

Teemu Julmala

## **ULTRAÄÄNIHITSAUSKONEEN YLÖSNOSTO TUOTANTOON**

# ULTRAÄÄNIHITSAUSKONEEN YLÖSNOSTO TUOTANTOON

Teemu Julmala  
Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, Koneautomaatio

---

Tekijä: Teemu Julmala

Opinnäytetyön nimi: Ultraäänihitsauskoneen ylösnosto tuotantoon

Työn ohjaaja: Juha-Matti Virpi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2024

Sivumäärä: 31 sivua

---

Opinnäytetyö suoritettiin oululaisen Anicare oy:n toimeksiannosta tuotannonkehittämistehtävänä. Rudolf-seurantalaitteen muovisten kuorien liittämismenetelmä haluttiin muuttaa liimausmenetelmästä pelkästään ultraäänihitsattavaksi. Yhtiön kanssa on käyty läpi, mitä ultraäänihitsauslaitteiston tulee pystyä suorittamaan ja mitä vaatimuksia hitsatulle tuotteelle asetetaan. Yhtiössä käytetään liimausta modulaarisen seurantalaitteen kuorien yhdistämiseen. Liimaus on ollut luotettava liittämismenetelmä, mutta yhtiö haluaa nostaa tuotteen valmistuskapasiteettia ja laskea samalla merkittävästi tuotteen valmistusaikaa. Yhtiöllä on valmiiksi hankittuna ultraäänilaitteisto ja se haluttiin ottaa käyttöön tuotannossa ainoana liittämismenetelmänä tuotteelle.

Työssä perehdyttiin muovien ultraäänihitsauksen aineistoon ja siihen liittyvään laitteistoon ja hitsausparametrien määrittämiseen. Ultraäänihitsattavan tuotteen täytyy olla täysin vesitiivis saumataan hitsauksen jälkeen, ja sauman tiiviyden testaamiseen yhtiöllä on käytössään testauslaitteisto. Työssä määritettiin hitsausparametrit hitsattavalle kappaleelle, mutta hitsauksen toistettavuus ei aikataulurajoitteiden puitteissa toteutunut. Kappaleen sauman vesitiiviyyttä ei ehditty testamaan kuin yhdelle kappaleelle onnistuneesti. Työssä ei päästy tavoitteeseen ottaa ultraäänihitsauskone käyttöön tuotannossa.

---

Asiasanat: ultraääni, hitsaus, IoT, teknologia, muovi, porotalous,

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Program in Mechanical Engineering, Option of Machine Automation

---

Author: Teemu Julmala

Title of thesis: Implementation of ultrasonic welding machinery in production

Supervisor: Juha-Matti Virpi

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 31

---

The thesis was carried out in production development for Anicare oy in Oulu. The task was to change the joining method of the plastic shells of the company's Rudolf tracking device from glue joints to ultrasonic welding. The expected performance of the ultrasonic welding equipment, as well as the quality requirements set for the welded product, were agreed with in negotiations with the company. Currently, the company uses glue joints to connect the shells of their modular tracking device. This has been a reliable joining method, but the company wishes to increase their manufacturing capacity for the product, while significantly reducing the manufacturing time. The company has already purchased ultrasonic welding machinery and equipment and wishes to use ultrasonic welding as the sole production method.

During the work, materials regarding the ultrasonic welding of plastics, the related machinery, as well as the defining of welding parameters were studied. The seams of the ultrasonically welded product must form a hermetic seal after welding, and the company has the required testing equipment to confirm that. In the work, the welding parameters were determined for only a couple of pieces to be welded, but the reproducibility of the welding was not realized within the framework of schedule constraints. It was only possible to test a single welded piece for a confirmed, successfully formed hermetic seal. The work did not reach the set goal of using the ultrasonic welding machine in production.

---

Keywords: ultrasonic, welding, IoT, technology, plastic, reindeer husbandry

## ALKULAUSE

Haluan kiittää työn tarjoamisesta oululaisen Anicare oy:n toimitusjohtajaa Aki Marttilaa ja työn ohjaajana toiminutta Oulun ammattikorkeakoulun edustajaa lehtori Juha-Matti Virpiä hyvästä yhteistyöstä ja neuvoista opinnäytetyön aikana. Lämpimät kiitokset myös kaikille, jotka ovat auttaneet minua matkani varrella.

28.5.2024

Teemu Julmala

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
ALKULAUSE.....	5
SANASTO.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 ULTRAÄÄNIHITSAUKSEN PERUSTEET .....	9
2.1 Taajuus .....	9
2.2 Mekaaniset värähtelytyypit .....	10
2.3 Käytetty tuotantotekniikka.....	10
2.4 Ultraäänihitsauskoneen valinta.....	10
2.4.1 Äänipää.....	13
2.4.2 Hitsausalusta eli jigi .....	14
2.4.3 Konvertteri eli muunnin .....	14
2.4.4 Vahvistin .....	15
3 HITSAUKSEN ALOITTAMINEN JA TARVITTAVAT TOIMENPITEET.....	16
3.1 Amplitudin mittaaminen äänipäästä.....	16
3.2 Äänipään, hitsauskappaleen ja jigin kohdistaminen toisiinsa .....	19
3.3 Koehitsaus.....	19
3.4 Kappaleen geometrian tarkastelua.....	21
3.5 Hitsatun tuotteen sauman tiivyyden testaaminen .....	22
4 HITSAUSPROSESSIN ASETUS.....	24
4.1 Hitsausparametrit ja niiden valinta.....	24
4.2 Hitsaus tuotannossa .....	24
4.3 Hitsattavan kappaleen materiaalin valinta ja sen vaikutus hitsaukseen.....	24
4.4 Äänipään ja vahvistimen materiaalin valinta.....	25
5 TYÖN TULOKSET.....	27
5.1 Tulosten kirjaaminen .....	27
5.2 Jatkokehitys.....	27
6 YHTEENVETO .....	29
LÄHTEET.....	30

## SANASTO

Baari	paineen yksikkö, jota käytetään kuvaamaan kappaleen tai aineen ulkoista tai sisäistä voimaa tai voimavaikutusta
EN	standardi on vahvistettu eurooppalaiseksi standardiksi
IoT-laite	internet of things on laite, joka voidaan yhdistää internetiin datan vastaanottamiseksi tai lähettämiseksi
SFS	standardi on vahvistettu Suomessa
YKK	Yläkuolokohta on männän liikeradan ylin piste, jossa mäntä on yläasennossa ja sen liike on nolla

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui oululaisen Anicare oy:n tarjoama tuotannonkehittämistehtävä. Yhtiö haluaa muuttaa oman tuotteensa Rudolf-seurantalaitteen kuorien yhteen liittämismenetelmää niin, että tuotteen valmistusaika lyhenee ja valmistuskapasiteettia saadaan nostettua nykyisestä. Nykyisenä kuorien yhteen liittämismenetelmänä käytetään liimausta, joka vie paljon aikaa, koska liiman kuivuminen vesitiiviin sauman aikaansaamiseksi kestää yli vuorokauden ajan. Työn tavoitteena on ottaa tuotannossa käyttöön uutena liittämismenetelmänä liimauksen sijaan ultraäänihitsauskoneella suoritettava hitsaus. Työssä aletaan määrittämään ja testaamaan käytännönläheisesti ultraäänihitsausparametrit hitsattavalle tuotteelle. Kokeilemalla erilaisia hitsausasetuksia on tarkoituksena löytää hitsausparametrit, joilla voidaan saavuttaa vesitiivis hitsausseama. Yhtiöllä on valmiina ultraäänihitsauslaitteisto ja työssä käytetään apuna erilaisia mitta- ja testausvälineitä määrittämään ja löytämään optimaaliset hitsausparametrit laadukkaalle hitsausaumalle.

Rudolf-seurantalaite on maailman pienimpiä IoT-laitteita (Internet of Things), jotka kommunikoivat matkapuhelinverkkojen välityksellä. Laite kiinnitetään eläimen korvaan, ja se lähettää reaaliajassa eläimen liikehdinnästä ja terveydentilasta tietoja digitaalisesti. Suomessa maaseutu on kasvavissa määrin digitalisoitunut jo vuosien ajan, ja eläinten kasvattaminen isoissa laumoissa asettaa haasteita. Maataloudessa kaikilla eläimillä on identifiointilaite kiinnitettynä joko staattisena tai moduläärisenä laitteena. (1.)



## 2 ULTRAÄNIHITSAUKSEN PERUSTEET

Ultraäänihitsaus on liittämismenetelmä, missä hyödynnetään ultraäänialueella värähteleviä aaltoja liittämään samaa tai eri materiaalia olevat kappaleet toisiinsa. Ultraäänihitsauskoneen generaattori muuttaa sähköverkosta saatavan matalataajuisen 50–60 hertsisen vaihtovirran korkeataajuiseksi vaihtovirraksi, joka on esimerkiksi 20 kilohertsiä. Muuntimessa syntynyt vaihteleva sähkökenttä perustuu pietsosähköilmiöön, missä muuntimen sisällä olevat pietsokeraamit venyvät ja puristuvat sähkökentän tahdissa. Muuntimelta muodostuva mekaaninen värähtely ohjautuu vahvistimeen, joka välittää sen eteenpäin muokattuna tai muokkaamattomana äänipäälle. Hitsaamalla liitettävien kappaleiden liitospinnat painuvat yhteen, kun äänipää lasketaan puristuksen avulla niiden päälle. Liitospinnat kuumentuvat äänipäästä kappaleeseen siirtyvän mekaanisen värähtelyn seurauksena, muodostaen kitkaa ja liitospinnat muodostavat diffuusion. Diffuusiossa materiaalien polymeeriketjut kietoutuvat toisiinsa muodostaen vahvan hitsaussauman. (2, s. 11–14.)

### 2.1 Taajuus

Taajuus ilmaistaan hertseinä Hz, ja se tarkoittaa siniaallon jaksojen lukumäärää yhden sekunnin aikana ja sähkönsuunnan vaihtumista joka sekunnin aikana eli vaihtelunopeutta. (3, s. 61). Vaihejännite ilmaistaan voltteina V ja sen taajuus Suomessa on 50 hertsiä, ja vaihtovirta AC tarkoittaa sähkövirran kulkusuunnan muuttumista noin 100 kertaa sekunnissa. Taajuus suurenee sen mukaan, mitä enemmän jaksoja toistetaan sekunnin aikana. (4, s. 355–366.)

Amplitudi eli värähdystaajuus tarkoittaa värähdysliikkeen laajuutta. Ääni on sitä voimakkaampaa, mitä suurempi ääniaaltojen amplitudi on. Amplitudia asetettaessa on huomioitava, että jokaisella materiaalilla on oma resonansitaajuutensa eli värähtelytaajuutensa, jolla materiaalin molekyyllitasolla atomit värähtelevät voimakkaimmin. Sopivan taajuuden valintaan ultraäänihitsauksessa vaikuttavat materiaalin paksuus sekä hitsattavan alueen koko. (5.)

## **2.2 Mekaaniset värähtelytyypit**

Ultraäänihitsauksessa voi ilmetä kolmea erilaista värähtelyaaltoyyppiä, joista ainoastaan pystysuuntaisesti kulkevat pitkittäiset aallot ovat toivottu aaltomuoto. Poikittaiset ja kiertyvät aallot kuuluvat ei-toivottuihin värähtelytyyppeihin, ja kiertyvät aallot saattavat aiheuttaa hitsauskoneen muuntajan tai generaattorin rikkoutumisen. (2. s. 62–63)

Pitkittäisten aaltojen etenemissuunta on sama kuin niiden värähtelysuunta, ja ne etenevät äänipään akselin suuntaisesti. Pitkittäiset aallot ovat energiankuljettajia ja niillä on suuri vaikutus hitsaustulokseen. Puhtaita pituussuuntaisia aaltoja esiintyy vain kappaleissa, joiden mitat ovat selkeästi suurempia kuin aallonpituus. (2, s. 61–62.) Äänen etenemisnopeus tarkoittaa aallonpituutta paikan suhteen jaksollisen ilmiön kahden vierekkäisen ja samassa vaiheessa olevan pisteen välisestä etäisyydestä toisiinsa (6, s. 180).

## **2.3 Käytetty tuotantotekniikka**

Työssä käytettiin laitteen kuorien liittämiseksi toisiinsa kappalehitsausta, jossa kaksi kappaletta pistetään värähtelemään toisiaan vasten ultraäänienergian avulla ja materiaali kappaleiden kontaktialueella sulaa ja syntyy hitsausliitos. Tällä tavalla hitsattavat kappaleet ovat yleensä ruiskuvalamalla valmistettuja, jotta niihin on saatu helposti valmistettua energiaohjain hitsausenergian liitosalueelle. Energiaohjaimen tehtävänä on ohjata hitsauksen aikana syntyvää sulamateriaalia saumassa tasaisen ja lujan hitsaussauman aikaansaamiseksi. (2, s. 111–112.)

## **2.4 Ultraäänihitsauskoneen valinta**

Ultraäänihitsauskoneen valinnannassa on otettava huomioon monia asioita ja koneen taajuuden ja tehokkuuden on sovelluttava hyvin valituille hitsausmateriaaleille. Koneen valinnassa kannattaa

myös ottaa huomioon hitsattavan kappaleen sauman pituus (2, s. 75). Taulukosta 1 nähdään hitsaussauman pituuden kasvaessa suuremmaksi sen vaikuttavan valittavan koneen taajuuteen laskevasti, mutta samalla teho nousee suhteessa korkeammaksi.

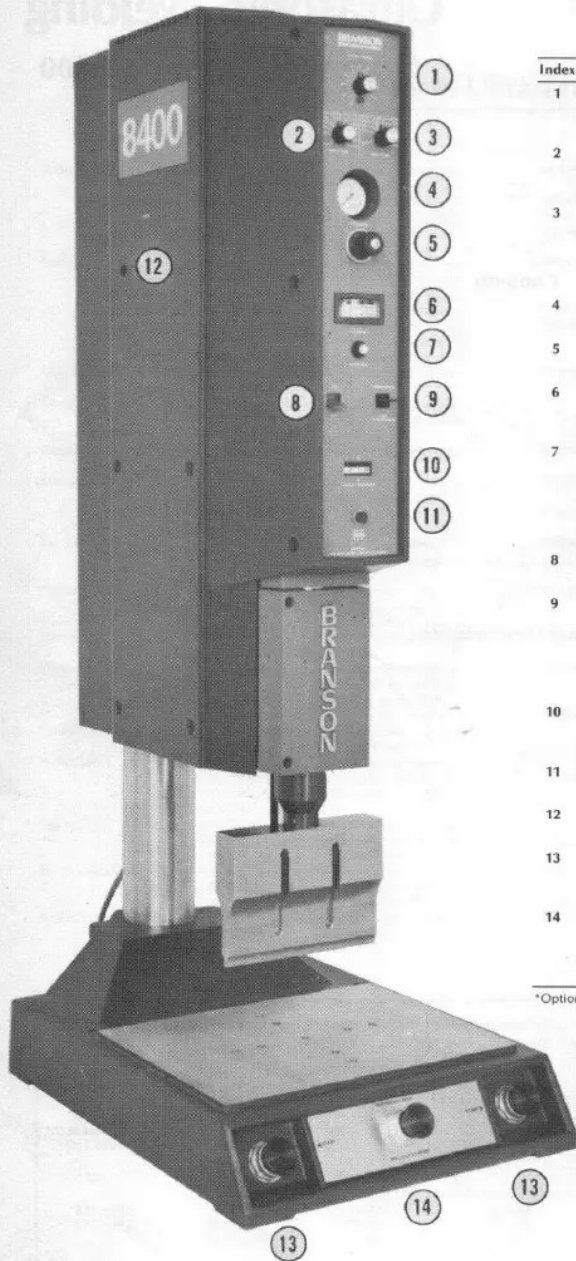
TAULUKKO 1. Hitsauskoneen valinta sauman pituuden perusteella (2, s. 75).

Taajuus kilo Hertzeinä (kHz)	Teho Watteina (W)	Sauman pituus senttimetreissä (cm)
40	700	25
20	1000	30
20	1500	45
20	2000	60
20	4000	90
15	4000	120

Hitsaussauman pituutta ei tosin voida kasvattaa kovin pitkäksi hitsattavassa kappaleessa, ja se onkin yksi ultraäänihitsauksen huonoista puolista. Hitsattavan sauman pituuden ollessa liian pitkä, värähtelyn teho heikkenee värähtelyn tapahtuessa liian suurella alueella ja hitsautuminen epäonnistuu. (2, s. 75.) Tämän takia ultraäänihitsaus soveltuu parhaiten pienille kappaleille. Isommissakin kappaleissa hitsautuminen onnistuu, jos kappale on suunniteltu hyvin ja värähtely saadaan kohdistumaan ainoastaan liitospintaan.

Yhtiöllä on hankittuna Branson ultrasonics -merkinen 8400-mallinen 20 kilohertsinen ultraäänihitsauskone. Kone on valmistajan vanhempaa 800-sarjan mallistoa, ja se on ostettu alhaisemman hinnan ja sillä hitsattavien kuorien materiaali huomioiden. Kone suoriutuu ultraäänihitsauksesta, vaikka siinä ei olekaan hienoja digitaalisia näyttöjä ja yhtä runsaasti hitsausparametrien säätömahdollisuuksia kuin valmistajan uudemmissa ja paljon kalliimmista malleissa. Branson on ultraäänihitsauskoneita, tarvikkeita ja työkaluja valmistava ja myyvä yhdysvaltalainen yritys ja Emerson Electric osti sen tytäryhtiökseen vuonna 1984 (7). Kuvassa 1 nähdään yhtiön käytössä oleva ultraäänihitsauskone ja selityksiä sen toiminnoille.

# Principal Components



Index	Device	Function
1	Down Speed Control	Controls horn rate of descent. Return rate is fixed.
2	WELD TIME Control	Sets duration of ultrasonics (0.1 to 4 seconds).
3	HOLD TIME Control	Sets duration of clamping pressure on part after exposure to ultrasonics (.05 to 3 seconds).
4	PRESSURE Indicator	Indicates pressure applied to air cylinder.
5	PRESSURE Control	Adjusts pressure to air cylinder.
6	LOADING Meter	Indicates level of ultrasonics transmitted to horn.
7	OVERLOAD Indicator/ Reset Switch*	Indicates power supply overload. Also resets overload indicator when protection module is in the latching mode.
8	ON-OFF Switch	Applies main power to system.
9	HORN DOWN/TEST ULTRASONICS Switch	HORN DOWN position: Lowers Horn. TEST ULTRASONICS position: Energizes power supply for tuning purposes.
10	Dynamic Trigger Control	Controls clamp pressure prior to ultrasonic application.
11	Power ON/OFF Indicator	Indicates when main power is on or off.
12	Tuning Control	Optimizes power supply performance.
13	Non-Tie Down Palm Buttons	Activates the system when pressed simultaneously.
14	Emergency Stop Button	Ends welding cycle and causes horn to retract. Pull out to reset.

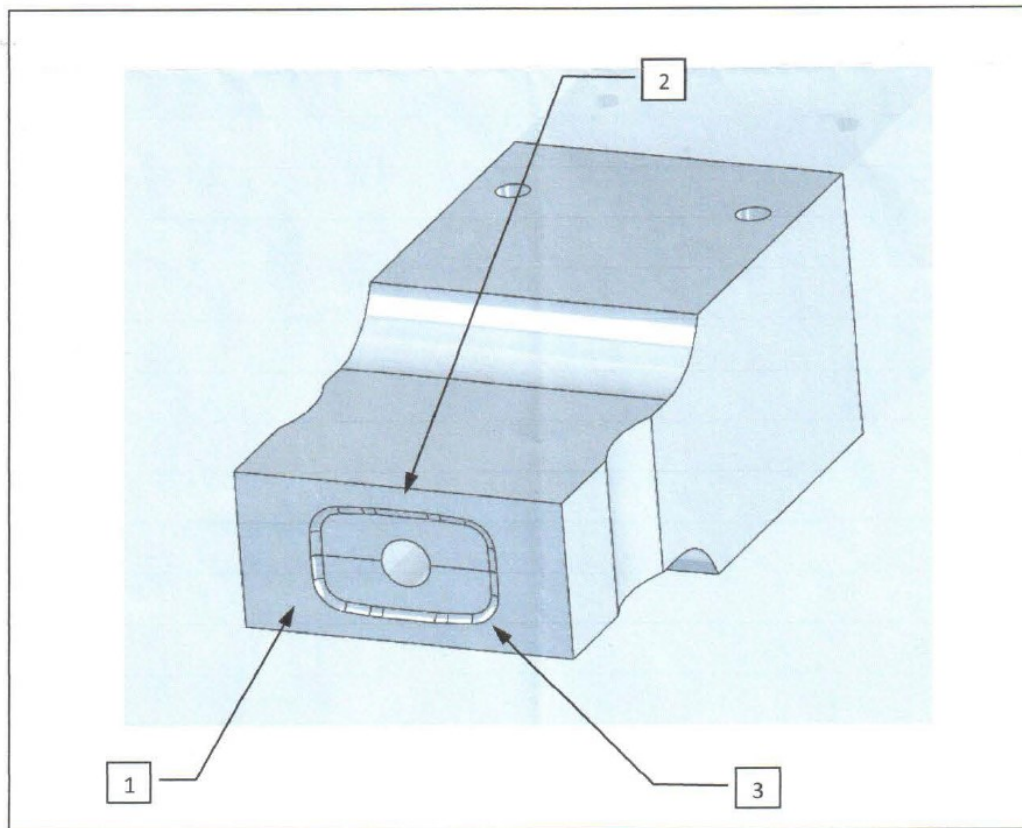
\*Optional.

KUVA 1. Branson 8400 -käyttöohjekirjan kuva koneesta ja selitykset toiminnoille englanniksi (8)

## 2.4.1 Äänipää

Äänipään tehtävä ultraäänihitsauksessa on siirtää vahvistimelta tulevan mekaanisen värähtelyn lisäksi tarvittava puristusvoima hitsattaviin kappaleisiin. Äänipään tehtäviin kuuluu myös siirtää tarvittava amplitudi hitsattaviin kappaleisiin, muuntaa sitä tarvittaessa ja muovata kappaletta. (2, s. 54.) Äänipää tunnetaan myös nimillä sarvi ja hitsauspää, ja kaikki nimet tarkoittavat samaa osaa.

Yhtiöllä on käytössään Ritmaco oy:n valmistama suorakulmainen olallinen äänipää, joka on suunniteltu tapauskohtaisesti Rudolf-laitteen kuorien hitsaamiseen. Olallinen äänipää koostuu kahdesta osasta, joista kummankin pituus on  $\frac{1}{4}$  värähtelyaallon pituudesta. Kuvasta 2 nähdään äänipään kontaktialueelle tehty muoto, joka mukailee hitsattavan Rudolf-laitteen kuoren ylempää osaa värähtelyn kohdistamiseksi liitospinnalle.



KUVA 2. Ritmaco oy:n valmistama äänipää Rudolf-laitteen kuorien hitsaamiseen (9)

Äänipään osien halkaisijat ovat erisuuruiset ja ne yhdistyvät toisiinsa melko pienellä pyöristyksellä. Tämän tyyppisellä äänipäällä voidaan saavuttaa melko suuri amplitudi, ja vahvistussuhde on 1:9.

Haittapuolena tällä muodolla on äänipään suuri kuormittuminen ultraäänihitsauksessa. (2, s. 59–61.)

#### **2.4.2 Hitsausalusta eli jigi**

Kappalehitsauksessa hitsausalusta mukailee hitsattavan kappaleen muotoja ja sitä kutsutaan silloin jigiksi. Jigi on ultraäänihitsauskoneen alasimeen kiinnitettävä työkalu, johon asetetaan toisiinsa liitettävät hitsauskappaleet. Jigin tarkoituksena on toimia äänipään vastinkappaleena, ja jigi ei saa hitsauksen aikana värähdellä yhtään, jotta värähtelyenergia siirtyy hitsattaviin kappaleisiin. (2, s. 69–72.) Kuvasta 3 nähdään hitsauksessa käytettävä jigi, jonka materiaaliksi on valittu alumiini, ja se kuuluu jäykkiin jigeihin, jotka soveltuvat amorfisille muovilaaduille hyvin.



*KUVA 3. Anicare oy:n teettämä ultraäänihitsauksessa käytettävä jigi kiinnitettynä ultraäänihitsauskoneen alasimeen*

#### **2.4.3 Konvertteri eli muunnin**

Muuntimen tehtävänä on muuttaa generaattorilta tuleva korkeataajuinen sähkövirta mekaaniseksi värähtelyksi, joka on taajuudeltaan yhtä suuri kuin sähkövirta. Elektrostriktiivisen muuntimen sisällä on pietsosähköisiä keraameja ja kun niihin johdetaan sähkövirta, ne alkavat puristua ja venyä sähkövirran tahdissa. (2, s. 51.) Hitsauskoneen mukana toimitettu keraamiseen pietsosähköilmiöön perustuva muuntaja näkyy kuvassa 4.



KUVA 4. A) Bransonin elektrostriktiivinen muuntaja kuvattuna ylhäältä, B) muuntajan sivuprofiili

#### 2.4.4 Vahvistin

Vahvistimen tehtävänä on siirtää muuntimelta tulevaa mekaanista värähtelyä eteenpäin äänipäälle, ja vahvistimia on kolmea erilaista tyyppiä. Vahvistimet pienentävät muuntimelta tulevaa amplitudin määrää, välittävät sen vain eteenpäin sellaisenaan tai tarvittaessa voimistavat sitä äänipäälle. (10.) Kuvasta 5 nähdään eri muuntosuhteilla amplitudia siirtäviä vahvistimia värikoodattuina helpottamaan niiden tunnistamista toisistaan.



KUVA 5. Ylhäällä neljä titaanista ja alhaalla kuusi alumiinista Bransonin valmistamaa 800-sarjan ultraäänihitsauskoneeseen sopivaa kahdenkymmenen kilohertsin vahvistinta (10)

### 3 HITSUKSEN ALOITTAMINEN JA TARVITTAVAT TOIMENPITEET

Ensimmäisenä on tärkeä varmistaa ultraäänihitsauskoneen olevan täysin tasaisella ja suoralla alustalla. Jos kone on kaltevassa asennossa tason suhteen, se saattaa vaikuttaa negatiivisesti hitsaustulokseen vahingoittaen konetta tai siihen kiinnitettyjä osia ja työkaluja. Tason suoruuden tarkastamiseen käytettiin apuna vesivaakaa ja metallista viivoitinta löytämään mahdollisia epätasaisuuksia. Mittauksia otettiin monesta kohtaa työpöytää, jonka päällä kone sijaitsee, ja hitsauskoneen alasimen suoruutta tarkastettiin samalla. Alasimen pinta on lievästi vaurioitunut ja siihen on muodostunut kulumaa ja lommoja, jotka eivät kuitenkaan mittauksessa vaikuttaneet pinnansuoruuteen. Kaikki näytti olevan mittausten perusteella tasaisen vaakatasossa, ja voitiin siirtyä seuraavaan vaiheeseen.

#### 3.1 Amplitudin mittaaminen äänipäästä

Bransonin ohjekirjan mukaan, jokainen erilainen äänipään, muuntajan ja vahvistimen yhdistelmä täytyy hienosäätää hitsauskoneen virtalähteen mukaan sopivaksi. Hienosäätö suoritetaan kääntämällä talttapäisellä ruuvimeisselillä koneen kyljessä olevasta aukosta virtalähteen piirilevyllä olevaa säätömekanismia. Koneen etuosassa on mittari, joka näyttää lukeman äänitorveen lähetetyn ultraäänien tasosta. Hitsauskoneessa on testivipu, mistä voidaan testata amplitudia tai laskea äänipää kohti hitsausalustaa. Työntämällä testivipua ylöspäin, mittariin ilmestyy lukema ja kun vipu vapautetaan nolla-asentoon, myös mittariston lukema palautuu takaisin nolla-asentoon. Virtalähteen hienosäätö mekanismissa on 36 eri pykälää ja niitä vertaillaan keskenään, jotta saadaan selville minkä pykälän lukema mittaristossa testivipua kääntämällä on pienin ja jätetään mekanismi siihen pykälään. (7.)

Amplitudia testattaessa testivivusta ei kytkeydy ultraääni päälle, mutta äänipäähän muodostuu mekaanista värähtelyä ja äänipään venymä voidaan mitata. Paineilmaa ei tässä vaiheessa ollut tarpeellista kytkeä vielä päälle, koska se ei vaikuta mitenkään mitattavan amplitudin määrään. Amplitudin mittaamiseen käytettiin mittakelloa, joka kiinnitettiin jalustaan ja jalusta kiinnitettiin ultraäänihitsauskoneen alasimeen tukevasti. Konetta laskettiin pystyakselillaan alaspäin ja asetettiin mittakellon mittavarsi koskettamaan äänipään työpintaa ja lukittiin kone paikoilleen. Mittakellon lukema kalibroitiin asteikollaan osoittamaan nollaa.

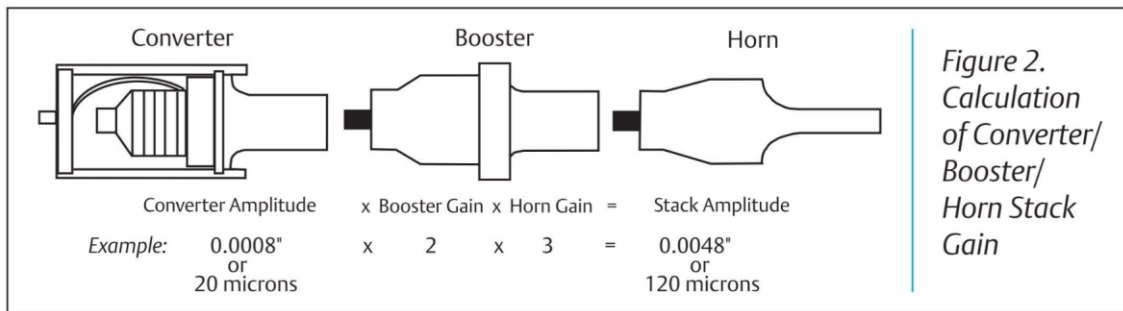


Mittauksia otettiin useammasta äänipään työpinnan eri kohdasta äänipään tarkan amplitudiarvon varmentamiseksi, ja mittakello on kalibroitava uudestaan nolla-asemaansa aina, kun sitä on siirretty uuteen mittausalueeseen. Kuvasta 6 nähdään mittakello kalibroituna lähtöasetelmaan ennen amplitudimittauksen aloittamista.



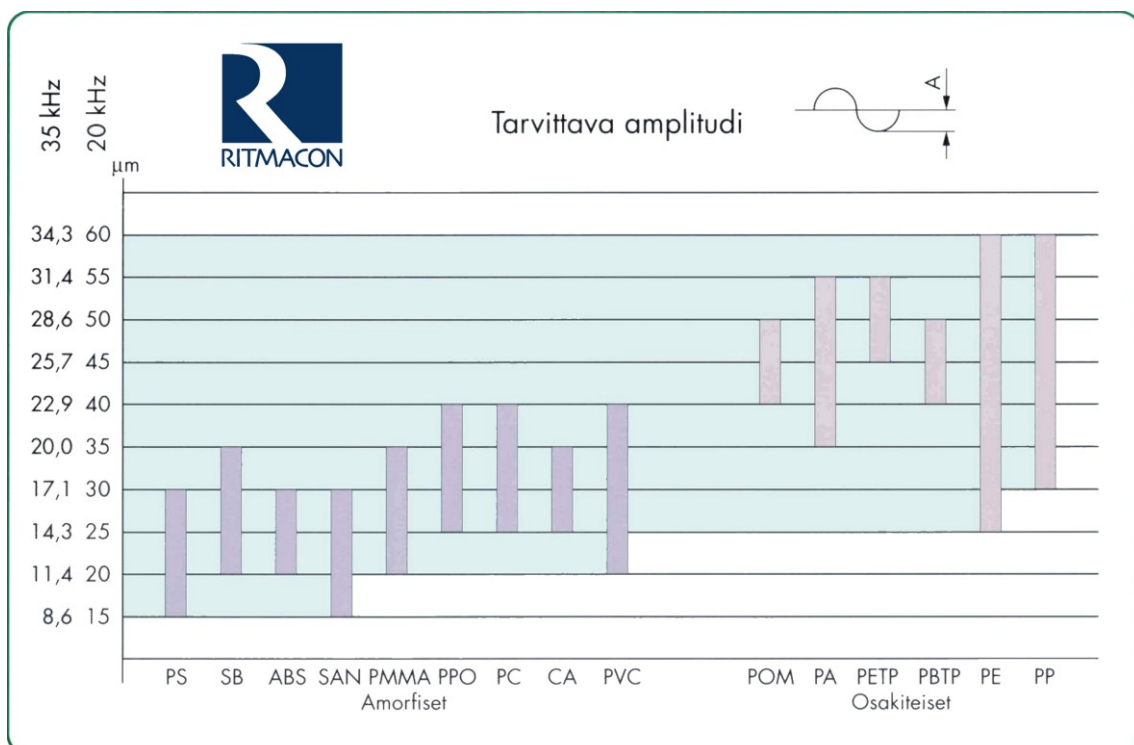
*KUVA 6. Mittakello kalibroituna nolla-asemaan ja valmiina amplitudin mittaamiseen äänipään työpinnasta*

Ultraäänihitsauskoneen muuntimen, vahvistimen ja äänipään venymästä voidaan laskea koneen kokonaisuutena tuottama amplitudin määrä. Mittakellolla mitataan muuntimen, vahvistimen ja äänipään pituussuuntaista venymää mikrometreissä ( $\mu\text{m}$ ) joka on metrin miljoonasosa. Kuvasta 7 nähdään Emersonin laatima ohje, miten voidaan laskea kokonaisamplitudin määrä.



KUVA 7. Muuntimelta tuleva amplitudi kerrotaan ensin vahvistimen muuntoluvulla ja siitä saatu luku kerrotaan äänipään arvolla ja saadaan kokonaisamplitudin määrä mikrometreissä (10)

Äänipää on suunniteltu kytkeytymään vahvistimeen ilman värähtelyn vaiheensiirtoa. Jos värähtelyssä tapahtuu vaiheensiirto värähtelyjen kumotessa toisensa kokonaan, aiheutuu sakkautuminen. Sakkauksessa äänipäästä muuntimeen palaavat häiriövärähtelyt saattavat vahingoittaa generaattoria tai muunninta aiheuttaen muuntimen pietsosähköisten levyjen värähtelyn sivusuunnassa. (2, s. 61.) Tämän takia amplitudia säädettyessä on oltava tarkkana, ja hitsauksen aikana on tärkeä myös kuunnella poikkeavia epänormaaleja ääniä. Esimerkiksi kova ja kimeä ääni hitsauksen aikana värähtely-yksikön alueelta saattaa olla merkki vioittuneesta äänipäästä. Rudolf-laitteen kuorissa käytetään materiaalina PC polykarbonaattimuovia ja amplituditalukosta (kuva 8) nähdään polykarbonaatin värähtelytaajuuden olevan 25–40 mikrometriä käytettäessä 20 kHz:n ultraäänihitsauskonetta.



*KUVA 8. Ritmaco oy:n amplituditaulukko ultraäänihitsattaville amorfisille ja osakiteisille muoveille (11)*

### **3.2 Äänipään, hitsauskappaleen ja jiggin kohdistaminen toisiinsa**

Yhtenä ultraäänihitsauksen onnistumisen merkittävänä tekijänä on äänipään ja jigissä olevan hitsauskappaleen täydellinen kohdistuminen toisiinsa. Hitsausparametreja muuttamalla ei voida enää vaikuttaa sauman hitsautumiseen positiivisesti, jos kohdistusta ei ole sitä ennen tehty oikein. Mekaaninen värähtely ei välttämättä kohdistu oikealle alueelle kappaleessa, ja värähtelyaalto saattaa muuttua ei-toivotuksi. Äänipään, hitsauskappaleen ja jiggin kohdistaminen keskenään täysin suoraan tehtiin koordinaatiston x-, y- ja z-akselien mukaisesti. Virheiden vähentämiseksi on suositeltavaa, että kohdistamisen tekee kaksi henkilöä, siten kohdistus saadaan yleensä myös tehtyä nopeammin.

Hitsattava kappale asetetaan jigiiin ja tuodaan äänipäätä alaspäin, kunnes se koskettaa hitsattavaa kappaletta. Äänipää kohdistetaan suoraan jiggin ja kappaleen suhteen horisontaalisesti äänipäätä käännellen. Kohdistuksen apuna käytettiin ristilasermittatyökäluä ja sillä oli hyvä havainnoida äänipään mahdollinen liikahtaminen horisontaalisesti mittaamalla laserin etäisyys äänipään sivuissa suhteessa jigiiin ja hitsauskappaleeseen. Kohdistuksen jälkeen koneen yläosa lukitaan paikoilleen ja päästetään äänipää nousemaan ylös. Hitsattava kappale otetaan pois jigistä ja äänipää laskeetaan YKK-asentoon ja otetaan mittaus rakotulkilla äänipään työpinnan ja jiggin yläosan väliltä. Äänipään venymä huomioiden laskettiin hyvän hitsausetäisyyden olevan kolme millimetriä.

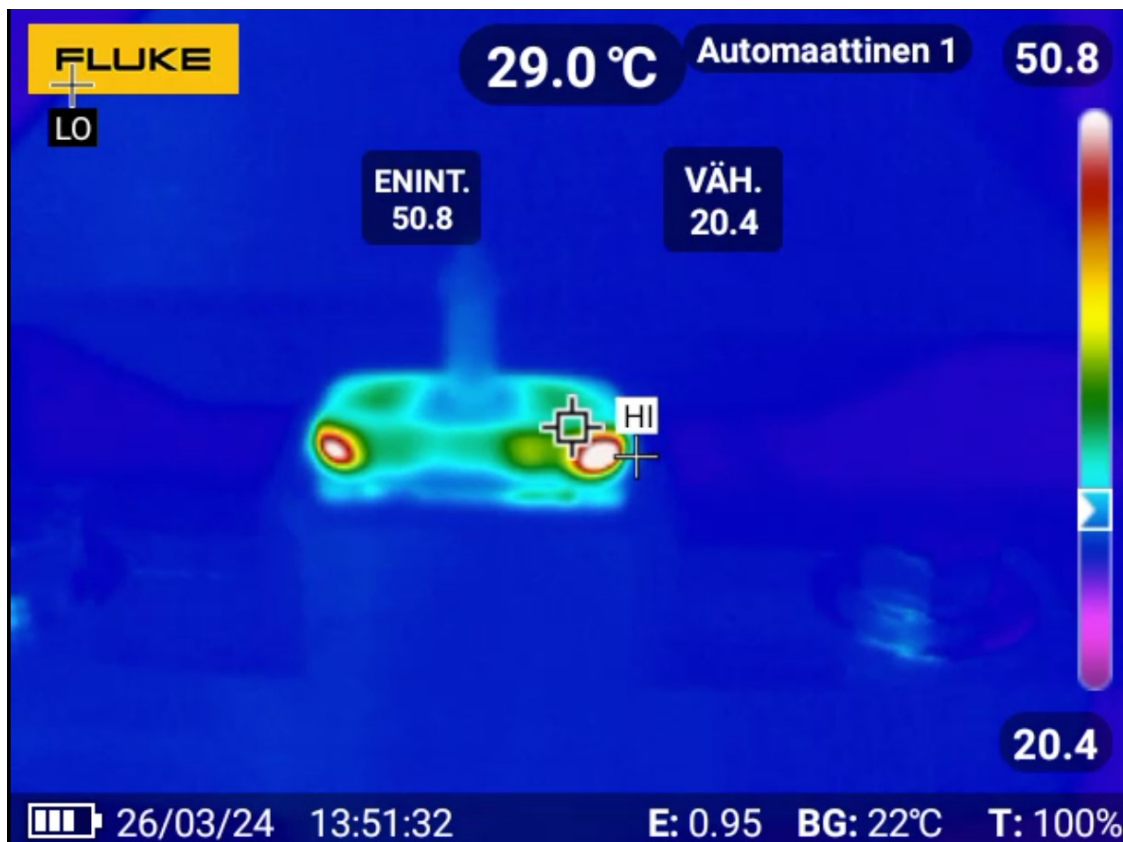
Tässä vaiheessa kohdistamista, jos äänipää pääsee liikahtamaan horisontaalisesti, täytyy äänipään kohdistaminen hitsattavaan kappaleeseen suorittaa uudestaan. Äänipäätä ja jigiiä ei saa koskaan päästää suoraan koskettamaan toisiaan tai ne saattavat vaurioitua törmäyksessä puristuksen alaisena.

### **3.3 Koehitsaus**

Koehitsauksessa sauman hitsautuneisuuden tarkistamiseen saatiin Oulun ammattikorkeakoululta lainakäyttöön Fluke Tis75+ mallinen lämpökamera. Kyseisellä lämpökameralla pystyy ottamaan kuvia ja laadukasta videokuvaa hitsauksesta ja myöhemmin analysoimaan tarkemmin hitsauksen

tapahtumia hetki hetkeltä. Hitsattavista kappaleista voidaan hitsauksen aikana tarkkailla ainoastaan yhtä sivua kerrallaan. Hitsauksen jälkeen äänipään noustessa ylös ja irtautuessa kappaleesta, lämpökameralla näkee nyt hyvin liitospinnalla olevan lämpömäärän. Hitsauksen onnistumista voidaan alustavasti arvioida pelkästään liitospinnan lämpömäärän avulla.

Koehitsauksessa huomattiin, että kappale ei hitsautunut pidempien sivujen liitospinnalta ollenkaan ja muodostui huono sauma. Kuvasta 9 nähdään ainoastaan kappaleen nurkissa lämpöjälkeä hitsautumisesta liitospinnalla.



KUVA 9. Hitsautuminen on tapahtunut ainoastaan kappaleen nurkissa ja sauma on näin ollen huono eikä riittävän tiivis

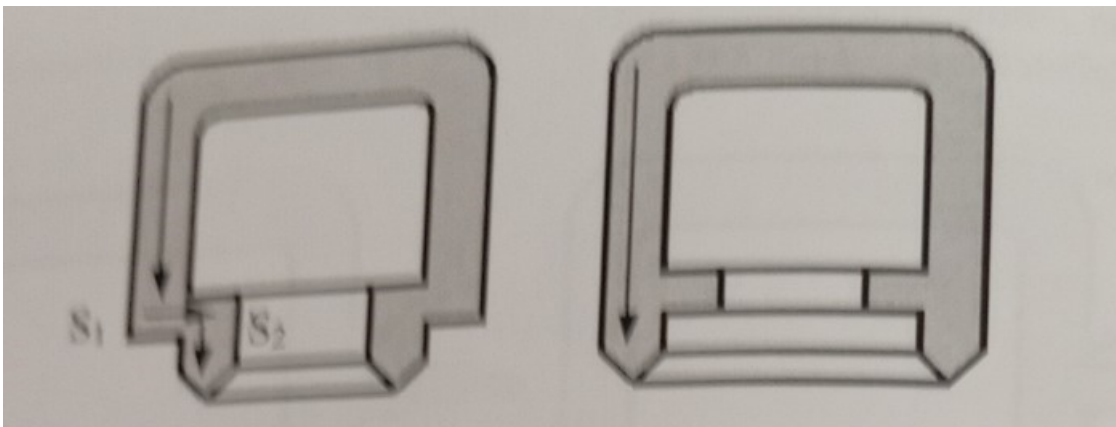
Hitsauskoneesta alennettiin tämän jälkeen kappaleiden yhteenpuristuksessa käytettävän paineilman määrää pienemmäksi ja nostettiin hitsausaikaa. Asetusten muuttaminen vaikutti vain vähän liitospinnan hitsautumiseen, mutta nurkissa oleva lämpömäärä oli korkeampi kuin ennen. Koehitsauksessa kokeiltiin vielä muutamia eri asetuksia huonoin hitsaustuloksin. Ongelmaa lähdettiin et-

simään mahdollisesti huonosti kohdistetusta jiggin ja siinä olevien kappaleiden asemasuhteesta äänipäähän. Kohdistusten jälkeen ja kokeilemalla lisää erilaisia asetuksia saatiin pieniä parannuksia hitsautumiseen, mutta liitospinnan hitsautuminen oli kokonaisuudessaan vieläkin huono.

Hitsaussyvytyden muutoksella, eli muuttamalla äänipään ja jiggin väli tasan kolmeen millimetriin saavutettiin vihdoinkin liitospinnan kokonaisvaltainen hitsautuminen. Hitsausaika oli pitkä ja kappale vaurioitui kannen sisäpuolelta, joten hitsausaikaa lyhennettiin. Useamman hitsauksen jälkeen, päästiin hyviin tuloksiin, mutta hitsattavat kappaleet loppuivat ja niitä ei ehditty toimittaa yhtiölle lisää koehitsauksiin opinnäytetyön aikataulun puitteissa. Hitsauksen luotettavaa toistettavuutta hyväksi havaituilla hitsausparametreilla ei voitu enää kokeilla.

### 3.4 Kappaleen geometrian tarkastelua

Rudolf-laitteen kuoret on alun perin suunniteltu liitettäväksi käyttäen vain liimausta vesitiiviin sauman aikaansaamiseksi, mutta ne soveltuvat myös ultraäänihitsattaviksi. Hyvään hitsaustulokseen päästään materiaalin ollessa täsmälleen saman paksuista kaikilla hitsattavilla liitospinnoilla. Pienikin virhe liitettävien kappaleiden liitospinnoilla saattaa aiheuttaa huonon sauman muodostumisen (12). Kappaleen muotoilulla on siksi suuri vaikutus hitsauksen onnistumiseen ja kuvasta 10 nähdään esimerkki muotoilun vaikutuksesta värähtelytehoon.



KUVA 10. Vasemmalla näkyvässä kappaleessa värähtelyn joutuessa vaihtamaan suuntaa hitsauksen aikana, menetetään värähtelytehoa. Oikealla olevan kappaleen muodon suunnittelun tuloksena ei synny tehohäviötä. (2, s. 124.)

Koehitsauksessa muodostui pitkittäisten ja poikittaisten aaltojen yhdistelmäaalloja ja niitä kutsutaan dilataatioaalloiksi. Poikittaisia aalloja syntyy vain leikkausjännityksen alaisena, ja ne aiheuttavat värähtelyä ainoastaan äänipään pinnassa. (2, s. 63.) Yhdistelmäaallon poikittainen aalto heikensi pitkittäisen aallon värähtelytehoa kappaleeseen ja aiheutti vaihtelevaa hitsaustulosta sauman tiiviydessä. Kuvasta 11 nähdään laitteen kuoren osat ja kansiosassa hitsattavan liitospinnan paksuuden vaihtelu.



*Kuva 11. Rudolf-seurantalaitteen kuoret, vasemmalla on kansi ja oikealla pohja*

Kappaleen pohjaosan pitkien sivujen seinämän keskiosassa on jouduttu ruiskuvaluvaiheessa ohentamaan, jotta kotelon läpi loistava laitteen indikaattori led-valo näkyisi selkeämmin käyttäjälle. Kuorissa käytettävän materiaalin ohentaminen asettaa haasteita ultraäänihitsattavuuteen, mutta täytyy ottaa huomioon, että tuote kiinnitetään eläimen korvaan. Se on asia, joka täytyy huomioida ja tuotteen painoa onkin kevennetty kaikkialta, mistä se on ollut mahdollista, jotta se ei tuottaisi kantajalleen haittaa.

### **3.5 Hitsatun tuotteen sauman tiiviyden testaaminen**

Ultraäänihitsattu tuote tarkastetaan silmämääräisesti, ja jos tuotteen sauma vaikuttaa hyvin hitsatuneelta, sille suoritetaan vesitiiviydesti. Testissä kappaleen sisälle muodostetaan suurimmillaan

yhden baarin paine ja se vastaa tuotteen upottamista veteen 10 metrin syvyyteen. Kappale upoteetaan testin aikana veteen sen verran, että hitsausseaman mahdollinen vuoto pystytään helposti havaitsemaan paineistuksen aikana. Mittaustulokset kirjataan pöytäkirjaan ja kappaleille on määritetty onnistumisen raja-arvot ja tuloksista voidaan todeta luotettavan hitsauksen toistettavuuden onnistuneen tai epäonnistuneen. Vesitiiviystesti on tässä tapauksessa rikkova testi eli kappale joudutaan rikkomaan, jotta testi saadaan suoritettua. Laitteen kuoria ei voi rikkovan testin jälkeen enää hyödyntää tuotannossa.

Tuotteen tiiviyden testaamiseen sovelletaan sähkölaitteiden koteloinnin IP-Koodi standardia SFS-EN 60529 + A1: Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-Koodi). Standardissa käydään läpi, millaisilla testeillä sähkölaitteen koteloinnin voidaan varmistaa omaavan IP-Koodi standardin täyttävät ominaisuudet. Taulukossa 2 on standardista löytyvä taulukko ja siitä nähdään testausvälineet ja pääasialliset testausehdot koteloinnin vesisuojausten luokitukselle.

**TAULUKKO 2. Taulukko testausvälineistä ja pääasialliset testausehdot vesisuojausten testauksessa (13)**

Toinen tunnusnumero	Testausvälineet	Veden virtausmäärä	Kokeen kesto	Testausehdot ks.
0	Ei testausta	–	–	–
1	Tippuvesilaite, kuva 3, koekappale pyörivällä alustalla	1 <sup>+0,5</sup> <sub>0</sub> mm/min	10 min	14.2.1
2	Tippuvesilaite, kuva 3, koekappale 15° kallistettuna neljässä asennossa	3 <sup>+0,5</sup> <sub>0</sub> mm/min	2,5 min jokaisessa kallistetussa asennossa	14.2.2
3	Kaariputki, kuva 4, saatava vesi ±60° pystysuorasta, etäisyys enintään 200 mm tai kuvan 5 suutin satava vesi ±60° pystysuorasta	0,07 l/min ± 5 % reikää kohti 10 l/min ± 5 %	10 min 1 min/m <sup>2</sup> vähintään 5 min	14.2.3a 14.2.3b
4	Kuten numerolle 3, roisku vesi ±180° pystysuorasta	Kuten numerolle 3		14.2.4
5	Suihkuvesisuutin, kuva 6, suuttimen halkaisija 6,3 mm etäisyys 2,5...3 m	12 l/min ± 5 %	1 min/m <sup>2</sup> vähintään 3 min	14.2.5
6	Suihkuvesisuutin, kuva 6, suuttimen halkaisija 12,5 mm etäisyys 2,5...3 m	100 l/min ± 5 %	1 min/m <sup>2</sup> vähintään 3 min	14.2.6
7	Upotusallas. Upotussyvyys: kotelon ylin kohta vähintään 0,15 m, kotelon alin kohta vähintään 1 m	–	30 min	14.2.7
8	Upotusallas. Upotussyvyys: sopimuksen mukaan	–	sopimuksen mukaan	14.2.8

## **4 HITSAUSPROSESSIN ASETUS**

Hitsausprosessin asettamisessa tulee kiinnittää huomiota materiaalivalintoihin, suunnitteluun, tuotteiden valmistustapaan ja ultraäänihitsaustyökalujen valintaan ja niiden valmistamiseen. Taitamalla hitsausprosessin asettamisen saavutetaan hyvä lopputulos ja tuote on suunnitelmien mukainen.

### **4.1 Hitsausparametrit ja niiden valinta**

Hitsausparametrit määrittyvät valitun ultraäänihitsauskoneen ominaisuuksien, hitsattavan materiaalin ja kappaleen muotojen mukaan. Hitsausparametrit voidaan jakaa kuuteen osaan ja niiden asettaminen on alkuvaiheessa hyvä tehdä seuraavassa järjestyksessä:

1. Amplitudin määrittäminen
2. Puristusvoiman sovittaminen amplitudiin ja tuotettuun tehoon
3. Hitsausajan, -energian tai -matkan asettaminen
4. Pitoajan asetus
5. Ultraäänien kytkentähetken eli liipaisupisteen asetus
6. Äänipään iskunopeuden asettaminen. (2, s. 85.)

### **4.2 Hitsaus tuotannossa**

Tuotanto koostuu yleensä useammasta erillisestä vaiheesta ja tuotannon loppupäässä on haastavaa ja joskus jopa mahdotonta korjata alkupäässä tapahtuneita virheitä. Yksittäinen virhe tuotannon aikana saattaa aiheuttaa kappaleen huonon hitsautuvuuden, vaikka tuote on muuten kunnossa. Rudolf-laitteen kotelon osat liitetään manuaalihitsauksella yhdessä jigissä ja yksi kappale kerrallaan kappalehitsauksena.

### **4.3 Hitsattavan kappaleen materiaalin valinta ja sen vaikutus hitsaukseen**

Hitsattavan tuotteen materiaaliksi on valikoitunut PC polykarbonaattimuovi sen hyvien ominaisuuksien ansiosta. Se on valmistettu ruiskuvalumenetelmällä ja sen ansiosta kappaleessa vältytään



mahdollisilta jälkijännityksiltä. Polykarbonaattimuovilla on hyvä ultraviolettisäteilyn kestävyys ja soveltuu hyvin ulkokäyttöön. Amorfisia muoveja voidaan myös ultraäänihitsata muiden amorfisten muovien kanssa, mutta kaikki amorfiset muovit eivät ole yhteensopivia hitsattavaksi keskenään. Kuvasta 12 nähdään amorfisten muovien yhteensopivuudet ultraäänihitsauksessa.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1																
2																
3	ABS	1	Yhteensopiva	Yhteensopiva	Yhteensopiva			Yhteensopiva							Yhteensopiva	Yhteensopiva
4	ABS + PC	2	Yhteensopiva	Yhteensopiva	Yhteensopiva			Yhteensopiva								
5	ABS + PVC	3	Yhteensopiva	Yhteensopiva	Yhteensopiva			Yhteensopiva							Yhteensopiva	
6	PMMA	4	Yhteensopiva	Yhteensopiva	Yhteensopiva			Yhteensopiva						Yhteensopiva		Yhteensopiva
7	SB	5				Yhteensopiva						Yhteensopiva				
8	PEI	6					Yhteensopiva	Yhteensopiva								
9	PC	7	Yhteensopiva	Yhteensopiva	Yhteensopiva		Yhteensopiva	Yhteensopiva	Yhteensopiva				Yhteensopiva	Yhteensopiva		
10	PC + PET	8						Yhteensopiva	Yhteensopiva	Yhteensopiva						
11	PET	9							Yhteensopiva	Yhteensopiva						
12	PES	10									Yhteensopiva					
13	PS	11										Yhteensopiva	Yhteensopiva	Yhteensopiva		
14	PSU	12						Yhteensopiva					Yhteensopiva	Yhteensopiva		
15	PPO	13												Yhteensopiva	Yhteensopiva	
16	PVC	14			Yhteensopiva											Yhteensopiva
17	SAN-ASA	15	Yhteensopiva			Yhteensopiva						Yhteensopiva	Yhteensopiva			Yhteensopiva
18																
19	<b>Amorfisten muovien yhteensopivuus ultraäänihitsauksessa</b>															

Kuva 12. Amorfisten muovilaatujen yhteensopivuus ultraäänihitsauksessa (2, s. 97)

#### 4.4 Äänipään ja vahvistimen materiaalin valinta

Äänipään ja vahvistimen materiaalin valinnassa huomioitavia asioita ovat ainakin äänen nopeus aineessa, kuluminen käytössä, valmistuksessa syntyneet kustannukset ja loppuhinta. Äänennopeus on tärkeä huomioida, koska lämpöliikkeen nopeus kappaleessa on aineen osasten liikettä johtuen lämmöstä, ja lämpöliike voimistuu kappaleen lämpötilan kasvaessa korkeammaksi. (14.)

Yhtiöllä käytössään olevien äänipäiden ja vahvistimien valmistusmateriaalina on käytetty alumiinia. Alumiinin hyvinä puolina on sen hyvät akustiset ominaisuudet, halvempi hinta verrattuna esimerkiksi titaaniin ja sama toimintalämpötila, joka on vain 1–2 celsiusta ympäristön lämpötilaa korkeampi. Huonoina puolina se ei siedä yhtä suurta amplitudia kuin titaani ja se ei sovellu yhtä hyvin kuluttavaan ja jatkuvaan tuotantoon. Alumiini voidaan pinnoittaa kromilla tai nikkelillä parantamaan sen kulutuskestävyyttä. Titaani soveltuu sen hyvän väsymislujuuden ja hyvän pintakovuuden puolesta parhaiten äänipäälle ja vahvistimelle. Sen huonoina puolina on sen kovuudesta aiheutunut hankala työstettävyys, ja se joudutaan pääsääntöisesti valmistamaan CNC-koneistamalla. Kulutta-

vaa tuotantoa varten titaani voidaan myös pinnoittaa nikkelillä tai teflonilla parantamaan sen kulumuskestävyyttä. Alumiinin äänen nopeus on noin  $5100 \pm 200$  m/s ja titaaniseoksen (TiAlV64) äänen nopeus on  $4900 \pm 100$  m/s. (2, s. 67.)

## 5 TYÖN TULOKSET

Hitsausparametrien määrittämisessä päästiin hyvään tulokseen yksittäisen kappaleen hitsauksessa, mutta koehitsattavien kappaleiden loputtua varastosta ei ehditty enää aikataulun puitteissa testata hitsauksen luotettavaa toistettavuutta. Työssä saatiin kerättyä yhtiöllä käytössä olevasta ultraäänihitsauskoneesta lisää tietoa helpottamaan tulevaisuudessa laitteen käyttöönottoa tuotannossa. Työssä onnistuttiin määrittämään ja hyödyntämään erilaisia mittaustyökaluja osien kohdistukseen ja mittaamaan hitsauksen laatua eri työvaiheissa.

### 5.1 Tulosten kirjaaminen

Ultraäänihitsauskoneen amplitudin mittaamisesta ja hitsauksen mittaustuloksista tehtiin mittauspöytäkirjat ja ne on tarkoitettu ainoastaan yhtiön omaan käyttöön. Mittauspöytäkirjojen mallipohjaa voi hyödyntää seuraavien mittauksien yhteydessä hitsauskappaleiden laaduntarkkailussa tulosten kirjaamiseen.

### 5.2 Jatkokehitys

Hitsattujen kappaleiden vesitiiviyyden testaamista varten on mahdollista rakentaa tyhjiökone, jonka avulla vältyttäisiin rikkovalta testiltä. Kappaleita pystyisi myös saman aikaisesti testaamaan useamman kerrallaan. Ultraäänihitsauskonetta käytettäessä, hitsauksen aikana saattaa paineilmapumpu alkaa täyttämään säiliötään ja hetkellisesti aiheuttaa paineenvaihtelun koko paineilmajärjestelmässä. Koehitsauksen aikana tämä tapahtui ja se vaikutti sauman vahvuuteen heikentävästi. Paineenvaihtelun ehkäisemiseksi olisi hyvä ottaa käyttöön lisäsäiliö tai mahdollisesti isommalla säiliöllä varustettu paineilmakompressori.

Hitsauskone ja sen työkalut kuluvat käytössä ja niiden korjaaminen tai uusiminen rikkoutumistilanteessa vie paljon aikaa. Käytössä olevaan Bransonin hitsauskoneeseen ei ole enää saatavilla valmistajan tai jälleenmyyjän laajaa tukipalvelua käyttö- tai ongelmatilanteissa. Uudemman hitsauskoneen ostaminen samalta valmistajalta on kertaostoksena suurehko, mutta pitkällä tähtäimellä se tulee halvemmaksi kuin käytetyt työtunnit vianetsintään ja osien korjaamiseen. Bransonin uudet

ultraäänihitsauskoneet sisältävät vanhoihin verrattuna enemmän ominaisuuksia, reaaliaikaista hitsauksen seuranta ja tarkempia hitsausparametrien asetusmahdollisuuksia.

## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitteina oli määrittää yhtiöllä käytössä olevalle ultraäänihitsauskoneelle hitsausparametrit, koehitsata koneella Rudolf-seurantalaitteen kuoria hitsauksen hyvällä toistettavuudella vesitiiviin sauman aikaansaamiseksi ja testata saumat vesitiiviyskokeella. Tämän jälkeen tarkoituksena olisi ollut vielä laatia työohje tuotteen hitsaamiseen ja tiiviystestin suorittamiseen. Hitsausparametrien määrittäminen onnistui vain muutamalle yksittäiselle hitsauskappaleelle ja ainoastaan yhdelle kappaleelle ehdittiin tehdä tiiviyskoe. Työssä oli pitkään vaikeuksia saada hitsauskoneella hitsaaminen onnistumaan.

Hitsauksen onnistumisen jälkeen, varastossa olevien koehitsattavien kappaleiden määrä pääsi hetkellisesti vähiin ja opinnäytetyön aikataulurajoitteiden puitteissa jouduin toteamaan, ettei työtä ehditä saattaa loppuun asti ultraäänihitsauskoneen käyttöönottamiseksi tuotannossa. Paremmalla aikataulutuksen suunnittelulla heti työn alkuvaiheessa olisi suurella todennäköisyydellä saavutettu toivotumpi lopputulos.

Työn aikana löytyi tietoa erilaisten mittatyökalujen hyödyntämisestä ultraäänihitsausprosessin aikana, mikä toi yhtiölle uutta tietoa ja sitä voi hyödyntää koneen käyttöönotossa tulevaisuudessa. Amplitudin määrittäminen osataan nyt tehdä äänipään työpinnasta hyödyntäen mittakelloa, ja hitsauksen jälkeen sauman hitsautumisen tarkasteluun voidaan tarvittaessa hyödyntää lämpökameraa. Hitsauksen syvyyttä pystytään määrittämään mittaamalla rakotulkilla jiggin ja äänipään välily.

Seurantalaitteen hitsattavat kuoret ovat hyvin ohutseinämäiset ja niiden mittatoleranssit ovat paljon vaativammat, verrattuna isompiin ultraäänihitsattaviin kappaleisiin. Seurantalaitteen seinämä pohjaosassa on ohuimmillaan hieman alle 0,2 millimetriä. Ultraäänihitsausoppaissa ohutseinämäisistä kappaleista puhuttaessa, tarkoitetaan pienimmillään 0,5–1 millimetrin paksuisia kappaleita. Tätä ohuempien seinämien ultraäänihitsaamisesta on hyvin vaikeasti saatavissa tietoa, mikä osaltaan vaikeutti hitsauksen parametrien määrittämistä.

## LÄHTEET

1. Marttila, Aki 2023. Toimitusjohtaja. Anicare Oy. Konetekniikan Pitching-tilaisuus. Oulun ammattikorkeakoulu 20.9.2023.
2. Rakkola, Päivi 2003. Muovien ultraäänihitsaus. Tampere: Plastdata.
3. Lindell, Ismo 2009. Sähkön pitkä historia. Helsinki: Otatieto.
4. Kivelä, Simo K. 1992. Reaalimuuttujan analyysi. Helsinki: Otatieto.
5. Hacklab Mikkeli Ry 2016. Amplitudi, taajuus ja jaksonaika. Hakupäivä 8.3.2024. <https://hacklabmikkeli.gitbooks.io/mittaustekniikka/content/taajuusjaksonaika.html>.
6. Nobel, Park S. 2005. Physicochemical and environmental plant physiology. Academic Press.
7. Emerson Electronics 2024. Emerson Marks 75 Years of Innovation in Precision Cleaning and Welding Technologies. Hakupäivä 5.5.2024. <https://www.emerson.com/en-us/news/automation/21-09-branson-75-years-precision-cleaning-welding-technologies>.
8. Branson Sonic Power Company 1992. Branson Ultrasonic Welders models 8200, 8400 & 8600 Operating Manual.
9. Ritmaco oy 2023. Ritmaco oy:n äänipään mittauspöytäkirja. Sisäinen lähde.
10. Emerson industrial automation 2011. Technical information PW-2. Hakupäivä 2.5.2024. <https://www.yumpu.com/en/document/read/10788268/boosters-ultrasonic-welding-emerson-industrial-automation>.
11. Ritmaco Oy 2024. Kestomuovien ultraäänihitsaus. Hakupäivä 20.12.2023. <https://www.ritmaco.fi/ultraaeeenihitsaus>.

12. Troughton, Michael John 2008. Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide. Toinen painos. Norwich, NY: Cambridge, UK: William Andrew; TWI / The Welding Institute, Elsevier Science & Technology Books.
13. SFS-EN 60529 + A1, 2000 + A2:2013 + AC:2019. Sähkölaitteiden koteloituokat (IP-Koodi). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 27.5.2024. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/766874.html.stx>. Vaatii lisenssin.
14. Park, Gun-Sik, Kim, Yong Hyup, Han, Haewook, Han, Joon Koo, Ahn, Jaewook, Son Joo-Hiuk, Park, Woong-Yang, Jeong, Young Uk 2012. Convergence of Terahertz Sciences in Biomedical Systems. Springer Netherlands.