

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
LUT Kone  
BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

MIG/MAG-HITSAUSLAITTEIDEN KYLMÄNKESTÄVYYS JA TOIMIVUUS

COLD RESISTANCE AND RELIABILITY OF MIG/MAG WELDING UNITS

Lappeenrannassa 4.5.2015  
Jussi Kinnunen  
Ohjaaja: TkT Markku Pirinen

## SISÄLLYSLUETTELO

### LYHENNELUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>5</b>
1.1	Työn taustaa.....	5
1.2	Työn tavoitteet ja rajausta.....	6
1.3	Arktinen alue ja liiketoiminta .....	6
<b>2</b>	<b>MIG/MAG-HITSAUS</b> .....	<b>9</b>
2.1	MIG/MAG-hitsauksen periaate .....	9
2.2	Prosessisovellutuksia .....	10
2.3	MIG/MAG-hitsauksen edut ja haitat .....	11
2.4	Prosessin toiminnan kannalta olennaiset arvot .....	11
<b>3</b>	<b>MIG/MAG-HITSAUSLAITTEISTO</b> .....	<b>12</b>
3.1	Virtalähteet.....	12
3.2	Langansyöttölaite.....	14
3.3	Monitoimijohto .....	15
3.4	Hitsauspistooli .....	16
3.5	Suojakaasun syöttö .....	16
3.6	Jäähdytinlaite .....	17
3.7	Koteloinnit .....	17
3.8	Hitsauslaitteiden huolto ja kunnossapito .....	18
<b>4</b>	<b>TYÖOLOSUHTEET</b> .....	<b>19</b>
4.1	Hitsaaminen kylmissä olosuhteissa .....	19
4.2	Pakkasen vaikutus hitsausliitoksen mikrorakenteeseen.....	20
4.3	Kosteuden aiheuttamat ongelmat.....	21
4.4	Käyttösuhde kylmissä olosuhteissa .....	22
<b>5</b>	<b>HITSAUSLAITTEISTON KYLMÄNKESTO</b> .....	<b>23</b>
5.1	Virtalähteiden ja jäähdytysyksikköjen kylmänkesto .....	23
5.2	Hitsauspistoolien ja välikaapeliin kylmänkesto .....	23
5.3	Langansyöttölaiteiden kylmänkestävyys ja toimivuus .....	25
5.4	Kaasunsyötön toimivuus.....	25
<b>6</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>26</b>

**LÄHTEET .....28**

**LYHENNELUETTELO**

ASTM	American Society for Testing and Materials
CAFF-raja	(Conservation of Arctic Flora and Fauna) Arktisen luonnonsuojelun näkökulmien mukainen rajaus
DBEA	Dibutoksietyyliadiipaatti
DBEEA	Dibutoksietyyliheksyyliadiipaatti
DBEES	Dibutoksietyyliheksyyliisebakaatti
DOA	Di-2-etyyliheksyyliadiipaatti
DOP	Di-2-etyyliheksyyliflataatti
E	Hitsausenergia [kJ/mm]
HV	Vickers-kovuus
IGBT	Bipolaaritransistori
IP	Elektroniikan koteloinnin suojausluokitus
LCD	Nestekidenäyttö
NBR	Nitriili
PVC	Polyvinyylikloridi
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien Liiton teräsrakennusnormi
$t_{8/5}$	Hitsin jäähtymisaika 800 °C:sta 500 °C:een

## 1 JOHDANTO

Raskas perusteellisuus, jalostus ja logistiikka ovat ottamassa yhä suurempaa jalansijaa maapallon arktisilla alueilla. Arktisten alueiden luonnonvarojen hyödyntäminen on tällä hetkellä merkittävä geopoliittinen asia, sillä arviolta 13 % löytymättömistä öljyvaroista ja 30 % löytymättömistä kaasuvaroista sijaitsevat näillä alueilla (USGS, 2008). Energiateollisuuden kiinnostus arktisista alueista luo kysyntää ja mahdollisuuksia myös monille muille teollisuuden osa-alueille. Erityisesti suuret projektit kaasun- ja öljynjakeluverkostojen rakentamiseksi perustuvat olennaisesti teräsrakentamiseen sekä hitsaustekniikkaan, jota tässä työssä käsitellään.

### 1.1 Työn taustaa

Teollinen kaasukaarihitsaus pyritään suorittamaan konepajaolosuhteita vastaavissa puhtaissa, lämpimissä ja vedottomissa tiloissa, jotta hitsauksen onnistuminen sekä hitsin laatu saadaan taattua. Kuitenkin useat asennushitsaukset suoritetaan paikan päällä haastavan kylmissä olosuhteissa. Esimerkiksi öljyn- ja kaasunjakeluputket joudutaan usein rakentamaan vaikeakulkuiseen upottavaan maastoon, jolloin työ on tehtävä kylmällä talvikaudella, kun maaperä on roudassa ja kantavaa.

Arktisilla alueilla vuoden keskilämpötila voi olla alle - 10 °C ja talvikaudella lämpötila voi laskea jopa - 60 °C:een. Kylmä työskentelylämpötila vaikeuttaa materiaalien hitsattavuutta ja aiheuttaa hitsauslaitteistoille helposti toimintahäiriöitä. Tällöin hitsauslaitteiden kylmänkestävyys ja toimivuus ovat tärkeää työn onnistumiseksi.

Tämän työn aiheeseen liittyviä hitsauslaitteiden kylmänkestävyystutkimuksia on tehty viime aikoina ainakin suomalaisen hitsauslaitevalmistaja Kemppi Oy:n toimesta. Arktisissa olosuhteissa käytettäviin materiaaleihin ja niiden hitsaukseen liittyvä tutkimus on osa yhteistyöprojektia Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Pietarin Prometey -instituutin kanssa. Kemppi on tutkinut hitsauslaitteiden kylmänkestävyyttä suorittamalla kokeita kylmennettävissä koetiloissa ja Venäjällä Siperian kylmyydessä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto on tutkinut erityisesti hitsattujen lujien terästen käyttäytymistä arktisissa olosuhteissa. Lisäksi muun muassa itävaltalainen teknologia- ja hitsausalan yritys

Fronius on kehittänyt hitsausvälineitä kylmiin olosuhteisiin, sekä on ollut laitetoimittajana kaasuputkien hitsausprojekteissa pohjoisessa Kanadassa.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Tämän työn tavoitteena on kartoittaa MIG/MAG-hitsauslaitteiston toimivuutta kylmissä olosuhteissa. Työssä tutkitaan hitsauslaitteiden kylmänkestävyyttä ja käsitellään laitteiston kylmässä toimivuuden edellytyksiä. Tutkimuskysymykset olivat:

- Miten kylmässä hitsauslaitteet toimivat?
- Mitä ongelmia kylmä käyttölämpötila voi aiheuttaa?
- Voidaanko hitsauslaitteiden kylmänkestävyyttä parantaa?

Yhtenä yleisimmistä kaasukaarihitsausprosesseista MIG/MAG-hitsausta käytetään asennuksen ja kokoonpanon ohella myös vaativissa korjaushitsauksissa. Työssä keskitytään käsin tapahtuvaan MIG/MAG-hitsaukseen. Hitsauksen mekanisoinnin apuvälineiden toimivuutta ei tutkittu, koska arktinen mekanisoitu hitsaus toteutetaan usein lämmitetyissä erikoisrakenteisissa hitsauskokeissa. Työ toteutettiin kirjallisuustutkimuksena.

## 1.3 Arktinen alue ja liiketoiminta

Arktisten alueiden määrittelyyn ei ole yhtä ja oikeaa tapaa, vaan määrittelyyn käytetään yleensä luonnontieteellisiä ilmiöitä tai teknologian kannalta merkittäviä näkökulmia. (Lausala & Jumppanen, 2002, s. 9.) Lausalan ja Jumppasen mukaan ”arktisten alueiden rajakriteereinä on käytetty mm. seuraavia määritelmiä:

- Leveysaste: Napapiiri
- Kasvillisuus: Puun esiintymisraja
- Jatkuvan tai epäjatkuvan ikeroudan esiintymisraja
- Merijään keskimääräinen max. ulottuma
- Lämpötila: Vuoden keskilämpötilan isotermi (esim. +/- 0 °C)
- Kuukauden keskilämpötilan isotermi (esim. kesäkuu + 10 °C)
- Pitkäaikaisen lumen ja roudan esiintymisalue (esim. > 6 kk)
- Ns. CAFF (Conservation of Arctic Flora and Fauna) raja.”

Kyiseisiä arktisten alueiden rajauksia on esitetty kuvassa 1. Teknologian kannalta merkittäviä rajauksia ovat merijään, lumen, roudan ja ikeroudan esiintymiseen perustuvat määritelmät. Yleensä kyseisten määritelmien yhteydessä myös alhaisen lämpötilan kriteerit täyttyvät. CAFF-raja (Conservation of Arctic Flora and Fauna) on arktisen luonnonsuojelun näkökulmien mukainen raja. Arktisiin alueisiin kuuluu muun muassa: Alaska, Kanadan pohjoisia alueita, Grönlanti, Islanti, Pohjoismaiden pohjoiset läänit, Mongolia, Venäjän Siperia, Murmansk ja muut arktiset alueet, sekä arktisia merialueita. Suurin osa arktisen teknologian projekteista toteutetaan kyseisillä alueilla, mutta eri valtioilla on myös omia rajauksiaan arktisille alueille. Lisäksi niin kutsuttua arktista teknologiaa kehitetään myös pohjoisimpien alueiden ulkopuolelle. (Lausala & Jumppanen, 2002, s. 9.)



**Kuva 1.** Arktisten alueiden rajauksia (Lausala & Jumppanen, 2002, s. 43).

Arktisten alueiden liiketoimintaympäristö perustuu keskeisesti luonnonvarojen hyödyntämiseen, joista merkittävimpiä ovat öljy- ja kaasuvarat, mineraalivarat sekä metsien puuvarat. Luonnonvarojen hyödyntämiseen tarvittavan infrastruktuurin, kuten putkilinjojen rakentamiseen ja ylläpitoon tarvitaan hitsaustekniikan sekä teräsrakentamisen osaamista. (Lausala & Jumppanen, 2002, s. 11, 13.)

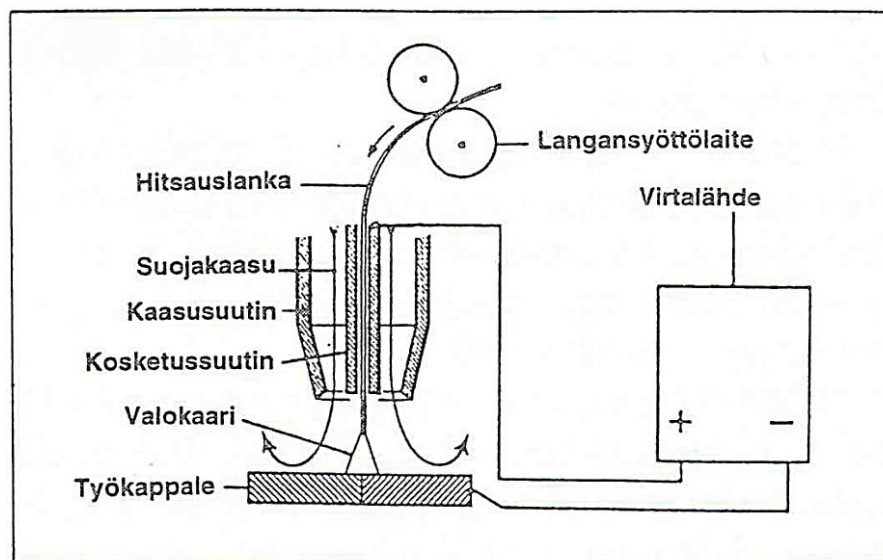


## 2 MIG/MAG-HITSAUS

MIG/MAG-hitsaus on monipuolinen hitsausmenetelmä, jota käytetään lähes kaikkialla hitsausteollisuudessa. Suurimpiin käyttäjiin kuuluvat raskas ja keskiraskas teollisuus, kuten esimerkiksi laivanrakennus, teräsrakentaminen, putkistojen ja painelaitteiden valmistajat sekä korjaukseen ja kunnossapitoon erikoistuneet yritykset. (Kemppi, 2013a.) Tässä luvussa kuvataan lyhyesti MIG/MAG-prosessin periaate.

### 2.1 MIG/MAG-hitsauksen periaate

Lukkari (2002, s. 159) mukaan ”MIG/MAG-hitsaus, eli metallikaasukaarihitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välillä. Sula metalli siirtyy pieninä pisaroina langan kärjestä hitsisulaan. Langansyöttölaite syöttää hitsauslankaa tasaisella nopeudella hitsauspistoolin lävitse valokaareen. Hitsausvirta tulee virtalähteestä monitoimijohdossa kulkevaa virtajohdinta myöten hitsauspistoolin päässä olevaan kosketussuuttimeen, josta se siirtyy hitsauslankaan. Suojakaasu suojaa kaaritilaa ja hitsisulaa ympäröivältä ilmalta.” MIG/MAG-hitsauksen periaate on esitetty kuvassa 2.



**Kuva 2.** MIG/MAG-hitsauksen periaate (Lukkari, 2002, s. 159).

Suojakaasun tyypistä riippuen hitsausmenetelmää kutsutaan MIG- tai MAG-hitsaukseksi, vaikka laitteisto, periaate ja suoritustekniikka ovat kummallakin prosessilla lähes samat. MAG-hitsauksessa suojakaasu on niin sanottua aktiivikaasua, joka reagoi hitsisulan aineiden kanssa. MIG-hitsauksessa suojakaasu on inerttiä kaasua, joka ei reagoi hitsisulan aineiden kanssa. Aktiivisissa suojakaasuissa reagoivia aineita ovat hiilidioksidi ja/tai happi, mutta seassa on usein myös argonia. Inertti suojakaasu koostuu usein jalokaasuista, kuten argonista, heliumista tai niiden seoksesta. Suojakaasujen käytön pääjako on, että teräksiä hitsataan aktiivikaasulla ja ei-rautametalleja inertillä kaasulla. (Lukkari, 2002, s. 159.)

MIG/MAG-hitsauksessa lisäaine on kelalla olevaa ohutta umpilankaa, jota kutsutaan hitsauslangaksi tai lisäainelangaksi. Jos lisäaine on täytelankaa, on prosessi MIG- tai MAG-täytelankahitsausta. Lankojen yleisimmät halkaisijat ovat 1,0 ja 1,2 mm, mutta myös muita langanhalkaisijoita on käytössä. Hitsauslangan kemiallinen koostumus on yleensä hitsattavaa materiaalia vastaavaa. Lankatyyppejä ovat teräslangat, ruostumattomat langat ja alumiinilangat. Niukkaseosteiset ja seostamattomat teräslangat ovat yleensä kuparilla pinnoitettuja. Kuparipinnoitteen tarkoitus on parantaa langan valmistettavuutta märkävetoprosessissa, kulkemisominaisuuksia langanjohtimessa, virran siirtymistä kosketussuuttimessa ja jonkin verran myös suojata lankaa hapettumiselta. (ESAB, 2014; Lukkari, 2002, s. 160, 192-193.)

## 2.2 Prosessisovellutuksia

Useista tekijöistä johtuen MIG- ja MAG-hitsausta voidaan toteuttaa lukuisilla erilaisilla, yksilöllisillä tavoilla. MIG/MAG-hitsaus toteutetaan yleensä osittain mekanisoidusti, eli hitsauslaite hoitaa lisäainelangan syötön, mutta hitsauspoltinta käytetään ja kuljetetaan käsin. MIG/MAG-hitsaus voidaan myös helposti mekanisoida ja automatisoida. MIG- ja MAG-hitsausprosesseista on kehitetty monia erilaisia variaatioita, kuten pulssihitsaus, kapearailohitsaus, vaihtovirtahitsaus, suurvirtahitsaus, paksulankahitsaus, kaksilankahitsaus ja suurtehohitsaus. (Lukkari, 2002, s. 160, 190.)

### 2.3 MIG/MAG-hitsauksen edut ja haitat

MIG/MAG hitsauksen yleisyyttä ja suosiota selittävät sen useat edut. MIG/MAG-hitsauksen tärkeimpiä etuja ovat ainakin (Lukkari, 2002, s. 177; Lepola & Makkonen, 2006, s. 103):

- Jatkuva lisäaineen syöttö
- Lisäaine kuonaa muodostamatonta ja hinnaltaan edullista
- Hyvä tuottavuus, esimerkiksi 1,2 mm:n langalla 2 - 7 kg/h
- Hitsaus kaikissa asennoissa mahdollista
- Tunkeuman säädettävyys virran avulla
- Laaja hitsausarvojen säätömahdollisuus eli yhdellä langanhalkaisijalla laaja virta- ja ominaisuusalue, esimerkiksi 1,0 mm:n langan virta-alue noin 65 - 280 A
- Säädettävyys ansiosta myös ohutlevyjen hitsaus onnistuu.

Haittoja verrattuna esimerkiksi puikkohitsauslaitteistoon ovat ainakin (Lepola & Makkonen, 2006, s. 103; Lukkari, 2002, s. 177):

- Alttius vedolle ja tuulelle
- Rajoittuneempi ulottuvuus ja luoksepäästävyys
- Hitsauslaitteisto on monimutkaisempi
- Laitteisto vaatii enemmän huoltoa ja kunnossapitoa
- Laitteistossa esiintyy yleensä enemmän erilaisia häiriöitä
- Erikoisten lisäaineiden saatavuus.

### 2.4 Prosessin toiminnan kannalta olennaiset arvot

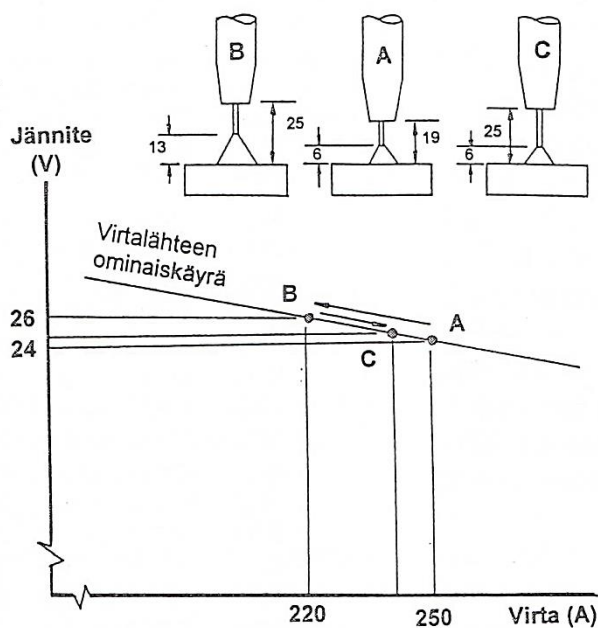
MIG/MAG-hitsauksen keskeisimmät parametrit ovat langansyöttönopeus, virta, jännite, suojakaasun virtaus, suutinetäisyys, kaarenpituus sekä hitsausnopeus. Hitsauksen onnistumisen kannalta on siis tärkeää, että kyseiset parametrit saadaan pysymään haluttuina hitsauksen aikana. (Lukkari, 2002, s. 161-165.)

### 3 MIG/MAG-HITSAUSLAITTEISTO

MIG/MAG-hitsauslaitteistoon kuuluu tyypillisesti virtalähde, langansyöttölaite, maadoituskaapeli, hitsauspistooli, monitoimikaapeli, mahdollinen nestejäähdytysyksikkö sekä kaasupullo tai kaasuverkkoliitännä. Hitsauslaitteistoja on monenlaisia moduulirakenteisista erillislaitteista kompakteihin yhdistelmälaitteisiin. Yleensä teolliset MIG/MAG-laitteistot ovat moduulirakenteisia, jotka koostuvat erillisistä virtalähteistä ja langansyöttöyksiköistä. (Kemppi, 2013a.)

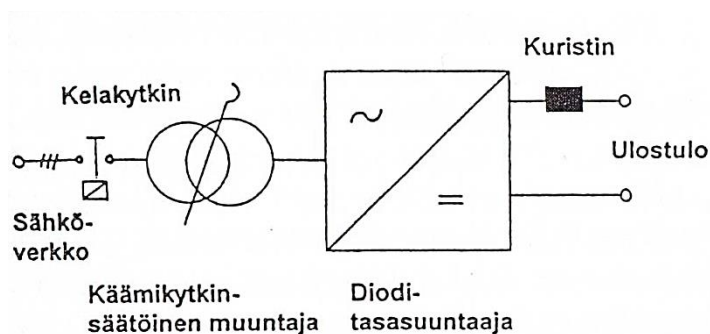
#### 3.1 Virtalähteet

MIG/MAG-hitsauksessa käytettävät virtalähteet ovat vakiojännitteisiä tasasuuntaajia ja invertterejä. Uudet virtalähteet ovat invertterejä. Virtalähteiden ominaiskäyrä (virtajännite) on lievästi laskeva, jolla saavutetaan vakaa itsesäätyvä valokaari, vaikka hitsauspistoolin etäisyys työkappaleesta vaihtelee hitsauksen aikana. Kuvassa 3 on esitetty virtalähteen ominaiskäyrä ja valokaaren itsesäätyvyys. (Lepola & Makkonen, 2006, s.104; Lukkari, 2002, s. 177-178.)



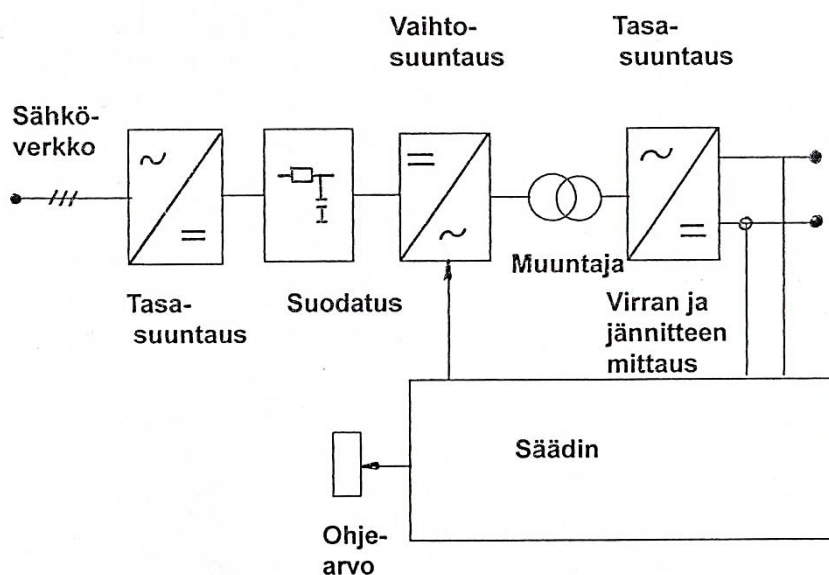
**Kuva 3.** Virtalähteen ominaiskäyrä ja valokaaren itsesäätyvyys (Lukkari, 2002, s. 161).

Ennen invertterejä MIG/MAG-virtalähteinä käytettiin tasasuuntaajia, jotka yleistyivät puolijohdetekniikan kehittyessä. MIG/MAG-tasasuuntaajat ovat pääasiassa käämikytkinkäyttöisiä vakiojännitetasasuuntaajia. Kyseiset laitteet koostuvat kuvan 4 mukaisesti jännitesäätökytkimellä varustetusta muuntajasta, ohjaamattomasta dioditasasuuntaajasta ja kuristimesta, sekä kelakytkimestä. Kelakytkin, joka saa ohjaustietonsa hitsauspistoolin kytkimeltä, ohjaa virtalähdettä päälle ja pois. Hitsausjännitettä säädetään jännitesäätökytkimellä, joka muuttaa muuntajan muuntosuhdetta. Muuntajasta tuleva vaihtojännite tasasuunnataan dioditasasuuntaajalla ja johdetaan kuristimen kautta eteenpäin hitsauspistoolille. Käämikytkinkäyttöisen vakiojännitetasasuuntaajan etuja ovat hyvä soveltuvuus MIG/MAG-hitsaukseen, yksinkertainen rakenne ja hyvä hyötysuhde. Haittoja ovat portaallinen tehonsäätö, alttius verkkojännitteen vaihteluille ja kaukosäädön puuttuminen. Koneen mekaaniset säätökytkimet ja kelakytkin vaativat huoltoa tehokäytössä. (Lukkari, 2002, s. 81-82.)



**Kuva 4.** Vakiojännitetasasuuntaajan lohkokaavio (Lukkari, 2002, s. 83).

Invertterit ovat syrjäyttäneet markkinoilla tasasuuntaajat, joille sähköverkon taajuus ja materiaalit aiheuttavat rajoituksia. Invertterien niin sanottu taajuusmuuttajatekniikka mahdollistaa virtalähteiden nopeamman reagointinopeuden ja koneiden koon pienentämisen. Invertterin etuja ovat tehoon nähden pieni koko ja keveys, hyvä hyötysuhde sekä sähköverkon symmetrinen kuormittuminen. Nopean ja kehittyneen säätötekniikan johdosta invertterit voivat olla kaikille hitsausprosesseille soveltuvia monitoimivirtalähteitä. Hitsausinvertterin toimintorakenne on esitetty lohkokaaviollla kuvassa 5. (Lukkari, 2002, s. 82-84.)

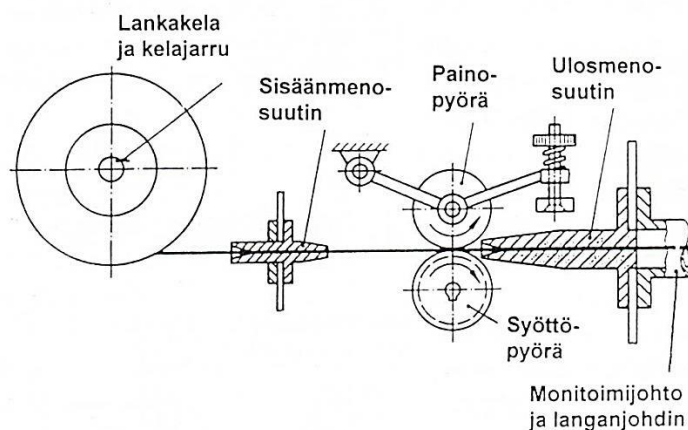


**Kuva 5.** Hitsausinverterin lohkokkaavio (Lukkari, 2002, s. 84).

Verkosta saatava vaihtojännite tasasuunnataan ja suodatetaan 250 - 700 V:n tasajännitteeksi. Saatua tasajännite muutetaan vaihtosuuntaajassa vaihtojännitteeksi, jonka taajuus on eri tekniikoista riippuen 2 - 100 kHz. Lopulta vaihtojännite muunnetaan ja tasasuunnataan hitsauskäyttöön soveltuvaksi tasajännitteeksi. Hitsausinverterin keskeisin osa on vaihtosuuntaaja, joka voidaan toteuttaa monella tavalla. Yleisimmin vaihtosuuntaamiseen käytetään IGBT-, eli bipolaaritransistoreja. (Lukkari, 2002, s. 83-84.)

### 3.2 Langansyöttölaite

Langansyöttölaitteen tehtävä on syöttää kelalla olevaa lisäainelankaa langanjohtimelle. Langansyöttölaitteiden tyyppejä ovat työntävä-, työntö-veto- ja välisyöttöjärjestelmä. Yleisimmät langansyöttölaitteet ovat työntäviä langansyöttölaitteita, jotka työntävät kelalta tulevaa lankaa langanjohtinta pitkin hitsauspistoolille. Työntö-veto -tyyppisiä langansyöttölaitteita käytetään yleensä pehmeille alumiinilangoille tai jos tarvitaan pidempiä syöttömatkoja. Välisyöttöjärjestelmät mahdollistavat välikaapeleiden käytön, kun matka hitsauspistoolista lankakelaan on pitkä. Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen yhdellä syöttöpyörällä ja painopyörällä varustetun työntävän langansyöttölaitteen komponentit. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 105; Lukkari, 2002, s. 181-182.)



**Kuva 6.** Langansyöttölaitteitten komponentit (Lukkari, 2002, s. 184).

Kelajarrun tehtävä on pysäyttää kelan pyöriminen hitsauksen lopussa ehkäisten langan purkautuminen langansyötön pysähtyessä. Sisäänmenosuutin ohjaa langan syöttöpyörälle ja painopyörälle. Syöttöpyörä, johon on kytketty langansyöttömoottori, purkaa lankaa kelalta ja työntää sitä eteenpäin. Painopyörä painaa lankaa syöttöpyörää vasten sopivalla voimalla ja ulosmenosuutin ohjaa langan langanjohtimeen. Langansyöttölaite saa ohjaustiedot hitsauspistoolin liipaisimelta. Kun hitsaus aloitetaan liipaisinta painamalla, ohjausosa käynnistää langansyöttömoottorin, virtalähteen ja avaa kaasuventtiilin. Ohjausosa saa tarvittavat asetustiedot, kuten valitun langansyöttönopeuden laitteen käyttöpaneelista. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 105; Lukkari, 2002, s. 182-184.)

### 3.3 Monitoimijohto

Monitoimijohto koostuu useista johtimista, kaapeleista ja letkuista. Sen kautta johtetaan hitsauslanka, suojakaasu, jäähdytysvesi, hitsausvirta ja ohjausvirta hitsauspistooliin. Yleensä monitoimijohto on kiinteä osa hitsauspistoolia, joten monitoimijohdon ja pistoolin kokonaisuutta voidaan kutsua pelkästään hitsauspistooliksi. Hitsauslanka kulkee langanjohdinta pitkin, joka on monitoimijohdon tärkein osa langansyötön kannalta. Yleensä langanjohdin on vakiopituudeltaan 3 tai 4,5 metriä pitkä, sillä pidemmät altistavat langansyöttöhäiriöille. Langanjohtimen sisähalkaisijan pitäisi olla vähintään 1,5 kertaa langanhalkaisija tai hieman suurempi, jotta hitsauslanka kulkee hyvin johtimessa. Hitsauslangan tyypistä riippuen käytettäviä langanjohdintyyppäjä ovat terässpiraali johdin, muovilangan johdin ja teflonlangan johdin. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 107; Lukkari, 2002, s. 184-185.)

Materiaaleina monitoimijohdon kaapeleissa ja letkuissa käytetään pehmennettyjä, taipuvia muoveja ja kumeja. Virtakaapeleiden eristeissä käytetään kumeja, vesi- ja kaasuletkuissa PVC:tä ja NBR:ää sekä ohjauskaapeleiden eristeenä PVC:tä. (Hämäläinen, 2014.) PVC eli polyvinyylidikloridi on yleinen muovilaatu, josta voidaan muokata joustavaa pehmitteillä. NBR eli nitrili on yleisesti käytetty kumimateriaali (HallStar, 2009.)

### 3.4 Hitsauspistooli

Hitsauspistoolia on muun muassa virrankeston, muodon ja jäähdytysperiaatteen mukaan erilaisia. Hitsauspistooli on niin sanotusti viimeinen lenkki hitsauksen onnistumiseksi, joten pistoolin täytyy olla kunnossa. Pistoolissa olevalla liipaisimella kytketään ohjausvirtapiiri päälle, jolloin hitsauslankaan tulee jännite, suojakaasun syöttö alkaa ja langansyöttö alkaa. Hitsauspistoolia on kaasu- ja vesijäähdytettyjä. Vesijäähdytettyjä pistoolia käytetään, kun hitsausvirrat ovat suuria, yli 250 A. Pistoolissa voi olla myös erikoisvarusteita, kuten vetävää langansyöttöä, kaukosäätimiä ja savunpoistoa. Hitsauspistoolin päässä on kosketussuutin, josta virta siirtyy lankaan ja kaasusuutin, jotka ovat vaihdettavia osia. Kosketussuuttimia on eri paksuisille langoille ja erilaisille työkohteille. Kosketussuutin on kuluva osa ja siltä vaaditaan hyvää sähkönjohtokykyä, kulumiskestävyyttä ja kuumankestävyyttä. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 107-108; Lukkari, 2002, s. 185-189.)

### 3.5 Suojakaasun syöttö

Suojakaasu ohjataan pullosta tai suojakaasuverkosta pulloventtiilin, virtaussäätimen, kaasuletkun, magneettiventtiilin ja monitoimijohdon kaasuletkun kautta hitsauspistoolin kaasusuuttimelle. Kaasuvirtauksen määrää säädetään yleensä kaasupulloon liitettävän virtaussäätimen avulla. Virtausmittari on joko kello tai tarkempi, mutta kalliimpi rotometri. Kaasuvirtaus avataan ja suljetaan magneettiventtiilillä, jota hitsaaja ohjaa pistoolin liipaisimella. Varsinkin kaasuletkujen vuotamattomuus on tärkeää, sillä muuten suojakaasun sekaan pääsee merkittäviä määriä happea, typpeä ja kosteutta. Myös ehjien letkujen läpi voi diffuntoitua koko ajan kosteutta ja happea, mutta kaasunsyötön kytkeminen päälle laskee epäpuhtauspitoisuudet kohtuullisen nopeasti. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 109-110; Lukkari, 2002, s. 189-190.)



### 3.6 Jäähdytinlaite

Valokaari kuumentaa poltinta, joten polttimen jäähdytys on välttämätöntä. Jäähdytys voidaan toteuttaa suojakaasun virtauksen jäähdyttävän vaikutuksen tai erillisen nestejäähdytysyksikön avulla. Jäähdytysnesteinä käytetään alkoholin ja veden seosta, esimerkiksi 20 - 40 % etanoli/vesi. (Kemppe, 2013a; Kemppe, 2013b.)

### 3.7 Koteloinnit

Koteloinnin IP-luokitus (taulukko 1) määrittää kotelon suojauksen vieraita esineitä, pölyä ja vettä vastaan. Koteloinnin IP-luokitus ei kuitenkaan kerro kosteuteutta tai pakkasta vastaan suojaukselta. (Valtanen, 2010, s. 1014.) Kosteus voi siis tiivistyä elektroniikkaan ja pakkanen voi vaikuttaa laitteen toimintaan. Toisaalta tiivis kotelo voi eristää sisäänsä suurtehoelektroniikan resistiiviset sekä sähkömagneettiset lämpöhäviöt ja auttaa laitetta toimimaan kylmässä, kun laite on sisältä lämpimämpi kuin ulkoilma. (Titus, 2012.)

*Taulukko 1. Sähkölaitteiden kotelointiluokat (mukaihen Valtanen, 2010, s. 1014).*

<b>Kirjaimet</b>	<b>1. numero – suojattu vierailta esineiltä ja pölyltä</b>		<b>2. numero – suojattu veden sisäänpääsylvä</b>	
<b>IP</b>	<b>0</b>	suojaamaton	<b>0</b>	suojaamaton
	<b>1</b>	kun halkaisija $\geq 50\text{mm}$	<b>1</b>	pystysuoraan tippuvalta vedeltä
	<b>2</b>	kun halkaisija $\geq 12,5\text{mm}$	<b>2</b>	tippuvalta vedeltä (laitteen kallistus $15^\circ$ )
	<b>3</b>	kun halkaisija $\geq 2,5\text{mm}$	<b>3</b>	satavalta vedeltä
	<b>4</b>	kun halkaisija $\geq 1,0\text{mm}$	<b>4</b>	roiskuvalta vedeltä
	<b>5</b>	pölysuojatusti	<b>5</b>	vesisuihkulta
	<b>6</b>	pölytiivisti	<b>6</b>	voimakkaalta vesisuihkulta
			<b>7</b>	lyhytaikaisesti upotettuna
		<b>8</b>	jatkuvasti upotettuna	

Yleensä ulkokäyttöön tarkoitettu laitteelta vaaditaan vähintään IP-luokitus IP23, eli suojattu halkaisijoiltaan yli 12,5 mm:n esineiltä ja sateelta (Kempfi, 2015; Valtanen, 2010, s. 1016).

### 3.8 Hitsauslaitteiden huolto ja kunnossapito

MIG/MAG-laitteisto vaatii säännöllistä huoltoa ja kunnossapitoa, sillä huonokuntoinen laitteisto aiheuttaa helposti erilaisia virheitä. Kunnossapidon tarve voi korostua vaikeissa työolosuhteissa. MIG-hitsauslaitteen huollossa on päivittäin tai tarvittaessa otettava huomioon (Lukkari, 2002, s. 191):

- Kaikkien laitteen ulkopuolisten virtaliittimien tarkistus ja kiristys
- Maadoituspuristimen kiristys työkappaleeseen tai hitsausalustaan
- Lankakelan navan kireyden tarkistus ja säätö tarvittaessa
- Alumiinin hitsauksessa syöttörullien puhdistus pyyhkimällä sopivalla liuottimella (teollisuusalkoholi tai asetoni) antaen liuottimen haihtua ennen jatkotoimenpiteitä
- Lankakelan vaihdon yhteydessä kokeiltava aina langan liikkuvuutta syöttölaitteistossa välttämättä koskettamasta paljain käsin kelalla olevaan lankaan
- Suojakaasun kulkureitin tarkistus vuodonilmaisunesteellä verkosta tai pullosta hitsauspistoolin kaasusuuttimelle saakka
- Mahdollisten kaasuvuotojen korjaaminen
- Kaasuvirtauksen riittävyyden tarkistus hitsaamalla
- Kaasuvirtauksen mittaaminen kaasusuuttimesta.

## 4 TYÖOLOSUHTEET

MIG/MAG-hitsauksessa on tärkeää huomioida työskentelyolosuhteet. Hitsausprosessi vaatii mahdollisimman vedottoman ja tuulettoman ympäristön, koska suojakaasu lähtee helposti ilmanvirtausten mukaan. Prosessin käyttöä ulkona rajoittaa myös työkohte, joka halutaan pitää kuivana ja puhtaana. Kun hitsaustyö joudutaan syystä tai toisesta suorittamaan halliolosuhteiden ulkopuolella, pyritään MIG- ja MAG-hitsauksen suojana käyttämään erilaisia suojapeitteitä, teltoja ja siirrettäviä hitsaussuojia. Kuvassa 7 on hitsausteltoa suojaamassa hitsattavia kaasuputkia tuulelta ja lumelta. (Lukkari, 2002, s. 176-177; Industrial Machinery Digest, 2013.)



**Kuva 7.** Hitsausteltoa suojaamassa putkilinjan hitsausta (Industrial Machinery Digest, 2013).

### 4.1 Hitsaaminen kylmissä olosuhteissa

Kylmissä olosuhteissa tapahtuvan hitsaustyön onnistumisen kannalta on ensisijaisen tärkeää järjestää siedettävät työskentelyolosuhteet. Hitsaustapahtuma täytyisi aina suojattava tuulelta, sateelta ja lumelta. Käytännössä suojauksen toteutus kuitenkin vaihtelee täysin suojaamattomasta hitsauskohteesta ilmastoituun, lämmitetyyn kopiiin. Teräsrakennusnormi RIL 90-1996 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto) antaa hitsaustyön rajalämpötilaksi  $-5\text{ °C}$ , jota kylmemmässä lämpötilassa hitsaustavasta on neuvoteltava tilaajan ja teräksen valmistajan kanssa. Lisäksi käsinhitsauksen työskentelyolosuhteet täytyy järjestää niin, että mahdollisimman suuri osuus työstä on hitsattavissa jalkoasennossa. (Vähäkainu, 1998, s. 66.)

Vähäkainun (1998, s. 66) mukaan ”pakkasolosuhteet vaikeuttavat hitsaamista ainakin seuraavin tavoin:

- Hitsaaja palelee herkästi, mikä heikentää hänen suorituskyykyään
- Hitsausnaamarin lasi huurtuu
- Kosteus tiivistyy hitsattaville teräspinoille
- Kylmähalkeiluriski kasvaa
- Huokosia ja kuonatulkeumia syntyy enemmän
- Palon pinta tulee epätasaisemmaksi ja yksittäisten palkojen paksuusvaihtelu lisääntyy
- Hitsauslaitteisiin tulee häiriöitä; langanjohtimet ja kaapelit ovat jäykkiä.”

#### 4.2 Pakkasen vaikutus hitsausliitoksen mikrorakenteeseen

Hitsausliitokseen muodostuvaan mikrorakenteeseen vaikuttaa merkittävimmin teräksen koostumus, mutta työlämpötila vaikuttaa liitoksen muutosvyöhykkeen mikrorakenteeseen jäähtymisnopeuden kautta. Työlämpötilan laskeminen nopeuttaa hitsin jäähtymistä, lyhentäen mikrorakenteen muodostumisen kannalta kriittistä  $t_{8/5}$  -jäähtymisaikaa, eli lämpötila-alueen 800 - 500 °C ohittamiseen kuluva aika. Työlämpötilan lisäksi jäähtymisaikaan vaikuttavat myös hitsausenergiasta  $E$  riippuva lämmöntuonti, levynpaksuus ja liitostyyppi. Työlämpötilan vaikutus jäähtymisaikaan  $t_{8/5}$  on esitetty taulukossa 2. (Vähäkainu, 1998, s. 67.)

*Taulukko 2. Työlämpötilan vaikutus jäähtymisaikaan  $t_{8/5}$  päällehitsauspalossa puikkohitsauksessa hitsausenergialla 1,8 kJ/mm (Vähäkainu, 1998, s. 67).*

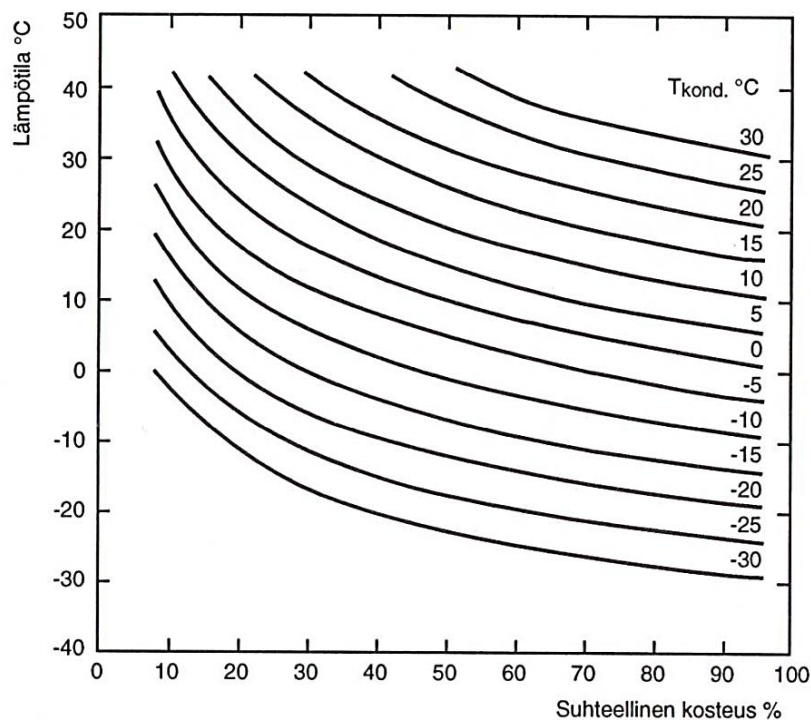
Työlämpötila °C	Jäähtymisaika $t_{8/5}$ s	
	Levynpaksuus	
	10 mm	40 mm
20	30	7,6
0	27	7,2
-20	25	6,9
-40	23	6,6

Työlämpötilan alenemisella 20 °C:sta -40 °C:een ei ole suurta vaikutusta  $t_{8/5}$  -jäähtymisaikaan. Kuitenkin riittävän suuri lämpötilaero huoneenlämpöön verrattuna alkaa vaikuttaa muutosvyöhykkeen mikrorakenteeseen, jolloin kovempien ja hauraampien faasien, eli bainiittin sekä martensiitin osuus mikrorakenteesta kasvaa sitkeämmän ferriittis-perliittisen faasin osuuden vähentyessä. (Vähäkainu, 1998, s. 67.)

Kuitenkin pakkasessa hitsaaminen on mahdollista, koska pakkasen vaikutus normaalien rakenneterästen muutosvyöhykkeen mikrorakenteeseen on vähäistä ja  $-40\text{ °C}$ :ssa asianmukaisesti hitsattu liitos täyttää materiaalille asetetut iskusitkeysvaatimukset. Levynpaksuudesta ja teräslaadusta riippuen  $-40\text{ °C}$ :ssa hitsatun liitoksen enimmäiskovuus on 10 - 25 HV (Vickers-kovuus) suurempi kuin konepajaolosuhteissa hitsatun. Kovuuden nousua voidaan estää esikuumennuksella, hitsaamalla suuremmalla virralla tai pienemmällä kuljetusnopeudella, huomioiden kuitenkin mahdollinen perusaineen lämmöntuontirajoitus. (Vähäkainu, 1998, s. 67.)

#### 4.3 Kosteuden aiheuttamat ongelmat

Pakkasella ilman suhteellinen kosteus on yleisesti matala, mutta hitsattavien pintojen yhteyteen tiivistyy koko ajan kosteutta. Kylmä työkappale huurtuu välittömästi lämmittämisen seurauksena. ”Kondensoitumisen vaatiman lämpötilaeron ilman suhteellisen kosteuden funktiona” on esillä kuvassa 6. (Vähäkainu, 1998, s. 67.)



**Kuva 8.** Kastepiste ilman suhteellisen kosteuden funktiona (Vähäkainu, 1998, s. 68).

Hitsauksen aikana kondensoitunut vesi, jää ja huurre voi hajota vedyksi. Lisäksi ne lyhentävät hitsin jäähtymisaikaa. Kylmässä vedyn diffuusio on hidasta, joten liitospintojen kosteus lisää sekä kylmähalkeilun, että huokosten muodostumisen riskiä. Hitsausliitosten tarkastelua suunniteltaessa on huomioitava, että vedyn aiheuttama viivästynyt murtuma saattaa ydintyä vasta monen päivän päästä hitsauksen ajankohdasta. Kylmähalkeilun ja huokosten välttämiseksi on työkappaleille tehtävä riittävä esilämmitys 50 - 100 °C:een, sekä huolellinen pintojen kuivaus ja puhdistus. (Vähäkainu, 1998, s. 67-68.)

Kosteus aiheuttaa haittaa myös hitsauslaitteistolle, sillä se diffundoituu kumisten ja muovisten kaasuletkujen läpi, jos kaasujen osapaineet ovat otolliset. Kosteus tiivistyy samalla tavalla myös muualle. Elektroniikka on kuitenkin turvassa korroosiolta, sillä pakkasessa sitä ei yleensä tapahdu tai se on hyvin hidasta. Ilman kosteus ei itsessään vaikuta merkittävästi laitteiden toimivuuteen, mutta jos huurretta alkaa kertyä paljon, se voi aiheuttaen ongelmia. (Lukkari, 2002, s. 190; Hienonen & Lahtinen, 2009, s. 12.)

#### 4.4 Käytösuhde kylmissä olosuhteissa

Hitsauslaitteiden kuormitettavuutta kuvataan käytösuhteella, joka ilmoitetaan yleensä maksimivirran osalta 60 %:n kaariajalla 10 minuutin pituisesta työjaksosta. 100 %:n käytösuhde tarkoittaa virtaa, jota kone voi antaa jatkuvasti. Käytösuhde määritellään 40 °C työlämpötilaa varten, joten varsinainen käytösuhde voi olla korkeampi kylmemmässä työskentelylämpötilassa. Käytännössä laitteita kuitenkin vain harvoin kuormitetaan käytösuhteen määritelmän mukaisella tavalla. (Kemppe, 2015; Lukkari, 2002, s. 85-86.)

## 5 HITS AUSLAITTEISTON KYLMÄNKESTO

Kylmyys voi jopa rikkoa hitsauslaitteita, mutta on olemassa laitteita, jotka ovat suunniteltuja kestämaan kylmiä olosuhteita. Helpoin tapa selvittää yksittäisen hitsauslaitteen soveltuvuutta kylmiin olosuhteisiin on tutustuminen hitsauslaitteen käyttöohjeeseen, ja katsomalla mikä on laitteen valmistajan määrittämän suositellun käyttölämpötila-alueen alaraja. (Jappah, 2011.) Hitsauslaitteen toimintorakenteen suunnittelu on usein valintoja perustuen yksittäisten komponenttien teknisiin tietoihin. Kempin kehitys- ja innovaatiojohtajan Mikko Veikkolaisen mukaan käytännön kokeilla saadaan selville, että ovatko valinnat onnistuneet. (Kemppi, 2013c, s. 22-23.)

### 5.1 Virtalähteiden ja jäähdytysyksikköjen kylmänkesto

Modernit virtalähteet ovat invertterejä, joiden tehon säätö tapahtuu yleensä IGBT-transistoreilla, tasasuuntaus diodeilla ja ohjaus mikroprosessoreilla. Invertterien nopea takaisinkytketty säätö auttaa pitämään virrat ja jännitteet oikeanlaisina olosuhteista huolimatta. (Lukkari, 2002, s. 82-84.) Tutkimusten mukaan IGBT-transistorit toimivat kylmässä jopa paremmalla hyötysuhteella, joten niiden osalta kylmyys ei ole ongelma. (Azzopardi et. al., 2005).

Monimutkaisesta elektroniikasta huolimatta virtalähteet ja jäähdytysyksiköt toimivat kylmässä hyvin. Toimintaperiaatteensa vuoksi LCD-paneelit, eli nestekidenäytöt toimivat kylmässä huonosti heikentäen käytettävyyttä, mutta ne voidaan korvata kylmässä toimivilla LED-paneeleilla. (Hämäläinen, 2014; Titus, 2012.) Esimerkiksi eräs suomalainen laitevalmistaja lupaa valmistamiensa hitsauslaitteiden toimivan vähintään käyttölämpötila-alueella  $-20\text{ °C} \dots 40\text{ °C}$ , joten kyseisillä laitteilla pärjää myös ääriolosuhteissa. Jos käytössä on jäähdytyslaite on jäähdytysnesteinä syytä käyttää oikeanlaista etanoli/vesi-seosta jäätyksen ehkäisemiseksi. (Kemppi, 2013b; Kemppi 2015.)

### 5.2 Hitsauspistoolien ja välikaapelien kylmänkesto

Hitsauspistooleissa ja välikaapeleissa esiintyy usein materiaalien jäykistymistä kylmässä, joka tekee hitsaamisesta ongelmallista kun kaapeli eivät taivu riittävästi. Virtakaapelien

kumiset eristeet, ohjauskaapeliin PVC-eristeet, kuten myös vesi- ja kaasuletkujen NBR- sekä PVC-materiaalit menettävät tyypillisesti joustavuutensa kylmissä lämpötiloissa. Myös virtaliittimissä voi esiintyä ongelmia eristeiden osalta. PVC:tä käytetään hitsauslaitteiden kaapeleissa sen edullisin hinnan, riittävän tiheyden ja hyvien eristeominaisuuksien vuoksi. (Hämäläinen, 2014.)

PVC:n ja kumien kuten NBR:n ominaisuudet kylmässä riippuvat käytännössä niiden laadusta, eli käytettyistä pehmentimistä, muista seosaineista ja niiden suhteellisista osuuksista. Taulukossa 3 on vertailtu erilaisten monomeeristen pehmitteiden suorituskykyä NBR:n pehmentämiseen sellaisenaan ja uunissa tehdyn vanhennuksen jälkeen. Yleinen peruspehmitte DOP, eli Di-2-etyyliheksyyliflaatti toimi vertailulähtökohdaksi muille kylmiin olosuhteisiin tarkoitetuille pehmitteille. (HallStar, 2009.)

*Taulukko 3. Monomeeristen pehmitteiden vertailua NBR-yhdisteiden pehmentämiseen (mukailen HallStar, 2009).*

Matalan lämpötilan haurautta testattu ASTM D2137-standardin (American Society for Testing and Materials) mukaisen testin mukaan						
Yhdiste: 34 % NBR, 10.2 % monomeerisiä pehmitteitä						
Monomeeri	DOP	DOA	DBEA	DBEEA	DBEES	Trieteeniglykoli kapraatti karpylaatti
Valettuna	-33	-42	-43	-40	-39	-42
Vanhennettuna uunissa 70h/125 °C	-25	-23	-27	-31	-34	-30
Keskimääräinen molekyyli massa	391	373	346	494	505	430

Kylmiin olosuhteisiin suunniteltuna monomeerisiä esteripehmitteitä ovat muun muassa: DOA eli Di-2-etyyliheksyyliadipaatti, DBEA eli dibutoksietyyliadipaatti, DBEEA eli dibutoksietyyliheksyyliadipaatti ja DBEES eli dibutoksietyyliheksyyliisobakaaatti. Lähes kaikilla kyseisillä pehmitteillä saadaan materiaali pysymään jostain joustavana eli murtumatta noin -40 - -30 °C:een saakka, joskin muut ominaisuudet, kuten tiheydet



vaihtelevat. (HallStar, 2009.) Kyseisiä adipaattipehmitteitä käytetään myös PVC:lle, jolla niillä saavutetaan joustavuutta noin  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een asti. Kuitenkin eräiden tutkimusten mukaan n-alkyyli-pyrrolidonit ovat merkittävästi parempia tehokkaampia kuin flataatit ja adipaatit. Lisäksi n-alkyyli-pyrrolidoneilla saavutettiin tutkimuksessa joustavuus jopa  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een saakka. (Bonnet & Kaytan, 2012, s. 1-6.)

Hitsauskaapelien kylmänkestävyyttä voi parantaa myös muilla eristeillä. Froniuksen erään mekanisoituun arktiseen hitsaukseen tarkoitettun hitsauspoltinsarjan kylmänkestävyyttä on parannettu nahkasta valmistetulla eristeellä. Kyseiselle polttimelle ja monitoimikaapelille luvataan jopa  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een ulottuva käyttölämpötila. Toisaalta on huomioitava, että lisäeristeet monessa tapauksessa tekevät kaapeleista paksumpia, ja hankaloittavat käsittelyä käsin hitsauksen kannalta. (Fronius, 2014.)

### 5.3 Langansyöttölaitteiden kylmänkestävyys ja toimivuus

Langansyöttölaitteet ovat mekaanisilta osiltaan aika yksinkertaisia ja niiden elektroniikka koostuu pääosin yhdestä tai useammasta sähkömoottorista sekä ohjausjärjestelmästä. Langansyöttöjärjestelmän toimivuus on tärkeää ja edellyttää huoltoa, mutta varsinaisia langansyöttölaitteita koskevia kylmyyden aiheuttamia ongelmia ei tässä tutkimuksessa löydetty. Usein ongelmat löytyvät monitoimikaapelista, langanjohtimesta ja hitsauspistoolista. (Lukkari, 2002, s. 181-184.)

### 5.4 Kaasunsyötön toimivuus

Kaasunsyötön toimivuuden kannalta on tärkeää, että letkut kestävät vuotamatta ja paineensäätimet toimivat. EN 2503 (2009) -standardin mukaan paineensäädinten täytyy toimia normaalisti käyttölämpötila-alueella  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ...  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . EN 3821 (2010) -standardissa määritellään vaatimuksia kaasuletkujen kumimateriaalien ominaisuuksille, jotta ne soveltuvat lämpötila-alueelle  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ...  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jos magneettiventtiili, kaasuletkut ja liittimet pysyvät toimivana sekä ehjinä pakkasessa, ei kylmyyden pitäisi aiheuta ongelmia kaasunsyötölle. (Lukkari, 2002, s. 189-190, SFS-EN ISO 2503, 2009, s. 22; SFS-EN ISO 3821, 2010, s. 8.)

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Hyvin suunnitelluilla MIG/MAG-hitsauslaitteilla voi hitsata kylmissä olosuhteissa. Laitteiden elektroniikka on mahdollista suunnitella toimimaan arktisissa olosuhteissa edellyttäen testausta, jotta yksittäisten komponenttien toiminta saadaan varmistettua. Elektroniikan osalta hitsauslaitteet voivat toimia kylmässä jopa paremmalla hyötysuhteella ja suuremmalla käyttösuhteella.

Tärkeimmäksi toimivuutta rajoittavaksi ongelmaksi nousee hitsauskaapelin ja sen johteiden jäykistyminen. Useimmat eristeinä ja letkumateriaaleina käytettävät pehmenneyt PVC:t jäykistyvät viimeistään lämpötilan laskiessa noin -20 °C:een. Jos kaapeli jäykistyy liikaa, hitsaamisen suorittaminen vaikeutuu ja muuttuu lopulta mahdottomaksi. Kaapeleiden käyttölämpötila-alueella on mahdollista parantaa kylmässä päässä käyttämällä tehokkaampia pehmitteitä, mutta on otettava huomioon, että myös muovin muut mekaaniset vaatimukset täyttyvät. Toinen mahdollisuus on käyttää lisäeristeitä, kuten esimerkiksi nahkaa, mutta ne tekevät monitoimikaapelista paksumman ja vaikeammin käsiteltävän. Niin sanotut kylmänkestävät kumit ja muovit on varta vasten suunniteltu tarjoamaan mahdollisimman suuri joustavuus mahdollisimman kylmässä lämpötilassa, mutta niidenkin rajat tulevat vastaan tietyssä pisteessä.

Kosteus voi aiheuttaa ongelmia sen lisäksi, että se diffusoituu kaasuletkujen läpi ja tiivistyy hitsattaville pinnoille. On mahdollista, että kosteus aiheuttaa huurretta laitteiston kriittisiin osiin, mutta laitteiston päivittäisistä huolloista ja tarkistuksista on apua. Materiaalin vieminen lämpimästä kylmempään saa aikaan myös kutistumisen, eli päinvastaisen lämpölaajenemisen, joka voi aiheuttaa ongelmia.

Standardien määritelmien mukaan hitsauksessa käytettävien välineiden materiaalien on toimittava vähintään lämpötila-alueella -20 - 60 °C. Käytännössä standardi toteutuu nykyisten kylmänkestävien muovien avulla, joiden käyttölämpötila ulottuu käytännössä juuri -20 °C tietämille.

Hitsaaminen onnistuu oikeanlaisilla välineillä siis ainakin -20 °C:een asti. Siitä kylmempi lämpötila voi olla liikaa tietyille materiaaleille, mutta mahdollinen oikein valituilla materiaaleilla. Toisaalta -20 °C on jo niin kylmä työlämpötila hitsata, että itse hitsaajan suorituskyky alkaa rajoittaa työn onnistumista ja lämmitetyn hitsauskopin käyttö on suotavaa.

## LÄHTEET

Azzopardi, S., Benmansour A., Ishiko, M. & Woirgard, E. 2005. Assesments of the Trench IGBT reliability: low temperature experimental characterization. *Microelectronics Reliability*, 45:9-11. Ss. 1700-1705.

Bonnet, M. & Kaytan, H. 2012. Flexidone(tm) - A new Class of Innovative PVC Plasticizers. Teoksessa: Luqman, M. (editor). *Recent Advances in Plasticizers* 18 s. Saatavissa: <http://www.intechopen.com/books/recent-advances-in-plasticizers/flexidone-a-new-class-of-innovative-pvc-plasticizers>

ESAB. 2014. MIG/MAG-hitsaus [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2014]. Saatavissa: <http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes-mig-gmaw.cfm>

Fronius. 2014. Robacta Pipe Arctic [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2014]. Saatavissa: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-9E52DBA6-FDA0D06A/fronius\\_international/hs.xsl/79\\_10764\\_ENG\\_HTML.htm](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-9E52DBA6-FDA0D06A/fronius_international/hs.xsl/79_10764_ENG_HTML.htm)

HallStar. 2009. The Function Selection Ester Plasticizers [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2014]. Saatavissa PDF-tiedostona: [http://www.hallstar.com/techdocs/The\\_Function-Selection\\_Ester\\_Plasticizers.pdf](http://www.hallstar.com/techdocs/The_Function-Selection_Ester_Plasticizers.pdf)

Hienonen, R. & Lahtinen, R. 2007. Korroosio ja ilmastolliset vaikutukset elektroniikassa. Espoo: VTT Puplications 623. 243 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P623.pdf>

Hämäläinen, J. 2014. Research and Development Manager, Kemppi Oy. Asiantuntujan haastattelu 27.1.2014. Sähköpostin välityksellä käyty keskustelu. Materiaali kirjoittajan hallussa.

Industrial Machinery Digest. 2013. Hex-Hut: 'We've got you covered' [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2014]. Saatavissa:

<http://www.industrialmachinerydigest.com/productivity-profiles/2013-01-25/hex-hut-weve-got-you-covered/>

Jappah, D. 2011. Some Questions About Cold Weather Welding [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2014]. Saatavissa: <http://www.weldmyworld.com/blog/2011/12/some-questions-about-cold-weather-welding.html>

Kemppi. 2013a. Hitsausaapinen [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2014]. Saatavissa: [http://www.kemppi.com/inet/kemppi/fi/akp.nsf/frameset/Frameset?OpenDocument&left=/inet/kemppi/fi/akp.nsf/WEB\\_Nav?OpenView&navcat=Welding%20ABC&main=/inet/kemppi/contman.nsf/0/5EA64CEDFF42FC30C225718D003E66A7?opendocument&top=/inet/kemppi/fi/akp.nsf/Top?ReadForm&topcat=Welding%20ABC](http://www.kemppi.com/inet/kemppi/fi/akp.nsf/frameset/Frameset?OpenDocument&left=/inet/kemppi/fi/akp.nsf/WEB_Nav?OpenView&navcat=Welding%20ABC&main=/inet/kemppi/contman.nsf/0/5EA64CEDFF42FC30C225718D003E66A7?opendocument&top=/inet/kemppi/fi/akp.nsf/Top?ReadForm&topcat=Welding%20ABC)

Kemppi. 2013b. Tuotekuvasto [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2014]. Saatavissa: [http://productinfo.kemppi.com/flipbook/prodcat\\_2013/fi/](http://productinfo.kemppi.com/flipbook/prodcat_2013/fi/)

Kemppi. 2013c. Publication [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2014]. 52 s. Saatavissa PDF-tiedostona:  
[http://productinfo.kemppi.com/flipbook/pronews\\_2013/en/files/assets/common/downloads/publication.pdf](http://productinfo.kemppi.com/flipbook/pronews_2013/en/files/assets/common/downloads/publication.pdf)

Kemppi. 2015. Hitsausalan standardit ja normit [verkkodokumentti]. [Viitattu 16.1.2015]. Saatavissa:  
[http://www.kemppi.com/inet/kemppi/fi/akp.nsf/frameset/Frameset?OpenDocument&left=/inet/kemppi/fi/akp.nsf/WEB\\_Nav?OpenView&navcat=Standards&main=/inet/kemppi/contman.nsf/0/95DD7E788E8A3661C2257188002D0A30?opendocument](http://www.kemppi.com/inet/kemppi/fi/akp.nsf/frameset/Frameset?OpenDocument&left=/inet/kemppi/fi/akp.nsf/WEB_Nav?OpenView&navcat=Standards&main=/inet/kemppi/contman.nsf/0/95DD7E788E8A3661C2257188002D0A30?opendocument)

Lausala, T. & Jumppanen, P. 2002. Arktinen teknologia suomalaisten yritysten liiketoimintastrategioissa. Teknologia katsaus 128/2002. Helsinki: Tekes. 58 s.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2006. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. 1.-2. painos. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö. 429 s.

Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka: Perusteet ja kaarihitsaus. 4., tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus. 292 s.

SFS-EN ISO 2503. 2009. Kaasuhitsausvarusteet. Hitsaukseen, leikkaukseen ja niiden lähiprosesseihin tarkoitettut kaasupullojen paineensäätimet. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 66 s.

SFS-EN ISO 3821. 2010. Kaasuhitsausvarusteet. Kumiletkut leikkausta, hitsausta ja niiden lähiprosesseja varten. 1. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 35 s.

Titus, J. 2012. Design electronics for cold environments [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2014]. Saatavissa: <http://www.ecnmag.com/articles/2012/12/design-electronics-cold-environments>

USGS. 2008. Circum-Arctic Resource Appraisal: Estimates of Undiscovered Oil and Gas North of the Arctic Circle [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2014]. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://pubs.usgs.gov/fs/2008/3049/fs2008-3049.pdf>

Valtanen, E. 2010. Tekniikan taulukkikirja. 18. painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy. 1176 s.

Vähäkainu, O. 1998. Hitsaajan Opas. 2. painos. Keuruu: Otava. 94 s.