

Janne Kemppainen

**TIME-HITSAUSMENETELMÄN SOVELTUVUUS JA KUSTANNUKSET
ROOTTOREIDEN HITSUKSESSA**

Opinnäytetyö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Kevät 2014

Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Janne Kempainen	
Työn nimi TIME-hitsausmenetelmän soveltuvuus ja kustannukset roottoreiden hitsauksessa	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Koneensuunnittelu Virtuaalituotanto	Toimeksiantaja Transtech OY
Aika Kevät 2014	Sivumäärä ja liitteet 56 + 10
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia TIME-hitsausmenetelmän soveltuvuutta roottoreiden hitsauksessa ja vertailla hitsauskustannuksia vanhan menetelmän kanssa. Työ tehtiin Transtech OY:lle. Nykyisin Transtech Oy:ssä roottoreiden hitsaaminen tapahtuu ikääntyneellä jauhekaarilaitteistolla.</p> <p>TIME-menetelmän soveltuvuutta testattiin kahdella eri koehitsauksella. Ensimmäisessä testattiin menetelmän soveltuvuutta roottoreiden aihoiden malliseen koekappaleeseen. Hitsaus suoritettiin v-railoon, joka oli tehty vastaamaan aihoiden railoa. Toinen hitsaus suoritettiin u-railoon, joita myös löytyy roottoreiden aihioista. Testikappaleena toimi kaksi levyä, joissa molemmissa puolikas u-railo. Levymalli mahdollisti lisätestauksen. Molemmat hitsaukset olivat onnistuneita.</p> <p>Koehitsatuille kappaleille suoritettiin ainetta rikkomattomat testit Transtechilla, ja ainetta rikkovat kokeet suoritettiin Metlab OY:ssä. Kokeiden tulokset olivat hyväksytyjä, ja hitsinlaatu oli erinomaista. TIME-menetelmä soveltuu hyvin roottoreiden hitsaukseen.</p> <p>Hitsauskustannuksia tarkasteltiin teorian pohjalta ja mietittiin, mitä kaikkea uutta investoitavaa tarvitaan, jos TIME-menetelmää aletaan käyttää tuotannossa. Myös työntekijöiden mielipiteet otettiin huomioon investointeja suunniteltaessa. Kyseisten investointien kannattavuutta pohdittiin ja päätelmät suoritettiin.</p> <p>Nykyisen tilauskannan pysyessä samana on järkevää investoida uusiin laitteisiin ja täten varmistaa sujuva tuotanto. Jos roottoreiden kysyntä on hiipumaan päin, ei kyseisiin investointeihin kannata ryhtyä.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Hitsaus, hitsauskustannukset, TIME, jauhekaarihitsaus
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto



School Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author(s) Janne Kemppainen	
Title Suitability and Costs of the TIME Method in Rotor Welding	
Optional Professional Studies Mechanical Planning Virtual Production	Commissioned by Transtech LTD
Date Spring 2014	Total Number of Pages and Appendices 56 + 10
<p>The purpose of this thesis was to examine the suitability and costs of the TIME welding method in the manufacture of rotors. The thesis was commissioned by Transtech LTD. In Transtech rotors are welded with the submerged arc welding method and the equipment is getting old.</p> <p>The suitability of the TIME method was studied by means of two different tests. The first test was designed to imitate the form of the material used to create the final product. Welding was made in a v-shaped groove. The second test included welding in u-shape and the form of the test piece was a plate. The plate form enables more tests than the circular form. Both tests were successful.</p> <p>The non-destructive tests were made in Transtech and they were all approved. The destructive tests were made by Metlab Ltd and these results were also approved. The weld seam and the quality were excellent.</p> <p>The welding costs were looked into from the theoretical point of view and the cost of new equipment was planned carefully, without forgetting the employees using it.</p> <p>It is impossible to predict the future, but if the orders stay the same, it is wiser to invest in new equipment which provides great efficiency.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Welding, Costs of welding, TIME, Submerged arc welding
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
1.1 Transtech Oy	1
1.2 Työn tavoite	2
2 HITS AUS	1
2.1 Yleistä hitsaamisesta	1
2.2 Historia	2
3 MIG/MAG-HITS AUS	3
3.1 Laitteistot	5
3.1.1 Virtalähde	6
3.1.2 Langansyöttölaite	6
3.1.3 Hitsauspoltin ja monitoimijohdin	7
3.1.4 Kaasujenohjauslaitteet	7
3.2 Hitsausparametrit	7
3.2.1 Kaarijännite U(V)	8
3.2.2 Langansyöttö ja hitsausvirta I(A)	9
3.2.3 Hitsausnopeus v(cm/min)	9
3.2.4 Hitsauspolttimen kulma	9
3.2.5 Suojakaasu	10
3.2.6 Vapaalanka ja suutinetäisyys	11
3.3 Edut ja haitat	11
4 JAUHEKAARIHITS AUS	12
4.1 Laitteistot	13
4.1.1 Hitsauslaitteet	14
4.1.2 Virtalähde	15
4.1.3 Hitsausaineet	15
4.2 Hitsausparametrit	16
4.2.1 Hitsausvirta	16
4.2.2 Kaarijännite	16
4.2.3 Hitsausnopeus	17
4.3 Käyttö ja rajoitukset	17

5	TIME	18
5.1	Historia	18
5.2	Periaate	18
5.3	Laitteisto	19
5.4	Edut ja haitat	20
5.5	TIME 5000 Digital	21
6	HITSAUSKUSTANNUKSET	23
7	HITSIN TARKASTUS JA TESTAUS	27
7.1	Ainetta rikkomattomat tarkastukset	27
7.1.1	Silmämääräinen tarkastus	28
7.1.2	Ultraäänitarkastus	28
7.2	Ainetta rikkovat tarkastukset	28
7.2.1	Vetokoe	29
7.2.2	Iskusitkeys-koe	29
7.2.3	Makrohietutkimus	29
7.2.4	Kovuuskoe	30
7.2.5	Taivutuskoe	30
8	ROOTTORIEN HITSAUKSEN NYKYTILANNE	31
8.1	Hitsauskustannukset nykytilanteessa	34
8.1.1	Ulkosaaman v-railon kustannukset jauhekaarella	35
8.1.2	Ulkosaaman u-railon kustannukset jauhekaarella	38
9	TYÖN SUORITUS	40
9.1	Ensimmäinen koehitsaus	40
9.2	Toinen koehitsaus	43
10	INVESTOINNIT	46
10.1	Laitteet	46
10.2	Jauhekaarilaitteiston kunnostaminen	47
11	TULOKSET	48
11.1	Koehitsausten tutkiminen ja testitulokset v-railolle	48
11.2	Koehitsausten tutkiminen ja testitulokset u-railolle	49
11.3	Ulkosaaman v- ja u-railojen kustannukset TIME:llä	49

12 ANALYSOINTI	51
12.1 TIME-menetelmän soveltuvuus	51
12.2 Kustannusten vertailu	52
12.3 Investointien kannattavuus	54
13 YHTEENVETO	55
LÄHTEET	56
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Suomen metalliteollisuudessa on aina panostettu laatuun, ja näin ollen kustannukset ovat olleet verrattain suuria. Tämä on saanut aikaan suurien valmistajien siirtymisen ns. halvan työn maihin, joissa työtä tehdään murto-osalla Suomen hinnoista. On tärkeää saada kustannuksia kuriin tehokkailla tekniikoilla ja menetelmillä. Uutta teknologiaa on syytä käyttää silloin, kun sen avulla voidaan lisätä tuottavuutta ja parantaa tuotteen laatua.

Hitsauskustannukset ovat raskaan teollisuuden tuotannossa noin 6,7 % kokonaiskustannuksista [1, s. 38]. Hitsauskustannuksia on verrattain helppo tutkia, ja niihin pystytään vaikuttamaan esimerkiksi uuden teknologian avulla.

Uuden hitsausteknologian hankinnassa tulee ottaa huomioon sen tuoma lisähyöty (mm. lisääntynyt hitsiaineentuotto), mutta myös sen tuomat muutokset esimerkiksi työympäristöön. Uusia investointeja tehtäessä on mietittävä tarkkaan, onko saatu hyöty kannattava suhteessa investointikuluihin.

Hitsaustekniikka kehittyi koko ajan. On tärkeää pysyä kehityksen mukana sekä tarpeen mukaan uusia jo käytössä olevaa tekniikkaa.

1.1 Transtech Oy

Transtechin toiminta alkoi vuonna 1985, jolloin Rautaruukki aloitti tavaravaunujen valmistuksen Otanmäessä ja Taivalkoskella. Jo aiemmin yhtiö oli aloittanut konepajatuotteiden alihankintavalmistuksen. 1991 Valmetin Tampereen kiskokalustotehdas liitettiin Transtechiin. Kyseinen yritys oli erikoistunut vetureiden ja henkilöliikennekaluston tuotantoon. Taivalkosken tehdas myytiin Telatek Oy:lle vuonna 1998, ja kesällä 1999 Transtech myytiin kokonaisuudessaan Patentes Talgon omistamalle Talgo Oy:lle. 28. maaliskuuta 2007 Talgo Oy myytiin suomalaiselle omistajaryhmälle ja samalla yhtiön nimeksi tuli jälleen Transtech Oy.

Transtech Oy on Euroopan johtava kiskokaluston valmistaja ja suuri keskiraskaiden konepajatuotteiden valmistaja. Kiskokaluston osalta yhtiö on keskittynyt kaksikerroksisten matkustajavaunujen ja matalalattiaraitiovaunujen valmistamiseen. Konepajatuotteissa yhtiö on erikoistunut keskiraskaisiin hitsattuihin metallirakenteisiin, niiden pintakäsittelyyn, varusteleamiseen ja testaamiseen. Yhtiön tehdas sijaitsee Otanmäessä ja konttori Oulussa.

Vuonna 2012 Transtech Oy:n liikevaihto oli 78,3 milj. €, josta kiskokaluston osuus 51,5 milj. € ja konepajan 26,8 milj. €. Henkilöstöä 31.12.2012 oli yhteensä 422. [2.]

1.2 Työn tavoite

Transtech Oy:ssä valmistetaan suurien sähkömoottoreiden roottoreita jauhekaarihitsausmenetelmällä. Työn tavoitteena oli tutkia Transtech Oy:n jo valmiista konekannasta löytyvän suurtehohitsausmenetelmä TIME:n soveltuvuutta kyseiseen hitsaustehtävään. TIME-menetelmä on koettu toimivaksi yhtiön muissa hitsauskohteissa ja sen oletetaan olevan edullisempi ja nopeampi kuin vanha jauhekaarilaitteisto.

TIME-menetelmän soveltuvuutta testataan koehitsausten ja koekappaleille suoritettavien aineenkoetustestien avulla. Soveltuvuus testataan roottoreissa esiintyvälle v- ja u-railoille.

Työn tavoitteena oli myös vertailla TIME-hitsauksen ja jauhekaarihitsauksen kustannuksia roottoreiden valmistuksessa. Lisäksi verrattiin uusien investointien mahdollistamia säästöjä nykyisiin hitsauskustannuksiin.

Menetelmän soveltuvuudessa ja uusien investointien arvioinnissa otettiin huomioon myös työntekijöiden mielipiteet ja ehdotukset.

2 HITSAAUS

Luvussa kuvataan hitsausta yleisesti ja hitsauksen historiaa. Tulevissa luvuissa perehdytään tarkemmin hitsausmenetelmiin, jotka ovat työn kannalta oleellisia.

2.1 Yleistä hitsaamisesta

Hitsauksella tarkoitetaan aineen liittämistä toisiinsa (lisäaineella tai ilman). Liitettävien osien tulee muodostaa jatkuva yhteys toisiinsa. Ilman lisäainetta tapahtuva hitsaaminen perustuu liitospintojen sulattamiseen, voimakkaaseen plastiseen muokkaukseen tai diffuusioon [3, s. 281]. Lisäaineellisessa hitsauksessa perusaine ja lisäaine sulavat yhtenäiseksi sulaksi, joka jäähmettyessään muodostaa yhdistävän hitsin. [4, s. 16].

Hitsaus on terästen ja ei-rautametallien tärkein liittämismenetelmä. Sitä käytetään erilaisten metalli- ja teräsrakenteiden valmistamiseen. Hitsaus on myös vakiinnuttanut asemansa erinomaisena ja halpana korjauskeinona. Ammattiryhmänä hitsaaja on metalliteollisuuden suurin.[4, s. 13.]

Hitsausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen pääluokkaan: sulahitsausmenetelmiin ja puristushitsausmenetelmiin. Sulahitsausmenetelmissä liitospinnat sulatetaan yhteen. Näitä menetelmiä ovat esimerkiksi tässä työssä esiintyvät jauhekaarihitsaus ja MIG/MAG-hitsaus. Puristushitsauksessa käytetään hyväksi voimakasta puristusta ja lämpöä. Puristushitsauksen yleisiä menetelmiä ovat kitkahitsaus ja pistehitsaus. [3, s. 283.]

2.2 Historia

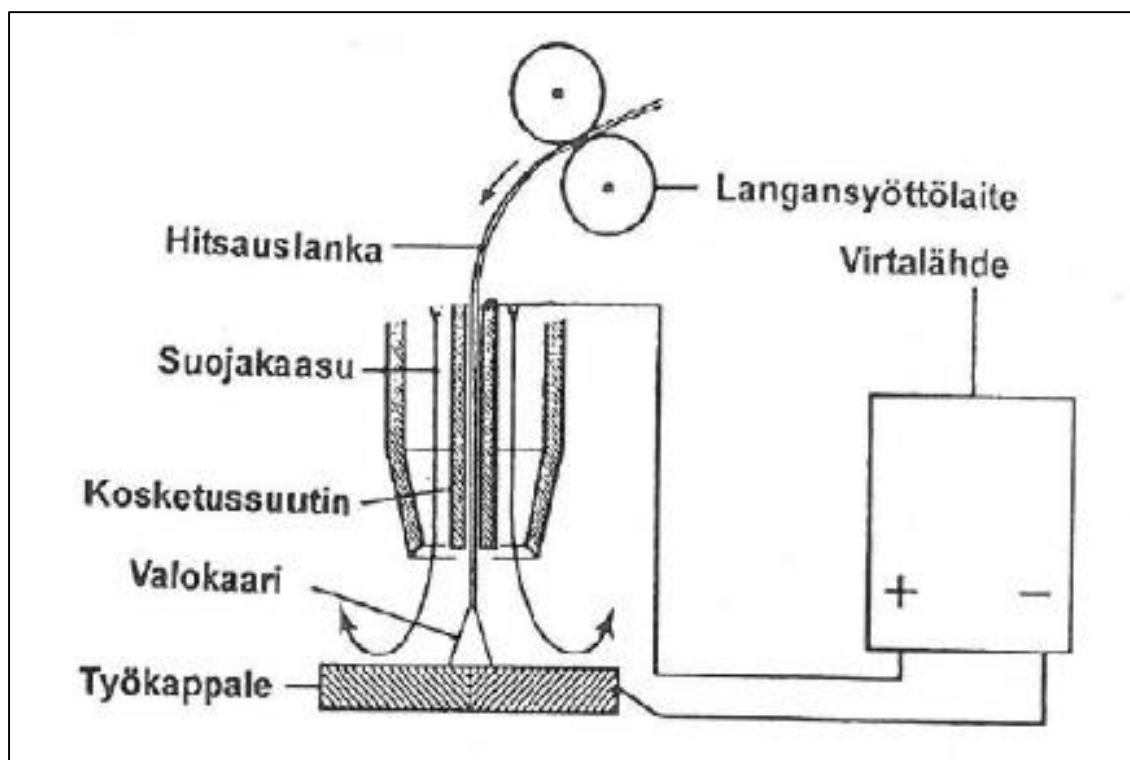
Modernin hitsausteknologian historia voidaan sijoittaa 1900-luvun vaihteeseen, jolloin ensimmäinen nykyaikainen hitsausmenetelmä, kaasuhitsaus, kehittyi happi-asetyleenipolttimen keksimisen myötä vuonna 1894. Sähköisten hitsausmenetelmien isänä voidaan pitää James Prescott Joulea, joka liitti yhteen ohuita teräslankoja vastushitsausperiaatteella. Nykyisin hitsauksesta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä kaarihitsausta. [3, s. 281.]

Kaarihitsauksen kehitys sai alkunsa Venäjällä. Vuonna 1885 Von Bernados julkaisi menetelmän, jossa valokaaren toisena napana käytettiin hiiltä. Myöhemmin Slavianoff kehitti menetelmää ja korvasi hiilipuikon sulavalla metallipuikolla. Ruotsalainen Oscar Kjellberg sai idean päällystää metallielektrodit ja huomasi tämän parantavan hitsausominaisuuksia huomattavasti. Näin nykyinen puikkohitsaus sai alkunsa. Seuraavana kehittyi jauhekaarhitsaus, joka esiteltiin vuonna 1930. Vuonna 1941 esiteltiin TIG-hitsaus ja MIG/MAG-hitsaus vuonna 1948. [3, s. 281.]

3 MIG/MAG-HITSAUS

MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausta, jossa perusaine ja lisäainelanka sulavat valokaaren vaikutuksesta. Valokaari saadaan helposti aikaiseksi sähköenergian avulla. Valokaari syttyy, kun virtaa johtava lisäainelanka osuu hitsattavaan kappaleeseen. Sytytystä kutsutaan oikosulkusytykseksi. Valokaarella on suuri tehotiheys, jonka lämpötila riittää kaikkien käytettävien materiaalien sulattamiseen. [4, s. 159.]

Sula lisäaine siirtyy pisaroina hitsisulaan, joko oikosulkujen avulla tai suihkumaisesti. Suihkumaisessa aineensierrossa sähkömagneettiset pinch-voimat ”nipistävät” pisarat irti sulavasta lisäaineesta. Valokaari palaa hitsisulan ja lisäainelangan välissä. Hitsisula ja valokaari ympäröidään suojakaasulla, jonka tarkoituksena on suojata hitsausprosessia ympäröivältä ilmalta. Ilmassa olevat kaasut, kuten typpi ja happi, aiheuttavat hitsiin ei-toivottuja ominaisuuksia ja vaikeuttavat hitsaamista. Kuvassa 1 on esitettyä MIG/MAG-hitsauksen periaate. [4, s. 159.]



Kuva 1. MIG-hitsauksen periaatekuva [4, s. 159.]

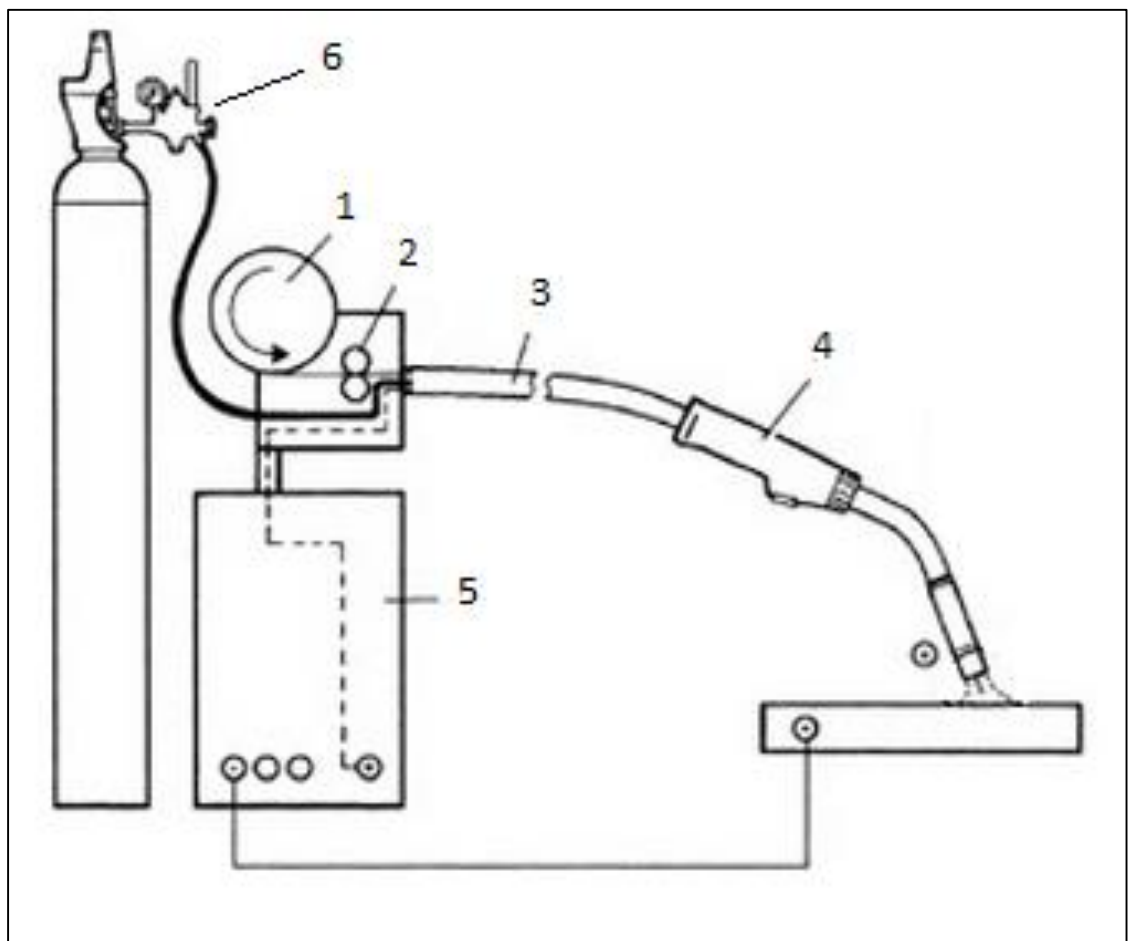
Hitsausprosessissa käytettävä suojakaasu määrää, onko kyseessä MIG-hitsaus (Metal-arc Inert Gas) vai MAG-hitsaus (Metal-arc Active Gas). MIG-hitsauksessa suojakaasuna toimii inertti kaasu, joka ei reagoi hitsisulan kanssa. Inerttinä kaasuna käytetään yleisesti Argonia (Ar) tai Heliumia (He). MAG-hitsauksessa suojakaasu reagoi hitsisulan kanssa ja auttaa mm. paremman tunkeuman saavuttamisessa. Yleinen aktiivinen suojakaasu on hiilidioksidi (CO₂). [3, s. 297.]

MIG/MAG hitsauksessa puhutaan usein erilaisista kaarityypeistä joita ovat seuraavat: lyhytkaari, sekakaari, kuumakaari, pitkäkaari ja pulssikaari (sykekaari). Seuraavassa kaaret ovat selitettynä:

- Lyhytkaarihitsauksessa aineensierro tapahtuu tasaisesti, hienoina pisaroina, oikosulkujen avulla. Oikosulkuja tapahtuu n. 30–200 sekunnissa. Määrään vaikuttavat hitsausvirta, kaarijännite ja suojakaasu [4, s. 168.]
- Sekakaarialueella aineensierro tapahtuu oikosulkusieritymisen ja suihkumaisen sieritymisen yhdistelmänä. Tällöin pisarat ovat joko suuria tai pieniä. Alueella syntyy paljon roiskeita, jotka johtuvat suurien pisaroiden oikosuluista. [4, s. 169.]
- Kuumakaarialueella tapahtuu suihkumainen ja hyvin hienopisarainen aineensierityminen. Kuumakaarta kutsutaan usein suihkukaareksi. [4, s. 169.]
- Pitkäkaarihitsausta käytetään yleensä vain CO₂-hitsauksessa. Aine sierityy ajoittaisilla oikosuluilla. Alueella syntyy paljon roiskeita ja karkeaa jälkeä. [4, s. 168.]
- Pulssikaareissa aineen sieritymistä ohjataan sykkivän virran avulla. Saadaan aikaan kuumakaari, vaikkei hitsausvirta ja käytettävä langanpaksuus siihen normaalisti riittäisi. [4, s. 168.]

3.1 Laitteistot

MIG/MAG-hitsauslaitteiston muodostavat virtalähde, langansyöttölaiteisto, hitsauspoltin (monitoimijohto) sekä erilaiset suojakaasuntuontilaitteistot. Kuvassa 2 on nähtävissä periaatekuva MIG/MAG-hitsauslaitteistosta.



Kuva 2 MIG/MAG hitsauslaitteisto 1. Lankakela 2. Syöttölaite 3. Monitoimijohto 4. Hitsauspoltin 5. Virtalähde 6. Kaasujen ohjauslaite [5.]

3.1.1 Virtalähde

Nykyisin virtalähteet ovat usein tyristoriohjattuja tasasuuntaajia. Virtalähde on usein ns. vakiojännitevirtalähde, jossa kaarijännite määritetään halutun kaarityypin, suojakaasun ja lisäainelangan paksuuden mukaan. Hitsausvirta säätyy automaattisesti käytettävän langansyöttönopeuden mukaan, ja valokaari pysyy vakio pituisena hitsauksen aikana, hitsauspolttimen ja työkappaleen etäisyyden vaihdellessa. Jännitteen säätöä varten on virtalähteessä karkeasäätö- ja hienosäätökytkimet. Usein virtalähteellä on myös mahdollista käyttää ns. pulssitettua hitsausvirtaa ja jännitettä. Pulssituksella saadaan tiettyjä etuja perinteiseen MIG/MAG-hitsaukseen verrattuna, kuten pienentyneet muodonmuutokset ohuilla perusaineilla, parantuneet sitkeysominaisuudet sekä eräiden hitsausvirheiden väheneminen. [4.][3.]

Virtalähteen suuruus riippuu hitsattavien aineiden paksuudesta ja käytettävän lisäainelangan halkaisijasta. Valmistaja ilmoittaa yleisesti arvon 60 % kuormitusaikasuhteelle. Kuormitusaikasuhde ilmoittaa, kuinka monta prosenttia 10 minuutin kuormitusjaksosta konetta voi käyttää maksimitaholla. [4, s. 179.]

3.1.2 Langansyöttölaite

MIG/MAG-hitsaukselle on erityisen tärkeää, että hitsauslangan syöttö on kunnossa. Langansyötön tulee olla häiriötöntä ja toimivaa. Langansyöttö alkaa lankakelalta, josta sitä puretaan langansyöttölaitteen avulla. Syöttölaite työntää lankaa langanjohdinta pitkin hitsauspolttimeen ja aina ulos valokaareen saakka. Langansyöttöjärjestelmiä on kolmea päätyyppiä: työntävä, työntö-veto ja välisyöttöjärjestelmä. Työntävä menetelmä on näistä käytetyin ja soveltuu hyvin lyhyille langansyöttömatkoille. Työntö-vetomenetelmä soveltuu hyvin pehmeille langoille ja pidemmille syöttömatkoille. Tässä menetelmässä langanvetomoottori on sijoitettuna hitsauspolttimeen. Pisimmälle päästään erillisellä välisyöttölaiteella, joka voidaan sijoittaa jopa 20 m päähän pääsyöttölaiteesta. [4, s. 182.]

3.1.3 Hitsauspoltin ja monitoimijohdin

Hitsauspoltin tai hitsauspistooli on MIG/MAG-hitsauksessa laite, jonka kautta syötetään hitsilankaa. Pistooli siirtää myös hitsausvirran hitsauslankaan ja tuo suojakaasun hitsausprosessiin. Monitoimijohto on yleisesti yksi hitsauspistoolin kiinteä osa ja täten sitä ei yleensä edes mainita. Monitoimijohto koostuu johtimista, kaapeleista ja letkuista, joiden kautta kuljetetaan hitsauslanka, suojakaasu, jäähdytysvesi, ohjausvirta ja hitsausvirta hitsauspolttimeen. [4, s. 185.]

3.1.4 Kaasujenohjauslaitteet

Suojakaasu saadaan hitsausprosessiin joko suojakaasuverkostosta tai kaasupullosta. Yleisesti verkostopaineena pidetään 4–6 baaria ja korkeapainepulloissa 200 baaria. Kaasu virtaa pullosta pulloventtiiliin, kaasunvirtaussäätimen, kaasuletkun, magneettiventtiiliin ja monitoimijohdon läpi pistooliin. [4, s. 189.]

3.2 Hitsausparametrit

MIG/MAG-hitsauksessa on useita parametreja, jotka vaikuttavat suuresti hitsausominaisuuksiin, hitsinmuotoon ja saatavaan hitsiaineentuottoon. Parametreja ovat kaarijännite, langansyöttönopeus/hitsausvirta, hitsausnopeus, suojakaasu, langan paksuus, vapaalangan pituus ja kosketussuutinetäisyys, hitsauspolttimeen asento ja kohdistus, hitsausasento. [4].

Yksi suurimmista asioista, joihin parametreilla vaikutetaan, on hitsausenergia ja sen johdannainen lämmöntuonti. Hitsausenergialla tarkoitetaan palon hitsaukseen käytetyn energian suhdetta palon pituusyksikköä kohti. Hitsausenergia vaikuttaa suuresti hitsausliitoksen lujuusominaisuuksiin. Hitsausenergia E lasketaan kaavalla 1.

$$E(kJ/mm) = \frac{I(A) \times U(V) \times 60}{v(mm/min) \times 1000}, \text{ jossa} \quad (1)$$

I = Hitsaukseen käytetty virta ampeereina

U = Hitsaukseen käytetty jännite voltteina

v = Hitsausnopeus mm/min

Lämmöntuonti Q kuvaa hitsiin siirtynyttä lämpö määrää. Se saadaan laskettua kertomalla hitsausenergia menetelmälle ominaisella hyötysuhteella k kaavan 2 mukaisesti.

$$Q(kJ/mm) = kE \quad (2)$$

Hyötysuhteen k arvot ovat MAG-hitsaukselle 0,8 ja jauhekaarhitsaukselle 1. [4.]

3.2.1 Kaarijännite $U(V)$

Jännite valitaan karkeasti sen mukaan mitä kaarityyppejä halutaan käyttää:

- Lyhytkaari 15–20 V
- Sekakaari 20–25 V
- Kuumakaari 25–30 V

Käytettävään jännitteeseen vaikuttavat myös käytettävä langanpaksuus, ainepaksuus, haluttu tunkeuma sekä langansyöttö/hitsausvirta. Myös käytettävä suojakaasu on otettava huomioon. Käytettävällä jännitteellä voidaan vaikuttaa täten valokaaren pituuteen ja samalla hitsipalon kokoon ja muotoon. Liian suuri kaarijännite aiheuttaa roiskeita, huokosia ja jopa pintahaavaa. Suuria jännitteitä suositetaan jalkohitsauksessa, koska palko saadaan leveämmäksi ja palkojen liittymiset jouheviksi. [4, s. 204.]

3.2.2 Langansyöttö ja hitsausvirta $I(A)$

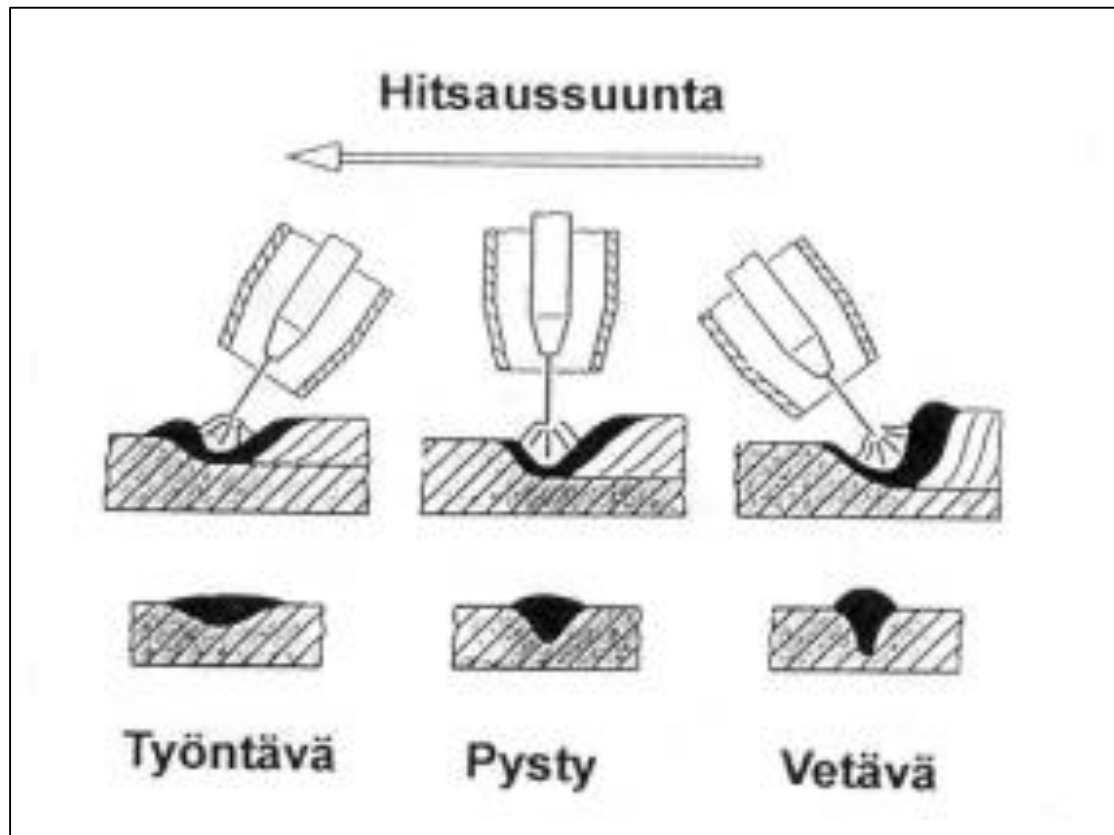
Langansyöttönopeus ja hitsausvirta kulkevat käsi kädessä, ja niiden tulee olla oikeassa suhteessa käytettävään kaarijännitteeseen. Hitsausvirta vaikuttaa suuresti tunkeumaan ja hitsiaineentuottoon. Kun hitsausvirta kasvaa, suurenee tunkeuma ja hitsiaineentuotto. Hitsausvirtaan vaikuttaa myös vapaalangan pituus, koska vapaalangan vastus on suurempi. Vapaalangan kasvaessa hitsausvirta pienenee.[4, s. 205.]

3.2.3 Hitsausnopeus $v(\text{cm}/\text{min})$

Hitsausnopeudella vaikutetaan lämmöntuontiin ja tunkeumaan. Suurin tunkeuma saavutetaan keskimääräisellä hitsausnopeudella, koska liian hidas nopeus aiheuttaa liian suuren sulan. Sula voi vyöryä valokaaren eteen ja pienentää tunkeumaa. Liian nopea taas ei ehdi sulattaa perusainetta tarpeeksi ja syntyy kapea ja matala hitsi.[4, s. 208.]

3.2.4 Hitsauspolttimen kulma

Hitsauspistoolin kuljetuskulmalla voidaan vaikuttaa muodostuvan hitsin muotoon. Vetävällä liikkeellä saadaan aikaiseksi syvä tunkeuma. Tällä liikkeellä liitosvirheen vaara on pienin. Työntävällä liikkeellä saadaan pienempi tunkeuma ja leveämpi kupu. Tällä liikkeellä on helpoin hitsata ohuita ainepaksuuksia. Liian suuri kallistus aiheuttaa sen, ettei kaasu enää suojaa hitsausprosessia ja aiheuttaa huokosia ja roiskeita. Kuvassa 3 on havainnollistettu pistoolin asennon merkitystä. [4, s. 209.]



Kuva 3. Kallistuksen vaikutus tunkeumaan [4, s. 210.]

3.2.5 Suojakaasu

Suojakaasu vaikuttaa kaarityyppiin, hitsin muotoon, roiskeisiin ja tunkeumaan. Suojakaasuja on inerttejä ja aktiivisia. Inertit kaasut argon ja helium eivät reagoi hitsisulan kanssa. Aktiivisia kaasuja on kahta erilaista: hapettavia ja pelkistäviä. Hapettavien kaasujen vaikutuksesta sulan pinnalle muodostuu ohut oksidikalvo. Hapettavia suojakaasuja ovat happi O_2 ja hiilidioksidi CO_2 . Pelkistävänä kaasuna seoksissa käytetään vetyä H_2 . Yleisesti kaikki hitsauskaasut ovat näiden edellä mainittujen kaasujen seoksia. Kaasun virtausnopeus säädetään valitun kaasun ja käytettävän valokaaren mukaan. Virtausnopeus vaihtelee välillä 10–25 l/min. [4, s. 221.]

3.2.6 Vapaalanka ja suutinetäisyys

Suutinetäisyys on valokaaren ja vapaalangan pituus yhdessä. Suutinetäisyys vaikuttaa hitsausvirtaan, tunkeumaan, polttimen pään kuumenemiseen ja roiskeisiin. Etäisyyden kasvaessa hitsausvirta ja tunkeuma pienenevät. [4, s. 208.]

3.3 Edut ja haitat

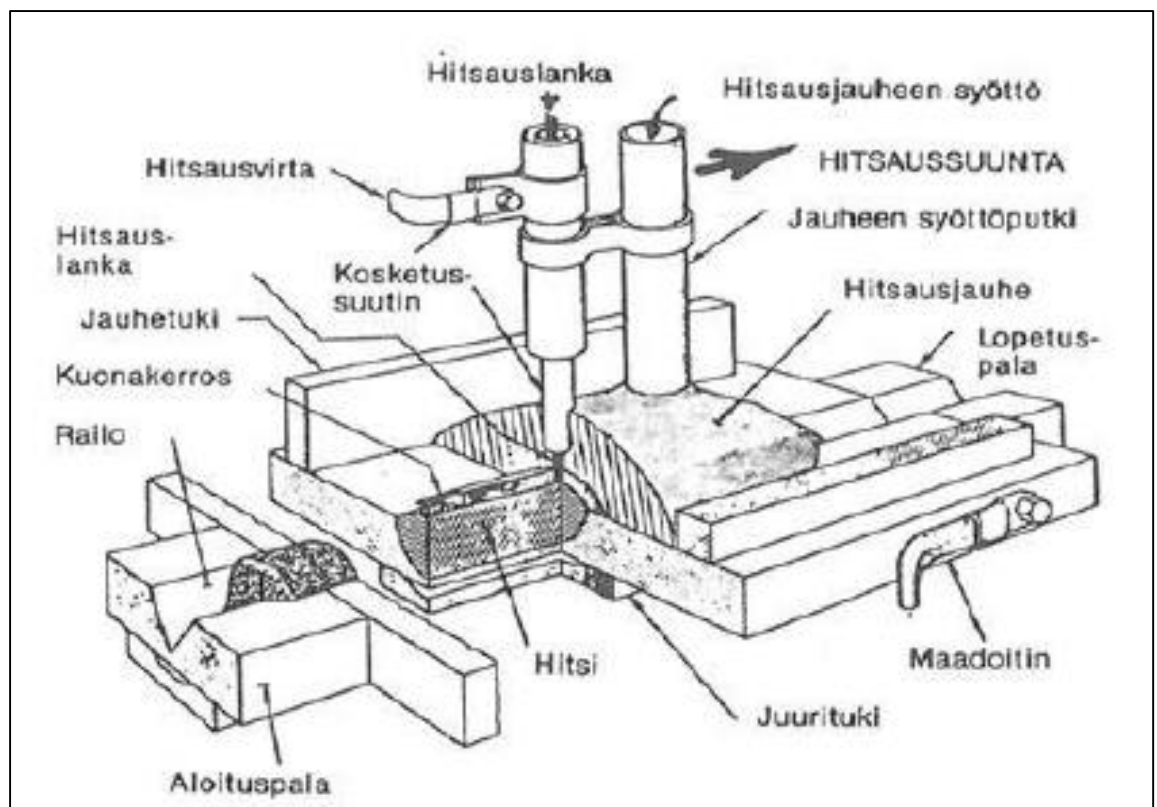
MIG/MAG-hitsaus soveltuu kaikenlaiseen hitsaukseen ja erityisesti ohutlevyjen hitsaukseen. Ohutlevyille se sopii mainiosti helpon säädettävyyden ja muodonmuutosvoimien pienuuden johdosta. Laitteistot ovat helposti automatisoitavissa, ja niiden hankintahinnat eivät ole suuret verrattuna jauhekaarilaitteistoihin [3]. Menetelmällä voidaan hitsata kaikissa eri hitsausasennossa. Tällöin täytyy vain muistaa säätää parametrin tilanteeseen sopivaksi.

Rajoituksia aiheuttavat veto ja tuuli, jotka ajavat suojakaasuja pois hitsistä. Tämän vuoksi MIG/MAG-hitsaus soveltuu huonosti ulkona hitsaamiseen. Suojakaasun saatavuus voi olla ongelma esimerkiksi asennushitsauksissa. [3, s. 302.]

Lisäainekustannukset ja suojakaasukustannukset ovat melko pieniä, ja niitä on saatavilla yleisesti, jokaiseen eri tarkoitukseen.[4, s. 177.]

4 JAUHEKAARIHITSAUS

Jauhekaarihitsaus on sulahitsauksen muoto, jossa suojakaasun sijaan käytetään hitsausjauhetta. Valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välillä hitsausjauheen sisällä. Hitsausjauheen tarkoituksena on suojata hitsaustapahtuma ympärillä olevalta ilmalta. Hitsaustapahtumassa osa suojajauheesta sulaa ja jäähtyessään muodostaa kovan kuonakerroksen hitsin päälle. Osa jauheesta jää irtonaisena jauhekerroksena hitsisauman päälle, josta se yleensä imuroidaan uudelleen käytettäväksi. Jauhekaarihitsauksen periaate on esitettyä kuvassa 4. [4, s. 121.]



Kuva 4 Jauhekaarihitsauksen periaate [4, s. 121.]

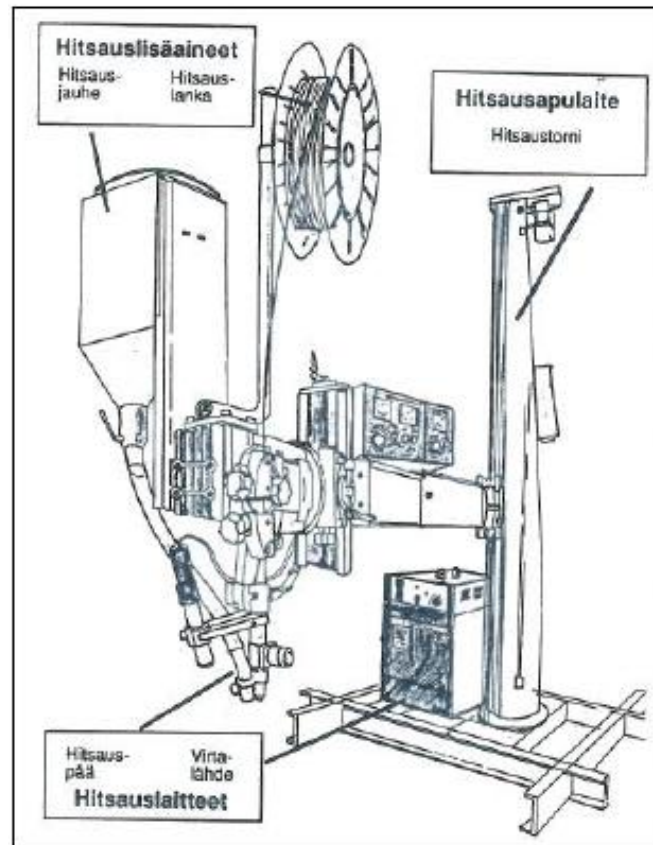
Hitsausprosessissa valokaari palaa kaariontelossa. Kaariontelo on metallihöyryjen ja kaasujen täyttämä tila, jonka seinäminä toimivat sulanut perusaine, hitsiaine ja sula kuonakerros. Ontelossa tapahtuu monia hitsausmetallurgisia reaktioita. Reaktioiden tuloksena joko syntyy tai häviää eri aineita. [4, s. 121.]

Hitsausvirrasta riippuen aine siirtyy joko suurina tai pieninä pisaroina hitsisulaan. Käytettävä hitsausvirta on tasavirtaa ja vaihtelee välillä 300–1200 A. Virta valitaan langan halkaisijan ja hitsauskohteen mukaan. [4, s. 122.]

Jauhekaarihitsauksessa käytetään huomattavasti paksumpia lankoja kuin MIG/MAG-hitsauksessa. Yleisesti katsoen langanpaksuudet vaihtelevat 2,0 mm:n ja 6,0 mm:n välillä. Hitsauslankoja voi jauhekaarihitsausprosessissa olla käytössä useampi yhtä aikaa. Näin päästään suuriin hitsiaineentuottoihin. Yleisesti voidaan sanoa, että jauhekaarihitsaus kuuluu suurtehohitsauksen piiriin. [4, s. 122.]

4.1 Laitteistot

Jauhekaarihitsauslaitteistot koostuvat seuraavista pääosista: hitsauslaite, virtalähde ja hitsaus-työlaite. Kuvassa 5 on esiteltyä yksi yleisimmistä jauhekaarihitsauslaitetekonaisuuksista. Hitsattava kappale on usein esim. pyöritysrullastojen tai kääntöpöydän päällä.



Kuva 5 Jauhekaarilaitteisto on asennettuna hitsaustornin puomiin. [4, s. 140.]

4.1.1 Hitsauslaitteet

Hitsauslaite koostuu seuraavista pääosista: hitsauspää, hitsauspään asetuslaite eli luisti, langansyöttö- ja oikaisulaite, jauheenkäsittelylaite ja ohjausyksikkö. Usein käytetään myös jauheimuria, joka imee ja kierrättää ylijäävän irtojauheen. Ohjausyksiköstä säädetään kaarijännite, hitsausvirta ja hitsausnopeus sopiviksi. Ohjausyksikössä on myös valokaaren pituuden säätöyksikkö, jonka avulla pidetään valokaaren pituus vakiona prosessin ajan. Hitsauspää sisältää usein ns. railonosoituslaitteen, jonka avulla nähdään, mihin sauma muodostuu ja tarvittavat säädöt

voidaan tehdä vaaka- ja pystyluistien avulla. Railonseurantaan liittyy nykyisin usein automatiikkaa. Jauhekaarihitsauksessa itse työliike saadaan aikaiseksi erilaisilla apulaitteilla. Apulaitteet perustuvat joko työkappaleen tai hitsauslaitteen liikuttamiseen. Näistä esimerkkinä pyöritysrullasto, kääntöpöytä ja kulkuvaunu, jota kutsutaan usein traktoriksi. [4, s. 141]

4.1.2 Virtalähde

Yleisesti käytetään tasavirtalähteitä, joiden koko vaihtelee 600 ja 1600 ampeerin välillä. Vaihtovirtaa käytetään yleensä tandemhitsauksessa, toisen polttimen yhteydessä. Tällöin vältetään haitalliselta magneettiselta puhallukselta. [4, s. 141.]

4.1.3 Hitsausaineet

Jauhekaarihitsauksessa käytetään kahta eri hitsausainetta: hitsauslankaa ja hitsausapuainetta eli hitsausjauhetta. Hitsausaineita on monia erilaisia, ja on tärkeää valita oikea jauhe/lankayhdistelmä oikeaan tilanteeseen. [4, s. 141.]

Hitsausjauhe on raemaista, metallista alkuperää olevaa ainetta ja se sisältää sulavia mineraaleja. Hitsausjauheen valintaan vaikuttavat mm. hitsauslanka, iskutkeys, hitsausvirta, hitsausnopeus. [4, s. 144.]

Hitsijauhetta kuluu noin 1 kg kulunutta hitsiainekiloa kohden. Kulutus on riippuvainen käytettävästä hitsausjännitteestä, -nopeudesta ja -virrasta. Tarkat kulutukset löytyvät lisäaineluetteloista. Myös jauheen ominaisuudet vaikuttavat kulutukseen. Kulutusta vähennetään jauheen uudelleen kierrätyslaitteistolla.[4, s. 148.]

Hitsauslisäaineen tärkeimpänä tehtävänä voidaan pitää ilman pääsemisen estäminen hitsausprosessiin. Muita tehtäviä ovat sähkönjohtavuuden parantaminen kaaritulassa, syttymisen pa-

rantaminen, valokaaren vakavoittaminen, hitsipalon muotoilu ja hitsiaineen seostus seosaineilla.[4, s. 144.] Roottorien hitsaamiseen Transtechilla käytetään kahta eri lanka/hitsijauheydistelmää.

4.2 Hitsausparametrit

Jauhekaarihitsauksessa tärkeitä parametreja ovat hitsausvirta, kaarijännite, hitsausnopeus, lankahalkaisija, virtalaji ja napaisuus, vapaalangan pituus, langan asento, työkappaleen asento, maadoituksen paikka ja jauhekerroksen paksuus. Seuraavaksi on esiteltynä tärkeimpiä parametreja ja niiden vaikutusta prosessiin. [4, s. 149.]

4.2.1 Hitsausvirta

Hitsausvirta vaikuttaa suuresti tunkeumaan ja näin ollen palkomuotoon. Virta vaikuttaa myös suuresti lisääinlangan sulamisnopeuteen ja hitsiaineentuottoon. Suurilla virroilla syntyy helposti reunahaavaa ja valokaari tulee levottomaksi. Pieni virta vaikeuttaa syttymistä ja pienentää tunkeumaa. Käytettäessä pieniä virtoja pisarat siirtyvät sulaan ontelon kuonaseinämän kautta, kun taas suurilla virroilla ne lentävät suoraan hitsisulaan hitsauslangan päästä. Kokemuksen mukaan 100 A virran lisäyksellä saadaan 1 mm lisää tunkeumaa. [4, s. 150.]

4.2.2 Kaarijännite

Kaarijännitteellä vaikutetaan hitsikuvun korkeuteen ja leveyteen. Liian suuri jännite aiheuttaa reunahaavaa ja kuona tarttuu helpommin palon reunojen koloihin. Pieni jännite taas aiheuttaa korkean kuvun ja kuonan tarttumista ahtaimpiin koloihin. Jännite vaikuttaa myös kuonaksi menevän jauheen määrään suuresti. [4, s. 150.]

4.2.3 Hitsausnopeus

Hitsausnopeudella vaikutetaan tunkeumaan ja hitsin leveyteen. Kun hitsausnopeus kasvaa, kapeenee hitsi ja tunkeuma pienenee. Tällöin siirtyvä energia on pienempi eikä riitä kunnolla sulattamaan perusainetta. Tunkeuma on myös pieni liian hitailla nopeuksilla. Tämä johtuu suuresta hitsisulasta, joka estää valokaaren tunkeuman. Maadoituksen paikalla vaikutetaan magneettiseen puhallukseen. Puhallus vaikuttaa taas tunkeumaan ja palon paikkaan. Maadoitus laitetaan yleensä hitsin alku- ja loppupäähän. Jauhekerroksen tulee olla juuri niin paksu, että se peittää hitsaustapahtuman ja päästää lävitseen muodostuvat kaasut, muttei palavaa valokaarta. [4, s. 143.]

4.3 Käyttö ja rajoitukset

Jauhekaarhitsaus on yleisesti osittain automatisoitua hitsausta. Sillä hitsataan ainevahvuuksiltaan suuria teräksiä. Jauhekaarhitsauksella saavutetaan suuri tunkeuma ja korkea hitsiaineentuotto varsinkin monilanka-menetelmillä. Jauheen valuvuuden takia jauhehitsausta käytetään yleisesti jalkoasennossa suoritettavaan hitsaukseen. Hitsausmenetelmällä onnistuvat myös alapienahitsaukset. Jauhekaarhitsaus soveltuu sekä sisä- että ulkohitsaamiseen. Ulkona tulee kuitenkin ottaa huomioon, ettei jauhe saa kastua. [3, s. 308.]

Hitsauksen valmistelu on usein aikaa vievää, joten se ei ole kannattavaa lyhytkestoiselle ja lyhytsaumaiselle hitsaukselle. Hitsausprosessissa ei aiheudu uv-säteilyhaittaa ja suurin osa kaasuista pysyy jauheen sisällä, joten suojamaskeja ei tarvita. Jauhekaarilaitteistot ovat selkeästi kalliimpia kuin MIG/MAG-laitteet, mutta niiden käyttö on helppoa ja usein hitsilaatu on parempaa. Hitsauksessa käytettävä jauhe sotkee hieman työympäristöä, mikä voi olla haitta, jos lähistöllä on pölylle herkkiä laitteita. [3, s. 309.]

5 TIME

TIME-hitsaus on verrattain uusi suurtehohitsausmenetelmä. Suurtehohitsausprosessiksi luetaan sellaiset hitsausmenetelmät, joiden hitsiaineentuotto ylittää 7 kg/h. Tämä saavutetaan yleisesti käytetyllä 1,2 mm langanpaksuudella langansyöttönopeudella, joka ylittää 15 m/min. Lyhenne TIME tulee sanoista Transferred Ionized Molten Energy. Se ei ole itsenäinen prosessi, vaan muunnelmä perinteisestä MAG-prosessista. Tämän takia on tärkeää tietää MIG/MAG-prosessin periaate. Seuraavassa on kerrottuna tarkemmin kyseisestä TIME-sovelluksesta. [4, s. 190.]

5.1 Historia

John Church keksi sovelluksen vuonna 1969, ja se tuli ensimmäisen kerran käytäntöön Japanissa ja Kanadassa 1980 luvulla. Vuonna 1990 Fronius hankki Euroopassa sovelluksen patentit omiin nimiinsä. Samana vuonna TIME- sovellus esiteltiin suurelle yleisölle Viennan hitsausmessuilla. Alun perin TIME-hitsauksessa käytettiin 4-komponenttisuojaakaasuja, mutta nykyisin 2- tai 3-komponenttikaasut ovat ottaneet markkinat haltuun. [7, s.4]

TIME-menetelmä on käytössä monessa eri maassa ja on nopeuttanut hitsaamista useissa eri tilanteissa ja sovelluksissa. Nykyinen digitaali-tekniikka on parantanut menetelmää entisestään. [7, s. 4.]

5.2 Periaate

TIME-menetelmä perustuu MAG-hitsaukseen ja peruseriaate on täysin sama. Sillä voidaan suorittaa samanlaisia työtehtäviä kuin perinteisellä MAG-menetelmällä. TIME-sovelluksessa saadaan aikaiseksi vakaa ja hallittu aineensirtyminen erittäin nopeilla langansyöttönopeuksilla. Näin ollen hitsiaineentuotto suurenee. [4, s. 191.]

Menetelmän taustalla on suurella taajuudella ympyrää pyörivä valokaari. Pyörimisen avulla tunkeumaa saadaan leveämmäksi kuin normaalisti. Pyörivä valokaari ilmenee hyvin suurilla virroilla ja suurilla langansyöttönopeuksilla. Kaari vaatii myös normaalia pidemmän vapaalangan pituuden[4, s. 191]. Pyörivä valokaari syntyy, kun langanpää pehmenee ja sen siirtoa estävät prosessissa syntyvät kaarivoimat. Pyörivällä valokaarella on erilainen palamisääni verrattuna normaaleihin kuuma-, kylmä- ja sekakaariin. [7, s. 9.]

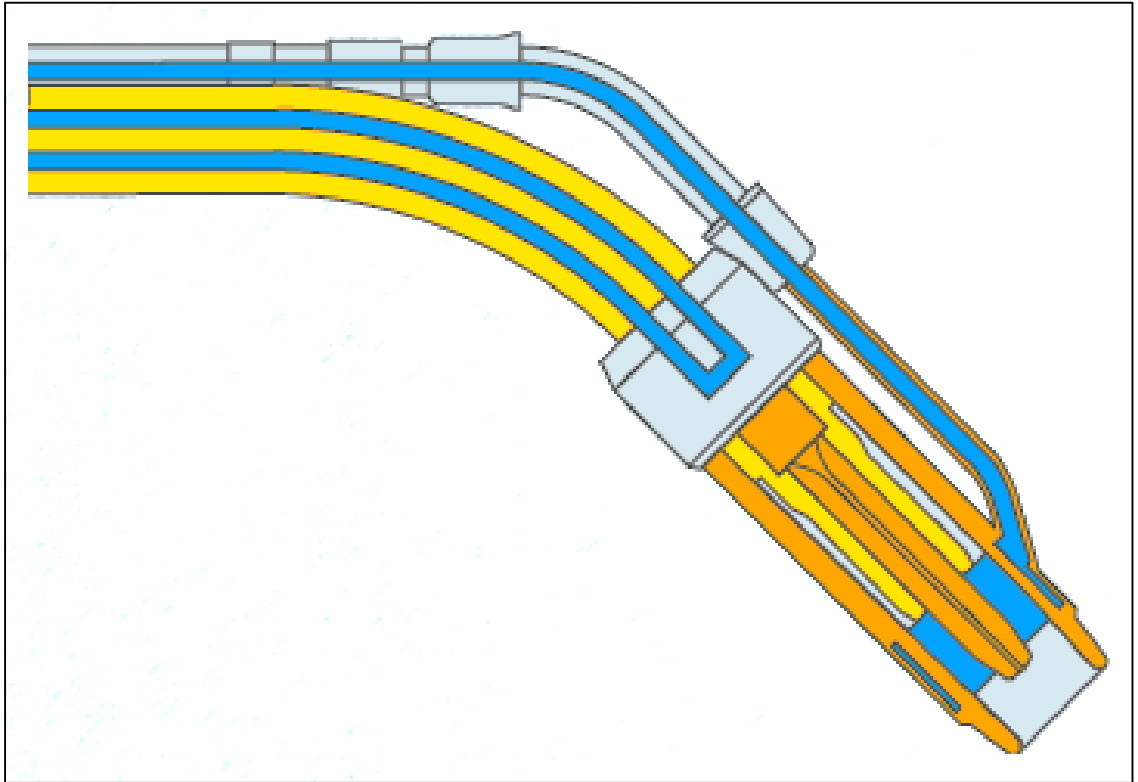
Menetelmässä vaadittava suuri vapaalangan pituus kasvattaa hitsiaineentuottoa, koska se lisää hitsin lämpötilaa. Lämpötilan nousu johtuu vapaalangan suuresta ohmisesta vastuksesta. [7,s. 15.]

TIME soveltuu sekä käsin hitsaukseen että täysin automatisoituun hitsaukseen. Käsin hitsaessa rajoituksia luo suuri lämmöntuotto, joka saattaa aiheuttaa ongelmia hitsaajalle. Varsinkin suurella hitsiaineentuotolla on suotavaa käyttää mekanisointia. Näin päästään myös suurempiin hitsausnopeuksiin. [7, s. 6.]

Suojakaasuksi soveltuvat hyvin Argon-pohjaiset kaksikomponenttikaasut, joissa aktiivikomponenttina on hiilidioksidi. Tutkimusten mukaan pienellä Heliumin lisäyksellä hitsiaineentuottoa saadaan lisättyä vielä entisestään. [8.]

5.3 Laitteisto

TIME-menetelmä on Froniuksen patentoima tavaramerkki ja muistuttaa hyvin paljon MIG/MAG-laitteistoa. Ainoastaan hitsauspistooli ja jäähdytyslaitteisto eroavat oleellisesti perinteisestä MAG-poltimesta. TIME-menetelmän polttimessa voidaan säätää kosketussuuttimen ja kaasusuuttimen välistä etäisyyttä. Tämä on tarpeen, koska pidemmän vapaalangan pituuden vuoksi kaasu on tuotava lähemmäs hitsaustapahtumaa. Jäähdytyksen täytyy olla suurempaa, koska poltin kuumenee paljon normaalia prosessia enemmän. Tämä on ratkaistu polttimen kaksiosaisella jäähdytyksellä. Polttimen rakenne on kuvassa 6. [8.]



Kuva 6. TIME-polttimen rakenne [8.]

5.4 Edut ja haitat

TIME-menetelmällä saavutetulla hitsillä on paremmat fyysiset ominaisuudet alhaisemman happettumisen johdosta. Hitsausnopeudet ovat suuria, ja täten hitsauskustannukset laskevat. Suuremman hitsausnopeuden vuoksi myös lämmöntuonti hitsattavaan kappaleeseen pienenee ja samalla tapahtuu vähemmän muodonmuutoksia. Perinteiseen MAG-menetelmään nähden saavutetaan suurempi tunkeuma, erinomainen pisaramuoto ja vähentynyt roiskeenmuodostuminen. [8.]

Haitaksi voisi lukea suuri lämpöenergian kohdistuminen hitsaajaan. Tämä rajoittaa erityisesti käsin tapahtuvaa hitsausta. UV-säteilyn määrä on suurempi verrattuna normaaliin MIG/MAG prosessiin.

Transtechilla on käytössä Froniuksen TIME 5000 Digital laitteisto, johon perehdytään seuraavaksi.

5.5 TIME 5000 Digital

Froniuksen TIME 5000 Digital on digitaalitekniikkaa hyväksikäyttävä TIME-hitsauslaitteisto. Siinä on täysin digitaalinen pulssivirtalähde. Digitaalisuutensa vuoksi laitteeseen voidaan tallentaa käytettyjä parametreja ja niiden avulla hitsausten toistettavuus saadaan maksimoitua. Muistipaikkoja kyseisessä virtalähteessä on 99. Digitaalisuus myös helpottaa parametrien valintaa, koska laitteessa on laaja kirjo esiasetuksia. Asetukset kutsutaan suojakaasun ja hitsauslangan valinnoilla. Kuvassa 7 on TIME 5000 Digital laitteisto ja taulukossa 1 on esitettyinä laitteen tekniset tiedot. [8.]



Kuva 7. TIME 5000 Digital [9.]

Taulukko 1. TIME 5000 Digital laitteiston tekniset tiedot. [9.]

Liitännäjäjännite +/- 10%	380 V / 400 V / 460 V
Hitsausvirta-alue	3 - 500 A
Hitsausvirta 40%	DC 500 A
Hitsausvirta 100%	DC 360 A
Tyhjäkäyntijännite	70 V
Käyttöjännite	28-48 V
Suojausluokka	IP 23
Mitat p x l x k mm	625 x 290 x 475 mm
Paino	37,40 Kg

Transtech OY:n TIME- laitteisto on vielä laajennettu erillisellä älykkäällä RCU 5000i-kauko-ohjainyksiköllä (kuva 8). Kauko-ohjain laajentaa virtalähteen muistipaikkojen määrää aina 1000:een asti, ja siihen on helppo tallentaa hitsausparametreja erilaisten töiden (JOB) alle. [8.]

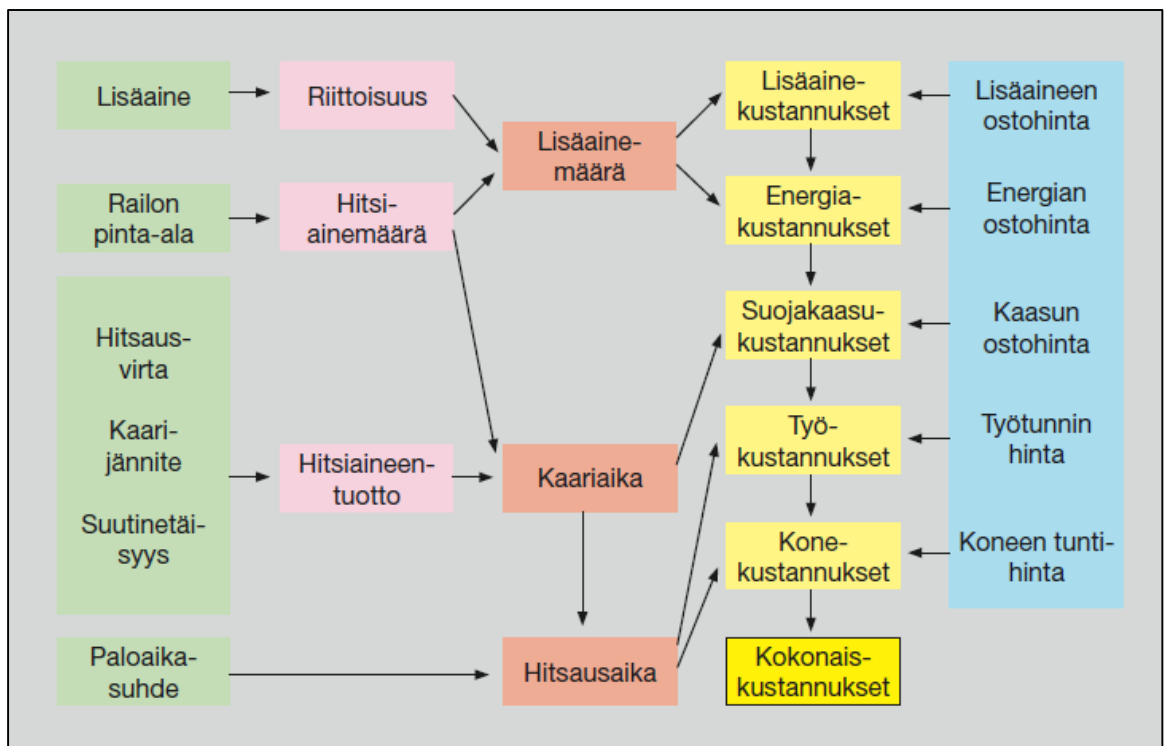


Kuva 8. RCU5000i kauko-ohjain [10.]

6 HITSAUSKUSTANNUKSET

Yhä kiristyvässä taloudellisessa tilassa on tärkeää karsia kustannuksista joka työssä. Nykyisin työt karkaavat usein ulkomaille, joissa tehdään töitä murto-osalla niistä kustannuksista, joihin Suomessa päästään. Tuotteiden valmistaminen tulee olla taloudellista, tehokasta ja tuottavaa. Hitsauksessa on keskityttävä käyttämään tehokkaita ja työhön optimoituja hitsausmenetelmiä. Hitsauskustannuksia eri menetelmien välillä on tärkeää vertailla edellä mainittujen kriteerien saavuttamiseksi. [11, s. 8.]

Hitsauskustannuksia voidaan laskea monella eri tavalla, kuten hitsattavaa kappaletta kohti tai hitsiainekiloa kohti. Seuraavassa on esiteltyä hitsauskustannusten laskentaperiaate hitsimetriä kohti (€/m). Kuvassa 9 on esiteltyä laskentaperiaate MIG/MAG-hitsaukselle. Muissa hitsausmenetelmissä vaihtuvat vain yksityiskohdat, kuten suojakaasukustannusten tilalle tulevat jauhekustannukset. [11, s. 8.]



Kuva 9. Hitsauskustannusten ”algoritmi” (MIG/MAG- hitsaus)[11, s. 9.]

Suurimmat kustannukset aiheutuvat työkustannuksista (K_T). Nämä voivat viedä jopa 70–90 % hitsauskustannuksista. Hitsausaineet vievät 10–20 % ja energia- ja konekustannukset alle 10 %.[11, s.8.] Transtechille arvioitiin energia- ja konekustannuksien aiheuttavan 4 %:n lisän muiden kustannusten lisäksi.

Kokonaisuudessaan hitsauskustannukset muodostuvat täten seuraavasti (kaava 3),

$$\text{Kokonaiskustannukset } (K_K) = (K_T + K_J + K_L) * 1,04, \text{ jossa} \quad (3)$$

K_T = Työkustannukset

K_J = Jauhekustannukset (vaihtoehtoisesti K_S = suojakaasukustannukset)

K_L = Lisäainekustannukset [11, s. 8]

Seuraavassa on käsiteltyä lyhenteet, joita tarvitaan hitsauskustannuksia laskettaessa:

M = hitsiainemäärä (kg/m), raiioon tarvittavan hitsiaineen määrä metriä kohden

T = hitsiaineentuotto (kg/h), on hitsiin siirtynyt lisäainemäärä aikayksikössä 100 % paloaikasuhteella.

e = paloaikasuhte, valokaaren paloajan suhde työn kokonaisaikaan.

H_T =työtunnin hinta (€/h)

N = hyötyluku/riittoisuus, kuinka paljon lisäainemäärästä saadaan hitsiä.

H_L = lisäaineen ostohinta (€/kg)

V =kaasun virtaus (l/min)

H_S =suojavaasun ostohinta (€/m³)

S =kaasun kulutus (m³/hitsiainekilo)

J =jauheen kulutus kg/hitsiainekilo

H_J =jauheen ostohinta (€/kg)

Yleisesti ajatellen hitsauskustannuksia voidaan pienentää seuraavalla tavalla:

pienennetään hitsiainemäärää, suurennetaan hitsiaineentuottoa, nostetaan paloaikasuhdetta (pienennetään kaarisivuaikaa, käsittelyaikaa ja apuaikoja).[1.]

Työkustannukset (K_T)

Työkustannukset riippuvat paljon siitä kuinka nopeasti hitsataan ja mikä on hitsaajan työtunnin hinta. Työkustannukset ovat suurin kustannusten osa, ja tämän alentaminen laskee hitsauskustannuksia eniten. On tärkeää löytää menetelmä, jolla hitsausajat saadaan minimoitua. Työkustannukset saadaan laskettua kaavalla 4. [4, s. 58.]

$$K_T = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_T \text{ (€/m)} \quad (4)$$

Hitsauslisäainekustannukset (K_L)

Nämä kustannukset tulevat pelkästään lisäainelangoista. Riittoisuuden arvot ovat eri hitsausmenetelmille seuraavat: MIG/MAG- umpilanka 0,95 ja jauhekaarilanka 1,0. Hitsauslisäainekustannukset saadaan laskettua kaavalla 5 [4, s. 58.]

$$K_L = M \times \frac{H_L}{N} \text{ (€/m)} \quad (5)$$

Suojakaasukustannukset (K_S)

Suojakaasukustannukset koostuvat kaasun hinnasta ja kulutuksesta. Kulutus saadaan kaariajasta ja kaasunvirtausmäärästä. Suojakaasukustannukset lasketaan kaavalla 6. [4, s. 58.]

$$K_S = \frac{M}{T} \times V \times H_S \times 0,12 \text{ (€/m)} \quad (6)$$

Jauhekustannukset (K_J)

Jauhekustannukset vaihtelevat käytetyn jauheen tyyppin ja käytettävien hitsausarvojen mukaan. Jauheen kulutusarvot saadaan yleensä jauheen lisäaineluettelosta tai tavarantoimittajalta. Jauhekustannukset lasketaan kaavan 7 mukaisesti. [4, s.58.]

$$K_J = M \times J \times H_J (\text{€/m}) \quad (7)$$

Energia- ja konekustannukset

Energiakustannuksia syntyy aina hitsatessa. Kustannukset syntyvät energiankäytön ja sen hinnan mukaan. Energiankulutus voidaan laskea tarkemmin, mutta niiden jäädessä verraten pieneksi, noin 1–2 % kokonaiskustannuksista, riittää tarkkuudeksi prosenttiosuus kokonaiskustannuksista. [1, s. 85.]

Jauhekaarilaitteiston konekustannukset oletetaan olevan verraten pieniä ja niiden arvioidaan olevan 1–2 % luokkaa. Konekustannukset ja energiakustannukset arvioidaan aiheuttavan 4 %:n lisän kokonaiskustannuksiin. Näihin sisältyvät myös mahdolliset kunnossapitokustannukset.

7 HITSIN TARKASTUS JA TESTAUS

Työssä tarkastellaan TIME-hitsausmenetelmän soveltuvuutta roottorien hitsaukseen, joten on tärkeää tutkia sillä saavutettuja hitsin ominaisuuksia. Testeihin valikoitiin SFS-EN ISO 15614 standardin määräävät kokeet. Standardin mukaan on suoritettava seuraavat tarkastukset:

- Silmämääräinen tarkastus 100 %
- Ultraäänitarkastus
- Poikittainen vetokoe (2 koesauvaa)
- Poikittainen taivutuskoe (4 koesauvaa)
- Pintahalkeamien tarkastus
- Iskukoe
- Kovuuskoe
- Makrohietutkimus (1 hie)

7.1 Ainetta rikkomattomat tarkastukset

Silmämääräinen tarkastus ja ultraäänitarkastus ovat esimerkkejä ainetta rikkomattomista tarkastuksista. Ne voidaan suorittaa heti hitsauksen päätyttyä, eivätkä ne vaadi testattavan tuotteen rikkomusta millään tavalla.

7.1.1 Silmämääräinen tarkastus

Kaikki hitsit tarkastetaan aina silmämääräisesti. Ammattitaitoinen hitsari tekee sen automaattisesti hitsauksen päätyttyä. Yleensä ottaen paljas silmä on melko tarkka havaitsemaan yleisimmät hitsausvirheet, mutta erilaisia suurennuslaseja ja muita apuvälineitä on hyvä käyttää [6, s. 247]. Silmämääräisestä tarkastuksesta on määrätty oma standardinsa SFS-EN ISO 17637.

Silmämääräinen tarkastus suoritetaan riittävässä valaistuksessa. Tarkastuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota railon sovituksen, hitsin tasaisuuteen, kupujen suuruuteen, läpihitsautumiseen ja hitsijatkoksiin sekä reunahaavoihin, halkeamiin ja huokosiin. [6, s. 247.]

7.1.2 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastus perustuu erittäin korkeiden taajuuksien etenemiseen tutkittavassa kappaleessa. Luotaimen värähtelevä kide lähettää yli 1 000 000 Hz taajuudella värähtelevää määräsuuntaista ääntä aineeseen. Tutkittavassa aineessa ääniaallot heijastuvat kappaleen pinnoista ja virheistä. Heijastumat saadaan näkyviin näyttölaitteelle, ja edestakaisilla luotaimen liikkeillä virheet ja niiden suuruudet saadaan paikoitettua. Ultraäänitutkimusta varten on määrätty standardi SFS-EN ISO 17640 [6, s. 247]

7.2 Ainetta rikkovat tarkastukset

Ainetta rikkovia tarkastuksia ovat mm. vetokoe, iskusitkeys-koe, murtokoe, taivutuskoe, kovuus-koe ja makrohietekniikka[6, s. 247]. Seuraavaksi ovat esiteltyinä työn kannalta oleelliset ainetta rikkovat tarkastukset.

7.2.1 Vetokoe

Vetokoetta varten hitsatusta kappaleesta valmistetaan vetosauvoja. Sauvat valmistetaan hitsien kohdilta ja niiden avulla tutkitaan hitsin lujuutta ja sitkeyttä. Kokeessa koesauvaa vedetään vetokoneella niin pitkään, että se katkeaa. Vedon aikana mitataan tarvittava voima ja sen aiheuttama venymä. Niiden avulla saadaan määritettyä jännitys/venymäkäyrä. Käyrän avulla voidaan määrittää aineelle ominainen myötö- ja murtolujuus. [12, s. 16.]

7.2.2 Iskusitkeys-koe

Iskusitkeys-kokeeseen valmistetaan sauvoja, jotka lovetaan, joko v- tai u-lovella. V-lovea käytettäessä on kyseessä Charpy V-iskukoe ja U-lovella Charpy U. Lovettua iskukoe-kappaletta isketään heilurivasaralla ja mitataan kappaleen murtumiseen vaadittu energia. Kokeet suoritetaan tietyssä lämpötilassa ja tuloksia verrataan kyseisessä lämpötilassa vallitseviin aineen ominaisuuksiin. Kokeella saadaan selville, kuinka aine käyttäytyy nopean iskun vaikutuksessa. [3, s. 40.]

7.2.3 Makrohietutkimus

Makrohietekniikassa tutkittavasta hitsistä tehdään pieniä näytepaloja, hieitä. Hieet valmistetaan hiomalla tutkittava kappale peilikiiltoon erilaisilla hiomalaitteilla. Yleensä käytetään pyöriviä kiekkolaikkoja. Kiillotetut hieet syövytetään Nital-liuoksella (alkoholi/typpihappo). Syövytyksen avulla saadaan näkyviin mm. hitsauksessa saavutettu tunkeuma ja yleisimpiä hitsausvirheitä. [12, s. 40.]

7.2.4 Kovuuskoe

Kovuuskokeessa tutkitaan aineen kykyä vastustaa kokeessa käytettävää mittapäätä. Mitattavat suureet ovat joko painauman syvyys tai painauman pinta-ala. Erilaisia kokeita on kolme erilaista, Brinell, Vickers ja Rockwell. Näistä työn kannalta oleellisin on Vickers-kovuuskoe. [3, s. 39.]

Vickers kovuuskokeessa tutkitaan nelitahoisen pyramidin muotoisen timanttimitakärjen aiheuttamaa painauma testikappaleessa. Painauma tehdään aina samalla voimalla, joka ilmoitetaan kovuuskokeen nimessä HV numerona. Esim. Vickers HV10-koe tehdään 10 kg painon aiheuttamalla voimalla. Painauma on neliön muotoinen ja neliöstä mitataan sen halkaisija. [3, s. 39.]

Kovuusarvot saadaan jakamalla kuormitus painuman pinta-alalla. Mitä suurempi kovuusarvo, sitä kovempaa materiaali on. [3, s. 39.]

7.2.5 Taivutuskoe

Taivutuskokeessa koekappaletta taivutetaan niin pitkään, että kappale murtuu tai kunnes vaadittu kulma (yleensä 180°) saavutetaan. Kokeen avulla tutkitaan aineiden taivutuskestävyyttä ja saadaan selvitettyä aineen virheettömyys pinnassa tai lähellä sitä. [13, s. 322]

Koesauvojen ulkopinta ja sisäpinta tutkitaan taivutuksen jälkeen, ja ne arvioidaan standardin mukaan.

Taivutuskoetta varten on määritetty oma standardinsa SFS-EN 910. Standardia voidaan käyttää kappaleisiin, jotka on liitetty kaarihitsausmenetelmällä.

8 ROOTTORIEN HITSUKSEN NYKYTILANNE

Nykyisin Transtech OY:ssä roottorit hitsataan jauhekaarihitsauksella. Roottorien aihiot tulevat ulkopuoliselta toimittajalta, ja niiden koot vaihtelevat aina kasattavan roottorin mukaan. Roottorit tulevat käyttöön suuriin sähkömoottoreihin, joita käytetään esimerkiksi laivoissa. Hitsattavien roottoreiden koot vaihtelevat noin välillä 5000–10 000 kg.

Roottoreiden työkierto alkaa yleensä aihoiden v-railojen sorvaamisella. Ulkopuoliselta toimittajalta tulevien roottoriaihoiden railot ovat joko u- tai v-railoja. U-railot soveltuvat erinomaisesti jauhekaarihitsaukseen, mutta v-railolla varustetut aihiot huonommin. Roottorin ulkokehän hitsiin käytettävä lisäainelanka on halkaisijaltaan 4,8 mm, ja tavarantoimittajan v-railo on niin kapea, että lanka palaa railon seinämällä eikä riittävää tunkeumaa saavuteta. Jotta vaadittuun hitsinpaksuuteen päästään, on v-railoja suurennettava sorvaamalla. Tämä aiheuttaa lisäkustannuksia ja yhden ylimääräisen työvaiheen. Osa aihioista tulee ilman viisteitä, joten niihin v-railo tulee sorvata.

Sorvauksen jälkeen aihiot keskitetään lekan ja suorakulmion avulla ja silloitetaan toisiinsa MAG-hitsauksella. Aihiot esikuumennetaan käsin kaasupolttimella, jonka jälkeen silloitukset tehdään. Silloituksen jälkeen kappale siirretään lämpenemään uuniin n. 170 °C:seen

Lämmityksen jälkeen kappale siirretään Esabin jauhekaaritorniin. Työvaihe on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Roottorin hitsaus Esabin tornilla

Tässä työvaiheessa hitsataan sisäpuolen pienahitsit. Kappale lepää suurella kääntöpöydällä, ja sitä hitsataan jauhekaarella, jossa käytetään kahta lankaa. Lankojen paksuus on 2,0 mm ja hitsausvirtana n. 730 A.

Sisäpalkojen jälkeen kappale siirretään toiselle jauhekaarilaitteistolle, joka on esitettyinä kuvassa 11.



Kuva 11. Roottorin ulkokehän hitsauksen laitteisto

Kyseisessä laitteistossa on kaksi eri jauhekaaripoltinta, joissa molemmissa on 4,8 mm lanka. Työstöliike tapahtuu roottorin alla olevalla pyörityslaitteistolla. Kuvassa 11 pystyssä olevat puomit kaadetaan alas ja hitsauspolttimet pääsevät liikkumaan hitsattavan kappaleen päälle. Samaan aikaan hitsataan MAG-hitsauksella sisäpuolen v-railot. Ulkosaumojen hitsaus vaatii 7–8 palkoa ja sisäsaumat hieman enemmän, johtuen MAG-hitsauksen pienemmästä hitsaaineentuotosta. Kootut hitsausparametrit ovat taulukossa 2.

Taulukko 2. Kootut hitsausparametrit

VAIHE	Virta (A)	Jännite (V)	Nopeus (cm/min)	Lisäaineet	Hit-sin mitta	Palko- jen määrä	Lämmön- tuonti (kJ/mm)
Sisä- piena	680– 780	28–34	50–55	Umpilanka 2 2x2,0 mm + Jauhe 2	a 25	10–12	1,9–3,18
Ulko V- ja U- railo	750– 850	29–35	45–55	Umpilanka 1 4,8 mm + Jauhe 1	s 20 V	7–8	1,7–3,97
Sisä V- railo	290– 350	29–35	35–45	Umpilanka 3 1,2 mm + Ar + 20 % CO2	s 25 V		0,9–1,68

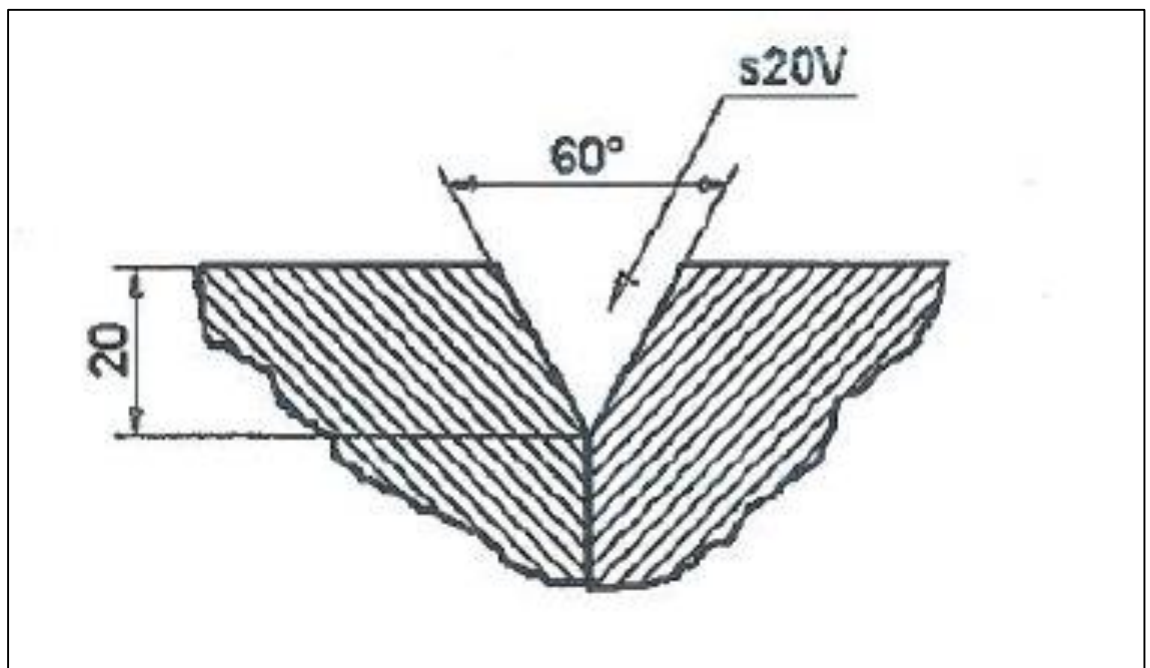
Valmis roottori viedään jälkilämpökäsittelyyn, jossa sen lämpötila nostetaan 620 °C:seen. Kuumennus tapahtuu 50 °C/h nopeudella, ja pitovaihe kestää 360 minuuttia. Jäähdytys tapahtuu 60 °C/h nopeudella, ja kappale otetaan uunista ulos 200 °C lämpöisenä. Jälkikäsittelyllä vähennetään hitsauksessa syntyneitä jännityksiä.

8.1 Hitsauskustannukset nykytilanteessa

Vertailukelpoisten tulosten saamiseksi hitsauskustannukset arvioidaan vain €/m muodossa. Testihitsauksia tehtiin vain roottorin ulkosaumoihin. Näin ollen jauhekaarikustannuksissa lasketaan vain ulkosauman v- ja u-railojen kustannukset.

8.1.1 Ulkosauman v-railon kustannukset jauhekaarella

Työkustannukset lasketaan kaavalla 1. Kaavaa varten on ensin laskettava hitsin teoreettinen ainemäärä, joka on aina hitsisaumalle ominainen suure. Roottorin v-railo on nähtävissä kuvassa 12.



Kuva 12. Roottorin ulkosauman v-railon leikkausprofiili

Laskuissa tarvittavan hitsin ainemäärä metriä kohden (M) lasketaan kaavalla 8.

$$M = A \times \rho, \text{ jossa} \quad (8)$$

A = hitsin profiilin poikkipinta-ala (m^2), joka lasketaan kaavalla (9)

L = hitsin pituus (m)

ρ = hitsiaineen tiheys (laskuissa käytetään teräksen tiheyttä 7850 kg/m^3)

$$A = s^2 \times \tan(\alpha/2), \text{ jossa} \quad (9)$$

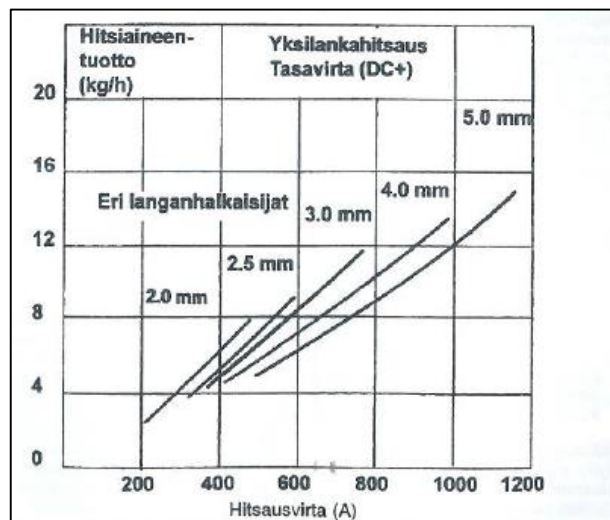
s = railon korkeus (m)

α = railokulma

Kaavojen 8 ja 9 avulla ulkosauman v-railon hitsiainemäärä saadaan laskettua kaavalla (10).

$$M = (0,02 \text{ m})^2 \times \tan(60^\circ/2) \times 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,81 \text{ kg/m} \quad (10)$$

Ainemäärä M on ulkosauman v-railolle 1,81 kg/m. Laskuissa tarvittavat muut arvot löytyvät kirjallisuudesta, joko taulukoista tai kuvaajista tai arvioihin. Jauhekaarhitsauksen hitsiainentuotto T saadaan selville kuvasta 13.



Kuva 13. Jauhekaarhitsauksen hitsiainentuotto [14, s. 293]

Ulkosauman hitsauksen hitsausvirta on noin 750 A ja langanpaksuus 4,8 mm. Kuvaajasta tarkastelemalla saadaan T:n arvoksi noin 8,2 kg/h. Paloaikasuhdetta arvioitiin yhdessä hitsaajan kanssa ja päädyttiin jauhekaari- ja TIME-hitsauksessa arvoon 80 %. Tätä työtä varten arvioitu työtunnin hinta H_T on 26 €/h, jota käytetään laskuissa. Hinnassa on otettu huomioon tuntipalkka, sosiaalikulannukset jne. Riihtoisuuden N arvona käytetään jauhekaarhitsauksessa arvoa 1 ja MAG/TIME-hitsauksessa 0,95. Lisäaineiden ostohinnat saatiin työtä varten kysytyillä tarjouksilla, ja ne ovat esitettyinä taulukossa 3.

Taulukko 3. Kootut lisäaineiden hinnat

Lisäaine	Hinta (€/kg)
Umpilanka 1 4,8 mm	1,47
Hitsausjauhe 1	1,23
Umpilanka 2 2,0 mm	1,96
Hitsausjauhe 2	1,48
Umpilanka 3	1,38
Ar + 20% CO2	0,44
Umpilanka 4	1,38

Työn laskuissa jauheenkulutus arvioitiin olevan 1 kg hitsiainekiloa kohden. Arvo perustuu hitsaajan kokemukseen [15]. Jauheen hankintahinta H_j löytyy taulukosta (5).

Kaavaan (4) sijoitettuna saadaan laskettua K_T

$$K_T = \frac{1,81 \text{ kg/m}}{8,2 \text{ kg/h}} \times \frac{1}{0,8} \times 26 \frac{\text{€}}{\text{h}} = 7,17 \text{ €/m} \quad (11)$$

Kaavaan (5) sijoitettuna saadaan laskettua K_L

$$K_L = 1,81 \text{ kg/m} \times \frac{1,47 \frac{\text{€}}{\text{kg}}}{1,0} = 2,66 \text{ €/m} \quad (12)$$

Kaavaan (7) sijoitettuna saadaan laskettua K_j

$$K_j = 1,81 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 1 \text{ kg/h} \times 1,23 \text{ €/kg} = 2,23 \text{ €/m} \quad (13)$$

Kone- ja energiakustannusten aiheuttama lisä saadaan kertomalla muista aiheutuneet kustannukset 1,04:lla kaava (3). Joten kokonaiskustannuksiksi saadaan:

$$K_K = (7,17 \text{ €/m} + 2,66 \text{ €/m} + 2,23 \text{ €/m}) \times 1,04 = 12,54 \text{ €/m} \quad (14)$$

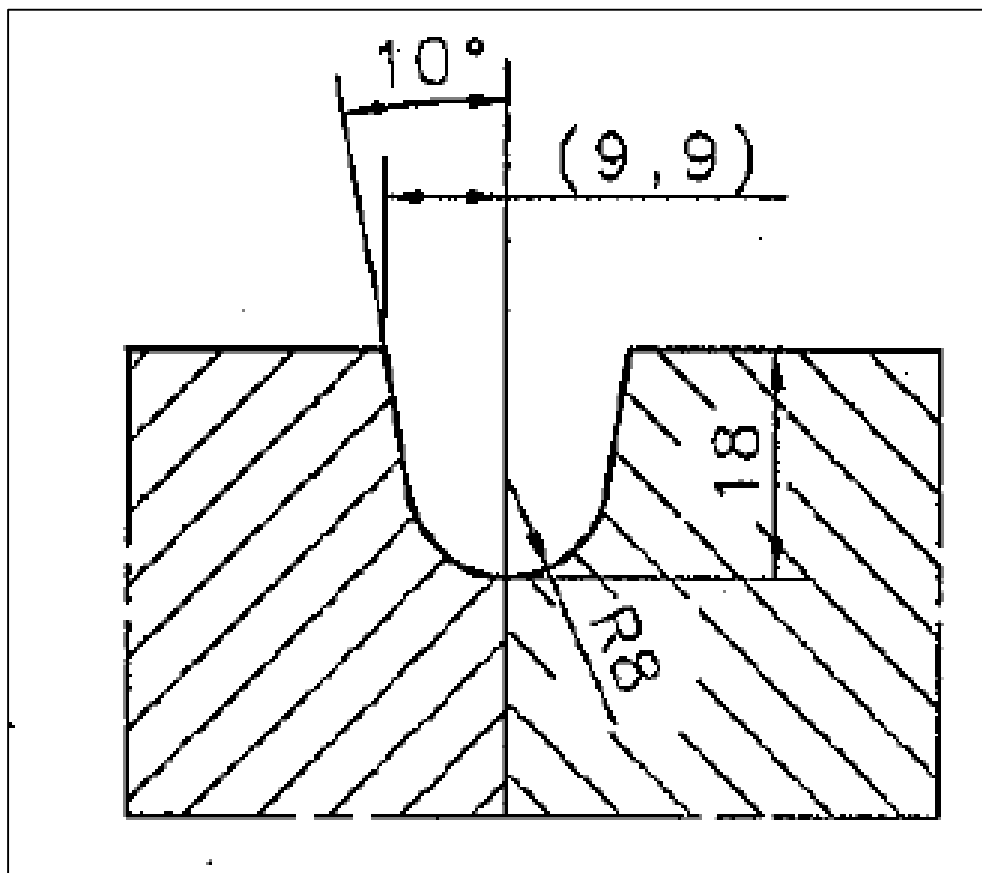
Taulukkoon 4 on koottuna v-railon kustannukset jauhekaarihitsaukselle.

Taulukko (4) Jauhekaari kustannukset v-railolle

	Jauhekaari
K_T (€/m)	7,17
K_L (€/m)	2,66
K_J (€/m)	2,23
K_K (€/m)	15,17

8.1.2 Ulkosauman u-railon kustannukset jauhekaarella

Roottoreiden aihioita on myös u-railolla varustettuna, joten on tärkeää myös vertailla kyseisen railonmuodon kustannuksia molemmilla menetelmillä. Kuvassa 14 on esitettyä ulkosauman u-railon profiili.



Kuva 14. Ulkosauman u-railon leikkausprofiili

Kyseiselle u-railolle laskettu teoreettinen ainemäärä M on 2,19 kg/m. Hitsausparametrit pysyvät samana kuin v-railolla. Taulukkoon 5 on koottuna teorian pohjalta lasketut hitsauskustannukset ulkosauman u-railolle.

Taulukko 5. U-railon kustannukset jauhekaarella

	Jauhekaari
K_T (€/m)	8,68
K_L (€/m)	3,22
K_S (€/m)	0,00
K_J (€/m)	2,69
K_K (€/m)	15,17

9 TYÖN SUORITUS

Tässä osiossa esitellään kaikki keskeiset työt, jotka suoritettiin tutkimusta tehdessä. Työt on jaettu kahteen osaan: koehitsauksiin ja testaukseen.

Työn alkuvaiheessa keskityttiin TIME-hitsauksen soveltuvuuteen roottorien hitsauksessa. Testejä varten valmistettiin koelevyjä, joiden railot vastasivat nykyisten roottorien u- ja v-railoja. Ensimmäiset koehitsaukset suoritettiin v-railoille ja toiset u-railoille.

9.1 Ensimmäinen koehitsaus

Ensimmäisen koehitsauksen koekappaleet tehtiin mahdollisimman paljon muistuttamaan oikeiden roottoreiden aihioita. V-railojen koelevyt valmistettiin seuraavasti:

Aluksi valmistettiin polttoleikkaamalla 50 mm paksusta levystä neljä ympyräkiekkoa, joiden halkaisija oli 650 mm ja niiden keskellä 414 mm halkaisijaltaan oleva reikä.

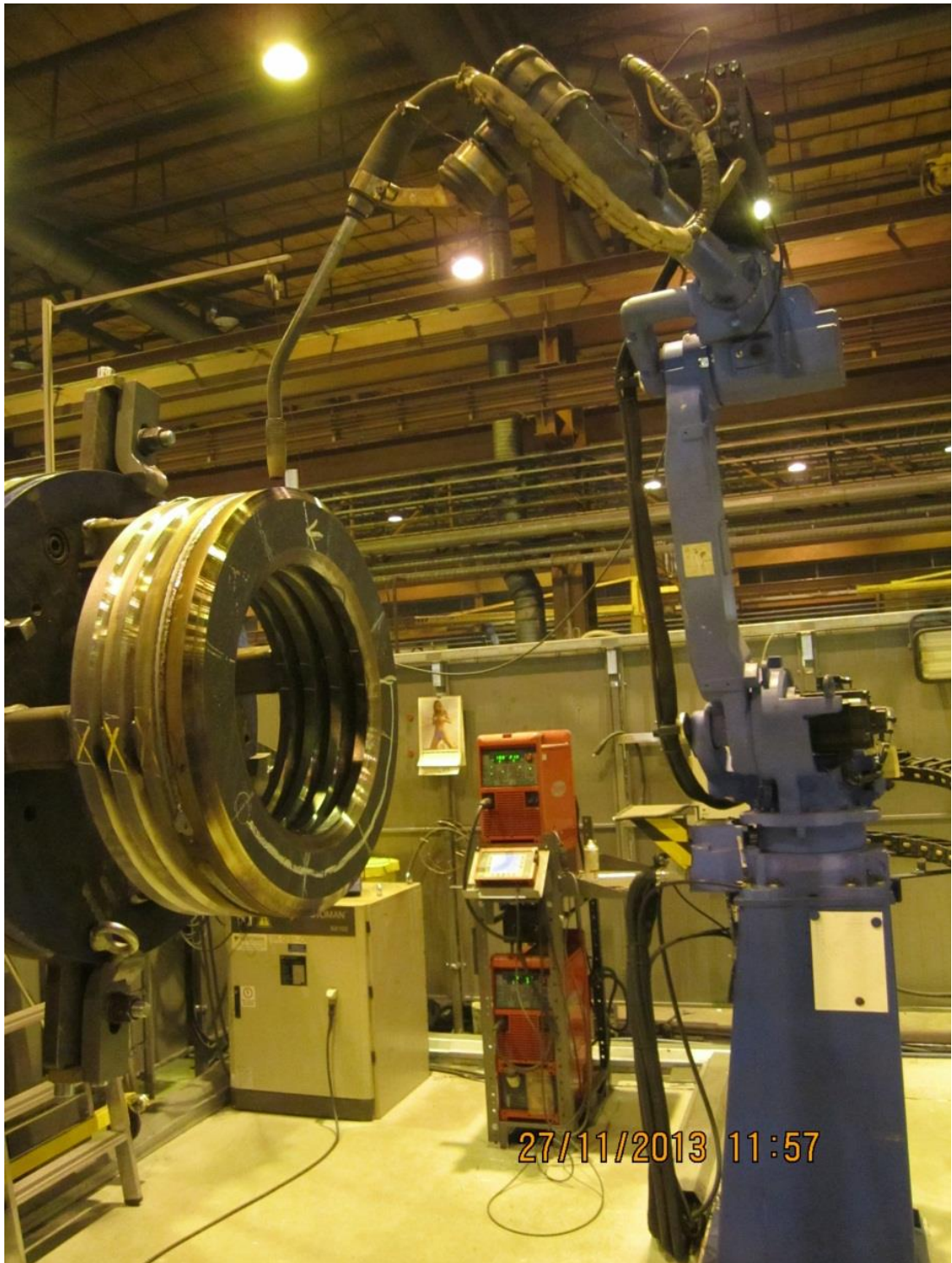
Koelevyihin tehtiin ulkokehälle 20 mm syvä viiste 30° kulmaan ja sisäkehälle 25 mm syvä viiste 30° kulmaan. Näistä muodostuu ulkokehälle 60° kulmalla oleva 20 mm syvä v-railo ja sisäkehälle 25 mm syvä. Valmiit koelevyt ovat nähtävissä kuvassa 15.



Kuva 15. Valmiit v-railokoekappaleet

Koelevyt silloitettiin yhteen nippuun. Näin saatiin yhteensä 6 eri v-railoa tutkittavaksi, kolme ulkosaumaa ja kolme sisäsaumaa. Koelevyihin hitsattiin kiinni neljä 80x80x150 mm olevaa neljöputkipalkkia. Palkit hitsattiin kiinni robotin kääntöpöytää varten olevaan kiinnityslevyyn. Kiinnityslevy koekappaleineen nostettiin kääntöpöydän päälle hitsauksen ajaksi. Koekappale lämmitettiin kaasupolttimella noin 150 °C lämpötilaan ennen hitsauksen aloittamista.

Hitsaus suoritettiin Motoman-robotilla, johon oli integroituna Fronius TIME 5000 Digital-hitsauslaitteisto. Hitsauslaitteistossa oli kaksi Froniuksen virtalähdettä sarjaan kytkettynä, jolloin hitsausvirta saadaan tarvittaessa jopa 900 ampeeriin. Hitsauksesta vastasi Transtechin koulutettu koneenkäyttäjä. Kuvassa 16 on nähtävissä koelaitteisto.



Kuva 16. Kochitsauslaitteisto

Ensimmäiset koehitsaukset tehtiin ainoastaan ulkosaumalle. Sauman hitsaukseen käytettiin taulukon 6 mukaisia parametreja. Suojakaasuna käytettiin argonin (80 %) ja hiilidioksidin (20 %) seosta.

Taulukko 6. Ensimmäisen koehitsauksen parametrit

Palko nro.		Virta (A)	Jännite (V)	LS	VP	Nopeus (cm/min)	Lämmöntuonti (kJ/mm)	Lämpötila T ₀ = 146 °C
1	asetusarvo	400	34,3	20	30	45	1,46	
	mitattu	408	33,1	20	30	45	1,44	153,5
2	asetusarvo	416	34,7	22	30	25	2,77	
	mitattu	427	34,2	22	30	25	2,80	147,1
3	asetusarvo	416	34,7	22	30	30	2,31	
	mitattu	477	32,7	22	30	30	2,49	162,7

Lisäksi kolmannessa palossa käytettiin 11 mm levitystä 1 Hz taajuudella railon keskilinjan molemmille puolille. Levityksen reunoilla käytettiin pysähdystoimintoa arvolla 0,2 s.

Ensimmäisen railon parametrit perustuivat pitkälti Transtechin koneenkäyttäjän ja hitsausinsinöörin kokemukseen.

Koehitsauksessa palkojen väleissä kulunut aika oli melko suuri, johtuen arvojen säätämisestä ja koneenkäyttäjän kahvi- ja ruokatauoista. Lämpötilan laskua kompensoitiin välilämmityksillä, jotka suoritettiin kaasupolttimella. Tuotannossa lämpötilan nousu on luultavasti suurempaa.

9.2 Toinen koehitsaus

Toisessa koehitsauksessa hitsattiin u-railokokeet. Kokeita varten tilattiin koneistamo Almilta koehitsauslevyt, koska u-railojen 10° kulma (katso kuva 14) osoittautui Transtechin konekan-

nalle vaikeaksi tehtäväksi. Valmiit koelevyt ovat nähtävissä kuvassa 17. Koelevyihin silloitettiin vielä kiinni aloitus- ja lopetuspalat, että tutkittavaksi saataisiin mahdollisimman hyvää hitsiä.



Kuva 17. Silloitettu u-railon koelevy

Koelevyt silloitettiin yhteen MAG-hitsauksella. Silloituksen suoritti Transtech Oy:n osaava hitsaaja. Silloituskohdat merkittiin maalitussilla. Ennen hitsauksien aloittamista koelevyt esilämmitettiin n. 150 °C:seen ja hitsaukset suoritettiin Motoman-robotilla, johon oli integroituna Fronius TIME 5000 Digital hitsauslaitteisto. Hitsauksesta vastasi Transtechin koulutettu koneenkäyttäjä.

U-railon hitsauksessa käytetyt parametrit perustuivat v-railon hitsauksessa käytettyihin arvoihin. Tiedettiin, että u-railo vaatii enemmän palkoja täytyäkseen, joten vaaputuksen arvoja jouduimme hieman muuttamaan. Käytetyt parametrit ovat nähtävissä taulukossa 7.

Taulukko 7. Toisen koehitsauksen parametrit

Palko nro.		Virta (A)	Jännite (V)	LS (m/min)	VP(mm)	Nopeus (cm/min)	Lämmöntuonti (kJ/mm)	Lämpötila (°C) alku/loppu
1	asetus	409	34,5	21,1	30	45	1,505	150/156
	mittattu	373	35,1	21,1	30	45	1,39	
2	asetus	409	34,5	21,1	30	25	2,71	150,7/192,1
	mittattu	369	35,2	21,1	30	25	2,49	
3	asetus	409	34,5	21,1	30	25	2,71	192,1/181,3
	mittattu	405	34,3	21,1	30	25	2,67	
4	asetus	409	34,5	21,1	30	25	2,71	202/166,5 (15 min jälk.)
	mittattu	357	35,7	21,1	30	25	2,45	

Ensimmäisellä palolla ei käytetty ollenkaan levitystä. Toisella palolla käytettiin 6 mm levitystä molemmin puolin 1 Hz taajuudella ja 0,1 s reunapysähdystä. Kolmannella palolla levitystä suurennettiin arvoon 7,5 mm ja viimeinen palko 11 mm levityksellä 2 Hz taajuudella ja 0,2 s reunapysähdyksellä.

10 INVESTOINNIT

Seuraavassa luvussa esitellään, mitä investointeja tulisi hankkia ja kuinka paljon niihin on budjetoitava.

10.1 Laitteet

Uusia laitteita tulisi hankkia ainakin seuraavat: kaksi uutta TIME 5000 digital virtalähdettä ja niihin konepolttimet. Kyseisistä laitteistoista tehtiin tarjouspyyntö Froniuksen maahantuojalta Pronius Oy:ltä. Yhteensä kyseisten laitteiden hinta on 31 464,21 €.

Polttimille tarvitaan uudet polttimen varret, jotka päätettiin, investoinnin toteen käydessä, tehdä itse. Polttimien varsiin ja niihin kuluviin työtunteihin asennuksineen budjetoitiin 1500 €.

Hitsausta varten on hankittava erillinen oskillointilaitteisto. Kaupallinen vaaputin ohjausyksiköllä, jossa säädettäviä parametreja vaaputusleveys, vaaputusnopeus, reunaviive ja offset eli vaaputuksen keskipisteen paikka maksaa noin 5000 €/kpl. Kyseinen tarjous saatiin Kemecweld Oy:ltä.

TIME- hitsauksessa muodostuu paljon lämpöä ja haitallista UV-säteilyä, jonka seurauksena hitsauksen seuranta olisi epämiellyttävää ja haitallista pitkien hitsausaikojen myötä. Tämän takia investoidaan myös erilliseen kamerajärjestelmään, jossa on kaksi kameraa, kaksi näyttöä ja yksi ohjausyksikkö. Kamerat ovat kauko-ohjattuja. Retco Oy:n tarjouksen mukaan kyseinen järjestelmä maksaa 10 900 €.

Yhteensä uusien laitteiden investoinnit tulisivat maksamaan noin 54 000 €. Laitteiden investointihinnat eivät sisällä arvonlisäveroja. Tarkat laskelmat ovat esitettynä taulukossa 8.

Taulukko 8. Investointilaskelmat

	Hinta € (alv 0 %)
Hitsauskoneet	31 464,21
Hitsausvarret + työt	1500
Kamerajärjestelmä	10900
Oskilointijärjestelmät	10000
Yhteensä	53864,21

10.2 Jauhekaarilaitteiston kunnostaminen

Nykyinen Transtechilla käytössä oleva jauhekaarilaitteisto on toimiva, mutta toimivuuden varmistamiseksi siihen tulisi tehdä uudistuksia. Nykyinen jauhenkierrätyslaitteisto on uusittava. Uudet jauhenkierrätyslaitteistot arvioidaan maksavan noin 5000 € ja töihin tulisi budjetoida 1000 €. Yhteensä vanhan jauhekaarilaitteiston kunnostaminen arvioidaan maksavan noin 6000 €.

11 TULOKSET

11.1 Koehitsausten tutkiminen ja testitulokset v-railolle

Koekappaleelle suoritettiin heti hitsauksen jälkeen visuaalinen tarkastus. Railo saatiin täytettyä jo kolmella palolla, ja muutenkin silmämääräisesti hitsi näytti onnistuneelta. Ultraäänitarkastus oli hyväksytty. Ensimmäisen koehitsauksen näytepala päätettiin lähettää tutkittavaksi METLAB OY-nimiselle yritykselle. METLAB on suomalainen aineenkoetukseen erikoistunut yritys.

Koekappaleelle suoritettiin METLAB Oy:ssä Charpy-V iskukokeet, Vickers HV10-kovuuskokeet ja painauman syvyys mitattiin. Kovuuskoe ja tunkeuman syvyys mitattiin makrohieestä. Testausseloste on nähtävissä liitteessä 1.

Iskukokeet suoritettiin $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa kolmesta eri kohdasta, kolme kertaa. Testikappaleiden katkaisuun vaadittavat energiat olivat keskimäärin 50 J, 42 J, 41 J. Yksittäinen arvo ei saanut olla alle 19 J eikä keskiarvo saanut alittaa 27 J. Testien perusteella hitsisauma ylittää vaatimukset.

Vickers HV10-kovuuskokeet suoritettiin makrohieiden pinnalta kahdesta eri linjasta. Toinen hie oli silloituksen kohdalta. Tulokset olivat kaikin puolin hyväksytyjä.

Tunkeuma mitattiin kahdesta eri makrohieestä. Toiseen näytekohtaan oli valittu alue, josta testikappale oli silloitettu yhteen. Tällä varmistettiin tunkeuman syvyys silloituskohdasta. Tunkeumat olivat 20,93 mm ja 22,1 mm. Tunkeumat ylittivät vaaditun 20 mm rajan, vaikkakin juuripalko ei ole osunut parhaaseen kohtaan. Makrohieistä ei löydetty hitsausvirheitä.

11.2 Koehitsausten tutkiminen ja testitulokset u-railolle

U-railon koehitsauslevyt antoivat mahdollisuuden tehdä testejä, joita v-railolle ei voitu suorittaa. U-railolle suoritettiin visuaalinen tarkastus, ultraäänitarkastus, vetokoe, taivutuskoe, iskukoe, kovuuskoe ja makrorakennetutkimus. Visuaalinen tarkastus ja ultraäänitarkastus suoritettiin Transtechilla hitsausten päätyttyä, kun kappale oli jäähtynyt huoneenlämpöön. Molemmat tarkastukset olivat hyväksytyjä ja kappale lähetettiin Metlab Oy:lle jatkotutkimuksiin. Liitteessä 2 on Metlab Oy:n testausseleste kyseiselle koekappaleelle.

Vetokokeiden tulokset olivat hyväksytyjä. Murtolujuuden hyväksymisrajat olivat 470–630 Mpa. Vetokokeissa saadut murtolujuudet olivat 557 Mpa ja 553 Mpa koekappaleiden paksuuden ollessa 20,27 mm ja 20,26 mm. Murtuma on tapahtunut perusaineen kohdalta, ei hitsisaumasta eikä muuttumisvyöhykkeeltä.

Taivutuskokeiden tulokset olivat hyväksytyjä. Neljä koekappaletta taivutettiin 180° eikä taivutuksen jälkeen löydetty virheitä.

Iskukokeet suoritettiin -40 °C lämpötilassa ja testien rajat olivat seuraavat. Yksittäinen arvo ei saanut olla alle 19 J eikä keskiarvo saanut alittaa 27 J. Tulokset olivat loven sijaitessa hitsin kohdalla 38 J/30 J/41 J sekä muutosvyöhykkeellä 28 J/63 J/40 J. Tulokset ovat näin ollen hyväksytyjä.

Makrohietutkimuksessa ei löytynyt hitsausvirheitä ja saavutettiin 24,43 mm tunkeuma. Tunkeuman alarajan oli 20 mm. Kovuuskokeessa käytettiin Vickers HV 10 menetelmää ja tulokset olivat kaikki puolin hyväksytyjä. Kovuudet mitattiin makrohieestä kahdesta eri linjasta.

11.3 Ulkosauman v- ja u-railojen kustannukset TIME:llä

Ulkosauman kustannuksien arvioinnissa käytettiin hitsauskokeisiin valittuja parametreja. Hitsauskustannukset lasketaan samaan tapaan kuin jauhekaarelle, mutta jauheen sijasta käytetään suojavaasun kulutusta ja ostohintaa. Kaasunvirtaus V oli ensimmäisessä koehitsauksessa 18

l/min. Suojakaasun ostohintana H_s käytettiin $0,785 \text{ €/m}^3$. Käytetyt arvot ja saadut tulokset ovat esiteltynä taulukoissa 9 ja 10.

Taulukko 9. Laskujen vaatimat suureet

	TIME (V-railo)	TIME (U-railo)
$H_T (\text{€/h})$	26	26
$T (\text{kg/h})$	11,72	11,72
$M (\text{kg/m})$	1,81	2,19
$V (\text{l/min})$	18	18
e	0,8	0,8
N	0,95	0,95
$H_s (\text{€/m}^3)$	0,785	0,785

Taulukko 10. TIME-kustannukset

	TIME (V-railo)	TIME (U-railo)
$K_T (\text{€/m})$	5,02	6,07
$K_L (\text{€/m})$	2,63	3,18
$K_S (\text{€/m})$	0,26	0,32
$K_K (\text{€/m})$	8,23	9,95

12 ANALYSOINTI

12.1 TIME-menetelmän soveltuvuus

Koekappaleiden teko onnistui hyvin, ja varsinkin ensimmäisen koehitsauksen kiekkorakenne vastaa erinomaisesti oikeiden roottoreiden muotoa. V-railot saatiin vastaamaan piirustuksia ja kiekot saatiin silloitettua toisiinsa hyvin. Kiinnitys robottiin toteutettiin yksinkertaisesti ja toimivasti. Koekappaleessa oli mahdollisuus kolmeen eri hitsauskokeeseen, mutta katsoimme yhden kokeen riittäväksi. Jos tulevaisuudessa halutaan tehdä kokeita eri menetelmälle, ovat koekappaleet valmiina.

Toisen koehitsauksen koekappalemuoto mahdollisti useamman testin teon. U-railon teko vaati hieman ulkopuolista apua. Molemmat koehitsaukset sujuivat hyvin osaavan robotinkäyttäjän avustuksella.

Koekappaleille tehdyt testit osoittivat, että TIME-menetelmällä saadaan roottoreiden aihiot liitettävä toisiinsa ilman hitsausvirheitä. Hitsin laatu oli tasaista ja puhdasta. Ainetta rikkomat tutkimusmenetelmät lupailivat hyvää ja mahdollistivat ainetta rikkovat testit. Koekappaleille suoritettavat ainetta rikkovat kokeet olivat kaikki hyväksytyjä. Lämmöntuonti pysyi ai-soissa hitsausprosessissa, eikä iskukokeiden perusteella ole aiheutunut iskusitkeyden heikkenemistä. Kokeiden perusteella TIME-menetelmällä aikaansaatu hitsi on erinomaista.

Jauhekaarihitsauksessa ilmaa ja työympäristöä sotkeva pöly häviäisi, jos menetelmää vaihdettaisiin. Tilalle tulisivat TIME-hitsauksessa vapautuva lämpö ja UV-säteily. Hitsareiden kannalta jauhekaarimenetelmä on tuttu ja turvallinen tapa, jota on käytetty vuosikymmenien ajan kyseisessä tehtävässä. TIME-menetelmän valokaari vaatii suojaamisia kasvoille ja silmille. Kyseinen ongelma vältetään uusissa investoinneissa kameroiden avulla. Kameroiden avulla hitsaustapahtumaa valvottaisiin monitorien välityksellä ja hitsausprosessia säädettäisiin kauko-ohjauksella. Uusi teknologia vieroksuttaa vanhaa hitsaajakantaa ja vaatii hieman opastusta hitsaajille.

Koehitsausten ja koetulosten perusteella TIME-menetelmä soveltuu erinomaisesti roottoreiden hitsaamiseen. Uudet investoinnit mahdollistavat modernin ja tehokkaan hitsausprosessin luomisen vanhan tilalle.

12.2 Kustannusten vertailu

Kustannusten vertailussa otetaan huomioon vain ulkosauman hitsauskustannukset, koska TIME-menetelmää testattiin vain ulkosauman soveltuvuuteen. Molempien menetelmien kustannukset ulkosauman v-railolle ovat koottuna taulukkoon 11 ja u-railolle taulukkoon 12.

Taulukko 11. V-railon kustannusten vertailu

	Jauhekaari	TIME
K_T (€/m)	7,17	5,02
K_L (€/m)	2,66	2,63
K_S (€/m)	0	0,26
K_J (€/m)	2,23	0
K_K (€/m)	12,54	8,23
Säästö (€/m)	0	-4,31

Taulukko 12. U-railon kustannusten vertailu

	Jauhekaari	TIME
K_T (€/m)	8,68	6,07
K_L (€/m)	3,22	3,18
K_S (€/m)	0,00	0,32
K_J (€/m)	2,69	0,00
K_K (€/m)	15,17	9,95
Säästö (€/m)	0	-5,22

Teoreettisen tarkastelun perusteella TIME-menetelmä tulee jokaista täytettyä v-railometriä kohden 4,3 € halvemmaksi. Prosentuaalisesti jauhekaarikustannukset ovat noin 52 % suuremmat kuin TIME-menetelmän. U-railometrin kohdalla säästö on 5,2 €/m. Säästöt selittyvät suuremmalla hitsiaineentuotolla ja pienemmällä lisäainekustannuksilla.

Kustannusten vertailuihin on hyvä ottaa mukaan myös ns. maanläheinen tarkastelu. Seuraavassa on tarkasteltu työkustannuksia käytäntöön nojaten. Kokemuksen perusteella tiedetään, että roottoreiden ulkosauman v-railoon tehdään nykyisellä jauhekaarimenetelmällä 8 palkoa. Kuten testeissä saatiin selville, TIME-menetelmällä railo saatiin täytettyä 3 palolla. Näihin perustuen on seuraavassa laskettu työkustannusten erot käytännön pohjalta. Laskuissa on käytetty jauhekaariprosessin kontrolloinnissa saatuja arvoja ja TIME-prosessissa ensimmäisen koehitsauksen nopeuksia. Taulukkoihin 13 ja 14 on koottuna työkustannusten arviot käytäntöön nojaten.

Taulukko 13. Jauhekaaren työkustannusten arvio v-railolle käytännönläheisesti

	Jauhekaari
v(m/min)	0,53
Palkojen lkm	8,00
Pituus (m)	3,46
Aika (min/palko)	6,53
Aika (min/railo)	52,23
Railon hinta	22,63
€/m	6,54

Taulukko 14 TIME-menetelmän työkustannusten arvio v-railolle käytännönläheisesti

TIME	nopeus (m/min)	Aika (min)	Hinta (€/m)
1.palko	0,45	2,22	0,96
2.palko	0,25	4,00	1,73
3.palko	0,3	3,33	1,44
Summa		9,56	4,14

Oletetaan, että lisäainekustannukset pysyisivät samana kuin teoriapohjaisessa laskennassa. Näin ollen kokonaiskustannuksiksi jauhekaarella tulisi 11,89 €/m ja TIME:llä 7,3 €/m. Eroksi tulee 4,6 €/m. Teoriapohjaista laskentaa voidaan pitää pätevänä, eikä u-railon tapauksessa tarvita käytännönläheistä tarkastelua.

12.3 Investointien kannattavuus

Investoinnit tulisivat maksamaan kokonaisuudessaan 53864,21 €. Uusien investointien avulla saadaan laskettua hitsauskustannuksia 4,3 €/m. Roottoreiden railon keskimääräinen pituus on noin 4,7 m, ja ulkosauman railoja on keskimäärin 5 roottoria kohden. Roottoreita valmistetaan Transtechilla noin 100 kpl vuodessa. Näiden tietojen perusteella vuodessa säästöä kertyisi 10 105 €.

Hankittujen laitteiden ajatellaan pysyvän talossa niin pitkään, ettei niillä ole enää myyntiarvoa, joten takaisinmaksuajan voi laskea suoraan investointien suhteella vuosisäästöihin. Takaisinmaksuajaksi tulisi tällä periaatteella noin 5,3 vuotta.

Jauhekaarilaitteistoa tulee uusia 6000 eurolla. Tämä on pakollinen investointi, jos aiotaan käyttää vanhaa laitteistoa. Tällä tavoin saadaan lisää aikaa vanhalle laitteistolle. Summa on uusiin investointiin nähden pieni, mutta panostamalla uusiin saadaan jatkuvuutta tuotannolla paljon enemmän kuin vanhan korjaamisella. Jos vanhaa päätetään korjata, on samalla hyvä miettiä, onko kannattavampaa siirtyä käyttämään suurempia lankapakkauksia nykyisten 25 kg sijaan.

TIME-hitsauksen etuna olisi myös valmiiksi sorvattujen v-railolla varustettujen aihoiden uudelleen sorvaamisen pois jääminen. Valmiiksi sorvatut v-railot soveltuisivat testien perusteella erinomaisesti TIME-menetelmälle ja vaadittu tunkeuma saavutettaisiin. Tällä tavoin tuotteen kokonaiskustannukset laskisivat suuresti. TIME-hitsaus on myös jauhekaarta nopeampi ratkaisu. Tuotteen hitsausläpimenoaika pienenesi, mutta tällöin uunikuorma lisääntyisi. Lämpimenoajan lasku antaisi mahdollisuuden resurssien, hitsaajien, vapautumiseen nopeammin.

Uudet investoinnit alentaisivat roottoreiden hitsauskustannuksia suuresti ja nopeuttaisivat hitsausten läpivientä.

13 YHTEENVETO

Insinöörityö oli sopivan haastava ja aikaa vievä kokonaisuus. Transtech Oy antoi mahdollisuuden opinnäytetyön tekemiseen, ja muutenkin yrityksen apu ja panos työtä kohtaan oli erinomainen. Apua saatiin, kun sitä tarvittiin.

Työtä varten hitsausteoria kahlattiin tiukalla aikataululla. Paljon opittiin ja paljon jäi vielä oppimatta. Työ vaati paljon uusien kontaktien luomista työympäristössä ja sen ulkopuolella. Työtä varten hankittiin tarjouspyyntöjä monista eri yrityksistä, joiden kontaktit tulivat tutuiksi.

TIME-hitsausmenetelmä oli käsitteenä täysin uusi, ja se osoittautui erittäin mielenkiintoiseksi vaihtoehdoksi mahdollisten uusien työmenetelmien suunnittelussa. TIME-menetelmä on melko uusi hitsausmenetelmä ja sen soveltuvuus ja joustavuus ovat huippuluokkaa. Roottoreiden hitsauksessa kyseinen menetelmä on erinomainen ja hitsauskustannukset vanhaan jauhekaareen verrattuna ovat huomattavasti edullisemmat. Menetelmän nopeus roottoreiden raijien kohdalla yllätti jopa vanhat hitsaajat. Uusi menetelmä luo aina vastarintaa tekijöissä, joten heidänkin mielipiteet ja ehdotukset otettiin huomioon. Hitsausprosessin seurauksena on jauhekaarella helppoa, mutta TIME:llä valokaaren säteily tekee siitä vaikeaa. Tämä oli hitsareiden työmuokavuuden kannalta tärkeää ottaa huomioon, koska roottorin hitsaus vie paljon aikaa. Tämä ratkaistiin kamerainvestoinneilla, joiden toimivuutta ei päästy testaamaan, koska investointeja ei ole vielä tehty.

Uudet investoinnit toisivat uutta nostetta Transtech OY:n roottoreiden valmistukseen. Jos tilauskanta pysyy tulevaisuudessa samana tai nousevana, ovat investoinnit kannattavia. Tulevaisuuden tilauskantaa on vaikeaa ennustaa.

TIME-menetelmää tutkittaessa tuli vastaan myös toinen Froniuksen valmistama suurtehohitsausmenetelmä TIMETWIN. Kyseessä on TIME-menetelmä, jossa kahdella virtalähteellä ohjataan synkronoidusti kahta yhdessä polttimessa sijaitsevaa lankaa. Kyseinen menetelmä olisi hyvä ottaa tarkastelun alle tulevaisuuden hankintoja miettiessä.


LÄHTEET

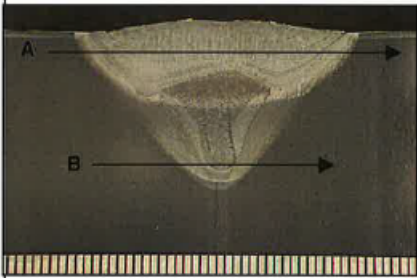
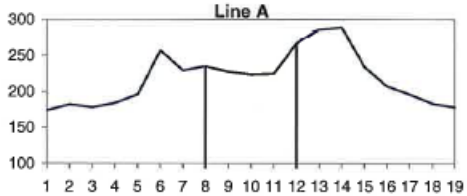
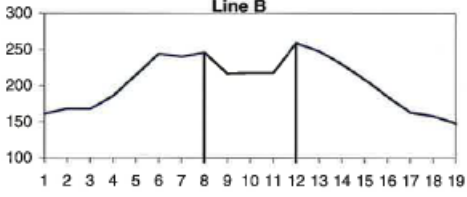

- [1] Stenbacka, N. 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys. 159 s. ISBN 978-951-98212-3-8
- [2] Transtech OY:n kotisivut <<http://www.transtech.fi/index.php?238>> (luettu 5.12.2013)
- [3] Ihalainen E. Valmistustekniikka. 11. muuttum p. ed. Helsinki: Otatieto; 2005.
- [4] Lukkari J. Hitsaustekniikka : perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki: Opetushallitus; 1997
- [5] GlobalSpec www-sivut Chapter 5 MIG/MAG-welding <<http://www.globalspec.com/reference/80953/203279/chapter-5-mig-mag-welding>> (luettu ja muokattu 7.11.2013)
- [6] Katainen H, Mäkinen A. Aine-liitostekniikka. [Porvoo]: [WSOY]; 1989.
- [7] Proniuksen toimittama materiaali (pdf) TIME-Welding Course Book
- [8] Proniuksen toimittama materiaali (pdf) TIME 5000 Digital esite
- [9] Pronius OY:n kotisivut <<http://www.pronius.fi/?p=72>> (luettu 14.11.2013)
- [10] Pronius OY:n kotisivut <<http://www.pronius.fi/?p=102>> (luettu 14.11.2013)
- [11] Lukkari J. 2006, Hitsauskustannukset – työtä, työtä, työtä! Hitsausuutiset 1/2006.
- [12] Koivisto K. Konetekniikan materiaalioppi. 12. uud. p. ed. Helsinki: Edita; 2008.
- [13] Hitsien tarkastus = Testing of welds. Helsinki : Suomen standardisoimisliitto, 1997 - (SFS-käsikirja, ISSN 0780-7961; 116). ISBN 952-5143-16-3 (nid.).
- [14] Esab Hitsauslisäaineet 2000
- [15] Risto Huotarinen suullinen haastattelu 28.11.2013

LIITTEET


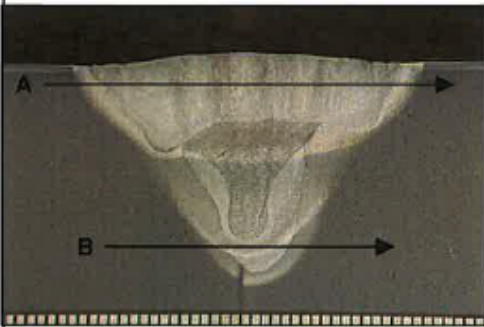
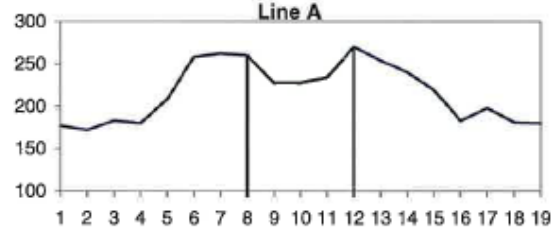
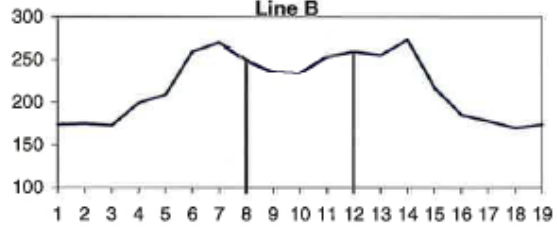
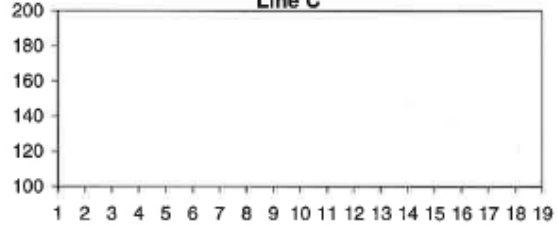

LIITE 1 Ensimmäisen koehitsauksen testausseleste

LIITE 2 Toisen koehitsauksen testausseleste

METLAB OY METALLURGICAL LABORATORY TAMPERE FINLAND		TESTAUSSELOSTE TEST REPORT		No. 4726/13					
				Sivu - Page 1 / 4					
HITSAUKSEN TUOTANTOKOE - WELDING PRODUCTION TEST :			VALMISTAJAN HITSAUSOHJE - MANUFACTURER'S WELDING PROCEDURE :						
Work no. TT71									
Tilaja - Purchaser : Transtech Oy Kokkolantie 1791 88200 Otanmäki			Tilaus no. - Order no. : Tulo pv. - Arrival dt. 10.12.2013 Aki Väinölä / Ref.664020/KP						
Tuote - Product : Levyn osaviistetty päittäisliitos - Butt weld of plate, preparation with root face				Koestusstandardi - Testing standard : Purchaser's instructions					
Levy - Plate : t = 120 mm, groove 10 mm		Materiaali - Material : S355K2 EN 10025-2							
Hitsauslisäaine - Welding consumable : OK Aristorod 12.50		Hitsausprosessi - Welding process : 135							
Hitsausasento - Welding position : PA									
Vetokokeet - Tensile tests :			Huom. - Remarks :						
No.	Paksuus Thickness [mm]	Leveys Width [mm]	Pinta-ala Area [mm ²]	Max. voima Max. load Fm [kN]	Venyisraja Proof strength Rp 0.2 [MPa]	Murtolujuus Tensile strength Rm [MPa]	Murtovenymä Elongation A5 %	Murtuman luonne ja sijainti Type and location of fracture	
--									
--									
--									
Vaatimukset - Requirements :									
Taivutuskokeet - Guided bend tests : SFS - EN 910				Huom. - Remarks :					
Former diameter d = mm				Distance between rollers l = mm					
No.	Tyyppi ja tunnus - Type and symbol			Mitat - Dimensions [mm]		Tulos - Result			
--	----								
--	----								
--	----								
Iskukokeet - Impact tests : SFS-EN ISO 148-1				Huom. - Remarks : SFS-EN ISO 9016 transverse specimens 10x10x55 mm					
No.	Loven sijainti Notch location	Loven tyyppi Notch type	Koelämpötila Test temp. [°C]	Charpy - V, KV2 Iskutyö Absorbed energy [J]		Keskiarvo Average [J]	Lisätietoja - Other information		
1	WELD	VWT0/2	- 40	47 / 58 / 44		50	Notch location in weld metal		
2	WELD	VWT0/2	- 40	36 / 49 / 42		42	Notch location in weld metal		
3	WELD	VWT0/2	- 40	41 / 42 / 41		41	Notch location in weld metal		
Vaatimukset - Requirements :				Yksittäinen arvo - Single value					
Muut kokeet - Other tests :				Lisätietoja - Additional information :			Hyväksytty Acceptable	Hylätty Rejected.	
Kovuuskoe - Hardness test VICKERS HV10				Acc. SFS-EN ISO 6507-1/SFS-EN 9015-1, see pages 2 and 3			X		
Makrorakennetutkimus - Macro examination				Acc. to SFS-EN ISO 5817/SFS-EN 1321, see page 4			X		
--									
--									
Huomautukset - Remarks :				METLAB OY					
Valvojan allekirjoitus - Supervisor's signature : --									
Selosteen osittainen kopioiminen on kielletty ilman METLAB Oyn lupaa. The report shall not be partially reproduced without the permission of METLAB Oy. Tulokset pätevät vain tutkituille näytteille. - The test results relate only to items tested. Mittauspöytäkirja - Measurement uncertainty : 95% luotettavuustaso - 95% confidence level, k=2 Rel., ReH: ±4.2%, Rp0.2: ±4.6%, Rm: ±1.6%, A: ±1.6%, Z: ±2.6% Iskukoe, energiataso - Impact test, energy level : 20J/±2.8J, 50J/±4.3J, >100J ±12.8J Kovuuskokeet - Hardness tests : Brinell HBW: ±2.0%, Rockwell-C: ±2.9%, Vickers HV0.3-HV3 ±4.0%, HV5-HV10 ±2.5%				Jouni Ahlstedt Tutkimusinsinööri - Research engineer Testaus ja seloste pvm. Testing and report date 20.12.2013					
Osoite - Address METLAB OY PL 545 33101 (Nuutisarankatu 15 33900) Tampere				Puhelin - Telephone +358 - 3 - 31245800 e-mail : metlab@metlab.fi		Telefax +358 - 3 - 31245858 Internet : www.metlab.fi			

METLAB Oy METALLURGICAL LABORATORY		FINAS Finnish Accreditation Service T027 (EN ISO/IEC 17025)		KOVUUSTARKASTUSPÖYTÄKIRJA HARDNESS TEST REPORT VICKERS HARDNESS TEST		No. 4726 /13 SIVU - PAGE no 2 (4)										
TILAAJA - PURCHASER Transtech Oy Kokkolantie 1791 88200 Otanmäki				TILAAJAN TILAUS No. - PURCHASE ORDER No. 10.12.2013 / Aki Väinölä Ref. 664020 / KP												
TUOTE - PRODUCT Levyn osaviistetty päittäisliitos - Butt weld of plate, preparation with root Work no. TT71				VALMISTAJA - MANUFACTURER sample 1												
AINE - MATERIAL S355K2 EN 10025-2 + OK Aristorod 12.50				PIIRUSTUS No. - DRAWING No. t = 120 mm												
VICKERS HARDNESS SFS-EN ISO 6507-1/SFS-EN ISO 9015-1 TESTING MACHINE STRUERS DURASCAN 89 No. 233						KUORMA - LOAD HV 10										
TARKASTUSTULOS - TEST RESULTS																
YHTEENVETO: SUMMARY: MATERIAL 1 2																
<table border="1"> <tr> <td>BASE:</td> <td>161-182</td> <td>148-196</td> </tr> <tr> <td>HAZ:</td> <td>184-257</td> <td>185-289</td> </tr> <tr> <td>WELD:</td> <td>217-228</td> <td></td> </tr> </table>						BASE:	161-182	148-196	HAZ:	184-257	185-289	WELD:	217-228			
BASE:	161-182	148-196														
HAZ:	184-257	185-289														
WELD:	217-228															
WITNESS by						TESTAUKSEN SUORITTAJA - TEST BODY										
						PÄIVÄYS - DATE										
Tuula Hauta-aho						18.12.2013										
Osoite - Address		Puhelin - Telephone		Telefax												
METLAB OY PL 545, 33101 TAMPERE		(03) - 31245800		(03) - 31245858												

Da	Za	Ma	Ha	Db	Zb	Mb	Hb	Dc	Zc	Mc	Hc
1	B	1	174	1	B	1	161				
2	B	1	182	2	B	1	168			4726 /13	
3	B	1	178	3	B	1	168			2.1 (4)	
4	H	1	184	4	H	1	186			sample 1	
5	H	1	196	5	H	1	215				
6	H	1	257	6	H	1	244				
7	H	1	229	7	H	1	240				
8	F	1	235	8	F	1	246				
9	W	W	228	9	W	W	217				
10	W	W	224	10	W	W	218				
11	W	W	225	11	W	W	218				
12	F	2	267	12	F	2	259				
13	H	2	286	13	H	2	248				
14	H	2	289	14	H	2	230				
15	H	2	234	15	H	2	209				
16	H	2	207	16	H	2	185				
17	B	2	196	17	B	2	163				
18	B	2	183	18	B	2	158				
19	B	2	178	19	B	2	148				

METLAB Oy METALLURGICAL LABORATORY		 FINAS <small>Finish Accreditation Service</small> T027 (EN ISO/IEC 17025)		KOVUUSTARKASTUSPÖYTÄKIRJA HARDNESS TEST REPORT VICKERS HARDNESS TEST		No. 4726 /13													
		SIVU - PAGE no 3 (4)																	
TILAAJA - PURCHASER Transtech Oy Kokkolantie 1791 88200 Otanmäki				TILAAJAN TILAUS No. - PURCHASE ORDER No. 10.12.2013 / Aki Väinölä Ref. 664020 / KP															
TUOTE - PRODUCT Levyn osaviistetty päittäisliitos - Butt weld of plate, preparation with root Work no. TT71				VALMISTAJA - MANUFACTURER sample 2															
AINE - MATERIAL S355K2 EN 10025-2 + OK Aristorod 12.50				PIIRUSTUS No. - DRAWING No. t = 120 mm															
VICKERS HARDNESS SFS-EN ISO 6507-1/SFS-EN ISO 9015-1 TESTING MACHINE STRUERS DURASCAN 80 No. 233						KUORMA - LOAD HV 10													
TARKASTUSTULOS - TEST RESULTS																			
																			
																			
																			
YHTEENVETO: SUMMARY: <table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIAL</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BASE:</td> <td>172-183</td> <td>170-198</td> </tr> <tr> <td>HAZ:</td> <td>180-270</td> <td>183-273</td> </tr> <tr> <td>WELD:</td> <td>228-253</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								MATERIAL	1	2	BASE:	172-183	170-198	HAZ:	180-270	183-273	WELD:	228-253	
MATERIAL	1	2																	
BASE:	172-183	170-198																	
HAZ:	180-270	183-273																	
WELD:	228-253																		
WITNESS by		TESTAUKSEN SUORITTAJA - TEST BODY				PÄIVÄYS - DATE													
		 Tuula Hauta-aho				18.12.2013													

Osoite - Address

Puhelin - Telephone

Telefax

 METLAB OY
 PL 545, 33101 TAMPERE

(03) - 31245800

(03) - 31245858

Da	Za	Ma	Ha	Db	Zb	Mb	Hb	Dc	Zc	Mc	Hc
1	B	1	177	1	B	1	174				
2	B	1	172	2	B	1	175			4726 /13	
3	B	1	183	3	B	1	173			3.1 (4)	
4	H	1	180	4	H	1	199			sample 2	
5	H	1	208	5	H	1	209				
6	H	1	258	6	H	1	259				
7	H	1	262	7	H	1	270				
8	F	1	260	8	F	1	250				
9	W	W	228	9	W	W	236				
10	W	W	228	10	W	W	234				
11	W	W	234	11	W	W	253				
12	F	2	270	12	F	2	259				
13	H	2	254	13	H	2	255				
14	H	2	240	14	H	2	273				
15	H	2	219	15	H	2	217				
16	H	2	183	16	H	2	185				
17	B	2	198	17	B	2	178				
18	B	2	181	18	B	2	170				
19	B	2	180	19	B	2	174				

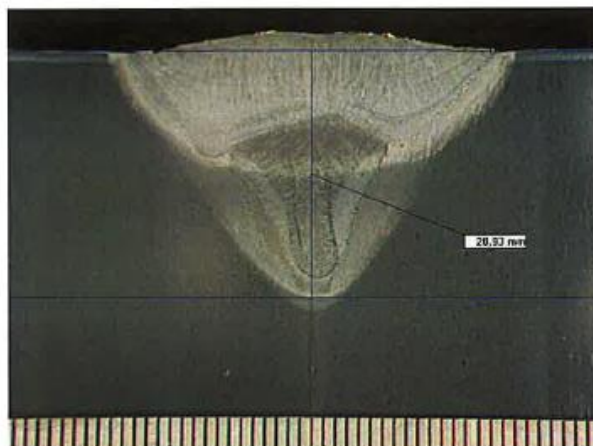
METLAB OY
Metallurgical
Laboratory
Tampere
Finland

**METALLOGRAAFINEN TARKASTELU -
METALLOGRAPHIC EXAMINATION**

Work no. TT71

No. 4726 / 13

Sivu – Page 4 / 4



Kuva 4726 / 1

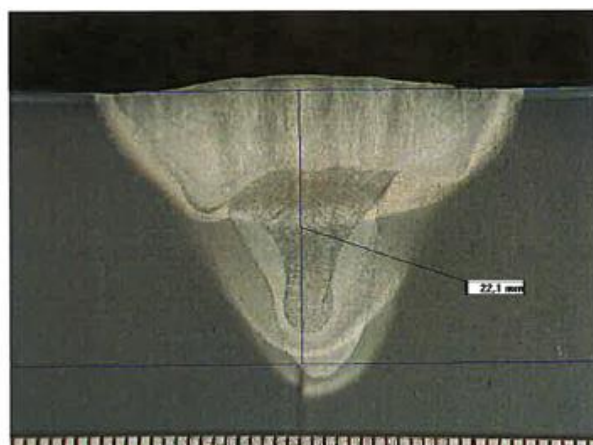
Hitsin makrorakenne.
Näyte 1.

Mittajana kuvassa, jakoväli
1 mm.
Syövyte: Nital 3 %

Figure 4726 / 1

Macrostructure of the
weld.
Sample 1.

Ruler on the image, 1 mm
division.
Etchant: Nital 3 %



Kuva 4726 / 2

Hitsin makrorakenne.
Näyte 2.

Mittajana kuvassa, jakoväli
1 mm.
Syövyte: Nital 3 %

Figure 4726 / 2


Macrostructure of the
weld.
Sample 2.

Ruler on the image, 1 mm
division.
Etchant: Nital 3 %

Osoite – Address
METLAB OY
PL 545 33101 (Nuutisarankatu 15 33900) Tampere

Puhelin – Telephone
+358 - 3 - 31245800
e-mail : metlab@metlab.fi

Telefax
+358 - 3 - 31245858
Internet : www.metlab.fi

METLAB OY METALLURGICAL LABORATORY TAMPERE FINLAND		TESTAUSSELOSTE TEST REPORT				No. 593/14		
HITSUKSEN TUOTANTOKOE - WELDING PRODUCTION TEST : TT72		VALMISTAJAN HITSASOHJE - MANUFACTURER'S WELDING PROCEDURE : --						
Tilaaja - Purchaser : Transtech Oy Kokkolantie 1791 88200 Otanmäki				Tilaus no. - Order no. : Tulo pv. - Arrival dt. 14.02.2014 Aki Väinölä / 12.02.2014 ref.664020/KP. work 25/13				
Tuote - Product : Levyn päittäisiitos, osatunkeuma - Butt weld of plate, partial penetration Levy - Plate : t = 50 mm Materiaali - Material : S355K2 Hitsauslisäaine - Welding consumable : Esab OK Aristorod 12.50 Hitsausprosessi - Welding process : -- Hitsausasento - Welding position : -- Hitsaaja - Welder : --						Koestusstandardi - Testing standard : Purchaser's instructions		
Vetokokeet - Tensile tests : SFS-EN ISO 6892-1 B				Huom. - Remarks : Transverse specimens SFS-EN ISO 4136				
No.	Paksuus Thickness [mm]	Leveys Width [mm]	Pinta-ala Area [mm ²]	Max. voima Max. load Fm [kN]	Venyimisraja Proof strength Rp 0.2 [MPa]	Murtolujuus Tensile strength Rm [MPa]	Murtovenymä Elongation A5 %	Murtuman luonne ja sijainti Type and location of fracture
1	20.27	24.97	506.1	281.7	369	557	--	Ductile, basemetal
2	20.26	25.00	506.5	280.3	384 ReH	553	--	Ductile, basemetal
--								
Vaativuudet - Requirements :						470 630	For transverse tensile tests Acc. to SFS-EN 10025-2 : S355K2	
Taivutuskokeet - Guided bend tests : SFS - EN 910				Huom. - Remarks :				
Former diameter d = 4 a = 40 mm				Distance between rollers l = d + 3a = 70 mm		Transverse test specimens		
No.	Tyyppi ja tunnus - Type and symbol			Mitat - Dimensions [mm]		Tulos - Result		
3	Sivutaivutus - Side bend SBB			20 x 10		No defects 180 ° , Acceptable		
4	Sivutaivutus - Side bend SBB			20 x 10		No defects 180 ° , Acceptable		
5	Sivutaivutus - Side bend SBB			20 x 10		No defects 180 ° , Acceptable		
6	Sivutaivutus - Side bend SBB			20 x 10		No defects 180 ° , Acceptable		
Iskukokeet - Impact tests : SFS-EN ISO 148-1				Huom. - Remarks : SFS-EN ISO 9016 transverse specimens 10 x 10 x 55 mm				
No.	Loven sijainti Notch location	Loven tyyppi Notch type	Koelämpötila Test temp. [°C]	Charpy - V, KV2 Iskutyö Absorbed energy [J]		Keskianvo Average [J]	Lisätietoja - Other information	
7	WELD	VWT0/2	-40	38 / 30 / 41		36	Notch location in weld metal	
8	HAZ	VHT2/2	-40	28 / 63 / 40		44	Notch location in HAZ	
Vaativuudet - Requirements :				Yksittäinen arvo - Single value 19		27	Req. acc. to Purchaser	
Muut kokeet - Other tests :				Lisätietoja - Additional information			Hyv. Acc.	Hyl. Not acc.
Kovuuskoe - Hardness test VICKERS HV 0				Acc. SFS-EN ISO 6507-1/SFS-EN 9015-1, see page 2			X	
Makrorakennetutkimus - Macro examination				Acc. to SFS-EN ISO 5817/SFS-EN 1321, see page 3			X	
Valvojan allekirjoitus - Supervisor's signature				 METLAB OY Jouni Ahlstedt Tutkimusinsinööri - Research engineer Testaus ja seloste pvm. Testing and report date 21.02.2014				
Selosteen osittainen kopioiminen on kielletty ilman METLAB Oyn lupaa. The report shall not be partially reproduced without the permission of METLAB Oy. Tulokset pätevät vain tutkittuille näytteille. - The test results relate only to items tested. Mittausepävarmuus - Measurement uncertainty : 95% luotettavuustaso - 95% confidence level, k=2 ReL, ReH: ±4.2%, Rp0.2: ±4.6%, Rm: ±1.6%, A: ±1.6%, Z: ±2.6% Iskukoe, energiataso - Impact test, energy level : 20J/±2.8J, 50J/±4.3J, >100J ±12.9J Kovuuskokeet - Hardness tests : Brinell HBW: ±2.0%, Rockwell-C: ±2.9%, Vickers HV0.3-HV3 ±4.0%, HV5-HV10 ±2.5%								
Osoite - Address METLAB OY PL 545 33101 (Nuutisarankatu 15 33900) Tampere				Puhelin - Telephone +358 - 3 - 31245800 e-mail : metlab@metlab.fi		Telefax +358 - 3 - 31245858 Internet : www.metlab.fi		

METLAB Oy METALLURGICAL LABORATORY FINAS Finnish Accreditation Service TU27 (EN ISO/IEC 17025)		KOVUUSTARKASTUSPÖYTÄKIRJA HARDNESS TEST REPORT VICKERS HARDNESS TEST No. 593/14 SIVU - PAGE no 2 (3)													
TILAAJA - PURCHASER Transtech Oy Kokkolantie 1791 88200 Olanmäki		TILAAJAN TILAUS No. - PURCHASE ORDER No. Aki Väinölä / 12.02.2014 ref. 664020/KP, work 25/13													
TUOTE - PRODUCT Levyn peltäisliitos, osatunkeuma - Butt weld of plate, partial penetration Work no. TT72		VALMISTAJA - MANUFACTURER													
AINE - MATERIAL S355K2 + Esab DK Aristorod 12.50		PIIRUSTUS No. - DRAWING No. t = 50 mm													
VICKERS HARDNESS SFS-EN ISO 6507-1/SFS-EN ISO 9015-1 TESTING MACHINE STRUERS DURASCAN # No. 647		KUORMA - LOAD HV 19													
TARKASTUSTULOS - TEST RESULTS															
YHTEENVETO: SUMMARY: <table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIAL</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BASE:</td> <td>148-184</td> <td>147-187</td> </tr> <tr> <td>HAZ:</td> <td>191-239</td> <td>188-234</td> </tr> <tr> <td>WELD:</td> <td>205-240</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		MATERIAL	1	2	BASE:	148-184	147-187	HAZ:	191-239	188-234	WELD:	205-240			
MATERIAL	1	2													
BASE:	148-184	147-187													
HAZ:	191-239	188-234													
WELD:	205-240														
WITNESS by		TESTAUKSEN SUORITTAJA - TEST BODY													
		Tuula Hauta-aho													
		PÄIVÄYS - DATE 19.2.2014													

Osoite - Address

Puhelin - Telephone

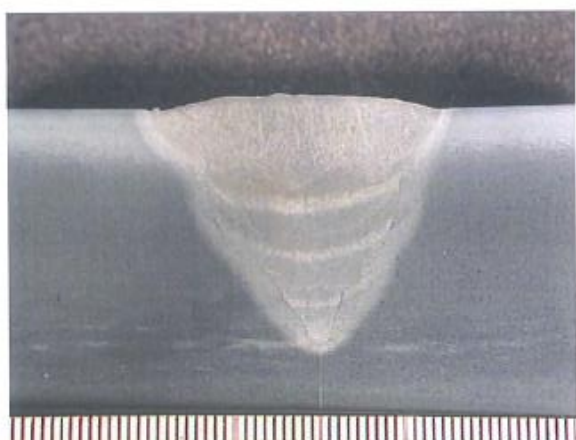
Telefax

 METLAB OY
 PL 545, 33101 TAMPERE

(03) - 31245800

(03) - 31245858

Da	Za	Ma	Ha	Db	Zb	Mb	Hb	Dc	Zc	Mc	Hc
1	B	1	177	1	B	1	149				
2	B	1	181	2	B	1	148			593 /14	
3	B	1	184	3	B	1	165			2.1 (3)	
4	H	1	191	4	H	1	201				
5	H	1	193	5	H	1	212				
6	H	1	223	6	H	1	226				
7	H	1	219	7	H	1	234				
8	F	1	222	8	F	1	239				
9	W	W	205	9	W	W	240				
10	W	W	208	10	W	W	232				
11	W	W	208	11	W	W	235				
12	F	2	223	12	F	2	232				
13	H	2	226	13	H	2	234				
14	H	2	232	14	H	2	231				
15	H	2	193	15	H	2	209				
16	H	2	186	16	H	2	192				
17	B	2	186	17	B	2	149				
18	B	2	187	18	B	2	155				
19	B	2	187	19	B	2	147				



Kuva 593 / 1

Hitsin makrorakenne.

Mittajana kuvassa, jakoväli
 1 mm.

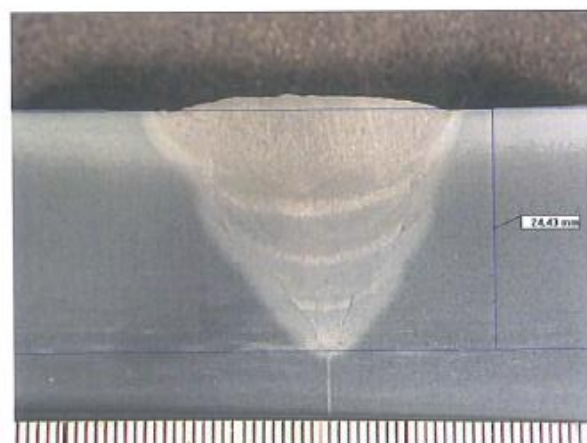
Syövyte: 3 % Nital

Figure 593 / 1

Macrostructure of the
 weld.

Ruler on the image,
 division 1 mm.

Etchant: 3 % Nital



Kuva 593 / 2

Hitsin makrorakenne.
 Tunkeuma mitattu kuvaan.
 Mittajana kuvassa, jakoväli
 1 mm.

Syövyte: 3 % Nital

Figure 593 / 2

Macrostructure of the
 weld.
 Penetration measured on
 the figure.

Ruler on the image,
 division 1 mm.

Etchant: 3 % Nital