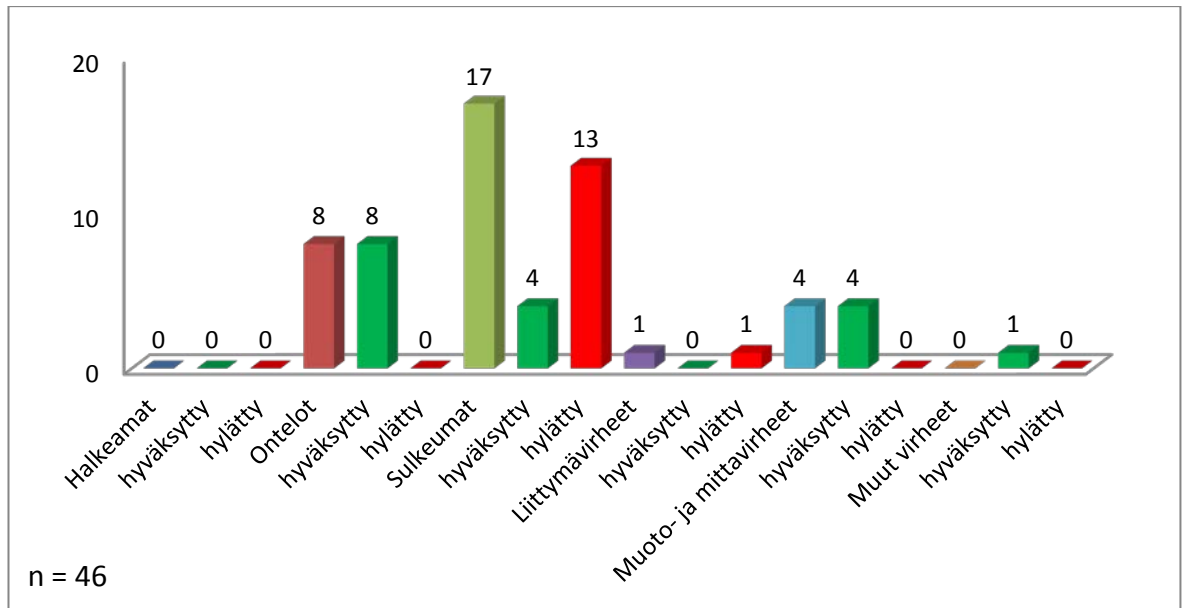
Prosessi 136 on kuvion 13 mukaan vielä enemmän levyhitsausprosessi kuin prosessi 135. Levykokeet painottuvat hitsausasentoon PE, mikä selittyy sillä, että kyseisessä asennossa hitsatulla pätevyyskokeella saa pätevyyden suorittaa levykokeita myös muissa hitsausasennoissa, kun muut oleelliset muuttujat pysyvät pätevyysalueella. Standardin suositus on hitsata pätevyyskokeet tuotannossa vastaaville prosesseille, mutta jos levyliitosten hitsausasennot ovat laajasti käytössä, niin PE on hyvä vaihtoehto levyliitoksen pätevyyskokeen hitsausasennoksi. Osaamisen johtamisen kannalta tässä on mielenkiintoista se, että peräti kolmannes PE asennossa hitsatuista levykokeista on hylätty. Yhdistelmäprosessin 135/136 hitsausasentotarkastelu ei anna lisävahvistusta asiaan, koska kyseisellä yhdistelmäprosessilla on hitsattu lukumääräisesti niin vähän kokeita, että niillä ei ole lopputu-

loksen kannalta merkitystä. Tähän on haettu tarkempaa selitystä ja perusteita hitsausvirheiden yksityiskohtaisessa tarkastelussa, joka on osoitettu kuviossa 19. Kyseisessä hitsausasennossa hitsatuissa pätevyyskokeissa prosessilla 136 havaitaan 15:sta kokeesta sulkeumia ja niistä peräti 11 on johtanut kokeen hylkäämiseen. Sulkeumatyyppien tarkastelussa kuviossa 20 voidaan havaita kaikkien sulkeumien olevan kuonasulkeumia, mikä on tyypillinen hitsausvirhe hitsausprosesseille, joissa hitsisulan suojaamiseen käytetään kuonaa. Kuona-aineeseen voidaan hitsaussuojakaasun lisäksi sekoittaa esimerkiksi pieni määrä happea, joka hitsisulassa reagoi vieraiden aineiden kanssa muodostaen oksideja. Matalan pintajännityksen ja juoksevuutensa vuoksi oksidit ja muut vieraat partikkelit liukenevat kuonaan ja poistuvat sen mukana hitsisulasta. Toisinaan hitsisula kuitenkin paikallisesti jähmettyy liian nopeasti ja kuonaa jää jähmettyneen hitsin sekaan.

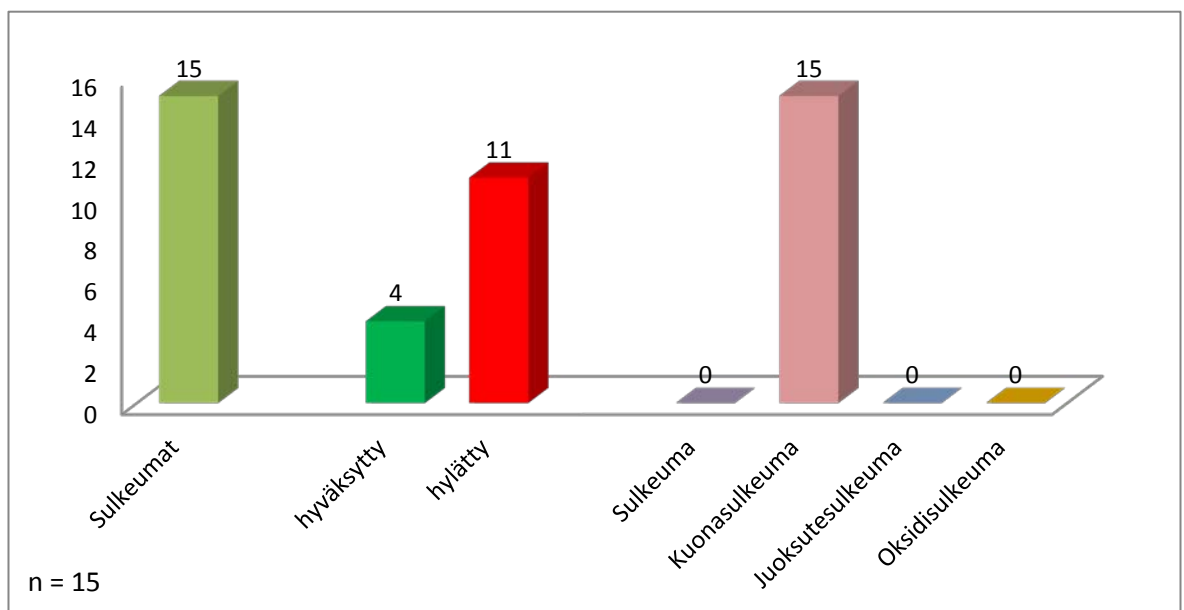
Prosessin 136 käytön putkiliitosten hitsauksessa selittää sama syy kuin prosessilla 135. Kyseiset putkikokeet ovat kaikki hitsattu suurimmalle putkenhalkaisijaryhmälle D3 kuvion 44 mukaisesti. Suoritusteknisesti nopeana hitsausprosessina suhteellisesti suurin osa kaikista levyliitoksista hitsausasennossa PA on hitsattu prosessilla 136.



Kuvio 18. Eri hitsausasunnoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 136.



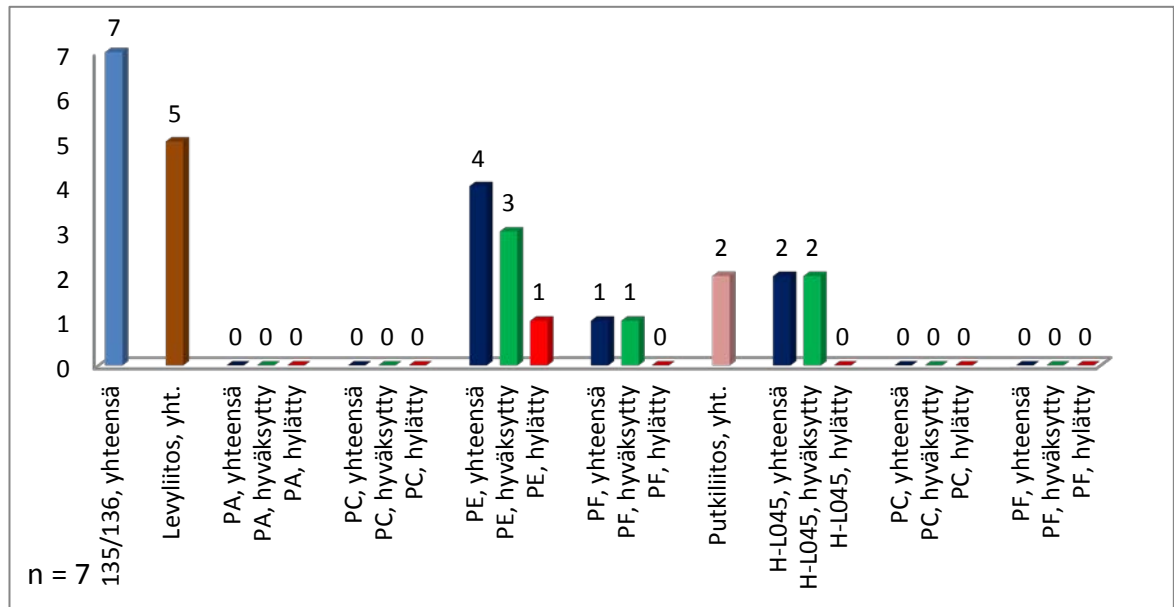
Kuvio 19. Hitsausprosessilla 136 hitsausasennossa PE levyliitokselle hitsattujen pätevyyskokeiden virheryhmäkohtainen tarkastelu.



Kuvio 20. Prosessilla 136 hitsausasennossa PE levyliitoksessa hitsattujen pätevyyskokeiden virhetarkastelussa havaitut sulkeumatyypit.

Yhdistelmäprosessilla 135/136 on hitsattu niin vähän kokeita, että pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei voi tehdä, mutta kyseisen prosessin tuloksista voi saada lisäpe-

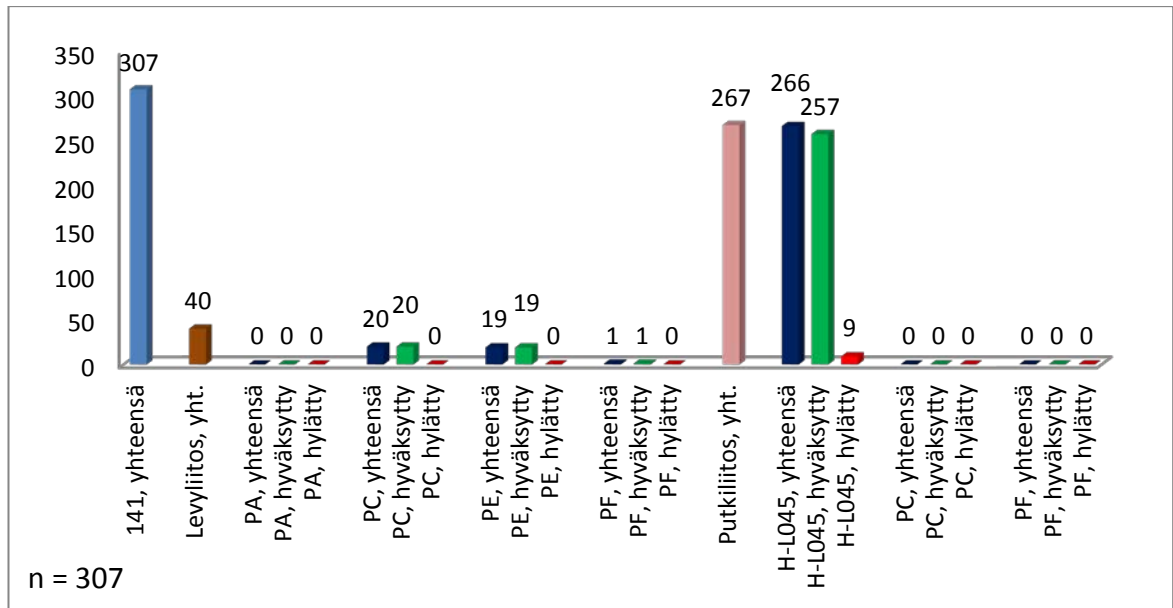
rusteita väittämiin perusprosessien 135 ja 136 pätevyyskokeiden tarkasteluun. Kuviossa 21 on nähtävissä mainitun yhdistelmäprosessin pätevyyskokeiden hitsausasennot eri tuotemuodoilla.



Kuvio 21. Eri hitsausasennoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 135/136.

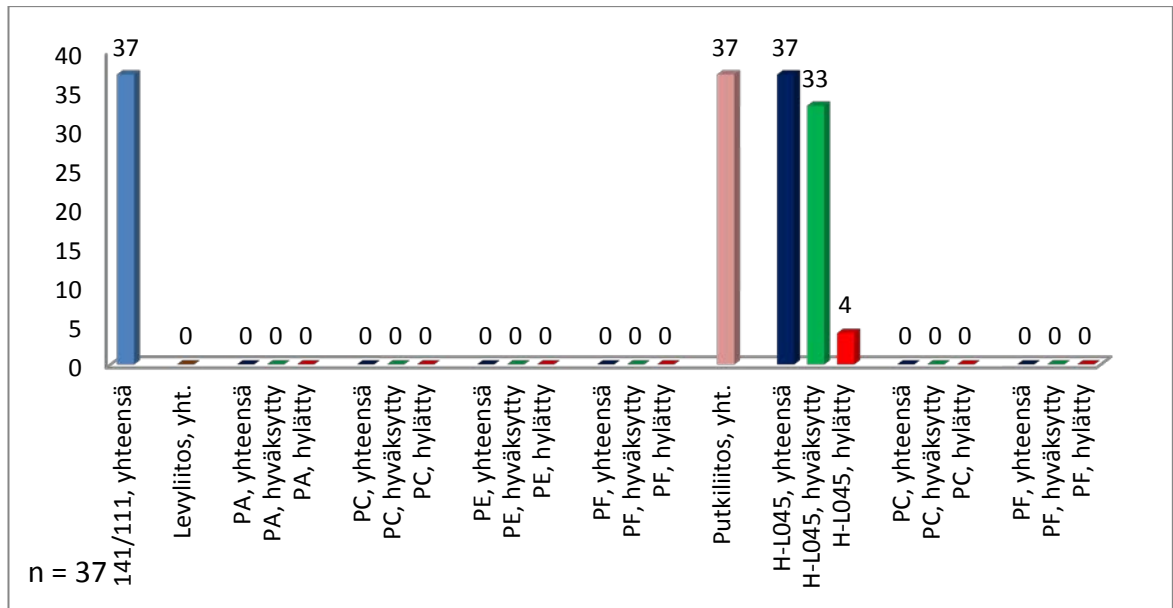
Prosessin 141 kaikki hylätyt pätevyyskokeet on hitsattu putkiliitoksina ja hitsausasennossa H-L045 kuvion 22 mukaisesti. Prosessilla on hitsattu eniten pätevyyskokeita, mutta tarkasti rajatulla alueella. Kuvio 38 ja kuvio 46 vahvistavat rajattua aluetta edelleen, eli kokeet painottuvat myös aneenvahvuuden ja putken halkaisijan suhteen pääasiassa yhdelle aineenvahvuus- ja halkaisija-alueella.

Pätevyyskokeiden suuren määrän vuoksi prosessin 141 hitsausvirhetarkastelu ja pätevyyskokeiden hylkäämisen syyt ovat tutkimuksen kannalta mielenkiintoisia, mutta prosessin rajattu käyttöalue rajoittaa vertailujen tekemistä.



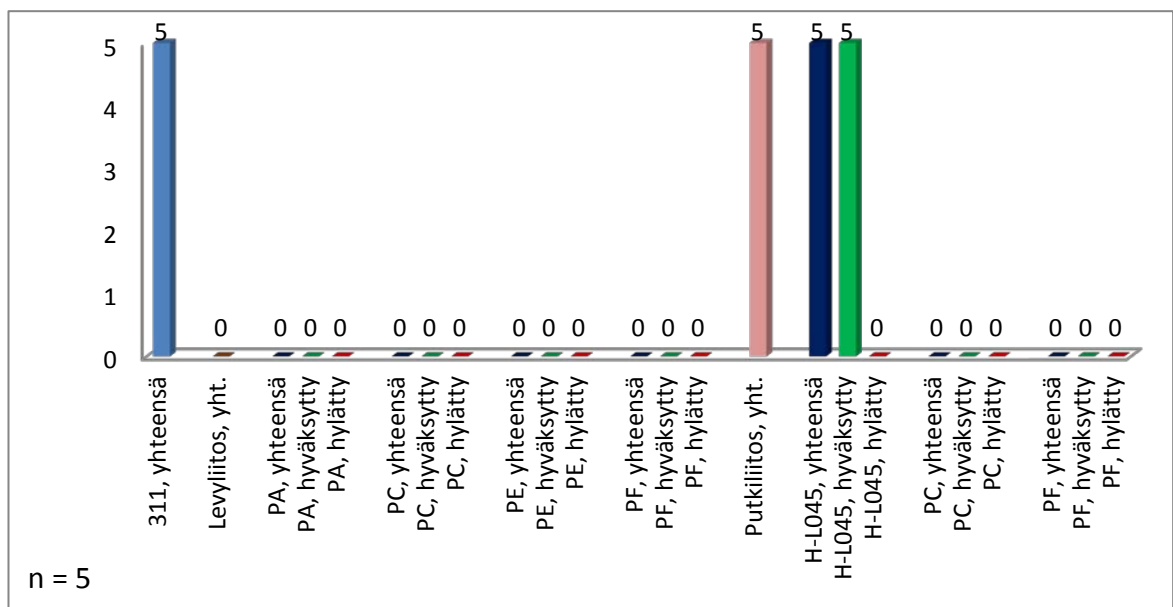
Kuvio 22. Eri hitsausasunnoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 141.

Yhdistelmäprosessilla 141/111 hitsatut pätevyyskokeet vahvistavat päätelmät prosessin 141 tuloksista. Kuviosta 23 on havaittavissa, että kaikki prosessin kokeet ovat olleet putkiliitoksia ja hitsattu asennossa H-L045. Poikkeuksen pelkästään 141 prosessilla hitsattuihin pätevyyskokeisiin tekee kuvion 38 ja kuvion 39 osoittama aineenvahvuusalue. Prosessilla 141 aineenvahvuus on painottunut alueelle t1 ja jonkin verran t2, kun yhdistelmäprosessilla aineenvahvuusalue painottuu alueelle t2 ja jonkin verran alueelle t3. Hylättyjen kokeiden määrä yhdistelmäprosessilla lähenee prosessin 111 kokeita kohti, mikä puolestaan vahvistaa käsitystä prosessin 141 pienemmästä virheherkkyydestä.



Kuvio 23. Eri hitsausasennoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 141/111.

Prosessilla 311 kaikki pätevyyskokeet on hitsattu samassa hitsausasennossa ja prosessilla ei ole yhtään hylättyä koetta, kuvion 24 mukaisesti, joten hitsausasentojen suhteen vertailun tekeminen ei ole tarkoituksenmukaista.



Kuvio 24. Eri hitsausasennoissa hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 311.

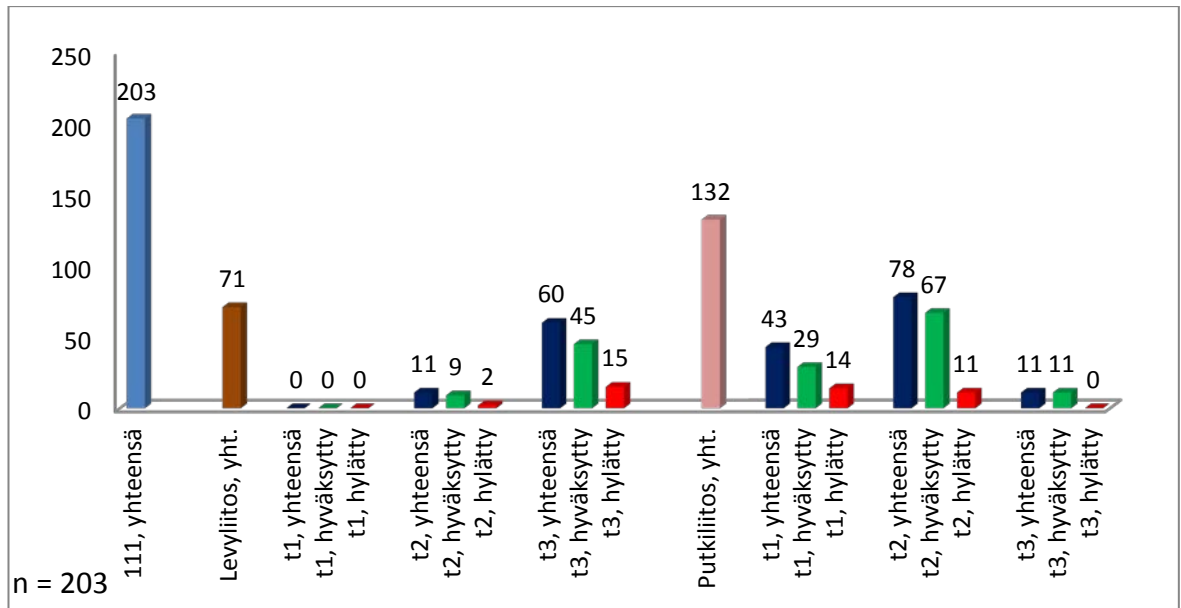
7.4.2 Eri aineenvahvuusalueille hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet eri hitsausprosesseilla ja tuotemuodoilla

Tutkimusaineiston pätevyyskokeet on jaettu standardin SFS-EN 287-1 mukaisesti kolmeen aineenvahvuusalueeseen. Periaatteessa jako on teoreettinen, koska kolmeosaisella jaolla pätevyyskokeella saavutettava aineenvahvuusaluepätevyys on hyvin laaja ja ei täysin kuvaa osaamistasoa. Kolmeen aineenvahvuusalueeseen jako on tutkimuksen tekijän rajaus.

Taulukko 2. Standardin SFS-EN 287-1 aineenvahvuusalueet ja sillä saavutettava pätevyysalue sekä tutkimuksessa aineenpaksuusalueesta käytetty lyhenne (SFS-EN 287-1, 22).

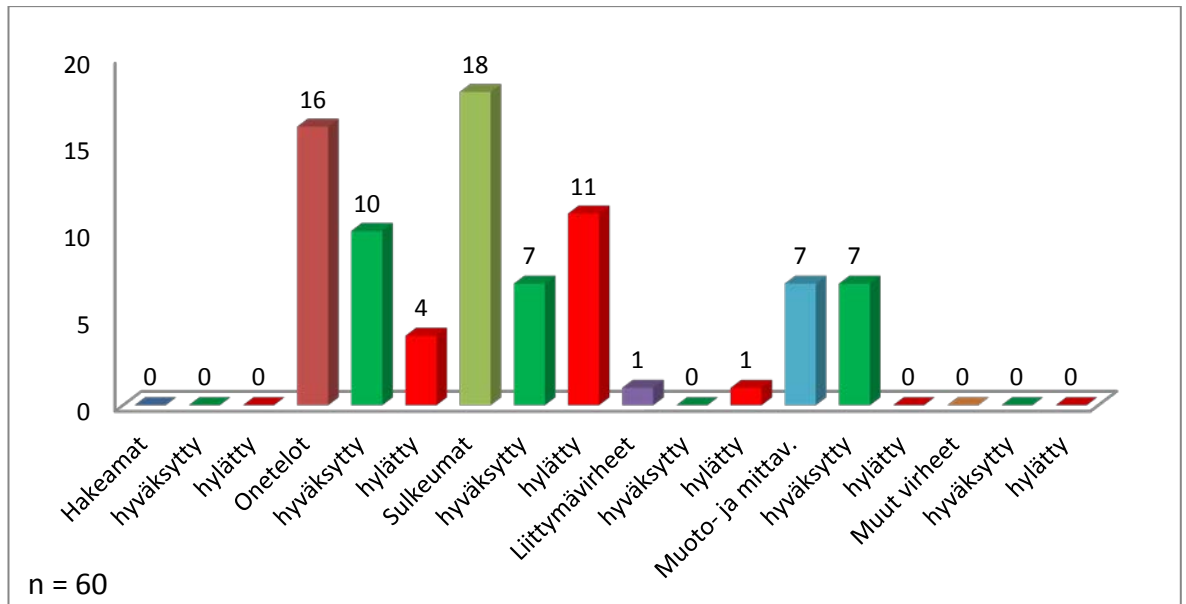
Aineenvahvuus ^a	Pätevyysalue	Merkintä tutkimuksessa
$t < 3$	$t \dots 2^*t^b$	t1
$3 \leq t \leq 12$	$3 \dots 2^*t^c$	t2
$t > 12$	≥ 5	t3
^a yhdistelmäkoeksessa pätee s_1 ja s_2 standardin taulukon 1 mukaan (s. 16)		
^b Happi-asetyleenihitsauksessa (311): $t \dots 1,5^*t$		
^c Happi-asetyleenihitsauksessa (311): 3 mm...1,5*t		

Prosessilla 111 levyliitosten pätevyyskokeet painottuvat alueelle t3, kuvion 25 mukaisesti. Osaamisen johtamisen kannalta mielenkiintoista tässä on tämän aineenvahvuusalueen pätevyyskokeiden suhteellisen suuri hylättyjen kokeiden määrä. Levyliitosten aineenvahvuusalueiden t1 ja t2 pätevyyskokeiden lukumäärä on niin pieni, että pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei voi tehdä. Putkiliitosten pätevyyskokeet painottuvat aineenvahvuusalueelle t2. Putkiliitoksissa hylättyjen kokeiden määrä on suhteellisen pieni, mutta aineenvahvuusalueen t1 kokeista lähes kolmannes on hylätty. Putkiliitosten pätevyyskokeita aineenvahvuusalueella t3 on tutkimusaineistossa niin vähän, että johtopäätöksiä sen suhteen ei kannata tehdä.

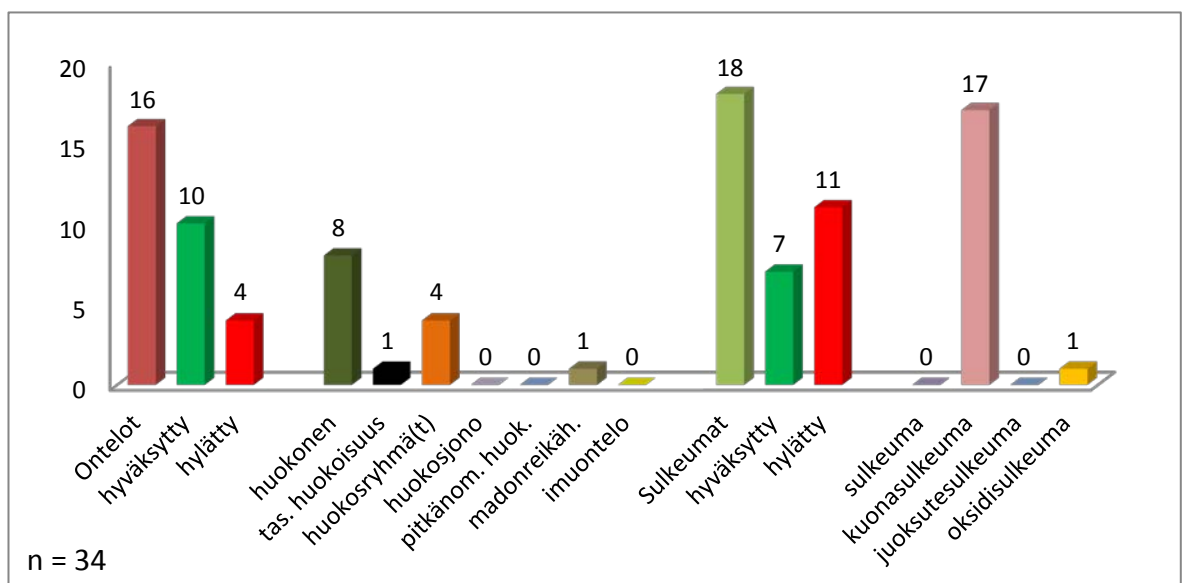


Kuvio 25. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 111 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos.

Tarkemmassa hitsausvirheryhmäkohtaisessa tarkastelussa kuviossa 26 levyliitoksen aineenvahvuusalueella t3 havaitaan virheiden olevan onteloita ja sulkeumia. Hitsausvirhekohtaisessa tarkastelussa kuviossa 27 huokokset ovat luokiteltu pääosin yksittäisiksi huokosiksi tai huokosryhmiksi. Sulkeumat ovat kaikki kuonasulkeumia. Huokos- tai huokosryhmä johtaa vain harvoin pätevyyskokeen hylkäämiseen ja kuviossa 27 onkin vääristymä, sillä tutkimusaineiston manuaalinen tarkastelu osoittaa, että vain yksi pätevyyskoe on hylätty huokosten tai huokosryhmän vuoksi. Virheen aiheuttaja on se, että huokosten kanssa samassa liitoksessa on ollut muita hitsausvirheitä, esimerkiksi sulkeumavirheitä. Tässä tapauksessa manuaalinen tutkimusaineiston tarkastelu osoittaa hitsausliitoksen hylkäämiseen johtaneet virheet ovat kuonasulkeumiksi.



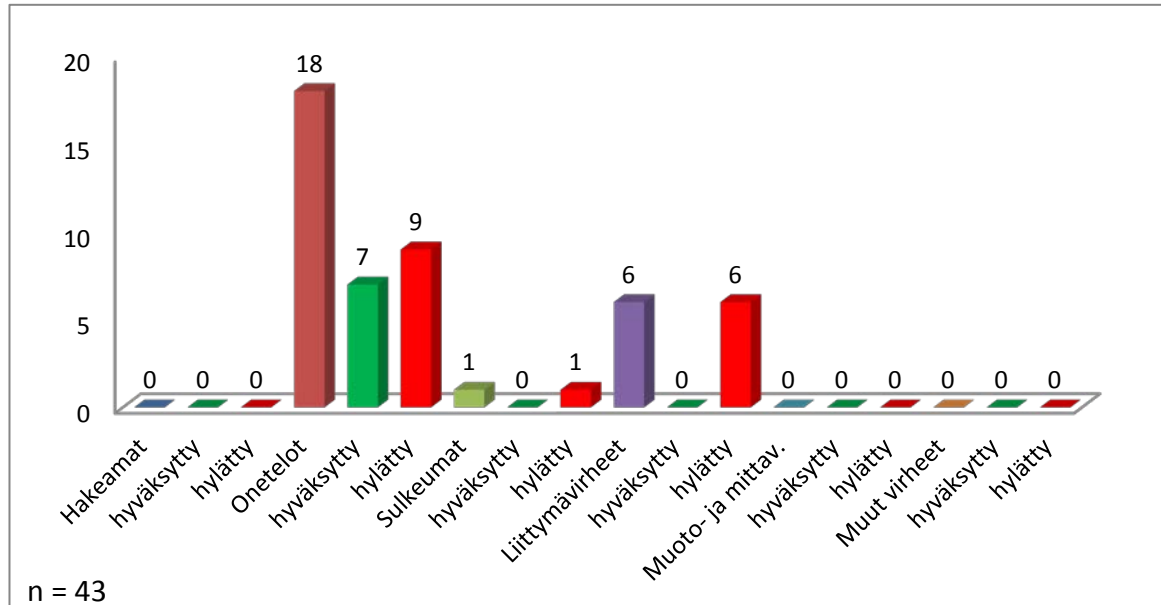
Kuvio 26. Prosessilla 111 levyliitoksena aineenvahvuusalueelle t3 hitsattujen pätevyyskokeiden virheryhmäkohtainen tarkastelu.



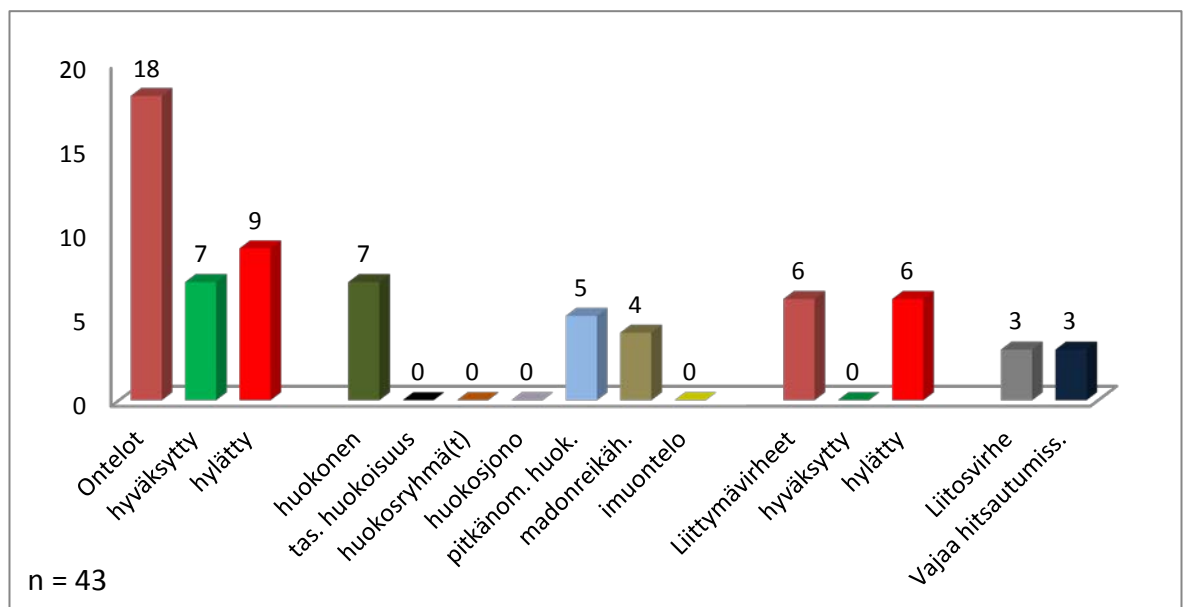
Kuvio 27. Prosessilla 111 levyliitoksena aineenvahvuusalueelle t3 hitsattujen pätevyyskokeiden virhetarkastelussa havaittujen onteloiden ja sulkeumien tarkastelu.

Putkiliitoksissa prosessilla 111 ja aineenvahvuusalueella t1 hitsausliitoksen hylkäämiseen johtavat virheet ovat kaikki onteloihin luokiteltavia kuvion 28 mukaisesti. Tarkemmassa hitsausvirhekohtaisessa tarkastelussa kuviosta 29 on havaittavissa, että ontelot ovat huokosia, pitkänomaisia huokosia ja madonreikähuokosia. Tutkimusaineistoa tutkittaessa voidaan tässäkin tapauksessa todeta, että yksittä-

set huokokset tai huokosryhmät eivät ole johtaneet pätevyyskokeen hylkäämiseen, vaan syynä on ollut madonreikähuokonen tai pitkänomainen huokonen tai toisen virheryhmän kuuluva hitsausvirhe liitosvirhe.



Kuvio 28. Prosessilla 111 putkiliitoksena aineenvahvuusalueelle t2 hitsattujen pätevyyskokeiden virheryhmäkohtainen tarkastelu.

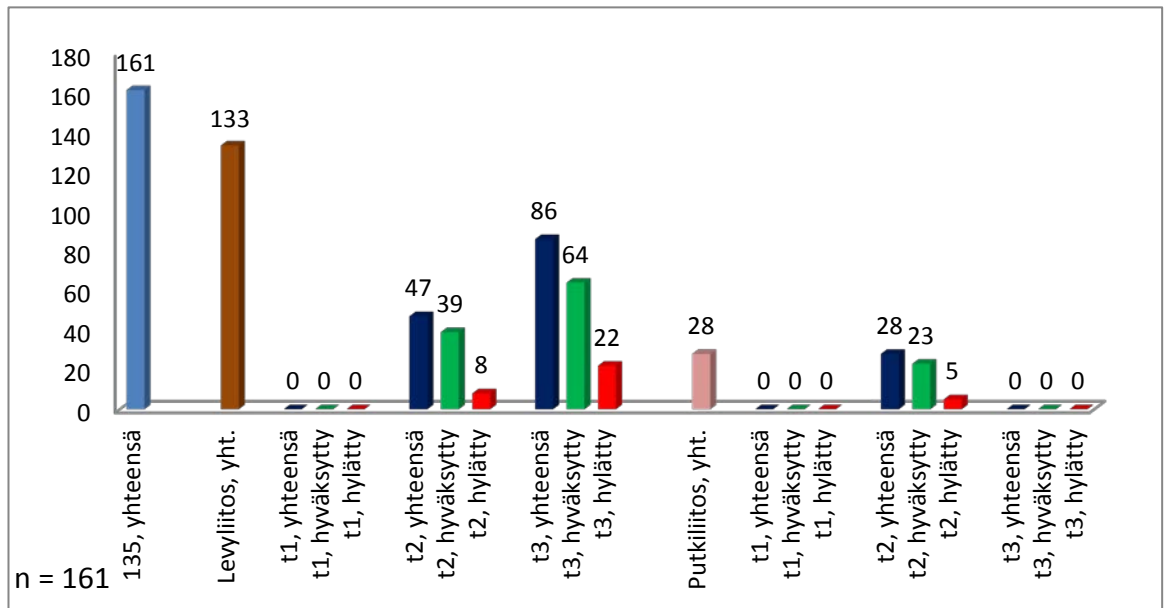


Kuvio 29. Prosessilla 111 putkiliitoksena aineenvahvuusalueelle t1 hitsattujen pätevyyskokeiden virhetarkastelussa havaittujen onteloiden ja liittymävirheiden tarkastelu.

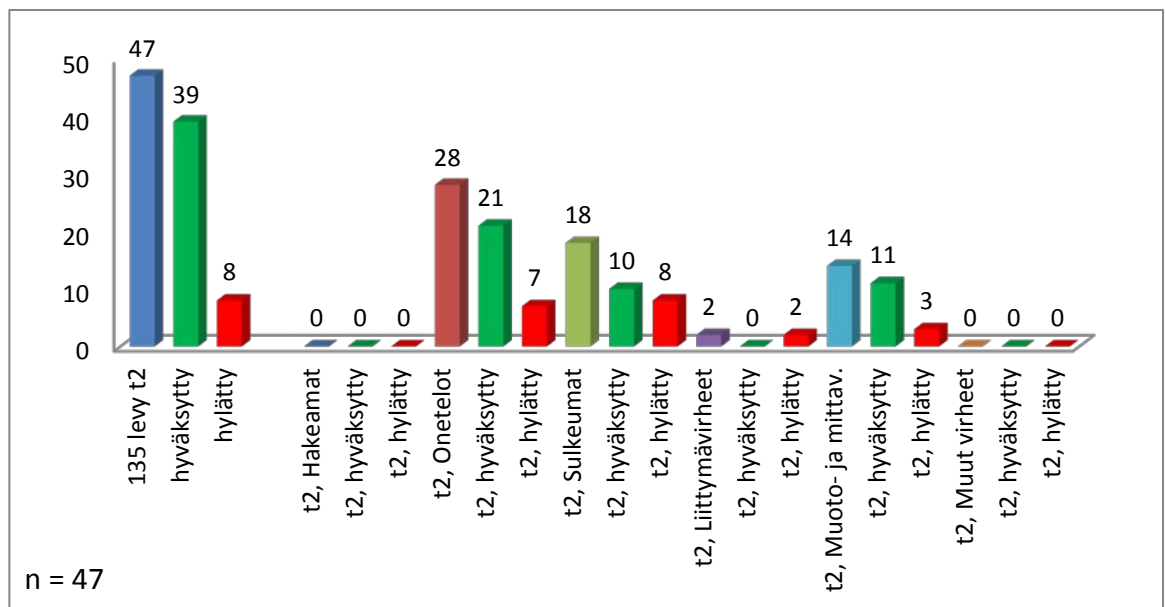
Kuvio 30 osoittaa, että prosessilla 135 pätevyyskokeet painottuvat levyliitoksilla aineenvahvuusalueelle t2 kuviossa 31 ja t3 kuviossa 32. Aineenvahvuusalueelle t1 ei ole hitsattu tällä prosessilla yhtään pätevyyskoetta. Aineenvahvuusalueen t3 suhteellisen suurta hylättyjen kokeiden osuutta on verrattu aineenvahvuusalueen t2 vastaaviin pätevyyskokeisiin kuviossa 33. Kuviosta voidaan havaita, että vastaavat hitsausvirheryhmät ja hitsausvirheet toistuvat aineenvahvuudesta riippumatta.

Merkittävän poikkeaman eri aineenvahvuusalueilla muodostaa liittymävirheiden ja nimenomaan liitosvirheiden poikkeuksellisen suuri määrä. Tämä on paksummalle aineenvahvuusalueelle selitettävissä sillä, että hitsausliitoksessa lämpö siirtyy nopeammin perusaineeseen, aiheuttaen sen, että hitsisula vyöryy sulamattoman perusaineen päälle niin, että metallista liitosta ei pääse paikallisesti muodostumaan. Liitosvirheiden runsaus selittää lähes kokonaisuudessaan suhteellisen suuren hylättyjen kokeiden määrän. Toinen huomattava poikkeama eri aineenvahvuuksilla hitsatuilla pätevyyskokeilla on mitta- ja muotovirheisiin lukeutuvan katkonaisen reunahaavan määrä, joka on aineenvahvuusalueella t2 huomattavasti suurempi. Tämä on selitettävissä sillä, että ohuessa aineenvahvuudessa valokaaren pituutta ja vapaata lisäainelangan pituutta joudutaan hitsauksessa tosiaikaisesti säätelämään, jotta perusaineessa ei tapahtuisi läpipalamista. Tämä aiheuttaa muutoksia hitsausprosessin sähkötekniisiin ominaisuuksiin, jotka ovat reunahaavan aiheuttamisen syitä. Katkonainen reunahaava aiheuttaa kuitenkin harvoin pätevyyskokeen hylkäämisen. Paksumassa aineenvahvuudessa on suhteellisesti vähemmän ontelaita. Selityksenä asialle on se, että paksumpaan aineenvahvuuteen hitsataan yleensä useampia palkokerroksia. Päälle hitsattava palkokerros uudelleen sulattaa alemman hitsauspalkokerroksen pintaa ja poistaa siitä myös huokosia. Ylemmissä palkokerroksissa puolestaan läpipalamisen vaara on pienempi ja palot voidaan hitsata suuremmalla hitsausteholla. Tämä puolestaan mahdollistaa sen, että hitsisula pysyy pidempään sulassa muodossa, mahdollistaen huokosten poistumisen hitsiaineesta.

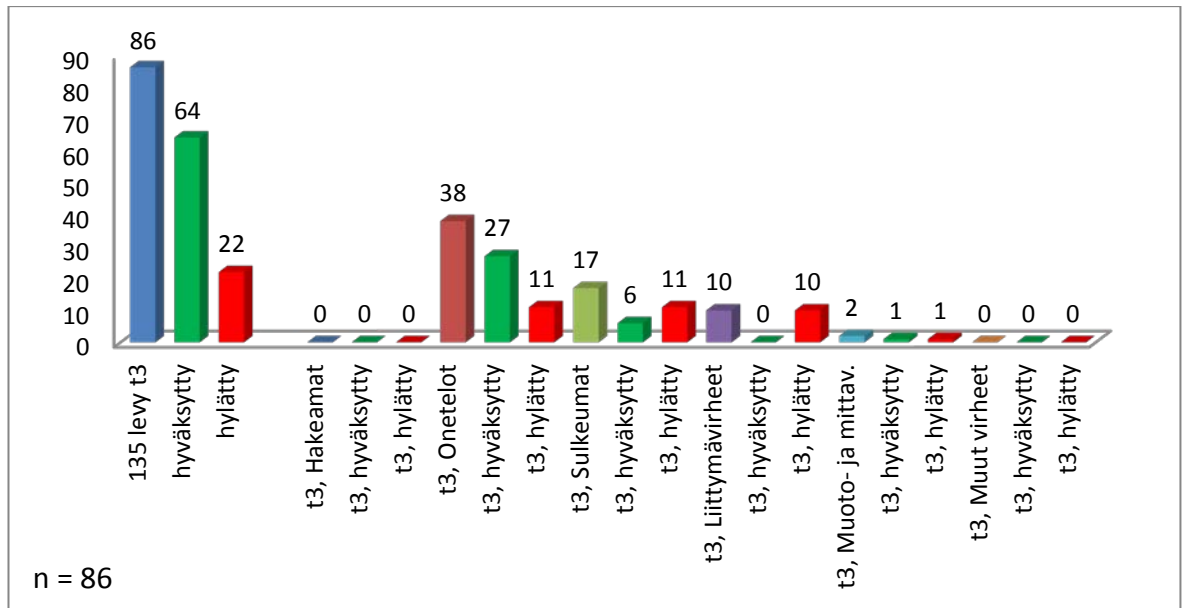
Putkiliitoksen pätevyyskokeet prosessilla 135 on hitsattu kaikki samalle aineenvahvuusalueelle, joten vertailua sen suhteen ei ole mahdollista tehdä.



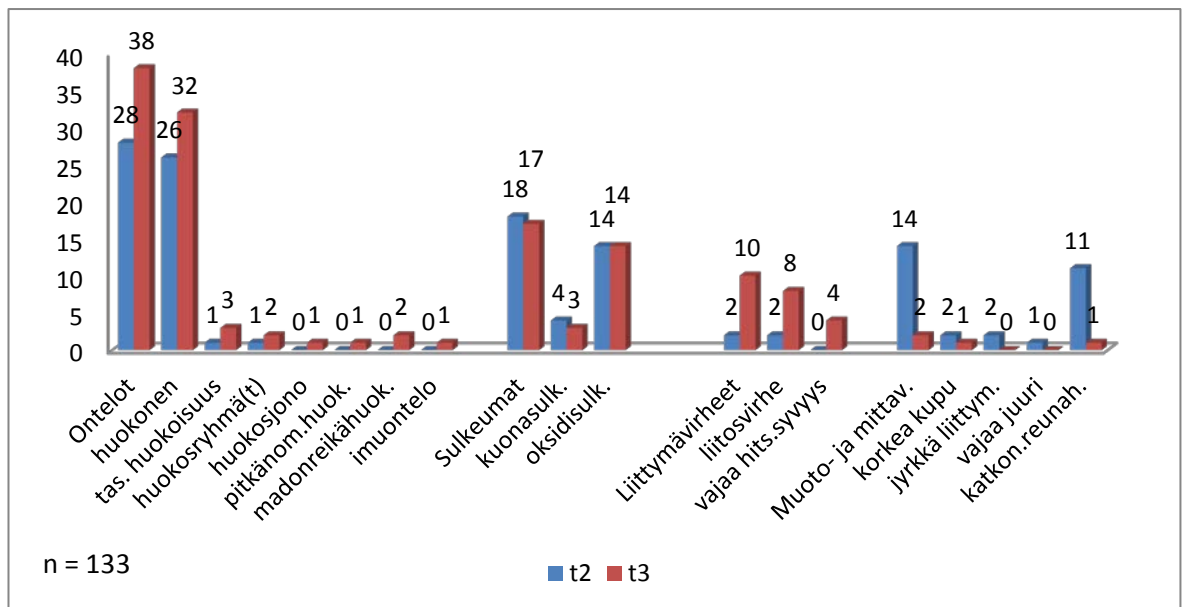
Kuvio 30. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 135 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos



Kuvio 31. Prosessilla 135 aineenvahvuusalueelle t2 hitsattujen pätevyyskokeiden tarkastelu hitsausvirheryhmittäin.



Kuvio 32. Prosessilla 135 aineenvahvuusalueelle t3 hitsattujen pätevyyskokeiden tarkastelu hitsausvirheryhmittäin.

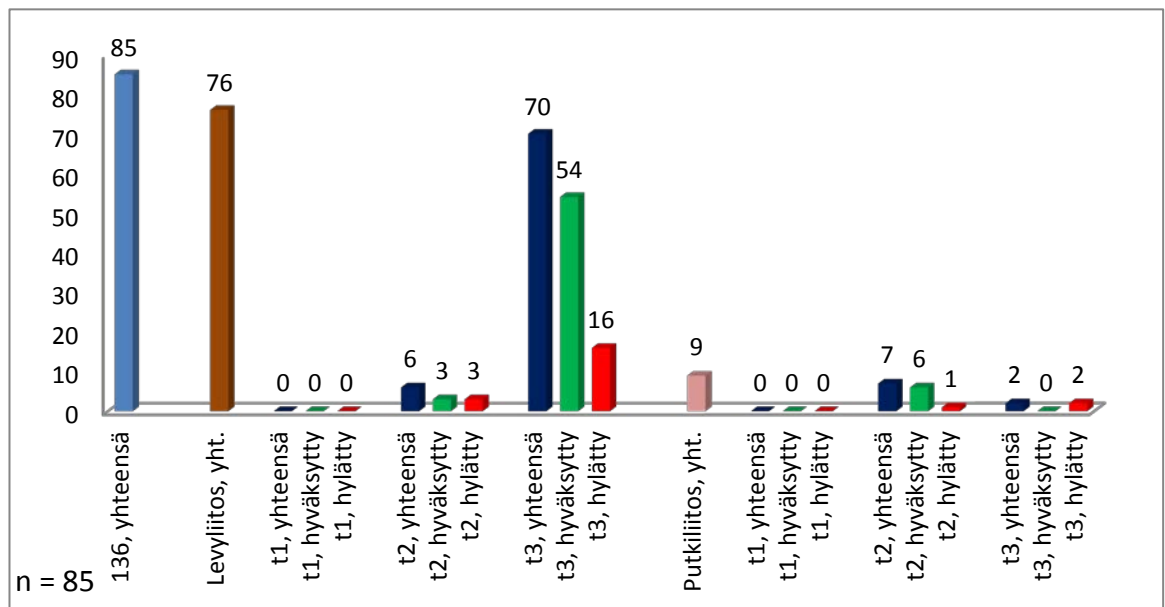


Kuvio 33. Prosessilla 135 aineenvahvuusalueelle t2 ja t3 hitsattujen pätevyyskokeiden hitsausvirheryhmä- ja hitsausvirhekohtainen tarkastelu.

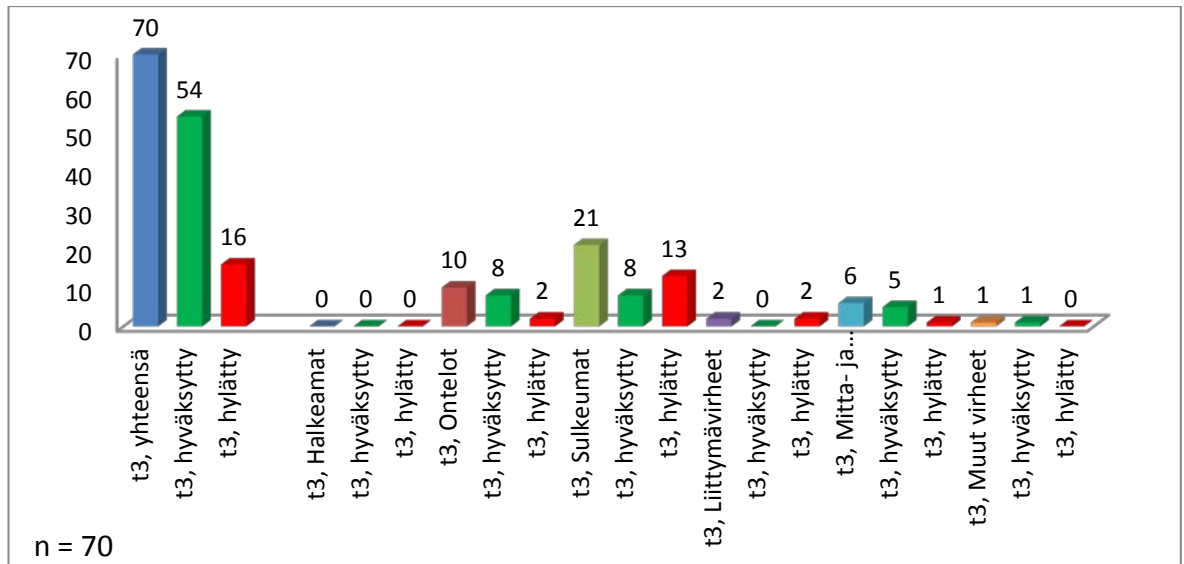
Prosessi 136 painottuu voimakkaasti levyliitosten aineenvahvuusalueelle t3. Hylättyjen kokeiden suhteellinen määrä on noin neljännes, mutta lukumääräisesti kokeita on niin paljon, että hitsausvirheanalyysissä hylkäyksen syistä voi tehdä osaamisen johtamisen kannalta kehittäviä päätelmiä. Hitsausvirheet ovat kuvion 35 perusteella onteloita ja sulkeumia. Onteloita sisältävistä hitsausliitoksista kaksi on

hylätty, mutta hylkäämisen syy ei todennäköisesti ole yksistään tai ei lainkaan onkaloissa. Näissä kahdessa hitsausliitoksessa on tutkimusaineiston manuaalisessa tarkastelussa havaittu myös hitsausvirheitä, jotka ovat vakavuusasteeltaan sellaisia, jolloin hitsausliitos yleensä hylätään. Kuvion 36 mukaan onkalot ovat jakaantuneet niin moneen virhetyyppiin, että johtopäätösten tekeminen on vaikeaa. Sulkeumat ovat kolmea poikkeusta lukuun ottamatta kuonasulkeumia, joka on tyypillinen hitsausvirhe prosessilla 136 hitsattaessa.

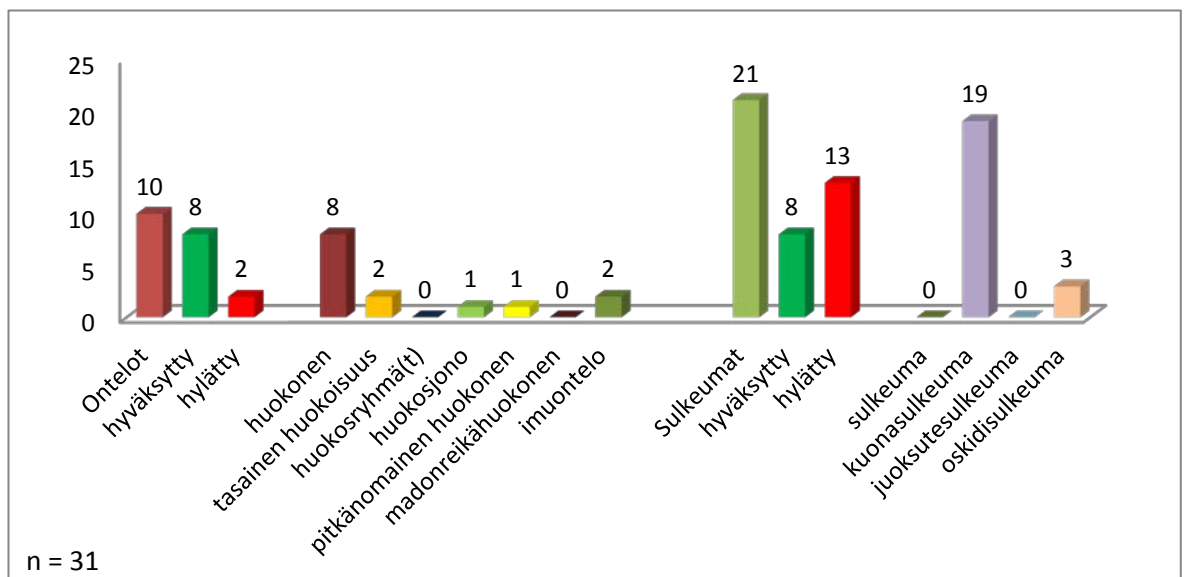
Levyliitosten muilla aineenvahvuusalueilla ja putkiliitoksilla pätevyyskokeiden määrä on niin pieni, että pitkälle meneviä johtopäätöksi hitsausasennon vaikutuksesta ei voi tehdä.



Kuvio 34. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 136 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos

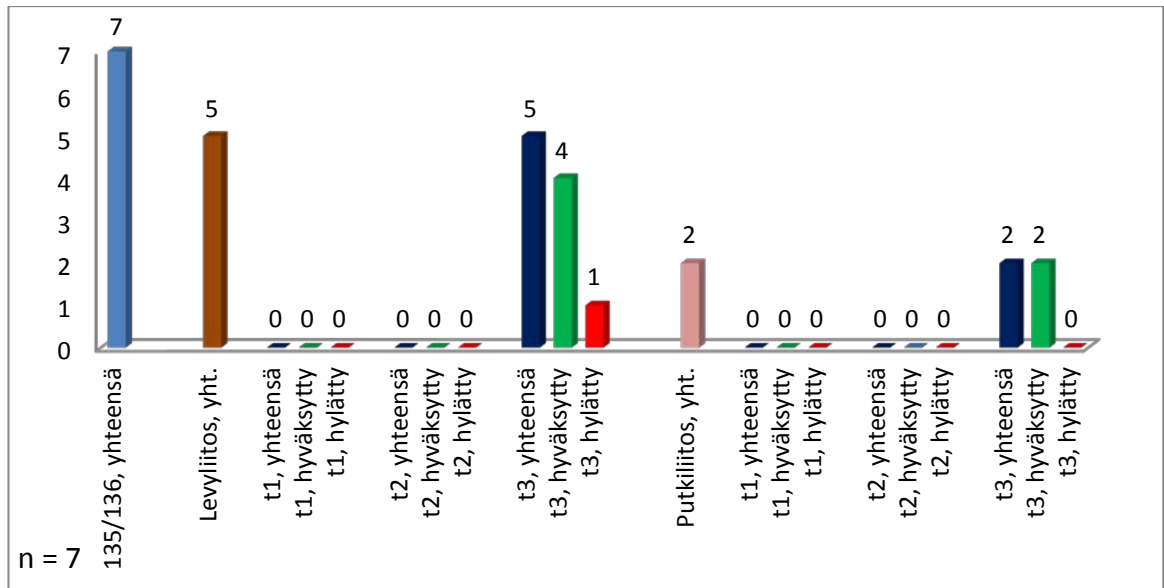


Kuvio 35. Prosessilla 136 aineenvahvuusalueelle t3 hitsattujen pätevyyskokeiden tarkastelu hitsausvirheryhmittäin.



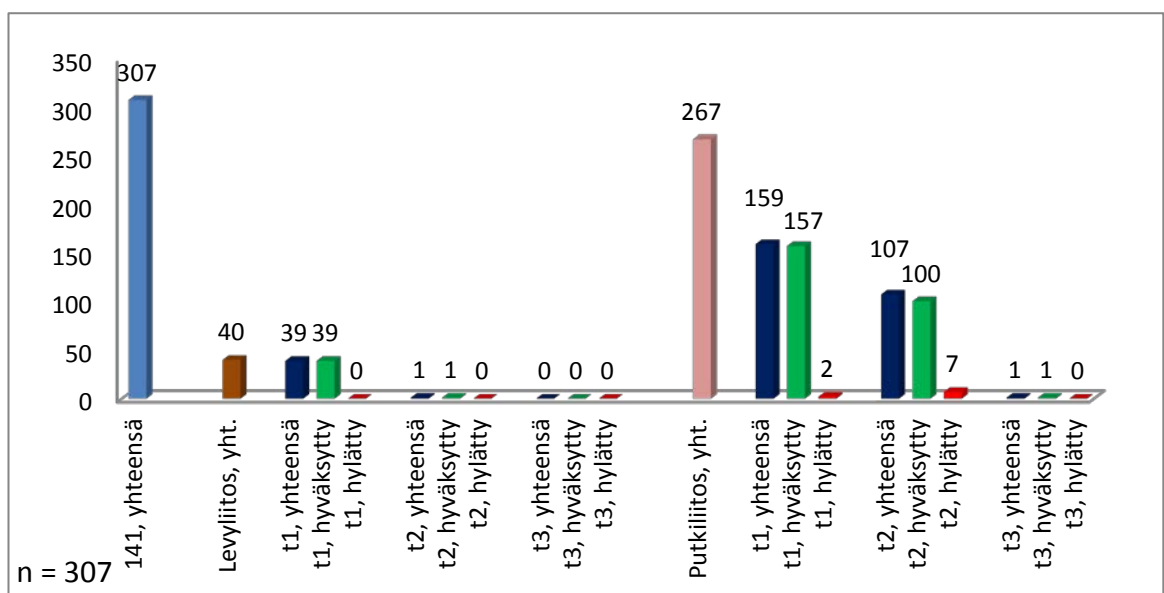
Kuvio 36. Prosessilla 136 aineenvahvuusalueelle t3 hitsatuissa pätevyyskokeissa todetut onkalot ja sulkeumat hitsausvirhetyypeittäin.

Yhdistelmäprosessilla 135/136 on hitsattu niin vähän kokeita, että pitkälle meneviä päätelmiä ei voi tehdä. Käytetyt aineenvahvuusalueet ovat samoilla alueilla kuin perusprosessien 136 ja 135 pätevyyskokeiden aineenvahvuudet. Yhdistelmäprosessien pätevyyskokeet painottuvat paksumpiin aineenvahvuuksiin, kun pohjapallon hitsausprosessilla haetaan lähinnä läpihitsattavuuteen suoritusvarmuutta ja väli- sekä pintapalkojen hitsauksessa haetaan hitsiaineen korkeaa tuottavuutta.



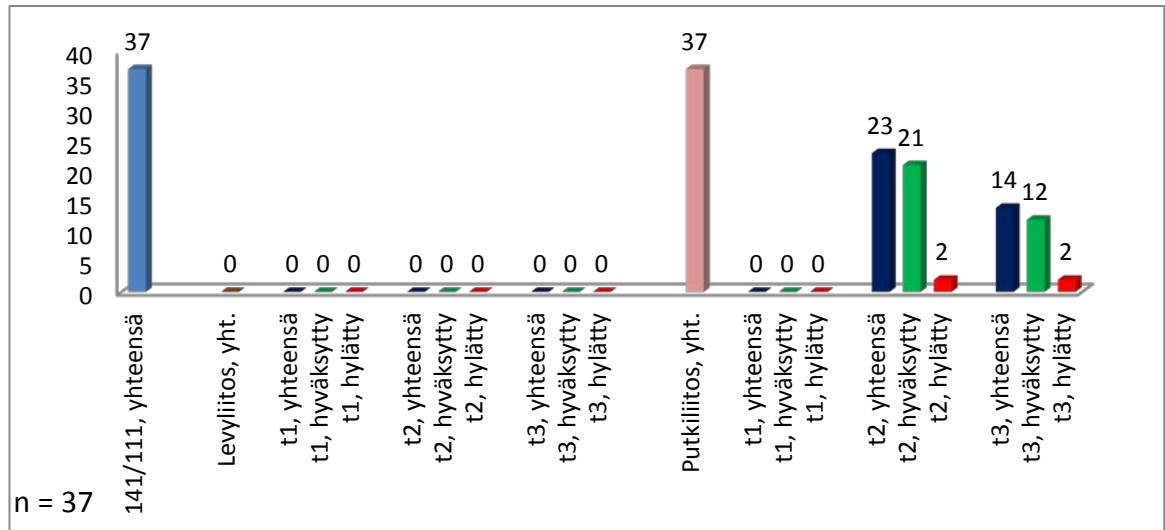
Kuvio 37. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmähitsausprosessilla 135/136 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos

Kuvio 38 osoittaa prosessin 141 prosessin hylättyjen kokeiden määrän niin pieneksi, että johtopäätösten tekeminen aineenvahvuuden perusteella ei ole tarkoituksenmukaista.



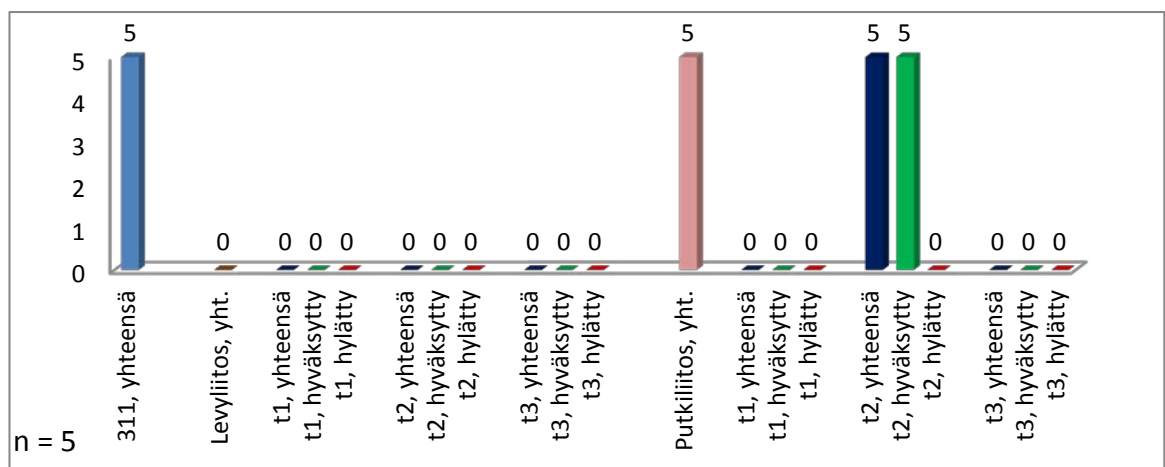
Kuvio 38. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 141 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos

Yhdistelmäprosessin 111/141 hylättyjen kokeiden määrä on kuvion 39 mukaan niin pieni, että aineenvahvuuden vaikutuksesta ei ole tarkoituksenmukaista tehdä johtopäätöksiä. Lähinnä kuvio 39 vahvistaa yhdistelmäprosessin luonnetta prosessina, jossa pohjapalkoon haetaan suoritusvarmuutta ja pintapakoihin tuottavuutta.



Kuvio 39. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmähitsausprosessilla 111/141 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos

Prosessin 311 pätevyyskokeiden määrä on niin pieni, että pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei kannata tehdä. Prosessin kaikki pätevyyskokeet on hitsattu aineenvahvuusalueelle t2 kuvion 40 mukaisesti.



Kuvio 40. Eri aineenvahvuusalueilla hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 311 sekä tuotemuodoilla levy- ja putkiliitos

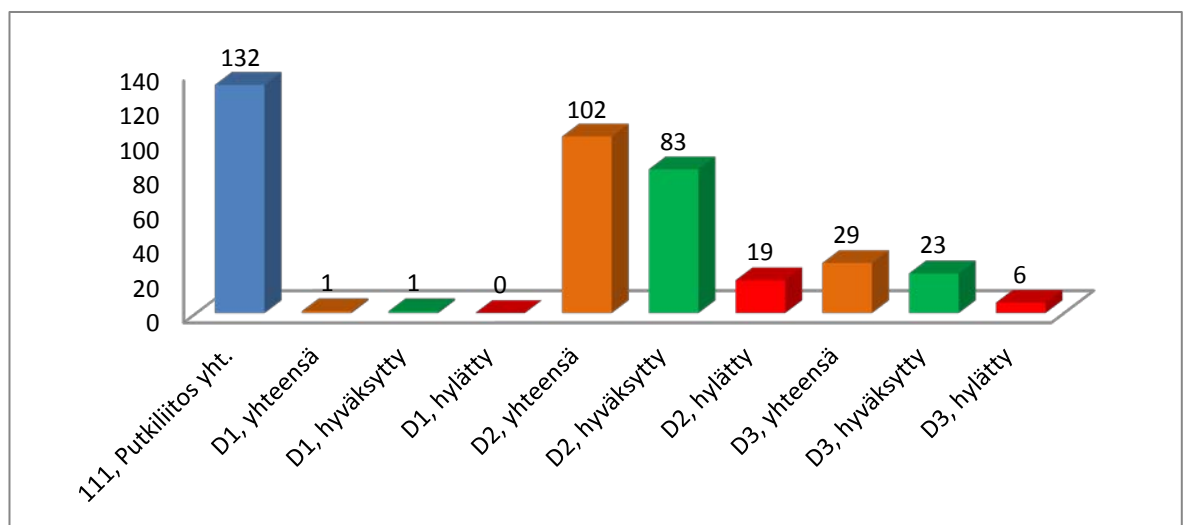
7.4.3 Eri putkenhalkaisija-alueille hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet eri hitsausprosesseilla

Pätevyyskoestandardi määrittelee vain kaksi koekappaleiden ulkohalkaisija-alueita, jonka perusteella pätevyysalue määräytyy. Tarkemman tiedon selvittämiseksi tässä tutkimuksessa jaettiin paksumman halkaisija-alueen vielä kahteen osaan.

Taulukko 3. Standardin SFS-EN 287-1 putken ulkohalkaisija-alueet ja sillä saavutettava pätevyysalue sekä tutkimuksessa halkaisija-alueesta käytetty lyhenne (SFS-EN 287-1, 22).

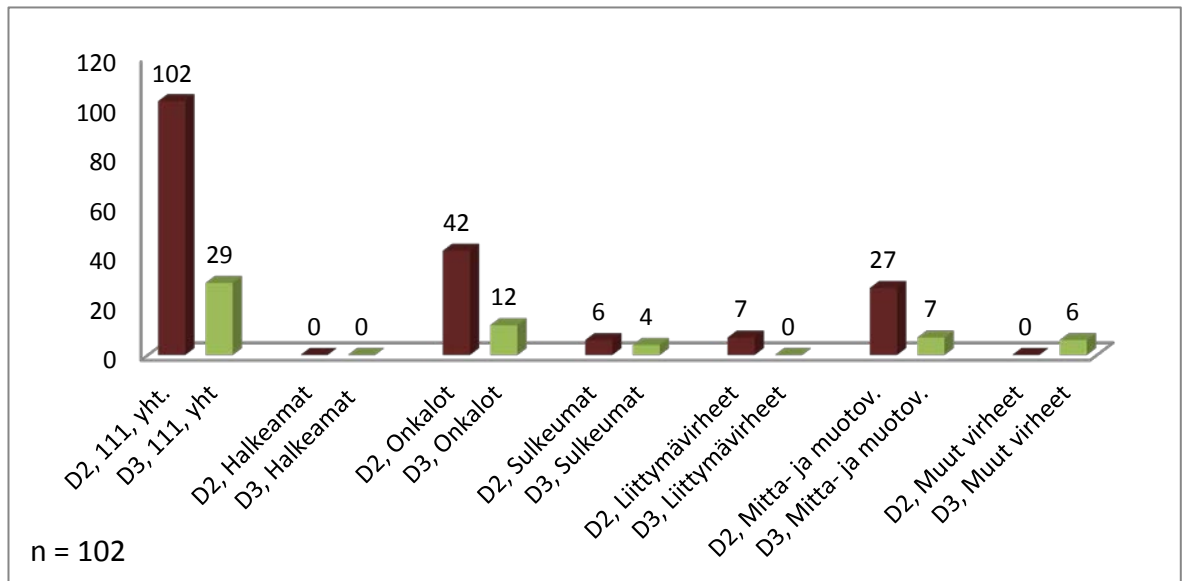
Koekappaleen ulkohalkaisija D (mm)	Pätevyysalue (mm)	Merkintä tutkimuksessa
$D \leq 25$	$D \dots 2 \cdot D$	D1
$25 < D \leq 50$	$\geq 0,5 \cdot D$ (25 mm min.)	D2
$D > 50$	$\geq 0,5 \cdot D$	D3

Prosessilla 111 hitsatut putkiliitokset painottuvat halkaisija-alueelle D2. Alueelle D3 on kokeita hitsattu lukumääräisesti niin paljon, että johtopäätöksiä voidaan tehdä. Lähinnä kuviosta 41 on havaittavissa, että hylättyjen kokeiden suhteellinen määrä on samaa luokkaa halkaisija-alueilla D2 ja D3. Tästä voidaan päätellä, että putken halkaisijalla ei ole prosessilla 111 merkitystä sellaisten hitsausvirheryhmien tai hitsausvirheiden muodostumiselle, mitkä johtaisivat pätevyyskokeiden hylkäämiseen.



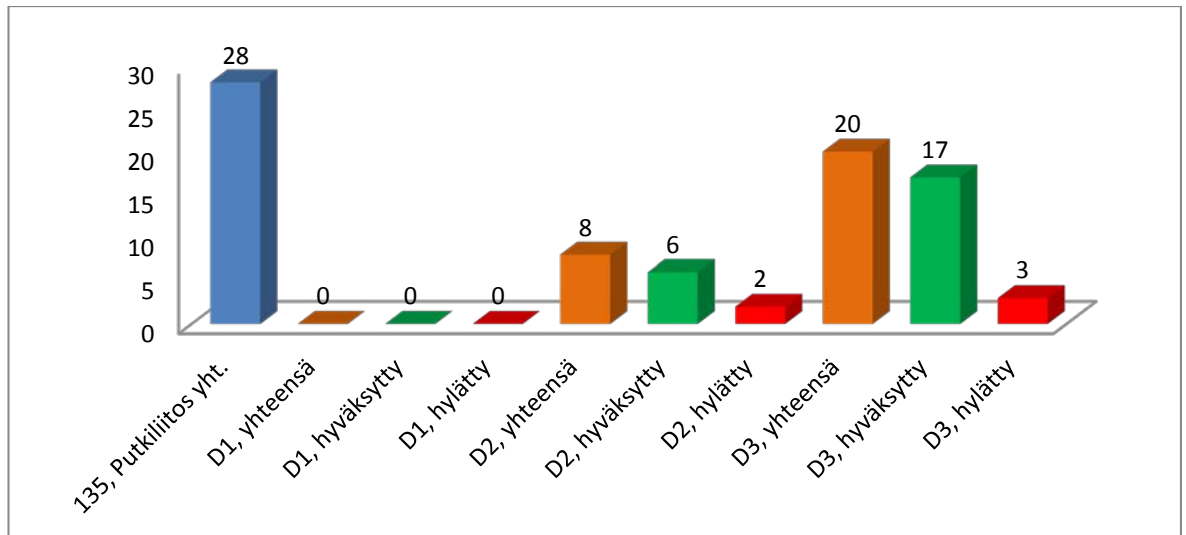
Kuvio 41. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet hitsausprosessilla 111.

Virheryhmäkohtaisessa vertailussa prosessilla 111 ja putkenhalkaisija-alueilla D2 ja D1 (kuvio 42) voidaan havaita, että virhetyyppien määrä kummallakin halkaisija-alueella on likimain samassa suhteessa hitsattujen pätevyyskokeiden kokonaismäärään nähden. Virheryhmät, joissa virheiden määrä on pienempi, poikkeamat ovat suuremmat, mutta näissä pieni kokonaismäärä aiheuttaa sen, että pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei kannata tehdä.



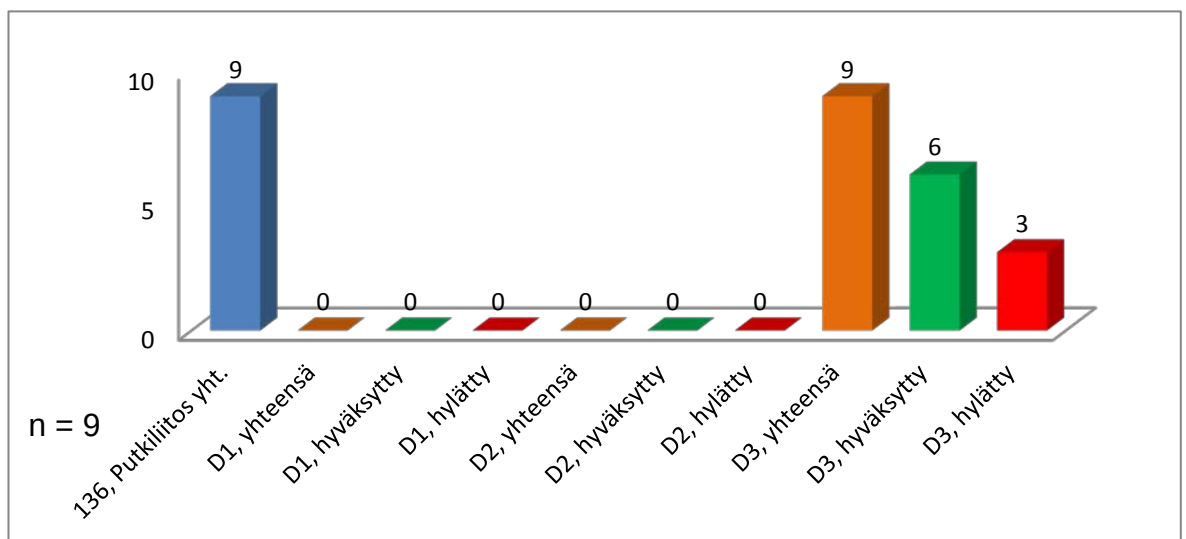
Kuvio 42. Hitsausvirheryhmien vertailu prosessin 111 putken halkaisija-alueilla D2 ja D3.

Prosessilla 135 hylättyjen pätevyyskokeiden määrä on niin pieni, että pitkälle meneviä johtopäätöksiä halkaisijan vaikutuksesta hitsausvirheryhmien tai hitsausvirheiden muodostumiseen ja kokeen hylkäämisen syihin ei kannata tehdä.



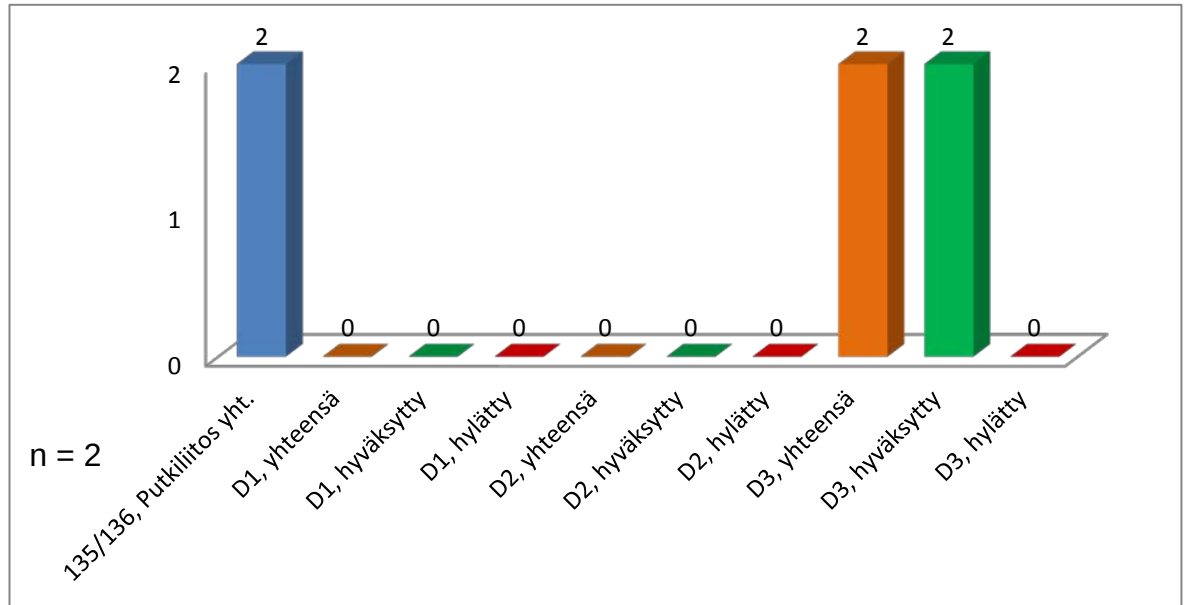
Kuvio 43. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet hitsausprosessilla 135

Prosessilla 136 on hitsattu vain yhdeksän pätevyyskoetta putkiliitokselle, jotka kaikki putkenhalkaisija-alueelle D3. Kolmannes kokeista on hylätty, mutta määrä on niin pieni, että pitkälle meneviä johtopäätöksiä halkaisijan merkityksestä ei voi tehdä.



Kuvio 44. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet hitsausprosessilla 136

Yhdistelmäprosessilla 135/136 on hitsattu vain kaksi pätevyyskoetta putkiliitokselle, joista molemmat halkaisija-alueelle D3. Kokeiden pienestä lukumäärästä johtuen ei voida tehdä minkään laisia johtopäätöksiä.

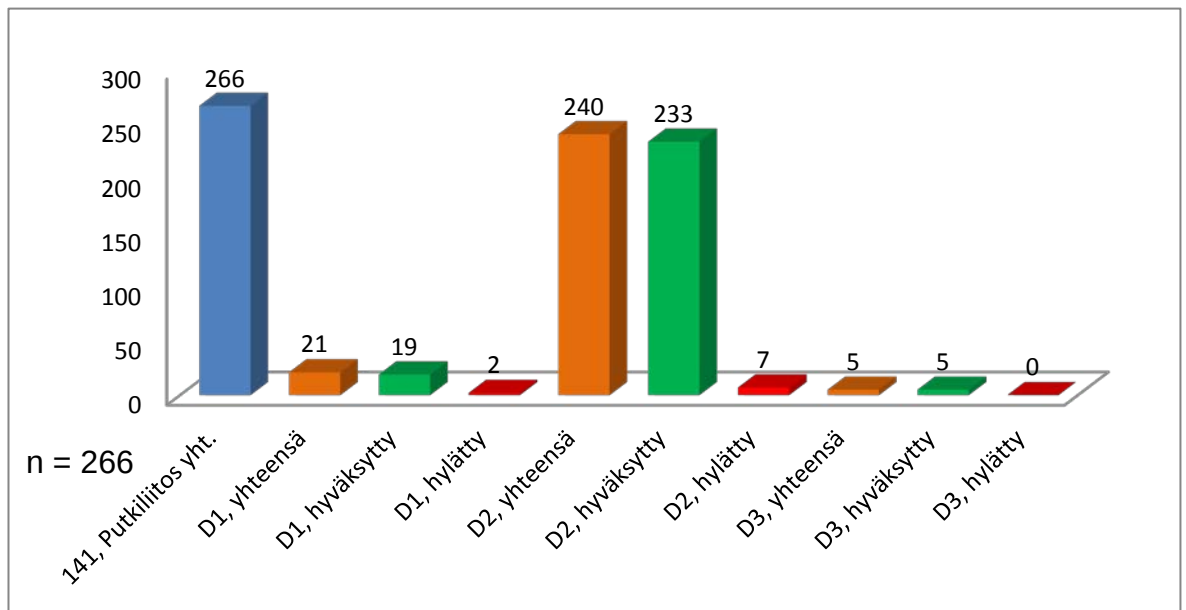


Kuvio 45. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 135/136

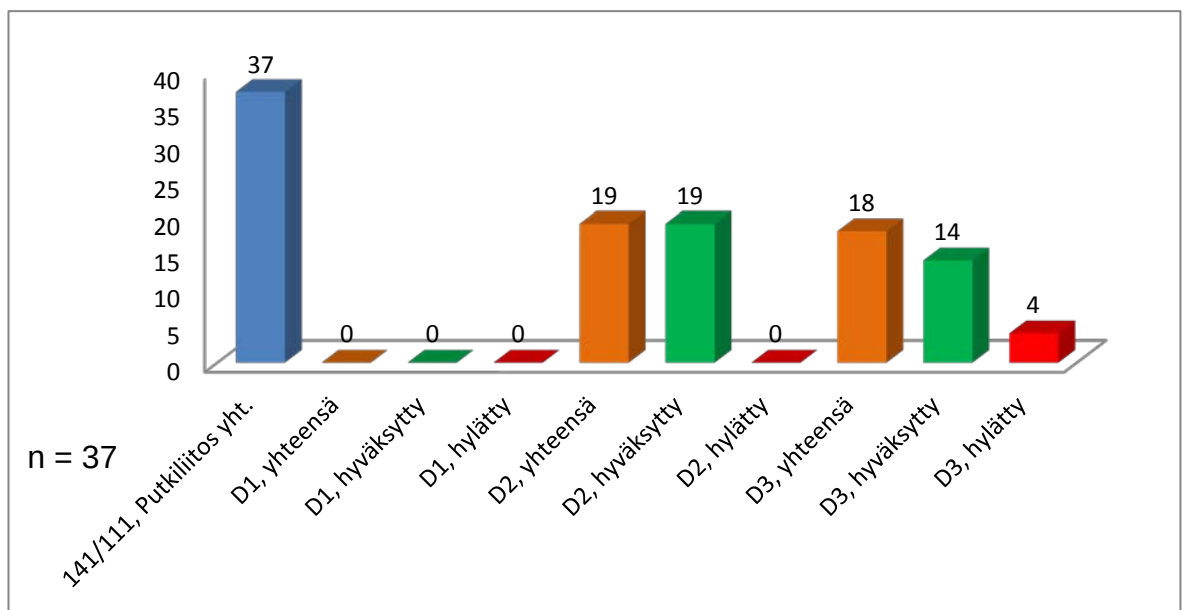
Prosessilla 141 on putkiliitoksille hitsattu lukumääräisesti paljon pätevyyskoetta, kuvion 46 mukaisesti. Nämä kokeet painottuvat putkenhalkaisijaluokkaan D2. Tämän prosessin positiivinen ongelma on pieni hylättyjen kokeiden määrä, jonka perusteella pätevyyskokeen oleellisten muuttujien vaikutusta on vaikea selvittää ja johtopäätösten tekeminen ei ole mielekästä. Ainoana johtopäätöksenä tällä prosessilla voidaan tehdä, että putkenhalkaisijalla ei ole vaikutusta hitsausvirheiden tai hitsausvirheryhmien muodostumiseen niin, että ne johtaisivat pätevyyskokeen hylkäämiseen.

Kuvion 47 mukaisesti yhdistelmäprosessin pätevyyskokeet putkiliitoksilla painottuvat tasaisesti halkaisija-alueille D2 ja D3. Halkaisija-alueella D2 hylättyjä kokeita ei ole lainkaan. Halkaisija-alueella D3 lähes neljännes pätevyyskoesta on hylätty. Hylättyjen määrä on tässäkin niin pieni, että yhden kokeen hyväksyminen pudotaisi hylättyjen määrän kuudennekseen, joten pitkälle meneviä johtopäätöksiä halkaisijan vaikutuksesta ei voi tehdä. Erikoista tässä on lähinnä se, että koke-

musperäisen tiedon mukaan halkaisijaltaan suuremman putken hitsaaminen on suoritusteknisesti helpompaa, joten sen tiedon kanssa tämä tulos on ristiriidassa.

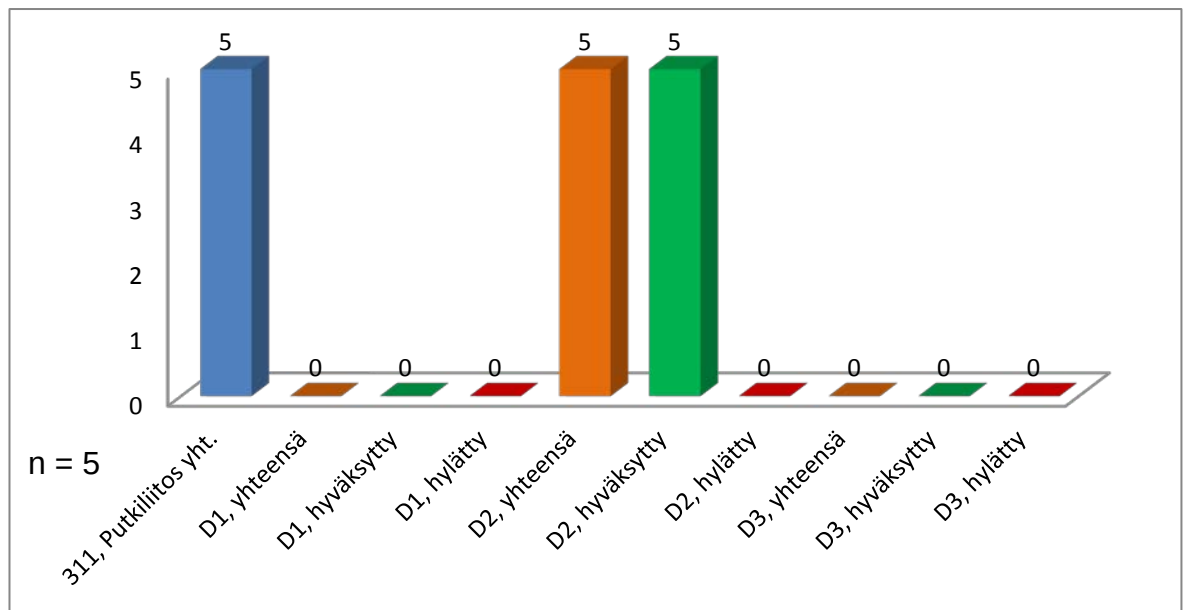


Kuvio 46. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet hitsausprosessilla 141



Kuvio 47. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 141/111

Kuvion 48 mukaisesti prosessin 311 pätevyyskokeet on kaikki hitsattu putken halkaisija-alueelle D3. Kaikki prosessilla hitsatut pätevyyskokeet on hyväksytty, joten putken halkaisija-alueen merkityksestä sellaisten hitsausvirheiden- tai virheryhmien muodostumiseen, jotka johtavat kokeen hylkäämiseen, ei voi tehdä.



Kuvio 48. Eri putken halkaisijaryhmään hitsatut pätevyyskokeet hitsausprosessilla 311

7.4.4 Eri materiaalityypin hitsatut hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet eri hitsausprosesseilla ja tuotemuodoilla

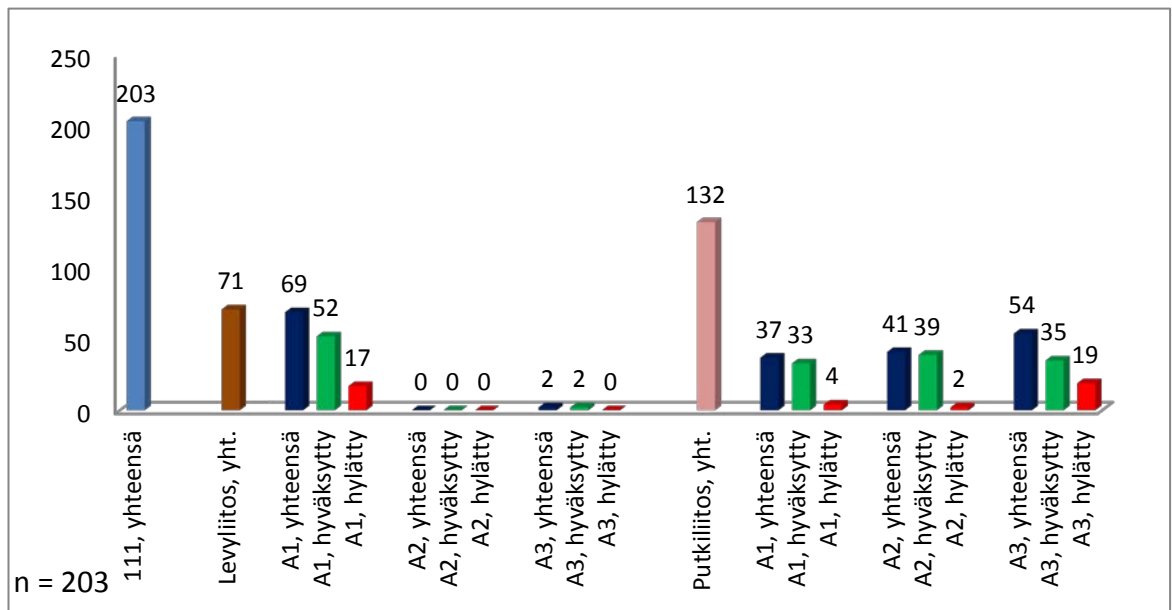
Tutkimusaineisto on jaettu kolmeen perusaineryhmään A1, A2 ja A3. Perusteluna jaolle on, että A1 ryhmään kuuluu niin sanotut seostamattomat teräkset lujuusluokasta riippumatta. Ryhmään A2 kuuluu ns. kuumalujat teräkset. Ryhmään A3 kuuluu runsasseosteiset teräkset. Huomioitavaa A3 ryhmässä on, että vain yksi pätevyyskoe kuului standardin ryhmään 10 ja loput standardin ryhmään 8. Perusteet kolmeen materiaalityypin jakamiseen tulee CEN ISO 15608 standardista, jonka alaryhmät on yhdistetty tässä tutkimuksessa. Ryhmän A3 yhdistämisen peruste tulee runsasseosteisuuden määritelmästä (Lukkari 2008, 100-101.)

Taulukko 4. Standardin SFS-EN 287-1 putken ulkohalkaisija-alueet ja sillä saavutettava pätevyysalue sekä tutkimuksessa halkaisija-alueesta käytetty lyhenne (SFS-EN 287-1, 22).

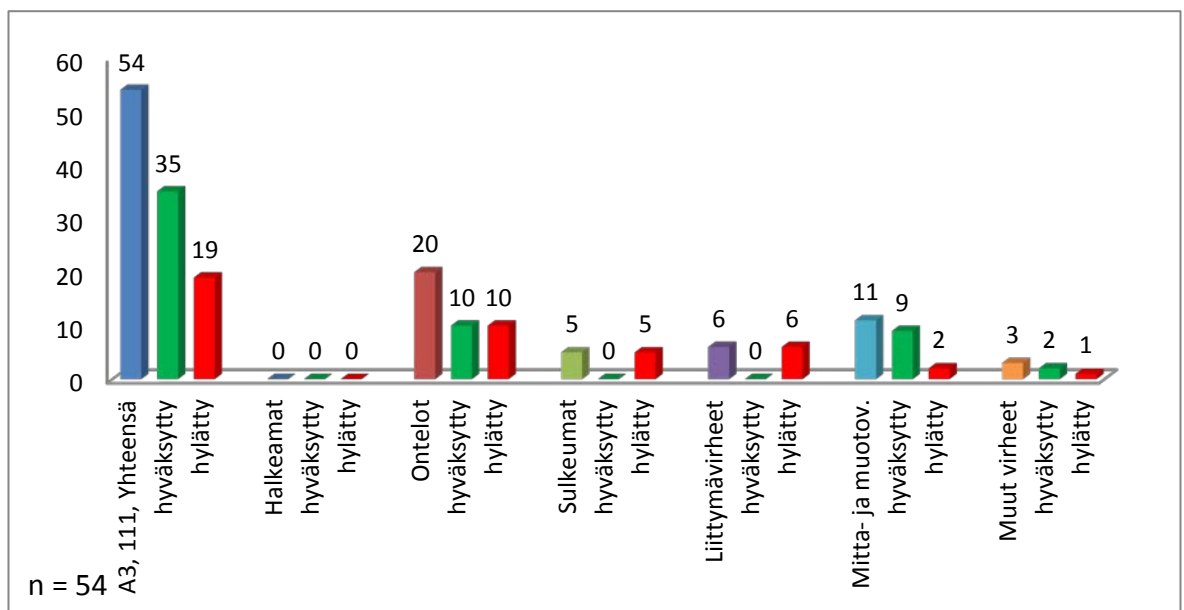
CEN ISO/TR 15608 mukainen ryhmä	CEN ISO 15608 mukainen alaryhmä	Tutkimusaineiston ryhmäjako	Teräslaji(t)
1	1.1	A1	Teräokset, joiden ylempi myötöraja $R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$, ja analysointipitoisuudet standardin taulukon mukaan.
	1.2		
	1.3		
5	5.1	A2	Vanadiinia sisältämättömät Cr-Mo teräokset, joissa C $\leq 3 \%$
8	8.1	A3	Austeniittiset ruostumattomat teräokset Ni $\leq 31 \%$
10	10.1		Austeniittis-ferriittiset teräokset (Duplex-teräokset)

Prosessilla 111 kuvion 49 mukaan levyliitosten kokeet painottuvat materiaaliryhmään A1. Levyliitosten pätevyyskokeita on hylätty alle neljännes, joten tarkempaan tarkasteluun ei ole syytä.

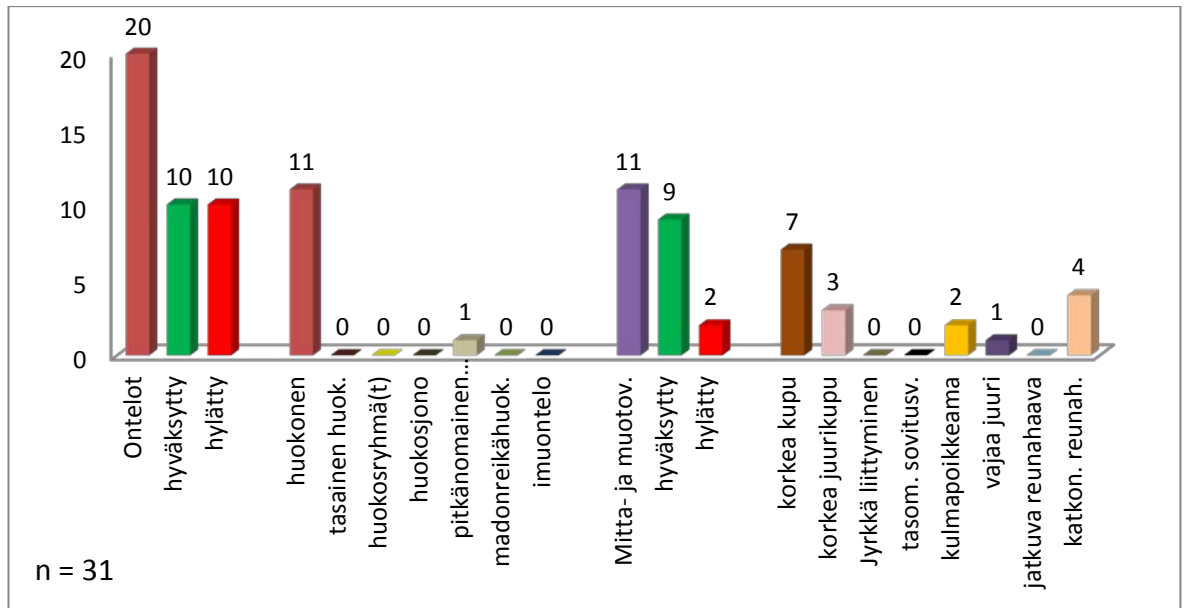
Putkiliitosten kokeita on hitsattu melko tasaisesti kaikille materiaaliryhmille. Putkiliitosten materiaaliryhmäkohtaisesta tarkastelusta voidaan kuvion 49 mukaan päätellä, että virheherkkyys sellaisille hitsausvirheille tai –virheryhmille on materiaaliryhmässä A3 suurempi, kuin ryhmissä A1 ja A2. Materiaaliryhmän A3 hitsausvirheet ovat pääosin onteloita sekä mitta- ja muotovirheitä kuvion 50 mukaisesti. Näiden kahden ryhmän hitsausvirheiden yksilöinti on esitetty kuviossa 51. Tästä kuviosta on havaittavissa, että ontelot ovat lähes kaikki yksittäisiä huokosia. Muista tutkimusaineiston hitsausliitoksista poiketen tässä materiaalissa jopa kolme pätevyyskoetta on hylätty yksittäisten huokosten vuoksi. Tämä on edellyttänyt huokoselta poikkeuksellisen suurta kokoa. Materiaaliryhmän hitsaus suoritetaan hapan-rutiili-päällysteisellä hitsauspuikolla, jonka hitsiaineen vetypitoisuus on korkeampi ja suuret yksittäiset huokokset ovat tämän perusteella selitettävissä Muoto- ja mittavirheet muodostuvat pääosin korkeasta hitsikuvusta tai juurikuvusta. Tämä on selitettävissä hapan-rutiili-päällysteisellä hitsauspuikolla hitsattavan lisähitsisulan korkeammalla pintajännityksellä. Lisävahvistusta väittämälle antaa myös tutkimusaineiston tarkempi tutkiminen. Kaikki tämän kuviossa 51 olevat sulkeumat ovat kuonasulkeumia. Korkean pintajännityksen hitsiaineessa hitsauspalon muoto välipaloissa on sen mallinen, että kuona-aineen puhdistaminen vaikeutuu ja sen havaittavuus kirkkaanvärisen perusaineen hitsissä on vaikeaa. Lisäksi suolan huono juoksevuus vaikeuttaa kuonan poistumista hitsisulasta, ennen sen jähmettymistä.



Kuvio 49. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 111.

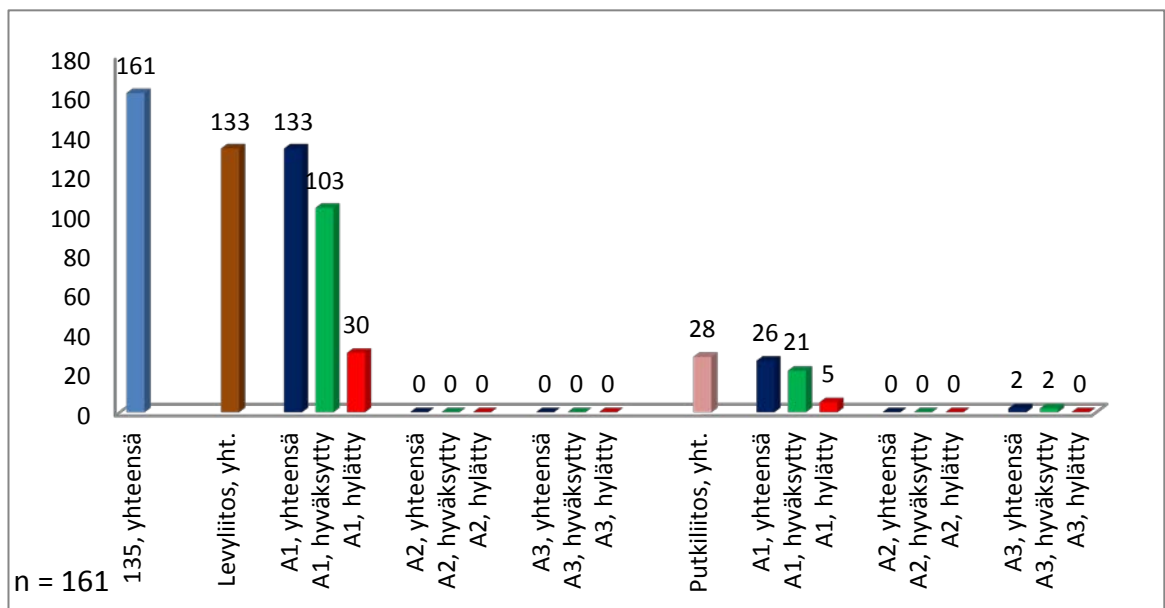


Kuvio 50. Prosessin 111 materiaaliryhmän A3 putkiliitokseen hitsatuissa pätevyyskokeissa havaittujen virheiden ryhmäkohtainen esiintyminen.



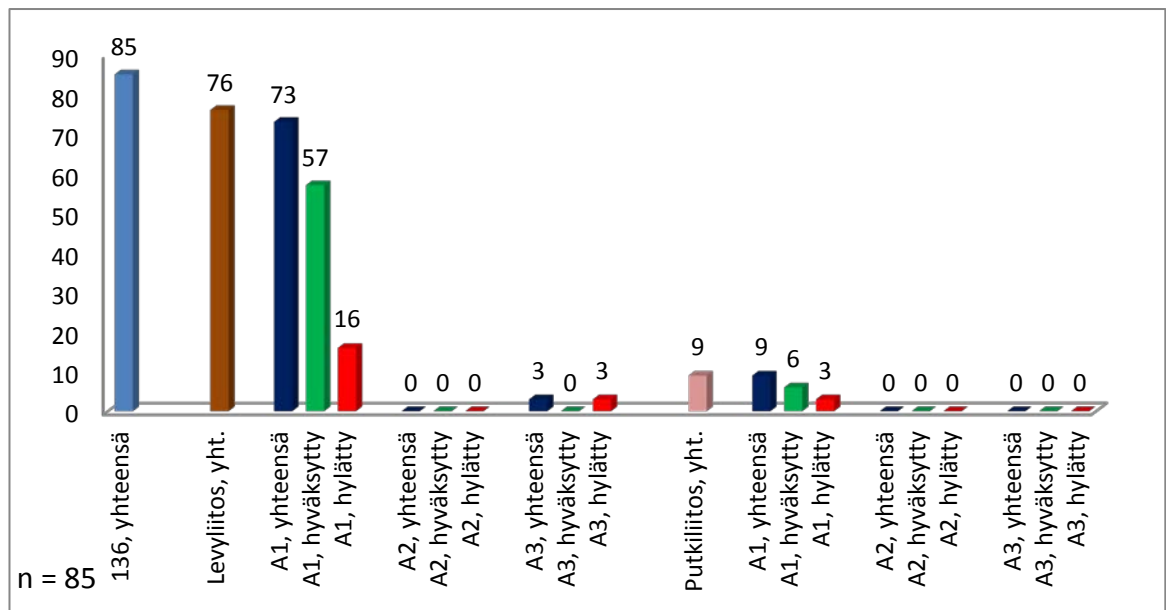
Kuvio 51. Prosessin 111 materiaalityypin A3 putkiliitoksen ontelo- sekä mitta- ja muotovirheryhmien yksilöidyt hitsausvirheet.

Prosesseilla 135 (kuvio 52) materiaalityypikohtaista eroa hitsausvirheiden- tai virheryhmien muodostumiseen ei voi määrittää, koska kyseisillä prosesseilla on levy- ja putkiliitosten pätevyyskokeita hitsattu vain materiaalityypin A1 sellaisia määriä, että johtopäätösten tekeminen olisi järkevää.



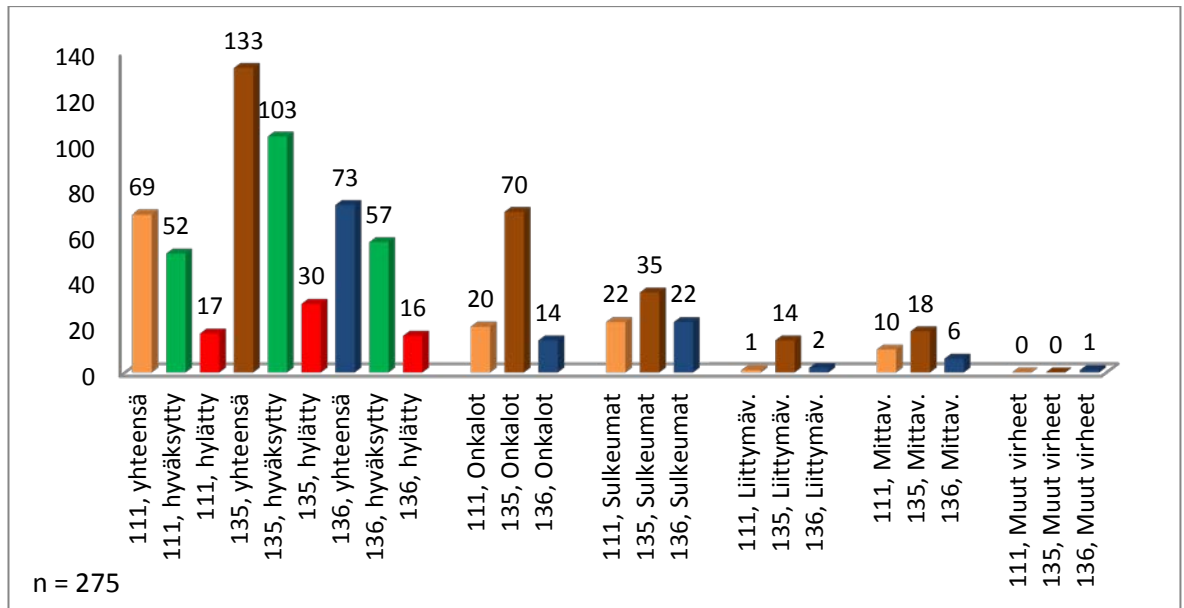
Kuvio 52. Eri materiaalityypin A1 hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosesseilla 135.

Prosesseilla 136 (kuvio 53) materiaaliryhmäkohtaista eroa hitsausvirheiden- tai virheryhmien muodostumiseen ei voi määritellä, koska kyseisillä prosessilla on levy- ja putkiliitosten pätevyyskokeita hitsattu vain materiaaliryhmään A1 sellaisia määriä, että johtopäätösten tekeminen olisi järkevää.



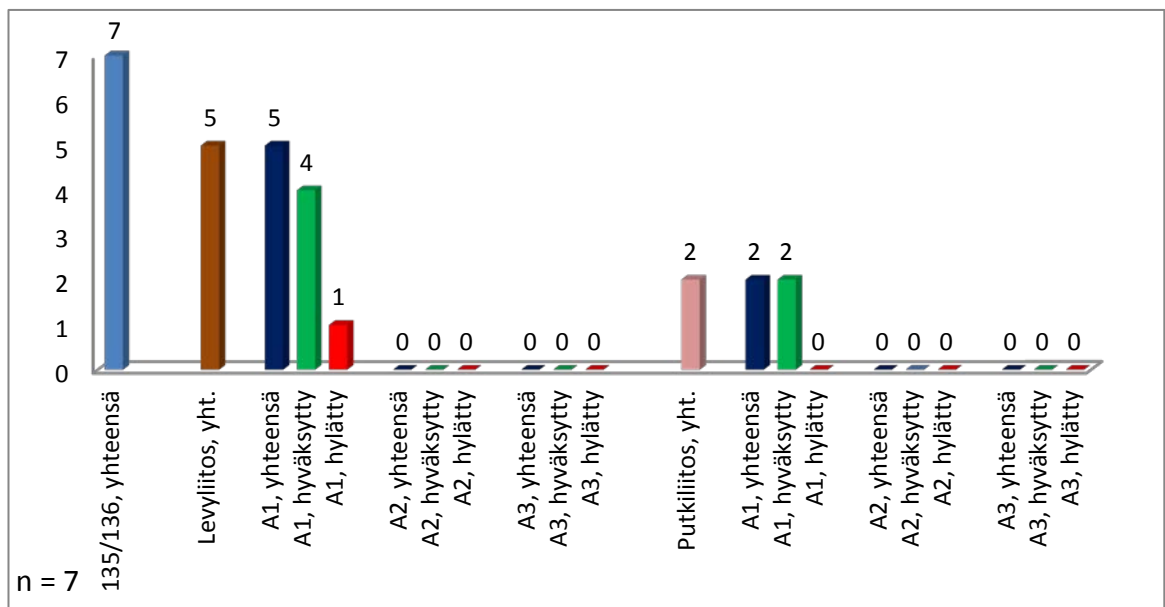
Kuvio 53. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 136.

Prosesseilla 111, 135 ja 136 on hitsattu runsaasti pätevyyskokeita materiaaliryhmässä A1. Hylättyjen ja hyväksytyjen kokeiden osuus on samaa suuruusluokkaa, joten kuviossa 54 on esitetty hitsausvirheiden esiintyminen kyseisillä prosesseilla hitsausvirheryhmäkohtaisesti. Kuviosta on havaittavissa, että onkalotyyppisten virheiden suhteellinen osuus prosessilla suoritettuihin pätevyyskokeisiin nähden on prosessilla 135 huomattavasti suurempi, kuin prosesseilla 111 ja 136. Sulkeumatyyppiset virheet jakaantuvat melko tasaisesti prosessilla suoritettujen kokeiden määrään nähden kaikille prosesseille. Liittymävirheitä esiintyy prosessilla 135 huomattavasti enemmän kuin prosesseilla 111 ja 136. Mitta- ja muotovirheitä esiintyy prosessilla 136 suhteellisesti vähemmän kuin prosesseilla 111 ja 135. Muiksi hitsausvirheiksi luokiteltavia virheitä on tässä tarkastelussa niin vähän, että johtopäätöksiä ei niiden virheiden suhteen kannata tehdä.



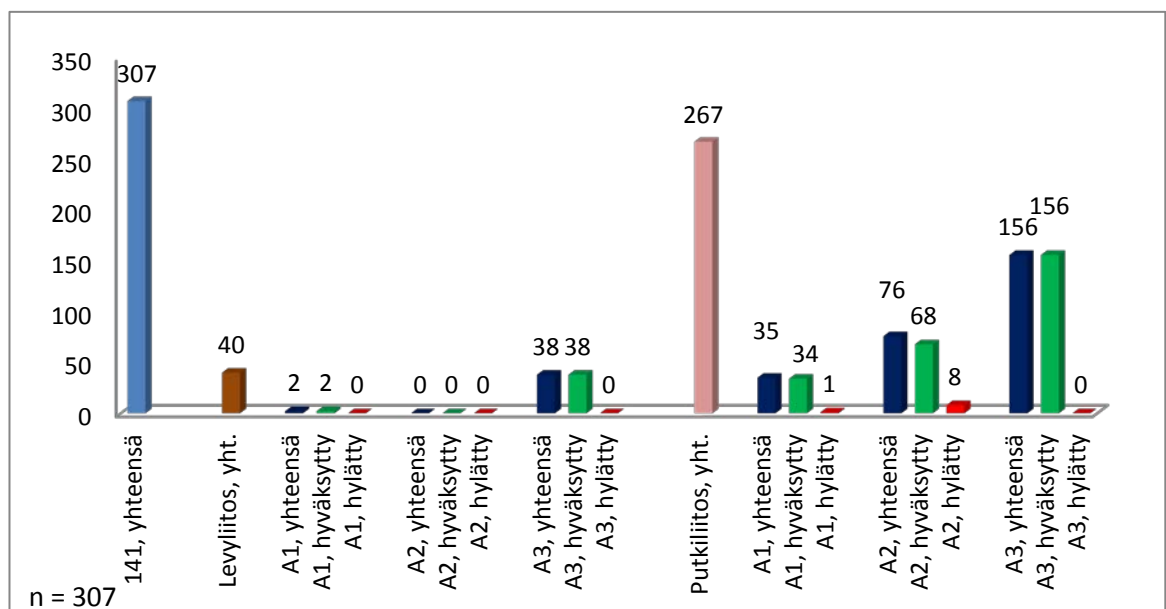
Kuvio 54. Materiaaliryhmän A1 levyliitoksen pätevyyskokeiden hitsausvirheet ryhmittäin prosesseilla 111, 135 ja 136.

Yhdistelmäprosesseilla 135/136 (kuvio 55) materiaaliryhmäkohtaista eroa hitsausvirheiden- tai virheryhmien muodostumiseen ei voi määritellä, koska kyseisillä prosesseilla on hitsattu niin vähän pätevyyskokeita, että johtopäätösten tekeminen ei ole tarkoituksenmukaista.

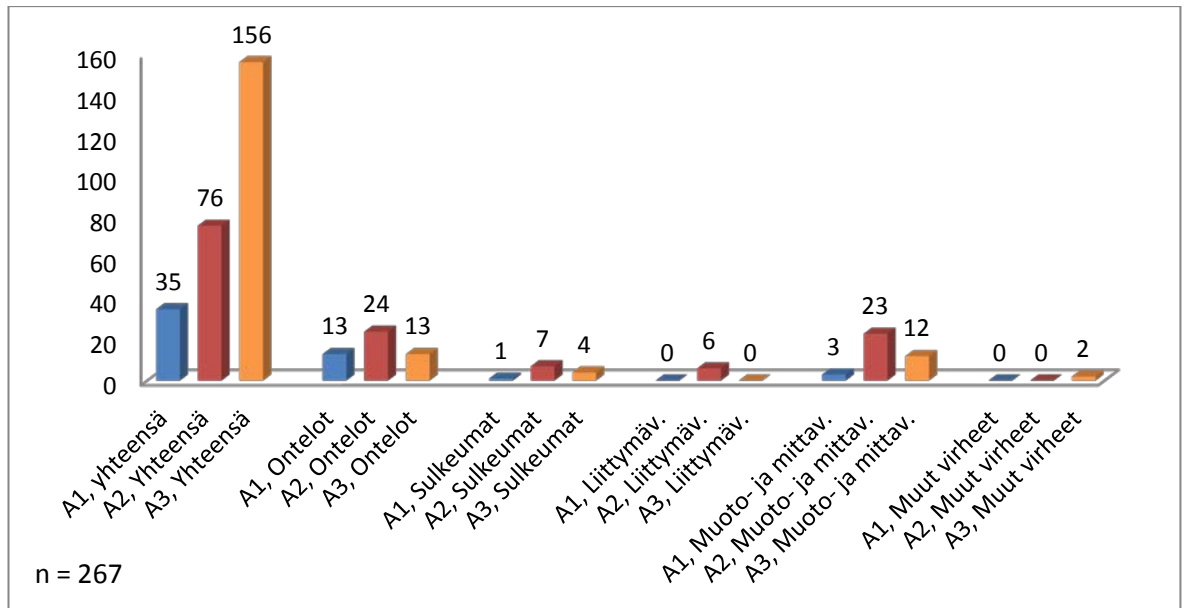


Kuvio 55. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 135/136.

Prosessilla 141 on hitsattu pätevyyskokeita putkiliitoksiin kaikille materiaaliryhmille, kuvion 56 mukaisesti. Hylättyjen pätevyyskokeiden lukumäärä kaikissa ryhmissä on kuitenkin niin pieni, että pitkälle meneviä johtopäätöksiä pelkästään hyväksymisen ja hylkäämisen suhteen ei voi tehdä. Hitsausvirheitä liitoksissa voi olla hyväksymisestä huolimatta. Lukumääräisesti pätevyyskokeita on putkiliitosten kaikissa materiaaliryhmissä niin paljon, että kuviossa 57 on tarkasteltu niiden hitsausvirheitä virheryhmäkohtaisesti. Kaaviosta on havaittavissa, että suhteessa pätevyyskokeiden lukumäärään, hitsausvirheitä liitokseen muodostuu vähän. Poikkeuksellisen vähän virheitä muodostuu materiaaliryhmään A3. Kyseisessä ryhmässä pätevyyskokeiden lukumäärä n. kaksinkertainen materiaaliryhmään A2 ja n. nelinkertainen materiaaliryhmään A1 nähden. Silti hitsausvirheiden lukumäärä materiaaliryhmässä A3 on lähes jokaisessa hitsausvirheryhmässä pienempi kuin A2 materiaaliryhmän virheiden lukumäärä ja materiaaliryhmän A1 kanssa voidaan puhua lukumääräisesti samasta tasosta. Tästä voidaan päätellä prosessin 141 soveltuvan erinomaisen hyvin materiaaliryhmän A3 hitsausliitosten hitsaamiseen. Lukema on siinä määrin yllättävä, että asiaa on tutkittu vielä hitsausvirhekohtaisessa vertailussa onteloiden osalta kuviossa 58 sekä muoto- ja mittavirheiden osalta kuviossa 59.



Kuvio 56. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet hitsausprosessilla 141.

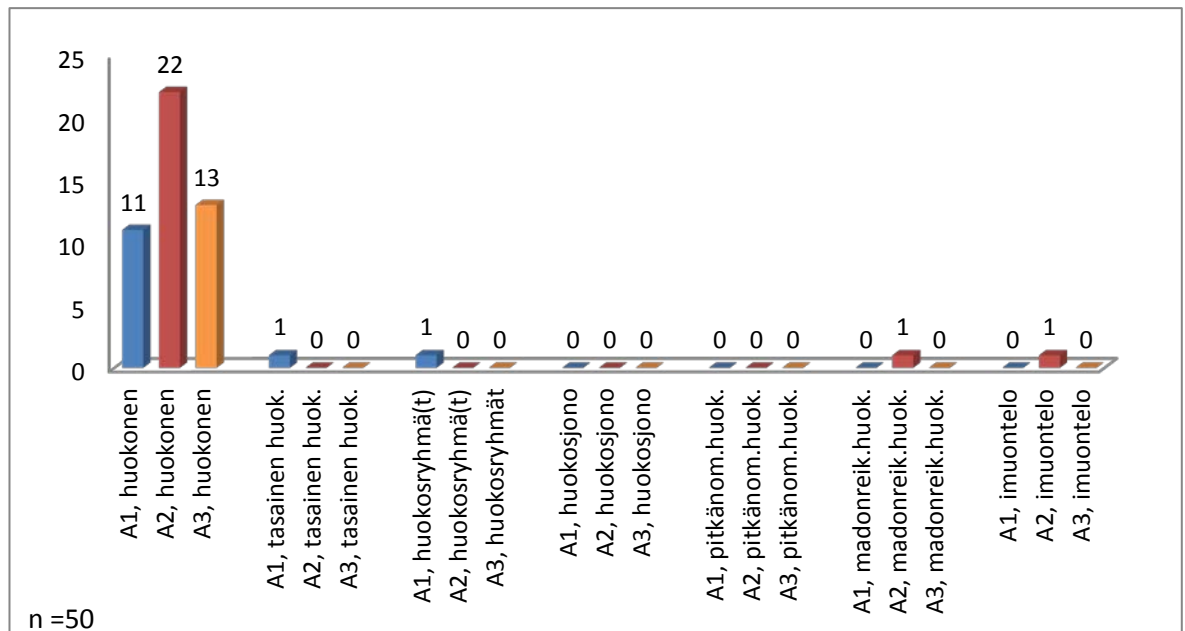


Kuvio 57. Materiaaliryhmään A1, A2 ja A3 prosessilla 141 putkiliitokseen hitsatut pätevyyskokeet hitsausvirheryhmittäin

Kuviosta 58 on havaittavissa, että ontelot ryhmän hitsausvirheet prosessilla 141 putkiliitoksessa ovat lähes kaikki huokosia, materiaaliryhmästä riippumatta. Tämä on osaamisen johtamisen kannalta mielenkiintoinen havainto. Keskittymällä yhden virhetyypin osalta ennaltaehkäiseviin toimiin, voidaan vaativissa hitsausliitoksissa virheiden kokonaismäärää huomattavasti pienentää. Todennäköisesti seurauksena on myös hylättävien pätevyyskokeiden määrän pieneneminen. Mielenkiintoista kaaviossa 58 on myös se, että virheiden määrä ei jakaannu materiaaliryhmiin hitsattujen kokeiden määrän suhteessa. Materiaaliryhmään A3 on hitsattu enemmän pätevyyskokeita, kuin ryhmiin A1 ja A2 yhteensä. Huokosten määrä A3 ryhmässä on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin ryhmässä A2 ja suurin piirtein lukumääräisesti sama määrä kuin materiaaliryhmän A1 pätevyyskokeissa. Ryhmissä A1 ja A2 huokosten määrä on suhteessa hitsattujen pätevyyskokeiden määrään nähden likimain samalla tasolla. Tämä osoittaa, että huokosia muodostuu seostamattomiin ja kuumalujiin teräksiin saman verran, mutta runsasseosteisiin ruostumattomiin teräksiin huomattavasti vähemmän. Yksi selitys on varmasti perusaineen ja lisäaineen puhtaus. Ruostumattoman teräksen lisäaineen pintaan ei muodostu niin helposti kosteutta sisältävää hapettunutta kerrosta, minkä kautta erilaiset hitsaustahtumaa häiritsevät kaasut pääsevät liukenemaan hitsisulaan.

Huokosten muodostumiseen vaikuttaa oleellisesti myös hitsausympäristön puhtaus sekä ilman kosteuden lukemat. Tämän asian perusteellinen selvittäminen edellyttää jatkotutkimuksia sekä useampien muuttujien mittauksia mm. hitsausympäristön ja lisäaineiden säilytyksen atmosfääriä myöten.

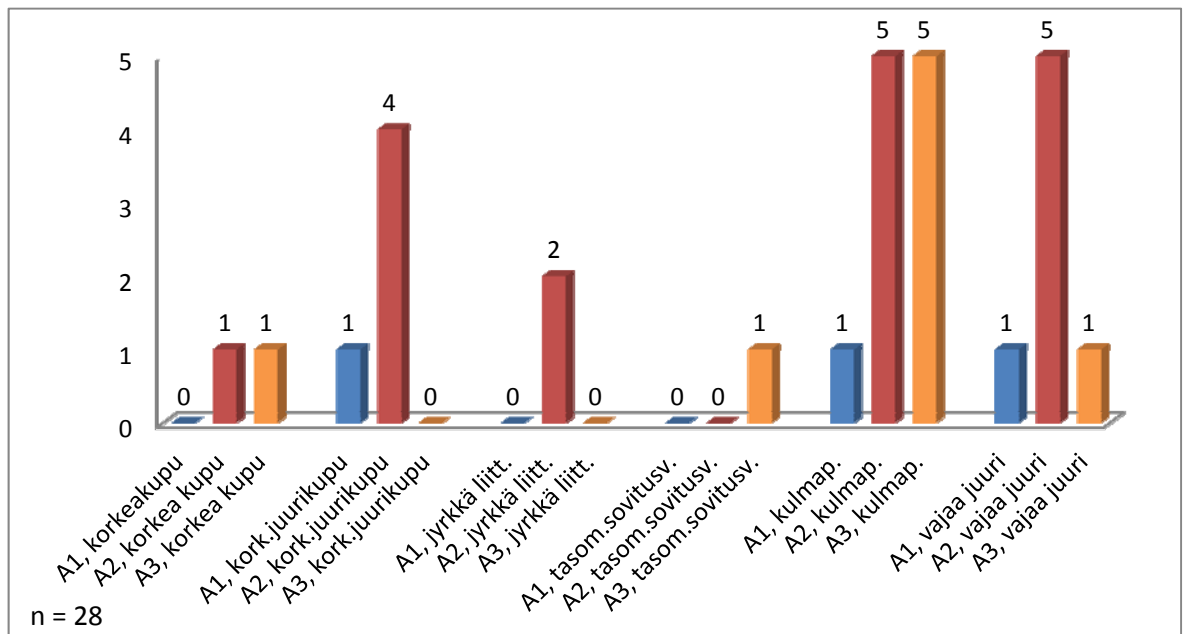
Suhteellisesti prosessilla 141 muodostuu vähän hylättäviä pätevyyskokeita, mutta prosessilla hitsataan niin runsaasti kokeita, että pienilläkin korjaavilla toimenpiteillä saadaan vaikuttavuutta hitsausliitosten laadun parantamiseen. Lisäksi vaativien hitsauskohteiden arviointikriteereihin voi tulla vaatimuksia mm., hitsausliitoksen tiiveyden suhteen, jolloin huokokset voivat olla hitsausliitoksen hylkäämisen syy.



Kuvio 58. Materiaaliryhmien A1, A2 ja A3 prosessilla 141 putkiliitokseen hitsatussa pätevyyskokeissa ontelot virheryhmässä havaitut hitsausvovat useamman tyyppisiä ja virheet.

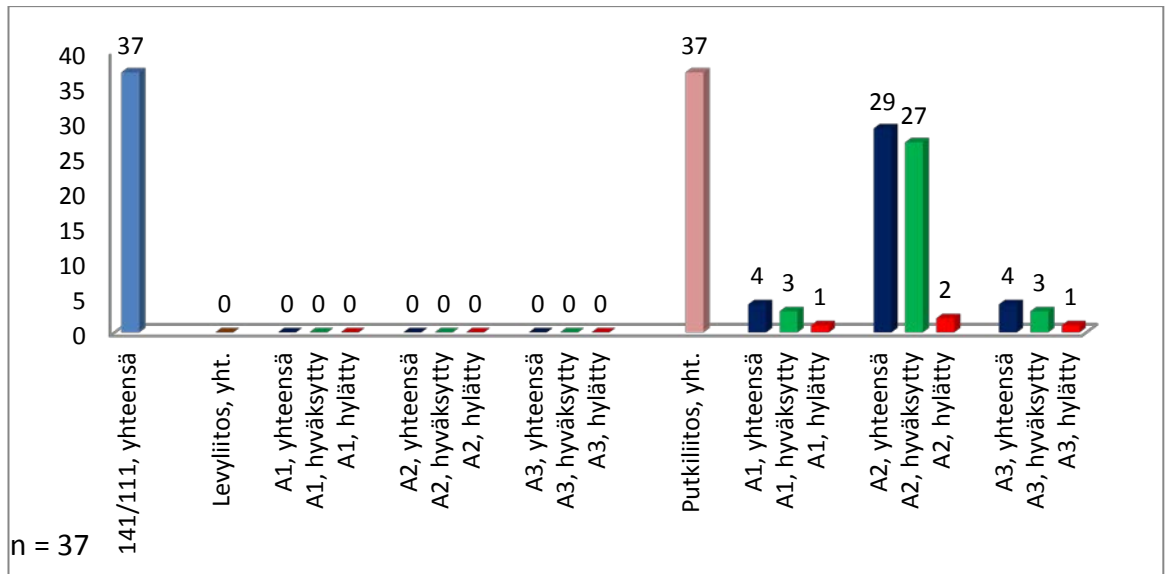
Mitta- ja muotovirheiden ryhmässä yksittäiset hitsausvirheet ovat jakaantuneet useammaksi virhetyypiksi, kuin ontelot virheryhmässä. Huomiota tässä kiinnittää kulmapoikkeamien runsas määrä, mikä johtunee siitä, että prosessin pätevyyskokeet ovat pääasiassa hitsattu ohuemmille aineenvahvuuksille. Erikoista tässä on se, että kulmapoikkeamat ovat putkiliitoksissa, joten sen on täytynyt vaikeuttaa hitsauksen suoritusta tai railomuoto on pitänyt putkiliitokselle muotoilla yksilöllises-

ti. Tarkempi tutkimusaineiston silmämääräinen tarkastelu osoittaa kulmapoikkeaman sisältävät liitokset pääosin hyväksytyiksi.



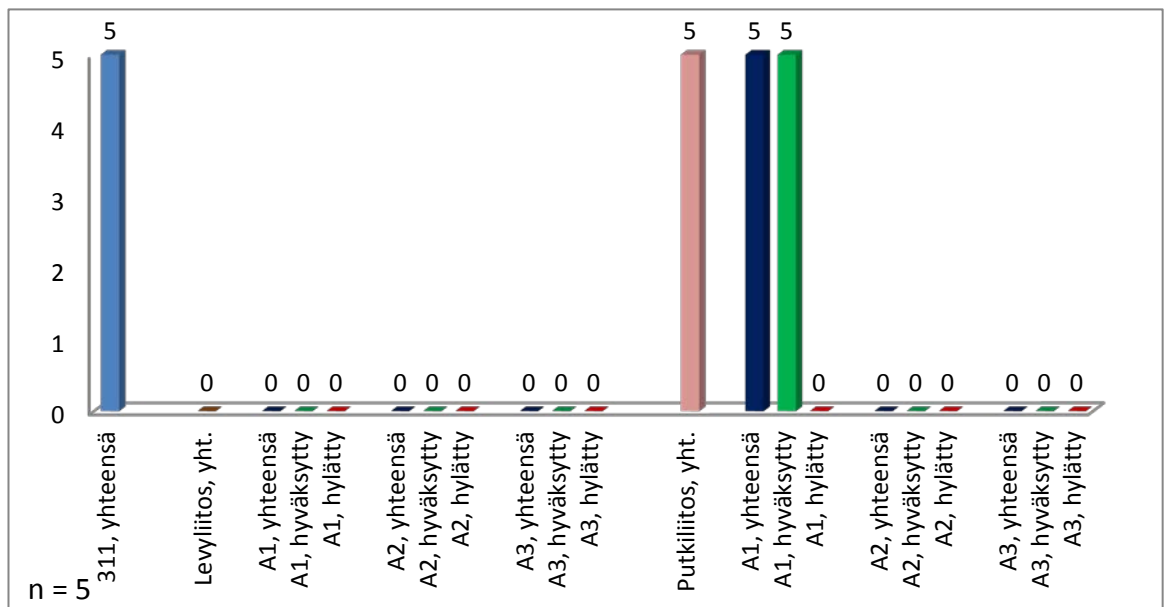
Kuvio 59. Materiaaliryhmien A1, A2 ja A3 prosessilla 141 putkiliitokseen hitsatuissa pätevyyskokeissa muoto- ja mittavirheet virheryhmässä havaitut hitsausvirheet.

Yhdistelmäkokeen materiaaliryhmä painottuu ryhmään A2 kuvion 60 mukaisesti. Kysymyksessä on kuumalujat teräsmateriaalit, jolloin aineenvahvuutta joudutaan myös lisäämään, koska teräksen laskennallisena myötörajana pidettävä $R_{p0,2}$ -raja laskee teräslaadusta riippuen 300 °C:een lämpötilassa 10-20 % ja 500 °C:een lämpötilassa 30-50 % verrattuna 20 °C:een lämpötilaan. Paksuissa aineenvahvuuksissa prosessilla 141 haetaan varmuutta juuripalon hitsaamiseen ja pintapalkojen hitsaamiseen haetaan tuottavuutta prosessilla 111 (Huhdankoski 1996, 34.)



Kuvio 60. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet yhdistelmäprosessilla 141/111.

Prosessin 311 pätevyyskokeet (kuvio 61) on hitsattu kaikki samaan materiaaliryhmään ja kaikki pätevyyskokeet on hyväksytty, joten johtopäätöksiä materiaaliryhmän vaikutuksesta sellaisen virheherkkyyden lisääntymiseen, joka johtaa kokeen hylkäämiseen, ei voi tehdä.



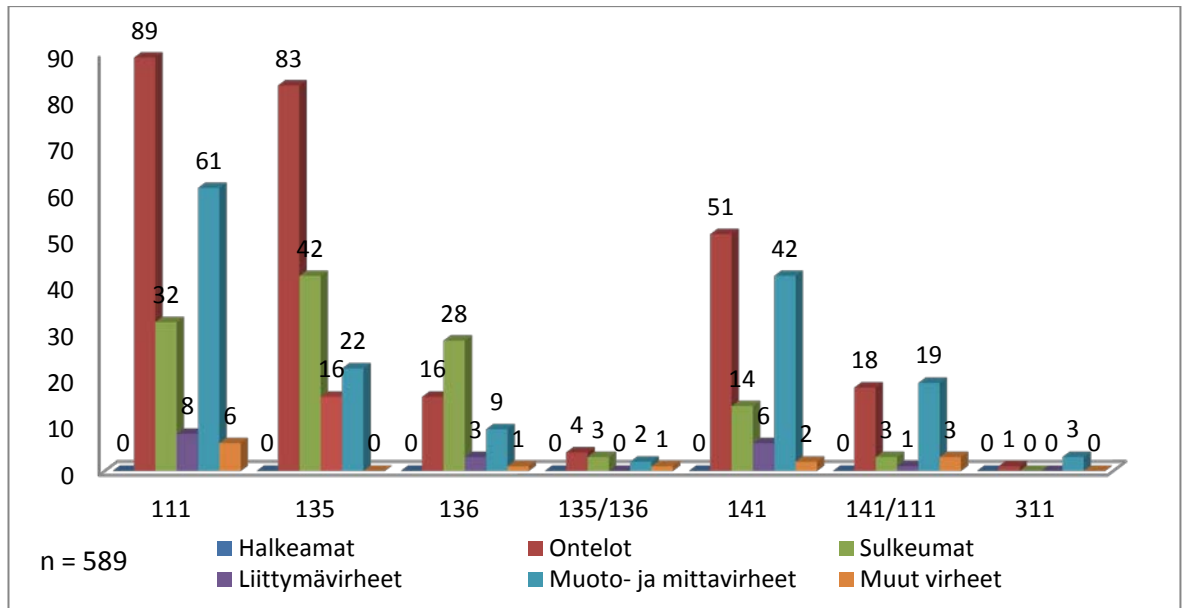
Kuvio 61. Eri materiaaliryhmään hitsatut sekä hyväksytyt ja hylätyt pätevyyskokeet prosessilla 311.

7.4.5 Yleistä hitsausvirheistä

Hitsausvirheellä tarkoitetaan poikkeamaa tai epäjatkuvuuskohtaa ihanteellisesta hitsistä. Hitsausvirhe voi olla sallittu, esimerkiksi hitsin normaalia epäjatkuvuutta tai ei sallittu virhe, joka on korjattava tai pätevyyskokeen ollessa kysymyksessä hitsausliitos on hylättävä. Lisäksi hyväksymiseen liittyy virheen tai virheiden esiintymistiheys. Hitsausvirheet muodostuvat rakenteiden valmistuksen yhteydessä ja ovat luokiteltavissa myös valmistusvirheiksi. Hitsattuihin rakenteisiin voi muodostua vikoja tai vaurioita myös käyttöolosuhteissa. Näiden syntymiseen voi vaikuttaa aikaisemmin valmistuksessa muodostuneet hitsausvirheet (Lukkari 2001, 3.)

Hitsausvirheet heikentävät liitoksen tiiveyttä ja/tai kestävyyttä tai muita ominaisuuksia, mistä syystä pyritään mahdollisimman virheettömään hitsaukseen. Käytännössä virheettömyys on mahdotonta, sillä kaikilla hitsausprosesseilla hitsausliitokseen muodostuu vähintään metallurgisia epäjatkuvuuskohtia. Metallurgisten hitsausvirheiden estäminen tapahtuu tosiaikaisesti valvomalla pätevyyskokeen suorituksen vastaavuutta hitsausohjeeseen. Lisäksi kaikilla hitsausprosesseilla ja käytettävillä menetelmillä, varsinkin käsivaraisessa hitsauksessa, inhimilliset tekijät aiheuttavat vähintään hitsausliitoksen pinnalle epäjatkuvuuskohtia.

Tutkimusaineistossa on yhteensä 589 luokiteltua hitsausvirhettä. Hitsausvirheryhmien esiintyminen prosessikohtaisesti on esitetty kuviossa 62. Hitsausvirheiden määritely ja tarkastelu on tehty SFS-EN 6520-1 kuuden pääryhmän mukaisesti. Hitsausliitosten luokittelu on tehty standardin SFS-EN ISO 5817 määrittelemien hitsausvirheiden kokoluokkaan ja esiintymistiheyteen perustuen hitsausluokkiin B, C ja D.



Kuvio 62. Tutkimusaineistossa havaitut hitsausvirheet prosessikohtaisesti SFS-EN 6520-1 pääluokkien mukaan.

7.4.6 Halkeamat (100)

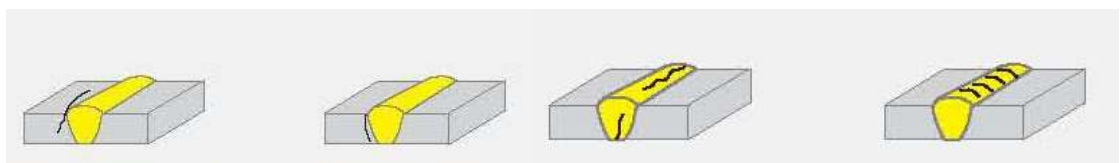
Halkeama on kaksiulotteinen hitsausvirhe, joka on terävän muotonsa vuoksi erittäin vaarallinen, ajatellen koko liitoksen kestävyyttä. Teräväkärkisyyttä aiheuttaa suuren lovivaikutuskertoimen, minkä vuoksi halkeamia sisältävä hitsausliitos on aina hylättävä tai korjattava. Pätevyyskokeen ollessa kysymyksessä koe on hylättävä.

Tyypillinen halkeama on kuumahalkeama, joka muodostuu tavallisesti hitsin keskelle välittömästi hitsauksen jälkeen. Sellimäisessä jäähtymismekanismissa hitsisulan kiteytyminen tapahtuu suurimman lämpötilagradientin suuntaisesti kohti viimeistä hitsisulaa, joka tavallisesti on hitsin keskellä ja pinnalla. Viimeiseen sulaan jää perusaineesta ja hitsiaineesta erkanevia epäpuhtauksia, jotka nostavat sulan metallin sulamispistettä ja heikentävät metallin vetolujuutta. Toinen tyypillinen riski kuumahalkeaman muodostumiselle on virheellinen hitsausrailon muoto. Lämpö siirtyy hitsisulasta nopeasti perusaineeseen ja molemmiin puolin aineenvahvuutta hitsausliitosta ympäröivään ilmaan. Tällöin suurin lämpötilagradientti ei kohdistu hitsausliitoksen pintaa kohti, vaan pinta ja railokyljet jähmettyvät ennen

kuin hitsisulan keskiosa. Viimeinen hitsisula jää tällöin jähmettyneiden pintojen sisälle, jossa lämpötilan laskun yhteydessä tapahtuu kutistumista, joka aiheuttaa vetojännityksen ja halkeaman.

Toinen tyypillinen halkeamatyyppi on kylmähalkeama, eli vetyhalkeama, joka saat-
taa muodostua vastaa useiden tuntien jälkeen hitsauksen suorituksesta, tavallises-
ti alle 150 °C:ssa. Halkeamien muodostumiseen vaikuttaa voimakkaasti hitsauslii-
tokseen kohdistuva vetojännitys. Jännitystilat ovat kaksi- tai kolmiaksisia ja ne
voivat muodostua hitsauksen aikaisen lämmön rakenteelle aiheuttamista muo-
donmuutoksista tai rakenteen normaalista kuormituksesta sekä näiden yhteisvai-
kutuksesta. Vetyhalkeamia esiintyy karkenevilla teräseoksilla ja se sijaitsee pe-
rusaineessa hitsausliitoksen karkearakeisella alueella, johon on hitsausliitoksen
jäähtymisen aikana muodostunut martensiittista mikrorakennetta.

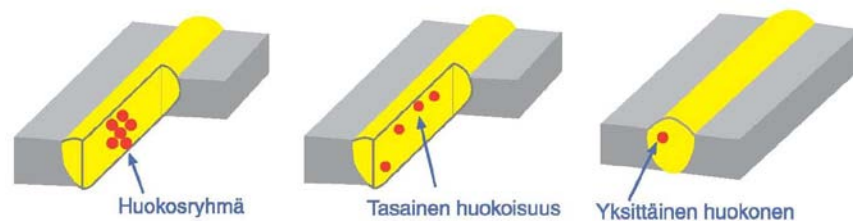
Tutkimusaineiston pätevyyskokeiden tarkastuksissa ei havaittu halkeamia. Tämä
johtunee siitä, että pätevyyskoekappaleen rakenteellinen jäykkyys on lujillakin te-
räksillä olematon ja koekappaleen reuna-alueet antavat periksi ja lämmön aiheut-
tamien muodonmuutosten vetojännitykset eivät kohdistu yksinomaan hitsausliitok-
seen. Toinen keskeinen tekijä halkeamien puuttumiseen on se, että pätevyysko-
keen valvoja on keskeyttänyt kokeen suorituksen, kun halkeama on havaittu ja sitä
ei ole dokumentoitu tutkimusaineistoksi. Halkeama johtaa aina kokeen hylkäämi-
seen, joten kokeen jatkaminen on tällaisessa tilanteessa tarpeetonta.



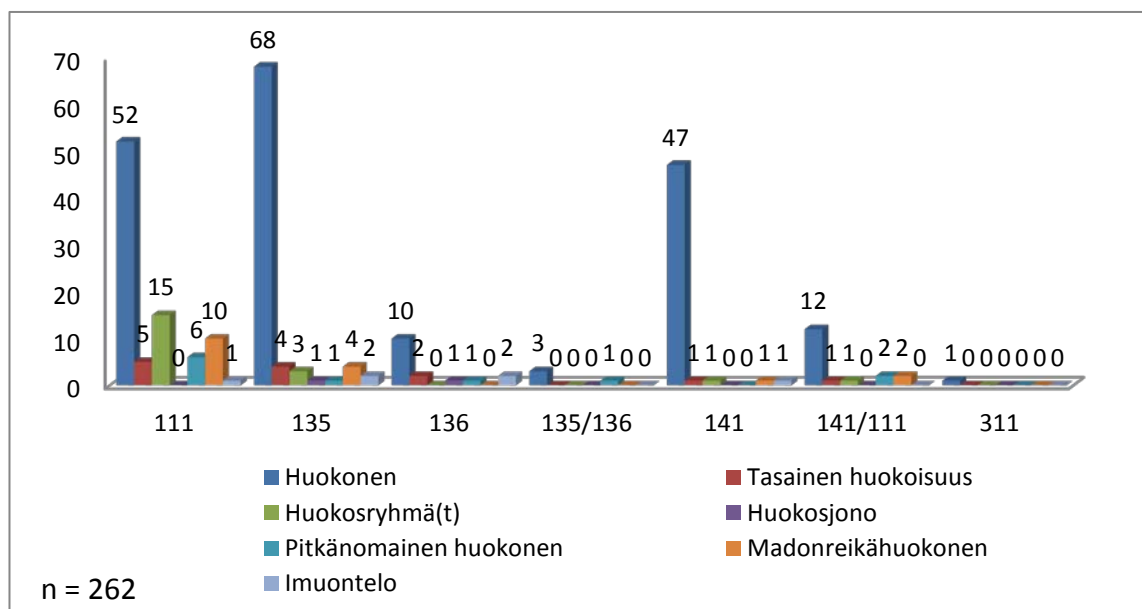
Kuva 37. Vetyhalkeama hitsin lämpövyöhykkeen alueella ja hitsin keskellä pituus- ja poikkisuuntaan. (Lukkari 2001, 8).

7.4.7 Ontelot (200)

Ontelot ovat kolmiulotteisia hitsausvirheitä, jotka ovat joko pallomaisia tai lie-riömäisiä. Pyöreän muotonsa vuoksi ne eivät aiheuta suurta lovivaikutuskerrointa, joten ne vaikuttavat lähinnä hitsin poikkipinnan pinta-alan pienenemiseen. Suurina yksittäisinä tai esiintymiseltään tiheinä pieninä onteloina hitsausliitos on hylättävä. Tyypillinen ontelomainen hitsausvirhe on huukonen, joko yksittäisenä, huukosjonona tai tasaisena huukoisuutena. Huukokset ovat kaasukuplia, jotka ovat jääneet hitsiaineeseen sen jäähtymisen aikana.



Kuva 38. Huukosryhmä, tasainen huukoisuus ja yksittäinen huukonen hitsausliitoksessa (Lukkari 2001, 10).



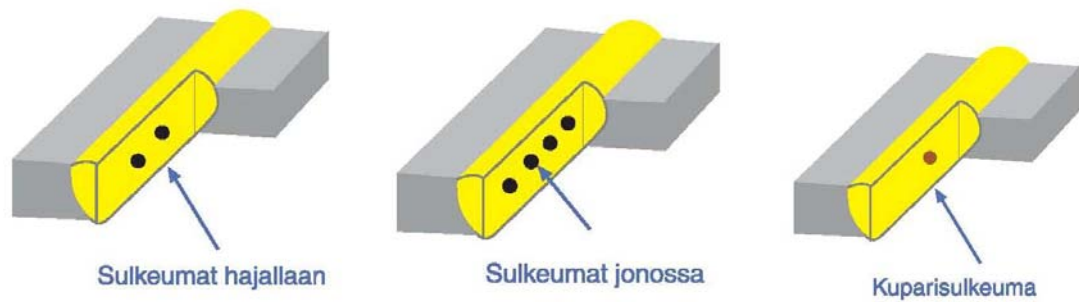
Kuvio 63. Tutkimusaineistossa esiintyvät ontelot hitsausprosessikohtaisesti virhetyyteittäin.

Ontelot ovat tutkimusaineiston yleisin hitsausvirhe. Sitä esiintyy suhteellisesti eniten prosesseilla 111, 135, 141 ja 135/136. Prosessin 135/136 suhteen ei kuitenkaan voi tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä, virheiden pienen lukumäärän vuoksi. Tutkimusaineiston onteloiden virhetyyppien tarkempi tarkastelu osoittaa ontelot pääosin erimuotoisiksi ja mallisiksi huokosiksi. Selvästi eniten esiintyy kuitenkin yksittäisiksi huokosiksi määriteltäviä onteloita. Tämä on mielenkiintoista sen vuoksi, että onteloita muodostuu suoritustekniikaltaan nopeilla ja hitailla hitsausprosesseilla. Pätevyyskokeiden hyväksymisen ja hylkäämisen tarkastelussa prosessin suoritusnopeus nousi keskeiseksi johtopäätökseksi. Onteloiden esiintyminen hitaissa ja nopeissa prosesseissa ei kuitenkaan kumoa tätä väitettä, sillä tarkempi tutkimusaineiston tarkastelu osoittaa, että pelkästään ontelomaisia virheitä sisältävä hitsausliitos tulee harvoin hylätyksi. Ainoan poikkeuksen muodostavat imuontelot, jotka ovat tutkimusaineiston pätevyyskokeissa johtaneet kaikissa tapauksissa pätevyyskokeen hylkäämiseen. Näiden määrä kaikista onteloista on kuitenkin lukumääräisesti ja suhteellisesti pieni.

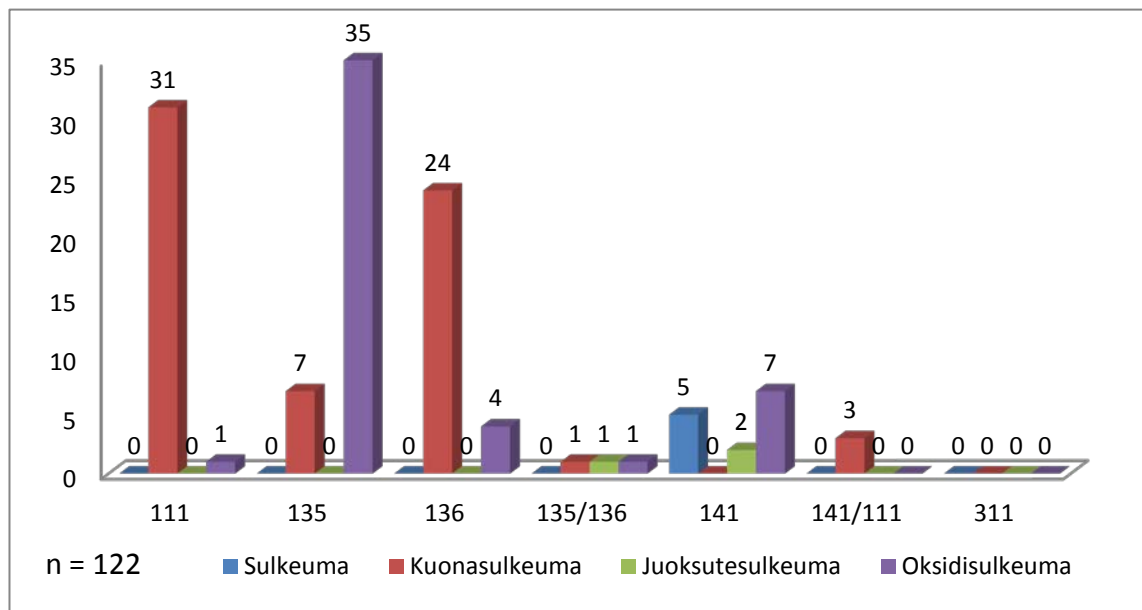
7.4.8 Sulkeumat (300)

Sulkeuma muodostuu, kun hitsiaineeseen jää jäähtymisen yhteydessä kiinteää ainetta, joko kuonaa tai hitsiaineeseen kuulumattoman metallin tai muun aineen partikkeleita. Vieraan aineen mukaisesti sulkeuma luokitellaan kuona-, kupari- tai Volframisulkeumaksi. Kuonaa jää hitsiaineeseen, kun hitsaustapahtuman yhteydessä sula kuona, pienemmän pintajännityksen ja väärän suoritustekniikan vuoksi vyöryy hitsaustapahtuman eteen ja jää hitsisulan alle. Tyypillinen kuparisulkeuma muodostuu, kun MIG-, MAG- tai täytelanka hitsauksessa hitsauspolttimen kuparinen kaasuihin koskettaa hitsisulaa. Volframisulkeuma muodostuu, kun TIG-hitsauksessa volframielektrodi koskettaa hitsisulaa.

Tutkimusaineistossa erilaiset sulkeumat olivat onteloiden jälkeen yleisin virheryhmä, jota esiintyi kaikilla prosesseilla, joilla oli hitsattu tutkimuksellisesti merkittävä määrä pätevyyskokeita.



Kuva 39. Eri tyyppisiä sulkeumia (Lukkari 2001, 11).



Kuvio 64. Tutkimusaineistossa esiintyvät sulkeumat hitsausprosessikohtaisesti virhetyypeittäin.

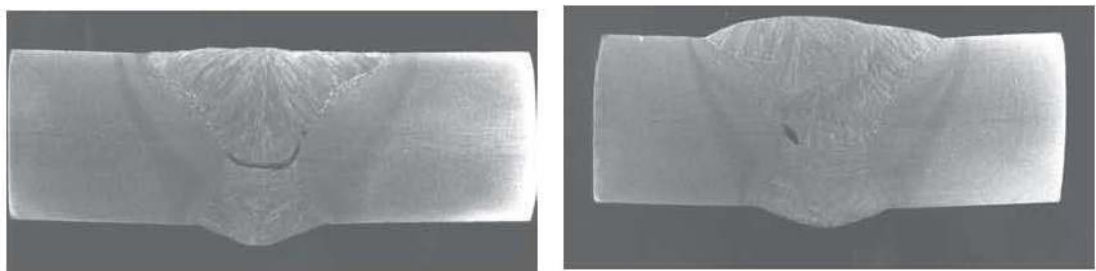
Hitsaussulan suojaksi kuonaa muodostavissa hitsausprosesseissa 111 ja 136 sulkeumien osuus on myös merkittävää, koska jähmettymismekanismien aikana kaikki kuona- ja epäpuhtauspartikkelit eivät ehdi poistumaan hitsiaineesta. Prosessilla 135 sulkeumien osuus on myös merkittävää, vaikka hitsaustapahtuman suojaamisessa ei kuonaa hyödynnetäkään. Tämän prosessin osalta kaikki sulkeumat ovat luokiteltu oksidisulkeumiksi, jolloin hitsiaineeseen on jäänyt metallioksidi. Oksidia muodostuu kun metallipartikkeli reagoi hitsisulassa hapen kanssa. Samasta syystä prosessilla 141 muodostuu sulkeumia, mutta suhteellisesti paljon vähemmän kuin prosessilla 135. Tutkimusaineistossa ei ollut yhtään prosessilla 311 hitsattua pätevyyskoetta, jonka tarkastuksessa olisi havaittu sulkeumia.

7.4.9 Liittymisvirheet (400)

Tyypillinen liittymisvirhe on liitosvirhe, joka muodostuu, kun hitsiaineen ja perusaineen tai hitsauspalkojen välissä tapahtuu epätäydellistä sulamista. Tyypillisesti sula hitsiaine vyöryy sulamattoman perusaineen tai alemman palkokerroksen päälle, jähmettyy siihen ja irti alemmasta palkokerroksesta. Myöhemmän hitsauksen aiheuttama tunkeuma ei pysty sulattamaan kylmän perusaineen päälle vyörynyttä hitsiainetta niin syvältä, että kunnollinen metallinen liittyminen pääsisi muodostumaan.

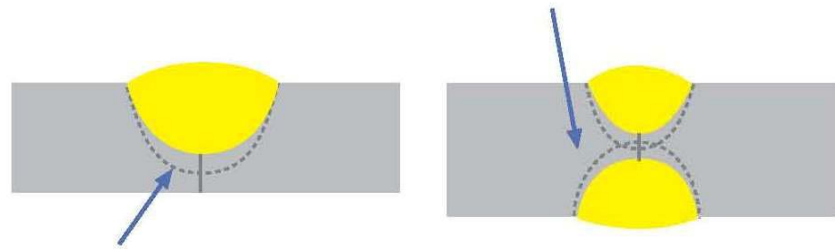


Kuva 40. Eri tyyppisiä liitosvirheitä (Lukkari 2001, 12).

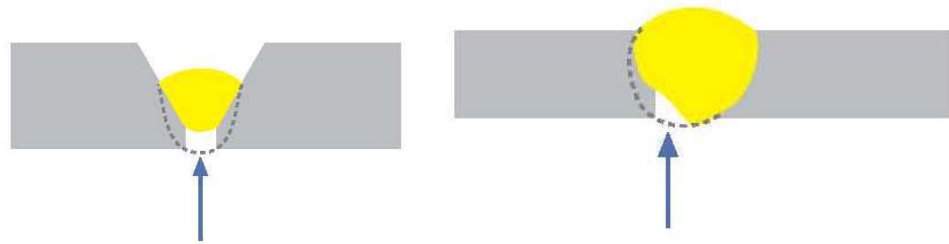


Kuva 41. Liitosvirhe päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 1).

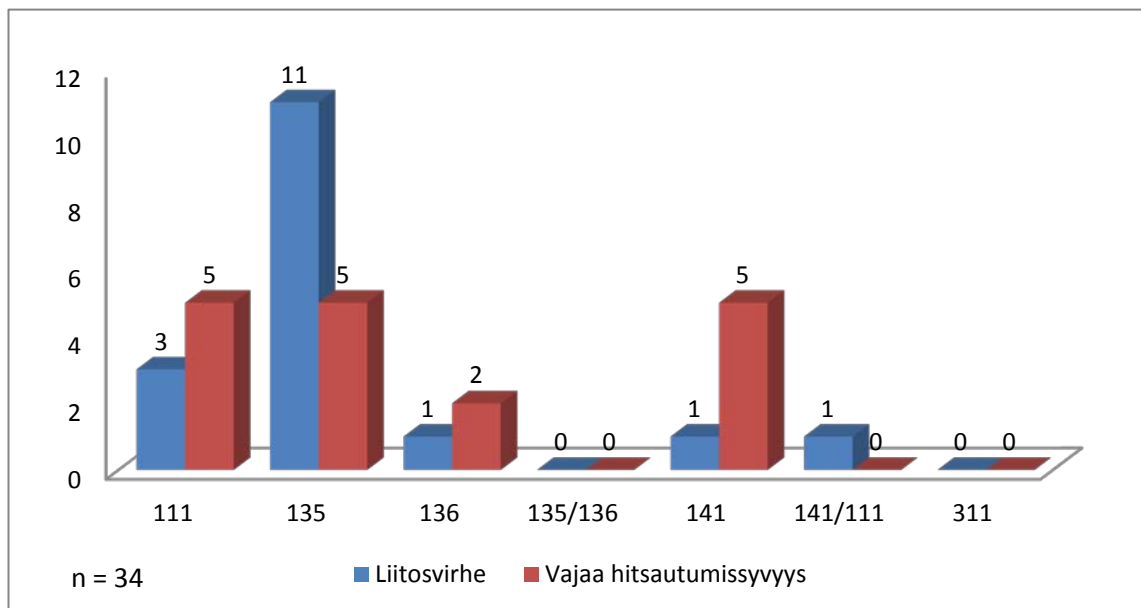
Liittymisvirheeksi luokitellaan myös vajaa hitsautumissyvyys, josta käytetään myös nimitystä vajaa tunkeuma. Hitsautumissyvyys on silloin vajaa, kun se jää matalammaksi, kuin mitä nimelliseltä hitsautumissyvyydeltä edellytetään.



Kuva 42. Vajaa hitsautumissyvyys I-railossa (Lukkari 2001, 12).



Kuva 43. Vajaa hitsautumissyvyys V-railossa (Lukkari 2001, 12).

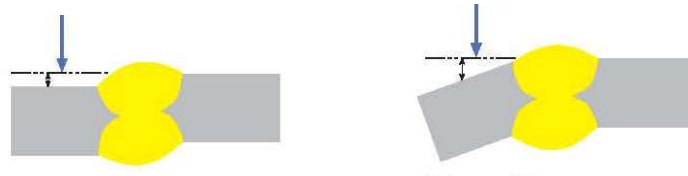


Kuvio 65. Tutkimusaineistossa esiintyvät liittämävirheet hitsausprosessikohtaisesti virhetyypeittäin.

Liittymävirheitä tutkimusaineistossa on kahdenlaisia, eli liitosvirheitä ja vajaata hitsautumissyvyyttä. Molempia virhetyyppejä on lukumääräisesti yhtä paljon. Lähes puolet liittymävirheistä muodostuu prosessilla 135. Prosessin liittymävirheet ovat pääasiassa liitosvirheitä. Tämä on selitettävissä prosessin luonteella, jonka hitsautapahtuma on suhteellisen nopea ja sulaa perusainetta pääsee hitsautapahtumassa vyörymään kylmän perusaineen päälle. Prosessilla 111 esiintyy sekä liitosvirhettä, että vajaata hitsautumissyvyyttä. Liitosvirheet selittyvät monipalkohitsauksessa palkojen välisillä liittymillä. Mitä enemmän hitsauspalkoja hitsataan sitä suurempi riski on liittymävirheisiin. Liitoksen metallurgisten ominaisuuksien kannalta monipalkohitsaus on kuitenkin parempi. Vajaa hitsautumissyvyys prosessilla 111 selittyy hitsausrailon juuren puolen muotoilulla, jolloin hitsisulan pintajännitys on estänyt sulan tunkeutumisen riittävän syvälle hitsausrailon ilmarakoon. Prosessin 141 vajaan hitsautumissyvyyden selitys on sama kuin prosessilla 111. Selitystä vahvistaa se, että pätevyyskokeet oli poikkeuksetta hitsattu yhdeltä puolelta läpihitsauksena, ilman juuritukea ja juuren avausta. Muilla prosesseilla liittymävirheiden määrä on pieni, joten näiden prosessien liittymävirheiden perusteella ei voi tehdä johtopäätöksiä.

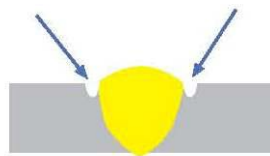
7.4.10 Virheellinen muoto (500)

Muotovirheellä tarkoitetaan hitsin ulkoisen geometrian poikkeamaa nimellisestä geometriasta. Useissa tapauksissa voidaan kyseenalaistaa geometrinen virhe hitsausvirheeksi. Se voi yhtä hyvin olla asennusvirhe. Henkilökohtainen mielipiteeni on, että ammattitaitoisen hitsaajan tulee tunnistaa geometrinen asennusvirhe ja jättää lopullisen hitsausliitoksen tekeminen, ennen virheen korjaamista. Lisäksi hitsausohje (WPS) määrittelee hitsausliitoksen geometrian ja mikäli se on ohjeesta poikkeava, niin hitsausta ei saa suorittaa. Tällainen kyseenalinen hitsausvirhe on sovitusvirhe, joka voi muodostua virheellisestä asennuksesta tai hitsauksen aikaisien kiinnittimien pettämisestä. Kulmapoikkeama voi olla myös asennusvirhe, mutta se voi johtua myös hitsausaikaisten kiinnittimien pettämisestä ja sen jälkeen lämmön aiheuttamista muodonmuutoksista.



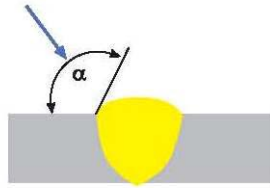
Kuva 44. Tasomainen sovitusvirhe ja kulmapoikkeama (Lukkari 2001, 14).

Reunahaava on tyypillinen muotovirhe, joka voi muodostua hitsin pinnan tai juuren puolelle. Se muodostuu hitsipalon reunaan perusaineeseen tai monipalkohitsauksessa hitsattavan palon viereen. Reunahaava on ongelmallinen hitsausvirhe, koska se sijaitsee usein alueella, jossa on tapahtunut mikrorakenteen karkenemista, eli martensiittista mikrorakennetta. Martensiittisen mikrorakenteen iskusitkeysominaisuudet ovat muutenkin huonommat kuin muun perusaineen, joten reunahaava lisää rakenteen kuormituksesta ja käyttöolosuhteista riippuen vaurioriskiä tuntuvasti. Terävämuotoisena reunahaava muodostaa myös korkean lovivaikutuskerroimen, joka edelleen lisää riskiä varsinkin väsyttävässä kuormituksessa.

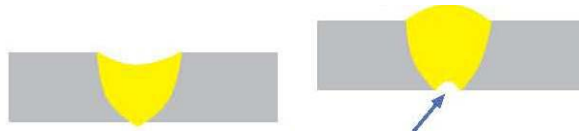


Kuva 45. Reunahaava päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 13).

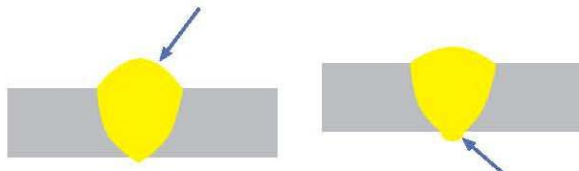
Jyrkkä hitsauspalon liittymä suhteessa perusaineeseen on muotovirhe. Tavannomaisilla hitsausprosesseilla muodostuu aina hitsipalko. Käsivaraudessa hitsauksessa inhimilliset tekijät aiheuttavat hitsipalon muodossa vaihtelevuutta, jonka seurauksena hitsipalko kasvaa. Jyrkkä hitsipalon liittymä aiheuttaa rakenteelle myös lovivaikutusta, joka voi olla kriittistä varsinkin väsyttävissä kuormitustilanteissa. Korkeaa hitsikupua muodostuu helposti myös hitsauksen alku- ja jatkoskohtiin, jolloin hitsaaminen alkaa kylmään perusaineeseen ja hitsisula ei leviä riittävästi.



Kuva 46. Jyrkkä hitsipalon liittymä päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 14).



Kuva 47. Vajaa hitsipalon pinta ja juuri (Lukkari 2001, 14).



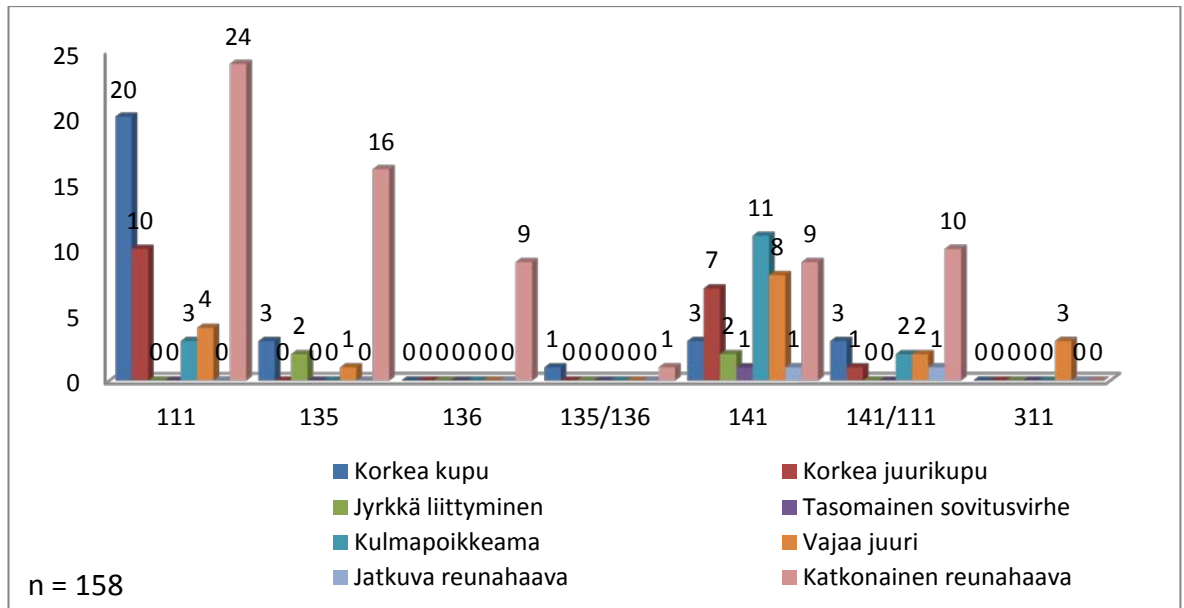
Kuva 48. Korkea kupu ja juurikupu päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 13).



Kuva 49. Valuma päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 14).



Kuva 50. Kohdistusvirhe päittäisliitoksessa (Lukkari 2001, 15).



Kuvio 66. Tutkimusaineistossa esiintyvät muoto- ja mittavirheet hitsausprosessi-kohtaisesti virhetyypeittäin.

Muoto- ja mittavirheitä esiintyy kaikilla tutkimusaineistossa mukana olevilla hitsausprosesseilla, mutta suhteellisesti eniten prosesseilla 141, 311 ja 141/111. Selvästi suurin yksittäinen virhetyyppi on katkonainen reunahaava. Katkonaista reunahaavaa esiintyy kaikilla prosesseilla, prosessia 311 lukuun ottamatta. Suhteellisesti eniten tätä esiintyy yhdistelmäprosessilla 141/111. Tämän prosessin pätevyyskokeissa katkonaista reunahaavaa esiintyy lähes kolmanneksessa tutkimusaineistosta. Tutkimustuloksen oikeellisuutta tukee se, että prosessilla 111 katkonaista reunahaavaa esiintyy myös runsaasti. Yhdistelmäprosessissa 141/111 pintapalot on hitsattu prosessilla 111. Kysymyksessä on hitsausliitoksen pinnanpuolen reunahaava, joten tämän suhteen voi tehdä johtopäätöksen, että prosessilla 111 katkonainen reunahaavan muodostuminen on suhteellisen runsasta. Reunahaavaa muodostuu 111 prosessilla korkean hitsausvirran seurauksena. Lisäksi prosessille on ominaista valokaaren pituuden vaihtelu, kun valokaarta "ohjataan" jatkuvasti pituudeltaan muuttuvan hitsauspuikon pitimen avulla. Tämä aiheuttaa myös epätasaisen tai epäsäännöllisen valokaaren kuljetuksen, jonka seurauksena hitsauksen suoritustekniikka muuttuu hitsauksen edetessä. Prosessilla 135 katkonaista reunahaavaa esiintyy myös runsaasti. Tämä johtuu valokaaren pituuden vaihtelusta ja korkeasta hitsausvirrasta sekä virheellisestä tai vaihtelevasta hitsauspolttimen asennosta suhteessa hitsausliitokseen. Tutkimusaineistossa pro-

sessilla 136 kaikki muoto- ja mittavirheet olivat katkonaista reunahaavaa. Syy tähän on sama kuin prosessilla 135, prosessien samankaltaisuudesta johtuen. Katkonainen reunahaava ei sinällään ole vakava hitsausvirhe, varsinkaan, jos sen reunat ovat pyöreän muotoiset. Pyöreämuotoisen reunahaavan korjaaminen voi vahingoittaa hitsausliitosta enemmän, kuin mitä virhe itsessään aiheuttaa. Teräväreunaisena se aiheuttaa suuren lovivaikutuskertoimen, joka voi olla vakava yhdistelmä runsaasti martensiittista mikrorakennetta sijaitsevalla muutosvyöhykkeen alueella.

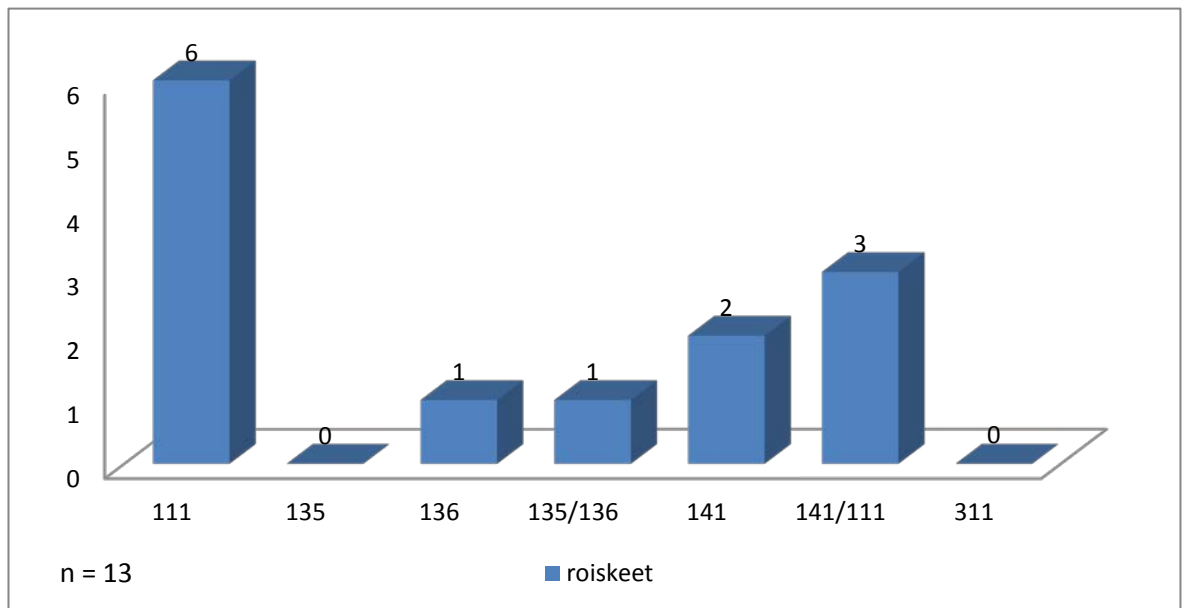
Prosessilla 111 esiintyy paljon korkeaa hitsikupua hitsin pinnassa ja juuren puolella, suhteessa muihin prosesseihin. Korkeaan hitsikupuun liittyy usein jyrkkä hitsipalon liittymä, mutta tässä tutkimuksessa ei kyseistä korrelaatiota ole havaittavissa. Prosessilla 141 esiintyy myös korkeaa hitsikupua sekä pinnan, että juuren puolella, mutta suhteellisesti paljon vähemmän kuin prosessilla 111. Muilla hitsausprosesseilla kyseisiä virheitä on niin vähän, että pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei voi tehdä. Korkea pintapalko johtuu liian hitaasta hitsausnopeudesta suhteessa hitsiaineen tuottoon, virheellinen railon muoto tai liian paksu lisääaine. Korkea juuripalko muodostuu, kun hitsausrailossa on liian suuri ilmarako tai liian matala juuripinta, liian suuri hitsausenergia tai liian pieni kuljetusnopeus.

Kulmapoikkeamaa esiintyy prosessilla 141 jonkin verran. Tämän selittää se, että prosessilla hitsataan liitoksia, joissa aineenvahvuus on suhteellisen ohut. Tällöin pätevyyskokeiden koekappaleiden kiinnitykseen tulisi kiinnittää suurempaa huomiota, jolloin koekappaleen epätasaisen lämpenemisen ja jäähtymisen aiheuttamat muodonmuutokset voidaan eliminoida tai vähentää.

7.4.11 Muut hitsausvirheet (600)

Muoksi hitsausvirheeksi luokitellaan mm. hitsausroiskeet ja sytytysjäljet. Molemmat virheet tuntuvat vähäpätöisiltä ja helposti liitoksen pinnalta poistettavilta. Nämä virheet saattavat kuitenkin aiheuttaa perusaineen pinnalle pieniä paikallisia lämpöshokkeja, joiden seurauksena perusaineen pinnalta pieni alue karkenee ja martensiittisen mikrorakenteen vuoksi siihen muodostuu mikrosäröjä. Väsyttäväs-

sä kuormituksessa mikrosäröt voivat lähteä kasvamaan ja ajan kanssa voi tapahtua rakenteellisia vaurioita.



Kuvio 67. Tutkimusaineistossa esiintyvät muut virheet hitsausprosessikohtaisesti.

Muiksi hitsausvirheiksi luokiteltavat virheet ovat tutkimusaineistossa kaikki hitsin tai perusaineen pintaan kiinnittyneitä roiskeita. Virheiden kokonaismäärä ei ole oleellinen, mutta lähes puolet niistä esiintyy prosessilla 111 ja neljännes prosessilla 141/111. Tästä voi päätellä, että roiskeiden muodostuminen on yleisintä prosessilla 111, koska yhdistelmäprosessissakin pinta hitsataan prosessilla 111. Roiskeita muodostuu valokaaren pituuden muutoksista ja liian korkeasta hitsausvirrasta, joka vahvistaa käsitys siitä, että niitä esiintyy prosessilla 111, jossa valokaaren pituuden vaihtelu on suurinta ja tavanomaisinta.

8 YHTEENVETO, JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITTÄMISEHDOTUKSET

8.1 Tutkimuksen hyödynnettävyys

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää osaamisen johtamisessa. Hitsaushenkilöstön koulutuksessa on mahdollista huomioida perusteellisemmin sellaiset kriittiset alueet, joissa hitsausvirheitä muodostuu enemmän.

Hitsaavia tuotteita valmistava yritys pääsee harvoin vaikuttamaan sellaisiin hitsausliitoksen yksityiskohtiin, jotka ovat pätevyyskoestandardin oleellisia muuttujia. Hitsausliitos on vaan hitsattava. Tämän perusteella tutkimustulokset ovat hyödynnettävissä nimenomaan niillä muuttujien alueilla, mitä hitsattava liitos edustaa.

Tietyissä tapauksissa tutkimustuloksia voi hyödyntää hitsausliitoksen suorittamisen prosessia valittaessa. Yleensä prosessin valintaan vaikuttaa hitsattava liitos, mutta rajatapauksissa tutkimustietoa kannattaa hyödyntää.

Tutkimusta voi hyödyntää myös tutkimuksen tilaaja. Tulosten perusteella tutkija ottaa kantaa muutamiin kehittämiskohteisiin. Jotkut kehittämisideat ovat lähteneet käyntiin jo tutkimustyön aikana, mikä osoittaa niiden tarpeellisuuden.

Tutkimustyön aikana kehitettyä tutkimusaineiston tallennustiedostojen pohjia ja vastaavaa aineistoa voi hyödyntää jatkotutkimuksen tekemiseen tai yrityskohtaisen vastaavan tutkimuksen tekemiseen.

8.2 Pätevyyskokeesta osaamisen johtamiseen ja strategiseen johtamiseen

Strategia on johdon valitsema tapa, jolla yritys pyrkii päämääriinsä. Mutta ovatko valitetut strategiat aina oikeita ja hyväksytyjä kaikilla organisaation tasoilla? Usein taitaa olla niin, että strategiaan ollaan teorialtasolla tyytyväisiä, mutta ei käytännön

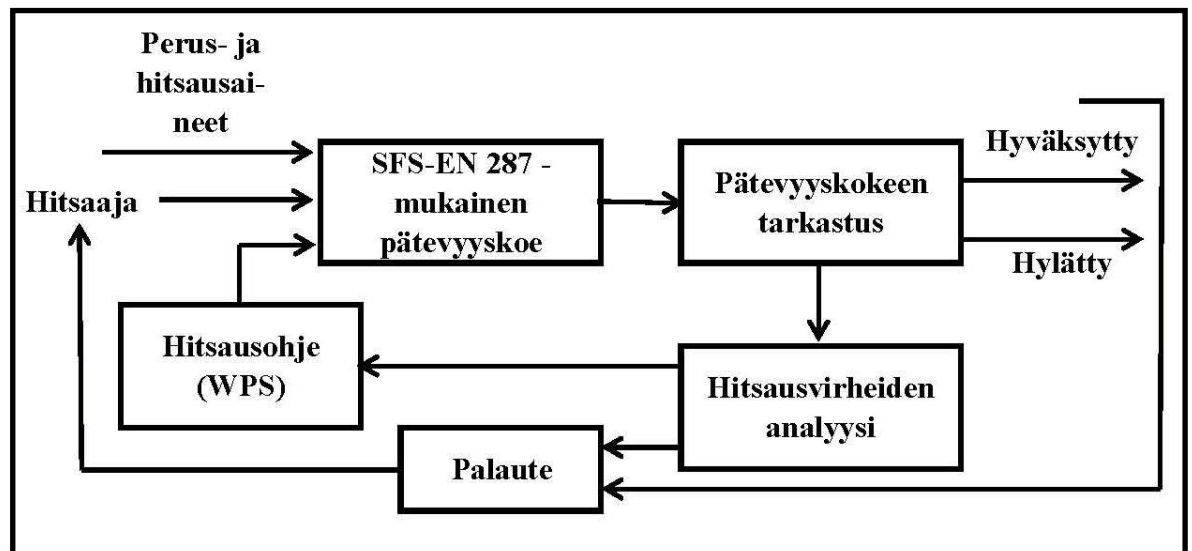
toteutuksena. Saattaa myös käydä niin, että strategian ytimen ymmärtävät vain johtotasolla toimivat henkilöt, mutta eivät organisaation muut tasot. Siksi onkin tärkeätä, että strategia viestitään niin, että se tavoittaa kaikki työntekijät. Yritystähän on mahdotonta johtaa onnistuneesti, elleivät työntekijät ymmärrä yrityksen strategiaa.

Liikkeenjohdon strategia nousi ensimmäisiä kertoja esille 60-luvulla Harvardin yliopistossa, liiketalouden kurssilla. Tuolloin strategian opetus perustui lähinnä erityisjohtajien kokemuksiin ja strategiana pidettiin pitkän aikavälin suunnitelmaa yrityksen suunnasta. Seuraavalla vuosikymmenellä kehittyi yrityssuunnittelu ja tämän vaikutuksesta strategiasta tuli entistä tärkeämpi. Strategiasta tuli työkalu, jolla pyrittiin selvittämään yrityksen mahdollisuuksia ja uhkia.

Osaamisen johtamisen kannalta pidän ongelmallisena sitä, että päittäisliitoksena suoritettu pätevyyskoe pätevoittää hitsaamaan myös pienaliitoksia. Kokemusperäisen tiedon mukaan hitsausliitoksista pienaliitoksia on yli 80 %. Pätevöintijärjestelmästä saatava palautetieto olisi paremmin kohdistettavissa tuotannollisiin hitsauksiin, jos pätevänti pienaliitoksiin edellyttäisi pienaliitosten pätevyyskokeiden suorittamista. Näkemystä vahvistaa tämän tutkimuksen viitekehyksessä käsitellyt hitsausliitosten vauriotapaukset, jotka ovat johtaneet onnettomuuksiin.

8.3 Pätevyyskokeen palaute

Pätevyyskokeesta annettava palaute sisältää yleensä tiedon kokeen hyväksytyksi tai hylätyksi tulemisesta. Mikäli pätevyyskokeen roolia osaamisen johtamisen työkaluna halutaan kehittää, palautteen tulisi olla tosiaikaista ja kokonaisvaltaista. Tosiaikainen palaute edellyttää tarkastustoiminnan kehittämistä, jotta palaute saadaan liitoksen hyväksymisestä tai hylkäämisestä nopeasti pätevyyskokeen suorituksen jälkeen. Lisäksi yksityiskohtainen virheanalyysi hitsausvirheiden muodostumisen syistä tulisi tiedostaa hitsaajille. Kuvassa 51 on esimerkki palauteprosessin toteuttamisesta.



Kuva 51. Pätevyyskokeen palauteprosessi (Peltola 2011).

8.4 Hitsaajan pätevyyskokeen palautteen hyödyntäminen hitsattavia tuotteita valmistavan yrityksen osaamisen johtamisessa

Osaamisen johtamiseen ja hitsausalan substanssiin keskittyneeseen kirjallisuuden tutustuessani ja yhdistämällä näiden asiasisältöä, voi todeta, että hitsaajan pätevyyskokeeseen kannattaisi suhtautua osana osaamisen johtamista, eikä standardin määräämää pakkona. Hyödyntämällä pätevyyskokeesta saatavaa tietoa organisaation ja yksittäisen hitsaajan osaamisen kehittämistä voidaan suunnata täsmällisesti osaamisvajeesiin.

Pätevyyskokeiden palautetiedon hyödyntäminen tai muutoksen johtaminen yrityksen toiminnassa siihen suuntaan, että tietoa voitaisiin hyödyntää osaamisen johtamisessa, kokee saman vastustuksen kuin muutkin ihmisiin ja ihmisten toimintaan vaikuttavat muutokset. Organisaatiokulttuuri voidaan määritellä totutuksi tai säännönmukaiseksi toiminnaksi yrityksen eri prosesseissa. Organisaatiokulttuuri on tärkeää ymmärtää, mutta se voi olla muutoksen este. Mikäli hitsaajien pätevyyskoetaan hitsattavia tuotteita valmistavan yrityksen kriittiseksi menestystekijäksi, niin asia voidaan hyödyntää kahdella tavalla, suhtautumalla pätevyyskokeisiin ja niiden suorittamiseen välttämättömänä pakkona tai hyödyntämällä pätevyyskokeita koko organisaatiokulttuurin kehittämisessä. Jälkimmäinen on tietysti järkeväm-

pää, koska harvoin pätevyiksiä tarvitaan kertasuorituksena, vaan pätevyyskokeiden ylläpitäminen on jatkuvaa prosessointia. Ensisijainen keino on vaikuttaa yrityksen johdon sitouttamiseen. Asiaan tulee kiinnittää huomiota systemaattisesti ja prosessi ei saa olla pätevyyskokeen tuloksesta riippuvainen, joko hyväksyttävä tai syyllistävä. Pätevyyskoetiedon ymmärtäminen ja päteväntiprosessin hyödyntäminen osaamisen johtamisessa edellyttää, että kaikki organisaatiossa ovat tietoisia ja ymmärtävät, miten asioiden tulee olla, mikä on toimintatapa ja miten kunkin tulee suhtautua asioihin. Tässä muutoksessa pätee samat säännönmukaisuudet kuin kaikkea muutakin muutosta ja muutoksen johtamista. Ihmistä ei motivoida muutokseen, vaan luodaan edellytykset muutokseen motivoitumiselle.

8.5 Pätevyyskokeita vastaanottavan organisaation osaamisen ja järjestelmien kehittäminen

Metallialan koulutus ja siihen liittyvä hitsausosaaminen on Kalajokilaakson sekä Siika-Pyhäjokialueen koulutuskuntayhtymien ja niiden seuraajan Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymän keskeisimpiä osaamisalueita. Osaamisen on kuitenkin kehitettävä strategisesti ja jatkuvasti, jotta pystytään vastaamaan tulevaisuuden haasteisiin. Ammattimainen strategiatyöskentely edellyttää, että yritys kiinnittää jatkuvasti huomiota kaikkiin menestyksen timantin särmiin: strategiaan, johtamiseen, osaamiseen ja vuorovaikutukseen. Menestyminen vaatii kaikkien neljän särmän syvällistä ymmärtämistä ja jatkuvaa hiomista (Kamensky 2008, 373.)

Suosittelen pätevyyskokeen valvojille, joilla on kansainvälinen hitsausinsinöörin, hitsausteknikon tai hitsausneuvojan pätevyys kehittämään osaamista hitsausliitosten tarkastustoiminnan osaamiseen, suorittamalla esimerkiksi visuaalisen tarkastuksen pätevyiksiä tai EWF:n mukainen tarkastajan pätevyys IWI-C. Tarkastusosaamisen lisäämisellä saadaan hitsauskoulutus ja hitsausliitosten tarkastusosaamisen kokonaisuus paremmin hallintaan. Tarkastusosaamisella tarkastusprosessia saadaan monilta osin nopeutettua, korvaamalla standardin mukaisesti Röntgen-tarkastus joko ultraäänitarkastuksella, vetokokeella, murtokokeella tai taivutuskokeella. nopeutettu prosessi mahdollistaa nopeamman palautteen pätevyyskokeen tuloksesta hitsaajalle ja hänen edustamalle yritykselle. Tarkas-

tusosaamisen lisäämistä tulee edellyttämään myös Eurocode-standardien määräykset teräsrakenteille. Yleisesti sanoen tarkastustoiminnassa kannattaa käyttää vaihtoehtoja, jotka pätevyyskoe mahdollistaa.

Pätevyyskokeiden standardisoinnista ja siihen liittyvän osaamisen määrittelemisen yhteneväisyydestä huolimatta yksittäisten työkokeiden merkitys tulee näkemykseni mukaan korostumaan lähiaikoina. Tarkastusosaamisen lisäämisellä parannetaan valmiuksia myös yksittäisten työkokeiden vastaanottamiseen, tarkastamiseen ja osaamisen määrittämiseen.

Oriveden huoltoasemarakennustyömaan onnettomuustutkinnasta tehdyssä raportissa todetaan tietopuolisesta kokeesta, että hitsaajan tulee osoittaa pätevyytensä voimassa olevalla hitsaajan pätevyystodistuksella, joka perustuu laaditun hitsausohjeen mukaiseen hitsauskokeeseen. Tietopuolisen kokeen suorittaminen olisi hyödyllistä, mutta se ei ole jostain syystä standardien mukaan pakollista. Tämä on pääasiassa standardien kehittämisorganisaatioiden asia, mutta näkisin hitsaajien tietopuolisen osaamisen merkityksen kasvaneen viimeisten vuosikymmenten aikana ja teoreettisella osaamisella on suora yhteys hitsauksen laatuun. (Onnettomuustutkintakeskus 2004, 22.)

Pätevyyskoe on hitsaavia tuotteita valmistavan yrityksen keskeinen laadunvarmistukseen vaikuttava asia. Tämän vuoksi kehotan pätevyyskokeita valvovia organisaatioita kuvaamaan pätevyyskoeprosessi perusteellisesti. Prosessikuvauksen kautta toimintoja on myös helppo kehittää ja virtaviivaistaa. Lisäksi hyvä prosessin kuvaus yhdenmukaistaa ja tekee toiminnasta tasalaatuista. Esimerkki prosessikuvauksista on tämän asiakirjan liitteenä. Laajemmassa mielessä prosessikuvaukseen kannattaa huomioida ulkoiset vaikuttavat tekijät.

Pätevöintiprosessin asiakirjahallintoon kehotan kiinnittämään huomiota. Silmämääräisen tarkastuksen pöytäkirjaa kehitettiin jo prosessin aikana vastaamaan nykytilannetta. Toinen kehitettävä asia on järjestelmällinen ja helppokäyttöinen röntgen-kuvien säilytys. Näihin asioihin joudutaan varmasti palaamaan jäljempänä mainitun pätevöintilaitoksen kehittämisen yhteydessä.

Kehittämisessä pitää ottaa suuria askelia pysyäkseen edes paikallaan. Ehdotan koulutuskuntayhtymän seuraavaksi suureksi askeleeksi hitsausinfrastruktuurin kehittämisessä, oman päteväntilaitoksen perustamista. Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymän tiloissa toimii nyt Savon koulutuskuntayhtymän päteväntilaitos ja he ovat hyväksyttäneet pätevyyskokeen valvojat PED:in mukaisten kokeiden valvomiseen. Oma päteväntilaitos veisi toiminnan ison askeleen jämäkämpään suuntaan. Tämän tutkimushankkeen ohessa on tehty rahoitushakemus EAKR-rahoituksen saamiseksi päteväntilaitoksen perustamiseen. Rahoittaja on lokakuun lopulla 2011 ilmoittanut suhtautuvansa asiaan myönteisesti. Kuntayhtymän johtaja antoi luvan päteväntilaitoksen perustamiseen ns. kuntayhtymän omalla riskillä 2.11.2011. Tämä lupa tarkoittaa sitä, että hanke toteutetaan kaikesta huolimatta, saadaanko ulkopuolista rahoitusta tai ei. Päätökset alueelle sijoittuvasta suurhankkeesta edesauttoi myönteisen päätöksen tekemistä.

8.6 Hitsaajien osaamisen ainutlaatuisuus

Ollakseen innovatiivinen yrityksen tulee olla luovan lisäksi tehokas ja joustava. Ei siis joko tai, eli innovatiivinen tai tehokas, vaan molempia. nykyaikana tehokkuutta ja joustavuutta haetaan tosin osittain erilaisin keinoin kuin viime vuosisadalla: esimerkiksi laatukäsitys on kehittynyt pelkistä laatukäsikirjojen prosessikuvauksista aktiiviseen laadunhallintaan ja prosessien laaduntuottokyvyn parantamiseen. Hitsaajien osaamisen suhteen ala on kulkenut innovatiivisuudessa ja tehokkuudessa paljon muita aloja nopeammin, sillä päteväntilajärjestelmä on mitä suuressa määrin aktiivista laadunhallintaa ja prosessin laaduntuottokyvyn parantamista, eikä pelkkä laatukäsikirjan prosessikuvaus (Apilo, Taskinen & Salkari 2010, 15.)

Hitsaajien osaamisessa on jotakin ainutlaatuisuutta. Minulla on ollut yli 30-vuotisen työuran aikana mahdollisuus tarkastella hitsaajia ja heidän osaamistaan erilaisista viitekehyksistä. Olen saanut tässä tutkimustyössä aikaisemmille havainnoilleni teoreettista vahvistusta. Suurin osa näistä osaamisen johtamiseen liittyvistä asioista on rajattu tutkimuksen ulkopuolelle. Hitsaajan päteväntilajärjestelmän, osaamisen, osaamisen johtamisen, hitsattavia tuotteita valmistavien yritysten osaamisen

sekä alan teorian välistä yhteyttä tutkittaessa ja viitekehystä hahmotettaessa totesin, että tämä tutkimus tulee jättämään enemmän kysymyksiä kuin vastauksia.

Useissa eri ammateissa joudutaan osaaminen osoittamaan ja osaamisen ylläpitämiseen joudutaan suorittamaan koulutuksia määräajoin. Hitsaajien päteväintijärjestelmä ja osaaminen on siinä mielessä ainutlaatuista, että se osoitetaan standardin mukaisella ja jopa kansainvälisen mittapuun mukaisesti vertailukelpoisella pätevyyskokeella määräajoin, vieläpä suhteellisen usein, tietyissä tapauksissa jopa kuuden kuukauden välein. Lisäksi ainutlaatuisuutta korostaa se, että pätevyyskokeiden lisäksi hitsaajan tuotannolliset hitsausliitokset saattavat joutua usean henkilön 100 %:sen tarkastuksen kohteeksi monella eri tarkastusprosessilla.

Yksi mielenkiintoisimmista havainnoista on hitsaajien tarve sosiaalisten verkostojen muodostamiseen ja näiden verkostojen merkitys hitsaajien osaamisen kehittämisessä. Tämä ei ole ainutlaatuista hitsaajille, sillä esimerkiksi erilaisten tieteellisten ja ammatillisten seurojen ja klubien keskeinen tarkoitus on ollut kautta historian sama. Yritysten verkostoitumisen tarpeesta ja toistensa osaamisen täydentämisestä on keskusteltu viime vuosina runsaasti. Useissa tieteellisissä julkaisuissa kuitenkin todetaan yrityksen osaamisen lähtökohdaksi yksilön osaamisen. Mikä merkitys voisi olla yksilöiden verkostoitumisella, uusien innovaatioiden syntymisessä. Osaamisen johtamisen kannalta nämä mainitut epäviralliset sosiaaliset verkostot ovat innovaatiovoimavaroja, jotka ovat jääneet huomaamatta tai ainakin hyödyntämättä. Tällaisissa verkostoissa on paljon innovaatiokulttuurin aineksia, sillä innovaatiot syntyvät tekemällä. Innovaatiokulttuurin edellytyksiksi luetaan mm. erilaiset ihmiset, jotka täydentävät toistensa osaamista, tunnemme olomme turvalliseksi, luottamuksen ilmapiiri, osaamisen jakaminen, yhteistyö ym (Apilo, Taskinen & Salkari 2010, 217-218.)

Hitsaajan työn ja päteväintijärjestelmän tarkasta ohjeistuksesta huolimatta löysin tutkimuksen aikana teoreettisen yhteyden hitsaajan työn luovuuteen ja siihen, että hitsaavat organisaatiot ovat muuttumassa asiantuntijaorganisaatioiksi. Tämä ei luultavasti ole pelkästään hitsausta toteuttavien organisaatioiden tilanne, vaan monet muutkin perinteiset teknologiset toteuttajaorganisaatiot muuttuvat kohti asiantuntijuutta. Jokainen pätevyyskoe ja jokainen hitsausliitos on tekijänsä näköinen,

eli yksilöllinen. Luovan asiantuntijaorganisaation erinomaisuus, sen briljanssi, perustuu henkilöstön huippuosaamiseen ja vahvaan työmotivaatioon (Huuhka. 2010, 138).

Viitala (2006, 135) puolestaan toteaa motivaatiosta, että ihminen viihtyy työssään ja kokee sen mielekkääksi, jos työ on riittävän haastavaa, siinä on saavutettavissa olevat, hyväksytyt tavoitteet, työstä saa palkkioita ja työympäristöön voi olla tyytyväinen. Tällainen työ motivoi ihmistä pyrkimään hyvään suoritukseen. Motivaatiota onkin pidetty avainsanana yritysten pyrkinessä parantamaan työsuorituksiaan.

8.7 Prosessien kehittäminen

Tämä hitsausvirheitä koskeva tutkimus on tehty pitkään teollisessa käytössä olleille käsivaraisesti suoritettaville hitsausprosesseille. Hitsaustekniikan alueella tehdään merkittävää tutkimustyötä prosessien kehittämiseksi. Viimevuosina teolliseen käyttöön tulleet menetelmät ovat tästä hyviä esimerkkejä. Hybridihitsausprosessit eivät sinällään ole uusia prosesseja, vaan vanhojen prosessien yhdistelmiä, joissa pystytään hyödyntämään molempien prosessien hyviä ominaisuuksia ja toisen prosessin heikkouksia täydentämään toisen vahvuuksilla. Hitsaavan teollisuuden pysyminen Suomessa edellyttää hitsauksen tuottavuuden, laadun ja työn kiinnostavuuden lisäämistä. Hyvänä esimerkkinä tästä toimii laserhybridihitsaus, joka on laserhitsauksen ja perinteisen kaarikaasuhitsauksen (MAG) yhdistelmä. Prosessissa hyödynnetään molempien prosessien hyödyt ja vältetään niiden rajoituksilta. Merkittävimpinä etuina hybridihitsaukselle ovat suuri hitsausnopeus sekä hitsautumissyvyys. Nämä ominaisuudet saavutetaan alhaisella lämmöntuonnilla, jolloin rakenteeseen syntyvät mikrorakennemuutokset, fyysiset muodonmuutokset ja jäännösjännitykset jäävät erittäin vähäisiksi. Uusien prosessien liittäminen tehostamaan vanhoja prosesseja madaltaa uuden tekniikan kynnystä teolliseen käyttöön. Prosessissa laser-sädettä voidaan hyödyntää esimerkiksi hitsausliitoksen esilämmityksessä, hitsiaineen sulatuksessa ja jäähtymisen hidastamisessa. Hybridiprosessien käytön lisääntyminen tulee huomioida myös pätevyystoiminnassa. Laser-hitsaus on sädehitsausprosessi ja tämän tutkimuksen muut prosessit ovat sulahitsausprosesseja. Näiden yhdistelmää ei ole pätevyyskoestandeissa mää-

ritelty, eikä sitä voida pitää standardinmukaisena yhdistelmäkokeena (Fellman 2008, 2-3.)

8.8 Tutkimuksen jatkuminen

Tämä tutkimustyö on osaltaan helpottanut hitsausliitosten ongelmien ja tutkimuskohteiden löytämistä. Tutkimustyössä sain havaita, että jokainen vastaus, jonka tutkimusaineisto toi esiin, herätti muutaman uuden kysymyksen. Päällimmäisenä nousi jokaisen vastauksen jälkeen mieleen, miten saavutettua tietoa voidaan käytännössä hyödyntää hitsattavia tuotteita valmistavan yrityksen osaamisen johtamisessa? Soveltavalle tutkimukselle jäi selvitettäväksi useita kysymyksiä, miten hitsausvirheitä voidaan vähentää tai niiden kokoa pienentää?

8.9 Itsearviointi

Hyvä tutkimus muodostuu näkemykseni mukaan mielenkiintoisesta ja järkevästä aiheesta, eli tutkimusongelmasta ja onnistuneesta rajauksesta. Henkilökohtaisesti mielenkiinto aiheeseen ja pätevyyskokeiden tulosten hyödynnettävyyteen osaamisen johtamisessa on muodostunut vuosien, ellei peräti jo parin vuosikymmenen aikana. Olen usein miettinyt, miten pystyisin hyödyntämään tuhansista pätevyyskokeista kerättyä tietoa suomalaisen hitsaavan teollisuuden hyväksi? Näen aiheen järkevänä, tarpeellisenä ja mielenkiintoisena, joten sen suhteen tunnen onnistuneeni. Rajauksen suhteen olisin mielelläni laajentanut tutkimusaineistoa, mutta hitsausliitosten tarkastukseen liittyvien standardimuutosten vuoksi aineisto oli yhdenmukaista ja käyttökelpoista vain vuodesta 2008 lähtien. Vanhemman aineiston käyttö olisi edellyttänyt mm. kaikkien virhekoodien uudelleentulkintaa. Oman mielenkiinnon vuoksi menin tietoisesti joissakin asioissa alkuperäisen rajauksen ulkopuolelle. Perustelen tätä sillä, että ammattikorkeakoulu on soveltavan tutkimuksen korkeakoulu ja nämä poikkeamat palvelevat ja kehittävät omaa työyhteisöä sekä työyhteisön asiakkaiden toiminnan kehittämistä. Olisin kuitenkin tutkinut asiat opinnäytetyön ulkopuolella, joten miksi jättäisin ne tässä kuvaamatta?

Tutkimuksen toteuttamisessa ja sen kirjallisessa tuotoksessa on oleellista käsitteiden määrittelemisen, tutkimusmenetelmien hallinta sekä lähteiden ja viitteiden käytön hallitseminen. Käsitteiden määrittelemisessä olisin voinut tehdä tiukemman rajauksen. Halusin kuitenkin hitsausalan merkittävyyden, osaamisen johtamisen ja pätevyyskoestandardin sisällön lisäksi tuoda esille perusasiat tutkimusaineiston sisältämistä hitsausprosesseista ja hitsausliitosten tarkastusmenetelmistä. Tutkimustyö jonka tein kokonaisuudessaan kotona, rajoitti ohjelmistojen käyttöä, mutta tutkimusaineiston keskeiset tulokset tuli kuitenkin selvitettyä. Lisäksi käytössä olevat ohjelmistot palvelevat työyhteisöä jatkossakin ja pätevyyskokeiden tietoja voidaan syöttää järjestelmää edelleen, mikä palvelee esimerkiksi jatkotutkimusta tai tosiaikaista tutkimusta. Alan kirjallisuutta käytin runsaasti, mikä johtuu siitä, että jouduin hakemaan hitsausvirheisiin liittyviä tutkimuksia hyvin paljon. Olettaisin hitsausvirheisiin liittyvät tutkimukset niin vanhoiksi, että niitä ei ole sähköisesti julkaitavissa tutkimuksissa. Toisaalta kirjallisuutta etsiessä tutustuin laajaan materiaaliin ja aihetta sivuaviin tutkimuksiin, joista sain tieteellistä näkökulmaa omiin väittämiini.

Tutkimuksen luotettavuus vaihtelee prosessikohtaisesti. Koko tutkimusaineisto oli 805 pätevyyskoetta, mutta se jakaantui eri prosessien suhteen epätasaisesti. Lisäksi tutkimus jakaantui pätevyyskoestandardin oleellisten muuttujien mukaisesti vielä useaan eri osaan, jolloin tutkimusaineisto pieneni joillakin osa-alueilla niin pieneksi, että pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei voi tehdä. Yleisellä tasolla tämä on osaamisen johtamisen kannalta ongelmallista. Tutkimustulosten sovellettavuusarvo yksittäisessä yrityksessä on suurempi, koska pätevyyskokeiden oleelliset muuttujat vaihtelevat vähemmän ja tuloksen hyödynnettävyys osaamisen johtamisessa helpottuu. Mittaustuloksen validiteetti, eli mittarin pätevyys on hyvä, mutta reliabiliteetti, eli mittaustuloksen pysyvyys edellyttäisi joillakin hitsausprosesseilla laajempaa tutkimusaineistoa.

Tutkimuksen kustannukset ovat minimaaliset. Suurimmat kustannukset muodostuvat kopiointi ja painatuskuluista sekä opinnäytetyön prosessiin liittyvistä matkoista. Kaikki pätevyyskokeet olisi suoritettu joka tapauksissa, joten niistä ei muodostunut kustannuksia. Joidenkin työaikaa jouduin käyttämään haastatteluissa, työn arvi-

oinnissa yms. Uskon, että tutkimuksen tulokset korvaavat kyseiset menetykset tilaajaorganisaatiolle.

Tutkijan valmiuksien, eli henkilökohtaisten valmiuksien arviointi on vaikeaa, mutta koen onnistuneeni vähintään hyvin. Tutkimusprosessi on kehittänyt valmiuksia yleisesti tutkimuksen tekemiseen. Lisäksi koen oppineeni ymmärtämään paremmin yksilön osaamisen, organisaation osaamisen, yrityksen tuloksen ja koko yhteiskunnan menestymisen yhteyden.

Omasta mielestä mielenkiintoisimpia havaintoja oli hitsaajien osaamisen ainutlaatuisuus. Jokainen joutuu osoittamaan osaamistaan päivittäin esimerkiksi asiakkaille tai muille sidosryhmille. Tätä osaamisen osoittamista myös hitsaajat tekevät arkipäivässä työssään. Sen lisäksi he joutuvat 0,5...2 vuoden välein suorittamaan pätevyyskokeen, jolla osaaminen mitataan. Vaikka olen toiminut hitsaajien pätevyyskokeiden parissa jo yli 20 vuotta, niin yksi mielenkiintoisimpia päätelmiä tai havaintoja tutkimustyön aikana oli pätevyyskokeen kyky muuttaa aineeton pääoma mitattavaan muotoon.

"Pätevyyskokeeseen kannattaa suhtautua osaamisen johtamisen työkaluna, eikä standardin edellyttämänä välttämättömänä pakkona"
(Peltola 2011).

LÄHTEET

- Aga Suojakaasukäsikirja. 1998. Saatavissa:
- Aho, E. 2008. Kansallinen innovaatiostrategia. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö
- Apilo, T. Taskinen, T. & Salkari, I. 2010. johda innovaatioita. Hämeenlinna: Talentum Media Oy.
- Eduskunta 1.7.2010. Päiväjärjestys
- Engström, Y. 1987. Perustietoa opetuksesta. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Fellman, A. 2008. The effects of some variables on CO2-Laser-MAG hybrid welding. Lappeenranta University on technology.
- Fronius 2011. Esite. Saatavissa:
http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-D6745FEB-460FB49A/fronius_usa/22_cmt_the_new_revolution_in_digital_gma_welding_gb.pdf
- Harmaakorpi, V. 2010. Ammatillinen aikuiskoulutus innovaatioalustana – luentomateriaali 25.3.2010 Ammatillisten Aikuiskoulutuskeskusten liiton neuvottelupäivillä 25.3.2010. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
- Hirsjärvi, S., Liikanen, P., Remes, P. & Sajavaara, P. 1995. Tutkimus ja sen raportointi. Jyväskylä: Gummerus Oy.
- Hitsausuutiset. 1/2007. Esab Oy.
- Huhdankoski, E. 1997. Rautaruukin teräkset ääriolosuhteissa, Keuruu: Otava
- Huuhka, M. 2010. Luovan asiantuntijaorganisaation johtaminen. Helsinki: Talentum media Oy.
- Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymä. 2011. Henkilöstökertomus 2010. Saatavissa:
http://www.kam.fi/docs/KAM_henkilöstökertomus_2010.pdf
- Kalamies, U. 2011. Metallirakenteiden uudet vaatimukset-seminaariaineisto. Inspecta Sertifiointi Oy.
- Kamensky, M. 2008. Strateginen johtaminen, menestyksen timantti. Helsinki: Talentum

- Katainen, H. & Mäkinen, A. 1989. Aineliitostekniikka. Porvoo: WSOY
- Kunnossapito-lehti 5/1999. Erikoisliite: Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus.
- Lahti Mecatronics 2011, saatavissa:
<http://salpro.salpaus.fi/lmn/?hitsaus>
- Lahtinen, J., Isoviita, A. & Hytönen, Kari. 1995. Markkinoinnin kilpailukeinot. Kokkola: Avaintulos Oy
- Lanning, H., Roiha, M. & Salminen, A. 1999. Matkaopas muutokseen, Miten kehität organisaatiota tehokkaasti ja hallitusti. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Leino, K., Karppi, R. & Hentula, M. 2008. Suomalaisen hitsaustuotannon kilpailukyky. VTT:n tutkimusraportti.
- Leino, T. 2006. Staattisesti kuormitettujen hitsausliitosten suunnittelu. VTT:n tutkimusraportti.
- Lillrank, P. 1998. Laatuajattelu, Laadun filosofia, tekniikka ja johtaminen tietoyhteiskunnassa. Helsinki: Otava
- Lukkari, J. 2001. Hitsin laatu ja hitsausvirheet. Artikkelisarja hitsausuutisissa 2000-2001. Esab Oy
- Lukkari, Juha. 2008. Hitsaustekniikka, Perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki: Edita Oy.
- Moilanen, R. 2001. Oppivan organisaation mahdollisuudet. Helsinki: Tammi
- Nevasmaa, P. 2010. Valtion Teknillisen Tutkimuskeskusken raportti VTT-R-05508-10. Järvenpään romahtaneen urheiluhallin kattotärsäkkeiden hitsausliitosten tutkinta.
- Nykänen J. 2010. Aikuiskoulutuskeskusten koulutusreformien tarkastelua arvojen näkökulmasta. Tampereen Yliopisto.
- Onnettomuustutkintakeskus. 2004. Tutkintaselostus B 3/2003 Y. Pysyväksi tarkoitetun välipohjarakenteen putoaminen huoltoasematyömaalla Orivedellä 25.8.2003. Helsinki: Multiprint Oy. (julkaisuluja: liite 15)
- Painelaitelaki 27.8.1999/869.
- PED, Painelaitedirektiivi (97/23/EY).

- Ruohotie, P. 1996. Oppimalla osaamiseen ja menestykseen. Helsinki: Oy Edita Ab
- Ruohotie, P & Honka, J. 2003. Ammatillinen huippuosaaminen. Hämeenlinna: Saarijärven Offset Oy
- Saaranen, K. 2006. Palkinvalmistuksen hitsauksen laadunvarmistus. Diplomityö, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
- Salkinoja, H. 2009. Optimizing of intelligence level in welding. Väitöskirja, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
- Savolainen, J. 2004. Osaamisen johtaminen esimiestyössä. ProGradu-tutkimus, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.
- SFS 3052. 1995 Hitsaussanasto, Yleistermit. Suomen Standardisoimisliitto SFS
- SFS-EN 287-1. 2004. Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräksiset. Suomen Standardisoimisliitto SFS
- SFS-EN 910. 1996. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Taivutuskokeet. Suomen Standardisoimisliitto SFS
- SFS-EN 1090-1. 2010. Teräs ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 1: Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointiin. Suomen Standardisoimisliitto SFS
- SFS-EN 1090-2. 2008. Teräs ja alumiinirakenteiden toteuttaminen. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS
- SFS-EN ISO 9001. 2008. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS
- Spiik, K-M. 2001. Tiimityöstä voimaa. Juva: WS Bookwell Oy.
- Stenbacka, N. 2009. Svetsekonomi och produktivitet. Stockholm: Svetskommisionen. Suomentanut Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys, 2011
- Sun, M. 2009. Quality management of outsourcing welded structure: case China. Diplomityö, Lappeenranta University on technology.
- Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys. 2008. Kansainvälisen hitsausneuvojan sähköinen (cd) koulutusmateriaali
- Sydänmaanlakka, P. 2004. Älykäs organisaatio. Helsinki: Talentum
- STUK. 2008. Säteilyturvakeskuksen tiedote 20.8.2008.

Talvio, C. & Välimaa, M. 2004. Yhteiskuntavastuu ja johtaminen. Helsinki: Edita Prima Oy

Teknologiateollisuus ry. 2011. Saatavissa:
<http://new.teknologiateollisuus.fi/fi/toimialat/kone--ja-metallituoteteollisuus.html>

Uusitalo, H. 1991. Tiede, tutkimus ja tutkielma. Johdatus tutkielman maailmaan. Juva: WSOY Oy.

Viitala, R. 2002. Osaamisen johtaminen esimiestyössä. Vaasa: Väitöskirja, Universitas Vaasa.

Viitala, R. 2006. Henkilöstöjohtaminen. Helsinki: Edita Prima Oy.

VTT. 2004. Tutkimusselostus TUO74-033240. Rakenteiden murtumismekaniikan, rakenteissa käytettyjen materiaalien ja rakenteiden hitsausliitosten laadun selvitys. Onnettomuustutkintakeskus. (julkaisulupa, liite 15 ja 20)

Vähäkainu, O. 1998. Rautaruukki - Hitsaajan opas. Keuruu: Otava Oy.

LIITTEET

Liite 1. Tutkimusaineisto

Liite 2. Lehdistötiedote kuntayhtymien yhdistymisestä

Liite 3. Pohjois-Pohjanmaan TYKE 2011 klusterimalli

Liite 4. Teknologiateollisuus Pohjois-Pohjanmaalla

Liite 5. Alan työllisyys teknologiateollisuudessa

Liite 6. Perusaineryhmät CEN ISO/TR 15608 mukaan

Liite 7. Hitsaajan pätevyyskokeen toteutus- ja valvontaprosessi

Liite 8. Materiaalitodistus

Liite 9. SFS-EN 287-1 mukaiset hitsausasennot

Liite 10. TTK:n myöntämä pätevyyskokeen valvojan sertifikaatti

Liite 11. IWE todistus

Liite 12. EWE todistus

Liite 13. Näkötesti silmämääräisen tarkastuksen suorittamiseksi

Liite 14. Pätevyyskoetodistus

Liite 15. Onnettomuuskeskuksen julkaisulupa

Liite 16. Silmämääräisen tarkastuksen pöytäkirja

Liite 17. Ammatillisen lisäkoulutuksen järjestämislupa

Liite 18. Pätevyyskokeiden tarkastusprosessi

Liite 19. Esimerkki pätevyyskokeen merkinnästä

Liite 20. VTT Julkaisulupa

Liite 21. Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymän esittely

ISO 6520-1 mukainen luokittelu										300	301	302	303	401	402	502	504	505	507	508	515	602	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2024	5011	5012
Numero	Prosessi	Tuotemuoto	Perusaineryhmä	Aineenpaksuus	Putken ulkohalkaisija	Hitsausasento	Juurenavaus/juurituki	Hyväksyntä OK/e	EN 5817 mukainen hitsausluokka	sulkeuma	kuonasulkeuma	juoksesulkeuma	oksidisulkeuma	litosvirhe	vajaa hitsautumissyvyys	korkea kupu	korkea juurikupu	jyrkkä liittyminen	rasomainen sovitusvirhe	kulmapoikkeama	vajaa juuri	Roiskeet	huokonen	rasainen huokoisuus	huokosryhmä(t)	huokosjono	pitkänomainen huokonen	madonreikähuokonen	imuontelo	jalkuva reunahaava	katkonainen reunahaava
1	111	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	e	D		1																				
2	135	P	1.2	12,5		PA	bs	OK	B														1								
3	135	P	1.2	12,5		PA	bs	OK	B														1								
4	135	P	1.2	12,5		PA	bs	OK	B																						
5	111	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	OK	B	1													1								
6	135	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	e	D			1																	1		
7	141	T	5	5,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B												1	1									
8	135	P	1.2	12,5		PF	bs	OK	B																						
9	136	P	1.2	12,5		PA	bs	e	D			1											1	1			1		1		
10	136	P	1.2	12,5		PA	bs	OK	B																						
11	136	P	1.2	12,5		PA	bs	OK	B																						
12	111	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B															1							
13	136	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	e	D	1																					
14	111	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	e	D	1																					
15	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	e	D			1	1										1								
16	111	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B	1																					
17	136	P	1.2	12,5		PA	bs	e	D	1					1														1		
18	135/136	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	OK	B														1								
19	136	P	1.2	12,5		PF	bs	OK	B																						
20	136	P	1.2	12,5		PF	bs	OK	B																						
21	136	P	1.2	12,5		PF	bs	OK	B																						
22	111	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	e	D	1																					
23	111	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	e	D						1																
24	111	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B																						
25	135	T	1.2	5,0	76,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
26	135	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B			1																			
27	111	T	1.2	12,5	88,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
28	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	e	C														1	1							
29	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	e	D	1																					1
30	136	P	1.2	12,5		PA	bs	e	D	1																					
31	136	P	1.2	12,5		PC	bs	OK	B																						
32	136	P	1.2	12,5		PC	bs	OK	B	1																					
33	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
34	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
35	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	OK	B																						
36	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	OK	B			1																			1
37	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B														1								
38	135	P	1.2	12,0		PF	ss, nb	OK	B														1								
39	111	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B																						
40	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
41	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B															1							
42	136	P	1.2	12,5		PE	bs	e	D	1		1																			
43	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B														1								
44	136	P	1.2	12,5		PA	bs	OK	B																						1
45	311	T	1.2	4,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B														1								
46	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	e	D														1								
47	111	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	OK	B																						
48	141	P	1.2	2,0		PC	ss, nb	OK	B																						
49	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	e	C	1													1								
50	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B																						
51	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
52	111	T	1.2	4,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B															1	1						
53	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
54	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B			1											1								
55	111	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B																						
56	111	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	OK	B																						
57	111	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B																						
58	135	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	OK	B														1								1

ISO 6520-1 mukainen luokittelu										300	301	302	303	401	402	502	504	505	507	508	515	602	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2024	5011	5012
Numero	Prosessi	Tuotemuoto	Perusaineryhmä	Ainepaksuus	Puiken ulkohalkaisija	Hitsausasento	Juurenavaus/juurituki	Hyväksymä OK/e	EN 5817 mukainen hitsausluokka	sulkeuma	kuonasulkeuma	juoksutesulkeuma	oksidisulkeuma	litosvirhe	vajaa hitsautumissyvyys	korkea kupu	korkea juurikupu	jytkä liittyminen	tasomainen sovitusvirhe	kulmapolkkeama	vajaa juuri	Rolskeet	huokonen	tasainen huokoisuus	huokosryhmä(t)	huokosjono	pitkänomainen huokonen	madonreikähuokonen	imuontelo	jalkuva reunahaava	katkonainen reunahaava
59	135	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	OK	B														1								1
60	311	T	1.2	4,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B												1										
61	111	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1									1
62	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B																						
63	111	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1									
64	111	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	OK	B							1						1									
65	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK	B							1															1
66	111	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	OK	B																						
67	135	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	e	D				1										1								
68	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B																						
69	111	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B																						
70	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B														1								
71	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B														1								
72	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
73	135	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
74	311	T	1.2	4,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B												1										
75	135	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	e	C														1					1			
76	111	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B																						
77	135	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B			1																			
78	111	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B														1								
79	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
80	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B																						
81	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
82	135	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	e	D															1							
83	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B																						
84	141	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
85	111	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B														1								
86	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B																						
87	111	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	OK	B		1																				
88	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B														1								
89	136	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B																						
90	136	P	8	10,0		PE	bs	e	D		1																				
91	111	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
92	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
93	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	e	D		1		1																		
94	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
95	111	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	OK	B								1						1								1
96	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B								1														
97	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK	B																						
98	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D																		1				
99	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D																		1				
100	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D																		1				
101	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D																		1				
102	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B																						
103	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D																			1			
104	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
105	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
106	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
107	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
108	135	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	OK	B																						
109	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK	B	1													1								
110	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B														1								
111	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B																						
112	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
113	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
114	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
115	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
116	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B														1					1			

ISO 6520-1 mukainen luokittelu								
Numero	Prosessi	Tuotemuoto	Perusaineryhmä	Aineenpaksaus	Putken ulkohalkaisija	Hitsausasento	Juurenavaus/juurituki	Hyväksyntä OK/e
117	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK B
118	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK B
119	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK B
120	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK B
121	136	P	1.2	12,5		PE	bs e	D
122	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK B
123	111	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK B
124	136	P	1.3	15,0		PE	bs	OK B
125	111	P	1.3	15,0		PE	bs, mb	OK B
126	136	P	1.2	12,5		PE	bs	OK B
127	111	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK B
128	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK B
129	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK B
130	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK B
131	136	P	8	10,0		PE	bs e	D
132	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK B
133	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK B
134	136	P	8	10,0		PE	bs e	D
135	111	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	OK B
136	141	T	1.2	4,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK B
137	141	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK B
138	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK B
139	111	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK B
140	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb e	D
141	111	P	1.3	15,0		PF	bs, mb	OK B
142	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK B
143	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb e	D
144	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb e	D
145	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK B
146	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK B
147	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb e	D
148	111	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK B
149	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK B
150	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK B
151	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb e	D
152	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK B
153	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK B
154	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK B
155	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK B
156	111	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK B
157	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK B
158	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK B
159	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK B
160	135	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	OK B
161	135	P	1.2	12,5		PC	ss, nb e	D
162	135	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	OK B
163	135/136	P	1.3	15,0		PE	ss, nb	OK B
164	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb e	D
165	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb e	D
166	135/136	P	1.3	15,0		PE	ss, nb	OK B
167	135	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	OK B
168	111	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	OK B
169	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK B
170	135	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK B
171	111	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb e	C
172	141	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK B
173	135	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK B
174	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK B

ISO 6520-1 mukainen luokittelu									300	301	302	303	401	402	502	504	505	507	508	515	602	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2024	5011	5012	
Numero	Prosessi	Tuotemuoto	Perusaineryhmä	Aineenpaksaus	Putken ulkohalkaisija	Hitsausasento	Juurenaavaus/juurituki	Hyväksyntä OK/e	EN 5817 mukainen hitsausluokka	sulkeuma	kuonassulkeuma	juoksu-sulkeuma	oksidisulkeuma	liitosvihe	vajaa hitsautumissyvyys	korkea kupu	korkea juurikupu	tyrkä liittyminen	asomainen sovitussvirhe	kulmapoikkeama	vajaa juuri	Roiskeet	huokonen	asainen huokoisuus	huokosryhmä(t)	huokosjono	pitkänomainen huokonen	madonreikähuokonen	muuntelo	jatkuva reunahaava	katkonainen reunahaava
233	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1									
234	136	P	1.3	12,5		PA	bs	OK	B	1												1									
235	111	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1	1				1				
236	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B													1					1				
237	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1									
238	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1									
239	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B												1	1									
240	135	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	e	D			1										1					1			1	
241	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1									
242	135	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	OK	B													1									
243	136	P	1.3	12,5		PE	bs	OK	B																						
244	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
245	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
246	135	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	OK	B			1										1									
247	111	T	5	12,5	88,9	H-L045	ss, nb	OK	B																						
248	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B	1																				1	
249	111	T	5	12,5	88,9	H-L045	ss, nb	OK	B																						
250	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B			1																			
251	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
252	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
253	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
254	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D				1																		
255	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1									
256	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
257	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1									
258	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
259	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK	B			1																			
260	135	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	OK	B														1				1				
261	141/111	T	5	12,5	89,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1									
262	135	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B													1									
263	141/111	T	5	12,5	89,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1								1	
264	136	P	1.3	12,5		PE	bs	e	D	1																					
265	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B																						
266	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK	B																						
267	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B																						
268	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
269	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
270	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B																						
271	135/136	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B														1								
272	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
273	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
274	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
275	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
276	136	P	1.3	12,5		PF	bs	OK	B																						
277	136	P	1.2	12,5		PF	bs	OK	B																						
278	111	P	1.2	12,5		PC	ss, nb	OK	B																						
279	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
280	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B													1									
281	111	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	e	D						1																
282	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B																						
283	135	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK	B																						
284	135/136	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	e	D	1	1																1				
285	136	P	1.3	12,5		PE	bs	e	D																						
286	136	P	1.3	12,5		PE	bs	OK	B																						
287	136	P	1.3	12,5		PE	bs	OK	B																						
288	136	P	1.3	12,5		PE	bs	OK	B																						
289	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B																						
290	111	P	1.2	12,5		PF	ss, nb	e	D																						

ISO 6520-1 mukainen luokittelu									
Numero									
Prosessi									
Tuotemuoto									
Perusaineryhmä									
Alineenpaksaus									
Putken ulkohalkaisija									
Hitsausasento									
Juureनावस/juurituki									
Hyväksyntä OK/e									
EN 5817 mukainen hitsausluokka									
300									
301									
302									
303									
401									
402									
502									
504									
505									
507									
508									
515									
602									
2011									
2012									
2013									
2014									
2015									
2016									
2024									
5011									
5012									
349	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B
350	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B
351	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B
352	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B
353	141	T	8	4,0	60,0	H-L045	ss, nb	OK	B
354	135	P	1.2	12,5		PE	ss, nb	OK	B
355	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	e	D
356	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	OK	B
357	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	e	D
358	111	T	1.2	3,0	60,0	H-L045	ss, nb	e	D
359	111	T	10	3,0	60,0	H-L045	ss, nb	e	D
360	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B
361	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	e	C
362	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	OK	B
363	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	OK	B
364	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	e	D
365	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B
366	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	OK	B
367	135	P	1.2	10,0		PF	ss, nb	OK	B
368	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B
369	141/111	T	1.2	6,0	76,0	H-L045	ss, nb	e	D
370	141	T	1.2	4,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
371	135	T	1.2	5,0	114,0	H-L045	ss, nb	OK	B
372	111	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	e	D
373	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	OK	B
374	135	T	1.2	5,0	76,0	H-L045	ss, nb	OK	B
375	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
376	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B
377	111	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	e	D
378	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	e	D
379	141	T	1.2	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
380	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
381	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
382	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
383	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
384	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
385	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	e	D
386	111	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B
387	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
388	111	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	OK	B
389	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK	B
390	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK	B
391	141	P	8	2,0		PC	ss, nb	OK	B
392	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
393	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
394	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D
395	111	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B
396	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
397	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
398	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
399	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
400	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D
401	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D
402	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B
403	136	T	1.2	5,0	168,0	H-L045	ss, nb	e	D
404	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B
405	135	P	1.2	12,0		PE	ss, nb	OK	B
406	135	P	1.2	12,0		PC	ss, nb	OK	B

ISO 6520-1 mukainen luokittelu										
Numero		Prosessi	Tuotemuoto	Perusaineryhmä	Aineenpaksaus	Putken ulkohaikaisija	Hitsausasento	Juureनावस/juurituki	Hyväksyntä OK/e	EN 5817 mukainen hitsausluokka
523	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
524	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
525	111	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
526	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
527	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
528	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
529	141/111	T	8	7,1	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
530	141/111	T	5	12,5	88,9	H-L045	ss, nb	OK	B	
531	141/111	T	8	7,1	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
532	136	P	1.3	12,5		PE	bs	OK	B	
533	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	1
534	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
535	111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
536	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
537	141/111	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	1
538	111	T	8	7,1	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
539	111	T	5	4,5	21,3	H-L045	ss, nb	OK	B	
540	141	T	5	5,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	1
541	111	T	5	5,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
542	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	e	D	1
543	136	P	1.3	12,5		PA	bs	e	D	1
544	141	T	5	2,0	14,0	H-L045	ss, nb	e	D	
545	141/111	T	5	12,5	88,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
546	141/111	T	5	12,5	88,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
547	141	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D	
548	111	T	5	12,5	88,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
549	141	T	5	5,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
550	141	T	8	3,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
551	141	T	8	2,0	12,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
552	141	T	5	12,5	88,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
553	141/111	T	5	16,0	88,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
554	141	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
555	141/111	T	5	12,5	88,9	H-L045	ss, nb	e	D	1
556	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
557	111	T	5	3,2	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
558	111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
559	136	P	1.3	12,5		PA	bs	OK	B	
560	141	T	8	1,5	8,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
561	141	T	8	1,5	8,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
562	141	T	8	1,5	8,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
563	141	T	8	1,5	8,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
564	141	T	8	1,5	8,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
565	141	T	8	1,5	8,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
566	141	T	8	1,5	8,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
567	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D	1
568	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
569	111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
570	141	T	5	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
571	141	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
572	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
573	136	P	1.3	12,5		PE	bs	e	D	1
574	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
575	111	T	5	12,5	88,9	H-L045	ss, nb	OK	B	
576	136	P	1.3	12,5		PE	bs	OK	B	
577	141	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
578	111	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	1
579	141	T	5	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	
580	141	T	5	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B	

[illegible]

ISO 6520-1 mukainen luokittelu									
Numero	Prosessi	Tuotemuoto	Perusaineryhmä	Aineenpaksaus	Putken ulkohalkaisija	Hitsausasento	Juurenavaus/juurituki	Hyväksyntä OK/e	EN 5817 mukainen hitsausluokka
639	135	T	1.2	5,0	76,0	H-L045	ss, nb	OK	B
640	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B
641	136	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK	B
642	136	T	1.2	6,3	76,0	H-L045	ss, nb	OK	B
643	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
644	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
645	141	T	1.3	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
646	136	P	1.3	12,5		PE	bs	e	D
647	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	e	D
648	135	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	e	D
649	136	P	1.3	12,5		PE	bs	OK	B
650	111	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	e	D
651	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
652	111	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
653	111	T	1.2	6,3	76,0	H-L045	ss, nb	OK	B
654	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
655	111	p	1.3	12,5		PC	ss, nb	OK	B
656	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B
657	135	P	1.3	12,5		PA	bs	OK	B
658	135	P	1.3	12,5		PA	bs	e	D
659	135	P	1.3	12,5		PA	bs	OK	B
660	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B
661	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B
662	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
663	136	P	1.3	12,5		PE	bs	OK	B
664	141	P	8	2,0		PE	ss, nb	OK	B
665	135	P	1.3	12,5		PF	bs	OK	B
666	135	P	1.3	12,5		PF	bs	OK	B
667	135	P	1.3	12,5		PF	bs	OK	B
668	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B
669	136	P	1.3	12,5		PC	bs	OK	B
670	141/111	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
671	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
672	136	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B
673	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
674	111	T	5	12,5	88,9	H-L045	ss, nb	OK	B
675	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B
676	111	T	5	12,5	88,9	H-L045	ss, nb	OK	B
677	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
678	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
679	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e	D
680	111	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
681	135	T	1.2	6,0	48,0	PF	ss, nb	OK	B
682	135	T	1.2	6,0	48,0	PC	ss, nb	OK	B
683	135	P	1.3	12,5		PF	bs, ng	OK	B
684	135	P	1.3	12,5		PC	bs, ng	e	C
685	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
686	135	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK	B
687	135	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK	B
688	111	T	1.3	6,3	76,1	H-L045	ss, nb	OK	B
689	136	P	1.3	15,0		PE	ss, nb	OK	B
690	135	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK	B
691	135	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK	B
692	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B
693	135	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	e	D
694	136	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK	B
695	135	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK	B

ISO 6520-1 mukainen luokittelu								
Numero	Prosessi	Tuotemuoto	Perusaineryhmä	Aineenpaksaus	Putken ulkohalkaisija	Hitsausasento	Juureनावस/juurituki	Hyväksyntä OK/e
696	136	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK
697	111	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	e
698	136	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK
699	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
700	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
701	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
702	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
703	136	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK
704	136	P	1.3	15,0		PF	ss, nb	OK
705	136	P	1.3	15,0		PF	ss, nb	OK
706	136	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	OK
707	136	P	1.3	15,0		PF	ss, nb	OK
708	135	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK
709	111	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK
710	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
711	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
712	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
713	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e
714	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	e
715	135	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK
716	135	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	e
717	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	e
718	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
719	111	T	8	7,0	48,3	H-L045	ss, nb	OK
720	141/111	T	5	16,0	88,9	H-L045	ss, nb	OK
721	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
722	141/111	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
723	141	T	52	5,5	60,0	H-L045	ss, nb	OK
724	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
725	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
726	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
727	141	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
728	111	T	5	16,0	88,0	H-L045	ss, nb	OK
729	141	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
730	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
731	111	T	1.2	4,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
732	141	T	5	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
733	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
734	311	T	1.2	4,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
735	111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK
736	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK
737	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK
738	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
739	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
740	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	e
741	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
742	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
743	141	T	8	2,0	12,0	H-L045	ss, nb	OK
744	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK
745	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	e
746	111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK
747	111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK
748	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK
749	141	T	8	1,5	8,0	H-L045	ss, nb	OK
750	141/111	T	5	15,0	89,0	H-L045	ss, nb	e
751	111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK
752	141/111	T	5	15,0	88,9	H-L045	ss, nb	OK
753	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK

ISO 6520-1 mukainen luokittelu									
Numero	Prosessi	Tuotemuoto	Perusaineryhmä	Aineenpaksaus	Putken ulkohalkaisija	Hitsausasento	Juurenavaus/juurituki	Hyväksyntä OK/e	EN 5817 mukainen hitsausluokka
754	141	T	8	1,5	8,0	H-L045	ss, nb	OK	B
755	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
756	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	D
757	141	T	5	2,5	14,0	H-L045	ss, nb	e	D
758	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
759	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
760	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
761	135	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
762	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	e	D
763	141	T	8	2,0	48,3	H-L045	ss, nb	OK	B
764	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
765	111	T	5	12,5	88,9	H-L045	ss, nb	OK	B
766	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
767	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
768	141	T	5	2,6	14,0	H-L045	ss, nb	OK	B
769	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
770	141	T	8	1,5	12,0	H-L045	ss, nb	OK	B
771	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
772	111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
773	141/111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
774	111	T	8	7,1	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
775	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
776	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
777	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
778	141/111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
779	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
780	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
781	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
782	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
783	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
784	111	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	e	D
785	135	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	OK	B
786	136	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	e	D
787	136	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK	B
788	141/111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
789	111	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
790	141	T	5	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
791	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
792	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
793	135	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	e	D
794	111	P	1.3	12,5		PE	ss, nb	e	D
795	135	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	e	D
796	111	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	OK	B
797	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
798	141/111	T	1.2	6,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
799	141	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
800	111	T	8	2,0	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
801	141	T	1.2	6,3	48,0	H-L045	ss, nb	OK	B
802	135	P	1.3	12,5		PC	ss, nb	e	D
803	135	T	8	3,6	60,0	PC	ss, nb	OK	B
804	135	T	8	3,6	60,0	PC	ss, nb	OK	B
805	111	P	1.3	12,5		PF	ss, nb	OK	B



Lehdistötiedote 10.1.2011

AMMATILLISEN KOULUTUKSEN RAKENTEELLINEN KEHITTÄMISTYÖ PÄÄTÖKSEEN OULUN ETELÄISISSÄ- JOKILAAKSOJEN KOULUTUSKUNTAYHTYMÄ ALOITTAÄ !

Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymän valtuusto kokoontui ensimmäisen kerran maanantaina 10.1.2011 Nivalassa pidetyssä järjestäytymiskokouksessa ja valitsi yksimielisesti valtuuston puheenjohtajat, yhtymähallituksen jäsenet sekä hallituksen puheenjohtajiston.

Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymän valtuuston puheenjohtajisto 2011-2012:

valtuuston puheenjohtaja **Kaija-Maija Perkkiö**

1. varapuheenjohtaja Antti Rantakangas
2. varapuheenjohtaja Helena Kujala
3. varapuheenjohtaja Juhani Latukka

Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymän hallitus 2011 – 2012:

Haapajärvi	Maija-Liisa Veteläinen	(Veijo Tikanmäki)
Haapavesi	Jouko Luukkonen	(Anri Mäkinen)
Kalajoki	Jukka Puoskari	(Raili Myllylä)
Nivala	Kari Valtanen	(Eija-Riitta Niinikoski)
Oulainen	Maarit Grekula	(Veli Tirilä)
Siikalatva	Raimo Tieva (Marjo Seppälä)	
Ylivieska	Kai Perttu	(Aune Nevala)
Alavieska	Anna-Leena Brax	(Kari Honkala, Sievi)
Kärsämäki	Riitta Hokkanen	(Samuli Yrjänä, Pyhäntä)
Pyhäjärvi	Jukka Lehtosaari	(Markus Muuttola, Reisjärvi)

Yhtymähallituksen puheenjohtajaksi valittiin **Kari Valtanen**, 1. varapuheenjohtajaksi Jukka Puoskari ja 2. varapuheenjohtajaksi Maarit Grekula.

Kokouksessa valittiin myös yksimielisesti Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymän johtaja **Heikki Yli-Olli** uuden Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymän johtajaksi.

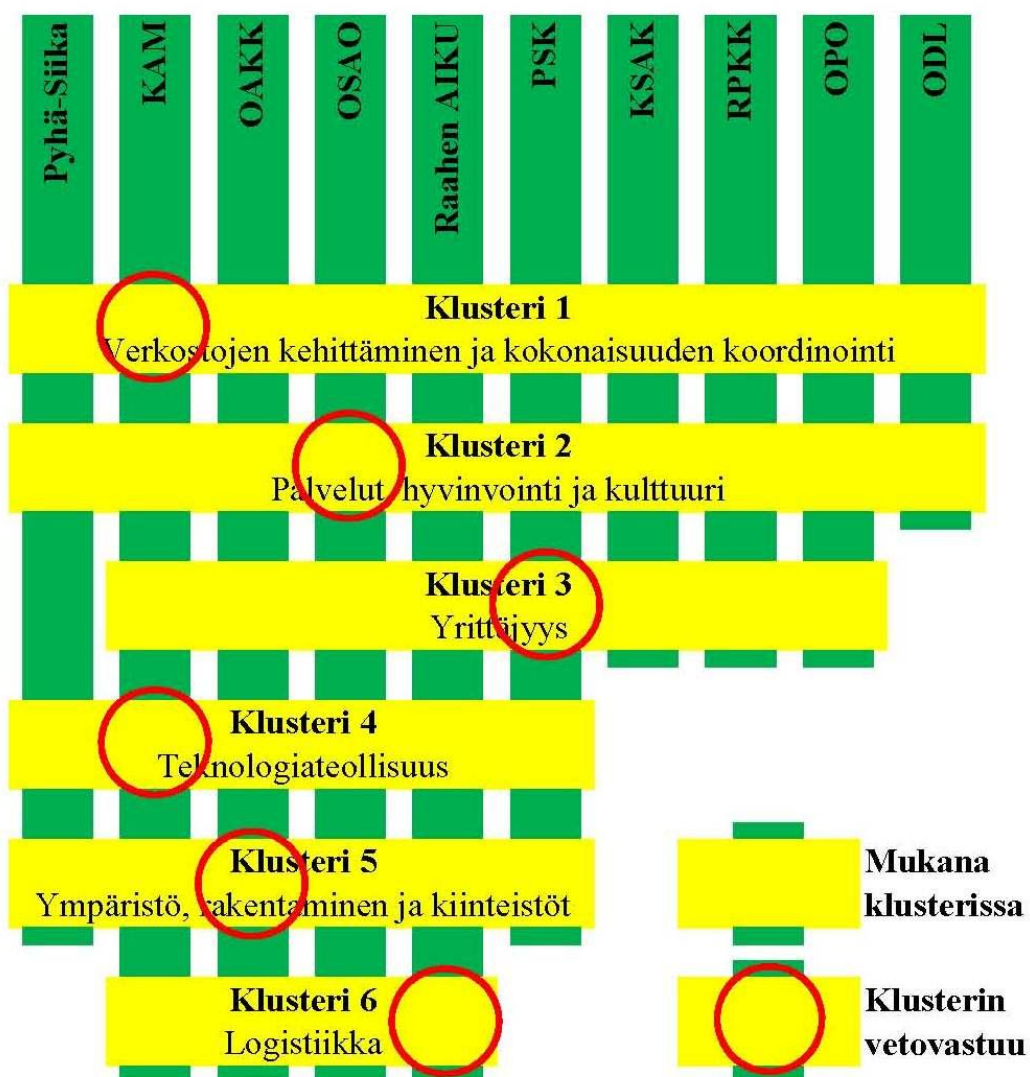
Virallisesti uusi kuntayhtymä aloittaa toimintansa 1.1.2012, mutta yhteinen kehittämistyö yhtymän toimintojen rakentamiseksi aloitetaan välittömästi.

Uuden kuntayhtymän opiskelijamäärä tulee olemaan n. 4000 opiskelijaa ja henkilöstöä yli 500. Ammatillisen peruskoulutuksen järjestämislupa on 3200.

Koulutuksen järjestäjänä Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymä on Pohjois-Suomen toiseksi suurin ammatillisen peruskoulutuksen järjestäjä.

Lisätietoja: valt. pj. Kaija-Maija Perkkiö 044-4294601, hall. pj. Kari Valtanen 040-3447200
yhtymäjohtajat Heikki Yli-Olli 050-5614270 ja Erkki Juola 044-7692210

POHJOIS-POHJANMAAN TYKE-KLUSTERIMALLI



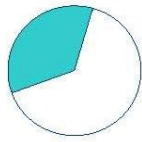
Teknologiaeteollisuus - merkittävin elinkeino myös Pohjois-Pohjanmaalla



79 % alueen koko viennistä



89 % alueen koko elinkeinoelämän t&k-investoinneista



Työllisyysvaikutus 53 000 työpaikkaa eli runsas kolmannes Pohjois-Pohjanmaan koko työvoimasta. Alalla työskentelee suoraan 21 300 ihmistä, joista jokaisen välillinen työllisyysvaikutus vähintään 1,5 lisätyöpaikkaa. Vaikuttaa ratkaisevasti alueen ja Suomen muunkin työvoiman työllistymismahdollisuuksiin.

Teknologiaeteollisuus vuonna 2009 (ennakkotiedot):

	<u>Pohjois-Pohjanmaalla</u>	<u>Koko maassa</u>
Liikevaihto, mrd. euroa	5,3	59
Henkilöstön määrä	21 300	256 000

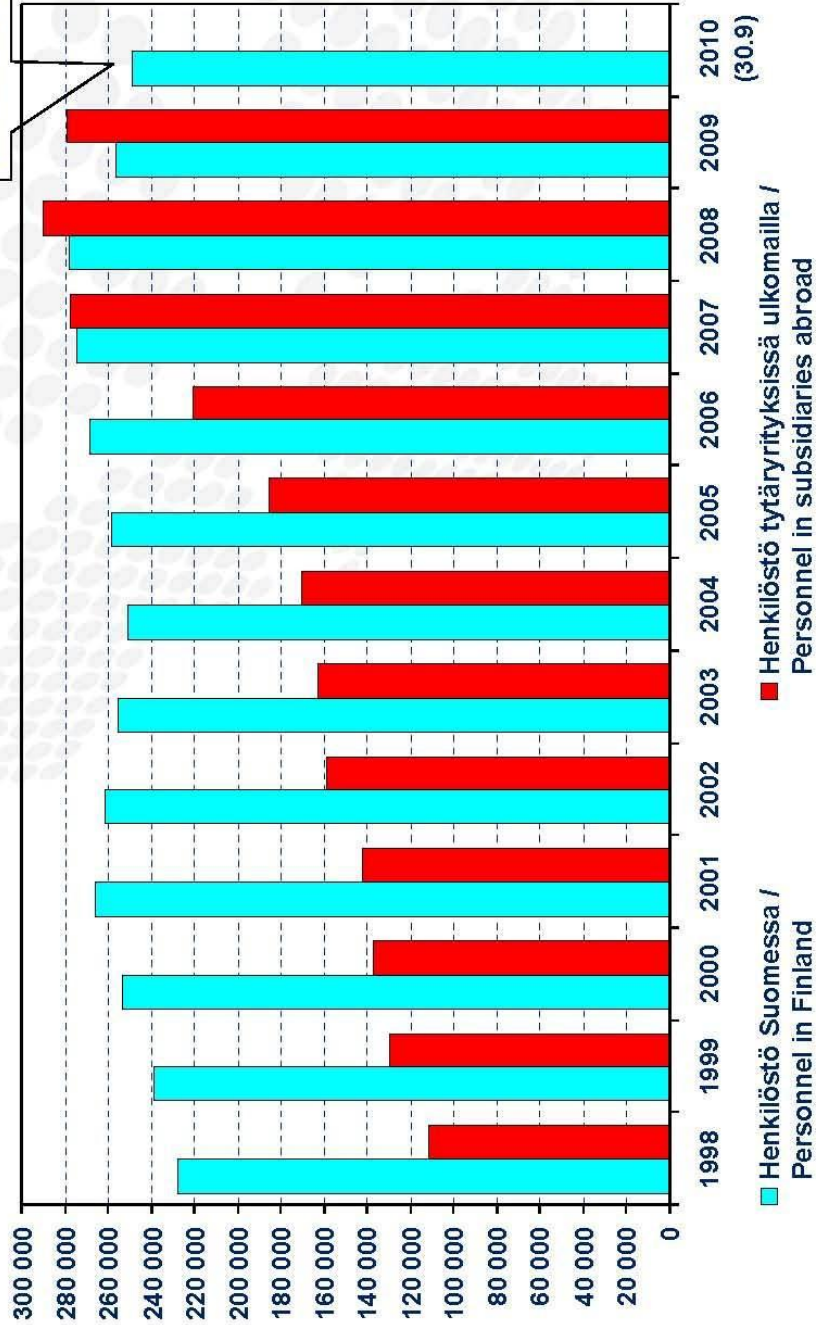
Teknologia
eteollisuus

22.10.2010

Teknologiaateollisuuden henkilöstö

Personnel in the Technology Industry

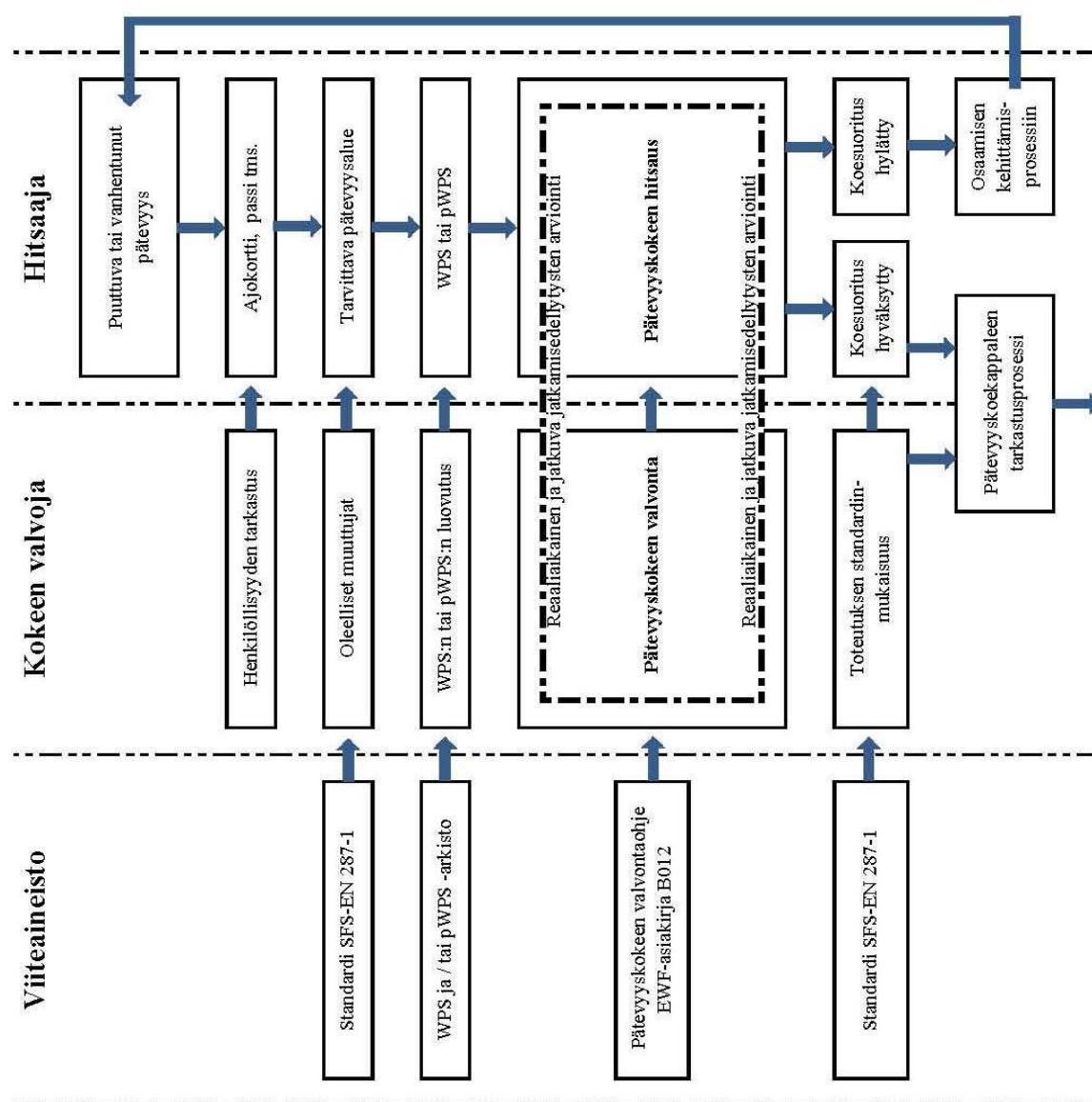
Tästä lomautus-
järjestelyjen piirissä
16 000 / 16 000
employees affected
by temporary and
part time layoffs



Tutkimuksen pätevyyskokeissa käytettyjen perusaineiden luokittelu CEN ISO/TR 15608:fi mukaan

Ryhmä	Alaryhmä	Teräslaji
1		Teräkset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{eH} \leq 460$ N/mm² ja analyysipitoisuudet ovat (%) $C \leq 0,25$ $Si \leq 0,60$ $Mn \leq 1,80$ $Mo \leq 0,70^b$ $S \leq 0,045$ $P \leq 0,045$ $Cu \leq 0,40^b$ $Ni \leq 0,40^b$ $Cr \leq 0,3$ (0,4 valuteräksille)^b $Nb \leq 0,06$ $V \leq 0,1^b$ $Ti \leq 0,05$
	1.1	Teräkset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{eH} \leq 275$ N/mm ²
	1.2	Teräkset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $275 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 360 \text{ N/mm}^2$
	1.3	Normalisoidut hienoraeteräkset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$
5		Vanadiinia sisältämättömät Cr-Mo teräkset, joissa $C \leq 0,35 \%$
8		Austeniittiset ruostumattomat teräkset, $Ni \leq 31 \%$
10		Austeniittis-ferriittiset teräkset (dublex-teräkset)

Hitsaajan pätevyyskokeen toteutus- ja valvontaprosessi



RUKKI

VASTAANOTTOODISTUS

Nro
949120-002-002

EN 10204-3.1

Päiväys

15.04.2011

Sivu

2

Pos.	Suunnitelma	CEV	Suunnitelman %		C	SEL	Mm	P	B	AL	MS	V	CU	Ctr	N	T1	M0	ML	B
80	23727		.34	.09	.168	1.43	.011	.011	.011	.011	.014	.009	.031	.047	.004	.016	.00	.047	.0003
80	23732		.34	.09	.175	1.41	.009	.008	.036	.014	.007	.037	.056	.004	.017	.01	.061	.0001	

Pos.	Näytteennumero	Vetokoke		Tehokoke							
		P2	Rp0-2 Nm	A5	P3						
				M/raad	M/raad %						
80	4889746	13	521	555	23	113	-40	116	118	111	115
80	4889746	13	521	555	23	113	-40	116	118	111	115

Virtuaalisen tehokokeen lähtömittaukset on sovitettu
törmäystestien mukaisesti. Ei huomioita

RAUTARUKKI OY

Läpöjen tehtä

Läpöjen tehtä

Läpöjen tehtä

Läpöjen tehtä

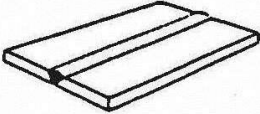
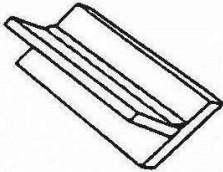
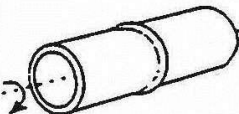
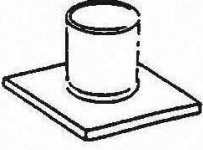
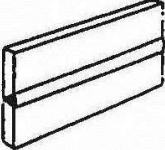
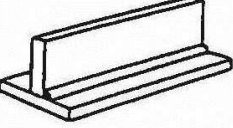
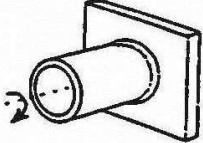
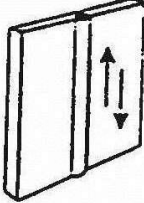
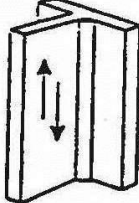
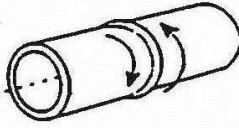
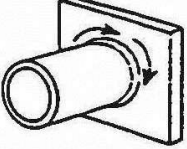
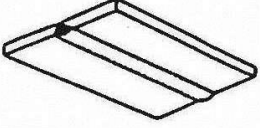
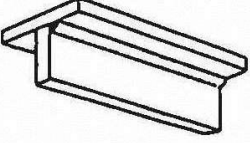
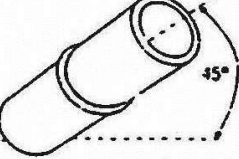
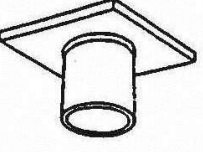
Läpöjen tehtä

Läpöjen tehtä

CEV1, 2 + Mm/4 + (Cr-Mm-V)/3 + 0.01-Cm/13
P2, 13 + 0.01-Cm/13
P3, 13 + 0.01-Cm/13

[illegible]

Hitsausasentojen tunnukset SFS—EN- ja AWS-ASME-Standardien mukaan.

Hitsausasennot			
Päittäisliitos	Pienaliitos	Putkenhitsaus	Pienaliitos
 AWS: 1G EN: PA	 AWS: 1F EN: PA	 AWS: 1G EN: PA	 AWS: 2F EN: PB
 AWS: 2G EN: PC	 AWS: 2F EN: PB	 AWS: 2G EN: PC	 AWS: 2F EN: PB
 AWS: 3G EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	 AWS: 3F EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	 AWS: 5G EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	 AWS: 5F EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)
 AWS: 4G EN: PE	 AWS: 4F EN: PD	 AWS: 6G EN: H-L045	 AWS: 4F EN: PD



TEKNILLINEN TARKASTUSKESKUS

TODISTUS

Matti Antero Kristian Peltola

s.18.10.1962

on kokeessa osoittanut, että hänellä on riittävät tiedot valvoa hitsaajien pätevyyskokeita alla mainittujen standardien mukaisesti:

SFS-EN 287-1:1992

SFS-EN 287-2:1992

Koe järjestettiin TTK-ohjeen P1-94 / 10.1 ja 3.3 perusteella.

Helsingissä 28. maaliskuuta 1995

Tarkastaja


Vesa Partanen



Nro TTK 1841/226/95



European Scheme for the Education and Qualification of Welding and Joining Personnel

EUROPEAN WELDING FEDERATION



EOTC AGREEMENT GROUP
for Welding, Joining, Cutting and Surfacing



Having met the education and training requirements of
EWF Guideline 'European Welding Engineer' and
by examination having satisfied the requirements of the
Governing Board of the Authorised National Body

PELTOLA MATTI ANTERO KRISTIAN

Date of birth 1962-10-18

is hereby awarded the diploma of

EUROPEAN WELDING ENGINEER

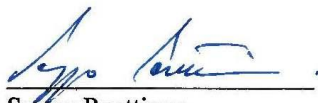
Certificate No. EWE FI 00156

Date 1998-04-16



Juha Lipponen
Chairman, Governing Board

Suomen Hitsausteknillinen
Yhdistys r.y.



Seppo Penttinen
Head, Training Establishment

Lappeenrannan teknillinen
korkeakoulu

Scheme Administration: EOTC AG

Scheme Control: EWF

EWF PARTICIPATING COUNTRIES

Austria • Belgium • Bulgaria • Croatia • Denmark • Finland • France • Germany • Hungary • Iceland • Ireland • Italy • Luxembourg • Netherlands • Norway
Poland • Portugal • Romania • Slovakia • Slovenia • Spain • Sweden • Switzerland • United Kingdom

SILMÄMÄÄRÄISEN TARKASTUKSEN NÄKÖKYKY

Aseta tämä paperi silmistäsi n. 300 mm päähän! Sen jälkeen jatka paperin lukemista eteenpäin.

Näetkö tämän tekstin ilman silmälaseja. Mikäli näet, Sinun näkökyky on riittävä hitsausliitosten silmämääräiseen tarkastukseen. Muista kuitenkin, että silmämääräisessä tarkastuksessa pitää olla riittävä valaistus. Mikäli näkökykyysi iän myötä tai muuten heikkenee, niin voit käyttää jatkossa apuna vaikka silmälaseja, suurennuslasia tms. Pääasia, että näet tämän tekstin n. 300 mm päästä. Koska näkökykyysi on riittävä voit lopettaa testin lukemisen tähän ja jatkaa hitsien silmämääräistä tarkastusta.

Mikäli et nähnyt oheista tekstiä, käytä apuna silmälaseja, suurennuslasia tms. ja yritä lukea alla oleva teksti.

Näetkö tämän tekstin silmälasien tai suurennuslasin avulla. Mikäli tarvitset näitä optisia apuvälineitä nähdäksesi tämän tekstin tarvitset apuvälineitä myös hitsausliitosten silmämääräisessä tarkastuksessa.

Mikäli et näe tekstiä silmälasien, suurennuslasin tai muun visuaalisen apuvälineen kanssa, kannattaa selvittää mitä mahdollisia muita keinoja on asian tilan korjaamiseksi.

Esimerkki pätevyyskoetodistuksesta

 nao NIVALAN AMMATTIOPISTO		TARKASTUSPÖYTÄKIRJA INSPECTION REPORT Nro/ No. NAO1208 EN 287-1 <i>PK-11-08843</i>		8.7.2011
Kokeen merkintä/ Designation		EN 287-1, 111, P, BW, 1.3, B, t12.5, PF, ss, nb		
Testauslaitoslupa/				
Nimi/ Name				
Tunnus/ ID				
Tunnistamistapa/ Method of identification		Aikokortti/ Driving licence		
Syntymäaika/ Date and place of birth		.5.1970 -		
Työnantaja/ Employer		, KY		
Tietopuolinen koe/ Job knowledge		Ei testattu/ Not tested		
Hitsausohjeen nro/ WPS no.		NAO 0323		
Lisätietoja/ Additional information				
HITSAUSKOEEN YKSITYISKOHDAT/ DETAILS OF TEST WELD				
Hitsausprosessi/ Welding process	111			
Levy tai putki/ Plate or pipe	P			
Liitosmuoto/ Joint type	BW			
Perusaineryhmä(t)/ Parent metal group(s)	1.3			
Lisäainetyyppi/merkkintä/ Filler metal	OK 48.00 B			
Suojakaasu/ Shielding gases				
Apuaineet/ Auxiliaries				
Aineenpaksuus/ Thickness (mm)	12,50			
Putken ulk. halk. / Outside diameter (mm)	0,00			
Hitsausasento/ Welding position	PF			
Juuren avaus/juuritus/ Gouging/backing	ss, nb			
HITSAUSKOEEN TARKASTUS/ INSPECTION TEST WELD				
Testausmenetelmä/ Type of test	Suoritettu/ Performed	Vaad. / Req.		
Silmämääräinen/ Visual	B 8.7.2011 VJ-O	X		
Radiografia/ Radiography	EN 5817 / B 2011.5012	X		
Magneettijauhe/ Magn. part.		-		
Tunkeumajänne/ Penetrant		-		
Makrohe/ Macro		-		
Murtokoe/ Fracture		-		
Taivutuskoe/ Bend		-		
Lisäkoeket/ Additional tests***		-		
HITSAUSKOEEN VALVONTA/ SUPERVISION		HITSAUSKOEEN TARKASTUS/ INSPECTION		
Paikka ja aika/ Place and date	Nivala 8.7.2011	Paikka ja aika/ Place and date	Seinäjoen 16.7.2011	
Kokeen valvoja/ Examiner	Vesa Jylhä-Ollila	Tarkastuslaitos/ Testing company	LAATUSTESTITESTI Ky	
Allekirjoitus/ Signature	<i>Vesa Jylhä-Ollila</i>	Testauksen suorittaja/ Test body	Heikki Olkkola	
			6037-RT2-MT2-PT2	
		Allekirjoitus/ Signature	<i>Heikki Olkkola</i>	
Nivalan ammattiopisto Aikuiskoulutusosasto Peltotie 9, 85500 NIVALA Puh: (08)4492350		Nivalan ammattiopisto Maliskyläntie 2, 85500 NIVALA Puh: (08) 44921 www.kam.fi/nao		

 Valitse viesti 19.1.2011 20:38.

AIKUKAM Peltola Matti

Lähetetty: veli-pekka.nurmi@om.fi [veli-pekka.nurmi@om.fi] **Lähetetty:** ke 19.1.2011 11:17

Vastaanottaja: AIKUKAM Peltola Matti

Kopio:

Aihe: Vs: JULKAISULUPA

Liitteet:

Hyvä Matti Peltola

Onnettomuustutkintakeskuksella ei ole mitään sitä vastaan, että ko. tukintaselostuksen ja -raportin tekstiä lainataan alla kuvatulla tavalla asiamukaisilla lähdeviitauksilla varustettuna.

Työintoa opinnäytetyön toivotaan

Johtaja, dosentti

Veli-Pekka Nurmi

Onnettomuustutkintakeskus

veli-pekka.nurmi@om.fi

050 543 8066

www.onnettomuustutkinta.fi

Lähetetty: "matti.peltola@kam.fi" <matti.peltola@kam.fi>

Vastaanottaja: <veli-pekka.nurmi@om.fi>

Kopio: <matti.peltola@seam.fi>

Päivämäärä: 19.01.2011 09:30

AIKUKAM Peltola Matti

ARYOISA ONNETTOMUUSTUTKINTAKESKUKSEN JOHTAJA

Opiskelen Seinäjoen ammattikorkeakoulussa ylempää ammattikorkeakoulututkintoa teknologiaosaamisen johtamisen opintosuunnalla.
Teen opinnäytetyötä hitsaajien pätevyyskoeprosessista ja pätevyyskokeissa havaituista hisausvirheistä.

Hisausvirheiden tai virheellisen hitsauksen aiheuttamien vaurioiden tutustuessani löysin Onnettomuustutkintakeskuksen VTT:tä tilaamaan (liitteenä olevan) tutkimusselostuksen (nro TUO74-03240): "Rakenteiden murtumismekanismien, rakenteissa käytettyjen materiaalien ja rakenteiden hisausliitosten laadun selvitys." Liittyen Oriveden huoltosamatyömaalla tapahtuneeseen onnettomuuteen vuonna 2003.

Tutkimusselostuksen asiakirjoissa on seuraavia julkaisuvapauteen liittyviä tekstejä (osin ristiriitaisia):

- "VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:stä saadun kirjallisen luvan perusteella".
- Tutkimuksen tilaajan asiakirjassa Onnettomuustutkintakeskuksen asiakirjassa tekstin lainausta koskeva asiasisältö samasta onnettomuudesta on, että raportteja saa hyödyntää yleisen turvallisuuden parantamiseksi.

VTT:n asiamiehellä Matti Purasella saamani tiedon mukaan tutkimuksen tilaaja, eli onnettomuustutkintakeskus myöntää luvan.

Kysymys kuuluu:
Voiko tukintaselostuksen ja -raportin tekstiä ja kuvia lainata opinnäytetyöhön?

Luonnollisesti tekstissä ja kuvien yhteydessä mainitaan lähdetootokset.

Onnettomuustutkintakeskus ja sen arvokas työ tulee opinnäytetyössäni vain ja ainoastaan positiivisella tavalla julki.

Opinnäytetyötä tehdään rajattu määrä (n. 10 kpl) painettu kirjallinen tuotos ja lisäksi se julkaistaan ammattikorkeakoulujen opinnäytelöiden sähköisenä julkaisuna. Tekijällä on onnettomuustutkintakeskuksen kanssa samat intressit onnettomuuksien ennaltaehkäisemisen suhteen.

Tekijä toteuttaa opinnäytetyön omalla kustannuksellaan, eikä saa korvausta julkaisuista.

Hisausajien pätevyyskokeen, eli osaamisen testaamisella emakkeon on tavoitteena tuotannossa tapahtuvien hisausvirheiden ennalta ehkäiseminen, eli YLEISEN TURVALLISUUDEN PARANTAMINEN.

Sähköpostilla saatu lupa tulkitaan nykyisin kirjalliseksi luvaksi.

Kunniolittavasti:

Nivalassa 12.1.2011

Matti Peltola
Hisausinsinööri IWE, Opiskelija YAMK ja Rehtori

Honkitie 1
85500 Nivala
matti.peltola@kam.fi
p. 050 5584590

[liite Oriveden selostus.pdf poistettu, poistaja: Veli-Pekka Nurmi/OTK/MIN/O_M] [liite Oriveden tukintaraportti.pdf poistettu, poistaja: Veli-Pekka Nurmi/OTK/MIN/O_M]


KAM

KALAJOKILAAKSON KOULUTUSKUNTAYHTYMÄ

Hitsausliitoksen tarkastuspöytäkirja

Numero tai tunnistus: _____

Hitsaajan nimi: _____ Hitsin tunnistus: _____

 Hitsausprosessi: ☐ Hitsausasento: ☐ Materiaaliryhmä: ☐ Juuren yksityiskohdat: ☐

Pätevyyskoestandardi: SFS-EN 287-1 ☐ SFS-EN ISO 9606-2 ☐	Tuotemuoto: Putki; T ☐ Levy; P ☐	Hitsilaji: Päittäisliitos; BW ☐ Pienaliitos; FW ☐	Mitat: Aineenvahvuus Putken ulkohalkaisija
--	--	---	--

Tarkastusprosessi:			
SFS-EN 970, Silmämääräinen ☐	SFS-EN 1714, Ultraääni ☐	SFS-EN 1321 Makro- ja mikrohie ☐	
SFS-EN 1320, Murtokoe ☐	SFS-EN 910, Taivutuskoe ☐	SF-EN 1435 Röntgen ☐	

Hitsien luokittelustandardi (Hitsausluokan määrittely):	
SFS-EN 5817, Hitsiluokat (mm. teräkselle) ☐	SFS-EN ISO 10042, Hitsiluokat (mm Alumiinille) ☐

Havaitut hitsausvirheet: (Geometristen hitsausvirheiden luokittelu SFS-EN ISO 6520-1 mukaan)			
☐ 100; Halkeama	☐ 300; Sulkeuma	☐ 503; Korkea kupu pienahitsissa	☐ 5011; Jatkuva reunahaava
☐ 104; Kraatterihalkeama	☐ 301; Kuonasulkeuma	☐ 504; Korkea juurikupu	☐ 5012; Katkonainen reunah.
☐ 1001; Mikrohalkeama	☐ 302; Juoksutesulkeuma	☐ 505; Jyrkkä liittyminen	☐ 5013; Juurenpuol. Reunah.
☐ 202; Kutistumiskalo	☐ 303; Oksidi sulkeuma	☐ 506; Valuma	☐ 5213; Liian pieni a-mitta
☐ 2011; Huokonen	☐ 304; Metallisulkeuma	☐ 507; Tasomainen sovitusvirhe	☐ 5214; liian suuri a-mitta
☐ 2010; Tasainen huokoisuus	☐ 3042; Kuparisulkeuma	☐ 508; Kulmapoikkeama	☐ 601; Sytytysjälki
☐ 2013; Huokosryhmät	☐ 401; Liitosvirhe	☐ 509; Vajonnut hitsi	☐ 602; Roiskeet
☐ 2014; Huokosjono	☐ 402; Vajaa hitsautumissyvyys	☐ 510; Läpivalunut hitsi	☐ 617; Sovitusvirhe pienahits.
☐ 2015; Pitkänomainen huokonen	☐ 4011; Liitosvirhe railon kyljessä	☐ 511; Vajaa kupu	☐ 401; liitosvirhe
☐ 2016; Madonreikähuokonen	☐ 4012; Liitosv. palkojen välissä	☐ 512; Kateetipointeama	☐ Muu, mikä? _____
☐ 2017; Pintahuokonen	☐ 4013; Liitosv. hitsin juuressa	☐ 515; Vajaa juuri	☐ Muu, mikä? _____
☐ 2024; Imuontelo	☐ 4021; Vajaa hits.syv. juuressa	☐ 516; Huokoisuus juuressa	☐ Muu, mikä? _____
☐ 2025; Avoin imuontelo	☐ 502; Korkea kupu	☐ 517; uudelleen aloitusvirhe	☐ Muu, mikä? _____

Hitsausliitos on vaatimusten mukaan ☐ Hyväksytty ☐ Hylätty	Hitsausluokka ☐ B ☐ C ☐ D
--	--

Paikka ja päiväys: _____ Tarkastajan / pätevyyskokeen valvojan nimi: _____ Pätevyys: _____ Tarkastajan / pätevyyskokeen valvojan allekirjoitus _____	Leima tai muu tunnistus: _____
--	--------------------------------

Ammatillisen lisäkoulutuksen järjestämislupa

Sivu 2/2

Pvm
10.5.2006
Dno
1166530/2006

Kalajokilaakson koulutus kuntayhtymä

PL 162
85501 NIVALA

Asia:

AMMATILLINEN LISÄKOULUTUKSEN JÄRJESTÄMISLUPA

Opetusministeriön on ammatillisesta aikuiskoulutuksesta annettun lain (631/1998) 5 §:n nojalla, sellaisena kuin se on laissa (1013/2005) päättävyyt muuttaa Kalajokilaakson koulutus kuntayhtymän ammatillista lisäkoulutusta koskevan järjestämisluvan seuraavasti:

Koulutuksen järjestäjä ja koripaikka

Kalajokilaakson koulutuskuntayhtymä, Nivala

Koulutuksen järjestäjän koulutustehäviä ammatillisessa lisäkoulutuksessa

Koulutuksen järjestäjä voi järjestää ammatillista aikuiskoulutusta annetussa laissa tarkoitettua ammatilliseen ja erikoisammattitutkintoon valmistavaa koulutusta ja muuta ammatillista lisäkoulutusta oppilaitosten lisäksi oppilaitosten lisäkoulutuksena.

Opetukselliset suoritukset

Koulutusajat:

Koulutuksen järjestäjä voi järjestää lisäkoulutusta kaikilla koulutusaloilla. Järjestäjän tulee myöntää koulutusta ja tutkintoon koulutusalan kuuluvaa ajoneuvo- ja koulutusalan lisäkoulutusta.

Opiskelijajäsenyyden määrä

Valtionosuuden perusteena käytettävä opiskelijajäsenyyden vuotuinen vähimmäismäärä on 112.

Oppisopimusten määrä

Valtionosuuden perusteena käytettävä oppisopimusten vuotuinen vähimmäismäärä on 180.

Työelämän kehittämis- ja palvelutehtävä

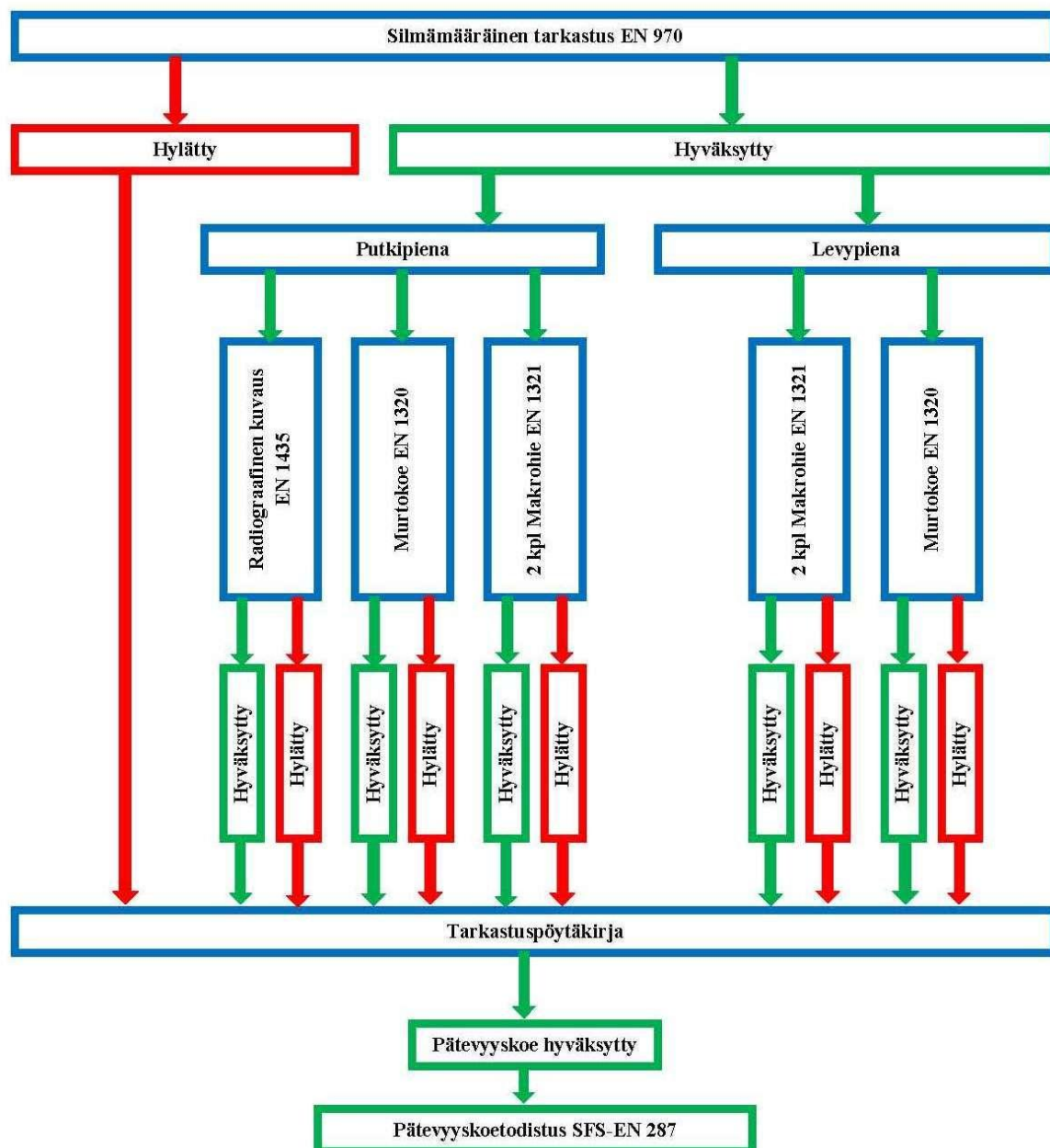
Koulutuksen järjestäjällä on ammatillisesta aikuiskoulutuksesta annettun lain 1 §:n 6 momentin mukainen työelämän kehittämis- ja palvelutehtävä.

MAKSUTTA

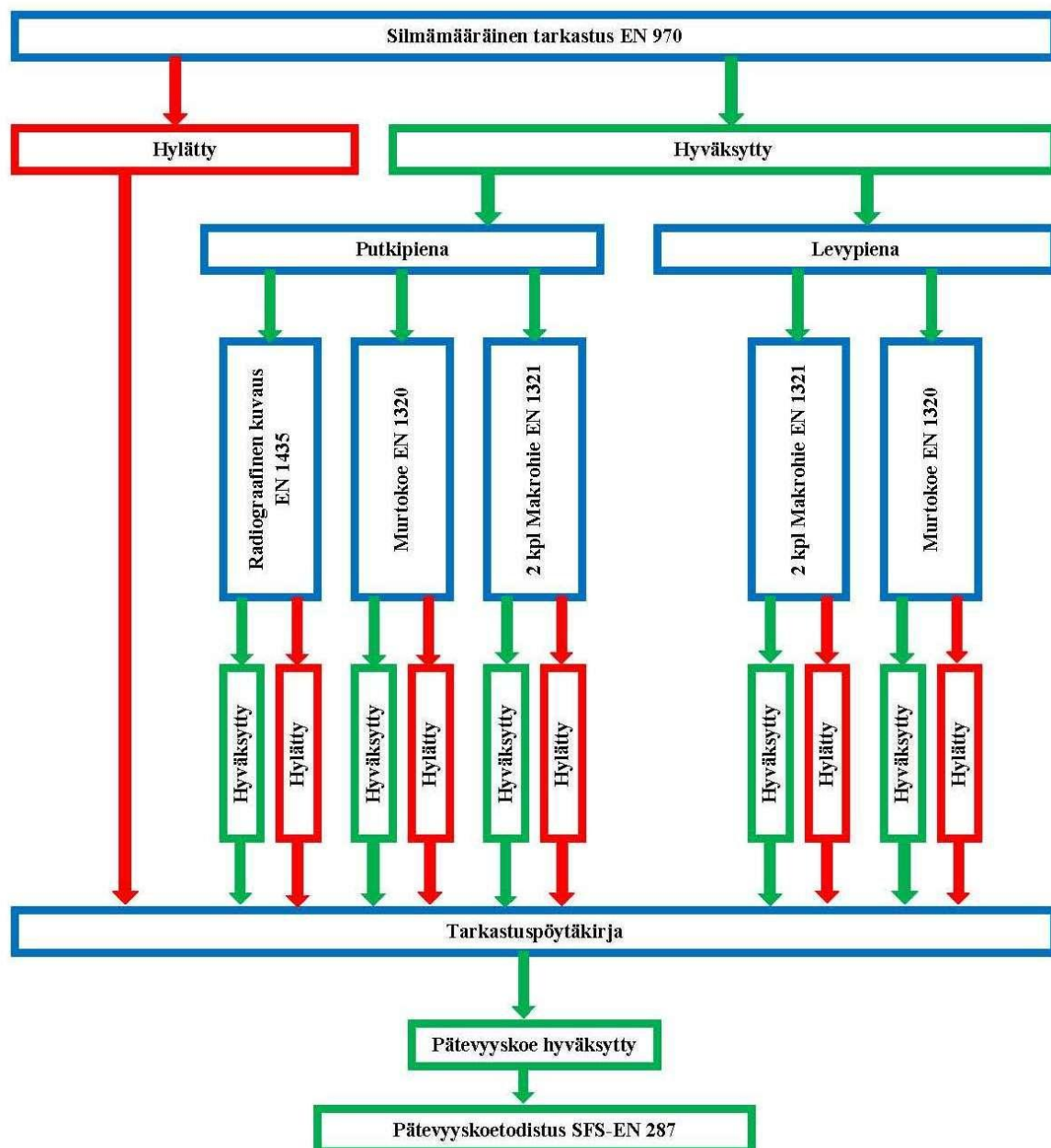
www.minedu.fi

IDA 211777

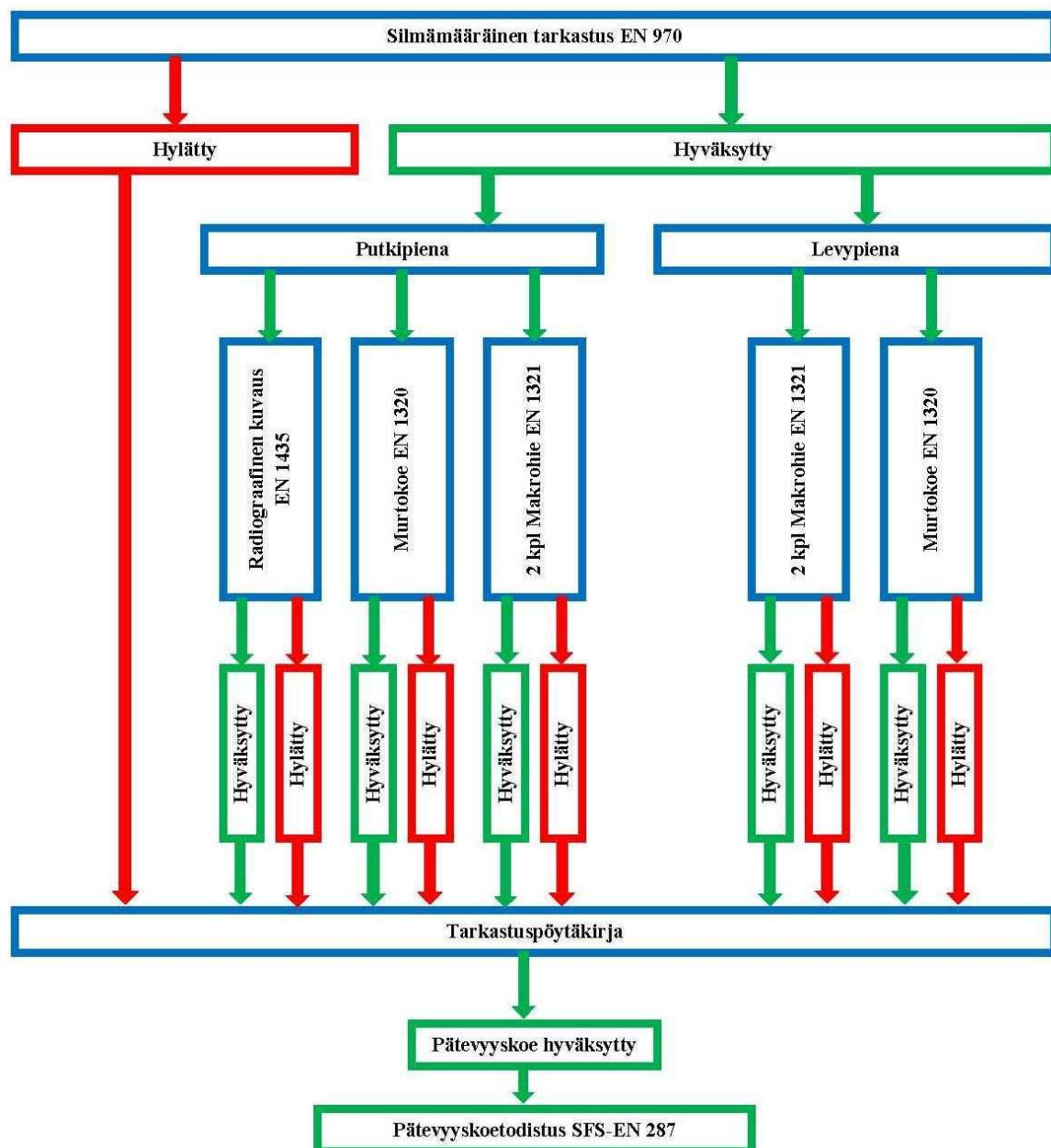
Pätevyyskokeen pienaliitosten (FW) tarkastusprosessi



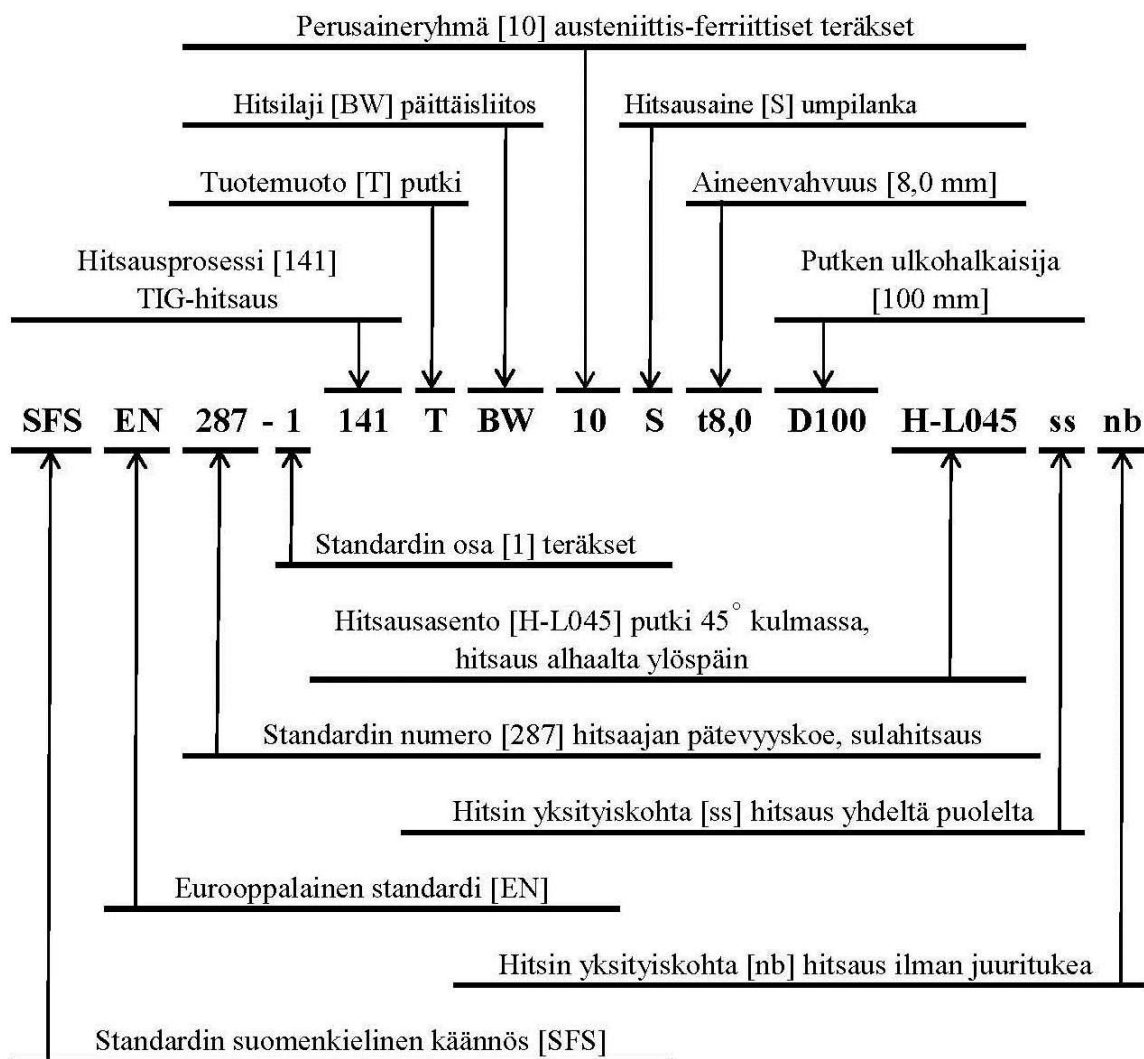
Pätevyyskokeen levyliitosten (P) päittäisliitosten (BW) tarkastusprosessi



Pätevyyskokeen putkiliitosten (T) päittäisliitosten (BW) tarkastusprosessi



Esimerkki pätevyyskokeen standardin mukaisesta merkinnästä



VTT:n julkaisulupa

AIKUKAM Peltola Matti

Lähetetty: 20.12.2011 16:31

Vastaanottaja: AIKUKAM Peltola Matti

Kopio:

Aihe: RE: JULKAISULUPA

Litteret:

te

Koska tutkimuksen tilaaja on antanut luvan materiaalin käyttämiseen, en näe mitään syytä, miksi VTT voisi kieltäytyä.

Raportti on julkinen, löytyy verkostakin. Sen tekstiä ja kuvia voi käyttää toisen tieteellisen julkaisun lahtena. Tieteellisen julkaisemisen hyvän tavan mukaisesti ilmoita lähde tekstissä ja kuvatekstissä, ja ilmoita indeksoijetietoa tarkemmat tiedot lähteestä.

© 2004 Blackwell Publishing Ltd *Journal of Internal Medicine* 255: 111–118

Parhain tervaisin

Teena Ukeshski

Julkaisutoimittaja,

VTT, Tietoratkaisu
2010, 1000PL 1000
02044 VTT

Fax 020 722 4394; 040 724 1870

eena.ukoski@vtt.fi; www.vtt.fi

From: matti.peltola@kam.fi [mailto:matti.peltola@kam.fi]

Sent: 20. tammikuuta 2011 13:47

To: Kirjaamo
Subject: TIII KATSI III IPA

subject: JULKAISULU

HULK AIS LUPA!

Opiskelen Seinäjoen ammattikorkeakoulussa ylempää ammattikorkeakoulututkintoa teknologiaosaamisen johtamisen opintosuunnalla.

Teen opinnäytetyötä hitaajien pätevyyskoeprosessista ja pätevyyskokeissa havaituista puhtausvirheistä.

fiittäsvirheiden tai virheellisen hitsauksen aiheuttamiin vaurioihin tutustuessani löysin Onnettomuustutkimuskeskuksen VTT:lla tilaaman (liitteenä olevan) tutkimus selvityksen (mro OT-074-033240). Rakenteiden murtumismekanismin, rakenteissa käytettyjen materiaalien ja akuteiden hitsausliitosten laadun selvitys. Liitteen Oriveden huoltoesimäyksenäalla arasteluunneen onnettomuuden vuoma 2003.

<https://kammil.kam.7i/exchange/matti/peltola/Saapuneet/RE-%20JULKAISULUPA-2,...> 20.1.2011

Tutkimuselostuksien asiakirjoissa on seuraavia julkaisuvapauteen liittyviä tekstejä (osin istirittaisia):

"VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen sallittu vain VTT:stä saadun kirjallisen luvan perusteella".

- Tutkimuksen tilaajan asiakirjassa Onnettomuustutintakeskuksen asiakirjassa tekstin lainausta koskeva asiassällytö samasta onnettomuudesta on, että raportteja saa hyödyntää yleisen turvallisuuden parantamiseksi.

Tutkimustyon tilinalla Omnetonustutkimuskeskukselta olen saanut kirjalliseen luvun materiaalin käyttämiseen.

Kysymys kuuluu:

Voiko tutkintasclostuksen ja –raportin tekstiä ja kuvia lainata opinnäytetyöhön?

Luonnollisesti tekstissä ja kuvien yhteydessä mainitaan lähdeoteokset.

ATTT:n tutkimustyön merkittävyys tulee esillä pidetyksissäni vain ja ainoastaan positiivisella tavalla julkii.

Opinmyytävistä teoksista rajattiin vähän (n. 10 kpl) painettua kirjallisuutta, ja lisäksi se julkaisi usein ammattilehtikokoukseen opinnäytetöiden (2000) ja kirjallisuuden (2001) tilaisuuksissa.

Tolijalla on ennetönnästä uhrifakteen kassaa samat intressit ennaltohoitoniemiin sulteen.

Tekijä toteuttaa opinäidetyön omalla kustannuksellaan, eikä saa korvausta julkaisusta.

Hittisaajien pätevyyskokeen, eli osaamisen testaamisella ennakkoon on tavoitteena tuotannossa tapahtuvien hirtsausvirheiden ennalta ehkäiseminen, eli YLEISEN TURVALLISUUDEN PARANTAMINEN

Sähköpostilla saatu lupa tulkitaan nykyisin kirjalliseksi luovaksi.

<https://kammil.kam.fi/exchange/matti.peltola/Saapuneet/RE-%20JULK AISULUPA-2...> 20.1.2011

<https://kammail.kam.fi/exchange/matti.peltola/Saapuneet/RE:%20JULKAISULUPA-2....> 20.1.2011



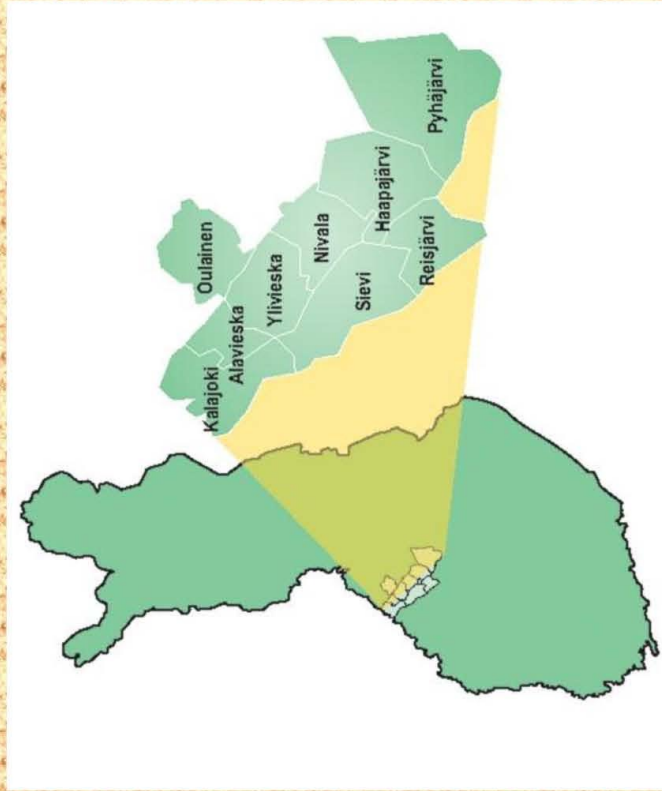
KAM

Educational Municipal Federation of the Kalajokilaakso Region (KAM)



Knowledge, Capability, Positive Attitude Federation

- Founded in 1962
- Staff 350
- Students 3000
(includes adults)
- Budget/turnover 30 M€
- Projects c. 6,2M€
- (**7** big EU -projects;
bioenergy, stone, metal,
staff development, virtual
and e-learning
environments)



Alavieska



Haapajärvi



Kalajoki



Nivala



Oulainen



Pyhäjärvi



Reisjärvi



Sievi



Ylivieska